

A MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
HEVESI GYULA

XVI. KÖTET

1. SZÁM

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA
ÉS A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET 1954. ÉVI

I. HÍRADÁSTECHNIKAI KONFERENCIÁJA



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
BUDAPEST, 1955

VI. OSZT. KÖZL.

A
MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
HEVESI GYULA
XVI. KÖTET I. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG : BUDAPEST, V., SZÉCHENYI RAKPART 3.
KIADÓHIVATAL : BUDAPEST, V., ALKOTMÁNY UTCA 21.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

Kéziratok a következő címre küldendők :

Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei
Budapest, V., Széchenyi rakpart 3.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Minden szerzőt száz különnyomat illet meg megjelent munkájáért. Közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttat a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért, vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként belföldi címre 40 forint, külföldi címre 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest, V., Alkotmány u. 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám : 04-878-111-46), külföldi megrendelések a »Kultúra« Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest, VI., Sztálin út 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám : 43-790-057-181) útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

Acta Technica

című idegen nyelvű folyóirat.

E lap hivatott a magyar műszaki tudományok eredményeinek legjavát a külföld felé tolmácsolni. A cikkek orosz, német, angol vagy francia nyelven jelennek meg. Lehetőleg a szerző kívánsága szerint, összefoglaló pedig a cikk nyelvén és azonkívül a másik három nyelven. Cikkeket magyar, vagy a szerző választotta idegen nyelven a következő címre kell beküldeni :

Acta Technica szerkesztősége, Budapest, V., Széchenyi rakpart 3.

*A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA
ÉS
A HÍRADÁSTECHNIKÁI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
ALTAL 1954. MÁJUS 6., 7. ÉS 8-ÁN RENDEZETT
I. HÍRADÁSTECHNIKAI KONFERENCIA*

MEGNYITÓ

OSZTROVSZKI GYÖRGY levelező tag,
a Magyar Tudományos Akadémia főtitkára

A magyar híradástechnikai ipar a felszabadulás előtt az ország iparában kiemelkedő helyet foglalt el. Gyártmányaink megfeleltek a hazai és külföldi követelményeknek és jelentős exportot bonyolítottunk le. Nagy híradástechnikai gyáraink külföldi érdekeltségek kezében voltak: ennek következtében a gyártás külföldi dokumentáció alapján történt. Volt azonban kivétel is: az Egyesült Izzó keretében történő önálló fejlesztés. Ennek köszönhető, hogy gyártmányai felvették a versenyt az egész világ legfejlettebb ipari országainak gyártmányaiival. *Just* és *Hanaman* wolfram-szálás izzólámpája, amely forradalmasította a világítástechnikát, Újpesten született meg 1903-ban. Magyar találmány *Bródy Imre* műve, a kryptonlámpa, valamint *Winter Ernő* alkotása, a bárium-katódás elektroncső. Igen értékesek voltak *Czukor Károly* találmányai is.

A második világháború szörnyű rombolást végzett a magyar híradástechnikai iparban. Nemcsak a gyárak és létesítmények berendezései estek áldozatul, hanem ami mindennél súlyosabb volt: a háború és a fasiszta dühöngés megsemmisítette a híradástechnikai szakma legkiválóbb magyar művelőinek nagyobb részét. Kegyelettel emlékezünk meg az áldozatokról, akik közül sokan baloldali meggyőződésük vértanúi lettek. *Beck Ernő*, *Bródy Imre*, *Dallos György*, *Gábor József*, *Glasner Imre*, *Glóziusz Tibor*, *Grünwald Géza*, *Krassó Tibor*, *Löbl Ferenc*, *Lukács Ernő*, *Marton Mátyás*, *Pillitz Dezső*, *Pintér Jenő*, *Preisach Ferenc*, *Stolzer Gábor* és *Stolzer Pál*, *Sarkadi Vilmos*, *Terebesi Pál* és még sok kiváló kutató és mérnök, valamint egyéb szakember neve van veszteségünk listáján.

Felszabadulásunk után az elszenvedett anyagi veszteségek pótlásával együtt indult meg az új káderek nevelése. A magyar híradástechnikai ipar hamarosan visszanyerte régi gyártási kapacitását és mennyiségi termelése túlszárnyalta a háború előtti színvonalat. Híradástechnikai vállalataink nagy része az eddigiek-nél sokkal hatalmasabb gyártelepekkel bővült, mint pl. a Magyar Adócsőgyár és az Orion Gyár. A régiek mellett új gyárak is létesültek, mint a Vákuumtechnikai Gépgyár.

Ahhoz azonban túl kevés volt az erőnk, hogy egyidejűleg széles alapon tudjuk elindítani az önálló magyar híradástechnikai fejlesztést és kutatást is. Nem változtatott ezen a Távközlési Kutató Intézet létesítése, mert az a híradástechnikának csak egyes kérdéseivel foglalkozik, de a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet alapítása sem, mert ez utóbbi intézet nem kapta meg a jó működést biztosító helyiséget és személyi keretet, és egyébként is csak rövid ideje áll fenn. Ugyanakkor az egész világon soha nem látott méretekben fejlődött

a híradástechnikai kutatás, amely szinte napról-napra hoz eredményeket. A Szovjetunióban és a világ más fejlett iparú államaiban óriási mértékben megnőtt a híradástechnika jelentősége más iparágakhoz képest. Ezt a fejlődést az elmúlt esztendőben Magyarország — mint tudjuk — nem követte, hanem főleg nehéziparát fejlesztette nagy beruházásokkal. Így azután a híradástechnika fejlesztésének előfeltételei nem voltak meg és bekövetkezett, hogy jelenlegi gyártmányaink nagy része elavult és korszerűtlen lett. Most az a veszély fenyeget, hogy nem találunk exportpiacot azoknak a termékeinknek, amelyek kivitelünk jelentős hányadát tették ki.

Szem előtt kell tartanunk, hogy a külföld országai is iparkodnak fejleszteni saját iparukat. Akik valamikor izzólámpát vásároltak tőlünk, később lámpaalkatrészeket kerestek, ma pedig izzólámpagyártó gépeket. A jövőben pedig csak azokat a cikkeket fogják tőlünk vásárolni, amelyek iparuk fejlesztéséhez szükségesek, vagy amelyek előállítására a legmagasabbrendű technikát kívánja meg.

Ma már sokak előtt világos, hogy a híradástechnika hazai fejlesztését döntő mértékben meg kell gyorsítani. Kormányprogramunk minden szempontból alátámasztja ennek szükségességét. A híradástechnikai és a vele kapcsolatban álló műszeriparnak a távközlési berendezések gyártása mellett nagy szerepe van mind a lakosság kulturális szükségleteinek közvetlen kielégítésében a rádió, televízió és hangosfilm útján, mind pedig a korszerű technológiai folyamatok bevezetésében és a legfejlettebb technika alapját képező automatizálás megvalósításában. Az átmenetileg elhanyagolt ipart kedvező adottságai és a múltban elért jelentős eredményei különösen alkalmassá teszik arra, hogy ismét legnagyobb volomenű exportiparunkká váljék, és így kevés nyersanyagot és sok munkát tartalmazó cikkek külföldi értékesítésével járuljon népünk jóléte anyagi alapjainak gyarapításához.

Az első magyar híradástechnikai konferencia megrendezésével a Magyar Tudományos Akadémia és a Híradástechnikai Tudományos Egyesület a híradástechnikára kívánja irányítani kormányzatunk és a magyar műszaki közvélemény figyelmét. Nem véletlen, hogy a meghirdetett előadások túlnyomó része az elektronikával kapcsolatos. Az elektroncső alapanyagkérdései, alkalmazásuk a mikrohullámú átvitelben és a televízióban, valamint az új félvezető-erősítők: ezek a kérdések nemcsak a vákuumtechnikai ipar, hanem egész híradástechnikai iparunk jövőjét döntően befolyásolják.

Önökre, mint a magyar híradástechnika legkitűnőbb szakembereire vár a feladat, hogy a beszámoló meghallgatása után megvitassák és kitűzzék a fejlesztés irányát. Bizonyos, hogy az utolsó években sokat mulasztottunk és sok a pótolni valónk, de azt hiszem, az elhangzott előadások és az azok keretében megemlített hazai eredmények arról fogják meggyőzni Önöket, hogy még nem késtünk el, és kellő erőfeszítéssel, kormányzatunk támogatásával elérhetjük, sőt egyes területeken túl is haladhatjuk a világszínvonalat.

A HÍRADÁSTECHNIKAI KONFERENCIA HATÁROZATA

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya és a Híradástechnikai Tudományos Egyesület által 1954. május 6., 7. és 8-án rendezett Híradástechnikai Konferencia a következő határozati javaslatot fogadta el:

1. A tömeggyártásból kikerülő, valamint a speciális célokat szolgáló elektroncsövek minősége, megbízhatósága és élettartama jelentősen a mai szint fölé emelendő.

2. Megkülönböztetett figyelmet kell fordítani az izzólámpák és elektroncsövek gyártásához szükséges wolframfém, valamint a többi felhasznált nyersanyag minőségének javítására, ezenkívül anyagminősítő módszerek és eljárások kidolgozására.

3. Korszerűsíteni kell a vákuumtechnikai gyártó berendezéseket és vizsgáló módszereket.

4. A legnagyobb tömeggyártási perspektívát mutató új gyártási ágként szükséges a televíziós képcsövek kifejlesztése a legkorszerűbb kivitelben. A fejlesztés végrehajtásához a legszélesebb együttműködést kell biztosítani a szakterületen kívülálló kutató és fejlesztési intézményekkel (Üvegipari Kutató, Műanyagipari Kutató, Fémipari Kutató stb.).

5. A tranzistor megjelenése nagy elvi és minőségi átalakulást idéz elő az elektronikus készülékek területén. Ezért mind kutatásával, mind fejlesztésével, beleértve az alapanyagkutatás kérdését is, fokozott erővel foglalkozni kell.

6. A mikrohullámú sokcsatornás és televíziós összeköttetések létesítése érdekében szükséges ezen berendezések kifejlesztése. Ezen belül mikrohullámú erősítőcsövek, elsősorban haladóhullámú csövek kifejlesztése szükséges.

7. Szükséges a klasszikus elven működő elektroncsövek további fejlesztése. A következő feladatok megoldása különösen lényeges: a működés kiterjesztése minél rövidebb hullámhossz felé; szubminiatűrcsövek, elektronoptikai elvek felhasználásával működő vevőcsövek, nagy teljesítményű kisméretű adócsövek fejlesztése.

8. Nagy fontosságú a közép- és rövidhullámú nagy teljesítményű adócsövek perspektivikus fejlesztése.

9. Haladéktalanul meg kell kezdeni elektroncsöveink szabványosítását, a Szovjetunió szabványaival összhangban.

10. Mindezek érdekében feltétlenül szükséges az egész híradástechnikai ipar fejlesztése. Különös gondot kell fordítani a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet fejlesztésére, hogy az kellőképpen el tudja látni feladatát.

11. Erősíteni kell a vállalatok fejlesztési gyáregységeit is és biztosítani kell valamennyi kutató és fejlesztő szerv szoros együttműködését.

12. A fenti célkitűzések megvalósítása nem oldja meg a híradástechnika hazai fejlesztésének minden fontos kérdését. Tekintettel erőink korlátozott voltára, a további fontos feladatok megoldása csak úgy érhető el, ha a legnagyobb mértékű nemzetközi együttműködést valósítjuk meg a baráti államok kutató és fejlesztő intézményeivel.

13. A határozatban kitűzött célok megvalósításának biztosítására a híradástechnika területén dolgozó műszaki káderek száma nem elegendő. Ezenfelül az ipari kutatás területén dolgozó szakképzett káderek jelentős része feleslegesen adminisztrációval van terhelve. A fejlesztéshez biztosítani kell a műszaki káderek szükséges létszámát. Ennek megfelelően kell meghatározni a híradástechnikai technikumokba és a Műszaki Egyetem híradástechnikai tagozatára felveendő létszámát.

14. A Konferencia megbízza a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Híradástechnikai Főbizottságát és a Híradástechnikai Tudományos Egyesület Elnökségét, hogy a fenti határozatok megvalósítása érdekében szükséges részletes javaslatokat dolgozza ki és az Osztályvezetőség jóváhagyása után illetékes szervek elé terjessze.

AZ ELEKTRONCSÖVEK FEJLŐDÉSÉNEK IRÁNYAI*

WINTER ERNŐ levelező tag

I. Az elektroncsőtechnika helyzete a második világháború előtt

A második világháború előtt gyártott elektroncsövek túlnyomó részét a szórakozás célját szolgáló műsorvevő készülékekben használták fel. 1939-ig kialakultak azok a csőtípusok, amelyek a rádióvevőkészülékek különböző fokozataiban az alkalmazott áramköröknek megfelelően szükségesek voltak, és ezek annyira kielégítették a készüléképítők igényeit, hogy a típusfejlesztés terén nyugalmi állapot látszott bekövetkezni. A típusfejlesztés utolsó hullámai a keverőcső minőségének megjavítása körül zajlottak le.

A rövidhullámú vétel megjavításának céljából, a típusok elektromos kialakításán kívül, a cső felépítési módjának célszerűbb megválasztására, új csőtechnológiák kidolgozására irányultak az erőfeszítések. Ennek megfelelően dolgozták ki az amerikai és európai fémcsőtechnológiát, a színüvegcsőveket és végül a miniatűrcsőveket.

A csövek jó rövidhullámú működésének feltételeit az egész világon kutatni kezdték. A vizsgálatok alapján megállapították az elektronok repülési idejének és az elektród hozzávezetések indukciójának szerepét, és ezek alapján a kis elektródtávolságok és a rövid és határozott geometriájú elektród hozzávezetések fontossága domborodott ki. Mindezen szempontok a csövek méretei csökkentésének szükségszerűségére mutattak. Az Egyesült Izzó elektroncső-laboratóriumában és kísérleti gyártásában már 1937—1938-ban egész miniatűrcső sorozatot dolgoztunk ki, amelyek a később megjelenő miniatűrcsőveknél korszerűbbnek voltak nevezhetők. Ugyancsak az Egyesült Izzó elektroncsőlaboratóriumában *Zakariás Imre* és *Preisach Ferenc* elsőnek ismerték fel azt a tényt, hogy a katódnak két kivezetéssel történő ellátása, a katódinduktivitás csökkentése folytán lényegesen javítja a rövidhullámú viselkedést. Ilyen csövek is kidolgozásra kerültek.

A vezetőség rövidlátása folytán sem az előbb említett miniatűrcsövek, sem az utóbb említett kétkatódkivezetésű erősítőcsövek nem kerültek keres-

* A Híradástechnikai Konferencián, 1954. május 6-án elhangzott előadás kivonatos szövege.

kedelmi forgalomba. A kétkatódkivezetésű csövekről publikáció is jelent meg, amelyre a külföldi szakkönyvek hivatkoznak.

II. Az elektronika fejlődése során az elektroncsövekkel szemben támasztott újabb követelmények

A műsorvevő készülékek a rádiócsövekkel szemben elég enyhe követelményeket támasztottak. További lazaságot okozott a csövek minőségében az a körülmény, hogy a rádióvevőkészülék meghibásodása nem járt súlyosabb következményekkel és legfeljebb a készülék tulajdonosának okozott bosszúságot. A rádiótechnikában megismert elektronikus megoldási lehetőségek perspektívát nyitottak olyan alkalmazási terület felé, amelyek nem szórakoztató jellegűek voltak. Nagyon gyorsan beigazolódott, hogy ezeken a felhasználási területeken a korábbi gyenge minőség nem engedhető meg. Két szempontból merült fel kifogás a háború előtt a csőminőséggel szemben, és pedig:

- a) az elektromos adatok túl nagy szórása;
- b) az idő előtt meghibásodó csövek nagy százaléka miatt.

a) Az elektromos adatok túl nagy szórása

A legtöbb, nem szórakoztató jellegű elektronikus berendezésben a csőadatok eddigi szórása nem engedhető meg. A csőadatok szórását részben az alkatrészek méretpontossága, a gyártási technológia jósága, az alkalmazott anyagok minősége, a gyártáskor végbemenő folyamatok mélyreható ismerete szabja meg. Az adatok szórását ennek folytán egyik napról a másikra nem lehet lényegesen csökkenteni. A követelmények a következőkben foglalhatók össze:

1. A fejlesztési munkáknál célul tűzendő ki, hogy a működés szempontjából számbajövő csőadatban a szórás ± 10 százaléknál ne legyen nagyobb.
2. Két egyforma rendszerű csőben a rendszerek közötti különbség az eddig megengedett határ alá szorítandó.
3. A csövek minősége mikrofónia és bűgás szempontjából lényegesen javítandó.
4. A csövek adatai tartós üzemeltetés közben a fentieknél nagyobb mértékben ne változzanak meg.

A készülékfejlesztőnek arra kell törekednie, hogy

1. olyan kapcsolásokat alkalmazzon, amelyek a csőszórásokra kevésbé érzékenyek;
2. a csőgyártókkal pontosan közöljék a tervezett kapcsolatban a cső igénybevételére vonatkozó adatokat;
3. korlátozzák a minimumra a szükséges típusok számát;

4. speciális csövet csak végső szükség esetében kívánjanak, mert azok mindig drágábbak és gyengébb minőségűek, mint a kiforrott technológiával, nagy tömegben gyártott csövek ;

5. ha nem feltétlenül szükséges, ne írjanak elő a csöveknél olyan adatokat, amelyek az adott technológiával nehezen tarthatók.

Az elmondottakból a hazai csőgyártásra levonható konzekvenciák a következők :

1. Alkatrészgyártási módszereink fejlesztendők.

2. Anyagminősítési módszereink korszerűsítendők.

3. A csőszerelési munkateljesítmények megállapításakor figyelemmel kell lenni a minőségre.

4. Vákuumtechnikai módszereinket mind a gyártás, mind a mérés szempontjából meg kell javítani.

5. Gyártásunkban vákuumtechnikai tisztaságot kell megvalósítani.

6. A gyártásnak fokozott mennyiségű tartós égető és vizsgáló berendezésre van szüksége.

7. A speciális csőtulajdonságok megjavítására intenzív kutatómunkát kell indítani.

8. Intenzív tapasztalatcserére van szükség a baráti államokkal, mert a nagyszámú feladatot saját erőnkől nem tudjuk megoldani.

b) A korán meghibásodó csövek kérdése

A második világháború előtt kifejlesztett elektroncsőgyártási technológia szerint készült csövek élettartama elvileg sok tízezer órára rúgott. A rádióvevőkészülékgyárak nem is kívántak mást, mint hogy az esetleges gyártási hibák folytán idő előtt meghibásodó csövek száma ne haladja meg a kb. 3—4 százalékot.

A második világháború alatt és után az elektroncsövek számára sok új felhasználási terület jelentkezett (nem szórakozás célját szolgáló hírközlő berendezések, katonai készülékek, elektronikus műszerek, ipari vezérlő berendezések, az automatika különböző területei, televízió stb.). Jellemzésül megemlítem, hogy míg 1939 és 1948 között a rádiókészülékekben felhasznált csövek száma megkétszereződött, addig egyéb felhasználási területeken ezerszer lett nagyobb.

Ezeknél a készülékeknél a meghibásodás sokkal súlyosabb következményekkel jár, mint a rádióvevőkészülékeknél. Emberéletről lehet szó, ipari üzemek hatalmas méretű termelés kiesése lehet a következmény. A felhasznált csövek nagy számánál fogva ugyanolyan százalékos meghibásodás lényegesen gyakrabban okozza a készülék üzemképtelenségét.

A magyar rádiócsőgyártás 1939-ben a korai meghibásodások tekintetében nagyon jó minőséget reprezentált, és nem maradt el egyetlen külföldi gyár produktumai mögött sem.

Az összegyűjtött adatok szerint a készülékhibák több mint 50 százalékát, bizonyos berendezésekben 70 százalékát a csőmeghibásodások okozzák. A felhasznált csövek számának növekedésével és a többi áramköri alkatrészek megbízhatóságának megjavításával a készülékek megbízhatósága egyre nagyobb mértékben az elektroncsövektől vált függővé.

A tapasztalatok azt bizonyítják, hogy a problémát nem lehet megoldani a rendes gyártás csöveiből történő válogatással. A minőség kérdését vizsgálgatással és válogatással nem lehet megoldani, azt a csőbe »bele kell építeni«.

Hogy céltudatos fejlesztési munkával mit lehet elérni, arra példaképpen megemlítem, hogy a repülőgépek rádióberendezéseivel kapcsolatos bajok kiküszöbölésére az ott felhasznált csöveket átkonstruálták. E fejlesztési munkák következtében a 6AK5 csőtípus átlagos élettartamát a korábbiak hússzorosára sikerült fokozni, és míg eredetileg 100 órán belül a felhasznált csövek 30 százaléka hibásodott meg, addig az átkonstruált csőnél ez 3,2 százalékra csökkent.

Tekintetbe kell venni természetesen azt is, hogy az új alkalmazási területeken a csövek igénybevétele nagyobb, mint a háború előtt volt:

1. A csöveket gyakran használják olyan készülékekben, amelyekben a csövek nagy mechanikus igénybevételnek, rázásnak, ütésnek vannak kitéve.
2. A környezet hőmérséklete magas, más esetekben nagyon alacsony.
3. Az atmoszferikus viszonyok nedvesség, korrodáló gázok stb. jelenléte folytán kedvezőtlenek.
4. A csövek fűtését gyakran kell ki- és bekapcsolni.
5. A csövek működés közben az üzemidő egy részében elektronáram nélkül vannak fűtés alatt.

A korai meghibásodások okait vizsgálva, a hibák a következőkben foglalhatók össze.

1. Üvegtörés (főleg miniatűrcsöveknél).
2. Elektródok közötti zárlatok.
3. Szakadások, rossz hegesztések.
4. Fűtőszáltörés, katód-fűtőszál zárlat.
5. Emisszióvesztés, emisszióingadozások.
6. Rácsemisszió.
7. Érintkezési hibák, főleg miniatűrcsöveknél.

Az elektroncsövek megbízhatóságának javításával kapcsolatban felesleges lenne az egész történelmi fejlődést ismertetni. Az egyes csőgyárak a gyártási technológia különböző részterületein voltak jobbak, illetve rosszabbak. Némelyiknél az üvegtörést tartották tudományosan és gyakorlatilag jó kézben, mások a mechanikai kérdéseket oldották jól meg, ismét mások a vákuumtechnikai és katódproblémákban bizonyultak jobbnak. A különböző gyárak véleménye más és más súlypontot jelöl meg, jelentéseik mozaikszerű képet adnak a helyzetről, és ezért célszerűbb a leszűrt következtetéseket összefoglalóan ismertetni.

A magyar ipar feladatai a klasszikus elektroncsövek területén a következők:

1. A csövek élettartamát első lépésként 10 000, később 50 000 órára kell emelni.
2. A megkívánt élettartamon belül a meghibásodó csövek száma az 1 százalékot ne haladja meg.
3. Törekedni kell arra, hogy a fontos karakterisztikus adatok szórását ± 10 százalékon belül tartsák.
4. A csövek bűgása és mikrofóniája nagyságrendileg megjavítandó.
5. A katód- és fűtőszál között megengedett feszültség lényegesen emelendő.
6. A csövek rácsáram-előírásai megszigorítandók.
7. Kettős diódáknál törekedni kell egyenlő kontaktpotenciálokra a két rendszernél, egyéb kettős csöveknél a két rendszer közötti elektromos adatbeli szórások ± 10 százalékon belüli csökkentésére.
8. Kívánatos az eddiginél jobb minőségű katód kidolgozása, ezzel párhuzamosan a katódhőmérsékletek és fűtőteljesítmények csökkentése.
9. A csövek mechanikai szilárdsága, hőállóképessége, klímaállósága megjavítandó.
10. A nem műsorvevő készülékek számára lehetőleg kis számú csőtípus választandó ki.

A felsorolt 10 pontban megjelölt feladatok nagyon nagy fejlesztési és kutatási kapacitást igényelnek. Mások e kérdések jelentős részét meg is oldották. Erre mutat az a tény, hogy a legújabb hírek szerint egy Amerika és Európa között lefektetett kábelbe csöves erősítőket építettek be, annak ellenére, hogy a tranzistorok bevezetése az elektronikába már nem nagyon hosszú idő kérdése.

Nem helyezkedhetünk arra az álláspontra, hogy a nagy megbízhatóságot igénylő készülékek felcsövezéséről lemondunk, és megelégszünk továbbra is a rádiókészülékek felcsövezésére szolgáló elektroncsövek gyártásával. A televíziós készülékekben alkalmazott csövek száma olyan nagy, hogy ezek felcsövezésére sem elégséges a normál rádiókészülékek számára korábban szállított csövek minősége. Nem helyezkedhetünk azért sem erre az álláspontra, mert a megbízható csövek fejlesztésénél ki fog alakulni az a gyártási technológia, és megtalálják azokat az alapanyagokat, amelyek segítségével azok gyártása nem lesz költségesebb, mint az eddigi rádiócsövéké. Kétségtelen, hogy ekkor a piac a műsorvevő készülékek számára is ilyen minőséget fog követelni.

III. Az újabb alkalmazási területen megkívánt vákuumtechnikai eszközök

A háború előtt használatban volt rádiókészülékek alsó hullámhossz határa 10 méter volt. Tíz méter alatt a normál rádiócső nem működik jól. Ennek okai közismertek.

A csövek működési határát ki lehetett terjeszteni a rövidebb hullámok felé az elektródok méreteinek csökkentése és az elektródok távolságának redukálása útján. A miniatűrcsöveknél a hullámhossztartomány pl. 1 méterig volt kiterjeszhető.

A tárcsatriódáknál 10 cm hullámhosszig lehetett lemenni ; ezek gyártástechnológiája nehéz és költséges. Fontos tehát, hogy a klasszikus felépítésű csöveket úgy alakítsák ki, hogy működési hullámhosszuk az elérhető legkisebb legyen. A magyar csőfejlesztésnek ebben a kutatómunkában részt kell vennie és remélhető, hogy a klasszikus csövek 20–30 cm hullámhosszon még működőképesekek lesznek.

A második világháború alatt a miniatűrcsöveknél is kisebb méretű, ún. szubminiatűrcsöveket dolgoztak ki, amikor az első cél nem a rövidhullámú viselkedés javítása, hanem a méretek csökkentése volt. A kisebb méretek természetesen magukkal hozták a jobb rövidhullámú viselkedést is. A csövek további előnye a készülékbe való beforraszthatóság és ezáltal a kontaktus-zavarok számának csökkentése.

Jelenleg intenzív kutatómunka folyik az egész világon a szubminiatűrcsövek fejlesztésére. A kis méretek folytán ezek a csövek erősebben melegszenek, mint a normálcsővek, és így a velük szemben támasztott követelmények még súlyosabbak. A rendelkezésre álló irodalmi adatok szerint az említett nehézségek ellenére az 5000 órás élettartamot már elérték, és a 10 000 órás élettartam lehetősége sincs már messze.

A szubminiatűrcsövek komoly perspektívát nyújtanak, és ezért ezekkel a magyar elektroncsőfejlesztésnek foglalkoznia kell.

Azok a felhasználási területek, melyek új csőigényekkel lépnek fel, a következők :

1. a televízió,
2. a mikrohullámú sokcsatornás átviteltechnikai berendezések,
3. a frekvenciamodulált adó- és vevőcsövek, berendezések,
4. a számolócsövek stb.

1. A televízió

Ezen a területen a leglényegesebb a televíziós képcső kérdése. Az ezzel kapcsolatos műszaki kérdéseket Magó Kálmán előadása fejti ki. E helyütt csak megemlíteni kívánom, hogy a televíziós képcső magyarországi gyártása rádiócsőiparunk alapvető kérdése, mert a vevőcsőeladás mindinkább a televíziós készülékek felcsövezése felé tolódik el, és a képcső nélkül a többi vevőcső eladása is nehézségekbe fog ütközni.

Fontos feladata a magyar rádiócsőiparnak a televíziós készülékek egyéb vevőcsöveinek fejlesztése is, mert a televíziós készülékben a csövek túlnyomó része nem a hangvevőkészülékek áramköreiben működik, és így a velük szemben támasztott követelmények szigorúbbak és más természetűek.

Szükséges tehát a televíziós készülékekben alkalmazott kapcsolások gondos kielemezése, és a felhasználás szempontjából fontos csőtulajdonságok megjavítása.

2. Mikrohullámú sokcsatornás átviteltechnikai berendezések

A kérdést részleteiben Bognár Géza levelező tag fejti ki előadásában.

Ezek a berendezések a híradástechnikai ipar legfiatalabb és nagy elterjedésre számottartó alkotásai. A berendezések a normál elektroncsöveken kívül mind az adó, mind a vevő oldalon különleges csöveket igényelnek (klisztronok, haladóhullámú csövek, turbátorok stb.). A berendezések fejlesztéséhez szükséges szellemi felkészültség hazánkban megvan, újszerű megvalósítási gondolatok is jelentkeznek, ezek azonban szorosan kapcsolódnak bizonyos csőigényekhez. A csövek magyarországi kifejlesztése önmagában nem rentábilis, a berendezések fejlesztése azonban párhuzamosan folyó csőfejlesztés nélkül nem lehetséges. A mikrohullámú sokcsatornás berendezésekben mutatkozó nagy exportlehetőségekre való tekintettel a szükséges csőfejlesztési költségek a berendezés fejlesztési költségeibe kalkulálандók be.

Ezen a területen bizonyos lehetőségeink vannak a külföldi színvonal túlszárnyalására.

3. Frekvenciamodulációs adás és vétel

A frekvenciamoduláció jelentősége közismert. Az alkalmazott áramköri megoldások az eddigi elektroncsőtípusokkal is megoldhatók ugyan, de újszerű, egyébként klasszikus technológiájú elektroncsövekkel lényeges áramköri egyszerűsítések érhetők el. Ennek megfelelően az utolsó években fejlesztésre került a 6BN6 és EQ80 típusjelzésű frekvenciadetektor. Különösen előnyös tulajdonságú a 6BN6 típusjelzésű cső, amelynek segítségével sok áramköri elem, valamint egy egész erősítő fokozat is megtakarítható. A típus más különleges alkalmazási területen is nagyon jól használható.

E két csőtípust azért említem meg, mert felépítési módjuk és működési mechanizmusuk lényegesen különbözik a korábban kialakult csőtípusokétól és rávilágít az elektroncső további fejlesztési lehetőségeire.

A 6BN6 csőtípusról azért is meg kívántam emlékezni, mert ezen cső kifejlesztésének elméleti és kísérleti alapjait hazánk fiának, Zakariás Imrének munkája adta meg, amint ezt a cső feltalálója, Adler is elismeri.

4. Számolócsövek

Komoly fejlesztési mozgalom tapasztalható a dekadikus számolócsövek területén. A mindjobban elterjedő elektronikus számológépek rendszeren kettes számrendszert alkalmaznak és nagyon nagyszámú elektroncsövet tartalmaznak. A készülékek egyszerűsítésének céljából több különböző speciálisövet fejlesztettek ki olyan tulajdonságokkal, hogy egyetlen cső egy teljes számoló áramkört tud pótolni.

Eddig a számolócsöveknek három különböző csoportja alakult ki, ezek :

- a) a gáztöltésű csövek,
- b) a katódsugaras számolócsövek,
- c) az ún. trochotronok, amelyek mágneses teret is alkalmaznak.

Sokat ígérőnek mutatkozik a Philips EIT katódsugaras számolócső. Előbb-utóbb e csövek kidolgozása is szükségessé fog válni.

IV. Az új technológiai lehetőségek kihatása az elektroncsövek fejlődésére

Jelentős fejlődés mutatkozik a katódok területén. Sok közlemény jelenik meg az ún. készletkatódokról, a boridkatódokról és egyéb katódmegoldásokról.

Gyökeres változást látszik hozni az elektroncsövek felépítésében az üveg helyettesítése kerámiával és a kerámia és fém üvegnélküli, vákuumbiztos összeforrasztásának megoldása.

A fém—kerámia technológiai kialakulása méret pontosabb, kisebb méretű, nagyobb hőállóságú, rövidhullámokra alkalmasabb csövek felépítését teszi lehetővé. Ez a technológia az új, nagyobb specifikus emissziójú katódokkal kombinálva korszerűbb adócsövek készítését fogja lehetővé tenni kisebb méretekkel, kevesebb energiafogyasztással.

Az adóberendezések fejlesztése ugyanúgy, mint a mikrohullámú sokcsatornás berendezéseké csak párhuzamosan folyó csőfejlesztéssel érhető el, mert a legkorszerűbb nagyadócsöveket külföldről sohasem fogjuk tudni beszerezni. A nagyadócsövek fejlesztési költségei szintén a berendezések fejlesztési költségeibe kalkulálандók be.

V. Mennyiben befolyásolja a tranzisztorok megjelenése az elektroncső fejlesztését

A tranzisztor-kérdésről Szigeti és Klatsmányi számolnak be. Kétségtelen, hogy amennyiben kialakul a tranzisztorok gyártásának megbízható reprodukív technológiája, úgy a tranzisztorok a csőnek nagyon komoly versenytársai lesznek. Az a tény, hogy a tranzisztorok fűtőenergiát és fűtőkört nem igényelnek, anódáramfogyasztásuk lényegesen kisebb, mint a vákuumcsövéké, a működé-

sükhöz szükséges anódfeszültség is kisebb, a tranzisztoroknak fölényt biztosít a vákuumcsövek felett. Jelenleg a tranzisztorok felső működési frekvenciája még kicsiny, zajuk nagyobb, mint a vákuumcsöveké, magasabb hőmérsékletű környezetben nem használhatók. Mindez azonban nem jelenti azt, hogy ez végleges állapot lenne. Kétségtelen viszont, hogy a tranzisztorok konkurenciája a vákuumcsövek fejlődésének is új lökést fog adni.

Feladatainkat csak a jelenlegi helyzetnek megfelelően tűzhetjük ki, és ez a csőfejlesztés elhanyagolását, vagy akár csak lassítását nem engedi meg. Annál is inkább erre az álláspontra kell helyezkednünk, mert a tranzisztorok és vákuumcsövek minden bizonnyal együttesen fogják az elektronikát szolgálni, és mindegyik azt a helyet fogja elfoglalni, amelyre adottságánál fogva alkalmasabb.

Összefoglalás

Az elmondottak alapján a magyar elektroncsőfejlesztés legfontosabb feladatait a következő pontokban foglalhatjuk össze :

1. Az elektroncsövek megbízhatóságának növelése.
2. A csőparaméterek szórásának csökkentése.
3. A klasszikus elektroncsövek alsó hullámhossz határának kiterjesztése 20—30 cm hullámhosszig.
4. A megbízhatóság követelményeinek eleget tevő szubminiatűr csősorozat kidolgozása.
5. Televíziós és FM vevőkészülékek csöveinek a felhasználási módnak megfelelő legkedvezőbb kialakítása
6. Jó minőségű televíziós képcsövek kifejlesztése.
7. Mikrohullámú sokcsatornás átviteltechnikai berendezések speciális csöveinek (klisztron, haladóhullámú cső) intenzív kutatása.
8. Korszerű nagy adócsövek kutatása és fejlesztése új technológiák alapján.
9. Vákuumtechnikai technológiai kutatás.

A fenti felsorolásból sok olyan téma hiányzik, amely egyébként az elektroncső területéhez tartozik. Nem szerepelnek pl. számolócsövek, tárcsatriódák stb., tekintettel arra, hogy e téren kutatási és fejlesztési lehetőségeink korlátozottak. Fel kell mérni erőinket és azután kell megállapítanunk, hogy mibe kell bekapcsolódnunk, mit válasszunk, illetőleg mire összpontosítsuk erőfeszítéseinket. Adottságainknak megfelelően arra kell törekednünk, hogy kutatási és fejlesztési kapacitásunkat olyan gyártmányok kidolgozására fordítsuk, amiből sokat forgalmazhatunk és így hazánknak és magyar népünknek legjobban szolgálhatunk.

A MIKROHULLÁMÚ RÁDIÓÖSSZEKÖTTETÉSEK ELEKTRONCSÓ-KÖVETELMÉNYEI*

BOGNÁR GÉZA levelező tag

A mikrohullámú rádióösszeköttetéseket televíziós műsor és több száz telefoncsatorna átvitelére alkalmazzák. A nagytávolságú telefonösszeköttetések számának növelését a távválasztás bevezetése teszi szükségessé. A televíziós összeköttetések szükségessége abból adódik, hogy a televíziós adók csak az optikai átlátásnak megfelelő területet sugározzák be és az országos televíziós műsor-szolgáltatás csak televíziós adóhálózat kiépítésével valósítható meg. A mikrohullámú rádióösszeköttetés alkalmazása a hasonló célokra szolgáló koaxiális kábelösszeköttetéssel szemben lényeges anyag- és költségmegtakarítást eredményez. Hátránya, hogy a jel/zaj viszony atmoszferikus behatásoktól függ és a működési idő egy bizonyos, a méretezéstől függő részében a zajok meghaladják az előírt értéket.

A szélessávú vezetékes átviteltechnikának nagymértékű fejlődése, a kábel-erősítőkben tranzisztorok alkalmazása nagymértékben fokozza az erősítők üzembiztonságát és lényegesen egyszerűsíti azok áramellátását. A gazdasági szempontokból való összehasonlítás éppen ezért fokozott követelményeket támaszt a mikrohullámú rádióösszeköttetésekkel szemben.

A mikrohullámú rádióösszeköttetésekénél a terjedést atmoszferikus behatások befolyásolják. A nagyfrekvenciás energiának hullámvezetőben vagy felületi vezető mentén való terjedése egészben vagy részben kiküszöbölheti az eső és köd befolyása következtében fellépő csillapításokat és a többutas terjedés kizárásával megszünteti a fading csillapítást. A hullámvezető atmoszferikus behatástól mentes terjedési viszonyai lehetővé teszik a kis jel/zaj viszonyra méretezett kód modulációs összeköttetés alkalmazását, ami az adóteljesítmény lényeges csökkentésére ad módot.

A sokcsatornás telefon és a televíziós műsor átvitelére szolgáló mikrohullámú rádióberendezések postai forgalom szempontjából azonosak lehetnek. A trónk áramkörök telefonbeszélgetési igénybevétele a nappali órákban éri el a csúcsgalimat, ezért a trónk áramkörök szaporítása a nappali csúcsgalomban indokolt. Az esti órák forgalmát megfelelő tarifapolitikával, a kábel- és lég-

* A Híradástechnikai Konferencián, 1954. május 6-án elhangzott előadás.

vezeték-hálózat is le tudja bonyolítani. A mikrohullámú rádióösszeköttetések a meglévő kábel- és légvezeték-hálózattal párhuzamosan alkalmazva, a csúcsforgalomban csökkentik a várakozási időt és lehetővé teszik a választás automatizálását; a távválasztást. Az esti órákban felszabaduló mikrohullámú összeköttetések a televíziós adóhálózat műsorellátását szolgáltatathatják.

A mikrohullámú rádióösszeköttetések jellemző adatai meghatározzák az alkalmazott elektroncsövekkel szemben támasztott követelményeket. Az elektroncsövekkel szemben támasztott követelmények meghatározására fizikai és technológiai szempontokból meg kell vizsgálni a rendszer, az optimális hullámhossz, a moduláció, a szükséges nagyfrekvenciás teljesítmény, az átviendő sávzélesség és az üzembiztonság kérdéseit.

Rendszer

A mikrohullámú rádióösszeköttetés ismétlő (relé) állomása legegyszerűbb megoldásban vevőből és adóból áll.

A vevő demodulálja a vett jelet és a demodulált jel modulálja az adót. Az ismétlő állomások adó- és vevőegységei megegyeznek kivételben a végállomások adó- és vevőegységeivel.

Hosszú mikrohullámú láncoknál az ismételt demodulálás és modulálás következtében a jelek meg nem engedhető torzulást szenvednek, ezért az ismételt demodulálás és modulálás elkerülésére erősítő jellegű ismétlő állomásokat alkalmaznak. Az erősítés történhet középfrekvencián vagy mikrohullámon. Középfrekvencián való erősítésnél a középfrekvenciát keveréssel állítják elő, majd az erősítés után újabb keveréssel, úgynevezett magasszintű keveréssel hozzák létre az adófrekvenciát, amelyet mikrohullámú erősítő erősít a szükséges teljesítményre.

A mikrohullámú erősítés nem történhet közvetlenül, mert a rendszer az antennákon keresztül begerjed, ezért keveréssel a vevőfrekvenciától eltérő adófrekvenciát kell előállítani.

A nagytávolságú mikrohullámú összeköttetések korszerű megoldása az erősítő típusú ismétlő állomás.

Optimális hullámhossz

Az irányított sugárzású rádióösszeköttetések nagyfrekvenciás teljesítmény kihasználása az irányítás mértékétől függ. Annál jobb, minél nagyobb a sugárélesség és minél nagyobb a hatásos vevőfelület.

A sugárélességet a hullámhossznak és az irányító felület átmérőjének viszonya szabja meg. A méret megállapításánál figyelembe kell venni a megengedhető mellékhurok csillapítást és a hátra sugárzást.

A mikrohullámú rádióösszeköttetéseknel alkalmazott irányító felület általában forgási paraboloid tükör, vagy fémlencsével korrigált tölcserányítás. Az irányító felület méreteit a technológiai megvalósítás lehetősége, a méretpontosságnak a hullámhossztól való függése szabja meg. Ezen felül az irányító felület mérete szélnyomás szempontjából befolyásolja a tartóoszlop vagy torony méreteit. Fenti tényezőket a méretnövelésből származó hatások növekedéssel összevetve, nagytávolságú összeköttetéseknel a gyakorlatban kb. 3 m átmérőjű irányító felületeket alkalmaznak. A műszaki szempontokból korlátozott sugárzó méret mellett a nagyobb sugárélesség csak a hullámhossz csökkentésével érhető el.

A mikrohullámú rádióösszeköttetések frekvenciáit az Atlantic City-i egyezmény határozta meg. Az Atlantic City-i konferencia idején a mikrohullámú rádióösszeköttetések még nem voltak kifejlődve. Nem állott rendelkezésre kellő tapasztalat az atmoszferikus tényezőknek a mikrohullámok terjedésére való befolyásával kapcsolatban.

Erre jellemző, hogy a második világháború végén repülőgépről való térképezés és vadászrepülőgép célzó lokátorok számára a 1,25 cm hullámhosszat vezették be, mely frekvencián a levegő vízgőztartalma következtében abszorpciós maximum lép fel. Ezért kívánatos, hogy a kellő tapasztalat nélkül kijelölt és műszakilag nem megfelelően alátámasztott hullámsávok revidiáltassanak az azóta nagyszámban üzembehelyezett mikrohullámú rádióösszeköttetések üzemi tapasztalatai alapján.

Az Atlantic City-ben kijelölt hullámsávoktól eltekintve, a hullámhossz rövidítésének az atmoszferikus tényezők befolyásából eredő csillapítás szab határt. A normál állapotú atmoszféra csillapítása frekvencia függő. 3 cm-es hullámhossz felett az összeköttetés szempontjából nem bír jelentőséggel.

Lényegesen nagyobb csillapításértékek lépnek fel a rövidebb hullámhosszaknál eső és köd esetén.

Az atmoszferikus tényezők következtében fellépő csillapítás maximális értékének figyelembevétele a mikrohullámú rádióösszeköttetés adóteljesítményének számításánál igen nagy, gazdaságosan nem megvalósítható teljesítményre vezet. Ezért a méretezés alapjául olyan csillapításérték szolgál, amelynél nagyobb az év egy kis részében pl. : 0,01 százalékban lép csak fel. Az optimális hullámhossz megválasztásához adott földrajzi helyen az atmoszferikus csillapítás hosszabb időn keresztül való mérése szükséges.

Irodalmi adatok alapján, kontinentális, mérsékelt éghajlat mellett, a 6 cm körüli hullámhossz adódik optimálisnak nagytávolságú rádióösszeköttetések céljára.

Jelentős kihatással van az irányított sugárzású rádióösszeköttetések méretezésére az atmoszféra refrakciójának ingadozása. Deciméteres hullámokon ez a földről visszavert és a közvetlen sugárzás útkülönbségének ingadozását vonja maga után, ami fading-jelenségekre vezet. Centiméteres hullámoknál a földről reflektált hullám hatása csekély, azonban az atmoszféra inhomogenitása követ-

keztében keletkezett rétegek a rövidebb hullámokat hullámvezetőként vezetnek és a többutas terjedés interferenciájának eredményeképpen fading jelentkezik. Ilyen rétegek kialakulására a nyári hónapok éjjel és napkelte közötti napszakai kedvezők, amely időszakban a csillapítás a legnagyobb értékét éri el. Forgalmi szempontból az éjféltől napkeltéig terjedő szakasz kevésbé jelentős, ezért az ekkor fellépő fading nem okoz forgalmi zavarokat. A fading figyelembevétele a méretezésnél, az egyéb atmoszferikus behatások figyelembevételéhez hasonlóan olyan csillapításértékkel történik, amelynél nagyobb csak az év egy kis részében pl. : 0,01 százalékban lép fel. Ez a méretezés kielégítő, mert az évhez viszonyítva mindössze kb. 50 percet jelent. Az év 0,01 százalékában fellépő fading mélysége a centiméteres hullámoknál kevésbé frekvencia függő. Adott összeköttetésnél 10 cm hullámhossz esetén 25 dB, 3 cm hullámhossznál 27 dB. A fading jellege, lefolyása azonban erősen frekvencia függő. 10 cm hullámhosszra lassú változások, 3 cm hullámhosszra rövid periódusú gyors esések jellemzők. Az atmoszferikus csillapításra eső teljesítményvesztés az összeköttetés egy szakaszára vonatkoztatva 1–2 dB-t tesz ki, ami a fading jelenségekből eredő 25 dB-es csillapítás mellett elhanyagolható.

Kistávolságú mozgó összeköttetéseknél az atmoszferikus behatások szerepe kevésbé jelentős. Ilyen kistávolságú összeköttetés lehet pl. a televíziós stúdió, illetőleg adóállomás összeköttetése külső közvetítés helyszínével. Ebben az esetben a hordozhatóság szempontjai a tükrözés méretcsökkentését írják elő. A tükrözés méretcsökkentése a hullámhossz rövidítését vonja maga után. Az alkalmazott hullámhossz 3–4 cm körüli lehet.

A hullámhossz csökkentésének határt szabó tényezők között meg kell említeni a nagyfrekvenciás teljesítmény előállítására szolgáló csövek működési stabilitásának és hatásfokának kérdését. Mint ismeretes, centiméteres hullámok előállítására a klasszikus elektroncsövek működési elvétől eltérő csöveket alkalmaznak. A triódák hatásfoka a hullámhossz csökkenésével rohamosan romlik. Ennek ellenére az első igen nagy távolságú összeköttetést a működési stabilitás szempontjainak előtérbe való helyezésével, trióda erősítővel építették meg.

A mikrohullámú csőtechnika jelenlegi fejlettsége biztosítja megfelelő stabilitású és teljesítményű mikrohullámú rezgéskeltő és erősítőcső alkalmazhatóságát.

Modulációs rendszer

A modulációs rendszer megválasztásánál célszerű a sokcsatornás telefónia és a televíziós műsor átvitelének szempontjait egyeztetni. A sokcsatornás rendszerekben a beszédcsatornák szétválasztását frekvenciaosztással vagy időosztással oldják meg. Alkalmazható a két multiplex elv kombinációja is. A frekvencia multiplex rendszereknél az átvételhez szükséges sáv szélesség alig valamivel több, mint az egy beszédcsatorna sáv szélességének és a csatornák számának

szorzata. A frekvencia multiplex rendszer átvitele a mikrohullámú rádióösszeköttetéseknel frekvencia-modulációval történik. A frekvencia-moduláció előnye a rádióösszeköttetés szempontjából az, hogy közvetlenül csatlakozhatik a vezetékes rendszerhez anélkül, hogy a beszédcsatornák lebontása, demodulálása és újra felépítése, illetőleg modulálása szükségessé válna. A szélessávú frekvencia-moduláció kedvező a televíziós műsor átvitele szempontjából is.

Az időmultiplex rendszer modulációs módja az impulzus-moduláció. Az impulzus-modulációnál az impulzus-sorozat valamelyik jellemzőjét, pl. helyét, szélességét befolyásolja a moduláló jel. Az impulzus kód modulációnál impulzus-csoportok tartalmazzák az átviendő jelre vonatkozó információt. Az impulzus-moduláció előnye, hogy az áramköreiben alkalmazott csövek főleg kapcsolási funkciókat végeznek és ezért a lineáritási és feszültségstabilitási követelményei jóval kisebbek, mint a frekvencia-modulált rendszereké. További előnye, hogy magnetron típusú rezgéskeltők jó hatásfokkal állítanak elő nagyfrekvenciás energiát impulzus-modulációval. Hátránya, hogy a sáv szélesség kihasználása kedvezőtlenebb, mint a frekvencia-multiplex rendszereké.

Az impulzus kód modulációnál a kódok előállítására bonyolult áramkörü elemeket alkalmaznak. Ezzel szemben az átvitelhez szükséges nagyfrekvenciás jel/zaj viszony lényegesen kisebb lehet, mint egyéb modulációs rendszereknel. A kód modulációnak ezt az előnyét a rádióösszeköttetés nem használhatja ki teljes mértékben. A rádióösszeköttetések méretezése abból indul ki, hogy a jel/zaj viszony a működési idő kis hányadában meghaladhatja az előírt értéket. Ez esetben a zajnívó átmenetileg emelkedik és kismértékben rontja az érthetőséget. Kis jel/zaj viszonyra méretezett összeköttetésnél, nagy fading beütés esetén a jel eltűnik a zajban, az összeköttetés megszakad. Tehát kód modulációnak a rádióösszeköttetésnél való alkalmazása esetén az adó teljesítményét az előfordulható legnagyobb fading-csillapításnak megfelelően kell méretezni. Ezzel az áramkörök bonyolításával nyert előny egy része elvész.

Nem használható ki teljes mértékben a kód modulációnak az az előnye sem, hogy nagyobb számú reléállomás alkalmazásánál a zaj csak kismértékben nő a kvantálási zaj fölé. A relé lánc egyes szakaszait ugyanis a megengedhető legnagyobb fading-csillapításra kell méretezni, azonban feltételezhető, hogy a legnagyobb fading nem lép fel egyidejűleg valamennyi szakaszon. Ez esetben frekvencia-modulációnál, ahol az egyes szakaszok zajteljesítményei összegeződnek, zaj szempontjából csak annyi szakaszt kell figyelembe venni, ahány helyen a fading egyidejű fellépése valószínű.

Fenti szempontok alapján a frekvencia és impulzus kód modulációt összehasonlítva a kód moduláció előnyei a frekvencia-modulációval szemben csak igen nagyszámú ismétlő állomás alkalmazásnál mutatkoznak.

Elektroncső-követelmények

A tárgyalt szempontok figyelembevételével végzett számítás alapján, a nagyfrekvenciás végerősítő cső követelményei a következők:

Frekvenciája : 5000 Mc.

Teljesítménye : 1–2 W.

Erősítése : kb. 20 dB.

Sávszélessége : 20 Mc.

Élettartama legalább 3000 óra legyen.

HOZZÁSZÓLÁSOK

NOVÁK ISTVÁN

Hozzászólásomban a hálózattervezési szempontokra kívánok rámutatni. Mindenekelőtt röviden érintem a mikrohullámú rendszerek szerepét a távközlési hálózatban.

Gazdaságosság szempontjából a mikrocsatornákat a kábelrendszerekkel hasonlítva össze, első pillanatban igen kedvező képet kapunk a mikrorendszerek javára. A berendezések beruházási költségei aránytalanul kisebbek a vezetékanyagokban elérhető megtakarításnál. Ugyanakkor azonban a városi centrumoktól távol eső antennaépületek építési költségei, ugyanott az áramellátás biztosítása, továbbá a végállomásoknak az interurbán központtal való összekötése nagyszámú hangfrekvenciás áramkörrel a mérleg képét már lényegesen kedvezőtlenebbül alakítja.

Ennek ellenére amilyen vitathatatlanul kedvezőek a beruházási költségek a mikrorendszerek javára, ugyanolyan vitathatatlanul a visszatérő fenntartási költségek a kábelrendszerek számára kedvezőek.

Az összehasonlítás másik síkját a biztonsági kérdések képezik. Itt a kábel lényegesen kedvezőbb. Mindenekelőtt a titkosság teljes mértékben biztosítható, túlsugárzások nincsenek, ami különösen határmenti telepítéseknél veendő számításba. Külső természeti behatások, pl. villámcsapás ellen a kábel kellően védett. Nem mondható el ugyanez a magaslati helyeken levő tornyokról. Ellenséges beavatkozások egy torony lerombolásával teljes forgalmi irányokat igen hosszú időre megbéníthatnak. A kábel helyreállítása napok kérdése, az erősítőállomások pedig mobil szerelvényekkel vagy a kiesett mezők ideiglenes átkapcsolásával üzemeltethetők.

E szempontok magyarazzák, hogy egyetlen ország sem alapozza hírközlését kizárólagosan mikrocsatornákra. A vezetékes hálózat építése ma is minden államban folyik, költséges koncentrikus kábelek épülnek, ugyanakkor azonban a meglévő áramköri irányok *bővítése* mikrocsatornákkal történik.

A helyes tervezési irányt fentiek figyelembevételével nekünk is az alábbiakban kell látnunk:

1. Meglevő, megtelt vagy elavult távkábel főirányainkat párhuzamos mikrocsatornákkal üzemeltetjük, mert így egyesül a kábel üzembiztonsága a mikrocsatorna gazdaságosságával.

2. A mikrocsatornákat használjuk fel a hálózat szűk keresztmetszeteinek feloldására a másodrendű hálózatban is. Ez nálunk a mezőgazdasági fejlesztési programot tekintve második felhasználási területként a megyei és járási hálózatokat jelöli ki.

3. A kulturális célokat szolgáló, tehát kiesésekkel szemben türelmesebb televíziós hálózatot a teljesen új gépi gyártó berendezést igénylő koncentrikus kábelek helyett mikrohullámú csatornákkal építjük ki.

Fentiek tekintetbevételével a mikrocsatornákra irányuló igények a következők:

1. Szükség van olyan több száz csatornát hordozó összeköttetésekre, melyek a televíziós irányokkal esnek egybe. Ezek az irányok Budapestet a gyűjtő központokkal kötik össze és ily módon bővítik a megtelt régi távbeszélő kábeleket. A kerülő utakat beszámítva 500 km-es nyomvonal hosszal számol-

hatunk. Az előadás rámutatott arra, hogy itt a műszaki megoldást az FM rendszer adja. Távbeszélő szempontból ennek nagy előnye, hogy a négyhuzalos utak közvetlenül nagyfrekvenciásan egymásba csatolhatók, tehát a sokcsatornás kábeláramkörök berendezései az erősítőállomásokon maradnak, melyet csak kis érpárszámú vivőfrekvenciás kábel köt össze az adóval, mely természetesen az antenna közvetlen közelében van.

2. A nagy csatornaszámú FM rendszerek mellett szükségünk van olyan összeköttetésekre, melyek egyenáramú távválasztásra alkalmas módon a megyeszékhelyeket a járási székhelyekkel kötik össze. Ezek hossza 100 km alatt marad, tehát egy közvetítő állomással számolhatunk. Az áramkörszám 30–40-re tehető, mely azonban megsapolható kell hogy legyen.

Ezen követelmények megvalósítására ideális a PPM rendszer, mely nem igényel költséges végberendezéseket, a hívás magán a rendszeren történik, tehát egyenárammal közvetlenül áttárcsázható és akár csatorna egységenként leágaztatható. A PPM rendszer egyszerű végberendezései miatt gazdaságilag is rendkívül kedvező. Míg a vivőfrekvenciás kábelek gazdaságossága 25 km-nél kezdődik, a PPM/24 rendszer már 15 km-nél olcsóbb a hangfrekvenciás kábelnél. Az impulzusrendszerek nagyobb zörejszintje e másodrendű rövid hálózatban nem jelent problémát.

3. Harmadik igénylő területünk, a járási hálózat 20–30 km-es hosszakkal, 8–10 áramkörrel. A probléma és a megoldás az előző pontéval azonos, de áttevő állomásra nem lesz szükségünk.

Visszatérve a rendszer elvi kérdéseire: a távbeszélő áramkörök fő problémája a kis zörejszint. A $-0,8$ néperes szintpontokon $1 \text{ mV}/600 \text{ ohm}$ lehet a zörejfeszültség. Ha ezt az értéket áramkörhosszra számítjuk át, a CCIF azon ajánlásából kell kiindulnunk, mely a 2500 km-es normál áramkörre engedi meg ezt a zörejt. Ez teljesítményben zérus szintre átszámítva, 1% valószínűséggel átlépett $10\,000 \text{ pW}$ -nak felel meg. A normál áramkörnél $\frac{1}{4}$ rész jut a berendezésekre, $\frac{3}{4}$ rész az útra. Ez 7500 pW , tehát $2\text{--}3 \text{ pW/km}$ a csatorna zöreje. Ha biztonsággal 2 pW -ot veszünk és 40 km -es átlagmezővel számolunk, csatornánként $-8,4$ néperes szintet kapunk. Az 500 km -es áthidalandó távolságok mellett 600 csatornát feltételezve végső kiépítésként, a 2 W -os adóteljesítmény még akkor is elégséges, ha az I. sávban maradunk, azonban még $0,7$ néperrel csökkenthető, ha a haladó hullámú cső megteremtésével a III. sávba tudunk lemenni. Nem értek egyet az előadás azon részével, mely 25 dB -s halkulást irányoz elő mezőnként. Azt hiszem, ez az érték túl magas. Troposzféra időjárási viszonyok nem lesznek egyidejűleg az egész összeköttetés mentén, hanem külföldi adatok szerint legfeljebb 2 mezőben lépnek fel egyidejűleg. A német video hálózatot mezőnként 12 dB -s halkulásra tervezték.

Rá kell még mutatni arra, hogy a távbeszélőüzemben döntő fontosságú követelmény az üzembiztonság. Minél nagyobb a rendszer által hordozott csatornaszám, annál magasabbak a biztonság iránt támasztott követelmények. Ha egy FM rendszerben egyetlen cső meghibásodik, 600 csatorna eshet ki. Ez ismét a haladó hullámú cső kifejlesztését húzza alá, mert amíg egy kábelösszeköttetésnél kb. $0,1$ cső jut 1 km -re, addig egy FM összeköttetésnél $0,5$ cső/km-rel számolhatunk, már pedig épp Winter elvtárs az előző előadásban mutatott rá arra, hogy a berendezések hibáinak 70% -át csőhibák okozzák.

A csövektől magasabb élettartamot várunk és a berendezés konstrukciónak kell gondoskodnia olyan preventív riasztásokról, melyek a cső öregedését és a csere szükségességét előre jelzik.

Befejezésül a mikrorendszerek áramellátásáról is beszélünk kell. Energia-hálózatunk üzembiztonsága sok kívánni valót hagy maga után és az áramkiesések ma egyik legnagyobb gondunkat képezik. A megoldást a saját áramfejlesztők vonalán és valószínűleg a szélmotorokban kell keresnünk, mint ahogy a külföldi törekvések is arra irányulnak, hogy a toronyállomásokat önellátóvá tegyék. 4 km-es szélsébség a hegyeken feltétlenül remélhető. Ez esetben napi 50 kW órával, tehát 2 kW átlag termeléssel számolhatunk. A rendszertől tehát azt kell követelnünk, hogy saját fogyasztása ezen összérték töredékén belül maradjon, ami ismét a haladóhullámú csőre utal.

A szempontok, amelyekre igyekeztem rámutatni, nemcsak belföldi szempontok, hanem általánosságban az üzemeltető szempontjai. Technikai fejlődésünk e legújabb ága akkor lesz komoly exportértékünk, ha a biztonsági követelményeket messzemenően érvényesítjük.

WILLONER GEDEON, a műszaki tudományok kandidátusa

Az elhangzott előadás rávilágít a mikrohullámú relé esőkövetelményeinek és a modulációs rendszer megválasztásának kapcsolatára is. E témakör kiégyesítését adják az álbibiak.

Nagy távolságok áthidalása előtérbe hozza a zajproblémát. Sok ismétlőállomás lánckapcsolása mellett minden egyes átviteli szakasz újabb zajnak forrása és az egyes zajteljesítmények összegeződnek. Ezért a részösszeköttetések kvalitása lényegesen jobb kell legyen a teljes összeköttetés kvalitásánál.

A zaj elleni küzdelem szorosan kapcsolatos a modulációs rendszerek fejlődésével. Jelentős lépés e téren a frekvenciamoduláció bevezetése, mellyel első ízben sikerült jel/zaj viszonyt sáv szélesség rovására növelni.

Később az impulzusmoduláció nyit új lehetőségeket. A kommunikáció letér a folyamatos jelátvitelről és a beszédáramokat mintavételekkel rögzíti. A jel/zaj és sáv szélesség felcserélhetőségét az impulzusmoduláció ugyanazon mértékben hasznosítja, akárcsak a frekvenciamoduláció. Innen e két rendszer elsőbbsége körüli vita.

A zajmentesítést az impulzustelefónia fejlődése során a kvantálás bevezetése hozta meg. A kvantálás lényege, hogy a pillanatnyi beszédáramamplitudó pontos értéke helyett egy lekerekített, megközelítő érték kerül továbbításra. Csak előre meghatározott, véges számú különböző amplitudó közül választható ki a továbbítandó jel.

A kvantált amplitudó egyértelműen rögzíthető egy kóddal, vagyis olyan jelcsoporttal, melyben az impulzusok jelenléte vagy hiánya jellemzi a különböző értékeket.

A kódmoduláció táviratozással valósítja meg a beszédátvitelt. A beszéd információtartalma kizárólag a kód impulzusainak elrendezésében van jelen, erre viszont az átvitel folyamán bekövetkezett kismérvű jeltorzítás nincsen kihatással.

Így válik lehetővé az egymást követő ismétlőállomásokon a jel regenerálása, tehát a beérkező eltorzult jelek segítségével egy új, de az eredetivel azonos kód előállítás.

Amíg a jel/zaj nem süllyed egy meghatározott küszöbérték alá, addig nem összegeződik az egyes részösszeköttetések zaja, így az átvitel kvalitása független a teljes összeköttetés hosszától és az ismétlőállomások számától.

Ez a körülmény adja meg a kódmoduláció feltétlen elsőbbségét minden más modulációs rendszerrel szemben és hozza meg előbb-utóbb a kódmoduláció egyeduralgó helyzetét a mikrohullámú telefóniában.

Levonva a következtetést a csökövetelményekre, a kódmoduláció csökkent a mikrohullámú adó szükséges teljesítményét, noha a kis jel/zajú berendezések fokozott fading érzékenysége miatt e nyereség nem jelentős.

Döntő kihatás várható a kódmoduláció bevezetésével a modulációs áramkörök megvalósításánál. A nagyszámú impulzusáramkör természetes alkalmazási területét képezi a tranzisztorok, mely így a mikrohullámú kommunikációban is jelentős szerephez jut.

JANKOVICH LÁSZLÓ

A mikrohullámú összeköttetéseket nemcsak a kis üzemköltségek, hanem főleg a kis beruházási költségek indokolják.

Ha a kábelel átvitelnél a legkorszerűbb, tranzisztoros megoldásokat vesszük figyelembe — amelyek egyelőre még csak tervek — akkor indokolt a mikrohullámnál is a legmodernebb elveket párhuzamba állítani.

Így például a kábel nyilván csak akkor rendelkezik a tranzisztor nyújtotta összes előnnyel, ha a kábel mentén mindenhol ezt használjuk. A mikrohullámnál is csak akkor válik döntővé a haladóhullámú cső előnye — főleg a kis fogyasztásra és a jó hatásfokra gondolok —, ha *lehetőleg mindenhol* felhasználjuk és a kevésbé gazdaságos áramköröket kiküszöböljük.

A külföldi tapasztalatok és az irodalom alapján ez ma már gyakorlatilag megvalósíthatónak látszik például a következő módon: frekvenciamodulált átvitelt feltételezve, az adóoszillátor a haladóhullámú cső egyik újabb válfaja az úgynevezett visszahullámú (backward-wave tube) cső lehetne, mely a reflexklisztronhoz hasonlóan elektronikusan, széles sávban, lineárisan frekvenciamodulálható. Az innen kapott, tizedwatt nagyságrendű teljesítményt haladóhullámú végerősítővel 5–10 watt körüli értékre erősíthetjük és az antennára továbbíthatjuk.

Az ismétlődőállomás három haladóhullámú csőből állhatna, melyek közül az első kis-zajú. Az esetleg szükséges frekvencia eltolást egyetlen kvarcoszcillátorral lehetne megoldani, ami az összeköttetés haladóhullámú-csőves jellegét még nem befolyásolná.

A vevő minden mikrohullámú összeköttetésben kényes pont a gyártás és bemérés szempontjából. A klasszikus megoldás szerint keverőoszillátorból, önműködő frekvenciaszabályozó áramkörből, középfrekvenciás erősítőből, diszkriminátorból stb. áll. Mindezeket elkerülhetjük, ha megfelelő kis-zajú haladóhullámú csővünk van, mellyel az ismétlődőállomáshoz hasonlóan alkalmas nívóra erősíthetünk és ezután mikrohullámú diszkriminátorral detektálhatunk. A mikrohullámú diszkriminátoroknak számos alakja szokásos, egyelőre főleg az önműködő frekvenciaszabályozó áramkörökben alkalmazva.

A körvonalazott módon megvalósított összeköttetés tehát lényegesen egyszerűbb áramkörökből állhatna, mint az eddig szokásosak és ezzel együtt járna az az előny, hogy a szélessávu átvitel következtében a kellemetlen fáziszorításokat elkerülhetnők. Ugyancsak a sávzélesség nagy értéke miatt valószínűleg nyugodtan eltekinthetünk az önműködő frekvenciaszabályozó áram-

köröktől, mert az egész összeköttetés jóval szélesebb sávúra építhető, mint a továbbítandó modulációs spektrum.

Az elmondottak után nyitott kérdésnek tűnhet az esetleg párhuzamosan továbbított mikrohullámú csatornák szétválasztása, amire a távolabbi jövő és a továbbfejlesztés miatt gondolnunk kell. Ennek megoldására a legegyszerűbb út az, ha elegendően nagy mikrohullámú vivőfrekvencia alkalmazása esetén az adó után, illetőleg a vevő előtt sáváteresztő szűrőket helyezünk el, melyek biztosítják a modulációs spektrum továbbítását a megengedett frekvencia-ingadozások esetén is, de ezen a sávon kívül igen élesen levágnak. Ilyen szűrők a nagyobb mikrohullámú frekvenciákon könnyen megvalósíthatóak.

A kidolgozandó mikrohullámú csőtípusok tehát a kis-zajú cső, a teljesítményerősítő és a hangolható oszcillátor. Annak érdekében, hogy a rendszer-technikai és áramkörti fejlesztés folyamatosan történhessék, kívánatos, hogy először az egyébként is könnyebben kidolgozható teljesítményerősítő szülessék meg és ezután a kis-zajú és az oszcillátorcső.

A hullámhossz megválasztásánál számos szempont jelentkezik. Ezek közül csak egyre szeretnék rámutatni: a mikrohullámoknál alkalmazott hullámvezetők és hasonló szerelvények általában igen széles sávúak. A hullámhossz megválasztása tehát pusztán gazdaságossági szempontból akkor a legkedvezőbb, ha az azonos méretű szerelvényekkel és azonos típusú csövekkel átfogható hullámsáv teljes egészében felhasználható a CCIF szerint. Ilyen széles sávot a CCIF egyelőre csak egyet ajánl: az 5925—8500 MHz közötti sávot. Ennek hosszabb hullámú vége ideális a nagytávolságú összeköttetésekhez, a rövidebb hullámú vége pedig az olyan kistávolságú összeköttetésekhez, amilyenekre például a televíziós helyszíni közvetítésnél van szükség.

Érdemes azonban arra is gondolnunk, hogy a külföldi irodalomból ki-hámozható értesülések szerint ma már a sokkal rövidebb hullámhosszakat is komolyan tanulmányozzák a mikrohullámú átvitel szempontjából. Így elsősorban a 12 000 és a 40 000—60 000 MHz körüli frekvenciákat. Érthető okokból a legfontosabb kérdésről, a terjedési viszonyokról alig találunk adatokat. A tapasztalatok azonban nyilván kedvezőek, mert a kutatás ezeken a sávokon tovább folyik. Fontos körülmény az is, hogy éppen a haladóhullámú csövek igen célszerűen építhetők meg ezekre a legrövidebb hullámhosszakra. Egészen új konstrukciós elvek alkalmazásával találkozunk, melyekkel a klasszikus haladóhullámú csöveknél lényegesen jobb eredményeket értek el. Ezek közül itt csak az úgynevezett »hajtú« csövet említem, mely elektronikusan hangolható oszcillátor a 43 000—63 000 MHz sávra.

Felmerülhet az a kérdés, miért nem használunk esetleg más fajta csöveket? A triódák a legnagyobb nehézségekkel gyárthatók csak úgy, hogy a 4000 MHz körüli frekvenciákon működjenek. A transzkontinentális TD—2 rendszer ugyan triódákat használ, de ezt a rendszert közvetlenül a háború után tervezték, és akkor a haladóhullámú csővel még semmiféle tapasztalat nem volt. A néhány évvel később tervezett angol Standard és a francia S. F. R. berendezései már haladóhullámú végerősítővel és reflexklisztronnal működnek. Nagyon valószínű, hogy a jelenleg külföldön fejlesztés alatt álló berendezések már a kis-zajú haladóhullámú csöveket is felhasználják.

Rövidebb hullámhosszakon gyakorlatilag a haladóhullámú cső mellett a klisztron és a magnetron jöhet szóba. Mindkettő klasszikus alakja azonban elvileg keskenysávú, tehát nem a legjobb megoldás. Az újabban kidolgozott haladóhullámú magnetron is igen bonyolult a haladóhullámú csőhöz képest.

Ezenkívül ezek a csövek egymagukban nem képesek a mikrohullámú átvitel összes csőproblémáját korszerűen megoldani. A haladóhullámú cső egyszerű szerkezete olcsó gyártást tesz lehetővé és azonos elvi működés mellett az összes pillanatnyi szükséglet kielégítését várhatjuk, ha korszerű gyártását sikerül megoldanunk.

Összefoglalva: a sokcsatornás és a televíziós átvitelnek azonos vagy esetleg ugyanazon berendezéseken kell történnie. Olcsó és kifizetésű megoldások szükségesek. Célszerűnek látszik a haladóhullámú cső minél szélesebbkörű alkalmazása. Először teljesítményerősítőre, azután kis-zajú csőre, végül pedig modulálható mikrohullámú oszcillátorra van szükség. A frekvencia-tartomány egyelőre 6000 MHz tájékán választandó a CCIF-nek megfelelően, de már most vizsgálendő a 12 000 és 40 000 MHz tartomány, hogy a külfölddel lépést tarthassunk.

HALADÓHULLÁMÚ CSÖVEK PERSPEKTÍVÁJA A MIKROHULLÁMÚ TECHNIKÁBAN*

VALKÓ IVÁN PÉTER, a műszaki tudományok kandidátusa

A második világháború idejében a mikrohullámok technikája óriási lépésekkel haladt előre. Ez a fejlődés azonban a mikrohullámú jelek közvetlen erősítésének problémáját nem oldotta meg. Csaknem valamennyi olyan berendezésben, amelyet a múlt évtizedben fejlesztettek ki, a vétel oldalán kristálydiódás keverést és középfrekvenciás erősítést találunk. Mivel azonban a közvetlen mikrohullámú erősítés sok esetben hoz ma egyszerűsítést, az utóbbi években nagy energiával folyt a kutatás ilyen erősítő csövek kidolgozására. Ez a kutatás háromféle irányban is hozott eredményeket. Egyrészt sikerült a klasszikus elveken működő csövek konstrukciójának átdolgozásával, a »világítótorony«-alakú felépítéssel és az elektróda-távolságok végletekig menő csökkentésével olyan triódákat kidolgozni, amelyek több ezer Mc-on is jól erősítenek. Másrészt elővették a sebességmoduláció elvét, amely a gyakorlatban előbb a reflexklisztron néven ismert mikrohullámú oszcillátorban került alkalmazásra; és ugyanezen az elven szerkesztettek több-üreges erősítő klisztronokat. Végül pedig tanulmányozták a kölcsönhatást egy elektronnyaláb és vele közel azonos sebességgel haladó elektromágneses mező között; ezen az elven dolgozták ki a haladóhullámú csövet.

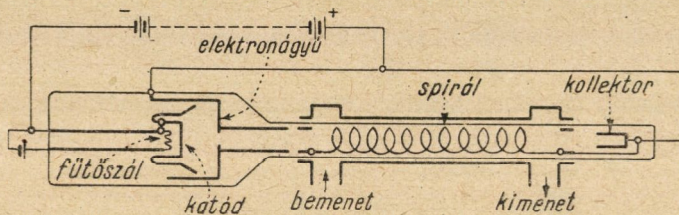
A három megoldást összehasonlítva úgy tűnik, hogy a haladóhullámú cső többféle célra alkalmas és kevésbé bonyolult, mint a másik két csőfajta. Ezenkívül van még egy elvi szempontból fontos különbség is. Akár ráccsal történik is a vezérlés, mint a triódában, akár üreggel, mint a klisztronban, mindenképpen fennáll az, hogy az elektronok pályájának a vezérlésbe eső része sokkal kisebb, mint a hullámhossz, az áthaladási idő pedig sokkal kisebb, mint egy periódus. Hogy mégis hatásos legyen a vezérlés, igen nagy térerősségre van szükség. Ezt csak kis csillapítású rezonátorokkal lehet biztosítani, ami együttjár azzal, hogy a sáv szélesség igen kicsi. Ezzel szemben, ha a tér együtt halad az elektronokkal, hatása huzamosabb ideig tart, több perióduson keresztül, tehát intenzitása csekélyebb lehet. Ezért a haladóhullámú csőben elvileg nem szükséges rezonáló elemek alkalmazása. Ennek következtében a sáv szélesség több

* A Híradástechnikai Konferencián 1954. május 6-án elhangzott előadás.

száz, esetleg több ezer Mc lehet, ami messze túlszárnyal minden lehetséges igényt.

Az 1. ábra mutatja a haladóhullámú cső elvi szerkezetét. Az elektronágyú lapos katódból, fókuszáló és gyorsító elektródákból áll. Az elektronok nagyfrekvenciás térben haladnak és végül a kollektor-elektrodára érkeznak. Az ágyú anódja, a kollektor és a nagyfrekvenciás teret fenntartó elemek azonos egyenfeszültségen vannak.

A cső felépítésében azt kell biztosítanunk, hogy az elektronok egész pályájukon ki legyenek téve az elektromágneses tér hatásának. Ez komoly elektronoptikai problémát vet fel. Olyan elektronnyalábot kell előállítanunk, amely



1. ábra

20—30 cm távolságban is változatlan keresztmetszetű marad. Valamilyen módon ellensúlyoznunk kell tehát az elektronok töltésének tasztító hatását. Ezért a csövet teljes hosszában egyenárammal mágnesezett tekercs vagy esetleg erős permanens mágnes terébe helyezzük.

Az elektronágyúból kilépő elektronok egyenesen sebességgel haladnak tovább. A sebesség értéke közelítőleg :

$$v = 6 \cdot 10^5 \sqrt{U_a} \text{ m/sec}$$

A vevőcsöveknél szabványosított 250 V anódfeszültségnél ez kb. a fénysebesség 30-ad részét, néhány ezer volt feszültség mellett kb. a fénysebesség 10-ed részét adja. Viszont az elektromágneses hullámok sebessége a párhuzamos szálakból, koaxiális kábelekből, csőtápvonalból álló vezető mentén általában megközelíti a fény sebességét. Módot kell tehát találni a hullámok lelassítására. Ha az elektromágneses hullámokat spirál alakú pályára kényszerítjük, a sebességnek a spirál tengelyébe eső komponense itt lecsökken, közelítőleg :

$$v = \frac{m}{2\pi \cdot a} C$$

értékre, ahol m a két szomszédos menet távolsága, a pedig a menet sugara. A hullámokat egyetlen spirál alakú fémszál vezetheti. Ha megvizsgáljuk a kelet-

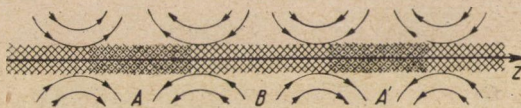
kező elektromos teret, látjuk, hogy a térerőnek valóban jelentős nagyságú tengelyirányú összetevője van (2. ábra). A hullámvezető spirálist úgy kell beépítenünk az elektroncső belsejébe, hogy szorosan körülvegye az elektronnyalábot.

Az erősítés folyamata a csőben úgy játszódik le, hogy az eredetileg egyenesen haladó elektronok a nagyfrekvenciás térerő hatására különböző sebességeket vesznek fel. Ennek következtében az elektronáramlásban váltóáramú összetevő lép fel, amely a térerővel arányos:

$$i = K_1 E.$$

Ennek a váltóáramnak viszont az a szerepe, hogy növeli az elektromágneses térben haladó nagyfrekvenciás teljesítményt. A növekedés dz szakaszon

$$dP = i E dz = K_1 E^2 dz.$$



2. ábra

A teljes haladó teljesítmény viszont minden pontban arányos a térerő négyzetével:

$$E^2 = K_2 P.$$

A teljesítmény növekedése tehát: $dP = K_1 K_2 P dz$.

A cső erősítése tehát a hosszának exponenciális függvénye.

$$P = P_0 \exp K_1 K_2 Z.$$

Mivel a közönséges tápvonalaknál a teljesítmény csökkenése függ exponenciálisan a hosszától, a haladóhullámú csövet tulajdonképpen olyan különleges tápvonal-darabnak kell tekinteni, amelynek negatív csillapítása van. A negatív csillapítást az elektronok jelenléte okozza, amelyek mozgási energiájuk egy részét átadják a nagyfrekvenciás térnek.

Nem foglalkozhatunk itt az erősítés elméletével és számításával: jegyezzük azonban meg, hogy az erősítés növekszik, ha nő a nyalábban az elektronok sűrűsége (nagyobb áram és kisebb anódfeszültség), valamint ha adott teljesítmény mellett nő a tengelyirányú térerősség.

Ebből a szempontból vizsgálva, a spirális mint hullámvezető nem ideális, mert nem koncentrálja a nagyfrekvenciás teret eléggé a tengely közelébe. Viszont nagy előnye az, hogy aperiodikus; a terjedési sebesség alig függ a frekvenciától. Ez teszi lehetővé a működést igen széles sávon.

Olyan hullámvezetőt, amelyben kicsi a terjedési sebesség, úgy is elő lehet állítani, hogy üregeket csatolunk hosszú sorban egymáshoz. A rezonáns frekvencia közelében az ilyen üregláncban nagyon lecsökken a terjedési sebesség. Ilyen üreglánccal is építenek csöveket. Ezek rövidebb mérettel nagyobb erősítést érhetnek el és egyéb különleges célokra is alkalmasak lehetnek, pl. oszcillációra, nagy teljesítményekre vagy egészen nagyfrekvenciás (milliméter hullámú) működésre. Ezzel szemben az üreglánc alkalmazása esetében a sávszélesség csekély lesz.

Ezért az ismert típusok túlnyomó részében spirális van. Ezekben általában egy-másfél dB körüli az erősítés, a hossz minden cm-ére számítva. Az anódfeszültség 1000—2000 volt körül van, az anódáram pedig 3—20 mA között változik. Ilyen az a kísérleti típus is, amelyet a Winter Ernő elvtárs vezetése alatt álló laboratóriumban dolgoztunk ki az 1950—51-es években Sebestyén Gábor és Váradi Péter munkatársaimmal.

A hazai kísérletek célja az volt, hogy tájékozódjunk a cső konstrukciós és működési adatai közötti összefüggésekről. Ezen munkák kapcsán sikerült tartós üzemre alkalmas kísérleti típust kifejleszteni, amelyből kis sorozat készült el. Az elektromos adatok a következők voltak :

Anódfeszültség 1200 V

Nyalábáram kb. 7 mA

Sávszélesség 100 Mc

Kimenő teljesítmény 100 mW

Zajtényező kb. 20—22 dB

Az alkalmazott spirál 0,4 mm \varnothing -jú molibdén drótból készült, 1 mm menetemelkedéssel, 4 mm magátmérővel. Az elektronágyú elektródáit antimágneses acélból préseltük, a gyújtóelektróda oxigénmentes vörösrézéből készült. A spirál egész hosszában kvarccső tartotta. Ennek merev helyzetét az biztosította, hogy egyik végével a gyorsító elektróda peremébe, másik végével a gyújtóelektróda peremébe ékelődött be. A működési vizsgálatok során 300 Gauss erősségű mágneses térrel gondoskodtunk arról, hogy a nyaláb körülbelül 20 cm-es útja mentén ne szóródjék szét. Ezt a teret a csövet körülvevő, egyenárammal táplált, nagyméretű tekercs szolgáltatta.

Térjünk át a haladóhullámú csővel kapcsolatos legfontosabb részletkérdésekre.

Mint minden mikrohullámú eszköznél, ennél a csőnél is problémát jelent az illesztés megoldása, vagyis a nagyfrekvenciás energia becsatolása és kicsatolása. Az illesztetlenség nemcsak azzal jár, hogy csökken az elérhető erősítés, hanem visszaverődés is keletkezik. A kimenetnél visszaverődött energia a vezetőn keresztül visszajut a bemenethez. Eközben nem történik erősítés, mert a visszafelé haladó irányban a hullám és az elektronnyaláb egymással szemközt fut. Mikor azonban a bemeneten újból visszaverődik az energia, a cső ezt ugyanúgy felerősíti, mint a hasznos jelet. Így begerjedés léphet fel. Hasonló problémával

állunk szemben, mint hosszú hullámon visszacsatolt erősítők stabilitásának biztosításánál. Ezért minél szélesebb sávon kell biztosítani a jó illesztést és ezen kívül valamilyen fogással arról is gondoskodni kell, hogy a visszavert hullám erős csillapítást szenvedjen.

A cső alkalmazhatóságának megítéléséhez még sok más tulajdonságot is figyelembe kell venni. Ilyen a hatásfok kérdése, előerősítésnél pedig a zaj mértéke.

Ismeretes, hogy a legideálisabb feltételek esetén is minden jel bizonyos zajjal keverve jelentkezik a vevőkészülék bemenetén. Ennek a termodinamikai okokból mindig jelentkező zajteljesítménynek a nagysága a frekvenciától független, de a sávzélességgel arányos :

$$P = kT (f_1 - f_2),$$

ahol T az abszolút hőmérséklet, $k = 1,37 \times 10^{-23}$ joule/fok, a Boltzmann-féle állandó.

Ez a zaj a jellel azonos módon kerül erősítésre a készülékben. Erősítés közben azonban mindig keletkezik további zaj is, aminek legjobb példája a közismert söréztaj. Erősítők összehasonlításainál azt szoktuk vizsgálni, hogy a szolgáltatott teljes zaj hányszor nagyobb, mint az, amely az ideális legkedvezőbb esetben a $kT(f_1 - f_2)$ zaj felerősítéséből előáll. Ez a viszonyszám a zajtényező. A számítás alapja nem feszültség, hanem teljesítmény. Ennek oka részben az, hogy a különböző forrásból eredő zajok között általában nincs semmiféle fázisösszefüggés, korreláció. Teljesítményeik ezért egyszerűen összeadódnak, míg feszültségeik eredője

$$U = \sqrt{\sum U_n^2}$$

lenne. A zajtényező tulajdonképpen teljes erősítő berendezésekre vonatkozik, de a gyakorlatban rendszeren a készülékek első fokozatában keletkező zaj a döntő, mert a további fokozatokban fellépő zaj kisebb mértékben kerül erősítésre.

A 10 méter fölötti hullámok tartományában a zajtényező értéke alacsony, ott ellenben nagyok az atmoszferikus zavarok. A mikrohullámok tartományában viszont kevesebb a zavar, de lényegesen magasabb a különböző bemenő fokozatok zajtényezője.

	Zajtényező	Sáv
Mikrohullámú trióda	15 dB	10 Mc
Kristály+KF erősítő	15–18 dB	10–20 Mc
Klisztron	30 dB	5 Mc

Amint látjuk, a klisztron mint előerősítő nem jöhet számításba. A trióda és a kristálykeverő-megoldás kb. egyenrangú. Ami a haladóhullámú csövet

illeti, az első kísérletek nem hoztak jó eredményt: a zajtényező 30 dB körül járt, ami ezres szorzót jelent. Lépésről lépésre sikerült a zajt leszorítani és ma már 8,5 dB zajtényezőig jutottak el. Meg kell azonban jegyezni, hogy ezek a különlegesen zajtalan csövek csak laboratóriumi egyedi példányok. A tömeggyártásban készült és gyakorlatilag is felhasznált típusok zaja még 15—20 dB között mozog. Már ez az érték sem rosszabb a trióda és kristálykeverő zajánál, de nagyobb sávzélesség esetében a kristálykeverő zaja erősen emelkedik, a trióda pedig nagy sávzélességre, mint említettük, nem alkalmazható. Még magasabb frekvencián 4000 Mc fölött a trióda alkalmatlanná válik, a kristálykeverő pedig magasabb zajú lesz.

A kutatások azt mutatták, hogy a régebbi haladóhullámú csövek magas zaja részben azon alapult, hogy az elektronágyúkból kilépő elektronoknak csak egy része halad végig az egész pályán, más része ráfut a spirálisra. Hasonló jelenséget észlelünk a klasszikus elektroncsöveknél, ahol a pentódák zaját lényegesen megnöveli az, hogy a katódáram egy része a segédvárcsra fut. Az első munkák tehát az elektronoptika tökéletesítésére irányultak. Az eloszlásból eredő zaj jelentéktelenné vált, amikor elérték, hogy az áram 99%-a eljusson a kollektor-elektrodára.

A további eredményekhez először meg kellett ismerni az elektronnyalábok mikrohullámú zajának sajátosságait.

Elméletileg megjósolták és kísérletileg is igazolták, hogy a zaj, vagyis az elektronok áramának és sűrűségének ingadozása egy hosszú nyaláb mentén állóhullámszerű maximumokat és minimumokat mutat. Ez az érdekes jelenség a tértöltés hullámok elméletéből következik, amelyre ebben a keretben nem térhetünk ki. A periodikus változások a »szabad« elektronnyalábban, vagyis az elektronágyú és a spirális kezdete közötti szakaszban lépnek fel. A spirális bemenetén a zaj bizonyos feszültséget indukál, mely épp olyan szerepet tölt be, mint a kívülről érkezett jelfeszültség, és így a cső további szakaszában a jel és zaj hulláma együtt erősödik.

Ezek alapján már világosan kibontakozik a mikrohullámú zajcsökkentés két feladata. Először is ki kell számítani vagy mérni azt, hogy a nyalábnak mely pontjában van a zaj első minimuma és erre a pontra kell helyezni a spirál, ill. hullámvezető bemenetét. A második feladat az, hogy minél jobban le kell szorítani ennek a zajminimumnak az értékét. Ez a minimum azért nem nulla, mert a valóságban a zajnak két egymástól független összetevője van, amelyek külön-külön állóhullámokat alkotnak. A zajteljesítmények összegezésénél a szinus értékek négyzetét kell összeadnunk és ez mindig nagyobb lesz zérusnál:

$$A^2 \sin^2(kx) + B^2 \sin^2(kx - \varphi)^2 > 0.$$

A minimum csökkentésére több módszert javasoltak. Az egyik abban áll, hogy még a jel erősítését szolgáló hullámvezető előtt egy külön üreget vagy

hullámvezetőn futtatják át az elektronnyalábot. Ilyen módon tulajdonképpen maga a zaj gyakorol bizonyos vezérlést és így újabb zajhullámok keletkeznek, amelyek korrelációban állnak az eredeti zajjal. Megfelelő méretezés esetében a zajösszetevők részben kioltják egymást. Gyakorlati eredményeket ez a módszer még nem hozott.

Nagyobb sikerrel járt a másik eljárás, amelynek lényege egy különleges többanódos elektronágyú. Ebben az elektronnyaláb többszöri lassításon és gyorsításon megy keresztül és ennek következtében a zajösszetevők egyike erősen lecsökken. Ezzel a megoldással érték el eddig a legjobb eredményt, de ez is elmaradt az elméletileg várt értékektől. Ezt az eltérést többféleképpen magyarázzák. Nézetem szerint különösen szerepe lehet annak, hogy az egyes elektronok pályája a nagyfrekvenciás térben nem teljesen azonos és ezért még a legtökéletesebb geometriájú csőben is szórás van azon tekintetben, hogy az elektronok milyen mértékben vesznek részt az erősítési folyamatban.

A bemenő erősítők tárgyalása után a teljesítményerősítést is nézzük meg. Itt különösen fontos a hatásfok kérdése. Egy régebbi számításom szerint a hatásfok az úgynevezett plazmafrekvencia és az átvitt frekvencia viszonyával arányos, tehát a töltéssűrűség növelésével nő és a frekvencia növelésével csökken. Újabb külföldi munkák szerint nagy jelek esetében a cső hosszának növelése nem mindig növeli az erősítést, hanem esetleg gyöngítést is okozhat; van tehát bizonyos optimális hossz. A hatásfok értéke kisebb haladóhullámú csöveknél általában 2–5% között mozog, újabb típusoknál pedig 10% körül van. Különleges kivételű nagy csöveknél a hatásfok 30–40%-ot is elérhet. Készült már 1000 W állandó kimenő teljesítményű haladóhullámú cső is (5000 W felvett teljesítménnyel.)

Kiegészíthetjük az elmondottakat azzal, hogy a haladóhullámú cső egyes típusai széles sávon hangolható stabil oszcillátort adnak. Alkalmás a cső a közvetlen erősítésen kívül a frekvenciatranszponálásra is. Ez a sokféle előnyös tulajdonsága — amelyekhez hozzávehetjük még azt is, hogy egyes haladóhullámú csövek 50 000 Mc-on működnek, míg más típusoknál a frekvencia alsó határa 500 Mc — nagyon sokféle feladat ellátására teszi alkalmassá a haladóhullámú csövet. Ezek közül csak a mikrohullámú összeköttetések relé állomásait emeljük ki.

Frekvenciamoduláció alkalmazása esetén televíziós átvitelnél kb. 30 Mc sáv szélességre van szükség. 5000 Mc esetében szokásos antennanyereségek figyelembevételével könnyen kiszámíthatjuk, hogy kielégítő lehet 1 W kimenő teljesítmény és 70–80 dB erősítés, ha az állomásokat 40–50 km távolságban helyezük el. Ezen a frekvencián a már kidolgozott haladóhullámú típusok zaj szempontjából is elérik a kristálykeverővel működő berendezéseket, míg az új zajszegény csövek a távolságok megduplázását tennék lehetővé. De még ezen különleges csövek használata nélkül is óriási lenne az egyszerűsítés: hiszen az egész állomás lényegileg 4 kaskádba kapcsolt haladóhullámú csőből állna, melyek

összes fogyasztása permanens mágnessel való fókuszálás esetében 30 W-ot sem tenne ki. Nem jelent nagy komplikációt az sem, ha a második vagy harmadik fokozatban 50 vagy 100 Mc-al odébb toljuk a frekvenciát, hogy ezzel hatásos módon lehetetlenné tegyük a kimenet visszasugárzását a bemenetre.

Lehetetlen feladat lett volna néhány perc alatt teljes műszaki tájékoztatást nyújtani egy ennyire szétágazó kérdésről. Remélem azonban, eleget mondtam ahhoz, hogy meggyőzzem Önöket arról, hogy a haladóhullámú cső problémájával nem csak elméleti szempontból érdemes foglalkozni, de megvan annak a maga gyakorlati és gazdasági jelentősége is.

HOZZÁSZÓLÁSOK

ADAMIS BÉLA

A mikrohullámú berendezések fejlesztésének alapját a mikrohullámú csövek kidolgozása képezi. Ebből a szempontból rendkívül örvendetesnek tartjuk azt aényt, hogy a mikrohullámú technika csőkérdéseit a Híradástechnikai Konferencia nyilvánossága előtt több előadás tárgyalja. Ez a tény kidomborítja a mikrohullámú csövek fejlesztésének jelentőségét és időszerűségét.

Kétségtelen, hogy a haladóhullámú cső a mikrotechnika sokoldalúan alkalmazható legjellemzőbb csőtípusa, mivel üzemviszonyai leginkább kielégítik a centiméteres technika speciális követelményeit.

E kérdéssel kapcsolatban a szigorú elméleti szempontoktól eltérve a gyakorlati megvalósítás kérdésének felvetése annál is inkább indokolt, mivel hazai viszonylatban hasonló horderejű kutatási kérdésekben ritkán érvényesül következetesen a szigorú tervszerűség. Erre vall az a körülmény is, hogy ezen a téren sikeresen megkezdett kísérletek után több éves szünet következett.

Elengedhetetlenül fontos, hogy a kiválasztott kutatási témát a megvalósításhoz szükséges feltételek biztosításával, teljes felelősséggel, kielégítő létszámú és felkészültséggel rendelkező kutató végezze. A kidolgozandó csőtípusok kiválasztásánál és a kutatási feladat kitűzésénél a lehetőségek reális mérlegelésével népgazdaságunk szempontjainak kell érvényesülniök. A részletfeladatok kitűzésénél ügyelni kell arra, hogy a kutatásnál a fokozatosság elve érvényesüljön. A perspektív terv kidolgozásánál fontos, hogy a műszaki jellemzőkön kívül megfelelő rugalmassággal a határidő is rögzítve legyen.

A haladóhullámú csövek fejlesztését elsősorban két fontos tulajdonságuk indokolja, nevezetesen az, hogy szélessávú átvitelre kiválóan alkalmasak és hogy a rövidebb hullámsávokra való áttérést lehetővé teszik.

A televíziós jelek mikrohullámú átvitelénél a szélessávú átvitel elengedhetetlen követelmény. Kétségtelen, hogy a jövőben létesítendő mikrohullámú összeköttetéseknel a televíziós átvitelre alkalmas sáv szélesség a közeljövőben mint alapkövetelmény ki fog alakulni. Az előírt sáv szélesség átvitele, amely a színes televíziós átvitel igényeinek megfelelően a távolabbi jövőben még bővílni fog, műszakilag nehezen teljesíthető feltételeket támaszt. Erre való tekintettel rendkívül kedvező az a perspektíva, amelyet a kis zajtényezőjű haladó csövek nyújtanak. Ezek bevezetésével az ismételőállomások felépítése rendkívül egyszerűvé válnék.

A haladóhullámú csövek kérdéseinek vizsgálatánál nem szabad az egyoldalú szemlélet hibájába esni. Tudomásul kell venni azt aényt, hogy a mikrohullámú technika és csőfejlesztés egyéb vonatkozásban is fejlődik. A 2000—3000 Mc sávban a tárcsás triódáknak teljesítményerősítőként való használata a jövőben is biztosítottnak látszik. A kristálykeverőkkel kapcsolatos középfrekvenciás erősítők bemenő zajszintjét korszerű megoldásokkal már jelenleg is 10—12 dB-re sikerült csökkenteni. A klisztron-típusú csövek szélessávú modulációjának a kérdése mindinkább kielégítő és elfogadható eredményekre vezet.

Az elmondottakból következik, hogy a haladóhullámú csövek előnyös tulajdonságai korántsem biztosítanak részére kizárólagos kiváltságos helyzetet. Ennek következtében az egyéb mikrohullámú csőtípusok fejlesztésének párhuzamosan kell haladnia a haladó hullámú csövek fejlesztésével.

Komoly nehézségeink dacára a korszerű mikrohullámú berendezések kifejlesztéséhez szükséges előfeltételekkel hazai technikánk rendelkezik. Ezen bázisból kiindulva lehetőségeink tudatos felhasználásával a mikrohullámú berendezések kifejlesztésénél komoly eredmények érhetők el.

ROMHÁNYI MIKLÓS aspiráns

Az előadó említette, hogy a haladóhullámú csövekben az elektronnyaláb együttartása a nagy áramsűrűségek miatt komoly problémát okoz. Ehhez a problémához szeretnék röviden hozzászólni.

A nyaláb együttartására eddig több módszert dolgoztak ki. Az egyik módszer abban áll, hogy a csövet a katódtól kezdve egészen a kollektoránódig a cső szimmetriatengelyével egyirányú, nagy intenzitású homogén mágneses térbe helyezzük, melynek a nyaláb tágulását korlátozó hatása azon a jól ismert tényen alapul, hogy a katódból kilépő elektronok a köré az erővonal köré fonódva haladnak spirálszerű pályájukon, amely erővonal »nyompontjának« eredtek. A korlátozó hatás annál nagyobb, minél nagyobb a mágneses térerősség. A számítások és kísérletek szerint ez a »nyers erő«-módszer igen nagy térerősségeket igényel és a korlátozás még 300 gauss esetén sem kielégítő, mert a spiráláram még így is igen nagy százalékát teszi ki az összáramnak; ez viszont főleg a zaj szempontjából káros és rontja a cső hatásfokát is. A 300 gauss körüli intenzitású tér gerjesztése hatalmas méretű tekereseket vagy permanens mágneseket igényel. Ez több szempontból is hátrányos: a nagy súly miatt a berendezés nehézkes, sok az anyagbefektetés és gerjesztett tekeresek esetén nagy az energiafogyasztás.

Lényegesen jobb megoldást kapunk, ha a nyalábot előállító elektron-ágyút mágnesesen leárnyékoljuk. Ekkor a mágnesestérnek lesz egy átmeneti zónája, melyben a mágneses indukció vektornak radiális összetevői is vannak. Amikor az elektronok ezen a zónán átrepülve, metszik B radiális összetevőit, akkor a Lorentz-erő oldalirányban hat és a nyalábot a tengelye körül megpörgeti. Az átmeneti zónán áthaladva, a nyaláb a homogén mágneses térbe tengelye körül forogva jut be. Itt az elektronra három erő hat: a tértöltés miatt fellépő Coulomb-erő, a centrifugális erő és a forgás közben, a mágneses tér erővonalainak metszése folytán fellépő Lorentz-erő. Az előző kettő a tengelytől radiálisan kifelé, a harmadik erő pedig radiálisan befelé irányul. Adott áramerősség, kollektor-feszültség és nyalábátmérő esetén meghatározható egy B érték, melynél a három erő egyensúlyban van és a hengeres nyaláb tágulás nélkül halad végig a csövön. E módszer előnye abban van, hogy a nyaláb egyensúlyát biztosító optimális B érték meghatározott nagyságú és kb. fele annak, mint ameddig az előző módszernél feltétlenül el kell menni. Ez azt jelenti, hogy a tekeresek súlya kb. egyharmadára csökken az előzőkhöz képest. Ezt a módszert az irodalomban Brillouin-féle fókuszálási módszernek nevezik.

Egy újabb és igen érdekes fókuszálási módszert ismertetett Pierce, a *Journal of Applied Physics* múlt év szeptemberi számában, egy, a szerkesztőhöz írt levél formájában. E levélben arról számol be, hogy a fókuszáláshoz használt gyűrű alakú permanens mágneseket D-É-É-D módra, vagyis az egyenemű pólusokat egymással szembeolva rakták össze és így egy a térben periodikusan változó inhomogén mágneses teret állítottak elő. A kísérlet eredménye meglepő volt: egy bizonyos csőnél alkalmazva ezt a módszert, ugyanolyan

jóságú fókuszáláshoz, mint amelyet az előző módszerrel 17 kg kemény mágneses anyag alkalmazásával lehetett megvalósítani, ezzel a fogással mindössze 60 dkg összsúlyú permanens mágnesekre volt szükség, vagyis az előző súly 3,5%-ára. A dolog azzal magyarázható, hogy a mágnesek ily módon való összerakásánál a rendszerbe mechanikai munkát fektetünk be, s ezzel jelentős mértékben megnöveljük a mágneses tér energiáját. Tehát nem a tér inhomogenitása játszik itt szerepet, hanem az a tény, hogy bizonyos nagyságú térbeli effektív értékű B létrehozásához a tengely mentén így sokkal kevesebb anyag kell, mint ha a mágneseket a szokott módon illesztjük össze. Az itt felmerülő elméleti problémák még nincsenek tisztázva, bár fizikai megfontolások alapján a nyaláb viselkedésére vonatkozólag tudunk következtetéseket levonni. A probléma nem is fizikai, hanem matematikai természetű: igen fáradságos numerikus számításokat igényel.

Ami most már a gyakorlatot illeti, a helyzet az, hogy a legtöbb esetben ma még a nyaláb korlátozására az elsőnek ismertetett »nyerselő« módszert alkalmazzák, de az irodalom a Brillouin-fókuszálással igen bőven foglalkozik. A Pierce-féle megoldással viszont eddig az irodalom nem foglalkozott, azonban bizonyára kísérleteznek vele. A magam részéről azt tartom célszerűnek, hogy a cső fejlesztésével kapcsolatban a Brillouin-féle megoldást fejlesszük ki, de a kísérleteket a Pierce-féle elrendezéssel is meg kell indítani.

SEBESTYÉN LÁSZLÓ

A haladóhullámú (HH) csővel kapcsolatban két tényre szeretném a t. Konferencia figyelmét felhívni.

Az első az, hogy az utóbbi néhány évben a haladóhullámú cső kikerült a laboratóriumokból és számos helyen használják mikrohullámú sokcsatornás összeköttetésekben és televíziós relérendszerekben. Így beszámolóik jelentek meg — többek között a franciaországi (Párizs—Lille), angliai (Manchester—Edinburgh) — haladóhullámú csövet alkalmazó mikrohullámú összeköttetéseknel szerzett többéves tapasztalatokról. Figyelemre méltó a japáni 4000 MHz-en működő öt közbeeső állomású televíziós relérendszer megoldása, ahol a közbeeső állomásokon három haladóhullámú csőből épített erősítő továbbítja a jelet. Az erősítőrendszer előerősítő, feszültség- és teljesítményerősítő haladóhullámú csövekből áll. Kereskedelmi forgalomban vannak HH csövek mikrohullámú műszerek számára, így pl. a 2000—4000 MHz között működő széles-sávú erősítő részére készült csőnél a rendkívül nagy sávzélességet a kicsatolás újabb megoldása tette lehetővé. Bár a mágneses fókuszálás a hatások javítása, a zajtényező, a kicsatolás megoldása és a teljesítmény növelése terén jelenleg igen sokféle nagy apparátussal folyó munka nyomán jóformán hétről hétre újabb típusok jelennek meg, a mikrohullámú sokcsatornás összeköttetések számára többé-kevésbé kiforrottnak tekinthető típus alakult ki. Az ezen a téren folyó munka jellemzésére csupán azt említjük meg, hogy szovjet részről már a részletkérdésekről külön könyv jelent meg.

A második jelenség, amely különösebb figyelmet érdemel, az, hogy a HH csövet követően egész sereg újabb csőtípus van kialakulóban. Az a gondolat, amely a HH cső magvát képezi, ti. hogy a haladóhullámoknak az elektronok sebességére történő lelassításával a nyaláb és a tér közötti energia-kicserélődés hosszú úton megy végbe, rendkívül termékeny volt és a mikro-

hullámú erősítő-, illetve rezgéskeltő csövek terén teljes forradalmat idézett elő. A spirális késleltető művonalat alkalmazó haladóhullámú csövet követte — többek közt — a kétsugaras cső, ahol a spirálist második elektronnyaláb helyettesíti, a milliméter-hullámok erősítésére alkalmas üregrezonátor-láncos cső, az elektronnyaláb ismételt felgyorsítása és lefékezése útján mikrohullámú energia erősítésére alkalmas »ugratottnyalábú« csőtípus. Az újabbak közé tartozik az »ellenállás-falú« cső, melynek lényege, hogy ellenállás-anyagból készült fal mentén haladó elektronnyaláb feltölti a falat, ez viszont csomósítja a nyalábot. Így a nyaláb mentén, mint a HH csőnél, fellép egy növekvő amplitudójú hullám; az erősítés azonban az anódfeszültségtől széles határok között független.

Ezeknél lényegesen fontosabbnak látszik a HH csövek családjának legújabb tagja, a Carcinotron vagy »visszafutó-hullámú« cső. Ez egy szélessávú, elektronikusan hangolható, mikrohullámú oszcillátor. Ha a haladóhullámú cső késleltető művonalát periodikus inhomogenitást tartalmazó elemek alkotják, pl. egy üregrezonátor-lánc, akkor fellép az elektronnyaláb haladási irányával ellenkező irányban haladó térharmonikus. Ha az elektronnyaláb ennek ad energiát, akkor a cső bemenő kapcsainál az anódfeszültséggel folyamatosan hangolható rezgés lép fel. Más fogalmazásban: a diszperzív művonal automatikusan biztosítja azt, hogy megfelelő fázisú visszacsatolás lépjen fel a csőben és így egyetlen, az anódfeszültség által meghatározott frekvencián rezegjen a cső. Hatásfoka 30–40%. Teljesítménye folyamatos üzembn néhány száz watt, de lehetségesnek látszik impulzus-üzembn MW-os teljesítmények elérése is. Az egyik kiviteli formánál az »M« típusnál, az üregrezonátor-lánc kör alakú és a magnetronhoz hasonló elhelyezésű mágnestér kényszeríti az elektronokat kört megközelítő pályára; ezáltal a cső magnetronhoz hasonló külsejűvé válik, ami mechanikai szempontból sokkal tetszetősebb, mint a hosszú, rúd alakú elrendezés. A mm-es hullámok tartományában is széles sávon elektronikusan hangolható, jelentős teljesítményt szolgáltató oszcillátor építhető fel. Azt hisszük, hogy ezekután a visszafutó-hullámú cső jelentőségét és felhasználási lehetőségeit felesleges külön hangsúlyozni.

Azt hisszük, hogy a Konferencia legfontosabb feladatai közé tartozik állást foglalni a HH cső magyarországi fejlesztése ügyében. Úgy látjuk, hogy a mikrohullámú elektroncsövek terén a fejlődés feltétlenül ide vezet és ha a magyar híradástechnikai ipar nem akar véglegesen elmaradni a külföldi fejlődéstől, akkor a haladóhullámú csővel feltétlenül foglalkozni kell.

JANKOVICH LÁSZLÓ

A magam részéről az alkalmazások szempontjából szeretnék rámutatni a haladóhullámú csövek jelentőségére, különös tekintettel a várható fejlődésre.

Először is azt kell figyelembe venni, hogy melyek a jelenleg alkalmazott és az előadásban ismertett csövek hátrányai. Itt elsősorban a nagy alappajt, az aránylag nagy terjedelmet, a szükséges nagy üzemi feszültséget és az egyelőre tisztázatlan élettartamot kell említenünk.

A kis-zajú csöveknél, amint ezt a Siemens-laboratóriumban végzett kutatások alapján kimutatták, a várható zajtényező 2–3 dB. A kis-zajú csöveket tehát célszerű annak alapján megítélni, hogy mennyire közelítik meg ezt a határértéket. Kb. másfél évvel ezelőtt végzett külföldi kísérletsorozatok (az

RCA laboratóriumokban) a sorozat minden egyes példányán 8–9 dB körüli zajtényezőt mutattak.

Teljesítményerősítőknél a kis hossz érdekében külföldön már alkalmazzák azt a megoldást, hogy a spirál be- és kicsatolását jelentő, antennaként viselkedő vezetőket visszahajtják a spirálra. Így 2000 Mc-nál sikerült kb. 22 cm hosszú, 5–10 W teljesítményt leadó, 500–750 V-tal működő csöveket készíteni.

Sokat ígérők az elmondott alapon továbbfejlesztett, úgynevezett szűrő spirálú csövek. Kívánatos olyan kölcsönhatási áramkör, mely az elméletileg lehetségesnél szűkebb frekvenciasávban, mely a gyakorlat követelményeit azonban messze kielégíti, majdnem tökéletes illesztést ad, vagyis itt a fázisbesség a sávon belül kb. azonos, a sávon kívül azonban a fázisbesség erősen változik. Ez nem más, mint szűrő, amit például nem egyenletes tápvonallal (spirállal) valósíthatunk meg. Szokásos helyenként kapacitív terhelést alkalmazni, vagy külső változó spirált az egyenletes belső spirál körül, vagy egyetlen egy, de változó emelkedésű spirált.

A haladóhullámú csövet mikrohullámú adókban és mérőberendezésekben felhasználhatjuk mint fázismodulátort. Itt a sugár feszültséggel sorbakapcsolt váltakozó feszültséggel adott esetben 4000 MHz-en $\pm 2,5$ radián fázisváltozást értek el. Nagyobb fázisváltozást kaphatunk, ha a moduláló feszültséget több sorbakapcsolt csőre vezetjük. Ennek az elvnek igen érdekes alkalmazási területe lehet, ha soksatornás összeköttetések ismétlődő állomásain újabb csatornákat kell az érkező információhoz hozzáfűzni. Ilyenkor a haladóhullámú cső a járulékos fázismodulációt a vett jelek egyidejű erősítése mellett végezheti.

Ez a működés azt is lehetővé teszi, hogy a haladóhullámú csövet mint frekvenciaváltót (keverőt) használjuk.

A klasszikus haladóhullámú csövet oszcillátorként is használhatjuk, ha külső visszacsatolást biztosítunk szűrőn át, mely a nemkívánt rezgési módokat kiküszöböli.

Az eddig tárgyalt haladóhullámú, klasszikus csőnél többet ígérőnek látszik az úgynevezett visszahullámú cső (backward-wave tube). A haladóhullámú csőnél ugyanis a fázisbesség a frekvencia függvényében egyes helyeken hirtelen, máshol pedig egyáltalán nem változik, ezért a haladóhullámú oszcillátor hangolása széles sávban nem elég folytonos.

A visszahullámú csőnél a hullám az elektronnyalábbal ellentétes irányban halad. Itt a fázisbesség folyamatosan, egyenletesen változik a frekvencia függvényében. Így a cső, mint oszcillátor sokkal simábban és szélesebb sávban hangolható elektronikusan. Az egyetlen csővel átfogható frekvenciasáv 3 : 1 arányú lehet.

Az ilyen visszahullámú csövet nagyerősítésű fokozatnak is használhatjuk, ha a sugáráramot éppen a gerjedésnek megfelelő érték alá állítjuk be. Így 40–50 dB-es, keskenysávú erősítést sikerült már elérni. Az erősítés növelésével a sáv szélesség csökken és ez folyamatosan szabályozható a sugárárammal. A sugár feszültséggel változtathatjuk a fázisbességet és így az egész erősítési sávot egyszerű feszültségváltoztatással frekvenciában eltolhatjuk.

Ennek a tulajdonságnak rendkívül sokféle és nagy jelentőségű alkalmazásával számolhatunk. Így építhetünk olyan nagyerősítésű mikrohullámú erősítőket, amelyet széles frekvenciasávon át hangolhatunk másodpercenként több milliószor és amely éles különbséget tud tenni két, egymástól csak kissé eltérő frekvencia között.

A haladóhullámú és visszahullámú csövek konstrukciójában a spirál mellett újabban egyéb megoldásokkal is találkozunk, különösen a rövidebb hullámhosszakon. A hullámokat ugyanis minden olyan hullámvezető szerkezettel lelassíthatjuk, melyben a periodikus terhelések hatására a fázissebesség lecsökken. Az ilyen hullámvezetők pontosabban készíthetők el és mechanikusan is kedvezőbbek, mint a spirálok, ezért érthető egyre elterjedtebb alkalmazásuk. Egyik igen érdekes és jellegzetes válfajuk a »hajtú« cső, melyet a 40—60 000 MHz körüli frekvenciájú csöveknél sikeresen alkalmaznak. Itt a hullámvezetőben hajtúhöz hasonló, elfajult spirálnak tekinthető szerelvények lassítják a hullámot — innen a név.

Érdekes megoldás, mikor cik-cakk alakban hajtogatott hullámvezetőn halad keresztül az elektronsugár a hullámvezető falába fúrt kicsiny lyukakon át.

Az említett 60 000 MHz-es frekvenciát nem szabad pusztán valamiféle műszaki furcsaságnak tekinteni, mert a külföldi irodalom alapján úgy látszik, hogy a mikrohullámú összeköttetésekben ez a jövőben komolyan felhasználásra kerülő sáv lesz. Kívánatos, hogy a csőfejlesztésen dolgozók már most gondoljanak arra, ha néhány év múlva korszerű berendezéseket kívánunk gyártani, akkor már esetleg ilyen hullámhosszon működő csöveket alkalmazó készülékekkel kell versenyeznünk.

VALKÓ IVÁN PÉTER válasza a hozzászólásokra

Minden hozzászóló hangsúlyozta, hogy a haladóhullámú cső olyan fontos típus műszaki szempontból, amelynek magyarországi kidolgozását nem szabad tovább halogatnunk, illetve a félbeszakítás korszakát le kellene zárnunk és a kidolgozás munkáját folytatnunk. Felesleges hangsúlyoznom, hogy ezzel éppen úgy egyetértek, mint ahogy egyetértek a kiegészítésekkel is.

Természetesen — amint Adamis elvtárs helyesen mondotta —, a haladóhullámú cső nem az egyetlen mikrohullámú csőtípus, amely technikai szempontból érdekes.

Romhányi elvtárs kiegészítéséhez sem kell sokat hozzátennem. Egyébként is szoros kapcsolatban vagyunk, s a munka, amelyben maga Romhányi elvtárs is részt vesz, a mágneses fókuszálás problémájának tisztázása, remélhetőleg gyümölcsözőleg fog előrehaladni.

Sebestyén elvtárs tartalmas hozzászólása mutatja azt, hogy milyen sokfelé ágazik ma már szét a haladóhullámú csövek problémája. Ez az a terület, ahol tulajdonképpen a modern elektronikának legérdekesebb része, az elektronok és az elektromágneses hullámok kölcsönhatása kerül tárgyalásra.

Jankovich elvtárs hozzászólásában sok érdekes kiegészítés hangzott el. Ami az alapzaj kérdését illeti, amellyel foglalkozott, meg kell mondanom, hogy azzal a Siemens-beli számítással, amelyet említett, én nem értek egyet.

Valószínűnek tartom azt, hogy elvi okoknál fogva egy ennyire alacsony zajtényezőt nem lehet elérni és 6—7 decibel körül lesz az elérhető zajtényező. Ennek oka pedig éppen az, amit az előadásban említettem, hogy a zaj nem egyféle állóhullám, hanem két különálló hullámnak az összege, s ez az a szempont, amelyet az említett számítás figyelmen kívül hagyott.

A visszahullámú csővel és a Sebestyén és Jankovich elvtársak által említett egyéb különböző csőtípusokkal kapcsolatban szeretném megmondani, hogy előadásom nem meríti ki valamennyi újabban felmerült típust. Így

különösen az easytron nevű csövet szeretném megemlíteni, amelyben a hullámvezető elem tulajdonképpen egymástól kis távolságra elhelyezett rövid pálcikákból áll. Ez oszcillátorként működhet igen tág határok között. A cső teljesítménye teljesen független a sebességtől, tehát az anódfeszültségtől is, de a feszültség befolyásolja a frekvenciát.

Gyakorlati szempontból is, de elméleti szempontból is az elektronika továbbfejlesztése érdekében döntően fontos lenne az, hogy ezzel a kérdéssel újból komolyan, megfelelő kutatócsoport keretében foglalkozzunk Magyarországon.

A TURBÁTOR MŰKÖDÉSÉRŐL*

DALLOS ANDRÁS, a műszaki tudományok kandidátusa

A turbátor működéséről 1942 óta számos közlemény jelent meg (lásd irodalmi jegyzék). A magyarázatokat kísérletileg vizsgálva azt találtuk, hogy az irodalomban leírtak nem adnak teljes képet a cső működéséről és a működési mechanizmusra vonatkozó állításokat ki kell egészíteni. A következőkben ezekről a vizsgálatokról és az ezekből levonható következtetésekről kívánunk beszámolni.

I. A turbátor leírása

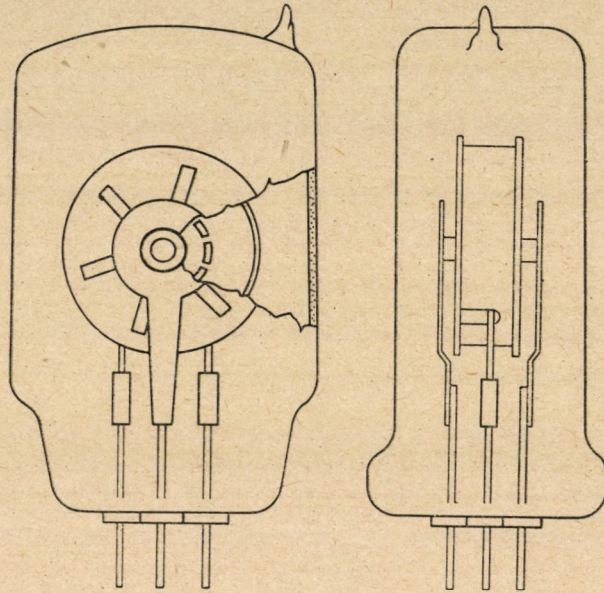
A turbátor mikrohullámú rezgéskeltésre, elsősorban vezeték nélküli hangtovábbításnál használt elektroncső. Szokás interdigitális magnetronnak is nevezni, mert egyrészt lényegileg magnetron (tehát a működtetéshez az elektromos tér mellett mágneses térre is szükség van), másrészt anódja olyan koaxiális hengerüreg, amelynek belső hengerét olyan fogrendszer helyettesíti, amely egymásbanyúló ujjakhoz hasonlít. A cső lényegileg hengeres katódja ugyancsak az anódtesttel koaxiálisan helyezkedik el (lásd I. ábra).

A turbátorban az elektronok az anód—katód közé tett egyenfeszültség, illetve az általuk keltett erőter és a cső forgástengelye irányában rátett mágnes-tér hatására mozognak, miközben kinetikus energiájukból az anódtestben csillapítatlan rezgést keltenek.

A leírt interdigitális magnetron-alaptípuson kívül a hangolhatóság érdekében számos más típust is kidolgoztak. Így megemlíthetjük pl. azt a turbátortípust, amelynél a fogakra galvanikusan csatlakozó és a csővön kívül állíthatóan rövidrezárható kettős vezetékpárt építettek a csőbe [13], vagy a donutronnak [1] nevezett elrendezést, amelynél a fogrendszer két részének egymástól való távolságát lehet kívülről változtatni. — Megjegyezzük, hogy vizsgálatainkat az I. ábrán szereplő, turbátornak nevezett magnetronon végeztük és következtetéseink is elsősorban erre a típusra vonatkoznak.

* A Híradástechnikai Konferencián, 1954. május 6-án elhangzott előadás.

Mikrohullámokat előállító berendezéseknél három kérdéscsoport a legfontosabb: a passzív rezonáns rendszer, a rezonáns rendszer csillapítását leküzdő elektronmechanizmus és a mikrohullámúenergiát kicsatoló rendszer. Vizsgálatainkat ezen három szempontból végeztük, tárgyalásunkat is eszerint építettük fel, ismertetve az irodalmi magyarázatokat, kísérleti vizsgálatainkat, a vizsgálatok következményeként megalkotott kiegészítő magyarázatunkat és a működési mechanizmus kiegészített magyarázatára végzett bizonyító kísérleteket.



1. ábra.

2. A működés irodalmi magyarázata

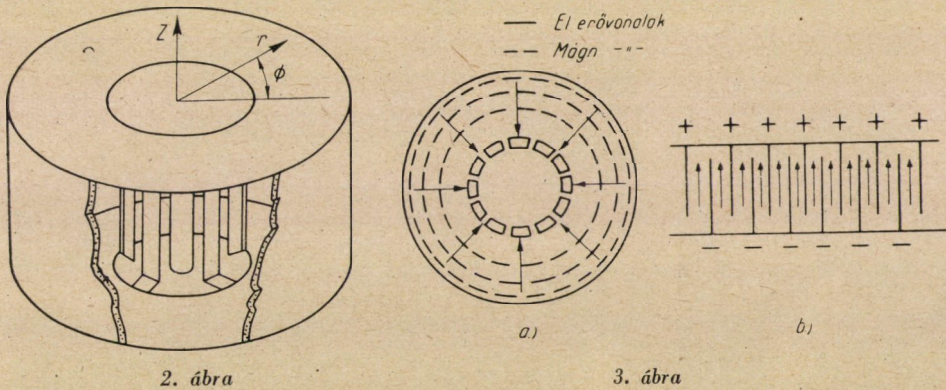
A passzív rezonáns rendszer

A közlemények szerint a turbátor frekvenciáját a cső anódját képező dob (koaxiális henger, amelynek belső hengerét fogrendszer helyettesíti) szabja meg (2. ábra). Az üreg sajátfrekvenciáihoz egy-egy rezgésforma (módus) és egy-egy jóságtényező tartozik.

A legfontosabb rezgésformák lényeges tulajdonságaira vonatkozóan Lüdi [9], Hull és Grenwald [4] valamint Randals [3] a következőket állapították meg: (Az elektronokkal való kölcsönhatás miatt a fogak menti elektromos térerősségre, a kicsatolás miatt a mágneses erővonalakra kell figyelemmel lenni.)

$n = 0$ módusban a mágneses erővonalak koncentrikus körök (3a ábra), és a mágneses térerősség független z - és Φ -től, és csak r -től függ, Bessel-függvények kombinációjával leírható módon. Az elektromos tér Φ -től nem függ (kör mentén állandó). A 3a ábra az elektromos és mágneses erővonalakat mutatja. A 3b ábra a síkban kiterített fogrendszert mutatja, feltüntetve a potenciál-eloszlást.

$n = 1$ módusban a mágneses tér független z -től; radiális és tangenciális komponense Φ szerint szinuszosan változik, egyetlen szinuszt írva le a kör mentén. Az elektromos tér független z -től, Φ szerint a kör mentén egyetlen szinuszt ír le



2. ábra

3. ábra

és r -től Bessel-függvények kombinációjával leírható módon függ. A 4a ábra az elektromos és mágneses erővonalakat, a 4b ábra pedig a kiterített fogrendszerben a potenciál eloszlását mutatja.

$n = 2 \dots 6$ módusban a rezgésforma hasonló az $n = 1$ -hez, csak akkor a Φ szerint szinuszosan 2, 3, ... 6 teljes rezgés helyezkedik el a fogrendszer mentén.

Az $n = 0$ módusban rezgő üreg λ alap-hullámhosszára nézve az irodalom Lüdi [9] elméleti számításai alapján adja meg a következő összefüggést :

$$\lambda_0 \cong 8,4 \sqrt{C^* d},$$

ahol, ha $C^* = aC$ a fogrendszer összkapacitása, a a fogak száma, C a szomszédos fogak közötti kapacitás cm-ben, d a fog és a palást közötti távolság cm-ben, akkor λ_0 cm-ben adódik. Az $n = 1$ módus hullámhosszára, az első szomszédos hullámhosszra Hull és Greenwald [4] elméleti számítással, de nagy elhanyagolással igazolja az általuk tapasztalatilag nyert kifejezést :

$$\lambda_1 \cong \frac{ad + 2\pi r_0}{2},$$

ahol a mint előbb, d a henger magassága, r_0 a fogrendszer körének sugara.

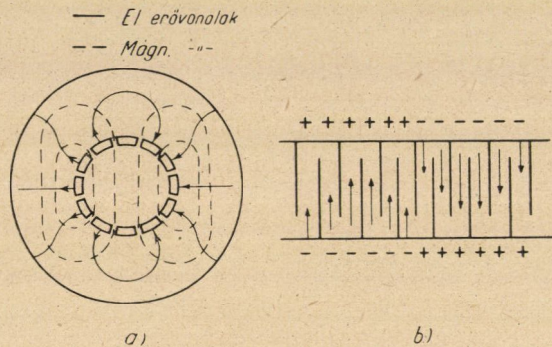
Mindkét összefüggés szerint a λ_0 alaphullámhossz és λ_1 első szomszédos hullámhossz független az anódtest külső hengerpalástjának sugarától.

A λ_1 és λ_0 viszonyára gyakorlatilag a következő összefüggést találták:

$$\lambda_1 \cong 0,6 \lambda_0.$$

Ez azt jelenti, hogy a soküregű magnetronoknál ismeretes módusszeparációnál lényegesen nagyobb a szomszédos hullámhosszak eltérése.

A módusokhoz tartozó *jóságtényezőket* Lüdi, [9] valamint Hull és Greenwald [4] explicit formában kiszámolták. Az eredmények azonban nem egyezők. Lüdi



4. ábra

szerint az $n = 0$ módushoz egy konkrét példán a helyettesítő parallel ellenállás $R_p = 17\,000$ ohm, miközben az $n = 1$ rezgésformához tartozó első félhullámon a $R_p = 0$. Ugyanekkor Hull és Greenwald számolásai és mérései szerint az $n = 0$ és $n = 1$ módushoz tartozó jóságtényezők csaknem megegyezők (400, 480) és hozzá az első felharmonikusé valamivel nagyobb,

Az elektronmechanizmus

Az irodalom szerint a turbátor által keltett energia frekvenciáját a maximális jóságtényezőjű rezgésforma adja meg. Önrezgés akkor keletkezik, ha a max. Q -hoz, illetve a fogyasztáshoz tartozó valós pozitív ellenállást az elektron mozgása által keltett negatív ellenállás kompenzálni tudja. A megközelítően ciklois pályán mozgó elektron az elektromágneses térnek akkor ad át energiát, ha maga a tér ellen repül. Kedvező a gerjesztés akkor, ha ez a helyzet minél több elektronra teljesül, azaz a tér együtt változik a repülő elektronokkal. Erre vonatkozik az elsőnek Posthumus által kifejezett feltétel:

$$\frac{U_a}{B} \cong 10^{-2} \frac{\pi f_0 r_a^2}{a} \left[1 - \left(\frac{r_k}{r_a} \right)^2 \right],$$

ahol U_a anódfeszültség voltban, B mágneses indukció gaussban, f_0 a λ_0 -nak megfelelő frekvencia MHz-ben, r_k katódhenger-sugár és r_a az anódsugár (fogrendszer) cm-ben értendő.

Ez azt jelenti, hogy minden geometriához (r_k és r_a), és frekvenciához meghatározott $\frac{U_a}{B}$ viszony tartozik.

Kérdés, hogy mekkora legyen az adott frekvenciához a B mágneses térerősség? Az η hatásfokra nézve érvényes a következő összefüggés:

$$\eta \cong 1 - \frac{2m}{e} \frac{U_a \cdot 10^{10}}{B^2 (r_a - r_k)},$$

ahol B a mágneses indukció gaussban és U_a az anódfeszültség voltban, m az elektron tömege kg-ban, e az elektron töltése coulombban, r_a és r_k cm-ben. Az összefüggés szerint a hatásfok növelése érdekében a B indukció minden határon túl növelendő. (Megjegyzendő, hogy az optimális együttfutás érdekében az $\frac{U_a}{B}$ viszonyoknak állandónak kell lennie.)

A kicsatoló rendszer

Az általunk tárgyalt turbátor $n = 0$ módusban rezegvén a használt két kicsatolóhurkot a kör mentén tetszőleges helyen lehet elhelyezni, minthogy rezgés esetén az elektromágneses tér mágneses erőtere kör mentén állandó.

* * *

Összefoglalva az irodalomnak a turbátor működésére vonatkozó adatait, a mechanizmusnak a következőnek kell lennie: a turbátor frekvenciáját fogrendszeres anódttest rezonáns frekvenciája szabja meg és az önrezgést az elektronmechanizmus hozza létre. Növekvő mágnes térhez növekvő hatásfok, illetve teljesítmény tartozik.

3. Kísérleti vizsgálatok az irodalmi magyarázat ellenőrzésére

A vizsgálatokat két csoportban végeztük: egyfelől a turbátor szerkezetét katód nélkül, másfelől a turbátort oszcillátorként működtetve.

1. A turbátor anódttestének rezgésformáit az ismert forgószondás vizsgálóval tanulmányoztuk. A turbátor anódttestét külső mikrohullámú jellel gerjesztettük, és a katód—anódtér elektromos viszonyait »tapogattuk le« mintegy

az elektronok szempontjából nézve a viszonyokat. A forgószondás berendezés lényege egy kisméretű antennás térerősségmérő, amely a katód-anódtérben az anódtest forgástengelye körül motor segítségével elforgatható. Az észlelt jelet egy, a körmozgással szinkron járatott időeltérítésű oszcillográfra vittük, és így az elektromos térerősség a katódsúgárcső ernyőjén kirajzolódott. A vizsgálatok folyamán azt tapasztaltuk, hogy minden fog, illetve rés előtt azonos nagyságú volt az észlelt jel. Ez azt jelenti, hogy a turbátor forgószondás berendezésen csak $n = 0$ vagy $n = 6$ rezgésformán rezeg.

Megmértük az általunk készített turbátor-anódtest sajátfrekvenciáit. Hogy a módusokhoz tartozó sajátfrekvenciát meg tudjuk határozni, olyan anódtest-modellt készítettünk, amelyben a hurkok a palást mentén eltolhatók voltak. Így azt találtuk, hogy a 2215 MHz-hez tartozó hullámforma $n = 0$, és a 3070 MHz-hez tartozó hullámforma $n = 1$ modusú.

Jóságátnevező-vizsgálatokat is végeztünk sáv szélességméréssel. A következőket találtuk:

	$n = 0$	$n = 1$
molibdénüreg katód nélkül	340	230
molibdénüreg kvarcra tett eredeti spirálkatóddal	200	200
molibdénüreg katód helyére tett nikkellúddal	<20	140

Megjegyezzük, hogy a legutolsó mérés indokolható a következő magyarázattal:

$n = 0$ módusban a mágneses erővonalak merőlegesen körülvéve a nikkellúdat, abban áramot indukálnak és ezért az $n = 0$ módusban a jóságátnevező így mérhetetlenül kicsinnyé válik. Ez a tény indokolja, hogy nem lehet minden további nélkül közvetettfűtésű, hengeres elrendezésű katódát alkalmazni, és szükség van a komplikált spirálelrendezésű katódra, hogy axiális irányú áram ne folyhasson.

2. Oszcillátorként működtetve a turbátort, a teljesítményt az általunk vizsgált csőnél pl. szimmetrikus kettős vezetékpáron át vezethetjük ki a csőből, és hogy a koaxiális vonalon keresztül is felhasználható legyen, egy szimmetrikusról aszimmetrikus vonalra átvivő transzformátort, gyakorlatilag üregtranszformátort kellett használnunk. Észleléseink a következők voltak:

Különböző falvastagságú és szélességű fogakkal, valamint különböző magassággal turbátortesteket készítettünk, de ezek a teljes rendszer működési frekvenciáját alig befolyásolták.

A frekvencia azonban megváltozott:

a. ha a transzformátor szerepét játszó üreg geometriáját megváltoztattuk;

b. ha a fogrendszerhez kapcsolt, rövidrezárt vezetékpár geometriáját megváltoztattuk (az 1. ábrán ez a vezetékpár nem szerepel, de ilyen cső is létezik);

c. ha az $\frac{U_a}{B}$ viszonyt megváltoztattuk.

Ezen hányados megváltoztatásával, ellentétben a soküregű magnetronoknál ismert jelenséggel, nem egyszerűen csak teljesítménycsökkenés lépett fel, hanem az oszcilláció megszűnt, néha frekvenciaátugrás, máskor a frekvencia kisméretű megváltozása következett be.

4. A működés kiegészített magyarázata

A közleményekben leírt működési mechanizmust kísérleti vizsgálataink szerint ki kell egészíteni, és eszerint megjegyzéseink a következők:

A rezonáns rendszeren nem szabad csak a turbátor-anódtestet egyedül érteni, hanem azt a legtöbbször jelenlevő, különböző jóságú csatolt körök eredőjeként kell érteni. Ha a különböző Q_1, Q_2, \dots jóságtényezőjű üregek megfelelő f_1, f_2, \dots alapfrekvenciái egymástól 10%-nál nem térnek el jobban, akkor az eredő rendszer f_0 sajátfrekvenciáját a jóságtényezővel súlyozott számtani középpel lehet számítani:

$$f_0 \approx \frac{f_1 Q_1 + f_2 Q_2 + \dots}{Q_1 + Q_2 + \dots}$$

Ugyanekkor a rendszer eredő Q_0 jóságtényezője a legkisebb jóságtényezőnél is kisebb, mert érvényes az alábbi összefüggés:

$$\frac{1}{Q_0} \approx \frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2} + \dots$$

Esetünkben a jóságtényezők gyakorlatilag a következők:

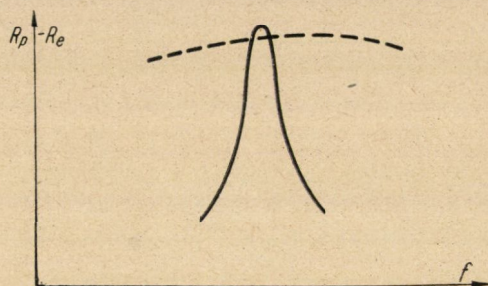
turbátor anódtest méréseink szerint terheletlenül	240
transzformáló (szűrő) üreg méréseink szerint »terheletlenül«	1000
esetlegesen használt kettős vezetékpár számítás szerint	4000

Ez azt jelenti, hogy a frekvenciát döntően a transzformáló üreg vagy rövidrezárt kettős vezetékpár, a rendszer eredő jóságtényezőjét döntően az anódtest szabja meg.

Mint hogy a turbátor terheletlen anódtestének jósága pedig kicsi, összehasonlítva a soküregű magnetronokéhoz képest (melyek 10^3 nagyságrendűek), az elektronmechanizmusnak a turbátornál jelentős frekvenciamegcsabó szere-

pének is kell lennie, a soküregű magnetronnál pedig inkább csak a teljesítménynek kell változnia.

Magyarázatul szolgálhat erre a következő közelítő kép (lásd 5. sematikus ábrát): Egy kis eredő jóságtevényezőjú rezonáns rendszer nagy frekvenciatartományban véges ellenállást képvisel (szaggatott vonal). Egyetlen $\frac{U_a}{B}$ viszony ugyancsak frekvenciafüggő negatív ellenállást jelent (folytonos vonal) van és pedig úgy, hogy ennek maximuma $\frac{U_a}{B}$ -vel jellemezhető frekvenciánál van (Posthumus-összefüggés). Önrezgés akkor keletkezik, ha ez a negatív ellenállás kompenzálni tudja az üreg pozitív ellenállását. A felrajzolt esetben az $\frac{U_a}{B}$ viszonytal jel-



5. ábra

lemzett elektronmechanizmus a frekvenciaszelektáló elem. — Fordítva viszont, ha az üreg az elektronmechanizmusnál kisebb »sávszélességű«, akkor az üreg a frekvenciamegszabó elem. — Eszerint első esetben elsősorban pl. az U_a feszültség változtatásával, a második esetben pedig az üreg hangolásával lehet a frekvenciát változtatni, illetve frekvenciamodulációt elérni.

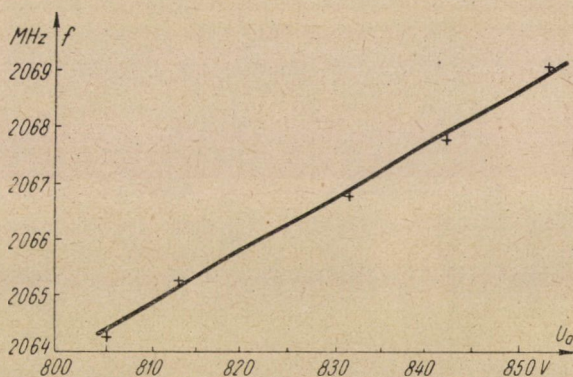
5. Kísérletek a kiegészített működési mechanizmusmagyarázat igazolására

1. Hogy az irodalmi magyarázatok ellenőrzésére végzett, turbátor-anód-test méretmódosításokon túl, az anód-üreg nem egyedüli frekvenciamegszabó szerepét igazoljuk, hengerpalást nélküli, tehát csak fogasrendszerből álló anód-testből építettünk fel egy csövet és egy nagyjóságú kimenő üreget alkalmaztunk. A cső a kimenő transzformátor által megszabott 12 cm-en rezgett (de 15 cm-en nem volt berezegtethető), a szokásos 30 W helyett 3 W csúcsteljesítményt szolgáltatva.

Megjegyezzük, hogy Wilbur, Peters és Chalberg [13] hasonló felépítésű miniatűr turbátort ismertetett és ajánlott televíziós vevők helyi oszcillátoraként 800–900 MHz-es tartományban.

2. Az elektronmechanizmus lényeges frekvenciamegszabó voltára nézve az $\frac{U_a}{B}$ hányados változásának hatását vizsgáltuk. A vizsgálat egy a célnak éppen nem megfelelő, nagy frekvenciastabilitásra épített elrendezésen történt. Azt találtuk, hogy 60 V anódfeszültségváltozásra kb. 6 MHz-es frekvenciamoduláció volt elérhető. A kísérletnél nyert eredményeket a 6. ábra mutatja.

Megjegyezzük, hogy a leírt frekvenciamoduláció gyakorlati alkalmazásra egyelőre nem megfelelő, minthogy egyrészt — bár a lineáris frekvenciamoduláció elérhető, lévén adott geometria és mágneses indukció esetén U_a és f között elvben is lineáris összefüggés — a jelentkező teljesítmény erősen megvál-



6. ábra

tozik a transzformátor szerepét játszó üreg kis sávszélessége miatt is, másrészt a frekvencia állandósága nagy tápfeszültségstabilitást követel.

Megjegyezzük továbbá, hogy Warnecke, Huber, Guénard és Doehler [12] elvben hasonló kísérletet írnak le az általuk szerkesztett, »diocotron«-nak nevezett elrendezésen.

6. Következmények

A leírt kísérletek és megfontolások eredményét a csőkészítők és a felhasználók felé az alábbiak szerint foglalhatjuk össze :

Csőkészítők részére :

Az anódtestnek csak a fogrendszer-része lényeges. Természetesen a jó illesztést biztosító hurok geometriájára ügyelni kell.

A katód—anódtér geometriai és mágneses körszimmetriája lényeges a frekvenciastabilitás érdekében és így a pontos szerelésre és az esetleges ferromágneses anyagok ellenőrzésére vigyázni kell.

A felhasználók részére :

A hangolhatóság, illetve frekvenciamoduláció lehetséges :

1. a rezonáns rendszer nagyjóságú elemének hangolásával (ferrittel, ferroelektromos anyaggal, esetleg reaktanciacsővel) ;

2. nagy sávszélességű rezonáns rendszer esetén az elektron Φ szerinti sebességének pl. az anódfeszültség segítségével történő változtatásával.

Az anódfeszültséggel való frekvenciamoduláció érdekében* a következő vizsgálatokat, illetve feladatokat kívánatos végrehajtani :

1. A turbátor teljesítménykicsatolórendszerét szélessávúvá kell tenni és így kell vizsgálni a kimenő teljesítményt.

2. A kimenő teljesítmény frekvenciafüggését a kicsatoló rendszer megfelelő értelemben való frekvenciafüggő kivitelezésével csökkenteni kell. Kvalitatíven : kívánatos, hogy a turbátor anódtest alaphullámán a kimenő rendszer átvitele kisebb legyen, mint az egyéb hullámhosszokon.

3. A turbátor anódtest jóságát különbözőre készítve, az anódfeszültséggel való hangolhatóságot vizsgálni kell.

A reaktanciacsővel való hangolhatóság érdekében a következő feladatokat kell megvalósítani :

1. Meg kell mérni a cső Rieke-diagramját.

2. A kicsatoló hurkok méretének változtatásával olyan Rieke-diagramú cső készítenőd, amely megközelíti az ideálist : a konstans teljesítményű görbék a konstans valós ellenállású görbéket maximálisan közelítsék meg.

3. Síktárcsás csövekkel meg kell vizsgálni, hogy milyen reaktancia-változtatást lehet létrehozni az adott frekvencián.

Végezetül köszönetet kell mondanom Winter Ernő elvtársnak, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjának értékes kritikai megjegyzéseier, a felhasználó kutató csoport és elsősorban Medveczky Géza értékes munkájáért, valamint Balázs János, Gál János, Palócz István, Sikora Vilmos és Takács Lajos munkatársainknak, akikkel a közölt munkát a TKI. 2. laboratóriumában 1951—1953. évben elvégeztük.

* Ezen előadás elhangzása óta tudomásunkra jutott, hogy ezzel a gondolattal máshol is foglalkoztak. Az elért eredményeket J. A. Boyd írta le. (The Mitron — An Interdigital Voltage Tunable Magnetron. Proc. IRE 43. kötet 332. oldal, 1955. március.) A Boyd által kidolgozott cső, illetve elrendezés folyamatos feszültség szabályozással 1500—3500 MHz frekvenciatartományban hangolható és 200 mW körüli teljesítményt szolgáltat. A szerző által megvalósított üreg és kicsatoló rendszer szélessávú, úgy, mint azt a jelen közlemény is ajánlja.

IRODALOM

1. *Crawford F. H., Hare M. D.* : Tunable Squirrel-Cage Magnetron, the Donutron Proc. IRE 35. kötet, 361. old. 1947.
2. *Hok G.* : Calculation of a Waveguide-Loaded Resonator for Interdigital Magnetrons. Proc. IRE 41. kötet, 763. old. 1953.
3. *Hull J. F., Randals A. W.* : High-Power Interdigital Magnetrons. Proc. IRE 36. kötet 1357. 1948.
4. *Hull J. F., Greenwald L. W.* : Modes in Interdigital Magnetrons. Proc. IRE 37. kötet 1258. old. 1949.
5. *Hull J. F.* : Inverted Magnetron. Proc. IRE 40. kötet, 1038. old. 1952.
6. *Leblond A., Doehler O., Warnecke R.* : New Magnetron Oscillator/ with Interdigital Circuit. Compt. Rend. Acad. Sci. Paris 236. sz. 55. oldal.
7. *Lüdi F.* : Entwicklungsarbeiten aus der Mikrowellentechnik. Bull. Schweiz. Elektrotech. Verein XXXIII. évf. 23. szám 666. old. 1942.
8. *Lüdi F.* : Zur Theorie des Magnetfeldgenerators für Mikrowellen. Helv. Phys. Acta XIX. 1946.
9. *Lüdi F.* : Eigenfrequenzen des E Typus eines kapazitätsbelasteten zylindrischen Hohlraumes. Helv. Phys. Acta 17. kötet 429. old. 1944.
10. *Lüdi F.* : Inverted Magnetron. Proc. IRE 41. kötet. 799. old. 1953.
11. *Lüdi F.* : Der Turbator ein Single-Cavity Magnetron. Marconi Congress. Verlag Tipografie del Santo Roma 1947. 529. old.
12. *Warnecke R., Huber H., Guénard P., Doehler O.* : Oscillations d'un magnetron sans fente liées à l'amplification par ondes de charge d'espace Compt. Rend. Acad. Sci. Paris 493. old. 1952.
13. *Wilbur D. A., Peters P. H., Chalberg H. W. A.* : Tunable Miniature Magnetron. Electronics, 1952. január 104. old.

HOZZÁSZÓLÁSOK

(KIVONAT)

MEDVECZKY GÉZA

A hozzászóló a felhasználók nevében tette meg észrevételeit.

Elmondható, hogy mind a csőfejlesztőknek, mind a felhasználóknak a rendelkezésre álló adatok ellenére a fejlesztés munkáit szinte egészen előlről kellett kezdeni. A külföldi adatok és értékek, sőt az elméleti cikkek is sokszor tévútra vezettek.

Csak a legutóbbi időkben tisztázódott a cső egyes részeinek, és a csőhöz tartozó mikrohullámú oszcillátor egyes részeinek szerepe.

A felhasználás szempontjából a következő döntő tulajdonságok lényegesek :

1. Hangolási tartomány szélessége, s azon belül a teljesítmény.
2. Zajmentesség.
3. Frekvencia-modulálhatóság.

Ezen tulajdonságok vizsgálatai képezték a csőfejlesztők és a felhasználók munkájának gerincét.

1. A Magyar Posta tulajdonában levő BBC gyártmányú 24 csatornás berendezés dokumentációja a csövek hangolási tartományára 200 MHz értéket és impulzus üzemben 50 W csúcsteljesítményt ad meg.

Ezt az értéket a Brown-Boweri berendezésben még Brown-Boweri turbátorokkal sem tudták elérni. A leírások ugyanis nem említették sehol a csőre szerelhető Lecher-rezgőkör szerepét. A folyamatosan nem hangolt Lecher-rezgőkörű turbátorral rendelkező mikrohullámú adóval legfeljebb 50–60 MHz hangolási tartomány volt elérhető. Ez a probléma hosszú időn keresztül tévhiedelemre vezette a kutatókat.

2. Turbátorral működő mikrohullámú adók zajosságára vonatkozólag sem az említett 24 csatornás berendezés dokumentációja, sem egyéb leírások nem szolgáltatnak adatokat. Ez a probléma azonban felmerül mind a 24 csatornás berendezés — , mind annak mintájára készült magyar berendezések kezelése közben. A turbátorok anódfeszültségének nem megfelelő beállítása esetén az összeköttetések hasznavehetetlenül zajossá válnak. Ma már ennek okai is világosak.

3. A frekvencia-modulálhatóság kérdése sem a 24 csatornás berendezésnél, sem más impulzus modulációs berendezésnél nem játszik szerepet, viszont döntő jelentőséget kap akkor, ha televíziós mikrohullámú átvitt óhajtanók turbátorral megoldani. Erre a kérdésre jelen pillanatban sem lehet megnyugtató és végleges választ adni.

A hozzászóló részletesen elmondta azon kísérletek történetét és eredményeit, amelyeket az 1. pont alatt említett hangolási sáv szélesség megnövelése érdekében elvégzett. A kísérletek eredményeképpen világossá vált a Lecher-rezgőkör döntő, elsődleges szerepe ; a kimenő üregrezonátor másodlagos, és a cső üvegballonján belül elhelyezkedő anódtestnek mint üregrezonátornak lényegtelen szerepe.

A kísérleti eredmények birtokában elkészített folyamatos hangolást lehetővé tevő Lecher-rezgőkörrel, és az anódfeszültségnek minden frekvencián való megfelelő beállításával, valamint ezen beállítás optimális voltát ellenőrző mérőszerepléssel a hozzászólónak sikerült pl. a postai 24 csatornás beren-

dezés mikrohullámú adóját is akár magyar gyártmányú turbátorokkal is 200 MHz feletti sávban (egy-egy csöveknél majdnem 400 MHz sávban) végighangolni.

Hozzászóló részletesen ismertette a zajosság okait, amelyek a turbátor üzemének ún. módus-ugrásaiban keresendők. A módus-ugrások, amelyek impulzus üzemből azt jelentik, hogy az egyik kiadott impulzus egy másik kisugárzott impulzustól frekvenciában különbözik és üzem közben a két típusú impulzus megjelenése statisztikusan ingadozik: megfelelő ellenőrző szerelvény segítségével oszcillográfon jól láthatók és az anódfeszültség megfelelő változtatásával mindig megszüntethetők.

A hozzászóló megemlítette azt is, hogy kutatások folynak a turbátor oszcillátorok kevésbé durva okokból eredő zajosságának vizsgálatára is, és bár ennek eredményei még nem tekinthetők véglegesnek, de az már most teljes bizonyossággal elmondható, hogy impulzus helyzet modulációs rendszerekben a turbátor oszcillátor zaja az összeköttetés jel/zaj viszonyát minimum 50 dB-ig nem korlátozza. Ezen érték felső határa az, ami még ismeretlen ezen a téren.

A frekvencia-modulálhatósággal kapcsolatban saját kísérletei, valamint Dallos elvtárs előadásában hallottak alapján is a hozzászóló azon véleményének adott kifejezést, hogy az anódfeszültség modulációja segítségével ez aligha fog sikerülni.

Végezetül hozzászóló kifejezte azon véleményét, hogy a turbátorból kiaknázható valamennyi előny és tulajdonság még nincs hasznosítva, és az újabb kutatások számtalan régebbi probléma megoldása közben számtalan újat is vetettek fel. Ezek megoldása oly haszonnal járna, hogy megérdemelné a további fáradságot. Reméli, hogy a Beloianisz Híradástechnikai Gyárban fejlesztés alatt álló 24 csatornás berendezés kapcsán kidolgozott kísérleti turbátor oszcillátor a működés eddigi homályos pontjait is megvilágítja. Természetesen szükséges lenne a csőfejlesztők további kutatómunkája is, amelynek folytatását e helyen is kéri.

Befejezésül hozzászóló kifejezte azon óhaját, hogy a Konferencia előtt köszönhesse meg Dallos elvtársnak az elmúlt évek folyamán számára adott szíves támogatását és kérhesse azt, hogy ez a támogatás a jövőben se szűnjék meg.

RADVÁNY IMRE

A turbátor mind elméleti, mind a felhasználás szempontjából további figyelmet érdemel. A cső működési mechanizmusa a szakirodalomban közel sem annyira tisztázott, mint a soküreges magnetronoké. Az előadásban is szerepel két eredmény, melyek egymással látszólag ellentétben állnak. Az egyik a Posthumus-féle optimális működés feltétele, a másik a hidegvizsgálatokkal nyert elektromágneses téreloszlás.

A mérésekkel is igazolt Posthumus-összefüggés lényegében a π módusú működés feltétele, melynél az egymást követő résekben a térnek π fáziskülönbsége van. A téreloszlással végzett mérések üzemi frekvencián tengelyszimmetrikus rezonáns módust mutattak. Ilyen téreloszlás mellett a rezonátor szegmensekkel zárt oldalán nem lehetséges π fáziseltolás az egymást követő szegmensek között. A működés helyes értelmezése céljából a szegmensek közelében pontosabb térmérésre van szükség.

A cső működésének további tanulmányozása, mind a továbbfejlesztés, mind a felhasználás szempontjából kívánatosnak látszik. A cső továbbfejlesztésének iránya a frekvencia-modulálhatóság megvalósítása. A szakirodalomból több új frekvencia-modulálható kisteljesítményű magnetron kifejlesztéséről van tudomásunk, melyekről már Bognár et. előadása után szóltam. Ezek a csövek majdnem kivétel nélkül különböző külső reaktanciacsöves hangolást használnak. A turbátor esetében is ez látszik a legcélravezetőbbnek.

Brown-Boweri közlemény szerint a turbátor lehangoló vezetékpárjára kapcsolt nem rezgő két hasítékos magnetron feszültségszabályozásával frekvencia-modulálható. Az elérhető frekvencia elhangolás 4 Mc. A gyakorlatban kb. 6 Mc.-ra van szükség.

SZEKUNDERMISSZIÓS JELENSÉGEK NAGYFESZÜLTSEGEN MŰKÖDŐ VÁKUUMCSÖVEKBEN

WINTER ERNŐ levelező tag

Kivonat

Szigetelők szekunderemissziójának rövid ismertetése, szerepük az elektroncső működésében. Zavaró jelenségek, »S« effektus, belső ellenállás-csökkenés stb. Az elméleti és a valóságos cső. A szigetelőtartók szerepe a potenciálviszonyok megváltozásában a csövön belül, ennek ellenőrizhetetlensége.

Az oxidkatódok szikrázása, az eddigi magyarázatok hiányossága. A szigetelőtartók elhagyása, illetőleg helyes kialakítása jelentősen megnöveli az oxidkatód csöveken alkalmazható feszültségek felső határát és zavarmentesebb üzemeltetést biztosít.

RÁDIÓFREKVENCIÁS TÖMEGSPEKTROMÉTER NÉHÁNY VÁKUUMTECHNIKAI ALKALMAZÁSA*

SEBESTYÉN L. GÁBOR és VÁRADI F. PÉTER

I

A probléma felvetése

Az utóbbi évtizedben a tömegspektrométerek számos újabb, főleg ipari alkalmazására került sor. Sok iparágban egyre fontosabb szerepet játszik az alapanyagok tisztaságának kérdése, igen kismértékű szennyezések kimutatása, és így egyre kiterjedtebben használnak tömegspektrométereket nemcsak laboratóriumokban, hanem sorozatgyártás közben elvégzendő vizsgálatokhoz. Az ipari alkalmazás természetesen sok szempontból más követelményeket támaszt a spektrométerekkel szemben, mint az atomfizikai, vagy fizikokémiai laboratórium; számos esetben nincs szükség az Aston- és Dempster-féle készülékek, illetve ezek modern változatainak nagy felbontóképességére, mert a feladat nem izotópok szétválasztása, vagy tömegeffektus mérése, hanem például olyan gázkeverékek analízise, amelyben egymástól lényegesen eltérő tömegszámú gázok szerepelnek; fontos ellenben, hogy a mérés gyorsan végrehajtható legyen, a berendezés egyszerű, könnyen kezelhető és karbantartható, az eredmények kiértékelése azonnal végrehajtható legyen, és a berendezés költsége ne terhelje lényegesen a gyártmányt.

A klasszikus mágneses tömegspektrométerek ebből a szempontból nézve sok kívánnivalót hagynak maguk után. Még korlátolt felbontóképességű kivitel esetén is nagyméretű, bonyolult, költséges és szakképzett kezelőszemélyzetet igénylő berendezések.

Ezek a tényezők vezettek arra, hogy az utóbbi években számos olyan kísérlet indult meg, amely a klasszikus spektrométerektől eltérő elven igyekszik a tömegszétválasztást megoldani. Az egyik csoport a nagysúlyú és költséges segédberendezéseket igénylő, homogén erőteret előállító mágneset igyekszik kiküszöbölni és a tömegszétválasztást teljesen elektromos erőkterekkel megoldani. A másik csoport a mágnes tér megtartása mellett rádiófrekvenciás

* A Híradástechnikai Konferencián 1954. május 7-én elhangzott előadás.

ütemben váltakozó elektromos erőter alkalmazásával ér el kisméretű és egyszerűen kezelhető berendezést. Ez utóbbiak közül Hipple, Thomas és Sommer [1, 2] »Omeatron«-ját említjük meg, amelynél keresztezett elektromos és mágneses erők hatására az ionok spirális alakú pályát futnak be.

A tisztán elektromos erőteret alkalmazó típusoknál a tömegszétválasztás azon az elven történik, hogy az elektromos erők hatására a szétválasztandó ionok a tömeg/töltés viszonyuknak megfelelően különböző sebességre, illetve energiára tesznek szert, tehát bizonyos út befutásához szükséges időt mérve, a tömegük megállapítható. Az egyik ilyen Stephens [3], Cameron és Eggers [4] által leírt és kivitelezett berendezésnél az ionokat rövid időtartamú impulzusokkal felgyorsítják és a beérkezés idejét oszcillográfon széthúzva mérik. A berendezés felbontóképessége igen kicsinek bizonyult.

Olyan jellegű gázanalízis céljára, amely főleg a vákuumtechnikai iparban szükséges, lényegesen megfelelőbbnek látszik az a lineáris gyorsítóra emlékeztető, mágnes tér nélkül működő tömegspektrométer, amelyet Bennett [5], Boyd [6] és Heil [7] írtak le. Itt maga az analízáló cső egészen egyszerű, költsége normál rádióvevőcsőéhez hasonló és tömeggyártásra alkalmas. A felbontóképessége erősen korlátozott, de alkalmas arra, hogy a vákuumtechnikai iparban sűrűn előforduló feladatokat megoldjon. Ilyenek lehetnek például szivattyúk végvákuumának elemzése, vagy gázok tisztaságának folyamatos vizsgálata. A tiszta fém, fém-üveg és fém-kerámia csövek elterjedésével növekvő jelentőségű probléma a vákuumedények húzós helyeinek megkeresése, amelyekre a spektrométer egyszerű lehetőséget nyújt.

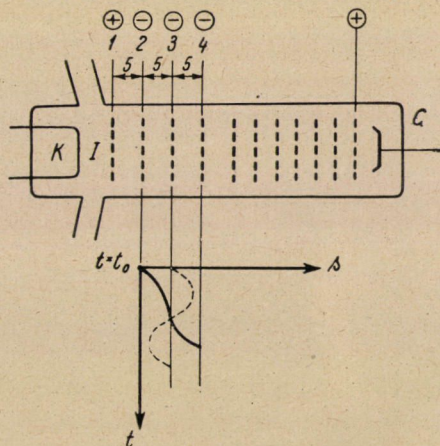
Az előadásunk első részében egy ilyen rendszerű tömegspektrométer elvét és néhány kísérleti eredményt ismertetünk, a második részében pedig a spektrométer egy speciális felhasználásával készült mérőberendezést.

A rádiófrekvenciás tömegspektrométer működési elve

A spektrométercső elvi vázlatát az 1. ábra mutatja. Az analizálandó gázkeverék a katód és az 1. rács által alkotott I. jelű térbe áramlik be. Itt az 1. jelű, pozitív feszültségű rács által felgyorsított elektronok, amelyek a K katódból lépnek ki, ionizálják a gázkeveréket. Ezt a pozitív rácsot egymástól azonos távolságra elhelyezett negatív rácsok sorozata követi; az első közülük kiszívja az ionforrás terében keletkezett ionokat, amelyek — minthogy a negatív rácsok egymásközt azonos feszültségen vannak — erőmentes térben mozognak tovább töltés/tömeg viszonyuknak megfelelően különböző sebességgel. Tételezzük fel, hogy a cső összesen három ilyen negatív rácsot tartalmaz és adjunk a középsőre kis amplitudójú rádiófrekvenciás feszültséget. A különböző

$$v = \sqrt{2 \frac{e_i}{m_i} V} \quad (1)$$

sebességű ionok más-más időpontban érkeznek a rádiófrekvenciás rácshoz, és így lesznek közülük olyanok, amelyeket a rádiófrekvenciás tér gyorsít, tehát energiát nyernek belőle, olyanok, amelyeket fékez, végül olyanok, amelyek energia- illetve sebességváltozás nélkül futnak át a rácson. A negatív rácsokat követően egy olyan elektródát helyezünk el, amelynek pozitív feszültséget adunk; ez a pozitív ionok számára akadályt jelent. A pozitív feszültség nagyságát úgy választjuk meg, hogy ezen a rácson csak a rádiófrekvenciás térből legnagyobb energiát nyert ionok jussanak át. Ezeket a továbbjutó ionokat egy kollektor



1. ábra. Spektrométer-cső elvi vázlata

elektródán fogjuk fel. A kollektorelektródára tehát csak azok az ionok jutnak el, amelyek a rádiófrekvenciás térből a legnagyobb energiát nyerik. Minthogy a rádiófrekvencia periódusa és a kollektorra eljutó ionok tömeg/töltés viszonya között meghatározott összefüggésnek kell fennállnia, a rendszer tömegspektrométernek alkalmas.

Célunk a következőkben a rádiófrekvencia periódusa és a kollektorra eljutó ionok tömege közti összefüggés megállapítása — amelyet a következőkben a spektrométer alap-egyenletének nevezünk — továbbá a fenti elven működő spektrométer felhasználási lehetőségeinek és korlátainak megállapítása, a spektrométer legfontosabb adatainak, így a felbontóképességnek és a maximális felbontóképesség mellett fellépő ionáramnak meghatározása.

A spektrométer alapegyenlete

A rádiófrekvencia periódusa és a kollektorra eljutó ionok töltés/tömeg viszonya közötti közelítő összefüggés egyszerű fizikai megfontolások útján nyerhető. Mint már megállapítottuk, a maximális energianyereségű ionok jut-

nak a kollektorra. A rádiófrekvenciát az 1. ábrán mutatott cső 3. rácására visszük rá a váltóáramúlag földelt 2. és 4. rácshoz képest és feltesszük, hogy amplitudója kicsi az egyenfeszültséghez képest. Az ionok energianyeresége nyilvánvalóan függ attól, hogy a rádiófrekvencia milyen fázisszögénél lépnek be a rádiófrekvenciás térbe, és attól, hogy a rádiófrekvencia periódus-tartamához képest mennyi idő alatt futnak be két rács közti távolságot. A két változó közül a kezdőfázis nem szabályozható, mert az ionok keletkezése és belépése a rádiófrekvenciás térbe statisztikus folyamat; a repülési idő ellenben az iongyorsító feszültség függvénye, és ezzel szabályozható. Az 1. ábrán mindjárt egy olyan ion pályáját és belépési szögét tüntetjük fel, amely maximális energiát nyert. Egy ilyen ion két rács közti repülési idejének olyannak kell lenni, hogy a rádiófrekvencia félperiódus változása alatt éppen megtegye az utat a 2—3. rácst közt, mert ebben az esetben a 2—3. rácst közt a teljes út befutása alatt gyorsítja az iont, és ez éppen akkor ér a 3. rácshoz, amikor a tér előjelet vált. Így a 3—4. rácst közötti út megtétele alatt a tér szintén gyorsítani fogja.

Jelöljük a 2—3. rácst közötti repülési időt $\tau_{2,3}$ -al és tételezzük fel, hogy a rádiófrekvenciás feszültség által okozott sebességváltozás kicsi az ion kezdősebességéhez képest. Abból a feltételből, hogy az ionnak a rádiófrekvencia félperiódusa alatt kell 2—3 rácst közötti utat befutni, következik, hogy

$$\tau_{2,3} = \frac{s}{v} = \frac{1}{2f} = \frac{s}{\sqrt{2 \frac{e_i}{m_i} V}} \quad (2)$$

azaz

$$\frac{e_i}{m_i} = 2 \frac{s^2 f^2}{V} \quad (3)$$

Vezessük még be az

$$m_i = M m_0 \quad (4)$$

jelölést, ahol M az ion tömegszáma és m_0 az egységnyi tömegszámú (hidrogén) ion tömege. Az ábrából látható módon a kezdő fázistól olyan módon függ az energianyereség, hogy 1 fokozat (3 rácst) esetén a maximális energianyereségű ion kezdőfázisa közel lesz 0-hoz (a fokozatok számának növelésével a legkedvezőbb kezdőfázis feltétele megváltozik). A kezdőfázis meghatározásának bizonytalansága miatt vezessünk be még egy k_1 arányossági tényezőt. Ezeket felhasználva a 3. egyenletből

$$M = k_1 \frac{V}{s^2 f^2} \frac{e_i}{2 m_0} = K \frac{V}{s^2 f^2} \quad (5)$$

A »szinkron futó« ion tömegszámát tehát első közelítésben ez az összefüggés adja meg, amely a spektrográf-cső méretezésének kiindulásául szolgálhat.

Eszerint, ha az iongyorsító feszültséget vagy a rádiófrekvencia periódusát változtatjuk, akkor más és más tömegszámú ionok lesznek azok, amelyek maximális energiát nyernek, tehát a fékezőfeszültség ellenére a kollektor-elektrodáig el tudnak jutni.

A tényleges kivitelnél természetesen az ionforrás lényegesen bonyolultabb lehet és a rácsok száma háromnál sokkal több, az alapegyenlet azonban ilyenkor is érvényben marad.

A pontosabb matematikai analízishez célszerű az ionok energianyereségéből kiindulni (8). Azzal a feltevéssel, hogy a rádiófrekvenciás térből származó sebességváltozás kicsi az iongyorsító feszültségből származó sebességhez képest, az energianyereség

$$\Delta W = \frac{1}{2} m (v_0 - v_1)^2 = \frac{1}{2} m (v_0 + v_1) (v_0 - v_1) \approx v \Delta mv = v \int P dt, \quad (6)$$

ahol

$$P = eE = e (-1)^n \frac{U}{s} f(\omega t + \Theta). \quad (7)$$

Ha a rádiófrekvenciás fokozatok száma N , akkor a teljes energianyereség

$$\Delta W = U \frac{ev}{s} \sum_{n=1}^N (-1)^{n+1} \int_{(n-1)\frac{s}{v}}^{n\frac{s}{v}} f(\omega t + \Theta) dt. \quad (8)$$

Ennek a kifejezésnek kell a szélső értékét keresni $a = \omega\tau = \omega \frac{s}{v}$ és Θ függvényében, azaz megállapítani, hogy milyen kezdőfázisú és repülési szögű ion nyer maximális energiát. Kimutatható, (8) hogy a

$$\Theta = p\pi - N \frac{a}{2} \quad (9)$$

fázisszög a legkedvezőbb és egy ilyen belépési szögű ion által nyert energia nagysága:

$$W_m = U \frac{2e}{a} \left| \operatorname{tg} \frac{a}{2} \sin N \frac{a}{2} \right|, \quad (10)$$

hogyha szinuszos rádiófrekvenciát alkalmazunk.

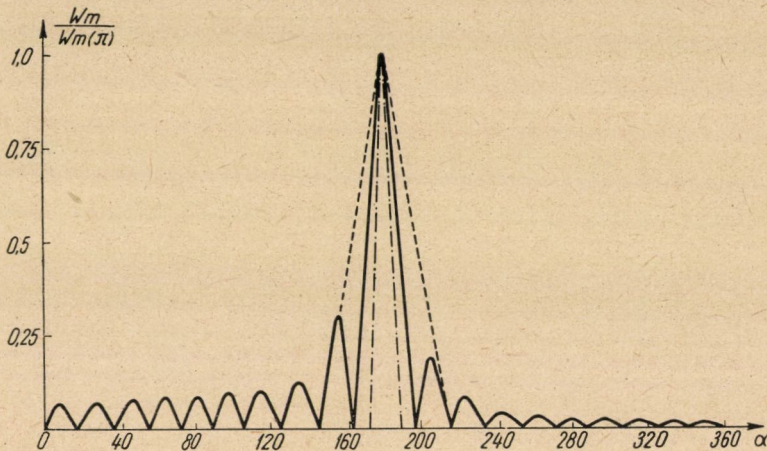
Ez utóbbi kifejezésnek elegendő nagyszámú fokozat (N) esetén $a = \pi$ -nél van szélső értéke, amint ez már a primitív fizikai képből következett és ez

$$W_m(\pi) = 2 eU \frac{N}{\pi} . \quad (11)$$

Célszerű a különböző futási szöggel rendelkező ionok energiáját erre a maximális energiára vonatkoztatva ábrázolni, azaz képezni a

$$\frac{W_m}{W_m(\pi)} = \pi \left| \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sin N \frac{\alpha}{2}}{N\alpha} \right| \quad (12)$$

hányadost. Ezt mutatja 2. számú ábránk $N = 10, 20$ és 40 esetére. Az ábrából a felbontóképességre és a harmonikus tömegek kiküszöbölésére vonatkoztatva fontos következtetéseket lehet levonni; erre a felbontóképesség tárgyalásánál fogunk visszatérni.



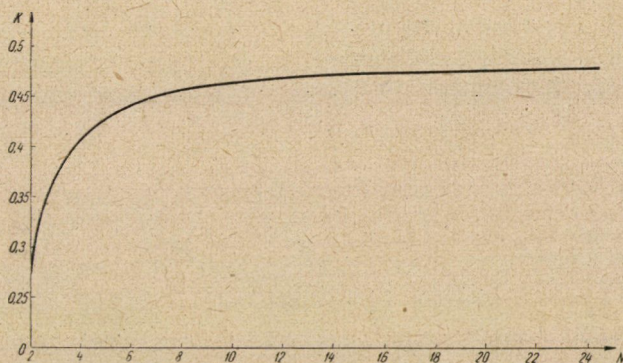
2. ábra. Ionok energianyeresége a repülési szög függvényében

$N = 20$ esetén —————
 $N = 10$ esetén - - - - -
 $N = 40$ esetén -

A 10 egyenletből kiszámítható, hogy különböző számú rádiófrekvenciás fokozat esetén milyen repülési szögű ion nyer maximális energiát, ebből pedig az

$$M = k_1 \frac{V}{s^2 f^2} \frac{e_i}{2 m_0}$$

összefüggés k_1 arányossági tényezőjének értéke határozható meg. A számítás eredményét a 3. ábra mutatja, amelyen a $k_1 \frac{e}{2 m_0} = K = f(N)$ összefüggést tüntettük fel. Ez az egy fokozatra érvényes 0,26 tényezőtől 0,49 felé tart, amint a fokozatok számát végtelen felé növeljük (a választott dimenziók mellett).



3. ábra. Az $M = k \frac{V}{f^2 s^2}$ összefüggés K állandójának változása a fokozatok számának függvényében. M = tömegszám, $[s]$ = cm, $[f]$ = MHz.

A felbontóképesség

A spektrométer felbontóképességét a szokásos módon definiáljuk :

$$R = \frac{m}{m_a - m_b},$$

ahol m annak az ionnak a tömege, amelyre a spektrométer a legérzékenyebb és m_a ill. m_b a két szomszédos ion, amelyből m -t el kell tudni választani. Ennek kvalitatív megítéléséhez már rendelkezésre áll a 2. ábra ; ennek abszcisszáján a tömeg négyzetgyökével arányos repülési szög áll :

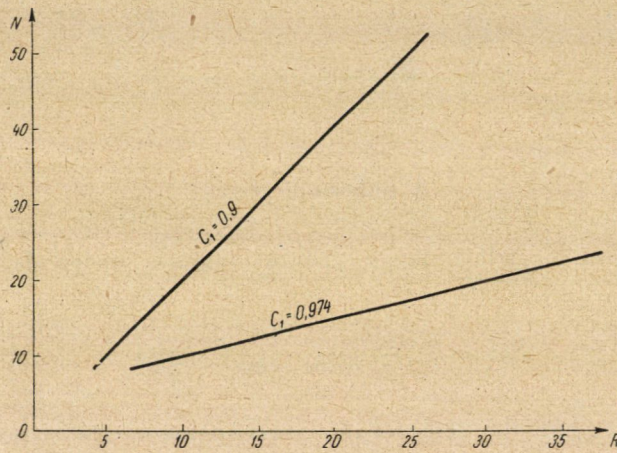
$$a = \frac{s}{v} \omega = c m^{1/2}. \quad (14)$$

Ha tehát a fékezőfeszültséget úgy állítjuk be, hogy a fékezőfeszültség megfelel a maximális energianyereségű ion által nyert energia bizonyos hányadának (ez a 2. ábrán úgy jelölhető, hogy $\frac{W_m}{W_m(\pi)}$ bizonyos értékénél vízszintes vonalat húzunk), akkor leolvasható, hogy melyik az a m_a illetve m_b tömegű ion, amely már nem jut el a kollektorra. Az ábra alapján megállapítható, hogy a felbontóképesség nő a fékezőfeszültség növelésével (a főhurok keskenyebb fent, mint lent), és növekszik, ha a fokozatok számát növeljük (lásd a $N = 10, 20$ és 30 -ra vonatkozó főhurkot). Mintegy 10 fokozat fölött a maximális energiát nyerő ion repülési szöge már igen közel van π -hez ($N = 20$ esetén $179^\circ 50'$) és ennek

az energianyeresége lényegesen több, mint más repülési szögűeké; legközelebb hozzá energiában (az ábrában fel nem tüntetett $\alpha = 3\pi$ repülési szögű ion van, ennek energiája a maximálisnak egyharmada. A fontos következtetés, amelyet a 2. ábra alapján valószínűsíteni kívántunk: olyan ionok, amelyeknek repülési szöge (azaz az ezzel arányos tömege) a

$$\pi - \frac{2\pi}{N} < \alpha < \pi + \frac{2\pi}{N} \quad (15)$$

intervallumon, (azaz a főhurok »talppontján«) kívül esik, nem juthatnak el a kollektorra, ha a fékező energiát elég magasra, a maximális energianyereségű



4. ábra. A felbontóképesség a fokozatok számának függvényében. $C_1 = 0,9$ és $C_1 = 0,974$ esetén

ion energiájának egyharmadánál magasabbra választjuk. A 10. egyenlethől, ha a fékező energiát a maximális energianyereségű ion energiájának C_1 -ed részére választjuk, a felbontóképességre a következő összefüggés nyerhető:

$$C_1 = \frac{\sin \frac{N\pi}{8R}}{\frac{N\pi}{8R}} \quad (16)$$

A 16. egyenletet tünteti fel a 4. ábra, amely így a felbontóképesség megítélésére alkalmas. A felbontóképességet két meghatározott C_1 érték mellett ábráztuk, a fokozatok számát választva másik változóknak.

A felbontóképesség tényleges megadásához most azt kell tisztázni, hogy ezt a C_1 értékét milyen magasan lehet megválasztani. Nyilvánvalóan a felbontó-

képesség akkor lesz a legjobb (az összes többi paramétereket változatlanul tartva), ha C_1 értékével egészen közel megyünk az egységhez.

Ilyenkor azonban a »jó« ionok közül is egyre kevesebb jut el a kollektorra, egyre szűkebb lesz az a $\Delta\theta$ intervallum az optimális θ körül, amelyen belül kell lenni a kezdőfázisnak, hogy az ion a kollektorig eljuthasson. A rádiófrekvenciás rácsok és a fékezőrács egy olyan rendszert alkotnak, amelynél a fékezőfeszültség növelése esetén a rádiófrekvencia egyre kisebb »folyási szögek« alatt folyik a kollektorra ionáram, amely tehát a rádiófrekvencia ütemében lüktetni fog. Nevezzük »áramhatásfok«-nak valamilyen gáz ionjai közül a kollektorra eljutó és az ionizáció következtében keletkező valamennyi ion viszonyát :

$$\eta = \frac{I_k}{I_0}, \quad (17)$$

Ez az áramhatásfok a fékezőpotenciál értékének növelésével csökken. Kimutatható, hogy közelítően

$$R\eta = \text{állandó}, \quad (18)$$

mégpedig a rádiófrekvencia hullámalakjától függetlenül. Ez azt jelenti, hogy a felbontóképesség, az áramhatásfok (és ami ezzel egyértelmű, a kollektorra eljutó ionáram) rovására növelhető, és a fékezőfeszültség értékének megválasztásával széles határok között változtatható. A felbontóképességnek tehát — többek között — határt szab az ionáramdetektor érzékenysége. Ha nem laboratóriumi berendezést, hanem üzemben alkalmazható készüléket akarunk építeni, akkor az ionáram-detektor érzékenységevel 10^{-10} – 10^{-12} A áramerősségre vagyunk korlátozva. Ennél kisebb áramerősség mérése rendszerint speciális csövet és üzemi szempontból túlságosan kényes berendezést igényel.

Meg kell említeni, hogy az ionáram mérése történhet váltóáramú erősítővel is. Ugyanis, ha a rádiófrekvenciát kis periódusú váltófeszültséggel amplitudóban moduláljuk, akkor a kollektoron keletkező, rádiófrekvenciás ütemben ingadozó ionáram ugyanezt a modulációt mutatja úgy, hogy erősítés és demodulálás után szelektív erősítővel lehet tovább erősíteni és indikálni. Egy tájékoztató számítás meggyőzhet arról, hogy a felbontóképesség szempontjából ezzel nem sokat lehet nyerni, mert ha pl. 1 MHz-en a váltóáramú erősítő bemeneti impedanciája 200 000 ohm, akkor 10^{-12} A ionáramnál $0,2\mu\text{V}$ nagyságrendű feszültség jut az erősítő rácsára; ez már a zajfeszültségek nagyságrendjébe esik, tehát nem hasznosítható. Váltóáramú erősítő esetén az előny az, hogy a kényes és megbízhatatlan egyenáramú erősítő elmarad és az analizálandó spektrum oszcillográf ernyőjén — gyorsan lezajló vizsgálatok céljára — közvetlen látható.

A felbontóképességet befolyásoló további tényezők

A felbontóképességet befolyásoló tényezők közül eddig a fékezőpotenciál szerepével foglalkoztunk és megállapítottuk, hogy a felbontóképességnek ilyen módon történő emelését a detektor érzékenysége korlátozza. A 4. ábra azt mutatja, hogy a rácsszám növelése milyen eredménnyel jár a felbontóképesség javítása szempontjából. A rácsszám növelésénél azonban hamarosan komoly technológiai akadályokba ütközünk, mert 20–30 rácson felül a rácshuzalok által befedett terület már közel van a teljes rácshullámhoz, az ionok egyáltalán nem juthatnak el a kollektorig, mert feltétlenül fennakadnak valamelyik rácson. Ha a rácshuzalok átmérőjét vékonyítjuk és úgy szereljük a rácsokat, hogy egymással fedésben legyenek, akkor ez a rácsszámhatár feljebb tolódhat.

A rádiófrekvenciás feszültség hullámalakja befolyásolja ugyan a felbontóképességet, viszont a felbontóképesség és áramhatásfok szorzata a hullámalaktól közel függetlenül állandó. Nyilvánvaló: négyszöghullám a felbontóképesség szempontjából kedvezőbb, mint a szinuszos.

A felbontóképességet erősen befolyásolja a szétválasztandó gázok relatív mennyisége, illetve parciális nyomása. Ha pl. két egymáshoz közel eső tömegszámú gáz között több nagyságrendű nyomáskülönbség van, akkor a szétválasztásuk igen nehézé válik.

A felbontóképesség függ továbbá az ionforrás kiképzésétől, melynek ti. biztosítani kell, hogy az analizáló térbe belépő valamennyi ion azonos feszültségkülönbségen essék át, az ionnyaláb »energiahomogén« legyen.

Néhány mérési eredmény

Kísérleti vizsgálataink első része arra irányult, hogy az (1) egyenletben foglaltakat ellenőrizzük. Ezért kísérletsorozatot készítettünk 5–12-ig terjedő rácsszámú csövekből, ahol minden egyes példánynál más volt a rácstávolság. Ezeket ismert, azonosnyomású gázzal megtöltve leválasztottuk a szivattyúról. Azt tapasztaltuk, hogy az

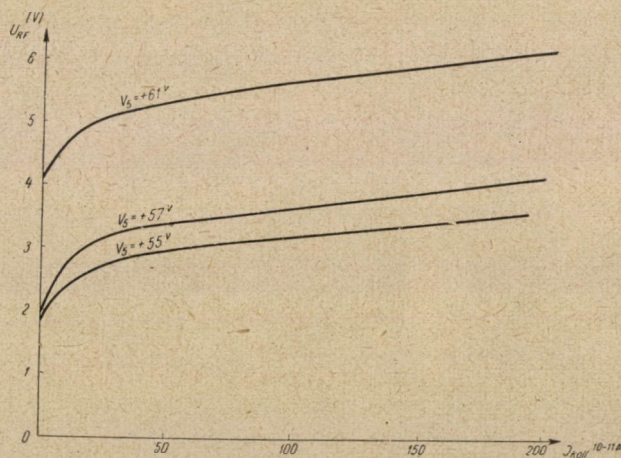
$$M = K \cdot \frac{V}{s^2 f^2}$$

összefüggést a kísérletek igazolták. A pontosság növekedett akkor, hogyha a fékezőfeszültség olyan volt, hogy C értéke 0,9–1 közé esett, és a rádiófrekvenciás feszültség nem volt több az iongyorsító feszültség 0,2-énél.

A gázkeverék analízise céljára egyaránt lehet V -t vagy f -et változtatni. A rádiófrekvencia változtatása esetén nagyobb tömegátfogást lehet elérni, és egyetlen mennyiséget kell változtatni; viszont nehézséget jelent a rádiófrekvencia amplitudójának állandó értéken tartása. A rádiófrekvenciás amplitudó

és a kollektorra eljutó ionáram közti összefüggést mutatja az 5. ábra, különböző fékezőfeszültségek mellett. Az egyenfeszültség változtatása sokkal könnyebben végrehajtható, ilyenkor viszont a pozitív fékezőfeszültséget együtt kell változtatni az iongyorsító feszültséggel és sokkal kisebb a tömegátfogás. Ezenkívül kis rácsszám esetén az össz-ionáram is változik, ha az iongyorsító feszültséget széles határok közt változtatjuk.

Első kísérleteinknél, ahol az ionforrás kiképzésére semmilyen gondot nem fordítottunk, azt tapasztaltuk, hogy a felbontóképesség kb. 10, három rádió-frekvenciás fokozat esetén, ha az ionárammérő érzékenysége olyan, hogy $1^\circ = 10^{-12}$ A és C értékét 0,9–1 közötti értékre választottuk. A nyomás 10^{-3} és



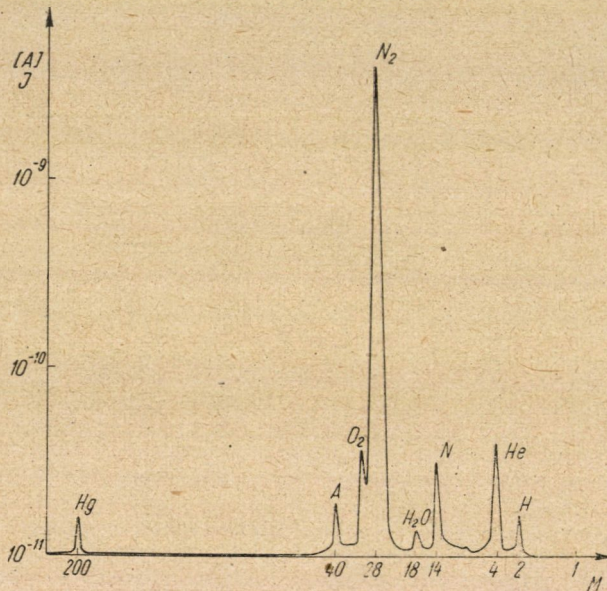
5. ábra. A kollektoráram és a rádiófrekvenciás feszültség közötti összefüggés különböző fékező potenciálok esetén. 5 rácson cső, Argon-gáz, $P \cong 10^{-5}$ Hg mm, $V_{r1} = +50$ V, $V_{r2} = V_{r5} = V_{r4} = -20$ V, $V_{r5} = +61, +57, +55$ V, $V_{koll} = -40$ V, $I_{elektron} = 0,6$ mA

10^{-6} Hg mm között volt. Több fokozat esetén a legegyszerűbb ionforrás alkalmazásával a felbontóképesség annyira javult, hogy nitrogén és oxigén jól szétválaszthatóvá vált. Kísérleteinknél nem a felbontóképesség maximális kihasználása volt a cél; valószínűnek látszik, hogy ugyanilyen rendszerű csővel lényeges módosítás nélkül a felbontóképesség 80–100-ig fokozható.

A spektrométert felhasználtuk annak ellenőrzésére, hogy szivattyúzás közben milyen gázok maradnak a csőben. Egy ilyen mérés eredményét mutatja a 6. ábra, ahol azt vizsgáltuk meg, hogy a szivattyúzás közben fellépő 10^{-4} nyomást milyen komponensek okozzák. A csövek hitelesítés és ellenőrzés céljára két gázt, argont és héliumot engedünk be; ezenkívül találtunk nitrogént, ill. levegőt, higanygőzt, amely nyilvánvalóan a higanydiffúziós szivattyúból származik, hidrogént és több nehéz szénhidrogént, amelyek feltételezhetően a szivattyú olajából vagy csapszírből kerültek bele. A spektrumot úgy vettük fel,

hogya a rádiófrekvenciát változtattuk. A kísérleteket megismételtük egy olajdiffúziós szivattyúval. Itt a higanygőz elmaradt.

Másik kísérletnél 10^{-5} Hg mm körüli vákuum elérése után magát a spektrométercsövet, amelybe gettert helyeztünk el, leforrasztottunk a szivattyúról. Az analízis azt mutatta, hogy a 10^{-5} Hg mm körüli nyomást majdnem teljes egészében levegő okozta, amelyet a spektrométer nitrogénnek mutatott; a többi komponens ennél legalább egy nagyságrenddel kisebb parciális nyomást adott. A getter elengedése után a nyomás 10^{-6} Hg mm-nél jobbra változott, és a nitrogént kimutatni nem tudtuk.



6. ábra. Szivattyú végvákuumának analízise

A rádiófrekvenciás spektrométer ebben az egyszerű kivitelében is lehetővé teszi számos olyan alapvető fontosságú folyamat megfigyelését, amelynél költséges és bonyolult eljárásokra voltunk utalva, vagy megfelelő felszerelés hiányában teljesen sötétben tapogatóztunk. Ilyen felhasználási területek közül néhányat említsünk: fémek gázleadásának és elnyelésének vizsgálata, gázok tisztaságának megállapítása, különös tekintettel gáztöltésű csövekre (thyatronok, gáztöltésű stabilizátorcsövek), getteranyagok gáznyelésének vizsgálata, oxidkátódok tulajdonságainak vizsgálata stb. Egy speciális felhasználását a második részében ismertetjük.

Köszönettel tartozunk Winter Ernő akadémikusnak, aki a problémára felhívta figyelmünket és a fejlesztés menetét irányítja.

II

Rádiófrekvenciás lyukkereső kidolgozása

A rádiófrekvenciás tömegspektrómetérral végzett elvi kutatások megvilágították azokat a határokat, amelyeken belül a klasszikus — mágneses — tömegspektrómetéert helyettesíteni tudja. Ezekből az alkalmazási lehetőségek-ből elsősorban a vákuumtechnikai ipar időszerű kérdéseit szem előtt tartva, dolgoztuk ki az rf. lyukkeresőt. Mielőtt a kidolgozott berendezés működését és a mérési eredményeket ismertetnénk, szeretnők körvonalazni a lyukkeresési módszerek fejlődését és megjelölni az új eljárás helyét az eddig használt módszerek sorában.

Lyukkeresési eljárások alatt azokat a módszereket értjük, amelyek segítségével a vákuumedények mikroszkopikus méretű hibahelyeit fel lehet deríteni. A kezdetleges eljárások — így a Tesla transzformátor, a különböző folyadékok felszívása stb. — egyszerűségük miatt elterjedtek, felhasználásuk azonban csak üvegfelületekre korlátozódik. Az új követelmények: fém—üveg forrasztási helyek, fém-edények stb. új módszerek kidolgozását tették szükségessé.

Ezekre az új feladatokra elsősorban azt a jelenséget használták fel, hogy az ionizációs manométerek érzékenysége függ a mért gázfajtától [9]. Így pl. nitrogénre hatszor érzékenyebb, mint héliumra. Ha tehát levegő helyett egy szondán hélium gázt vezetünk a lyukhoz, hélium kerül a rendszerbe és a manométer kevesebb nyomást fog mutatni. A gázzondás elv jóságát lerontotta azonban, hogy ezek a meghatározások nem voltak egyértelműek, és érzéketleneknek bizonyultak.

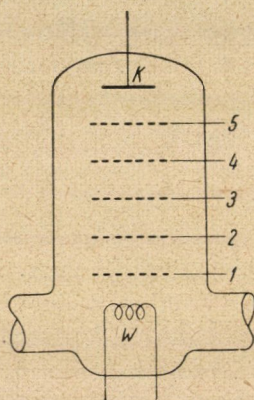
Az egyértelműség biztosítására tökéletesítették [10, 11] ezt a módszert, úgy, hogy a manométer csak egyetlen gázra legyen érzékeny. Itt azt a jelenséget használták fel, hogy egy izzó palládium membrán hidrogén számára áteresztő, míg a többi gázra nem. A manométercső és a vizsgált vákuumedény közé palládium membránt iktattak be. A palládium membránt használat közben felizzítják. Az ily módon hidrogénre érzékennyé tett manométer csak a szondából érkező hidrogént fogja jelezni. A módszer a kis érzékenységen kívül még számos hátránnyal rendelkezik.

Egyértelmű és érzékeny módszer a tömegspektrómetéres eljárás, ahol a szondából beérkező gáz detektálására tömegspektrómetéert használnak [12, 13, 14]. A mágneses tömegspektrómetérek elterjedésének határt szab a beszerzésével és üzemeltetésével járó költség, valamint kezelésének körülményessége. Az előzőekben ismertetett rádiófrekvenciás tömegspektrómetér lyukdetektálási célra történő kidolgozása azonban olyan műszert eredményezhet, mely megtartja a tömegspektrómetéres módszer előnyeit, annak hátrányai nélkül, kibővítve azzal, hogy ugyanaz a berendezés — mivel a vákuumrendszerbe beépíthető — alkalmas lyukkeresésén kívül — mint ionizációs manométer — a rendszer össznyomásának mérésére is.

Az *rf.* lyukkereső kidolgozásakor elsősorban azokat a szempontokat vettük figyelembe, amelyek a vákuumtechnikai iparban történő felhasználásánál előnyt jelentenek. Kidolgozásakor célszerű volt arra törekedni, hogy méretei, gáztalaníthatósága és előállítási költsége ne sokkal különbözzék egy kommerciális ionizációs manométertől, továbbá az elektronikus berendezés oldja meg azt a feladatot is, hogy a hidrogén gáz detektálásán kívül — átkapcsolással — a rendszer össznyomását is mérje, és ezzel egy külön manométer felhasználását tegye szükségtelenné.

A következőkben egy, a gyakorlati használatban bevált síkelektrodás *rf.* lyukkereső spektrométer kivitelezett alakját ismertetjük.

A spektrométer cső elvi vázlatát a 7. ábra adja meg.



7. ábra. A spektrométer cső elvi vázlatát

Ionforrás. Az izzó W katódból kilépő elektronokat az 1. jelű pozitív feszültségű rács gyorsította fel. A felgyorsított elektronokkal történő ütközés következtében ionizált pozitív töltésű gázmolekulákat a következő (2. számú) negatív feszültségű rács »húzta« ki az ionizáló térből.

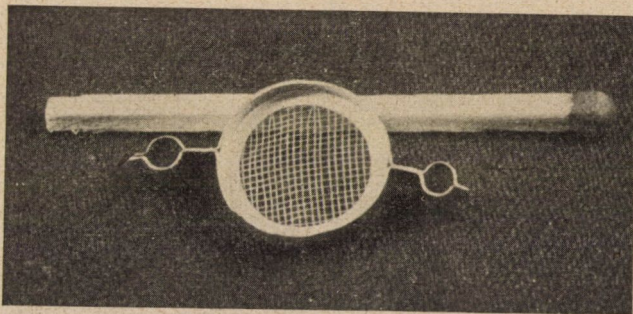
Az analizáló rácsrendszer. A 2. jelű negatív feszültségű rács már egyúttal az analizáló rácsrendszer első rácsát képezte. Az analizáló rácsrendszer a 2, 3, 4 jelű rácsokból állt, melyek azonos negatív egyenfeszültséget kaptak, melyre szuperponálva a 2 és 4 rácsok kapták a rádiófrekvenciát.

Az 5. rács pozitív fékező-feszültséget kapott, úgy, hogy a rádiófrekvenciás térből energiát nyert »jó« ionokat átengedje, míg azokat, amelyek a térből energiát nem nyertek, visszataszítsa. Az 5. rácson átjutott »jó« ionokat a negatív kollektor (K) elektróda gyűjtötte össze.

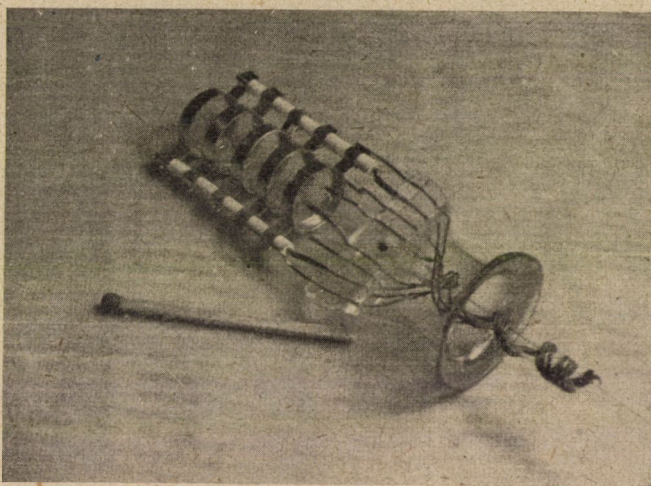
A kollektor elektródát a többi elektródától jól szigetelve kellett kivezethatnünk az üvegballonból.

A mérőcső felépítése és anyaga. A spektrométercső felépítése megköveteli a ráctávolságok pontos betartását, míg a gáztalaníthatóság és könnyű összeállítás pedig az egyszerűséget és kevés anyag felhasználását teszi szükségessé.

A rácestávolságok igen pontos betartását érték el rézgyűrűk alkalmazásával, mikor a szigetelést csillám-gyűrűkkel oldottuk meg. Jobban beváltak az esztergált szteatit (zsírkő) gyűrűk, melyek segítségével a konstrukció is egyszerűbb lett. A kísérleteknél kiderült, hogy mind a szerelhetőség, mind a gáztalanít-



8a. ábra

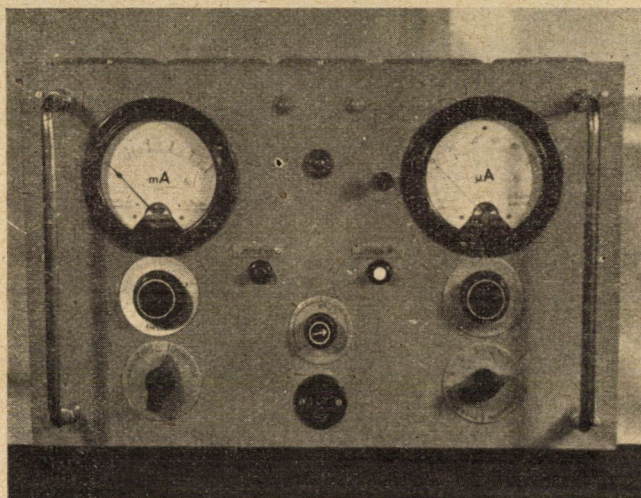


8b. ábra

hatóság szempontjából előnyösebb a katódsugárcsőgyártásnál használt bilincses eljárás felhasználása, bár a távolságtartás pontatlanabb, mint az előzőkben említett módszerek. Az rf. lyukkereső manométer cső esetében ez a rácestávolság szórás $\pm 0,05$ mm megengedhetőnek bizonyult. A rácsok és a kész szerelvény képét a 8. ábra szemlélteti. Különös gondot kellett fordítani a síkrácsok behelyezésére. Szükséges, hogy a rácshuzalok a lehetőséghez képest fedésben legyenek, mert ellenkező esetben nagy ionveszteség állhat elő.

A felhasznált alkatrészeket, rácestartókat, rácsokat, kollektort nikkeltől készítettük. Célszerű volt az izzó W katód közelében levő rácsokat aranyozni, hogy meleg állapotban történő hirtelen levegőbetörés, esetleg huzamosabb ideig rossz vákuumban történő működés következtében ezek az alkatrészek ne oxidálódjanak el.

A spektrométercső mérete egy normál ionizációs manométer méretével megegyezik. Vizsgálatainknál a cső üvegballonját úgy képeztük ki, hogy a csövet a szivattyúzott gázáram útjába, tehát a diffúziós szivattyú és a vizsgált vákuum-edény közé helyezhettük el.



9. ábra

Az elektronikus berendezés négy részből tevődik össze :

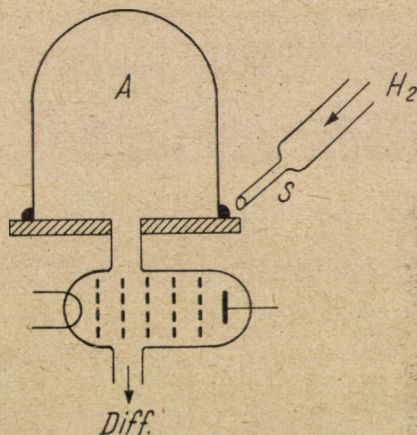
1. Stabil feszültségeket szolgáltató egység ;
2. a mérő cső elektronáram stabilizátora és az ezzel kombinált automatikus védelmi berendezések ;
3. fix frekvenciát stabil feszültségen szolgáltató generátor ;
4. erősítő (ionáram-mérő).

A fenti elektronikus problémák megoldása a szokásos kapcsolásokkal keresztülvihető volt. A berendezés kizárólag normál rádiócsöveket használ fel. Az ionáram-mérő érzékenysége 10^{-11} A/1°.

A berendezés fényképe a 9. ábrán látható.

Az rf. spektrométer felhasználása lyukkeresési célra

A hibahelyek megkeresésére hidrogén-gázt használtunk fel. A hidrogént a 10. ábrán látható S szondán át vezetjük a vizsgált tégig. Az S szondát alkotó kvarc kapillárisból kiáramló gázt meggyújtottuk és beállítottunk egy kb. 2 cm magas lángot. A kapilláris átmérője 1 mm volt. A lángot ezután elfújtuk, és a szondát szisztematikusan végigvittük az A edény mellett. A lyukas hely közelébe érve a hidrogénre érzékenyebbé tett spektrométer ionáram jelző műszere a gáz jelenlétét kimutatta. A szondát az észlelési hely közelében lassan mozgatva, a legnagyobb kitérés helye a lyuk jelenlétét mutatta.



10. ábra. A lyukkeresési eljárás vázlatos rajza

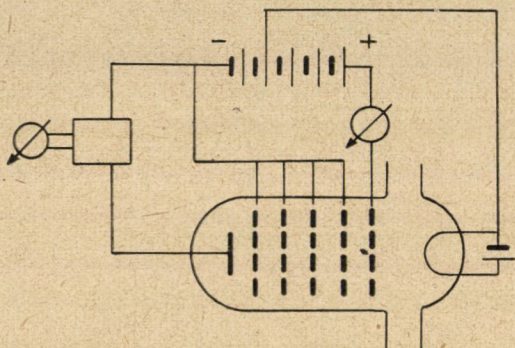
Példaképpen megemlítünk egy beállítást, mely mellett jó eredményeket lehet elérni. Ennél az

1 rác	+ 40
2—3—4 rác	— 50
5 rác	+ 95
kollektor	— 20

volt feszültségeket kaptak. Erre az egyenfeszültségre szuperponálva a 2 és 4 rácok 9 V rf. feszültséget is kaptak. Az 1 rácra konstans 2 mA elektronáram futott. Ennek állandóságát az elektronáram stabilizáló biztosította. A rácok közötti távolság 7 mm volt. A fenti értékek mellett a hidrogén és argon maximumai a következő frekvenciáknál jelentkeztek :

H_2	5,6 MHz
A	1,6 MHz

Az rf. lyukkereső érzékenységére, vagyis arra, hogy melyik az a legkisebb tömítetlenség, melyet észlelni tudunk, néhány kísérleti tapasztalatot írunk le. Kísérleteinknél olyan tömítetlenségek kimutatása is előfordult, ahol a tömítetlenség folytán az eredeti kb. 10^{-6} Hg mm-es vákuum 1.10^{-5} Hg mm-re romlott le. Hozzá kell tennünk, hogy a szivattyúnk szívási sebessége kb. 5 sec.-nek vehető ebben a tartományban. Ez az adat a gyakorlatban azt jelenti, hogy pl. egy adott esetben megvizsgáltunk egy csövet, mely getterét kb. 2 hét leforgása alatt vesztette el, és a csövön egymástól 1 cm távolságban 2 lyuk volt kimutatható, melyek közül az egyik egy nagyságrenddel kisebbnek mondható, mint a másik.



11. ábra. A spektrométer-cső kapcsolási vázлата ionizációs manométerként történő felhasználásánál

Másik jellemző példa lehet a húzós krómvascsapokkal végzett kísérletek. A krómvas bevezetőkön a repedések helye pontosan kimutatható. Ez talán arra jellemző, hogy a húzós hely négyzetmilliméteres területre is behatárolható.

Az rf. lyukkereső érzékenységét a mágneses tömegspektrométerekével közvetlenül összehasonlítani nem tudtuk. Az összehasonlítást csak a mágneses tömegspektrométerek irodalmi adatai alapján lehet megejteni. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a mágneses tömegspektrométerek által kimutatott legkisebb tömítetlenség értéke az rf. tömegspektrométerrel megközelíthető ($0,05 \mu/\text{óra}$). Ez főleg annak a következménye, hogy az rf. spektrométer a vizsgált rendszerbe közvetlenül beépíthető, míg a mágneses spektrométer nem.

A lyukkeresési módszerek jelzési idejét elsősorban a vizsgált rendszer szabja meg. Így függ a szívási sebességtől, a vákuumvezetékek ellenállásától, a vizsgált térfogattól. Egy másik tényező az alkalmazott lyukkereső saját válaszadási ideje. Az rf. lyukkereső válaszadási idejét az elektronikus berendezés jelzési ideje szabja meg. Ez utóbbi 0,5 sec. melyet azért nem rövidítettünk le, hogy az érzékeny mérés határban a műszer ingadozását elkerüljük.

Gázbetörés elleni védelem. Az rf. spektrométer gázbetörés elleni védelme, mely a cső W katódját megvédi a kiégés ellen, egyrészt, ha a cső véletlen folytán nagymennyiségű gázt kap, vagy megakadályozza a rossz vákuumban történő

bekapcsolást, igen lényeges. Az ionizációs manométerek esetében a védelmet úgy oldják meg, hogy az ionáram növekedése egy relét vezérel, mely a cső fűtését kikapcsolja. Ez a megoldás az rf. spektrométer esetében nem megvalósítható, mert a lyukkereső levegőre érzéketlen, így a kollektorra jutó ionáram számottevően nem emelkedik. Az automatikus védelmet tehát csak úgy lehetett megoldani, hogy a kikapcsolást az elektronáram stabilizátor végzi el. Ennek elve az, hogy konstans elektronáram fenntartásához növekvő gáznyomás esetén a W katód egyre nagyobb teljesítménnyel való fűtése szükséges. A fűtésbe beadott teljesítményt a berendezés csak egy ideig növeli, azután a fűtést kikapcsolja. Az eljárás a gyakorlatban bevált.

Az rf. lyukkereső leírásával kapcsolatban meg kell még említenünk, hogy a műszer szélesebb körű felhasználhatósága érdekében az elektronikus berendezést úgy készítettük el, hogy a műszer egyszerű átkapcsolásával a rendszer össznyomását is tudja mérni — mint ionizációs manométer.

Ebben a kapcsolásban a spektrométercső kapcsolási rajzát a 11. ábra szemlélteti. A csövet tehát, mint látható az ún. külső kollektoros kapcsolásban használjuk fel. Az elektronáramot az elektronikus stabilizátor 2 mA-en tartotta itt is. Az I. pozitív rács kivételével az összes többi rácsok és a kollektor is azonos negatív feszültséget kaptak ugyan, de az átvezetések elkerülése végett ionáramot csak a kollektoron mértünk. Ezt megtehetjük, mert a spektrométerhez szükséges erősítő a többi rácsok által felvett ionok mennyiségét nélkülözni tudta.

A fenti kapcsolásban használt manométer elektromos adatai a következők:

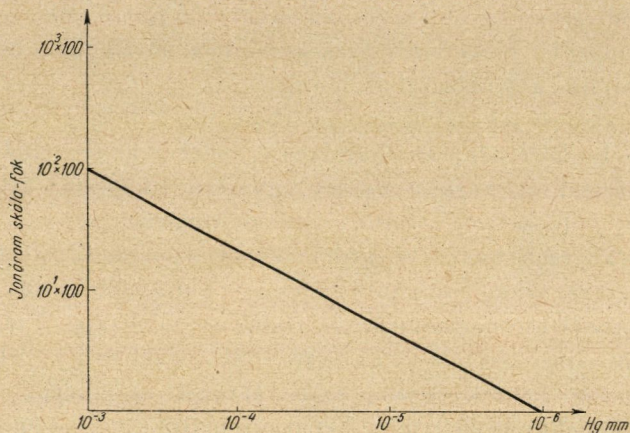
V_f	I_f	I_e	C	V_c	V_e
4,0 V	3,0 A	2 mA	0,5	200 V	-20 V

A kalibrációs görbét, amelyet a 12. ábra szemléltet 10^{-3} – 10^{-6} Hg mm között vettük fel egy hiteles McLeod manométer segítségével.

Az előző táblázatban feltüntetett adatokból láthatjuk, hogy a spektrométercső ion-manométerként való felhasználásakor a C konstans nem kedvező. Ez belátható abból a megfontolásból is, hogy az ionáram öt elektróda között oszlik meg, egy elektródára legfeljebb az össz-ionáram egyötöde juthat. Hozzá kell tennünk, hogy az ionáram mérését mi a legtávolabbi elektródán a kollektoron végezzük el, ahová az ion nyaláb feltágulása és a rácsfonalak fedése révén még ennél is kevesebb jut el. Ezt a rossz C konstansot azonban ellensúlyozza a spektrométer részhez amúgy is szükséges erősítő, amelynek teljesítőképessége messze felette van az ionizációs manométerhez szükséges három mérés határának. A műszer tehát rossz C konstans ellenére is alkalmas 10^{-6} Hg mm alatti nyomások

mérésére is. Ebben a tartományban a hitelesítést elvégezni nem tudtuk, azonban méréseket lehetett végezni *Ba* getterrel javított vákuumú lezárt csőben.

A fentiekben leírt műszer és mérőcső kísérleteinkben már több hónapja üzemben van, és bebizonyította az eljárás használhatóságát. Meg lehetett állapítani, hogy a berendezés továbbfejlesztése egy könnyen kezelhető gázanalizáló berendezést eredményezhet, mely alkalmas lenne az iparban egyrészt kontroll-



12. ábra. Az ion-manométer kalibrációja

mérések elvégzésére, másrészt folyamatos ellenőrzésre is. Mint láthattuk, sem a mérőcső, sem maga az elektromos berendezés különleges követelményeket nem támaszt, és könnyen kivitelezhető.

Jelölések

P	erő	a	repülési szög
e	elemi töltés	k_1	arányossági tényező
e_i	ion töltése	m_0	hidrogénion tömege
E	térerősség	R	felbontóképesség
Θ	fázisszög	η	áramhatásfok
τ	repülési idő	$c = \frac{sw}{(2eV)^{1/2}}$	
v	sebesség	V_f	fűtőfeszültség
s	rácstávolság	I_f	fűtőáram
m	tömeg	I_e	elektronáram
f	frekvencia	C	az ion manométer állandója
V	iongyorsító feszültség	V_0^+	elektrongyorsító feszültség
U	rádiófrekvenciás feszültség	V_i	ion gyorsítófeszültség
M	ion tömegszáma		
N	fokozatok száma		

IRODALOM

1. *Hipple, Thomas, Sommer* : Phys. Rev. **76**. 1877 (1949); Phys. Rev. **78**. 332 (1950); Phys. Rev. **82**. 697 (1951).
2. *J. A. Hipple, H. Sommer* : Nat. Bur. of Standards (1951).
3. *W. E. Stephens* : Phys. Rev. **69**. 691A (1946).
4. *A. E. Cameron, D. F. Eggers* : Rev. Sci. Instr. **19**. 605 (1948).
5. *W. H. Bennet* : Phys. Rev. **74**. 1222 (1948); Phys. Rev. **79**. 222A (1950); J. of Appl. Phys. **21**. 143 (1950).
6. *R. L. F. Boyd* : Nature **165**. 142 (1950).
7. *Z. H. Heil* : Zeitschrift für Physik **128**. 36 (1950).
8. *P. A. Redhead, C. R. Cromwell* : J. Appl. Phys. **24**. 331 (1953).
9. *S. Dushman* : Vacuum Technique (New York, 1949).
10. *N. Ochert és W. Steckelmacher* : Vacuum **2**. 125 (1952).
11. RCA Radio Tube Handbook.
12. *A. O. Nier, C. M. Stevens, A. Hustrulid és T. A. Abbott* : J. Appl. Phys. **18**. 30. (1947).
13. *A. Guthrie és R. K. Wakerling* : Vacuum Equipment. McGraw—Hill (1949).
14. *C. C. Milner* : J. Sci. Instr. Suppl. No. 1. **29**.(1951).

HOZZÁSZÓLÁSOK

CORNIDES ISTVÁN

Tisztelt Konferencia! Az elhangzott szép előadásokhoz két szempontból szeretnék hozzászólni magam és Tóth Lajos munkatársam nevében. Egyrészt a további lehetséges alkalmazások szempontjából, másrészt pedig a további alkalmazásokkal kapcsolatos megoldandó problémák szempontjából, a saját tapasztalataink és eredményeink alapján.

Ami az alkalmazásokat illeti, az irodalomban erre nézve sok adatot és megoldást nem találni. Talán az egyetlen, részletesebben leírt megoldás a Review of Scientific Instruments-ben ismertetett sztratoszféra-kísérlettel kapcsolatos, amely során 100 kilométer fölött megvizsgálták az atmoszféra összetételét. Ez nagyon szép kísérlet, de nem ipari alkalmazás. Barnard 1953-ban megjelent Modern Mass-Spectrometry című monográfiája a rádiófrekvenciás tömegspektrométert mint egy majd a jövőben valószínűleg alkalmazásra kerülő, de jelenleg még nem kifejlesztett berendezést nem is tárgyalja részletesebben.

Amint az előadásból kiderül, a helyzet az, hogy ez a műszer számos olyan tulajdonsággal rendelkezik éppen gyakorlati szempontból, amelyek indokolják, hogy felhasználást nyerjen számos ipari probléma megoldására. Tipikus példa éppen az előadó kollegáink által ismertetett lyuk-keresés. Ezt mintegy 10 év óta csinálják, de mágneses tömegspektrométerrel, aminek költségei természetesen messze felülmúlják a rádiófrekvenciás típusét.

Ezenkívül további alkalmazási lehetőséget jelent a gázleadási problémák vizsgálata, ami vákuumtechnikai szempontból fontos, vagy hogy egy másik példát említsek, minden további nélkül viszonylag kis felbontóképesség mellett is már alkalmazható lenne ez a berendezés GM-csővek töltőgáza szennyezettségének megvizsgálására egyrészt, másrészt pedig a használat során bekövetkező dezintegrálódás ellenőrzésére, amiről tudjuk, hogy a cső működését bizonyos számolás után lehetetlenné teszi.

Általában azt lehet mondani, hogy a szerves kémiai ipar gázanalízisei is elvégezhetőek lennének ezzel a típussal. Nálunk hazai vonatkozásban különösen fontos ez, hiszen máris működő mágneses tömegspektrométerrel nem rendelkezünk és nem valószínű, hogy a közeljövőben szériagyártásra alkalmas példányok jönnének létre, ami valóban annyit jelent, hogy különlegesen érdemes ezzel a típussal foglalkozni. Itt a szériagyártás sokkal könnyebben megoldható, hiszen az igények akár az elektronikában, akár a szereléstechnikában lényegesen kisebbek, nem is szólva az analízáló mágnes elmaradásáról.

Természetesen ezzel kapcsolatban néhány megoldandó probléma van, hiszen az említett alkalmazások megkívánnak egy 60–80, esetleg 100-ig felmenő felbontást, értve ez alatt azt, hogy 100-nál a 101-et még el lehessen választani, de legalább 60-nál a 61-et. Ebben az irányban mi is folytatunk kísérleteket és a mi berendezésünk a felbontóképesség tekintetében többet mutat, mint az előadó kartársaké, ami természetes is, mert hiszen mi nem a vákuumellenőrzésre, lyuk-keresésre mentünk rá elsősorban, hanem a nagyobb teljesítményű analízisre. S annak ellenére, hogy összeállított berendezésünk a mérés technikai vonal szempontjából egészen kezdetleges — commerce-eszközökkel dolgoztunk, kivéve az ionárammérést — el lehetett érni minden különösebb nehézség nélkül

az oxigénmolekula és a nitrogénmolekula éles szétválasztását, az argonról nem is szólva. Ez annyit jelent, hogy 32 és 28 biztos szétválasztása nehézség nélkül elérhető. Összesen három fokozatot használtunk fel annak érdekében, hogy ne terheljük meg túlságosan a mérőkört intenzitásigénnyel, ennek ellenére — mondom — jó felbontóképesség mutatkozott. Ez részben az általunk alkalmazott nagyobb intenzitású és jobban energiahomogén ionforrásnak, részben pedig annak köszönhető, hogy a fokozatok közt egy elektromos fáziskorrekción alkalmaztunk, ami éppen az energianyeres miatt szükséges. (Körülbelül olyan fáziskorrekción van itt szó, mint a ciklotronnál, ahol biztosítani kell, hogy a körbefutó ion ne essék ki a fázisból.)

Ilyen módszerekkel növelni lehet a műszer teljesítőképességét, s én azt hiszem, hogy a közeljövőben, különös tekintettel arra, hogy minden kongresszuson, ahol az azonos témán dolgozó kartársak megismerik egymást, az együttműködés lehetőségei nyílnak meg — ezen a téren egészen bizonyosan fogunk tudni jó eredményeket produkálni, s ezen az úton meg tudunk majd oldani olyan problémákat, amelyeket jelenleg Magyarországon még nem tudnak megoldani, vagy csak rendkívül hosszadalmas kémiai módszerekkel oldanak meg.

MAGYARI ENDRE

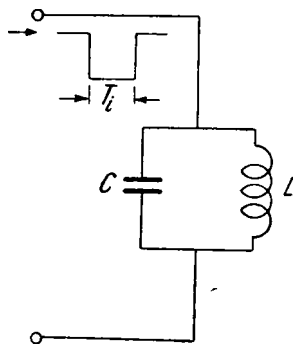
A »Rádiófrekvenciás tömegspektrométer« működési elvével kapcsolatban lenne egy kérdésem az i. t. Előadóhoz. A kérdésem megvilágításához szabad legyen egy közel analóg jelenségre rámutatnom az elektromos rezgések köréből.

Legyen CL rezgőkörünk önrezgésének periódusideje

$$T_0 = 2 \pi \sqrt{LC} \quad [T_0] = \text{sec}, [L] = \text{Henry}, [C] = \text{Farad}.$$

Ha a rezgőkört T_i impulzusidejű impulzussal meglökjük, kérdés: milyen

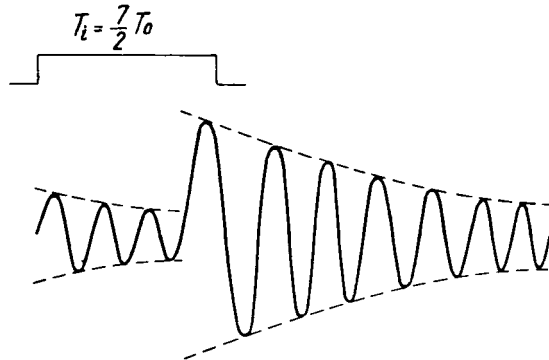
$\frac{T_i}{T_0}$ viszony mellett lesz a körben lefolyó rezgésnek maximális feszültség vagy áramamplitúdója?



1. ábra

Kísérletileg is könnyen igazolható — egybehangzóan az előadás ama megállapításával, hogy az ionok elektródák közti futásideje egyezzen meg a rádiófrekvenciás feszültség félperiódus idejével — a rezgőkör is $\frac{T_i}{T_0} = \frac{1}{2}$ esetén fog maximális kezdeti feszültséggel kirezegni.

Ha $\frac{T_i}{T_0} > \frac{1}{2}$, a kezdeti amplitudók csökkennek; $T_i = T_0$ mellett — félperiódus ideig gyorsítás, majd félperióduson át fékezés — alig kapunk számbavehető rezgéseket.



2. ábra

Ha tovább növeljük az impulzus időtartamát, pl. $T_i = \frac{3}{2} T_0$, közel azzal a kezdeti amplitudóval indulnak meg a rezgések, mint $T_i = \frac{T_0}{2}$ esetén.

Minden $T_i = 2n \frac{T_0}{2}$ impulzusnál alig lesz rezgésünk, minden $T_i = (2n-1) \frac{T_0}{2}$ közel azonos kezdeti amplitudóval rezeg ki a rezgőkör. [$n = 1, 2, 3, \dots$] Pl. $n = 4$ esetén az oszcillografikus ábra $T_i = \frac{7}{2} T_0$ mellett a 2. ábra szerinti lesz.

Kérdésem tehát, ha az argon-ionok 1,6 Mc mellett adnak le maximális energiát az indikátoron, 4,8 Mc vagy egyéb *páratlan* számú frekvencia többszörösénél nem fog-e indikáció éppen ismét az argonra történni és nem a háromszor kisebb tömegű nitrogénre, amint azt a frekvencia összefüggés mutatná?

SZIGETI GYÖRGY levelező tag

Rádiófrekvenciás tömegspektrométernél, ha azt gázanalízis céljaira használjuk, gyakran előfordul, hogy az előadásban említettnél nagyobb nyomású gázok vizsgálatára is szükség van. Mi az a legnagyobb nyomás, amely mellett a készülék még kielégítően működik?

Az előadók kvalitatíve megadták az egyes gázoknál mutatkozó csúcsértékeket. A berendezés alkalmas tehát különféle gázok jelenlétének kimutatására

és a gázmennyiségek hozzávetőleges megbecslésére. Kérdés: Vajon lehet-e kvantitatív mérésekre használni a készüléket? Történt-e kísérlet a készüléknek nemcsak lyukkereső, hanem gázanalizátor gyanánt való felhasználására is? Mennyire kalibrálható különböző gázok mennyiségi mérése céljából?

SZALKAY FERENC, a fizikai tudományok kandidátusa

A tömegspektrometria az elmúlt évek során mind a berendezések egyszerűsítésében, mind az alkalmazási területek változatosságában igen sokat fejlődött.

A gyakorlati alkalmazás majdnem minden területén a tömegspektrométer teljesítőképességére a két legfontosabb jellemző: a felbontóképesség és a spektrum felvételi ideje. Ilyen szempontból a legtökéletesebbnek a Mattauch-féle tömegspektrográf mondható, amely óriási felbontóképességgel az egész spektrumot egyidejűleg veszi fel fotográfiai lemezre.

Ez a berendezés azonban bonyolult és költséges. Az elektromos fókuszálás elhagyásával alakult ki a könnyebben felépíthető és üzemben tartható Nier-féle tömegspektrométer és a még egyszerűbb, mágneses terű lyukkereső.

Az ismertetett rádiófrekvenciás tömegspektrométer a berendezés egyszerűsége és olcsósága tekintetében határozott előnnyel bír a régebbi berendezésekkel szemben. Első megjelenésekor még azt a reményt is keltette, hogy érzékenyebb lesz a mágneses terűeknél. A felbontóképessége azonban — mint hallottuk — csak az érzékenység rovására fokozható és gyakorlatilag így is csak bizonyos határig növelhető.

Az aránylag alacsony felbontás azonban mégis elégséges arra, hogy a rádiófrekvenciás tömegspektrométert számos igen fontos területen eredményesen használjuk. Egyszerű és olcsó felépítése, kevés hibafaktorral dolgozó működése kitűnő szolgálatot fog tenni a vákuumtechnika igen sok problémájának megoldásában. Elismerés illeti meg Sebestyén és Váradi kartársakat, különösen abból a szempontból, hogy a berendezést sikerült egészen az elvi teljesítőképesség határáig kifejleszteni és egy rendkívül hasznos vákuumtechnikai műszert alkotni.

Mint lyukkereső, a berendezés minden eddigivel szemben határozott előnyben van, és főképpen ezen a téren kell értékelnünk a rádiófrekvenciás elv gyakorlati alkalmazását. A mágneses terű lyukkereső ennél sokkal költségesebb, kényelmetlenebb és nehezkesebb.

A rádiófrekvenciás tömegspektrométer további fejlődése még az lehetne, ha az egész spektrumot egyidejűleg venné fel. Az esetleges további kutatásokat helyes lenne olyan irányban folytatni, hogy a frekvencia modulálásával az egész spektrum egy oszcillográf ernyőjén jelenjék meg. Ezáltal a berendezés értéke és használhatósága még erősen növekednék.

VÁLASZ A HOZZÁSZÓLÁSOKRA

A spektrométer nyomáshatárát elsősorban a használt katód fajta szabja meg. A miáltalunk használt wolframkatód 10^{-3} Hg mm nyomásig üzemszerűen, 10^{-2} -ig rövid időre használható. Hideg katód használata esetén a felső nyomás-

határt valószínűleg ki lehetne tolni. Első kísérleteinknél lényegesen fontosabbnak látszott annak tisztázása, hogy mi a legkisebb nyomás, illetve finomvákuum, amelyen az analízis még végrehajtható. Ez 10^{-6} Hg mm körüli értéknek látszik.

A kvantitatív analíziseket illetően előkísérleteket végeztünk, amelyek biztató eredményt mutatnak. Így azt tapasztaltuk, hogy egy meghatározott gázra, pl. N_2 -re beállítva a spektrométert ugyanúgy, mint a közönséges ionizációs manométernél, széles nyomáshatárok között egyenes arányosság áll fenn az ionáram és a nitrogén-gáz nyomása között, függetlenül a többi gázkomponenstől. Ez irányú, még le nem zárt vizsgálatainkról későbbiekben szándékozunk beszámolni; valószínűnek látszik, hogy a rádiófrekvenciás spektrométer egyszerű módon kalibrálható lesz mennyiségi analízis céljára.

Gázanalizátorként történő felhasználásra kísérleteket végeztünk, még nem üzemszerű felhasználás, hanem inkább a spektrométer felhasználási lehetőségeinek tisztázására. Az előadásban bemutattuk egy szivattyú végvákuumának analízisének nyert eredményeket.

Felmerült az a kérdés, hogy a gázanalizátorként történő felhasználásnál nem lép-e fel ugyanaz a jelenség, mint olyan párhuzamos rezgőkörnél, amely saját rezgésidejének felét kitevő időtartamú impulzussal, illetve ennek $(n-1) \frac{T_0}{2}$ többszöröseivel gerjesztünk. Spektrométer esetében, ha pl. a geometriai és

feszültségviszonyokat úgy választjuk meg argongáz esetén, hogy az argonnak megfelelő frekvencia 1,6 MHz, 4,8 MHz-en történik-e az, hogy ismét argon-ionok jutnak el a kollektorra, mert ugyanannyi energiát nyernek, mint 1,6 MHz mellett.

A lineáris accelerátor-rendszerénél, amelyre a spektrométer emlékeztet, nem lép fel ez a jelenség. Az előadásnak megfelelő terminológiát használva, a 4,8 MHz azt jelenti, hogy az argon-ionok nem a rádiófrekvencia féelperiódusa alatt, hanem 3π alatt tesznek meg két rács közötti utat. A matematikai analízis, amelynek gondolatmenetéből néhány lépésre hivatkoztunk, azt mutatta ki, hogy 3π repülési szögű ionok a π repülési szögű ionok energiájának egyharmadát nyerik; ha a fékezőpotenciál értékét elég magasra választjuk, azaz $C \geq 0,33$, akkor ezek az ionok nem jutnak el a kollektorra. Egyébként pedig a tömeganalízis az

$$M = K \frac{V}{s^2 f^2}$$

összefüggésnek megfelelően V iongyorsító feszültség változtatásával is végrehajtható, amikor nyilvánvaló, hogy a rezgőkör-hasonlatnak megfelelő harmonikusok nem lépnek fel.

A Konferencia eredményei közé kell sorolni, hogy az azonos témakörrel foglalkozókat összehozta (gondolunk itt a KFKI elektromágneses hullámok osztályának munkájára), és a létrejött együttműködés meggyorsíthatja az előttünk levő feladatok megoldását.

TITÁNFÉM MINT VÁKUUMTECHNIKAI SZERKEZETI ANYAG*

KONCZ ISTVÁN, a műszaki tudományok kandidátusa

Az eddig kevésbé használatos, úgynevezett ritkább fémek közül a titán az, amelyik az utolsó 10 évben legnagyobb jelentőségre tett szert, és ma már az egész világon egy nagy mennyiséget termelő titánipar kezd kialakulni. Magyar szempontból különösen nagy jelentősége van az új fémnek, mert előállításához bőséges alapanyaggal rendelkezünk. Hazai bauxitjaink átlagban 2,5% titán-dioxidot tartalmaznak.

A vákuumtechnikai ipar termékeinek nagy része nehezen hozzáférhető, hazai alapanyaggal nem rendelkező fémet használ, így alapanyagellátása nincs biztosítva. A titán ipari előállítását a legutóbbi időkig az akadályozta meg, hogy a fémnek olyan nagy az affinitása oxigénhez, hogy a megszokott kohászati eljárásokkal nem redukálható. Így már a gyártása is kiterjedten alkalmaz vákuumtechnikai módszereket. Vákuumtechnikai eszközökkel történő kohászati eljárás fokozottan felhívta a vákuumtechnikusok figyelmét az új fémre és természetes, hogy a terméket elsősorban saját iparágukon belül igyekezzenek felhasználni. A fém technológiai tulajdonságait végzetes mértékben befolyásolja az előállítás folyamán felvett oxigén vagy nitrogén és fenti elemekből már az 0,1% nagyságrendű szennyezés a fémet gyártástechnikailag hasznavehetetlenné teszi. Ilyen módon már a termelő ipar kénytelen teljesen gázmentes anyagot gyártani, ami vákuumtechnikai szempontból felbecsülhetetlen előnyt jelent.

A titán főbb fizikai és technológiai jellemzőit a túloldali táblázat mutatja, összehasonlítva a vákuumtechnikai szerkezeti anyagként jelentősebb fémekkel.

A titán olvadáspontja a nikkellez és vashoz áll legközelebb és bár ezeknél cca. 200 C°-kal magasabb, a wolframmal és molibdénnel nem összemérhető. Fajsúlya a nikkellez képest annak csak a fele.

Vákuumcsöveknél a vákuum tartós fenntartása az egyik alapvető probléma és míg a legtöbb használatos szerkezeti fémből a bennük oldott gázok magasabb hőfokon vákuumban felszabadulnak, addig a titán a vákuumtérből esetleg felszabaduló gázokat tartósan megkötni képes és ezeket magas hőfokon is kötve tartja. Egyetlen kivétel a hidrogén, melynek oldhatósága a hőfok emel-

* A Híradástechnikai Konferencián 1954. május 7-én elhangzott előadás.

	Ni	Fe	Ti	Mo	W
Olvadáspont C°	1455	1535	1720	2610	3380
Fajsúly g/cm ³	8,907	7,90	4,50	10,22	19,25
Fajlagos ellenállás 10 ⁻⁶ Ω cm	7,23 tisztá 9,48–11,33 kereskedelmi	10,0	47,5 – 54	5,03	4,91
Rézhez viszonyított vill. ellenállás	4,62	6,41	30,5	3,21	3,16
Hővezetőképesség Cal/cm/sec/C° 20 C°-nál	0,85	0,18	0,36	0,345	0,38
Szakító szilárdság kg/mm ²	32–40	18–25	32–40	100–150 (huzal)	70–180
Nyúlás δ%	50	40–50	35–38	–	–
Keményiség HB kg/mm ²	68–78	60–70	60–100	–	–
Duktilitás	nagyon jó	nagyon jó	jó	közepes	gyenge

kedésével csökken. Megfelelő üzem-hőfokú titánból készült alkatrészek segítségével tehát a cső vákuuma tartósan fenntartható. Az 1. ábra titánlemez (tehát nem finom poralakú fém) gázelnyelésének isothermáit mutatja az idő függvényében, Tomaschek Z. mérései alapján.

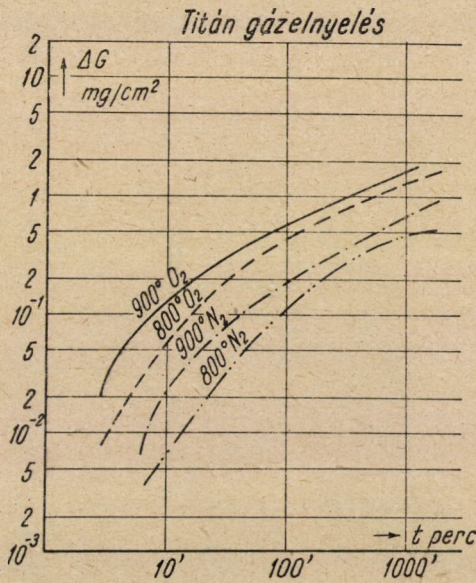
A gázelnyelő képesség 600 C° fölött kezd számottevő lenni, tömör fémet feltételezve. A gázelnyelő képesség változatlanul fennáll TiO_{0,5} összetételig, tehát minden gramm beépített titán 0,167 gr O₂ elnyelésére képes, így 1 gr titán a csőben uralkodó cca 10⁻⁶ mm-es nyomás mellett 8,9 × 10 liter oxigén elnyelésére alkalmas. Méréseink szerint a TiO_{0,5} összetételen felül is lényeges gázelnyelés van, azonban a beálló szerkezeti és szilárdsági változások miatt ennél a határnál jobban telíteni nem ajánlatos.

Miután a titán oldott gázokat nem tartalmaz és izzításkor hidrogénnel kívül nem ad le gázt, hanem elnyel, valószínűleg szükségtelenné válik az elektroncső gyártásánál aránylag sok munkaidőt jelentő folyamat — az alkatrész előizzítása.

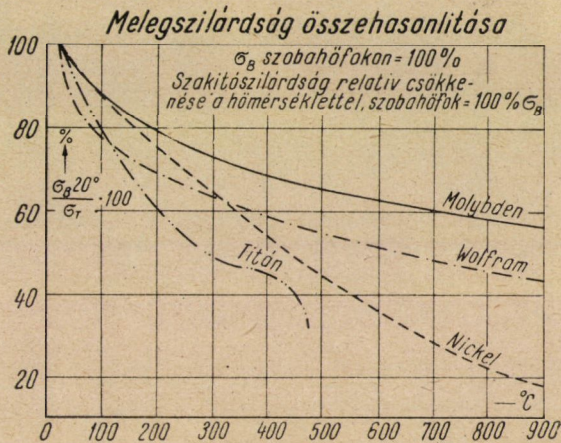
Mint fentiekben láthattuk, vákuumtechnikai szempontból a titán kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkezik. Érdemes tehát vizsgálni, hogy az általában használt konstrukciós anyagok szilárdsági és szerkezeti sajátosságai milyen viszonyban állnak a titánéhoz.

Elektroncsövek szerkezeti anyagai méretcsökkentés és egyéb okok miatt általában a megengedhető legmagasabb hőmérsékletig igénybe vannak véve. Az igénybevétel nagyságát egyrészt a melegszilárdság, másrészt a fém párolgási

sebessége határozza meg. A 2. ábra a melegszilárdság csökkenését mutatja a hőmérséklet függvényében, összehasonlítva a fontosabb szerkezeti fémekkel.



1. ábra

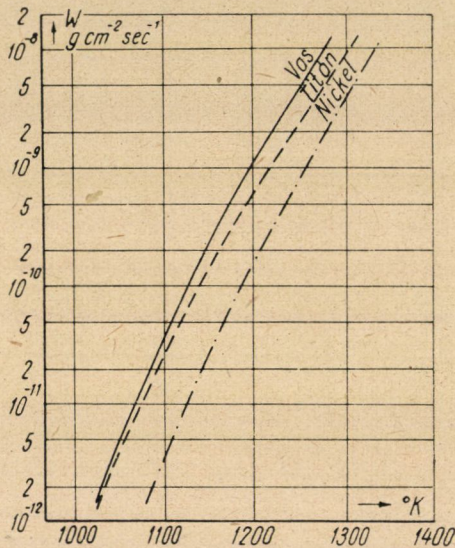


2. ábra

Amint az ábrából látható, a melegszilárdság titánnál 480°C fölött nagy mértékben csökken. Ez a csökkenés sokkal nagyobb, mint a nikkelnél és bár egyes alkatrészeknél (pl. anódok) lényegében szilárdsági követelmény nincs, más alkatrészeknél, főleg tartószerkezeteknél a szilárdságcsökkenésre figyelemmel

kell lenni, és mechanikai igénybevételnek kitett helyeken a méretezést úgy kell választani, hogy a szilárdság még a megengedhető értéken belül maradjon. Ez maga után vonja, hogy amennyiben tartószerkezeteknél a getterhatást is ki akarjuk használni, úgy a mechanikus szilárdságról külön tartóelemmel kell gondoskodni. Lehetséges, hogy a ma még nem eléggé ismeretes titánötvözetek ezen a vonalon lényeges javulást fognak eredményezni.

Lényegesen nagyobb mértékben befolyásolja a megengedhető üzemi hőfokot a felépítésre használt fém párolgási sebessége és általában a párolgás,



3. ábra

sebesség szabja meg a hőmérsékleti igénybevétel felső határát. A 3. ábra a titáni nikkell és vas párolgási sebességét mutatja be a hőfok függvényében.

Amint az ábrából látható, a titán párolgási sebessége ugyanazon hőfokon a vas és nikkell közé esik és a felhasználásra szóbajövő hőfok-tartományban (cca. 10^{-16} és 10^{-12} $g\ cm^{-2}\ sec^{-1}$ között) párolgási sebessége azonos hőfokon a nikkelnél egy nagyságrenddel nagyobb. Ha a konzervatív 10^{-16} $g\ cm^{-2}\ sec^{-1}$ értéket, mint felső határt feltételezzük, úgy a maximális tartós üzemi hőfok

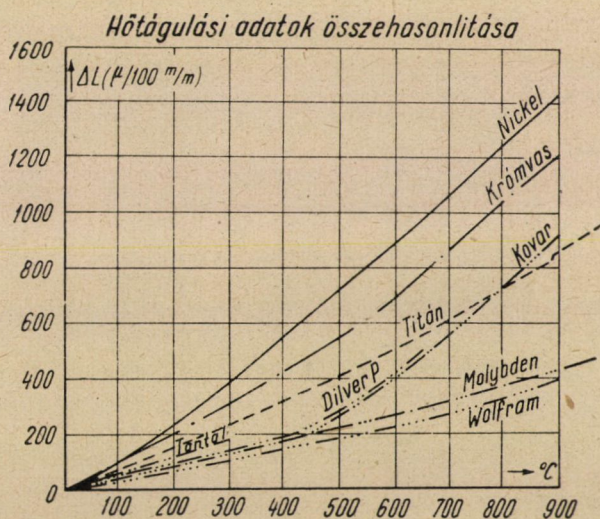
titánnál	558 C°
nikkelnél	624 C°
molibdénnél	1042 C°.

Fényes fémfelület feltételezése mellett és a sugárzási együtthatókat figyelembevéve, 1 cm^2 felületről

titánnál	0,82 W
nikkelnél	1,1 W
molibdénnél	4,65 W

teljesítményt lehet lesugározni.

Kisteljesítményű elektroncsöveknél általában nikkelt és vasat használnak szerkezeti anyagként. A hőfokok általában alacsonyak, és a hőfok megszabásánál főleg az oxidkatódra történő visszafűtés szokott határoló tényező lenni. Az alkatrészek titánra való kicserélése itt elsősorban gazdaságossági kérdés és amennyi-



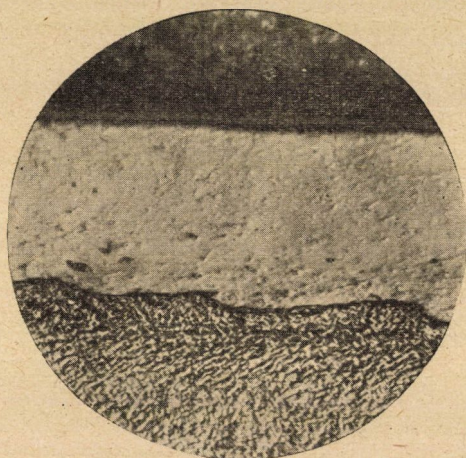
4. ábra

ben az anód-hőfok legalább helyenként a getterhatás jó kifejlődéséhez szükséges $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölött tartható, valószínű, hogy titán beépítése minőségi javulást eredményez. Teljesítmény-elektroncsöveknél a ma általában használt konstrukcióknál részben a melegszilárdság, részben a felületi terhelhetőség szabnak határt és miután ezek általában alacsonyabbnak engedhetők meg, mint a most használatosak, 1:1 léptékben főleg molibdénről titánra való áttérés csak kevés esetben keresztülvihető. Főleg ezeknél a csöveknél, tehát a titán adta előnyök felhasználása csak a konstrukciós felépítés megváltoztatása árán hozhat nagyobb előnyöket. Megfelelő módon beépített és csak getterhatás elérésére elhelyezett kis mennyiségű titán beépítése kísérleteink szerint még egyszerű wolframkatódos teljesítménycsőveknél is az üzemi vákuum feltűnő megjavulásával jár, ami feltehetően a cső élettartamának emelkedését vonja maga után.

Elektroncsövek külső burkolatának felépítése és a szigetelő köpenyen áthatoló árambevezetők szempontjából igen jelentős valamely fém tágulási együtt-

hatója és a tágulási együttható befolyásában észlelhető esetleges töréspontok. A 4. ábra a titán relatív tágulási értékeit mutatja a hőfok függvényében, összehasonlítva részben szerkezeti fémekkel, részben kimondottan fém—üveges forrasztáshoz használt ötvözetekkel.

Amint az ábrából kitűnik, a titán közepes tágulási együtthatója 85×10^{-7} $1/C^\circ$, tehát olyan nagyságú, amilyennel egyező üveget könnyű előállítani. Ugyancsak ez a tágulási nagyságrend igen jól egyezik a legtöbb vákuumtechnikai célra használt kerámiai anyag tágulási együtthatójával. A tágulási görbe csak $880\ C^\circ$ körül mutat törést a fellépő $\alpha \rightarrow \beta$ transzformáció miatt. Ennél



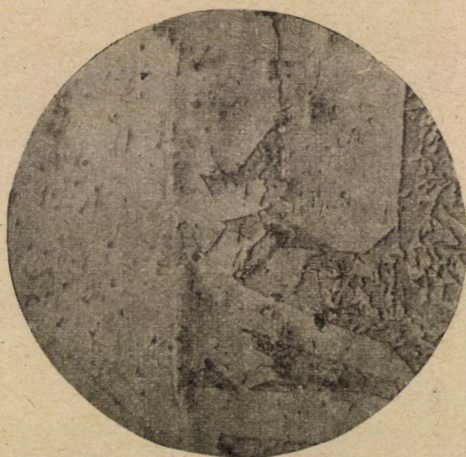
5. ábra

a hőmérsékletnél már bármilyen tömeggyártási célokra használt üveg híg-folyós állapotban van, tehát titánnal, mint bevezetővel teljesen homogén fém—üveg forrasztások létesíthetők. A tágulási együtthatón kívül elsőrendűen fontos, hogy a nedvesítőképeség fém és üveg között jó legyen. Ebből a szempontból is a titán kiváló tulajdonságokkal rendelkezik és tájékoztató méréseink szerint az elért kötés-szilárdság nagyobb, mint valamennyi más fém—üveg forrasztásnál.

Megmunkálhatóság tekintetében a titán részben a vas és nikkelt, részben a molibdén és wolfram között foglal helyet. Tiszta és jó minőségű titánlemez (jodid-titán) mélyhúzóhatósága és alakíthatósága alig marad el a nikkelt mögött, így tömeggyártásra igen alkalmas. A kisteljesítményű csövek gyártási technológiájában fém—fém közti kötésnek általánosan használt ponthegesztés a titán esetében is jól alkalmazható. Minden különösebb előkezelés nélkül, mind saját magához, mind a nikkelt és vashoz jól ponthegeszthető, feltételezve, hogy a ponthegesztés pontos idővezérlésű berendezésen történik.

Teljesítmény-elektroncsövek felépítésénél általában a hegesztés, forrasztás és csavározás az általánosan használt kötésmód. Csavározás a jó mechanikai meg-

munkálhatóság miatt könnyen eszközölhető. Az eddig szokásos fémeknél általában használt védőgáz alatti burában történő ívhegesztés a titánnál nem alkalmazható, illetőleg csak olyan utakon biztosítható (nagyon tiszta védőgáz, teljes biztosítás levegőbehatolás ellen), hogy mai ismeretünk mellett gyártási eljárásnak nem alkalmazható. Nem hegeszthető titánhoz wolfram, mert a hegesztési helyen erős interkristallin behatolás és törékenységgé lép fel. Forrasztás bizonyos megkötöttségek mellett vákuumban tiszta ezüsttel, mint forrasztó-anyaggal jól kivitelezhető. Egy ilyen forrasztás mikroszkópiai képét mutatja az 5—6 ábra 100, illetve 500-szoros nagyításban. A forrasztás molibdén és titán közt történt.

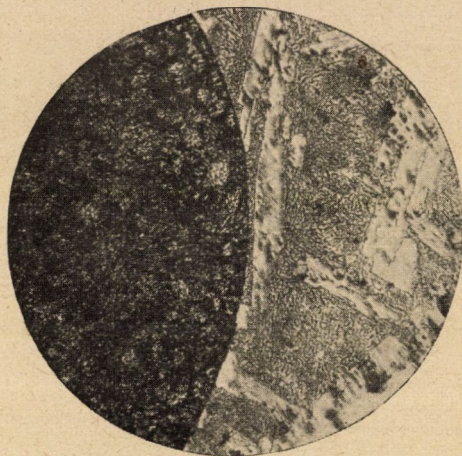


6. ábra

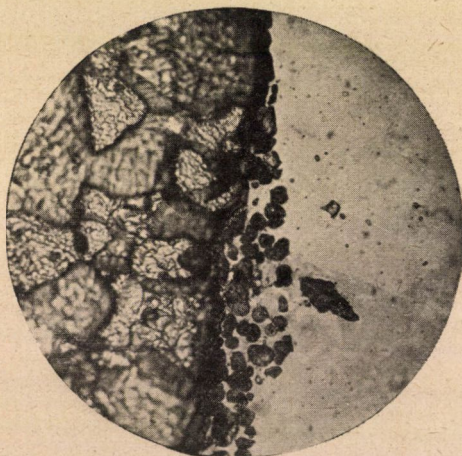
Amint az ábrából látható, a fémek kötés úgy a titán—ezüst, mint az ezüst—molibdén közt jól megvan. Ez az eljárás egyelőre olyan fémek összekötésére van korlátozva, melyeknek olvadáspontja lényegesen az ezüst olvadáspontja fölött van. További forrasztóanyagok kidolgozása szükséges ahhoz, hogy alacsonyabb olvadáspontú fémekkel, elsősorban rézzel a kötés technológiailag keresztülvihető legyen. Valószínű, hogy titánnal ötvözött forrasztóanyagok lesznek erre a célra alkalmasak, melyek kutatása folyamatban van. A 7—8. ábra egy titán—nikkel—ezüst alapú forrasztóötvszettel molibdén és nikkel között létesített forrasztásnak a molibdén felülettel határos részét mutatja 100, illetve 500-szoros nagyításban.

Amint a képből látható, az ismert forrasztási anyagokkal ellentétben, ez az ötvözet a molibdént felületén oldani képes, tehát tényleges diffúziós kötést ad, és ugyanakkor a molibdénben nem okoz interkristallin behatolást, amit általában a titán és ötvözetek előidéznek. Az ilyen típusú forrasztás, tapasztalatok szerint általában vákuumzáró is szokott lenni.

Az üvegburán áthaladó áramvezetőket mind kis, mind nagy csöveknél gyakran a belső szerkezet egy részének tartására szokták felhasználni. Középteljesítményű csöveknél pl. a fonalátvezetőket a fonalrendszer tartására is felhasználják. Bár a tágulási együttható az üveggel igen jól egyezik, meg kell vizs-



7. ábra

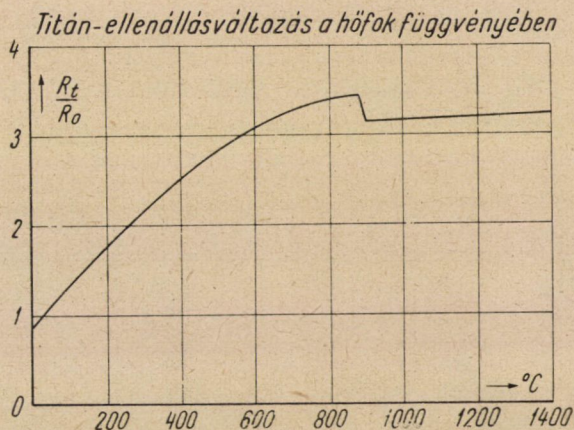


8. ábra

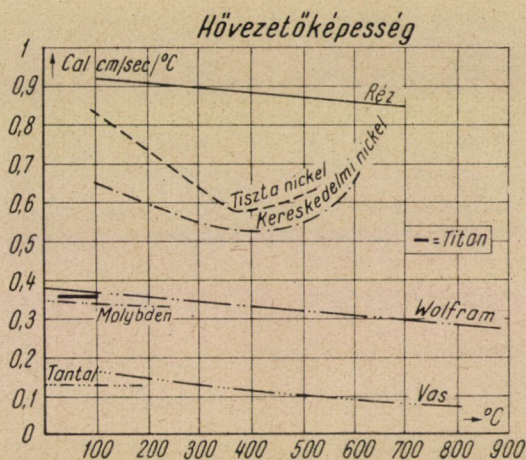
gálnunk a bevezető villamos terhelhetőségét is, tehát az áram behatására abban keletkező veszteségmeleget. A titán villamos ellenállásának változását a hőmérséklet függvényében a 9. ábra mutatja.

A szobahőfokon mért ellenállás rézhez viszonyítva titánnál harmincszoros, ellentétben a molibdén és wolfram háromszoros értékével. Nagy áramterhelésű

bevezető rudaknál tehát az ellenállás nagysága és az ebből adódó felmelegedés fogható tényezőként szerepelni és nem valószínű, hogy a wolframot helyettesíteni tudja. Kis áramterhelési bevezetőknél sokkal inkább a szilárdsági adatok döntőek a méretezésre és ezért lehetséges, hogy ilyen típusú átvezetéseknel a felhasználás előnyös lesz.



9. ábra



10. ábra

Szigetelőanyag és fém közti nagyméretű összekötésekre a titán igen alkalmas és külső rézanódú elektroncsöveknél mint beforrasztófém a réz és üveg közt egyenletes lefutási tágulási görbéje miatt (4. ábra) az eddig használt

ötvezeteknél kedvezőbb. Egyelőre korlátozást jelent a megfelelő forrasztóanyag hiánya, ami miatt még rézanódok összeforrasztása titányúrral nem sikerült. A titán hővezető-képessége (10. ábra) elég alacsony ahhoz, hogy az üvegezés aránylag közel vihető legyen az anódnyakhoz.

A hővezetőképesség ugyancsak fontos a szerkezeti elemek méretezésénél adódó egyes feladatok eldöntésénél is.

Az eddig tárgyalt adatokat összevetve, a vákuumtechnikai felhasználás főbb lehetőségeit a következőképpen összegezhetjük:

a) Kisteljesítményű csövek, főleg vevőcsövek technikájában az áttérés titánra nikkel és vas helyett minden további nélkül lehetséges és elsősorban gazdaságossági kérdés. A fenntartható vákuum szempontjából a titán mint szerkezeti elem csak akkor döntő jelentőségű, ha legalább helyenként az üzemi hőfokot 600 C° fölött lehet tartani. Ebben az esetben minőségjavulás és méretcsökkenés várható.

b) Teljesítmény-elektroncsöveknél a titán mint szerkezeti anyag, mint beforrasztó fém és mint getteranyag bír érdekességgel, akár együttesen, akár külön-külön. Szerkezeti elemnél a szilárdság csökkenése a konstrukciónál figyelembe veendő, ha egyúttal a getterhatás kihasználására is súlyt helyezünk. Külső anódú csöveknél az üveg—fém forrasztások titánnal igen jól eszközölhetők, viszont a megfelelő forrasztóanyag kidolgozása szükséges. Fém—kerámia csöveknél a titán közvetlen forrasztása az ismert eljárásokkal jól elvégezhető. A jelenleg gyártott nagyteljesítményű csöveknél konstrukciós változás nélkül elsősorban a ráccstartó elemek részben vagy egészben titánból való kiképzése látszik közvetlenül járható útnak konstrukciós változások nélkül, kizárólag getterhatás elérésére. Ugyancsak szerkezeti változás nélkül titángetter beépíthető nagyteljesítményű csövekbe, megfelelő elhelyezés mellett. Ilyen esetben az üzemi vákuum és ezáltal az élettartam megjavulása jelentkezik.

c) Vákuumtechnikailag egyik legfontosabb getter-alkalmazásnak tekintetjük a titán felhasználását higanygőz jelenlétében. Megfelelő hőfokon tartott (fémesen tömör, tehát nem poralakú) titán getteraffinitása gázokkal szemben higanygőz jelenlétében is változatlan. Így lehetőség adódik elsősorban nagy egységek (fémházas egyenirányítók) vákuumának egyszerű fenntartására. Ezekben az alkalmazási területeken a titán—fém végleges megoldást tud adni egy régóta nyitott problémának.

d) A mindinkább alkalmazásba kerülő kerámiai csöveknél a tágulási együttható egyezése a legtöbb kerámiával és a kerámiához való könnyű forrasztathóság valószínűleg új termelési lehetőségeket nyit meg. Természetesen ezeknél a konstrukcióknál a külső fémház a már fentebb említett okokból, getteranyagként nem fogható fel.

Összefoglalva: végső következtetésként azt vonhatjuk le, hogy a titán elektroncsövekben nem egy pótanyag, hanem az eddig használt anyagokhoz képest egyes tekintetekben jobb, egyes tekintetekben egyenértékű új anyag.

Különleges adottságait az előadásban lényegében csak érinteni lehetett és így az előadás csak egyes alapvető szempontokra próbálta a figyelmet felkelteni. Tényleges nagy sikert csak olyan konstrukció érhet el, amelyik az új fém különleges adottságait teljes egészében tekintetbe veszi és felhasználja. Remélhető, hogy az új fém által adott és ma még teljesen át nem tekinthető lehetőségek a magyar vákuumtechnikai termékek minőségének emeléséhez lényegesen hozzá fognak járulni.

HOZZÁSZÓLÁSOK

MILLNER TIVADAR levelező tag

A saját és idegen adatokat gondosan mérlegelő és az összes fontosabb vákuumtechnikai szempontokra kiterjedő érdekes előadásból kitűnik, hogy a hazai előállítású titánfém a vákuumtechnikai ipar termékeiben nem annyira a nikkell- vagy molibdén-alkatrészek pótanyagaként, hanem az ezektől eléggé eltérő tulajdonságai miatt inkább új szerkezeti anyagként fog alkalmazásra kerülni. A legértékesebb új vonása a vákuumterez eszközökben az lesz, hogy tömör fémtestként, pl. lemezként is kiváló gázelnyelő (ún. getter-)hatást fejthet ki a cső működése közben.

Egyetértek az előadóval abban, hogy ilyen a kép, ha a titánfém alkalmazási lehetőségeit a vas, nikkell és molibdén alkalmazási lehetőségeivel vetjük egybe.

Másnak látom azonban a helyzetet akkor, ha a titánt a cirkonnal állítjuk szembe. A cirkonfém használata a nemzetközi gyakorlatban a vákuumtechnika területén is egyre terjed. Nekünk azonban cirkonérceink nincsenek, titánkészleteink viszont jelentősek. Úgy látszik, hogy a cirkonnal szemben helyettesítőfémnek tekinthetjük a hazai vákuumtechnikai iparban a titánfémet, mert a közfelfogás szerint a titánfém sajátságai sok tekintetben igen közel állnak a cirkonfém sajátságaihoz. Értékes kiegészítése volna az előadásnak, ha összehasonlítást kaphatnánk a titán és cirkon konstrukciós- és gettertulajdonságaira vonatkozóan is.

Ez az utóbbi kérdés az izzólámpaipart is érinti. Rendkívül érdekes, hogy a nitrogént is tartalmazó gáztöltésű izzólámpákban kellően meleg helyen alkalmazott cirkonfémpor milyen tökéletesen leköti a lámpa gázterének vízgőznyomait, még sokszáz óra használati idő után is, ami azért meglepő, mert a cirkon nitrogént is megköt és így azt várhatnánk, hogy a nagy mennyiségben jelenlevő nitrogén a cirkon gázmegkötőképességét teljesen a maga számára veszi igénybe. Ez azonban nincsen így: a vízgőzirtalomnak a nitrogén tartalmú cirkon is igen hatásos ellenszere. Kérdés, rendelkezik-e a titán is olyan nitrogénnel meg nem zavarható kiváló vízmegkötőképességgel, mint a cirkon.

Köszönettel vennénk, ha az előadó tájékoztatást adna ebben a kérdésben.

GAZDA ISTVÁN

Tisztelt Konferencia! Hozzászólásomban a Millner elvtárs által elmondottakkal szeretnék néhány szóban foglalkozni. Az elektroncsövek anódlemezei szempontjából a titánnak mint vasötvöző anyagnak van jelentősége. Irodalmi adatokból ismeretes, hogy maximum 7% titán tartalmú vas esetében az elektród felületén — nedves hidrogéngázban hevítve körülbelül ezer fokos hőmérsékleten — egy úgynevezett fekete titánoxid, amely valószínűleg titánmonoxid vagy valamilyen átmeneti oxid, keletkezik. Az irodalmi adatok arra is kitérnek, hogy ezen oxidálódás közben a titán a magában a vasban bezárva maradt esetleges oxigént nyelte volna el, bár valószínű, hogy az oxidáció inkább éppen a nedves hidrogéngáz miatt következik be.

Ezek az anódák tehát a vasnak a vákuumtechnikai tulajdonságát nagymértékben megjavítják. Esetleg titán mellett króm is alkalmazható és a kettő tulajdonságai egymást kiegészítve még jobb vasanódákat hozhatnak létre.

Ami az izzólámpákkal kapcsolatban a cirkon-gettert illeti, szintén az irodalomból ismeretes az, hogy a cirkon a különböző gázokat különböző hőmérsékleten nyeli el a legjobban. Úgy látszik, hogy az oxigént inkább a magasabb régiókban, 800 fok körül, míg a hidrogént, amelynek lekötése az izzólámpában elsődrendű fontosságú, maximum 600 fokon, gyakorlatilag általában 500–550 fokon nyeli el jól. Ugyanakkor a nitrogén-elnyelőképeség ezen a hőmérsékleten még nem volna olyan nagy, mint a hidrogén-elnyelőképeség, úgy hogy talán ez okozza azt, hogy elsősorban az izzólámpára nézve oly káros hidrogént nyeli el a cirkon.

Az irodalomban meg van említve a cirkonnal együtt a titán is, és valószínű, hogy a titán hasonlóan működik. Láttam olyan görbéket, amelyek szerint a titán állítólag a hidrogént valamivel alacsonyabb hőmérsékleten nyelné el, mint a cirkon, viszont az oxigén-elnyelőképeség szintén a magasabb hőmérsékletek körül van.

Érdekes ezzel a különböző hőfokokon érvényesülő elnyelőképeségekkel kapcsolatban az, hogy többen végeztek az irodalom szerint erre vonatkozólag méréseket, és érdekes módon mindannyian más-más eredményt kaptak. Legutóbb japán eredményeket láttam leírva. Ők megállapították volna ezeket a bizonyos 600 és 800 fokos határokat, míg a korábbi holland mérések más határokat szabnak meg.

KONCZ ISTVÁN válasza a hozzászólásokra

Tisztelt Konferencia! Az elhangzott megjegyzésekre a következőket válaszolom. Léghűtéses elektroncsövek anódjainak titánból történő felépítésénél azt a határhőfokot, ameddig a szivattyúzásnál fel kell menni, meghatározza az a hőfok, amelyen a felületen képződött oxidréteg komoly mértékben, tehát gyorsan és észrevehetően diffundálni kezd az alapanyagba. Ekkor kapok fémtiszta aktív felületet. Ez a hőfok a mi méréseink szerint legalacsonyabban 850, üzembiztosan 900 fok Celsiusra tehető. Itt a párolgási sebesség még nem olyan nagy, hogy ballongfeketedéstől tartani kellene. Így a szivattyúzási hőfok nem tesz olyan extrém hőfokot szükségessé, hogy ezáltal az anyagnak a felhasználása kétértelmessé válnék.

Ami a párolgási adatokat illeti, azok irodalmi adatok alapján a párolgási egyenletekből vannak extrapolálva, illetve átszámítva erre a nyomásnagyságrendre, mert az irodalmi adatok általában csak 10^{-5} , 10^{-6} gramm/cm²/sec nagyságrendben állnak rendelkezésre. Saját mérés csak egy ellenőrző pontban van, ahol a nagyságrendi egyezés megvan. Pontosabb adatot nem tudok megadni.

Ami az ellenálláskülönbséget illeti wolfram, molibdén és titán között, a helyzet nem annyira rossz, mert míg szobahőfokon wolframnál 4,9, molibdénél kerekén $5 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}$ a fajlagos ellenállás, addig titánnál 47, tehát körülbelül $9\frac{1}{2}$ -szeres, míg 1000 K^o-nál ezek az értékek 25, illetve 24 a 156-hoz, tehát csak hatszoros. Az ellenállás 1500 K^o fölött egy nagyságrendű a wolframmal, illetve molibdénnel, mert a 880 C^o bekövetkező alfa-béta transzformáció után az ellenállás-görbe titánnal majdnem horizontális. Ilyen magas hőfokot elektroncsőben a párolgás miatt nem lehet alkalmazni. Csak gyakorlati mérés útján lehet felvilágosítást kapni, hogy fog-e ez további nehézséget jelenteni, vagy sem.

Millner kartárs kérdésére is válaszolva, a hidrogénelnyelés kérdése az egyik legkényesebb pontja a titán és titán-getter problémának. A régebbi adatok szerint az oldási hő titánra 36 000, cirkonra 40 500 kalória/mol H_2 . Fowler és Smithels adatai szerint viszont titánra 10 000, cirkonra 17 500 cal/mol H_2 . A mi tapasztalataink szerint, amelyekről a közeljövőben Tomasek kartárs dolgozata fog részletesen beszámolni, körülbelül az a nagyságrend reális, amit Fowler és Shmithels adnak meg.

Az egyensúlyi nyomás titán-hidrogén, illetve cirkon-hidrogén rendszer fölött alacsony hőfokon lényegesen a cirkon javára beszél. A cirkonnál $150\text{ }^\circ\text{C}$ nagyságrendig, sőt majdnem $200\text{ }^\circ\text{C}$ fokig fennáll a 10^{-5} , 10^{-6} mm Hg nagyságrendű egyensúlyi hidrogénnyomás, ugyanez a titánnál 10^{-3} mm Hg. Az irodalom itt általában csak elmosódott görbéket ad, de a mi méréseink is azt igazolják, hogy itt van a nagy különbség a két fém között.

Ami az oxigén-nitrogén-titán rendszert, illetve nitrogénnel telített állapotban az oxigénhez való nagy affinitást illeti, ez ugyanúgy megvan a titánnál, mint a cirkonnál. A nitrogénnel majdnem stöchiometrikusan telített titán, amely nagyon szép aransárga színű törekeny lemezke, oxigént még nagymértékben, mondhatni változatlan aktivitással nyel el.

Az elnyelés problémakörrel különben — mint említettem — régen foglalkozik Tomasek kartárs, s munkája összefoglalás előtt áll. A titán projekciós és izzólámparelációban a cirkont mindaddig pótolni tudja, míg oxigénről és nitrogénről van szó. Ugyanez áll thoriumkatódú nagy adócsövekre is, ahol az eddigi mérések szerint a titán rendkívül jó getter, míg oxigénről és nitrogénről, valamint szénmonoxidról és dioxidról van szó, de hidrogén tekintetében a 10^{-3} -nál megállás van, tehát ott feltétlenül szükséges az eddigi tapasztalataink szerint egy másik getter-anyagnak az alkalmazása.

Ami Gazda kartárs hozzászólását illeti, irodalmi adatok szerint valóban az elnyelőképesség köbcéntiméter hidrogén/gramm anyagra számolva titánnál $20\text{ }^\circ\text{C}$ -on 407 , cirkonnál 235 , tehát a cirkoné a kisebb. Magasabb hőfokon ez eltolódik, 600 fokon már 336 szemben 184 -gyel, míg $1000\text{ }^\circ\text{C}$ -on 66 , szemben 188 -cal, tehát itt már a cirkon nyel el többet.

A titán-hidrogén-rendszerben, bármikor quantitative és majdnem fáziskülönbség nélkül lehet a sorbtio-dessorbtio megismételni. Titánnál ez lényegesen nehezebben történik, a dessorbtió aránylag nagy késéssel jön létre és az egyensúlyi nyomás kisebb marad.

Ami a vastitán-ötveteket illeti, körülbelül fél százalék fémtitán beötvözése esetén ez a feketé oxidréteg nemcsak hidrogénben, hanem levegő vagy világítógáz jelenlétében 100 fok nagyságrendű felmelegedésre is létrejön. Ez a titánoxid vagy titánsboxid réteg vákuumban rendkívül stabil és egy esetleges átütés esetén sem bomlik gázokra. Ezzel meglehetősen sok tapasztalatunk van, sugárzóképesége elég jó. Kellemes vákuumtechnikai anyag, elég jó sugárzó, de semmiféle getter-hatását kimutatni nem tudtuk. Viszont mechanikai tulajdonságai (bár már ez nem tartozik közvetlenül a titán tárgykörbe) meglepően jók, és felülmúlnak minden ismert, legalábbis nálunk használt vasanyagot. Hogy krómnak a beötvözése ezen valamit segítene-e, azt nem tudom egészen átlátni. Szilárdságilag nem óhajt az ember javítani, örül, hogy jó duktilis az anyag, egyébként pedig sem getterhatásilag, sem szerkezetileg más javulás nem várható.

BESZÁMOLÓ A WOLFRAM TERÜLETÉN VÉGZETT KUTATÁSOKRÓL*

MILLNER TIVADAR levelező tag

Ma szerte a világon 2 milliárdnál jóval több izzólámpa készül évente. Ezeknek, valamint a sokszázmilliószám előállított rádiócsöveknek és egyéb híradástechnikai termékeknek a minősége jórészt a bennük működő wolfram-izzószál minőségétől függ. A wolframdrót műszakilag szükséges és hasznos tulajdonságait — alakíthatóságát, szilárdságát, magashőfokú alaktartóképeségét stb. — megmunkálásának helyes módja mellett elsősorban kémiai jellege, ún. »tisztasága« szabja meg.¹

A wolframszálas izzólámpa feltalálásának idején, 1904-ben, az volt a feladat, hogy olyan izzószálat állítsanak elő, amely közönséges értelemben kémiaiilag tiszta — tehát pl. ötvözőktől mentes — wolframfém-ből áll. Amint ismeretes, ezt a feladatot *Just* és *Hanaman* [2] oldották meg elsőként. Eljárásukat, amely csak darabgyártásra volt alkalmas, az Egyesült Izzó újpesti telepén fejlesztették ki. Később 1908-ban *Coolidge* [3] az (Egyesült Államokban) felismerte, hogy wolframfém-porból zsugorított rudakból, 1500 C°-on történő kovácsoló megmunkálás után, húzott wolframdrót készíthető. Ezzel a lépéssel, amellyel megvalósult az izzólámpák tömeggyártása, a mechanikai megmunkálás kérdései léptek a kémiai kérdések helyébe. 1917—1922 között *Páczy Aladár* [4] (az Egyesült Államokban) felismerte, hogy kb. 1% alkáli és kovásv tartalmú fém-porból kiindulva a Coolidge-eljárással olyan wolframfémspirálok készíthetők, amelyeknek alaktartóképesége izzó állapotban sokkal jobb az addigiaknál. Ennek a felfedezésnek nagy jelentősége volt a gáztöltésű izzólámpák és ezzel együtt a gazdaságos világítás kifejlődésében. Ezzel újból a kémiai kérdésekre terelődött a figyelem. Páczy maga tisztítóhatást tulajdonított adalékanyagainak; ezek szerinte zsugorításkor a wolframrúdból lényegében kipárolognak és igen tiszta wolframfém-et hagynak hátra. Mások azonban nem a nagy fémtisztaságnak, hanem maguknak az adalékanyagoknak (pl. ezek nyomainak) tulajdonították az ilyen drót jó tulajdonságait.

1922—1932 között az Egyesült Izzóban is az adalékanyagok szerepének kérdése állott a kutatás és fejlesztés középpontjában (Túry P. és Tarján I.).

* A Híradástechnikai Konferencián 1954. május 7-én elhangzott előadás.

1931 körül kidolgozásra került a nemzetközi viszonylatban is haladást jelentő nagykristályos és nagyszilárdságú ún. GK-wolframfém (Túry P. és Millner T.) [5]. Ennek jótulajdonságait többek között néhány századszázalék alumíniumvegyület adagolása biztosította. Egy évtized fejlesztési munkája ennek a kémiai jellegű felismerésnek a kihasználásával telt el.

A kutatómunka eközben 1944-ig még mindig arra a nyitott kémiai kérdésre irányult, hogy a GK-wolframdrót kristályosodási és mechanikai jótulajdonságait az adalékanyagok tisztítóhatásának, vagy a belőlük a fémbe visszamaradó »szennyezéseknek« (pl. Al-nyomoknak stb.) kell-e tulajdonítani. Ez a kérdés az analitikai-kémiai vizsgálatok rendkívüli elmélyítését tette szükségessé (Millner T. és Kúnos F.) [6].

Előhaladást ebben, valamint a wolframtechnológiának még néhány más, megoldatlan kérdésében is, csak az 1945–1954 időszak szélesebb körű kutatásai hoztak. Kétségtelenül kiderült, hogy az adalékanyagok nélkül készített és önmagában is rendkívül tiszta wolframfém technológiai tulajdonságai rosszak és a hasznos tulajdonságokat kémiai idegenanyagok (pl. K, Al, Si) igen kis nyomai biztosítják. Valószínű, hogy ezekből csupán 0,001%-nál is kevesebb szükséges. Ennyi nélkülözhetetlen, több azonban nem kell, sőt káros, mert csak nehezíti a megmunkálást.

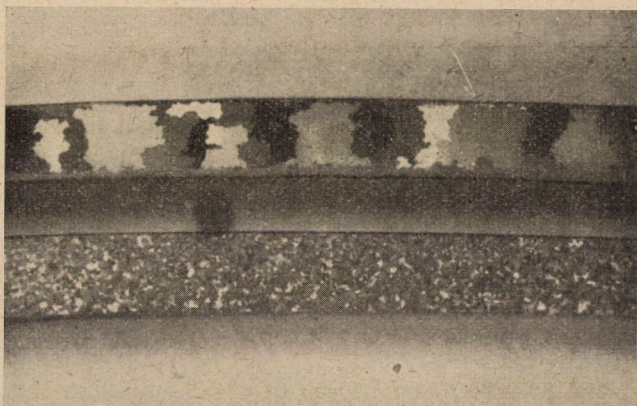
Ennek alapján 1953-ban, az újpesti wolframkutatás központjában, a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet Bródy Imre-laboratóriumában — együttműködve az Egyesült Izzó fejlesztési szerveivel és üzemével — egy olyan új wolframrúd (és drót) készítési eljárás alakult ki, amely az adalékanyagokat úgy távolítja el a zsugorodó wolframrúdból, hogy csak a hasznos tulajdonságokat biztosító rendkívül kis szennyezőnyomok maradnak vissza benne, a mechanikai megmunkálást nehezítő idegenanyag-nyomok ellenben eltűnnek. (Millner T. és Neugebauer J.) [7].

A kutatásnak ezt az időszakát annak az eléggé általános ténynek a világos felismerése jellemzi, hogy amikor pl. egy elemi fémeket olyan tisztán tudunk már előállítani, hogy mintegy tízezer atomja között legfeljebb csak egy-két szennyező, azaz idegen atom van, akkor a fémtulajdonságoknak egészen új területére érkezünk. Ettől a tisztasági foktól kezdve ugyanis két tulajdonságcsoporthoz észlelhetünk. Egyrészt jelen vannak már a nagy fémtisztaságra jellemző általános tulajdonságok (pl. a jó alakíthatóság, a jó vezetőképesség stb.), másrészt előtűnnek olyan igen lényeges tulajdonságok is (pl. a kristályosodó képességnek, szilárdságnak stb. olyan új vonásai), amelyek csak jelentős általános tisztaság mellett bontakoznak ki ugyan, amelyeket azonban nem a tisztaság, hanem igen kis, pl. milliomodrésnyi »szennyezések« azaz idegen anyagok jelenléte vált ki és biztosít.

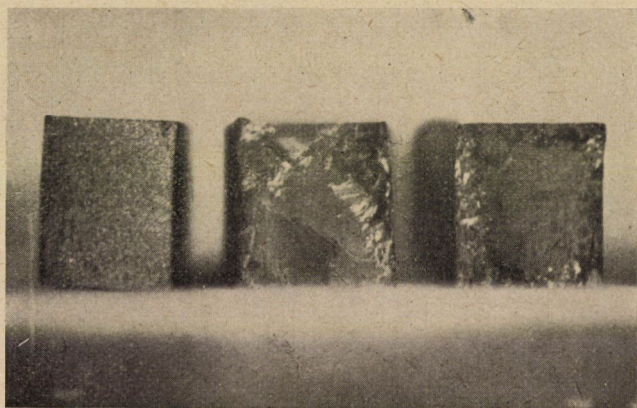
Ahhoz, hogy a ma folyó wolframkutatás jelentőségét és fontosságát mérlegelhessek, magunk elé kell idéznünk előbb a wolframgyártás évtizedes technológiájának főbb vonásait, mert csak így láthatjuk át annak hiányosságát, csak

így bírálhatjuk el kutatásunk célkitűzéseit, és csak így értékelhetjük a már elért új észleléseket, új felismeréseket és új hasznos következtetéseket.

A finomszemcséjű wolframfémorból készült wolframdrót gyártásmenetének főbb mozzanatai a következők [1]. Mindenekelőtt lehetőleg tiszta, kb. csak 0,01% idegen anyagot tartalmazó WO_3 -ot vagy $WO_3 \cdot H_2O$ -t készítenek $\frac{1}{2}$ – 1μ -os



1. ábra. Zsugorított wolframrudak felülete. felső: nagykristályos (GK) rúd, alsó: kiskristályos (UC) rúd



2. ábra. Zsugorított wolframrudak törésfelülete. 1. kiskristályos, 2. nagykristályos, 3. felületen kristályos

szemcsenagysággal. Ezt vízzel péppé alakítva jó hatásúnak tapasztalt idegen anyagok oldatával (pl. kb. WO_3 -ra számított $\frac{1}{2}\%$ alkáli és $\frac{1}{2}\%$ kovasav oldattal) jól elkeverve beszárítják. Az így nyert »preparált wolframsavat« áramló hidrogénnel kb. 800 – 850 C° -on 1 – 2μ -os fémporrá redukálják. Ebben a fémporban még benne van az adagolt idegen anyagok legnagyobb része. Ebből a porból kb. 50 – 60% pórustérfogatot tartalmazó, kb. 10×10 mm keresztmet-

szetű rudakat sajtolnak. A rudakat 1100 C° -on $\frac{1}{2}$ óráig hevítve megszilárdítják. Ezt követőleg hidrogén-védőgázban rajtuk átvezetett árammal egyre magasabb hőmérsékleten zsugorítják őket, majd végül a megolvasztásukhoz szükséges áramerősség $92\text{--}95\%$ -án $5\text{--}10$ percig hevítve őket, befejezik a zsugorítást. A kész rudak hosszirányú zsugorodása kb. $18\text{--}20\%$, fajsúlyuk $18,5\text{--}19,0$ (a teljesen tömör wolfram $19,3$ fajsúlyával szemben).

A zsugorított wolframrudak közönséges hőfokon ridegek. 1500 C° körüli hőmérsékleten azonban körforgó kovácsoló gépeken kis keresztmetszet-csökkentésekkel hengeres rudakká nyújthatók. Ezek a rudak kilágyító izzítások beiktatásával kb. 1300 C° -on $2\text{--}1\frac{1}{2}$ mm keresztmetszetig kovácsolva vékonyíthatók, ezen túl pedig wolframkarbid kövek furatain át kb. 800 C° -on kb. fél-milliméteres drótokká húzhatók. A wolframdrótok legnagyobb része ennél jóval vékonyabb (pl. $15\text{--}20\ \mu$ -os) méretben kerül felhasználásra. A vékonyabb húzást gyémántkövekkel végzik kb. 650 C° -on.

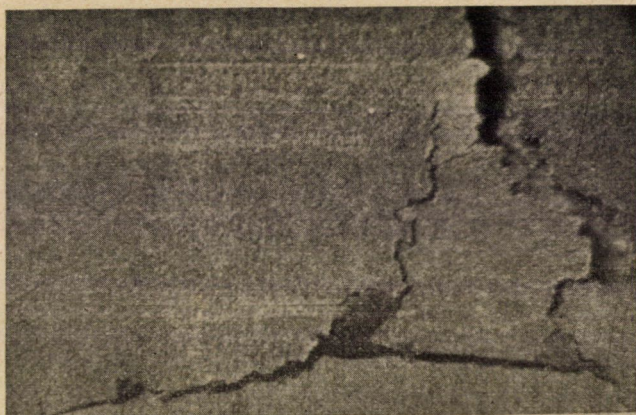
A hazai híradástechnikai ipar már évtizedek óta rendelkezik olyan eljárással, amelynél ezen általános gyártásmenet keretében a wolframsavhoz öt adalékanyag: $0,2\%$ NaCl, $0,3\%$ KCl, $0,4\%$ SiO₂, $0,05\%$ Al₂O₃ és $0,05\%$ Fe₂O₃ kerül adagolásra, aminek következtében a zsugorított wolframrudak felületén szemmel látható nagy kristályból álló kristályszerkezet alakul ki (l. az 1. és 2. ábrát), a belőlük készült ún. GK-drótok gyors rekrisztallizálásának hőmérséklete $2200\text{--}2400\text{ C}^\circ$ -ra emelkedik (az adalékanyag nélkül készült drótok kb. $1000\text{--}1200\text{ C}^\circ$ -os hőmérsékletével szemben), a rekrisztallizált drótokban már kb. $0,6$ mm átmérőtől kezdve hosszabbak az egyes kristályok, mint a drótátmérő és ezzel együtt a belőlük készült spirál (duplaspirál) izzótestek alaktartóképesége izzószálhőmérsékleten (2400 C° -on és ennél is magasabban) igen kiváló; közönséges hőmérsékleten emellett nem ridegek — nem »törékenyek« — az ilyen spirálok (drótok).

A GK-wolframdrót máig tartó megbecsülést és versenyképességet szerzett a hazai híradástechnikai ipar termékeinek, amelyeknek többek között igen jó egyenletességet is biztosított. Évtizedes távlatban időnként mégis azzal okozott meglepetést, hogy a drótokban egyes pontokon váratlanul rossz tulajdonságok jelentkeztek a gyártásban. Ennek érzékeltetésére megemlíthetjük, hogy pl. a $0,6$ mm-es GK-drótok szobahőmérsékleten általában jól (pl. éles hurokra is) meghajlíthatók, néha azonban egyes $1\text{--}20$ mm-es szakaszok egy-két pontja ridegen elpattan.

Eleinte azt gondoltuk, hogy ezt a hibát pontszerű megmunkálási vagy külső szennyezési (beötvözési) zavarok okozzák. Ez a feltevés azonban nem igazolódott be. Vizsgálni kezdtük ezért azt a kérdést, vajon nem marad-e a fém egyes pontjain a természetes és mesterséges szennyezések (adalékanyagok) károsan nagy mennyisége vissza. Ehhez azonban előbb meg kellett állapítanunk, hogy a wolframsav szokásos adalékanyagaiból általában mennyi marad vissza a GK-fémbe és milyen okozati kapcsolat van ezek között a »szennyezések«

között és a fém hasznos technológiai tulajdonságai között. Melyek a hasznos vagy káros szennyezések, mennyi kell belőlük és vajon egyenletesen oszlanak-e el a fémekben akár hasznosak, akár károsak (l. a 3. ábrát).

Már korán felismertük, hogy ezekhez a kérdésekhez olyan kémiai analitikai módszerekre van szükségünk, amelyekkel az adalékanyagok és szennyezések (elsősorban K, Na, Si, Al, Fe, Ca stb.) legalább 0,001%-os nyomait is már meg lehet mérni wolframban. Ilyen érzékeny módszereket magunknak kellett kidolgoznunk. Al-ra erikromcianinos kolorimetrikus módszert (Millner T. és Kúnos F.



3. ábra. Nagykristályos wolframrudak kristályhatárainak szétválása, egészen magas hőmérsékleten, szennyezések hatására

[6], 1938, és Millner T. és Neugebauer J. [8], 1951.), Fe-ra dimetilglioximos kolorimetrikus módszert, K-ra ezüsttel érzékenyített kobaltnitrites turbidimetriás módszert, Si-ra ammóniummolibdátos benzidines kolorimetriás módszert (Millner T. és Neugebauer J. [8], 1951), K-ra lángfotométeres módszert (Fucker K., 1954), Na-ra és Ca-ra lángfotométeres módszert (Hegedűs A. és Dvorszky M. 1953) dolgoztunk ki. Széleskörű és évekre menő munkával megállapítottuk, azután, hogy már az ún. tiszta wolframsavainkban is van a felsorolt idegenanyagokból egyenként legalább 0,001% és nincsen ennél sokkal több egyetlen olyan wolframrúdban sem, amelynek wolframsavjához a GK-fém adalékanyagait bármely kombinációban is hozzáadtuk.

Ez kiábrándító eredménynek látszott.

A rendszeres vizsgálatainknak az I. táblázatban összefoglalt adataiból azonban ennél jóval többet is kiolvashatunk. Látjuk, hogy valóban mindenik adalékanyagkombináció esetén található néhány ezredszezalék csaknem az összes idegenanyagokból a fémekben és ez a nyommennyiség nem igazodik ahhoz, hogy hozzáadtunk-e az idegenanyagból nagyobb mennyiséget a wolframsavhoz, vagy sem. Azt is megállapíthatjuk, hogy a wolframrudak kristályszer-

kezete nem igazodik a rudakban található, idegenanyag-nyomok mennyiségéhez. Ezt különösen jól szemlélteti a II. táblázat (K, Si és Al- szennyezésekre).

Kétségtelenül kiderül azonban, hogy a nagykristályos szerkezet következetesen megjelenik, ha a *wolframsav adalékanyagai* között K, Si és Al egyidejűleg szerepel. Kettő közülük már nem elegendő. Mind a három kell, éspedig mint preparáló anyag.

Ezek szerint a wolframrúd nem akkor lesz nagykristályos szerkezetű (és a wolframdrót jó technológiai tulajdonságú), ha a wolframsavban ezredszázaléknyi K, Si és Al szennyezések vannak és ezek a rúdiban is benne maradnak; vagyis önmagában attól a ténytől, hogy a rúdiban ezredszázaléknyi K, Si és Al nyomok vannak, a rúd még nem szükségképpen nagykristályos; a wolframrúd attól lesz nagykristályos, ha a *wolframsavhoz nagy mennyiségű* K, Si és Al vegyületet adunk és ebből készítjük el a szokásos módon a fémport és a rudat, azonban csodálatosképpen ekkor sem marad több idegenanyag a rúdiban néhány ezredszázalék K, Si és Al-nál.

I. táblázat



Üzemi tisztaságú wolframsavból közvetlenül készített és különböző adalékanyag kombinációkkal készült, valamint különlegesen tiszta wolframsavból készült wolframrudak adagolási kombinációi, idegenanyag-tartalma és kristályszerkezete (töréskeresztmetseten szemléltetve)

A dalék a savhoz	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.
	alapsav	»UC«		»GK«										igen tiszta sav
0,3% KCl.....	—	K	K	K	—	K	K	K	K	K	K	K	—	—
0,2% NaCl	—	Na	Na	Na	Na	—	Na	Na	Na	—	—	—	—	—
0,4% SiO ₂	—	Si	Si	Si	Si	Si	—	Si	Si	Si	Si	—	Si	—
0,03% Fe ₂ O ₃	—	—	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	—	Fe	—	—	—	—	—
0,05% Al ₂ O ₃	—	—	—	Al	Al	Al	Al	Al	—	Al	—	Al	Al	—
idegen anyag a rúdiban														
10 ³ × K%	0	0	5	9	0	8	4	5	5	7	3	5	—	0
Na%	—	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	—	0,1
Si%	10	3	6	4	4	3	8	3	6	2	5	2	—	0
Fe%	6	2	15	2	20	6	0	8	15	8	5	17	—	0
Al%	1	0	0	0	1	5	10	4	0	3	3	2	—	0

Az idegen anyagok mennyiségét százezredrészekben tünteti fel a táblázat.

A kísérleti munka feltárta ezt a különleges helyzetet, de az adalékanyagok szerepének megértéséhez tovább már nem járult hozzá. Ezért a kutatás egy másik eszközéhez, a feltevésekhez folyamodtunk.

II. táblázat
Az idegenanyag-nyomok mért értékeinek átlaga (százszázrészekben)

	A nagykristály rudakban	A kiskristály rudakban	Az üzemi savból készült rudakban
K	7,1	3	3
Si	3,0	4,3	1
Al.....	2,7	1,0	1
			

Elvetettük azt a gondolatot, hogy a nagykristályos szerkezet kifejlődésének feltétele a nagy kémiai tisztaság volna. Miért volna a kémiai tisztaság éppen csak azzal biztosítható, ha három kiválasztott idegenanyagot nagy mennyiségben adagolunk a wolframsavhoz és ezeket megállapíthatólag nem is teljesen párologtatjuk ki a rúdból?

Kifejlesztettük azt a nézetet, hogy a wolframrudak ezredszázaléknyi idegenanyag-nyomainak *csak akkor* van kristályosító hatásuk, ha azok a wolfram-fémszemcsék képződése folyamán, tehát a redukció folyamán, a fémrácsba belekerülnek és a rúdban bennmaradnak. Elképzeltük, hogy a K, Si és Al szennyezésekből csak akkor kerül elegendő (de önmagában véve rendkívül kis) mennyiség a fémrácsba, ha a wolframsav a fémszemcsék képződésekor, azaz a redukciókor, sokat tartalmaz belőlük. Úgy képzeltük, hogy a fémorszemcsék az adalékanyagok egészen túlnyomó részét felületileg, vagy legfeljebb mechanikus zárványként tartalmazzák és csak rendkívül csekély nyomokat tartalmaznak belőlük a rácsba beépülve. Elképzelésünk szerint az ilyen fémorból sajtolt rúdból a zsugorításkor az adalékanyagoknak főképpen csak a mechanikus elegyrészként szereplő részlege párolog el és ezért az az ezredszázaléknyi »szennyezés«, amelyet az ilyen rudakban (vagy bármely rúdban is) analitikai módszerekkel meghatározunk, két részből áll: egy nagyobb részből, amely a mechanikusan kötött adalékanyagok zárványszerű kis maradványa és egy ennél jóval kisebb, az ezredszázaléknak csak tized- vagy századrészét kitevő részből, amely a fémrácsban magában található atomos eloszlásban.

Úgy képzeljük, hogy csak az atomos eloszlású részleg fejt ki hasznos kristályosító és jó technológiai hatást. Az ezredszázaléknyi idegenanyagok nagyobb része, mint a krisztallithatórok nemfémes szennyezése, kifejezetten káros, mert nehezíti a mechanikai megmunkálást.

Feltevésünk alapján érthetővé válik, hogy miért függ a nagykristályos szerkezet megjelenése a preparálás tényétől és viszonyaitól és miért nem mutat összefüggést a rúd idegenanyag-tartalmával. Hiába tartalmaz ugyanis a wolframsav ezredszázaléknyi K, Si és Al nyomokat, ha redukáláskor ennek a magábanvéve is kis mennyiségnek csak csekély hányada kerül bele a fémrácsba: ez már oly kis mennyiség, amely a kristályosodás elősegítésére nem

elegendő. Sok K, Si és Al vegyületet kell a wolframsavhoz adnunk, ha azt kívánjuk, hogy a fémrácsba a redukálás folyamán magában véve ugyan kevés, de a kristályosodáshoz elegendő, azaz az előbbinél több — hasznos szennyezés épüljön be.

Ezeknek a gondolatoknak módszeres igazolása vagy megcáfolása évekre menő kutatómunkát igényel. Van azonban az ilyen természetű feltevések ellenőrzésének egy gyorsabb módszere is. Mi először erre az útra léptünk. Megvizsgáltuk, hogy feltevésünk kísérletileg igazolható következtetésekre vezet-e és azt találtuk, hogy nem csak helytálló, hanem gyakorlatilag igen értékes következtetésekre vezet.

Megállapítottuk, hogy könnyen lehet a fémorból, pl. GK-fémorból sajtolt porózus wolframrudak zsugorítását úgy vezetni, hogy az abban mechanikus zárványokként jelenlevő idegen anyagok az eddiginél sokkal messzebbmenően (ezredszázaléknál jóval alacsonyabb szintig) elpárologjanak, a fémrácsban jelenlevő kis idegenanyag-nyomok azonban a rúdiban benne maradjanak. Az ilyen rudak — az I. táblázat rúdjaiktól eltérően — nem tartalmaznak mérhető idegenanyag-nyomokat és mégis nagykristályosak.

Ezzel az új technológiával olyan wolframdrótok készíthetők, amelyeknek jó technológiai tulajdonságai a megszokottnál sokkal nagyobb egyenletességgel jelentkeznek. Ez az üzemi méretekre kiterjesztett új technológia ma már tömeggyártási méretekben érezhető előnyös hatását az Egyesült Izzó wolframgyártásában. Teljes kiaknázása a legközvetlenebb fejlesztési és üzemi feladataink közé tartozik.

Ezek a tények és gondolatok szabják meg ma természetesen a kutatás irányát is. Ezek szabták meg már persze évek óta, hiszen kialakulásuk időt igényelt éppen úgy, mint ahogy továbbfejlesztésük sem valósítható meg márholnapra.

A következőkben a wolframkutatásnak azok a részletei kerülnek bemutatásra, amelyekből az új felismerések és gondolatok fakadtak és amelyek véleményünk szerint újabb megismerések és műszaki lehetőségek kiindulópontjai lehetnek a wolframkutatásban.

Ha nem feledjük, hogy a preparált WO_3 -szemcsék redukálásakor a gyakorlatban a WO_3 -szemcséknél tízszer-hússzor nagyobb tömegű fémszemcsék keletkeznek, azaz redukálás közben a fémszemcsék növekednek, azonnal belátjuk, hogy az adalékanyagok különböző mértékű és különböző fajta bezáródását, azaz a fémrácsba kerülés esélyeit és ezzel együtt a wolframfém kiskristályos vagy nagykristályos jellegét a redukálás körülményei sorsdöntően befolyásolhatják.

Empirikusan régen megfigyelte már a wolframgyártás gyakorlata, hogy a redukálás igen kényes művelet. Ezért sokat firtatott, de fel nem derített kérdés volt régóta, hogy milyen módon növekednek a redukálás közben a fémszemek. Nem sikerült azonban olyan illó wolframvegyületet találni, amelyről

feltehető lett volna, hogy a redukálás 800–900 C°-os hőmérsékleten illékony-sága folytán az egyik szemcse anyagát rövid idő alatt át tudja szállítani a másikra. 1949-ben Millner T. és Neugebauer J. [9] felismerték, hogy a WO₃ fokozatos redukálásakor keletkező wolframoxidok a redukálás hőmérsékletén önmagukban egyáltalán nem illók ugyan, vízgőz jelenlétében azonban jelentékenyen illókká válnak. Mivel a WO₃ redukálásakor szükségképpen vízgőz is keletkezik, ezzel, az egész szervesetlen kémiában egyedülálló jelenséggel feltárul a szemcsenövekedés egy lehetséges és valószínű mechanizmusa. Ennek részletei ma sincsenek még felderítve és kiaknázva. Annyit azonban már megállapítottunk (egyezősben a régi empiriával), hogy vannak egyes szennyezések, amelyek a WO₃ redukációjának hőmérsékletét katalitikusan olyan alacsony hőmérsékletre szállítják le, amelyen a vízgőzös szemcsenövekedés erősen háttérbe szorul. Termomérleges vizsgálatokkal felismertük, hogy a WO₃-ból keletkezett WO₂ a WO₃ előléte és kis szennyezései szerint igen különböző hőmérsékleteken redukálódik fémmé (Millner T. és Hegedűs A. 1953.). Ennek a területnek rendszeres áttanulmányozása valószínűleg igen sok bizonytalanságtól szabadítaná meg a gyakorlati wolframredukciót, egyenletesebb fémporhoz vezetne, következetesebbé tenné az adalékanyagok eloszlását a fémszemcsékben és ezzel növelné a gyakorlati drótegyenletességet. Ezt ma az egyik legfontosabb wolfram-kutatási területnek tekintjük.

Ennek a területnek műveléséhez nélkülözhetetlen azonban a magas-hőmérsékletű röntgenfinomszerkezet-vizsgálat. A redukálás ugyanis 500–900 C°-os hőfoktartományban folyik le. Könnyen lehet például, hogy valamely wolframoxidnak egy közbeeső hőfokon módosulátváltozása van és ezek közül az egyik gyorsan, a másik lassan redukálódik. A szemcsenövekedés kormányzása céljából az ilyen viszonyok ismerete alapvetően fontos. A wolframoxidok szerkezete ez idő szerint azonban csak szobahőfokon ismeretes (a WO₃ kivételével). Nagy fontosságot tulajdonítunk ezért azoknak a magashőfokú wolframoxid-szerkezet-vizsgálatoknak, amelyeket ma Sasvári K. folytat.

A hasznos »szennyezések« hatásának vizsgálatát rendkívül elősegíti, ha extrém tisztaságú összehasonlító fémmel rendelkezünk. Újabbban (1952) Neugebauer J. annyira kifejlesztette a WO₃ széntetrakloridgőzben történő tisztító szublimálását és szennyezésektől való elválasztását, hogy ma kilogrammos mennyiségekben áll rendelkezésünkre olyan tisztaságú wolframfémpor, amelyben a jelenleg ismert módszerekkel semmiféle szennyezést nem lehet kimutatni. Ennek a nagy tisztaságú, kiskristályos rudat és drótot szolgáltató fémnek a tanulmányozása nélkülözhetetlen kiegészítője a wolframkutatás minden kérdésének.

Amint már láttuk, a mai igényeknek megfelelő wolframdrótot csak K, Si és Al együttes adagolásával sikerül előállítani. A gyártás úgy érzékeli azonban, hogy ezek az adalékok a drótot keményedőbbé, nehezebben megmunkálhatóvá teszik. Ez a jelenség még nincsen kivizsgálva.

A szennyezéseknek a megmunkálhatóságra, helyesebben mindössze a szakítódigramokból kiolvasható technológiai tulajdonságokra gyakorolt hatását eddig még csak régi technológiával készült, ezredszázaléknyi K, Si és Al stb. nyomokat tartalmazó drótokon vettük vizsgálat alá. El kell végezni mindezeket a vizsgálatokat az új technológiával készült drótokkal is, ha egymástól különválasztva óhajtjuk megismerni a krisztallithatókon (rosthatókon) elhelyezkedő és a fémrácsba beilleszkedett idegenanyag-nyomok technológiai hatását. Eddig végzett vizsgálataink erre nem elegendők.

Közönséges hőmérsékleten és 100° -onként 800° -ig terjedő hőmérsékleten végzett szakítóvizsgálatainkkal megállapítottuk azonban, hogy a régi technológiával készült GK-drótok üzemi húzása 800° -on a szinte teljesen hiányzó nyúlási képesség mellett szinte kizárólag a nagy (85–90%-os) kontrahálóképesség révén válik lehetővé és megállapítottuk, hogy ezt a helyzetet az ezredszázalékos szennyezések szokásos ingadozásai nem befolyásolják. Vizsgálataink közben felismertük, hogy a wolframdrót nyúlása 800° -ról 0° -ig csökkenő hőmérséklettel nem csökken, hanem nő (pl. 0,5%-ról 2%-ra) kontrakciója ugyanakkor viszont 90%-ról pl. 40%-ra csökken. Ebben a nemzetközi viszonylatban is új felismerésben annak a bizonyítékát látjuk, hogy a nyúlás mechanizmusa (legalábbis a wolframdrótnál) nem azonos a kontrakció mechanizmusával (Millner T., Sass L., Kovács I. 1952–1954). Ennek a kérdésnek kutatása nemcsak wolframfém megmunkálása, hanem általában minden fém megmunkálása számára új szempontokat ígér. Kérdés, van-e szerepe itt a szennyezéseknek?

A kémiai szennyezések megmunkálást nehezítő, keményedést fokozó és drótegyenletességet rontó technológiai hatását más oldalról is vizsgálat alá vettük. A helyi rideg drótrészletek természetének vizsgálatára Sasvári K. 1952-től kezdve olyan hátsóreflexiós röntgenmódszert dolgozott ki, amellyel a húzott wolframdrótok belső feszültségi állapotát lehet tanulmányozni az ép és hibás drótrészleteken. Sass L. pedig 1952-től kezdve kidolgozta és kifejlesztte wolframdrótok helyi hideg és meleg mikrokeménységi vizsgálatát. Azt reméljük, hogy egyrészt a megmunkálási feszültségvizsgálatok, másrészt a melegkeménységvizsgálatok feleletet tudnak majd adni arra a kérdésre, amire a szakítóvizsgálatok semminemű támaszpontot sem adtak eddig: arra a kérdésre tudniillik, hogy milyen technológiai tulajdonság leromlását érzékeli az üzem, amikor észreveszi, hogy az adalékanyagok (főleg a Si) megnehezítik a megmunkálást. Ez a kutatási terület közvetlen technológiai hasznot ígér.

Meg kell említenünk, hogy a hazai wolframkutatás a közelmúlt években kiterjedt kínai wolframérczek hazai feldolgozásának feladatára is. Ez a feladat eleinte inkább gazdaságos nyersanyagellátási kérdésnek látszott. Érthető azonban, hogy a wolframsav és wolframfém kis szennyezéseinek szerepét egyre jobban megismerve a wolframgyártási alapanyagok és így az ércből itthon előállított wolframsav tisztaságának kérdése is a kutató, fejlesztő és üzemi munka összehangolt együttműködését tette szükségessé. A jó együttműködés-

nek köszönhető, hogy ez az igényes feladat ma teljesen meg van oldva és üzemi méretekben folyik már a kínai wolframérc hazai feldolgozása (Vass E., Neugebauer J. Millner T., 1954.).

Mindezeket a kutatási területeket együttesen szemlélve úgy tűnik talán, hogy az újpesti wolframkutatást ma túlnyomóan a kis szennyezések hatását vizsgáló egyoldalú kémiai szempont jellemzi. A nemzetközi irodalom tanulmányozásából azonban kitűnik, hogy a korszerű metallurgiai szemléletben a kis szennyezések kapcsolata a fémek mechanikai technológiai tulajdonságainak alakulásával egyre nyilvánvalóbbá válik, és így az újpesti wolframkutatás a szennyezésvizsgálatokon keresztül kiterjed az összes egymással kölcsönhatásban álló wolframtechnológiai alapkérdésekre, és ezzel egyetlen dialektikus egységet alkot.

A kutatásnak ez az eredményes átfogó kibontakozása nem lett volna lehetséges anélkül a termékeny együttműködés nélkül, amely ma a wolframfém felhasználó híradástechnikai ipar keretében az üzemi, fejlesztési és kutatómunka között fennáll.

IRODALOM

1. *Millner T. és Túry Pál* : Wolframgyártás. A Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványa, XXVI. kötet, 42. füzet, 1944.
2. *Just és Hanaman* : Magy. szab. 34.541 (1904) és Angol szab. 23.899 (1904).
3. *Coolidge* : Angol szab. 23.499 (1909).
4. *PácZ Aladár* : USA szab. 1.410.499 (1920).
5. *Millner T. és Túry P.* : Magy. szab. 106.268.
6. *T. Millner* : Z. anal. Chem. **113** (1938), 83—102.
T. Millner, F. Kúnos : Z. anal. Chem. **113** (1938). 102—119.
Millner T. és Kúnos F. : Magy. Kém. Egy. Közlemények 1939. 68—75.
Millner T. : Magy. Tud. Akad. Értesítője. LVII. (1938). 584.
7. *Millner T. és Neugebauer J.* : Magy. szab. bejelentés EE 223. és EE 224. (1954).
8. *Millner T. és Neugebauer J.* : Magy. Kém. Folyóirat **57** (1951). 321.
9. *T. Millner, J. Neugebauer* : Nature, **163** (1949). 601.

HOZZÁSZÓLÁS

TURY PÁL

A vákuumtechnikai iparban jelenleg is gyakorlatban levő wolframalap-technológia alkalmazását — időrendben és jelentőségénél fogva is — elsősorban a wolframfonalak duktilizálása tette lehetővé. Ily módon egy-egy kiindulási zsugorított rúdból több ezer méternyi, a vákuumtechnikai követelményeknek megfelelő igen vékony méretű, egydarabból álló összefüggő wolframfonál készíthető, melynek nevezetes sajátága az, hogy szobahőfoknál is duktilis, hajlítható. A vákuumtechnikai cikkek tömeggyártását elsősorban ez a körülmény tette lehetővé. A méretre húzott wolframszálak kellő mértékű duktilitásának biztosítása ún. alapvető követelmény, mert ezeknek a lámpaburába való beszerelésükig még számos sokoldalú, lényegileg szobahőmérsékleteken végrehajtott kezeléssel és művelettel kell keresztülmenniük, amelyek mindannyian tetemes mértékű maradé deformációval járnak. Legjelentőségesebb ezek közül a fonalak tekeréscelése és az áramvezetőkhöz való hozzáfogása. Először 1910-ben Coolidge-nek sikerült wolframszálat húzó eljárással *hidegen is duktilis* állapotban előállítani. Az ezzel az eljárással előállított wolframhuzal hajlékony és szilárd volt és vele a vákuumtechnikai cikkek gyártása sokkal egyszerűbbé és olcsóbbá s minőségileg egyenletesebbé vált. Nemcsak a wolframgyártás, hanem a vákuumtechnikai cikkek gyártásának egész menete, eszközei és berendezései gyökerestül átalakultak oly irányban, hogy kezdetét vehette azok tömeggyártásszerű előállítása. A Coolidge által javasolt eljárás eredményessége a meglepetés erejével hatott, mert az akkori ismeretek és tapasztalatok alapján nem igen volt várható, hogy egy, a megmunkálatlan állapotban teljesen rideg fém, mint a wolfram, mechanikai megmunkálás eredményeképpen alakíthatóvá váljék. Coolidge eljárása eredményességét elsősorban két tényező biztosította: először a megmunkálás első menetének magas hőfokon és részben redukáló közegben való végrehajtása, másodsorban pedig egy különleges megmunkálási mód, az ún. forgó kovácsológépen való megmunkálás.

Bár Coolidge-nek sikerült hidegen duktilis wolframfonalakat előállítani, az akkori technológia alapján előállított wolfram alapanyag még oly tulajdonságú volt, hogy a különben duktilis wolframfonalokból készített izzótestek, rekrisztallizációs hőfokok fölé történő felhevítésük, v. i. a lámpaburába való beszerelésük és begyújtásuk után ridegekké váltak. Ugyanakkor alaktartósságuk távolról sem volt oly mértékű, hogy belőlük tekerceselt izzótestek lettek volna előállíthatók. Ennek oka lényegileg abban állott, hogy a Coolidge idejében előállított wolframfonalak rekrisztallizációs szerkezete polikristályos volt.

A wolfram, hőkezelése folyományaképpen szembetűnően másképpen viselkedik mint a többi ipari fém, melyek általában mind olyan tulajdonságúak, hogy kilágyításuk után alakíthatóbbakká válnak, mint aminők hőkezelésük előtt voltak. Hidegen megmunkált duktilis wolfram, ha kihevítése után polikristályos szerkezetűvé alakul, elveszti duktilitását és rideggé, törékennyé válik. Szerkezeti elváltozások tekintetében, hidegmegmunkálásnál és az ezt követő rekrisztallizációnál lényegileg teljesen hasonló törvényszerűségeknek hódol, mint a többi fémek, amennyiben éppenúgy rostos és irányított szerkezetet nyer (ennek köszönhető különben a Coolidge-féle eljárás folyományaképpen kialakult duk-

tilítás is) és felhevítésnél ez a szerkezet épp oly irányítatlan polikristályossá válik, mint azt a többi fémeknél tapasztaljuk. Olyan polimorf változása, mely melegkezelté után tanúsított rideg magatartását indokolná, tudomásunk szerint nincsen. »Kilágyított« állapotában mutatkozó ridegségéért az irodalomban többen a határfelületeken csekély mennyiségben összegyülemlt szennyezéseket tették felelőssé. Nem valószínű, hogy ez így van, amennyiben minden eddigi komoly tapasztalat szerint a lehető legtisztább alakban is előállított, de polikristályos szerkezetű wolfram szobahőmérsékleten rideg és törekeny. Jobb megvilágításban ezt a kérdést akkor látjuk, ha polikristályos szerkezetű fémek technológiai, főleg alakíthatósági sajátosságainak hőfokfüggését tesszük megfigyelés tárgyává. A legtöbb polikristályos szerkezetű fém, amely szobahőfokon nehézség nélkül jól alakítható, igen alacsony hőfokon, pl. a cseppfolyós levegő hőfokánál rideggé válik. A wolfram ezek szerint csak annyiban mutat különleges magatartást a többi fémekhez képest, hogy míg legtöbb fém esetében a kristályközötti törékenység csak igen alacsony hőfokoknál jelentkezik, addig wolframnál ez már szobahőfoknál is bekövetkezik.

A vákuumtechnikai ipar szakembereinek az utóbbi évtizedekben wolframfémrel kapcsolatosan végzett kutatási és fejlesztési munkálatai elsősorban arra irányultak, hogy egész élettartamuk folyamán alaktartó és jó fényhasznosítású izzótesteket sikerüljön előállítani. Erre a Coolidge-féle eljárás kidolgozása és bevezetése idejében még nem volt meg a lehetőség. Eredményre leginkább az a felismerés vezetett, hogy az izzótestek magas hőmérsékleteken való alaktartósága elsősorban azok rekrisztallizációjuk közben kialakuló kristályszerkezetétől függ. Az egyre bővebb anyagon szerzett tapasztalatok egyértelműleg azt mutatták, hogy az izzótest magas hőmérsékleten annál inkább alaktartó, minél nagyobb kristályokból áll és az egyes kristályokat elválasztó határfelületek minél rögzesebbek és hosszúra nyúltak, tehát minél inkább a huzal tengelyében fekvőek. Ennek hatására az, amidőn az egész izzótest egyetlen egy kristályból áll. A kutatási munka legnagyobb részét arra irányult, hogy meg lehessen találni egy oly eljárást, melynek segítségével ily kristályszerkezet kialakítása aránylag egyszerű üzemi eszközökkel biztosítható. Így alakultak ki azok az eljárások, melyek a kívánt eredményt a nagy mértékben megtisztított wolframsavhoz tudatosan hozzáadott hozaganyagok segítségével érik el. Kidolgoztak ettől eltérő egyéb eljárásokat is, melyeknek lényege az, hogy az egyébként nem nagy kristályszerkezetre vezető drótokat különleges mechanikai és hőkezelési eljárásoknak vetették alá. Ezek azonban körülményesek, költségesek voltak és a gyakorlatban szélesebb körben nem terjedtek el.

Millner Tivadar előadása kapcsán részletesen ismertette a kémiai beavatkozásokra támaszkodó eljárásokat, Pátz Aladár eljárásától kezdve az Újpesten kifejlesztett eljárásokig. Millner Tivadar és munkatársai legutóbbi években végzett kutatási és fejlesztési munkálataik folyamán súlyponti kérdésként az alkalmazásra kerülő hozaganyagok mennyiségi és minőségjavító hatásait és ezek működési mechanizmusát tanulmányozták. Ennek érdekében igen értékes új analitikai módszereket dolgoztak ki, melyek lehetővé tették, hogy a zsugorított wolframrúdban, ill. ebből készült termékekben a szobakerülő hozaganyagok ezredszázaléknyi mennyiségei is megállapíthatók legyenek. A vizsgálatok eredményeképpen kitűnt, hogy melyek azok a hatóanyagok, melyek a nagy kristályképződés kialakításában elsősorban közreműködnek s ezek felső határként milyen mennyiségben szerepelhetnek, ill. hatásosak. Vizsgálataik folyamán tanulmányozták azt is és megfontolásaikat kiterjesztették arra a körülményre is,

hogy a hasznos hatóanyagoknak milyen eloszlása az, mely a nagykristályképződést biztosítja. Ezzel kapcsolatban, mint az előadásból kiderül, munkahipotézist állítottak fel, minek alapján minőségjavító sikeres eljárásokat dolgoztak ki.

Kutatási és fejlesztési munkákeredményes folytatásának érdekében munkahipotézisek felállítása és a kísérleti munkáknak ily módon való irányítása sokszor igen hasznosnak bizonyul. Hasonló volt a helyzet az újpesti GK-eljárás kidolgozásánál is. Az eljárás oly hozaganyagok alkalmazására irányult, melyek a zsugorított rúdban és így az ebből megmunkálással nyert fonalban is igen kis mennyiségben visszamaradva, pl. a huzaloknak magas hőmérsékleten történő újbóli felhevítésénél gőznyomásuknál fogva, részben vagy egészben eltávoznak és eközben a fémtestben oly feszültségű állapotot létesítenek, mely alkalmas nagykristályos szerkezet kialakítására. Igen valószínű, hogy a kialakult feszültségi állapot mértéke és eloszlása lényeges szerepet játszik a nagykristályképződés kialakításának sikerére. Bár közvetlen mérési módszerek még nem állnak rendelkezésre a kialakult feszültségi állapot közvetlen mérésére, mégis ennek számos jele mutatkozik úgy a porból készült fémtestek zsugorodása, mint az ebből készített izzótestek felhevítése közben. Így pl. régebbi tapasztalatok szerint egy nagykristály-szerkezetre törekvő, rekrisztallizáltatása alatt alá nem támasztott izzótest káros deformációja (vetemedése) jelentékeny mértékben nagyobb, mint egy olyan izzótesté, mely felhevítése közben polikristály szerkezetűvé válik. Ezért bírt jelentőséggel az Egyesült Izzónál szerzett azon felismerés, és erre alapuló eljárás, mely nagykristályszerkezetű drótoknál, illetőleg izzótesteknél, azok beépítése előtt különleges, előzetes hőkezelések alkalmazását javasolta.

A Millner Tivadar és munkatársai által újabban javasolt módosított eljárások arra is irányulnak, hogy a wolframfonalnak megmunkálhatósági sajátosságait megjavítsák. Az előadó ezzel kapcsolatban a szakítási próba kapcsán észlelt megfigyeléseket tárgyalja. Meg kell itt jegyeznünk, hogy a szakítási próba önmagában nem tekinthető olyan technológiai próbának és vizsgálati módszernek, mely teljes mértékben felvilágosítást szolgáltat bármely anyag plasztikus alakíthatósági fokára, ill. mértékére. A plasztikus alakíthatóságra *közös mérőszám* ezidő szerint nem áll rendelkezésre és nem is deriválható egyéb technológiai sajátosságok ismerete alapján. Ami a szakítópróba kiértékelését illeti, az ennek kapcsán megállapítható nyúlási érték és az ún. kontrakciós érték *együttesen* bizonyos mértékű felvilágosítással szolgál ugyan, de nem teljes és kielégítő mértékben. Alapvető jelentőséggel bír ennek a kérdésnek megítélésénél a Rejtő Sándor által definiált képlékenységi mérőszám, melyre azonban a szakítópróba alapján megállapított kontrakciós értékből csak többé-kevésbé lehet következtetni. A plasztikus alakíthatóság megítélésénél a szakítópróbánál talált nyúlási és kontrakciós érték egymástól nem választható szét és együttesen vizsgálendő és mérlegelendő. Ismeretes különben, hogy hidegen megmunkált nyúlásmentes drótok plasztikusan tetemes mértékben alakíthatók, húzhatók, feltéve, hogy képlékenységi mérőszámuk megfelelő.

Millner Tivadar előadásában kiemeli a kémiai beavatkozásokra támaszkodó eljárások sikeres levezetésével kapcsolatban a redukciós művelet fontosságát, illetőleg említi redukciós folyamat mechanizmusának tanulmányozására irányuló kísérleteit. Ez igen fontosnak és eredményt ígérőnek mutatkozik, mert régi tapasztalat, hogy a megmunkálhatóságot és a végtermék minőségét redukciós folyamat lefolyása döntő mértékben befolyásolja és irányítja. Fontos szerepet játszanak itt a katalizátorok hatásai is, melyeknek alkalmazása

az Izzó praxisában már évtizedekre visszanyúlik. A redukció műveleténél lehet leginkább befolyást gyakorolni arra a fontos körülményre, hogy a hasznos hozaganyagok minő elrendezésben és eloszlásban helyezkedjenek el a kiredukált fémporban, amitől ezután igen valószínűleg az általuk kifejtett effektus mértéke és eredményessége is függ.

MILLNER TIVADAR válasza a hozzászólásra

Túry Pál igazgató kts. hozzászólásában arra emlékeztetett, hogy az 1931-ben bejelentett, nagykristályos wolframfém előállítását leíró ún. GK-szabaldalom (Millner T. és Túry P.: Magy. Szab. 106.268. sz., 1931) alapgondolata szerint egyes szerencsésen megválasztott nehezen illó adalékanyagok (pl. a GK-eljárás ismertett idegenanyagai) éppen a szekundér rekrisztallizálás hőmérséklete táján igyekeznek a wolframfémről elgőzölni és eközben gőznyomásukkal a fémtestben átmenetileg belső feszültségeket keltenek. Ezzel a kényszerrel maguk válnak a szekundér rekrisztallizálás legfőbb okozóivá, vagy legalábbis döntő tényezőivé.

Ez az elképzelés annakidején abból az ismert tényből indult ki, hogy a hidegen megmunkált fémek belső feszültségi állapotának termikus kioltódását általában rekrisztallizáció kíséri és feltételezte, hogy a kémiai adalékanyagokkal befolyásolható rekrisztallizációkor a szennyezések gőznyomása létesíti azt a feszültségi állapotot, amelynek kioltódását azután nagykristályképződés kíséri.

Ezt a nézetet igazolni látszott a legutóbbi időkig az a tény, hogy azok a wolframrudak, amelyek a múltban nagykristályos szerkezetet előidéző adalékanyagokkal (pl. GK-adalékokkal) készültek, egészen magas hőmérsékleten hajlamosak voltak felfűvódásra, ami kétségtelenül idegen anyagok gőznyomásának működésére vall és megfelelő körülmények között feszültségi állapot kialakulására vezethet.

Újabb vizsgálatainkkal megállapítottuk azonban, hogy a wolframfém nagykristályos szerkezetének előidézéséhez helyesen megválasztott idegenanyagoknak már olyan kis mennyisége is elegendő, amelynek gőznyomása érdemleges feszültségi állapot létesítésére semmiképpen sem elegendő és nem is okoz felfűvódást még az olvadás hőmérsékletének közelében sem. Kimutattuk továbbá, hogy még ezeknek az ezredszázaléknyi kis szennyezéseknek legnagyobb része is eltávolítható a zsugorodó rúdból anélkül, hogy a nagykristályképződés elmaradna. Megállapítottuk, hogy az ezredszázaléknyi idegen anyagoknak ez a nagyobb része mint a krisztallithatók és pórusfelületek (nem fémes) szennyezése van jelen és kifejezetten káros, mert nehezíti a mechanikai megmunkálást. Kifejlesztettük ez alapon azt a nézetet, hogy az ezredszázaléknyi idegenanyag-nyomokból csak annak a kis töredékrésznek van kristályosító hatása, amely (pl. redukciókor) valóban a fémrácsba kerül bele és abban rekrisztallizációkor is jelen van.

Ez a nézet szerintünk mentes a gőznyomáselmélet nehézségeitől, azonban mindenesetre még alapos alátámasztásra szorul.

Az új szemlélet szerint a nagykristályképződés bekövetkezik felfűvódási jelenségek és makroszkópos (az egész testre kiterjedő) mechanikai belső feszültségek keletkezése nélkül is. Ezek csupán kísérő jelenségek és a krisztallithatók szennyezéseinek elgőzölgéséből erednek. Ha a krisztallithatókat párolog-

tatással vagy mosással megtisztítjuk, ezek a kísérőjelenségek elmaradnak, a wolframrúd azonban mégis nagykristályos lesz azoknak a szennyezésnyomoknak a hatására, amelyek nem a pórushatárokon, hanem a fémrácsban vannak és onnan csak sokkal lassabban diffundálhatnak ki, mint a határokról. Ezek működésének módja azonban még épp oly ismeretlen, mint maga a rekrisztallizáció-mechanizmus.

Túry Pál kts. egy olyan észlelésre is rámutatott, amely látszólag más oldalról is alátámasztja a gőznyomás-elméletet. Megemlítette azt az izzólámpa-iparban eléggé ismert tényt, hogy az eddig GK-drótból előállított és megmunkálási feszültségeiktől hőkezeléssel nagyrészt megfosztott wolframspirálok rekrisztallizálásukkor nem egyszer jelentősen vetemedtek. Ez a részben még visszamaradt megmunkálási feszültségeken kívül joggal tulajdonítható az idegenanyag-nyomok gőznyomása által okozott feszültségek hatásának is.

Az ilyen rekrisztallizációs spirálvetemedéseket mai nézeteink szerint is a szennyezésnyomok gőznyomása okozza. Azonban nem a hasznos igen kis szennyezésnyomoké, hanem a krisztallit- vagy rosthatárokon levő szennyezéseké. Rendkívül érdekes lesz ezekután a tömeggyártásban megfigyelni, hogy az új eljárás szerint igen tiszta krisztallithatárokkal készült wolframspirálok vetemedése valóban jóval kisebb mértékű lesz-e, mint a régi GK-drótokból készüteké. Ilyen megfigyeléseken keresztül juthatunk el majd annak a kérdésnek az elbírálásához, hogy új nézeteink kevesebb ellentmondással írják-e le a kémiai tényezők szerepét a rekrisztallizációban, mint a gőznyomás-elmélet, és vajon nem szükséges-e erre vonatkozó nézeteinket még tovább elmélyíteni, sőt esetleg átalakítani.

Meg kell még említenem, hogy az új technológiával készült wolframdrótok egyenletesebben megmunkálhatók, mint a régi GK-drótok.

Miből következtetjük ezt? A régi GK-drótok átmérője (főleg a legvékonyabb drótméreteknél) nagyobb mértékben ingadozott, mint amekkora ingadozást a rádiócsőgyártás egyenletességi követelményei még megengednek. Ezért az Egyesült Izzó dolgozói egy olyan automata készüléket szerkesztettek és helyeztek üzembe, amely a drótegyenletlenséget folyamatosan mérve, a kelletténél vastagabb drótszakaszokat a helyes méretre folyamatosan lemarta.

A régi GK-drótok idején ez a készülék szüntelenül működött. Amióta azonban a legvékonyabb wolframdrótokat az új technológiával készült wolframrudakból állítjuk elő, a keresztmetszet-kiegyenlítő készülékek szinte teljesen megálltak: a drót olyan egyenletes, hogy kiegyenlítésére szinte semmi szükség sincsen.

Az a meggyőződésünk, hogy azáltal, hogy a krisztallit- és pórushatárokról az új technológia segítségével a szennyezéseket az eddiginél sokkal jobban eltávolítjuk, a wolframfém megmunkálását lényegesen megkönnyítjük, ami azután a legvékonyabb drótok keresztmetszet-egyenletességében is kifejezésre jut.

BARTA ISTVÁN levelező tag elnöki összefoglalója

Azt hiszem, röviden talán úgy foglалhatjuk össze a ma délutáni ülésünkön elhangzottakat, hogy esetleg távolabbi szakmában dolgozók részére is világossá vált, hogy a híradástechnikán belül igen komoly fémtechnológiai kérdések megoldása szükséges ahhoz, hogy a híradástechnikai eszközeink jók és korszerűek legyenek.

A titánról mint új anyagról hallottunk. Talán azt mondhatnánk, hogy egy új hazai anyagról hallottunk és ez adja meg ennek a témának a fontosságát, mert reményt kelt bennünk arra vonatkozólag, hogy nehezen beszerezhető egyéb anyagokat pótolhatunk majd vele. Hallottuk ugyan, hogy vannak hiányosságai; forraszthatósága, párolgása nem olyan kedvező, mint más fémeké, sőt szilárdsági tulajdonságai is kivizsgálandók még, mégis biztosnak látszik, hogy egyes ötvözetekben és főképpen egyes getter-anyagok vonalán hasznosan pótolhat más, nehezen hozzáférhető anyagokat.

Millner kts. előadásából megismertük az izzólámpák, rádiócsövek stb. egyik alapanyagának, a wolframdrótnak a fejlődéstörténetét. Láttuk, hogy a magyar kutatás, a magyar kutatók mennyiben járultak hozzá e kérdés tisztázásához, láttuk, hogy munkájuk milyen eredményes volt, hiszen segített felépíteni egy világviszonylatban is az elsők között helyetfoglaló iparágat. S láttuk az előadásból, hogy az újabb kutatások komoly reményt nyújtanak arra, hogy azt a helyzetet a továbbiakban is megtarthadjuk, sőt esetleg még előbbre is kerülhetünk.

Láttuk azt is, hogy ezen a területen is van bőven megoldandó kérdés. Millner kts. említette, hogy a wolframgyártó üzem érzékenyebben tud különbséget tenni (a megmunkálási sajátságok érzékelésével) a tiszta és hatóanyag-tartalmú wolframdrótok között, mint a műszeres laboratóriumi észlelés. Mivel nem kétséges, hogy valóban van különbség a kétféle wolframsém mechanikai-technológiai tulajdonságai között, nagy érdek fűződik ahhoz, hogy ez tudományos és laboratóriumi módszerekkel is megállapítható legyen, hogy ezáltal az üzem a legkedvezőbb körülmények között dolgozhassék.

TELEVÍZIÓS BERENDEZÉSEK ELEKTRONCSŐ- IGÉNYEI*

BARTA ISTVÁN levelező tag

Az egyre szélesebb körben elterjedő televíziós műsorszolgáltatás merőben új feladatok elé állította nemcsak a berendezéseket, hanem a vevőkészülékeket előállító ipart is. A megszokott, rádióközvetítésekre alkalmas berendezésekhez és vevőkészülékekhez képest alapvetően másfajta konstrukciók és áramköri megoldások kerültek felhasználásra. Ezt csak részben indokolják a távolbálató képbontó és képviisszaadó berendezésekhez szükséges új szerkezetek, hanem nagyrészt az átvindó széles frekvenciasáv és a működtetéshez szükséges lényegesen magasabb vívőfrekvencia egész más kapcsolási megoldásokat és alkatrészeket tesz szükségessé. E helyütt nem kívánjuk részletezni általában az alkatrészekkel szemben felállítandó új követelményeket, hanem csakis a berendezések és készülékekhez szükséges alkatrészek egyetlen nagy csoportjával akarunk foglalkozni, a szükséges elektroncsövekkel (mely csoportba minden elektronemisszióra és nagy vákuumra alapozott elektronikus eszközt beleértünk), melyekkel teljesíteni tudjuk a televíziós igényeket.

A szükséges csöveket általában két nagy csoportba sorolhatjuk. Az elsőbe azok a csőtípusok tartoznak, melyekkel elektromos jeleket erősíteni vagy formálni kívánunk, a másik csoport felöleli az összes különleges feladatokat végző csőtípusokat, melyek közül leglényegesebbek a képfelvevő és visszaadó csövek. Az elkövetkezőkben részletesen kifejtjük az ezekkel a csőtípusokkal szemben fennálló követelményeket.

I. Az első csoportba sorolt csövek részben a vevőkészülékben, részben az adó- és stúdióberendezésben nyernek felhasználást. Miután egy adott televíziós szolgáltatón belül egyetlen adóberendezéshez igen sok vevőkészülék tartozik, ezért a vevőkészülék-ipar által igényelt csövek nagy mennyiségben szükségesek, ezek tehát minden körülmények között tömeggyártási módszerekkel kell előállítva legyenek és készülékgyártó ipar esetében, igen indokoltnak mondható, hogy országon belül gyártandók. Ezek a csőtípusok általában mint videofrekvenciás és mint szélessávú hangolt erősítők csövei kerülnek felhasználásra. Könnyű kimutatni, hogy mindkét erősítőfajta azonos követelményt állít fel a

* A Híradástechnikai Konferencián 1954. május 8-án elhangzott előadás.

csövekkel szemben, azt, hogy az ún. csőindex lehető nagy legyen. A csőindexet meghatározza a meredekségnek és a kapacitásnak hányadosa, a

$$G = \frac{S}{\pi C}$$

kifejezés, melyben S a cső meredekségét, C pedig a bemenő és kimenő kapacitás középértékét jelenti. A csőindex tulajdonképpen azt az elméleti legmagasabb frekvenciát adja meg, ameddig a cső erősítésre még használható. Ez az elméleti határ természetesen nem érhető el, mert a teljes kapcsolási kapacitásérték jóval nagyobb lesz, mint a cső által behozott elektródák közti kapacitások. Hangolt erősítőknél ezen követelményhez csatlakozik még az, hogy a cső bemenő csillapítása ne legyen olyan magas, hogy ez az erősítést lehetetlenné tegye. A bemenő csillapítást igen magas frekvenciákon az elektronok véges, a rezgésidővel összemérhető repülési ideje, továbbá a katódkivezetésnek induktivitása, valamint a többi elektródakivezetéssel képezett kölcsönös induktivitása okozza. Ilyen magas frekvenciákon a bemenő csillapítást egy, a rács és katód között látszólag jelenlevő ohmos ellenállás idézi elő, melynek értéke fordítva arányos a frekvencia négyzetével és a meredekséggel. Ezen csillapító ellenállás értéke megnövelhető a rács—katód távolság csökkentésével és az ön- és kölcsönös indukciók csökkentését lehetővé tevő többszörös katódkivezetéssel, melynek révén az anód és rácsköri áramkörök elválaszthatók egymástól. Igen fontos követelmény annak érdekében, hogy lehetséges legyen igen nagyfokú erősítést elérni, az első fokozatokban felhasznált csőtípusok kis zajossága, mely legjobban triódákkal oldható meg. Természetesen az a szükségesség, hogy ennek érdekében triódákat használunk rádiófrekvenciás erősítők gyanánt, a felhasznált triódák speciális kiképzését teszi szükségessé.

Ugyanezen csőtípusok használhatók a szuperrendszerű készülékekben oszcillátor és általában keverő cső gyanánt. Ezen fokozatok csövei is tűnjenek ki nagy meredekségükkel, kis belső kapacitásukkal és kis zajtényezőjükkel.

A készülék további fokozataiban szükséges az eltérítő áramkörök működtetéséhez oly cső, mely egyrészt képes a szükséges kb. 10 watt teljesítményt a sorfrekvenciás terelő tekercs részére szállítani, másrészt szigetelési tulajdonságai olyanok legyenek, hogy anélkül, hogy túlzottan nagy méretű legyen, tartósan kibírja a kb. 10 kV nagyságú feszültségesúcsokat a visszafutás időpontjaiban. Ezt érdemes speciálisan erre a célra kiképzett csővel megoldani, mert a normális erősítőtechnika rendelkezésre álló csövei (pl. a 807-es csőtípus) méreteinél fogva erősen kiesik a többi használatos, általában miniatűr típusú csövek közül. Szükséges talán még megemlíteni, hogy a modulált képjelek demodulálásához kis kapacitású, de kis belső ellenállású dióda szükséges annak érdekében, hogy a demodulálás határfoka ne legyen túlságosan alacsony. Ezenkívül, miután minden televíziós vevőgéphez egy frekvenciamodulációs

vevőrész is tartozik, ennek a csőszükségletét is meg kell oldani. Szerencsére a rádiófrekvenciás rész csőigénye megegyezik a képvevőével, hangrésze részére pedig felhasználhatók természetesen a normál erősítő csövek, ezért csakis a demodulátor cső okoz külön feladatot. Erre a célra vagy két, lehetőleg teljesen egyforma külön katódokkal bíró dióda kell (a fázisdetektorhoz, vagy az aránydetektorhoz), vagy pedig, és ez némi készülékgyszerűsítést jelent, mert feleslegessé teszi a külön limiter csövet, frekvenciamodulációhoz szükséges speciális detektorcsövet, mint pl. az EQ 80-as vagy pedig a 6BN6 típusú csövet ajánlatos használni.

Ezek szerint a vevőkészülék csőigénye : nagyeredekségű, kis kapacitású csövek, melyek csőindexe nagyobb legyen, mint $3 \cdot 10^8$ Hz, kis zajviszonnyal és bemenő csillapítással. A rádiófrekvenciás erősítéshez szabályozó karakterisztika kell. A bemenő fokozat speciális miniatűr trióda legyen, kis zajtényezővel, földelt rácsú kapcsolásra alkalmas kivitelben (esetleg tárcsás vagy világítótorony cső). Ezenkívül feszültséglökésekre szigetelt, nagyteljesítményű, kis méretű végerősítőpentóda, valamint az eltérítésből történő magas egyenfeszültség előállítására kis fűtőfogyasztású, nagyfeszültségű egyenirányító cső szükséges, továbbá kis belső ellenállású dióda a képjelek, szimmetrikus kétkatódú dióda a frekvenciamodulált hangjelek demodulálására. Ezen utóbbi helyett lehetséges a különleges demodulátor cső használata. A felsorolt csövek fűtési módjára itt nem szándékozunk kitérni, mert a parallel fűtés — soros fűtés kérdésének megfontolása nem csőtechnikai, hanem elsősorban gazdasági—cél-szerűségi kérdés.

A vevőkészülék csőigénye után vizsgáljuk meg az adóberendezés igényeit. Itt talán leghelyesebb mindjárt a végerősítő fokozatok, mint legigényesebb helyek csőszükségletével kezdeni. Könnyen bizonyítható, hogy televíziós célra a rádiófrekvenciás végerősítő, függetlenül, hogy ebben a fokozatban modulálunk-e vagy sem, adott teljesítmény elérésére nagy anóáramú és kevésbé nagy anódfeszültségű legyen (az egyenletesen erősítendő széles sáv miatt a végerősítő anódköri terhelő ellenállása egy aránylag erősen csillapított rezgőkör kell hogy legyen, melynek a rezonancia-ellenállása alacsony). Ezért e csövek katódteljesítménye aránylagosan nagy kell hogy legyen, melynek elérésére szükséges fűtőteljesítmény lecsökkenteni a rendelkezésre álló, kihasználható anóddisszipációt. Annak érdekében, hogy ez elkerülhető legyen, szükséges erre a célra thórjamos wolfram-katódú adócsövek használata, mely lehetővé teszi azonos katódáram elérésére sokkal kisebb fűtőteljesítmény felhasználását. Az adócsővel szemben különben további követelmény, hogy alkalmas legyen az 50—200 MHz frekvenciasávban jó hatásfokkal dolgozni. Olyan csövet, mely egyformán jó ebben az egész sávban, nehéz és ezért nem is érdemes megcsinálni. Ezért két-három külön csőtípus szükséges erre a célra. A csövek kis belső kapacitással, rövid bevezetőkkal bírnak, lehetőleg az egész adóberendezés egyszerűsítése érdekében forszírozott léghűtéssel dolgozzanak. Kiviteli formájuk olyan

legyen, hogy alkalmasak legyenek földelt rácsú kapcsolás létesítésére. A magyar távolbalátás megvalósításához szükséges a következő csövek kidolgozása :

1. 1 kW hasznos teljesítményű léghűtéses adócső 120 MHz-ig
2. 5 kW hasznos teljesítményű léghűtéses adócső 50 MHz-ig
3. 20 kW hasznos teljesítményű léghűtéses adócső 30 MHz-ig
4. 20 kW hasznos teljesítményű vízhűtéses adócső 30 MHz-ig

A két utóbbi csőtípus azonos belső elrendezésű legyen, csak a hűtőköpeny változzék aszerint, hogy a hűtést vízzel vagy légárammal végezzük. Azonkívül fél anódfeszültség használata mellett legyen e két cső alkalmas 60 MHz-ig való használatra. A felsorolt valamennyi cső az előbbiek értelmében thóriumos katódú legyen.

A video-végerősítő fokozathoz a megfelelő csövet magas szintű moduláció esetében az előbbiek közül lehet választani.

A kisebb teljesítményű csövek közül szükség van az előerősítő fokozatokban, valamint kisebb teljesítményű adók végerősítő csöve gyanánt egy kb. 300–500 wattos hasznos teljesítményű, kis anód-katódkapacitású, földelt rácsú alkalmazásra megfelelő csőtípusra. Ez kb. megfelel külalakban a jelenlegi OT 400 típusú csőnek, de kisebb kapacitással bír. A megengedhető kapacitásértékek : $C_{ar} = 6$ pF ; $C_{ak} = 7-8$ pF.

A 200 MHz-es sávban létesítendő kisebb teljesítményű adók felcsövezéséhez 50–500 W hasznos teljesítményű ultrarövidhullámú csövek szükségesek. Ezek természetes léghűtésűek legyenek. Igen alkalmasak erre az ún. tárcsás (disc-seal) kivitelű csövek.

Az adóberendezések előfokozataiban általában azokat a csöveket használják, mint a vevőkészülékben, amennyiben azok már rendelkezésre állnak, úgy további csőigény nincs.

Ezzel szemben igen fontos az egyes televíziós adóállomásokat összekötő mikrohullámú lánc felcsövezése. Erre a célra általában video-jelekkel frekvenciamodulált összeköttetést használnak. Miután a lánc egyes állomásai között kb. 40–60 km távolság van, a fókuszált sugárzás dacára kb. 1W hasznos teljesítmény szükséges. Ennek előállítására pl. nagyteljesítményű klisztronokra van szükség, olyanokra, melyek a kívánt frekvenciasávon képesek dolgozni. A vevőállomásokon ugyanilyen klisztronok segítségével előállított helyi rezgések segítségével jön létre a keverés.

A stúdió erősítőcső-igényei nem különböznek a vevőkészülék csőigényétől, nagyszerűségű csövekre van szükség. Meg kell azonban említeni, hogy egyes fokozatokban az erősítőcsöveknek mikrofoniamenteseknek és bűgásmenteseknek kell lenniük, pl. a felvevőkamarában elhelyezett előerősítő csövei ilyenek legyenek. Erre a célra igen gyakran külön csőkonstrukciók szolgálnak. Miután csak kis számban szükségesek, ezért honi gyártásuktól el lehet tekinteni.

II. A második nagy csoportot képező csövek közül fontosság szempontjából első helyen állnak a különböző képvisszaadó katódsugárcsövek. Miután minden vevőkészülékben szükséges egy ilyen cső, ezenkívül a stúdióüzem és az adóberendezés ellenőrzéséhez is számos helyen kell katódsugárcső, hazai gyártása igen fontosnak mondható. Külföldi példák mutatják, mind a Szovjetunióban, mind nyugaton, hogy legalább három különböző képméretű, a közvetlen szemlést lehetővé tévő csőre van szükség, mert a különböző árnívójú készülékek árának lényeges részét a képcső teszi. Arra vonatkozólag viszont, hogy mekkora legyen a minimális képméret, megoszlanak a vélemények. Ma talán még elegendő a 9"-os, 23 cm átmérőjű cső, mellyel kb. 15×20 cm²-es képet lehet megvalósítani. Tudjuk azonban, hogy a Szovjetunió új típusú, széleskörű használatra szánt készülékeiben már 31 cm átmérőjű csövet használ, mely lehetővé teszi a 21 cm \times 28 cm-es képek megvalósítását. Nem vitás, hogy a képméret mindmostanáig állandóan nagyobbodott és a jelek szerint még mindig nem fejeződött be ez a fejlődés. Nyugaton ma a legsűrűbben használt csövek a 36–43 cm átmérőjűek. Ez azt jelenti, hogy miután nálunk a csövek előreláthatólag csak 2–3 év múlva fognak piacra kerülni, már most világosan látni kell, hogy ilyen, esetleg még nagyobb méretű csöveket kell feltétlenül kidolgozni. Miután televíziós készülékek külső méretét elsősorban a katódsugárcső határozza meg, feltétlenül szükséges arra törekedni, hogy adott képméret mellett a katódsugárcső méretei minél kisebbek legyenek. Ennek elérésére le kell a csőhosszúságát csökkenteni, amely szükségessé teszi az elektronsugárnak nagy szögben való kitérítését, anélkül, hogy emiatt torzítások lépnének fel. A készülék magasságmérete csökkenthető, ha nem köralakú ernyővel, hanem négyszögletes ernyővel készítjük el a képcsövet. Ez különleges üvegtechnológia alkalmazását teszi szükségessé. A képcső súlya, mely nagyméretű csöveknél már igen tekintélyes lehet, erősen csökkenthető, ha a képcső kúpos, illetőleg gúlaalakú, az ernyőhöz csatlakozó részét, 7–10 mm vastagságú üveg helyett 1–2 mm vastagságú fémlemezéből, az olcsó ár miatt lehetőleg vaslemezéből készítjük el. Így jutunk a fémkónuszos, szögletes csövekhez, mely feltétlenül a jövőben kizárólag használatos csőalak. További követelmény a katódsugárcsővel szemben, hogy nagy fényerejű, de reflexióktól mentes legyen, világos helyiségben is legyen szemlélhető és hogy élettartama hosszú legyen, tehát a korai meghibásodást jelentő ionfolt ne legyen észrevehető. További, már kevésbé elsőrangú szempont, hogy fókuszálhatósága jó és stabilis legyen, ne változzék a készülék bemelegedésével és erre a célra lehetőleg ne legyen sok energia szükséges. Ezen követelmények kielégítésére jutunk a nagy anódfeszültséggel (15–20 kV) működtetett, az ernyőfeltöltődést és fényreflexiót megakadályozó alumíniumozott ernyőjű, esetleg külön ioncsapdás csőhöz, melynek üvegernyője a külső reflexiók csökkentése céljából 30% fényvesztést okozó szürke üvegből van. Az elektrónagyú pedig ún. önműködő elektromos fókuszálású, melynél a fókuszáló elektróda közel 0 V potenciálon van, áramot

nem fogyaszt, ezért a melegedéstől és hálózati feszültségingadozástól teljesen függetlenül mindig élesen fókuszál, energiafelhasználás vagy fókuszáló permanens mágnesek felhasználása nélkül.

A közvetlen szemléltethetőségű képcsövek mellett nem szabad teljesen szem előtt téveszteni a vetítős képcsövekkel dolgozó készülékeket sem, mert ilyen módon kisebb összméretek mellett lehet nagy képméretekhez jutni anélkül, hogy az igen drága, és a nagy felülete miatt óriási nyomásra igénybevett nagy katódsugárcsövet használni kellene. Ma látszólag héttérbe szorult ez a készüléktípus, de világos, hogy megfelelő élettartamú fényerős vetítős katódsugárcső kifejlesztése esetén igen sikeresen lehet vetélytársa a jelenlegi megoldásoknak.

Végezetül néhány szót a felvevőcsövekről. Nem vitás, hogy ezek nélkül televíziós átvitelt megvalósítani nem lehet, de az sem kérdéses, igen nagy nehézséget jelent hazai laboratóriumaink részére ezek szükségyszerű kidolgozása. Általában szükség van a filmközvetítés megvalósításához ikonoszkópra, esetleg szuperikonoszkópra, vagy más technikájú képbontás mellett ún. mozgófénypontú fényerős, éles pontú, kis utánvilágító katódsugárcsőre. Stúdió és szabadtéri közvetítésekhez a szuperikonoszkóp (képikonoszkóp) szükséges, míg mesterséges fény melletti helyszíni közvetítésekhez a nagyérzékenységű szuperortikon nélkülözhetetlen. Helyesnek látszik ezek közül csak az egyiknek, pl. a szuperikonoszkópnak hazai kidolgozását szorgalmazni, s amennyiben más típusra is szükség van, azt külföldről, pl. a Szovjetunióból behozni.

Igen sokat ígér azonban egy ma még nem általánosan használt felvevőcsőtípus, a vidikon. Ez lényegesen egyszerűbb, mint a szuperortikon, de érzékenysége összemérhető vele. Reményteljesnek látszik hazai laboratóriumban a csőtípus kidolgozását munkába venni.

Az elmondottakból látható, hogy a televízió bevezetése igen sokirányú problémát jelent a csőgyártó ipar és a hozzátartozó kutató és fejlesztési osztályok részére. Szigorú vizsgálattal kell eldönteni, hogy az itt felvetett, sőt az ezen túlmenő típusok közül mit és mikor, milyen formában és milyen gyártási módszerrel kell megvalósítani. Miután az erre a célra rendelkezésre álló létszámok is igen korlátoltak, feltétlenül szükséges igen gondos koordinálás mind országon belül, mind más, baráti országokkal. Elsősorban lehetséges ez a Szovjetunióval, mely mostanáig is sok jelét adta, hogy a televíziót fejlesztő munkánkat igen sokoldalú segítséggel támogatja. Dokumentáció, alkatrészek és komplett berendezések azok, mit a Szovjetunió már részünkre nyújtott és nem vitás, hogy ha elegendő műszaki fejlődést mutatunk bizonyos, pl. csőgyártási vonalon, a Szovjetunió szívesen vesz általunk előállított cikkeket. Lehetséges a Német Demokratikus Köztársasággal és Csehszlovákiával is kapcsolatba és remélhetőleg kölcsönös fejlesztési program kidolgozásával szorosabb viszonyba kerülni. Ezek az országok televízió terén ma előttünk vannak, de egyáltalán nem akkora az előnyük, hogy a nagy múltra visszatekintő magyar

vákuumtechnikai-, készülék-, valamint adóállomásépítő ipar ne tudjon rövid idő alatt felzárkózni melléjük. E közös programok kidolgozása minél előbb kívánatos lenne, éppen a felesleges parallel munka kiküszöbölése érdekében.

Tekintetbe véve azt a hatalmas erőt, melyet az a nagy érdeklődés jelent, mely ma nálunk a televízió ügyét körülveszi, remény van arra, hogy mindnyájunk munkája és erőfeszítése révén a távolbalátás Magyarországon is hamarosan kifejlődik és nagy nézőtömegek bekapcsolódásával eredményesen hozzájárul az életszínvonal emeléséhez, a kultúra és szórakozás terjesztéséhez.

HOZZÁSZÓLÁSOK

(KIVONAT)

LASZIP SÁNDOR

Véleménye szerint legelső teendő a televíziós csövek élettartamát felemelni tízezer, majd ötvenezer órára. Számítása szerint ugyanis átlagos ezerüzemórás élettartam esetén egy átlagos televíziós készülék karbantartási költsége műsoróránként tizenöt forint. A csőmeghibásodás szempontjából döntően figyelembeveendő további tényező, hogy a készülékben levő csövek körülbelül ötven százaléka ikercső, továbbá, hogy három-négy darab a normálnál sokkal nagyobb igénybevételnek van kitéve. Ez utóbbiak közé sorolható többek között a vízszintes képeltérítő generátor végsőve, valamint a feszültség-visszanyerő dióda (300 mA katódcsúcsáramok, nagy záróirányú feszültség).

A csőmikrofónia akusztikus begerjedéseket és úgynevezett visszacsatolási (csillapítási) torzításokat okoz. Ezért a minőségi hangátvitel szempontjából fontos, különösen a nem intercarrier vevők esetén, az alacsony nívón erősítő kép- és hangjelerősítő csövek, valamint oszcillátorcsövek csőmikrofóniáját a minimumra csökkenteni.

A csövek adatai közötti szórást a mainál szűkebb határok közé kell szorítani. Ebből a szempontból különösen veszélyes csövek: a képdemodulátor dióda (katód—anód, katód-fűtőszál kapacitás), aránydetektor dióda (elektromos szimmetria), továbbá a nagyfrekvenciás erősítőcsövek (optimálisan elérhető szerelési kapacitás).

A képvisszaadó katódsugárcsővek legkisebb méretéül a 12"-os (31 cm Ø) csövet tartja elfogadhatónak.

SÁRKÖZY GÉZA, a műszaki tudományok kandidátusa

Véleménye szerint televíziós vevőkészülékek felcsövezésére a novál szériát kell alkalmazni.

A frekvenciamodulált hangvevőrésnek oly csövekkel és áramkörökkel kell bírnia, amelyek alkalmasak a később tervbevetett frekvenciamodulációs hírszórás 87,5—100 MHz-ig terjedő sávjának a vételére.

A rendelkezésre álló erők koncentrációja miatt helyesnek tartja csak egy képfelvevő típus hazai kidolgozását.

A televíziós adócsövekkel kapcsolatban kiegészíti dr. Barta előadását a következőkkel: A földeltrácsú erősítőkapcsolás miatt igen nagy fontossága van az anód—katód kapacitásnak, amelynek igen kicsinynek kell lennie. A kidolgozandó thóriumos wolframkatódú adócsöveknél erre nagy gondot kell fordítani.

A dr. Barta előadásában felsorolt csőtípusokkal egyetért azzal a megjegyzéssel, hogy a legsürgősebb az 1 kW anódveszteségű adócsőtípus kidolgozása. Ennek alkalmasnak kell lennie mind a televíziós sávban, mind a frekvenciamodulációs hírszórósávban való működésre, tehát felső frekvenciahatárának legalább 100 MHz-nek kell lennie.

DALLOS ANDRÁS, a műszaki tudományok kandidátusa

Felhívja a figyelmet, hogy a speciális alkalmazásokra, tehát például a televíziós fokozatok különböző részeire készítendő csövek számára a megfelelő vizsgálatokat — a követelményeket inkább pesszimiztán ítélve meg — dolgozzák

fel, mert ez feltétlenül szükséges mind a hazai televíziós vevők csövekkel való ellátásánál, mind pedig az exportnál.

KONCZ ISTVÁN, a műszaki tudományok kandidátusa

Figyelembe kell venni, hogy adócsőgyártásunk 1946-ban nulla-szintről indult és fejlesztés helyett elsőrendű feladat volt a már működésben levő berendezések folyamatos üzemeltetéséhez szükséges csőtípusok gyártása. Egyébként a 20 kW-os teljesítményig készítendő csövek elkészítésében nem lát nehézséget, de felhívja a figyelmet az ezzel kapcsolatban fellépő nyersanyagellátási nehézségekre.

STRIKER GYÖRGY, a műszaki tudományok kandidátusa

Az elektronikus műszergyártás szempontjából szól a csőkérdéshez. Felhívja a figyelmet a hazai csöveknek műszerekbe való beépíthetőségét akadályozó tényezőkre: elsősorban az állékonyság, az egyenletesség követelményeire. Döntő tényezőnek tartja, különösen csőcsere szempontjából a nem specifikált adatok (kontaktopotenciál, levágási feszültség, mikrofónia stb.) betartását. Ezt a kérdést az exportra kerülő készülékek csőcseréjénél különösen figyelembe kell venni. Nagy lépésnek tartaná a csövek szabványosítását, mind a televízió, mind az ipari elektronika szempontjából.

WINTER ERNŐ levelező tag

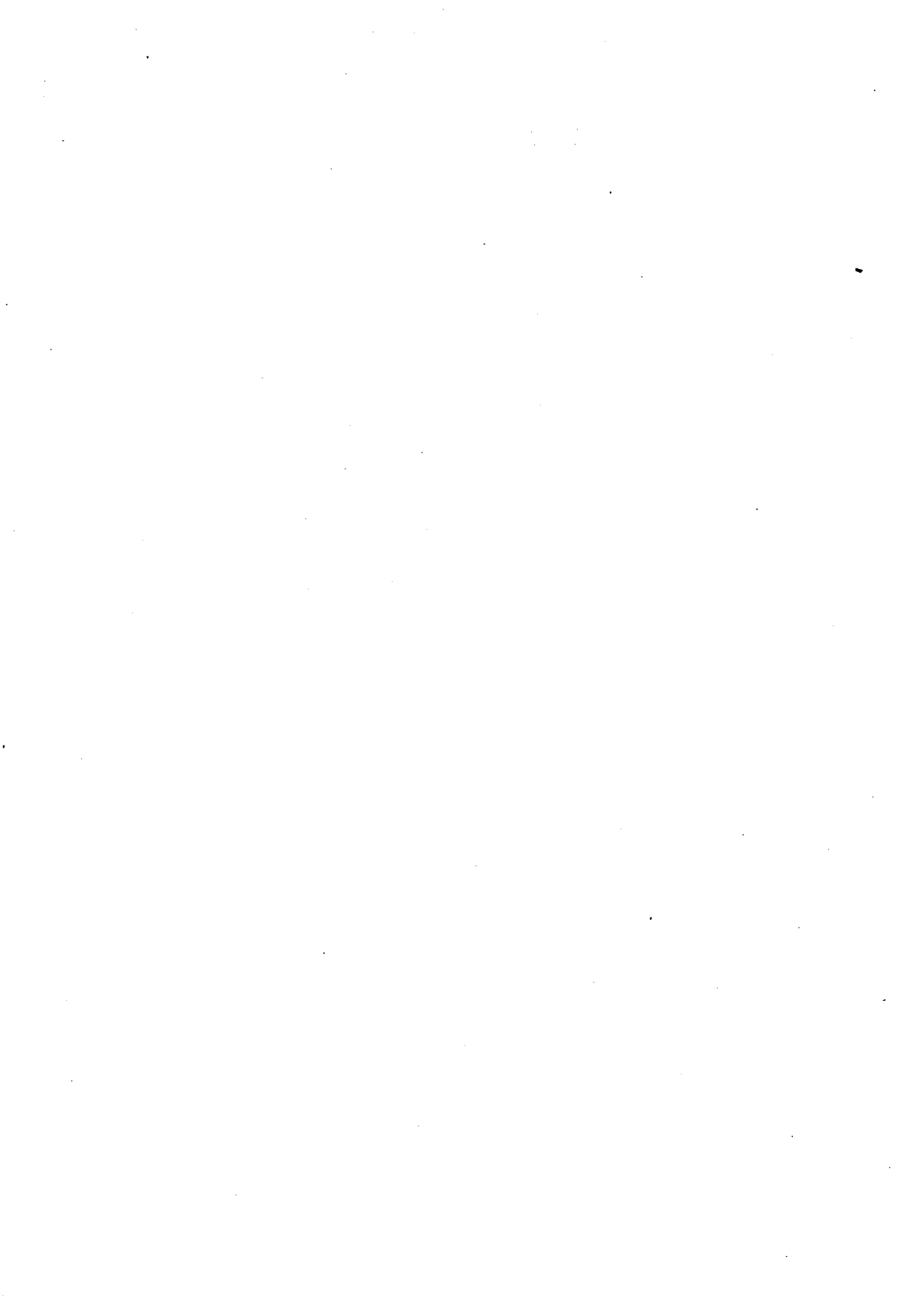
Az erők egy célra való koncentrállása mellett — véleménye szerint — mégsem szabad csak a normál csöveket fejleszteni, mert ez annyit jelent, hogy végképp rögződni fogunk azon a helyen, amelyen jelenleg állunk.

Az elkészítendő kutatási tervben a csőtechnológiára és a gyártó berendezések fejlesztésére is igen nagy súlyt kell helyezni.

BARTA ISTVÁN válasza

A konferencián elhangzott hozzászólások alapján nyilvánvaló, hogy igen nagy munkát kell végezni ahhoz, hogy a csövek minősége javuljon. Mindehhez természetesen fokozott támogatás, megfelelő beruházás és újabb gyártási berendezések szükségesek.

Feltétlenül kívánatosnak tartja, hogy a hazai második műsorsugárzásba a televíziós adóállomás hangadóját is vonják be. Az erre a célra felhasznált frekvenciamodulált kiváló minőségű adónak a vételére az intercarrier rendszerű vevőkészülékek nem volnának használhatók, ezért nem javasolja ezt a rendszert, annak számos másirányú előnye ellenére sem.



KÜLÖNLEGES ERŐSÍTŐCSÖVEK TELEVÍZIÓS KÉSZÜLÉKEKBEN*

ZAKARIÁS IMRE

A korszerű televíziós rendszerek többszázoros képfelbontással dolgoznak. A mi kísérleti adásunk is az Európában legáltalánosabban használt 625 soros képfelbontással dolgozik. Ez a sorszám 4–8 MHz sávzélességű erősítést követel meg a nagy-, közép- és képfrekvenciás fokozatokban egyaránt.

A nagyfrekvenciás erősítő 60 vagy 180 MHz körüli sávon dolgozik. A közép-frekvenciás erősítés Európában 25–35 MHz-en történik. A sávzélesség 20–30%-a a középfrekvenciának, ezért az alkalmazott köröket erősen csillapítani kell. A használatos elektroncsövek bemenő és kimenő kapacitásai néhány (2–10) pF értékűek, tehát aránylag kis ohmikus értékű munkaellenállásokat (1000–3000 ohm) kell alkalmazni. Ezért itt nagymeredekségű (6–7 mA/V) erősítőcsöveket használnak, hogy fokozatonként kb. 10–15-szörös erősítés elérhető legyen. Nagyobb meredekségű (8–10 mA/V) erősítőcsövek háttérbe szorultak, egyrészt az egyes példányok közötti nagyobb szórás, másrészt a kisebb üzembiztonság miatt; egyúttal a kisebb meredekség kisebb bemenő csillapítást is jelent (a cső bemenő admittanciája ugyanis $G_g = S\omega^2K$).

Nagyfrekvenciás erősítésre, legalábbis az első fokozatban, újabban nagymeredekségű triódát alkalmaznak, mivel ennek kicsi az ekvivalens zajellenállása; ez a készülék érzékenységének megemelését teszi lehetővé. Általában kettős triódát találunk ebben a fokozatban, úgynevezett cascode kapcsolásban, ami egyesíti a trióda kis bemenő zajellenállását a pentóda kis anód-vezérlőrács visszahatásával. Európában a miniatűr kivitelű EC 92 triódát és a novál típusú ECC 81 kettős triódát majdnem teljesen kiszorította a PCC 84 novál típusú kettős trióda, mint speciális igen nagy frekvenciás előerősítő. Amerikában a 6BK7 és 6BZ7 novál típusú kettős triódát használják.

Az oszcillátor és keverőfokozat részére nagymeredekségű kettős triódákat és trióda-pentódákat dolgoztak ki, de használják a nagyfrekvenciás triódákat, kettős triódákat és pentódákat is. Szinte kivétel nélkül a kisebb zajtényezőjű additív keverést alkalmazzák.

* A Híradástechnikai Konferencián 1954. május 8-án elhangzott előadás kivonatos szövege.

Európai készülékekben régebben az EC 92 triódát, vagy ECC 81 kettős triódát használták, újabban erősen tért hódít a PCC 85 kettős trióda — ezt speciálisan erre a célra alakították ki — valamint a PCF 82 trióda-pentóda. Amerikában ebben a fokozatban gyakori a 6J6 kettős trióda mellett a 6U8 és 6X8 trióda-pentóda is. Érdekes, hogy míg az európai csövek külön katód-kivezetéssel készülnek az oszcillátor, illetve keverőrész számára, és ezzel az oszcillátorfeszültség kisugárzását csökkentik az antenna felé, addig az amerikai csövek közös katódájúak.

A középfrekvenciás erősítő, valamint a képfrekvenciás előerősítő fokozatokban nagyfrekvenciás pentódát találunk. Régebben igen el volt terjedve a 6AC7 oktál típusú nagymeredekségű pentóda. Újabban az igen rövid elektródakivezetésekkel gyártott és ezért kis induktivitású miniatűr és novál típusú csövek kerültek előtérbe. Európában a leghasználatosabb cső erre a célra az EF 80 novál típusú nagymeredekségű pentóda, továbbá az EF 94 (= 6AU6) miniatűr pentóda. Amerikában a középfrekvencia magasabb: 45–50 MHz, a leggyakrabban használt cső a 6CB6.

A középfrekvencia demodulálására szolgáló diódák a széles sáv miatt szintén kis munkaellenállásra dolgoznak, ezért ezeknek kis belsőellenállásúaknak (1000 ohm) kell lenniök, továbbá nagyobb anódáramterhelést (5–20 mA) kell bírniök. Leghasználatosabb demodulátorcső a miniatűr EB 91, ami teljesen megfelel a 6AL5-nek.

A képfrekvenciás előerősítő fokozatban nagyfrekvenciás pentódákat találunk (EF 80, EF 94). A képfrekvenciás végerősítő fokozatban ezzel szemben igen nagy meredekségű (11 mA V), nagy teljesítményű (9 W) pentódára van szükség, hogy a 100 V körüli kimenő feszültséget elérjük. Igen használatos csövek erre a célra az oktál típusú 6AG7 és novál típusú PL 83; amerikai készülékekben újabban a 12BY7 novál típusú teljesítménypentóda.

A képfelbontás — helyesebben a képfelépítés — a jelenleg használatos képcsövekben szinte kivétel nélkül mágneses eltérítéssel történik. A mágneses eltérítés nagysága az eltérítőtekeresre adott ampermenetekkel, azaz az árammal arányos. Ezért ezekben a fokozatokban kis erősítésű tényezőjű (15–25), de nagy áramokat (10–40 mA) szolgáltatató kettős triódákat, mint az oktál típusú 6SN7-et, a novál típusú ECC 82-t (= 12AU7), és trióda-pentódákat, mint az ECL 80-at, találunk.

Az igen jó minőségű képet eredményező 625 soros képfelbontást csak akkor lehet tényleg kihasználni, ha a szinkronizálás biztonsága igen nagy és az eltérítő áramok időbeli lefolyása állandóan azonos. A sorfrekvenciás eltérítésnél ez a követelmény számszerűen $1/10\mu\text{s}$ -nál kisebb relatív idő-toleranciákat jelent, a felhasznált erősítőcsöveknél ennek megfelelően mikrofóniamentességet, valamint a kontaktpotenciál nagyfokú állandóságát kell elérnünk.

A sorfrekvenciás (15 625 c/s) végerősítő fokozatokban a visszafutáskor az anódon igen nagy feszültség (2–4 kV) lép fel, mivel az eltérítő tekeresben

az áramnak rövid idő (6—10 μ s) alatt kell átváltani. Az erre a célra szerkesztett végerősítő pentódák, mint az oktál típusú 6BQ6 és a novál típusú PL81 anódlemezét a nagy feszültségre való tekintettel külön kerámiai szigeteléssel és felső kivezetéssel látták el.

A sorvisszafutáskor fellépő nagy feszültséglökést egy külön diódával csillapítják, ilyen pl. a PY 81

A sorvisszafutáskor fellépő feszültséglökést felhasználják a képcső részére szükséges anódfeszültség (7—12 kV) előállítására is. Erre a célra különleges egyenirányító csöveket szerkesztettek, melyek nagy anódfeszültséget kis áramerősségnél (0,5 mA) szolgáltatnak. Mivel a fűtőtéljesítményt is a feszültséglökéshől veszik, ezért ezen csövek fűtőáramát korlátozni kell. Használatos csövek az oktál típusú IB3, a novál típusú DY80, melyek közvetlen fűtésűek, valamint a közvetett fűtésű szubminiatűr típusú EY 51, mely csövet foglalat nélkül közvetlenül beforrasztják a helyére.

A hangrészben a frekvenciamoduláció demodulációjára leginkább az aránydetektor kapcsolást alkalmazzák. Ez a kapcsolat amplitudókorlátozást is ad bizonyos mértékig, azonkívül önműködő erősítésszabályozáshoz megfelelő feszültséget szolgáltat. Ehhez a kapcsoláshoz két külön katódával bíró dióda szükséges, melyeknél a további követelmény a katód jó szigetelése és kis kapacitása a fűtőszálhoz képest. Leginkább a miniatűr kivitelű EB 91-et (= 6AL5) találjuk ebben a fokozatban, elég gyakori az EABO 80 két diódája is. Az erre a célra készült novál típusú EO 80 fázisdetektáló cső nem vált be, mivel amplitudókorlátozásra legalább 8 V bemenő feszültséget igényel és a bilaterális induktív csatolás a két vezérlő rács között a behangolást is megnehezíti. Ezzel szemben amerikai készülékekben az elektronoptikai kiképzésű miniatűr típusú 6BN6 nemcsak tartja magát, hanem újabb időben tért hódít. Ez a »kapuzott sugarú elektroncső« (gated beam tube) a különleges elektronoptikai felépítése folytán már 1 V bemenő feszültségnél hatékony amplitudókorlátozást ad, másrészt a két vezérlő rácsa között felhasznált unilaterális tértöltéscsatolás folytán igen könnyen beállítható, sokkal könnyebben, mint az aránydetektor vagy a fázisdetektor.

Általánosságban vizsgálva a csőtípusokat, azt találjuk, hogy a szovjet- és tervállamok készülékeiben igen gyakoriak az oktál típusú erősítőcsövek, ritkábban használatosak a miniatűr vagy novál típusúak. A többi európai készülékek a novál típusú csöveket akarják egységesen alkalmazni, néhány miniatűr típus mellett. Amerikai készülékekben viszont a miniatűr típusú csövek dominálnak, emellett azonban mind oktál, mind novál típusúak is gyakoriak.

El nem döntött kérdés a televíziós készülékekben alkalmazott erősítőcsövek fűtése. Míg a szovjet- és tervállamok, valamint az amerikai készülékekben kizárólag parallel fűtéssel találkozunk, addig az egyéb európai készülékekben kevés kivétellel a kb. 200 W-os hálózati transzformátor megtakarítását lehetővé tevő soros fűtés az általános.

Szélessávú erősítés szempontjából megközelítőleg egyenértékűek a 6AC7 típusú, 6AK5, 6CB6, 6AH6 miniatűr típusú, EF 42 rimlock és EF 80 novál kivitelű csövek, amennyiben a szórt (huzalozási) kapacitást 6 pF körüli értékűnek tekintjük. Ebben az esetben a viszonylagos (1 pF kapcsolási kapacitásra vonatkoztatott) meredekség a felsorolt csöveknél 0,4–0,5 mA/V pF között ingadozik csupán. Nagyfrekvenciás erősítés szempontjából azonban igen nagy különbséget találunk. Egyrészt a 6AC7 aránylag hosszú és így nagy induktivitású kivezetésekkel bír, másrészt a 6AK5 és EF 80 két külön katódkivezetéssel van ellátva. A rezgőkörök szétválasztását tekintve a legjobb típus az EF 80, mivel ennek az anód–rácskapacitása is kis értékű ($C_{az} < 0,007$ pF). Üzembiztonság szempontjából a legkényesebb a 6AK5, mivel ennél a legkisebb a katód-rács távolság; ezután következik az EF 42, míg az EF 80 ezen a téren erősen megközelíti a 6AH6-ot és a 6AC7-et, melyeknél a legnagyobb a katód-rács távolság. Természetesen mennél nagyobb a katód–rács távolság, annál kisebb az egyes csövek közötti szórás is.

Az ismertetett különleges csőkonstrukciók közül többet az Egyesült Izzó Kutató Laboratóriumában kezdeményeztek, illetve dolgoztak ki. Így a többszörös katódkivezetés, az elektronoptikai vezérlésű cső és a tértöltés-csatolás felhasználásának kidolgozása is innen indult ki.

HOZZÁSZÓLÁS

SZÉKELY MIHÁLY

A televíziós kapcsolástechnika figyelembe vette fejlődése folyamán a csőgyártástechnológiai lehetőségeket és többnyire egyszerűen gyártható csöveket alkalmaz. A csövekkel szemben feltétlenül támasztandó követelményeket meg kell állapítani, erre egy csőalkalmazási kérdésekkel foglalkozó laboratórium hivatott.

A televíziós készülékek megbízható, hosszú élettartamú csöveket igényelnek. Az európai televíziós vevők főként a novál csöveket alkalmazzák, fejlesztésük nálunk is folyik. Előnyös lenne a novál csöveket széles körben alkalmazva, a jelenleg túl nagy típusválasztékot csökkenteni. Így a nagy szériák következtében javulna a csőminőség.

TELEVÍZIÓS KÉPKÖZLŐ- ÉS KÉPFELBONTÓ CSÖVEK KÉRDÉSEI*

MAGÓ KÁLMÁN

Az irodalomból és kísérleti tapasztalatokból tudjuk, hogy a képközlő-csővek gyártása lényegesen nehezebb feladat, mint az erősítő csöveké. Az első nehézség a nagy méretekből adódik. Nagyméretű gyártógépekre, kályhákra, szivattyúberendezésekre és alkatrész, valamint készáru tárolóhelyekre van szükség. A csövek nagy űrtartalma miatt nagyobb szívósebességű, az elérendő-erős légtelenítés miatt pedig az eddig szokásosnál jobb minőségű szivattyúkra van szükség. A nagyméretű vákuumtér miatt a csőre tonna nagyságrendű nyomás hat, mely veszélyessé teszi a csövek kezelését. Fokozott figyelmet fordítanak a beforrasztásoknál keletkezett üvegfeszültségek hőkezeléssel való megszüntetésére. Üvegből készült képcsövek korszerű gyártásának különböző folyamatainál a cső többször áthalad teremhosszúságú többszáz C fok hőmérsékletű kementéken. A csövek üzemeltetéséhez és vizsgálatához nagyfeszültség és ezzel járó védelmi berendezések szükségesek. A képközlőcsövek gyártása a nagy külső méretek mellett olyan méretpontosságot igényel, és olyan kis tűréseket enged meg, ami csak a finommechanikában és optikában szokásos. A gyártáshoz kémiai üzem szükséges, részben az üvegballonok és alkatrészek tisztításához, másrészt a csőben felhasználandó anyagok gyártásához. A katód és getteranyagokon kívül idetartoznak az elektródákat tartó kerámia részek, a kolloidális grafit bevonó-anyag és a világító felület anyagát képező úgynevezett fénypor készítése is. A fénypor gyártása rendkívüli kémiai tisztaságot igényel. A világító réteg határfokát, a fény színét és utóvilágítását már milliomodrésnyi szennyeződések is befolyásolhatják.

A korszerű sorozatgyártást a legteljesebb mértékben gépesíteni kell és az önműködő szállítóberendezések tömegére van szükség az alkatrész ellátástól a mosáson és gyártási folyamatokon keresztül a raktárba való szállításig.

A vevőkészülékekben felhasznált képcsövek mérete, kivitele és rendszere különböző lehet. A képközlőcsövek alakja minden kivitelben tölcésrszerű, de a világító felület, ill. képmező kiképzése lehet kör, vagy téglalap alakú. A képköz-

* A Híradástechnikai Konferencián 1954. május 8-án elhangzott előadás kivonatos szövege.

vetítés elterjedésével a kis átmérőjű, kör alakú világító felülettel bíró csövek voltak használatban. A fejlődés során természetesen egyre nagyobb átmérőjű csövek kerültek forgalomba. A képcsövek világító felületének átmérője, ill. négyszögletes csöveknél az átló hossza, leggyakrabban 23, 31, 41, 43 és 48 cm szokott lenni. Régebben használtak kisebb, pl. 13 és 18 cm átmérőjű csöveket is, ma pedig egyes csőtípusok elérik a 76 cm átmérőt, illetve átlóméretet. A méretek növekedése természetesen élvezhetőbbé teszi a közvetített képet, de az előállítási költségek a méretek növekedésével erősen emelkednek. A növekvő képmezők kivilágítása az aktív katódfelület nagyobb igénybevételét jelenti és mert 500 μA -nél nagyobb sugáráram — a fénypont átmérőjének növekedése, illetve a felbontóképesség csökkenése miatt — nem engedhető meg, nagyobb anódfeszültséget igényel.

A súly és nyersanyagmennyiség, valamint a helyfoglalás csökkentésére vezették be a négyszögletes kivitelű, fekvő téglalap alakú képmezővel bíró csöveket. A közvetített kép a szabványoknak megfelelően 4 : 3 oldalarányú fekvő téglalap alakú, tehát a kerek kivitelű csövek világító felületének egy része nincs kihasználva és azt egy a készüléken levő maszk eltakarja. A közepes méretű 41 cm átmérőjű csövet feltételezve a ki nem használt terület 495 cm^2 , ami a hasznos képterület 60%-a. A gyakorlatban a közvetített kép sarkainak feláldozásával növelik a hasznos területet. További súlycsökkentést eredményezett a fém—üveg összeforrasztással készült csövek bevezetése, ahol a cső kúp alakú részét krómvas ötvözetből készítették.

A fémkúp lehetővé tette, hogy a préselt üveg helyett síküvegből úgynevezett rogyasztó eljárással jobb optikai tulajdonságú — vékonyabb és teljes felületén egyenletes vastagságú üvegből — készítsenek képtányérokat. Ez az eljárás kedvezőbb lenne, mint a sajtolás, de valamelyik üveggyárnak be kellene rendezkedni arra, hogy a szokásos tüköruveg helyett a szükséges összetételű üveget gyártsa. Ebben az esetben az üveg azonos összetételének biztosítására ugyanazon gyár végezné a ballonok gyártását is.

Fém—üveg csövek készítéséhez olyan fém- és üvegfajtákat kell használni, melyek vákuumot biztosító módon forraszthatók össze egymással és a forrasztási hely az előforduló hőmérsékleti ingadozásoknak ellenáll. Krómvasat azért alkalmaztak, mert kis hőtágulású és az ólomüveggel jó kötést ad, másrészt pedig a krómvas nem rozsdásodó nemes anyag. A kezdetben használt krómvas kb. 30% krómot tartalmazott, amit a krómmal való takarékoskodás és a költségek további csökkentése miatt később 17%-ra mérsékeltek. Ez azzal a hátránnyal jár, hogy a forrasztási hőmérsékletnél austenit képződhet, mely a tágulási együtthatót bizonytalanná teszi. A kemény üvegfajtákhoz Fernico, vagy Kovar anyagokat is alkalmaztak. Mindhárom anyag aránylag drága és nehezen munkálható meg, azonkívül homogén összetételű krómvasat nehéz előállítani.

Ezért megkísérelték az olcsó és könnyebben megmunkálható vas-, illetve acéllemezből fémkúpot készíteni. Az üveg—fém összeforrasztás megkönnyítésére

és a korrozio elkerülésére a vasra krómvas szegélyt hegesztettek, más eljárásnál krómbevonatot alkalmaztak, amit 1000 C° hőmérsékleten hidrogén atmoszférában visznek fel.

Forrásaink szerint tömeggyártásban a fém—üvegcsovek még krómvaskúp-pal is olcsóbbak, mint a teljesen üvegből készültek, annak ellenére, hogy az üveg mint nyersanyag olcsó. Ezzel szemben a világpiacon jelenleg alkalmazott képcsovek nagyobb része, 2 : 1 arányban üvegből készült. A készüléképítő gyárak nem szívesen alkalmazzák a földhöz képest kb. 15 kV feszültségen levő fémkúpos csöveket. Meg kell említeni, hogy saját megfigyeléseink és méréseink szerint is az üveg fajlagos ellenállása, ill. vezetőképessége rendkívül fontos szerepet játszik a csövek használhatóságában.

Az üveg fajlagos ellenállását általában azzal a hőmérséklettel fejezik ki, melyre az üveget felmelegítve fajlagos ellenállása 10^9 ohm-cm. Szobahőmérsékletnél az ellenállás 10^{15} ohm-cm nagyságrendű. Üvegcsoveknél az üvegfal feltöltődésének megakadályozására és a belső reflexió csökkentésére a ballon belső oldalát kolloidális grafitréteggel — aquadaggal, vagy hidrókollaggal — szokták bevonni. Egyes csőtípusok a ballon külső oldalán is el vannak látva ugyanilyen bevonattal, amit földpotenciálra kapcsolnak.

A világító réteget tartó üvegtányér görbületi sugara legnagyobb %-ban 70 és 100 cm között van. Régebbi típusoknál előfordul 50, újabbaknál pedig 150 cm görbületi sugár is. Az új csőtípusok aránylag rövidek és széles világító felülettel bírnak. Az elektronsugár eltérítési szöge általában 40° és 90° között van, de legnagyobb számban 70° -os eltérítés használatos. Televíziós célra úgyszólván kizárólag mágneses eltérítésű csöveket használnak, mert az alkalmazott aránylag nagy anódfeszültségeknél a mágnes térrel való terelés előnyösebb, mivel az eltérítés nagysága az anódfeszültségnek csak a négyzetgyökével függ össze. A mágneses terelőtérrel való áthaladás nem változtatja meg az elektronok sebességét, ami nagyobb eltérítési szögnél is biztosítja a nyalábolás egyenletességét.

A mágneses tereléssel együttjár a világítófelületen keletkező úgynevezett ionfolt. Ez mágneses nyalábolású csöveknél rendszerint 40—60 mm, sztatikus nyalábolású csöveknél kisebb átmérőjű kerek sötét folt. Mágnes térrel történő eltérítésnél a mozgó részecske tömegének növekedésével csökken az eltérítés mértéke, ezért ebben az esetben a terelés ionokra nézve gyakorlatilag hatástalan lesz. A légtelenítés után megmaradó, ill. felszabaduló vagy keletkező gázmolekuláknak az elektronsugárral való ütközése következtében létrejött negatív ionjai ezért csak az elektrónágyú környléása által megszabott területen, illetve a pozitív ionok a réteg kisebb potenciálon levő területén bombázzák a világítóréteget. Nincs feltétlen összefüggés az ionáram és elektrónáram hányadosával meghatározott úgynevezett gázviszony és az ionfolt keletkezése között. Gázosabb csöveknél nagyobb a valószínűség az ionfolt gyorsabb — esetleg 1 órán belüli — keletkezésére, de előfordult már, hogy kevésbé gázos csövön előbb keletkezett

ionfolt, mint a gázosabbon. Szabályosan viselkedő csőben az ionfolt, néhány száz üzemóra után kezd láthatóvá lenni. Tény, hogy az előirt mértékre való szivattyúzás nem jelent feltétlen védelmet.

A visszamaradó, vagy úgynevezett húzás következtében a vákuumtérbe jutó gázmolekulák ionizálódásából származó pozitív ionok bombázzák a katódot és a vezérlő elektródát.

Egyes csövek üzemeltetése során többször fényképezett katódképek azt bizonyítják, hogy gázos csövek katódjain az ionbombázás hatására növekvő kráter keletkezik. Több felbontott cső vizsgálatánál megállapítottuk, hogy az ionbombázás nemcsak a katódréteget, hanem a réteget tartó nikkel hengert is keresztülyukasztotta.

Több kutató feltételezte és részben bizonyította, hogy a katód működése során oxigén molekulákat, ill. ionokat is emittál. Lehetséges, hogy a túl gyorsan keletkező ionfolt a katódok nem megfelelő módon végzett aktiválásából, ill. korosításából származik. Az ionfolt elleni védekezés első szempontja az alkatrészek és a vákuumtér tisztasága, valamint a megfelelő és időálló légtelenítés. Elvileg lehetséges lenne olyan katódok előállítása, melyek nem emittálnak ionokat és ionbombázásra is kevésbé érzékenyek.

A gyakorlatban az ionfolt kiküszöbölésére három módszert alkalmaznak. Az egyik a különböző ionsapdák alkalmazása, másik a világítóréteg fémezése, harmadik pedig az első kettő együttes felhasználása.

Az ionsapdák az ionfolt megszüntetésén, illetve a katód védelmén kívül más előnyt nem nyújtanak, ellenben nehézséget jelent a mágnesterek megfelelő beállítása, a készülék üzembehelyezése, vagy csőcsere alkalmából.

A világítóréteg fémezése az ionfolt megszüntetésén kívül sok egyéb előnyt is jelent és tulajdonképpen akkor is előnyös lenne, ha az ionfolt keletkezése ellen nem kellene védekeznünk. Ellenben a fémezési eljárás drágítja a csőgyártást és technológiai szempontból egyelőre nehézséget okoz.

Az ionsapdákat kivétel szempontjából két főcsoportra lehet osztani. Az egyik a mechanikailag görbült elektronagyúk, a másik a ferde villamosterek csoportja. Mindegyik rendszer azon alapszik, hogy a villamostér a tömegtől függetlenül egyformán hat az azonos töltésű részecskékre, míg a mágnes tér által gyakorolt eltérítés fordítva arányos a tömeg négyzetgyökével. Ezért a mágnes térnek az ionokra gyakorolt hatása lényegében elhanyagolható, mert a legkönnyebb ion is kereken 1800-szor nagyobb tömegű, mint az elektron, tehát kb. 42-szer kevésbé térül el, mint az elektron.

Kísérleti formában — a cső hosszmeretének csökkentése céljából — az egyik gyár visszatért a csőnyak régebben alkalmazott meghajlításához, ahol a hajlítási könyök egyúttal ionsapda is, de ilyen cső kereskedelmi forgalomban még nincsen.

A gyakorlatban eddig legjobban az elektronagyú két részének egymáshoz képest görbült szerelése terjedt el.

Ezt a módszert használták nagy világcégek is, de újabban, valószínűleg a könnyebb technológia miatt ferde villamostereket is alkalmaznak geometriailag egyenes elektronágyúval. A ferde villamostereket kétféle módszerrel alakítják ki. Az egyik esetben valamelyik pupilla nyílását a másikhoz képest excentrikusan helyezik el, a másik esetben pedig nem a tengelyre merőleges, hanem ferde rést alkalmaznak két elektróda között.

Az utóbbi megoldás látszik a jelenleg elterjedettebbnek. Ezeknél régebben két mágnestér — egy erősebb és egy gyengébb — volt szükséges a sugár megfelelő visszahajlításához. Újabban csak egy mágnestert használnak, a geometriailag egyenes elektronágyúnak a cső tengelyétől eltérő szerelésével, illetve a mechanikailag görbe és a ferdén metszett elektronágyúk kombinációjával. A szükséges mágnesterek előállítására permanens, vagy gerjesztett mágneseket használnak. Amennyiben az elektródák tápfeszültsége a csőtípustól függő értékkel megváltozik, az ionsapda mágnestert újra be kell állítani. Nagy belsőellenállású áramforrások esetén ez a jelenség zavarokat okozhat.

Az ionsapda helyes beállításához a mágnesek helyét és térerősségét úgy kell beállítani, hogy a csapdából kilépő elektronsugár ne térjen el a cső tengelyétől és eltérítetlen állapotban a képző geometriai közepére kerüljön. Ennek több fontos oka van. Az egyik az, hogy az elektronágyú anódhengerében rendszerint egy, vagy több — a széttartó elektronokat korlátozó — pupilla van elhelyezve. A tengelytől eltérő sugár az elektródába ütközik. Ez csökkenti a fényerőt és azonkívül az erős bombázás helyi felmelegedés következtében ionokat hozhat létre, melyek hozzájárulnak az ionfolt kialakulásához a világítórétegen. Azonkívül különösen nagyobb áramoknál a tengelytől eltérő iránnyal a fókuszáló és tér-előtérbe került elektronok a világítópont, illetve a nyomvonal ábra eltorzulását okozhatják.

A beállítás megkönnyítésére olyan megoldás is van, hogy a pupilla tárcsáját belülről fluoreszkáló anyaggal vonják be, mely a tárcsába ütköző elektronok hatására világít. A keletkezett fény két elektróda között a reflexió következtében megfigyelhető.

A világítófelület fémezése az ionsapdákkal ellentétben használat közben nem jelent nehézségeket, sőt az ionfolt elleni védelmen kívül egyéb előnyöket is nyújt. A fémbevonatot úgy kell elhelyezni, hogy sima, egyenletes felülettel közvetlenül a világítórétegen feküdjék. Az elektronsugár csak a fémbevonaton keresztül érheti el a világítóréteget.

A fémbevonat vastagságát úgy kell megválasztani, hogy a nagy sebességű és kis tömegű elektronok lényegtelen sebességvesztéssel keresztülhaladjanak a fémen és elérjék a világítóréteget, viszont a nagy tömegű lassú ionok ne tudjanak azon áthatolni. Ezáltal az ionfoltképződést elkerülhetjük.

A fémezés technológiájával a legutóbbi időnkig úgy látszik baj volt. Ugyanis bármilyen előnyös is a fémezés, 31 cm-nél nagyobb átmérőjű csöveknél nem ezt, hanem ionsapdákat alkalmaztak.

Ezt a kérdést úgy látszik már megoldották, mert a legutóbbi időben piacra került egy 43 cm átmérőjű fémezett, világítórétanggal bíró, ioncsapda nélküli cső. Más gyárak újabb típusai pedig nagy átmérőjű csöveknél is fémezve vannak, de — valószínűleg a katód védelme céljából — ioncsapdákat is alkalmaznak.

A világítóréteg fémezése esetén az alkalmazott nagy anódfeszültség hatásos marad akkor is, ha a szekunder-emissziós tényező egynél kisebbé válik, mert a vezető felület megátolja a feltöltődést.

A világítórétegben gerjesztett fény a fémbevonaton nem tud áthatolni, tehát a fény csak a képtányéron keresztül, a szemlélő felé haladhat. Ez a tükröhatás a hasznos fénysűrűség megkétszereződését jelenti és ugyanakkor növeli a kontraszthatást is, mert az egyébként hátrasugárzott fény a ballon belső faláról visszaverődve a közvetített kép sötétebb részeit is megvilágítaná és a fényárnyék ellentéteket, a kép kontrasztját rontaná.

A hátrafelé sugárzott fény megszűnése lehetővé teszi, hogy a ballon falának feltöltődését akadályozó vezetőréteg ne grafit, hanem ugyancsak fémbevonat legyen. Ez két előnyt jelentene. A grafitbevonat gázt tud leadni, tehát ronthatja a vákuumot, másodsor pedig a grafit felkenésével, szárításával, kihevítésével járó műveletek a gyártásból kieshetnek.

A fémezett világítórétanggal bíró cső csak egy — a fémréteg vastagságától függő — minimális anódfeszültség felett használható, mert kisebb sebességű elektronok nem tudnak áthatolni a fémbevonaton. 4000 V felett azonban általában már túlhaladja a bevonat nélküli cső fényerejét és a szokásos üzemi feszültségeken már eléri a közel kétszeres fényerőt. A fémezett világítórétagnak — a technológiai nehézségektől eltekintve — tehát határozott előnyei vannak.

A forgalomban levő képcsövek sík-, gömb- vagy hengerfelületű képtányérai ma már csaknem kivétel nélkül szürke szűrőüvegből készülnek. A szürke üveg a világítórétagnál származó fény 30–40%-át elnyeli, tehát a fényerőt erőteljesen csökkenti. A csövek elegendő fényerő tartalékkal rendelkeznek ahhoz, hogy ez a kontraszt és felbontóképesség növelése szempontjából megengedhető legyen. Azok a fénysugarak, melyek a világítóréteg gerjesztett pontjából olyan szög alatt lépnek ki, hogy az üveg totálreflexiója következtében a réteghez visszaverődnek, a világítópont körül — a szélek felé csökkenő fényerejű gyűrűt — fényudvart okozhatnak az átlátszó üvegből készült képmegzőn. A totálreflexió következtében visszaverődő fénysugár legalább háromszor kénytelen keresztül haladni a szűrőüvegen és a világítóréteg is fényt nyel el, úgyhogy fényudvar nem keletkezhet. A környezeti szórt fény zavaró hatását ugyancsak csökkenti a szűrőüveg. A külső fényforrásoktól származó közvetlen reflexió, az úgynevezett tükrözések, csökkentésére a csövek nagy részénél a képtányér külső felületét savgőzökkel maratják, elhomályosítják. Ugyanígy cél elérésére készítik az úgynevezett hengerfelületű képtányérokat. A nagy átmérőjű függőleges henger egy

felületdarabjának megfelelő képtányért kissé lefelé billentve helyezik el a készülékben. A külső fényforrásokból származó reflexiók a szemben ülő szemlélő számára így kevésbé zavaróak.

Meg kell jegyezni, hogy legújabban — valószínűleg nyalábolási követelmények miatt — a képtányérnak, mint egy meghajlított domborlécnek, kétszeresen hengeres felülete van. A képcsövek gyártása, mint már megállapítottuk, nagymértékben megnehezül és drágul a méretek növekedésével. Ezért a nagyméretű csövek technológiájának kialakulása előtt megkísérelték a képet kisméretű csövön előállítani és azt megfelelő optikai rendszer segítségével nagyobb méretre kivetíteni.

A kisméretű vetítőcsövet gyártani kétségkívül kényelmesebb és olcsóbb. Ennek ellenére a használatban levő készülékek csaknem teljesen közvetlen szemléletre készültek és a vetítős megoldások száma nagyon kevés. Ennek több oka van. Először is a közvetlen szemléllhető csövek fényereje, felbontóképessége és kontrasztja jobb, mint a vetítőcsöveké. A legfontosabb valószínűleg a vetítőcső élettartamának kérdése. A közvetlen szemléllhető csövek élettartama kb. 1000 üzemóra, a vetítőcsövek használhatóságáról azonban megbízható irodalmi adat nincsen. Valószínűen feltehető, hogy élettartamuk rövidebb, mint a közvetlenül szemléllhető csöveké. A világítóréteg jobb kihasználására és a nagy fényerő mellett is kisméretű fénypont elérésére nagy anódfeszültséget, — minimálisan 25 kV-ot használnak. A nagy gyorsítófeszültség következtében a sugár ütközésekor röntgensugárzás is keletkezik. Ez ellen természetesen védekezni kell. A röntgensugárzás következtében a képmező üvege hajlamos az elszíneződésre. Ennek elkerülésére különleges üveget fejlesztettek ki.

A vetítőcsöveket nagyjából négy csoportra lehet osztani. Az első csoportba az egészen kisméretű, kb. 6,5 cm átmérőjű és 27 cm hosszú csövek tartoznak. Ezek trióda elektronagyúval, fémezett világítóréteggel vannak ellátva és 25 kV-os anódfeszültséggel dolgoznak. A fényerőben már kielégítő vetített kép nagysága kb. 51 cm átmérőjű, ill. átlóméretű képcsövön előállítható közvetlen képnek felel meg. Ezt a csőtípust főleg olyan készülékekben alkalmazzák, melyek mint adapterek használatosak meglévő kisképméretű vevőkészülékekhez. A második csoportba tartozó csövek, valószínűleg a jobb felbontóképesség és nagyobb élettartam elérésére kb. 13 cm átmérővel készülnek és ugyancsak 25 kV anódfeszültséggel, de villamostér nyalábolással dolgoznak. Az elérhető képnagyság nem nagyobb, mint az első csoportban említettéké. A csövek ára kb. 20%-kal drágább, mint a vetített méretnek megfelelő, közvetlenül szemléllhető képcső ára.

A harmadik csoportba 18 cm átmérőjű csövek tartoznak, melyek 75 kV anódfeszültséggel dolgoznak. A cső hűtőbordákkal van ellátva és áramló levegővel kell hűteni. Ugyanis a világítóréteg hatásfoka csökken a hőmérséklet emelkedésével. Ezek már valóban vetítőcsövek, mert 3×4 méteres képméretet is tudnak vetíteni, ami már meghaladja a lakásokban való felhasználás igényeit.

A fellépő röntgensugárzás már komoly védelmet igényel. Használat közben a cső gyorsan feketedik, de ezt valamilyen eljárással javítani lehet. Lehetséges, hogy a kisebb képméret igényénél, tehát kisebb igénybevételnél a cső kielégítő élettartammal működik. A cső kb. 12-szer annyiba kerül, mint egy 53 cm átmérőjű közvetlenül szemlélhető képcső.

A negyedik csoportba kifejezetten a nyilvánosság számára vetítő különleges csövek tartoznak. Ezek 75 kV feletti feszültséggel és rendszerint cserélhető világítórétéggel működnek. A világítórétég cseréje miatt szivattyúval is el van látva, esetleg üzemben állandó szivattyúzás alatt állnak. Egy leírás szerint a vízhűtéses cserélhető világítórétég 400 C°-ra melegszik fel és élettartama kb. 20 üzemóra.

A vetítőcsövekhez alkalmazható, a szokásosnak megfelelő vetítőlencsék nem elég fényerősek és nagyon drágák lennének, mert a nagy nyílás és fényerő ellenére túrhetően korrigált optikákra van szükség.

Ezért a sokkal fényerősebb, úgynevezett Schmiedt-optikát használják, mely síktükörből, homorú-tükörből és korrigáló lencséből áll. A Schmiedt-optika hibája a szokásos optikával szemben, hogy a nagyítás mértéke — esetleg a környezeti fénynek megfelelően — nem változtatható. Hátránya még, hogy nagyon kényes az optikai elemek pontos beállítására, felbontóképessége csak különleges követelmények kielégítésével elegendő a 625 sorhoz, valamint szórt fények következtében a vetített kép kevésbé kontrasztos, mint a cső ernyőjén.

A készülékméretetek még az első csoportban említett 6,5 cm átmérőjű csövek alkalmazásával sem csökkennek a közvetlenül szemlélhető csöveket használó készülékek méreteihez viszonyítva. Egy kivitelezett ilyen készülék besüllyesztett vetítőfelülettel — melyet használatban ki kell emelni — 1 méter magas. A vetítési távolság kb. 75 cm-t igényel.

Mindent összevetve, nem állapíthatók meg a vetítőrendszer gazdasági vagy bármilyen előnyei, kivéve, ha valamilyen oknál fogva olyan képméretre van szükség, ami közvetlenül — bármilyen oknál fogva — nem érhető el.

A mágneses nyalábolótérhez, akár állandó, akár elektromágnessel állítjuk azt elő, tekintélyes mennyiség szükséges nehezen kapható és drága anyagokból. Ezért ismét előtérbe kerültek a villamostér nyalábolású csövek. A jelenlegi készülékekben felhasznált csövek statisztikája szerint 51% mágneses, 45% kifestült-ségű, 4% pedig önműködő villamostér nyalábolású. Felbontóképességük gyakorlatilag kielégítőnek látszik. A képcsövek világítórétégében csaknem kizárólag fehéren világító fényporokat használnak.

Kielégítő hatásfokkal közvetlenül fehéren világító fénypor még nem ismeretes. A fehér fényt adó fényport két fénypor keverékéből állítják elő. A komponensek egyike a legtöbbször kéken, a másik pedig zölden világít. A komponensek megfelelő keverésével elérhető, hogy a szem a keletkezett fényforrást fehérnek látja. Előnyben részesítik a kissé kékes árnyalatot, melynél a kontrasztok állítólag élesebbek.

A kék komponensül az eddigi tapasztalatok alapján csaknem kizárólag az ezüsttel aktivált cinkszulfid-ot használják. A zöld komponens pedig ezüsttel aktivált cink-kadmium-szulfid.

Régebben szilikátokat is használtak, azonban a cinkszulfidoknak annyival jobb a hatásfokuk, hogy újabban csakis ezeket alkalmazzák.

Az előbbi fényporok ma már kizárólag vetítőcsöveknél használatosak, ahol a fényporok kémiai ellenállóképessége miatt célszerű az alacsonyabb hatásfokú, de jóval ellenállóképesebb szilikátokat alkalmazni.

A szelenidek azért nem terjedtek el nagyüzemi mértékben, mert előállításuk aránylag költséges és maga a fémesszelen eléggé mérgező. A helyes technológia és a megfelelő módon való alkalmazás ma még csak kísérleti stádiumban van.

A fejlődés iránya azonban az, hogy a szilikátokat a sokkal nagyobb fényhatásfokú szulfoszelenidekkel helyettesítsék. Ismeretes, hogy a világítórétegbe ütköző elektronsugár áramköre a rétegből kilépő szekunderelektronok segítségével zárul. Néhányszáz volt üzemfeszültség felett a kilépő szekunderelektronok száma eléri, majd meghaladja az ütköző primer elektronok számát. Általában 6–8 kV-on felül azonban a kilépő és ütköző elektronok viszonyzáma ismét 1-nél kisebb lesz.

Ez a feszültségérték nemcsak a fényporok egyedi sajátosságaitól, hanem a felvitel módjától, az alkalmazott kötőanyagtól, a réteg vastagságától, az aljzat minőségétől és más egyéb tényezőktől is függ. Első közelítésben azonban ennek a feszültségnek értéke főleg az alkalmazott fényportól függ. A szilikát fényporoknál a határérték potenciál, vagyis az a hely, ahol a szekunder-emissziós tényező a feszültség növelésével már csökkenni kezd és egynél kisebbé válik 6–10 kV feszültségtartományban van, cinkszulfidoknál 8,5–15 kV-ig, cinkszulfoszelenideknél pedig 30–35 kV, tehát az utóbbiak nyilvánvalóan ebből a szempontból is előnyösebbek.

Fényerő és felbontóképesség szempontjából rendkívül fontos az optimális rétegvastagság egyenletes betartása, ezért a sokféle módszer közül általában az ebből a szempontból megbízhatóbb, de munkaigényesebb ülepítési eljárást alkalmazzák. Ennél a pontosan bemért mennyiségű fényporkeveréket megfelelő berendezésen szuszpenzió alakjában beszórják a ballonba, ahol már megfelelő kötőanyagot tartalmazó szükséges mennyiségű folyadék van. A fényporszemcsék 1–2 óra alatt a szuszpenzióból a képtányérra ülepednek és a folyadékot leszívják. Így nagyon jól reprodukálható a rétegvastagság, a keverési arány és az ernyőfelület nagyon egyenletes. Azonban az ülepedéshez szükséges idő a tömeggyártást megnehezíti, ezért célszerű gépesíteni. A megfelelő ülepítés feltételei közé tartozik, hogy ülepítés közben a képtányér mechanikai rezgéseknek ne legyen kitéve. A helyiség legyen teljesen pormentes, egyenletes hőmérsékletű és világítású.

A képtányérra felvitt világítóréteget — tekintet nélkül a felvitel módjára — pontosan előírt hőkezeléssel rögzítik az üvegfelületre. A gerjesztés utáni

színváltozás elkerülésére különösen a közepes utóvilágítási idejű összetett fényporoknál fontos, hogy a komponensek utóvilágítási ideje azonos legyen. A színtonkomponensek beállításánál a képtányér üveganyagainak átviteli tulajdonságait is számításba kell venni. A képcsövekhez szükséges fényporok gyártása már elég jól kézben van tartva, nehézségek csupán a tömeggyártási módszerek terén mutatkozhatnak.

HOZZÁSZÓLÁS

FRIED HENRIK

Hozzászólásomban szeretném kihangsúlyozni, hogy képesövek gyártása újabb technikai követelményeket és technológiai problémákat jelent a híradástechnikai iparnak. Az egyik legnagyobb probléma magának a nagyméretű, vákuumzáró és hatalmas nyomást kibíró képesöballonnak az elkészítése. Mint Magó elvtárs mondta, 2 ballonkivitel jöhet szóba, üveg- és fémballon. Mindkét ballonfajtának vannak előnyei és hátrányai. Hogy hazai viszonylatban a tömeggyártást melyikkel fogjuk megkezdeni, ez még bizonyos mértékig kísérletek kérdése, de ma már valószínűnek látszik, hogy az indulásnál üvegballonnal fogjuk a gyártást megkezdeni és fémballonra előreláthatóan csak egy későbbi időpontban térhetünk át. Az üvegballonok gyártása nemcsak a híradástechnikának, hanem üvegiparunknak is komoly feladatot jelent: A kisebb méretű ballonokat kb. 12"-ig kétféle kivitelben gyártják, fűjt és préselt kivitelben. A nagyobb méretű és főként négyszögletes ballonokat pedig kizárólag préselt kivitelben.

A televíziós képesö-ernyő megfelelő kivitelű hólyag- és huzalmentes képtányérjának préselés útján való elkészítése igen nehéz feladat és ehhez speciális olvasztókemencékre és gépi berendezésekre van szükség. Maga az üvegfajta is eltér az izzólámpa- és rádiócsőgyártásban használt üvegfajtáktól, tekintettel arra, hogy ennél lényegesen kisebb vezetőképességgel kell bírnia. Az üvegalkatrészek összeforrasztása is súlyos technológiai feladat, különösen ha ezt nem egyedi-, hanem a tömeggyártásnak megfelelő gépi berendezések útján kívánjuk végrehajtani.

A képesögyártás másik újszerű és ugyancsak igen komoly felkészültséget kívánó feladata a megfelelő minőségű fénypor elkészítése és a képtányérra való felvitele. A fényporgyártásnál olyan tisztasági követelmények vannak, amelyek messze meghaladják a rádiócsőgyártás egyébként is igen magas színvonalú tisztasági követelményeit.

A nyugati képesögyárak közül többen rátértek már a fémbevonatú (aluminizált) kivitelű ernyők gyártására. Ez a kivitel jelentős előnyökkel bír egyrészt azért, mert a televíziós képesöveknél használt feszültségeknél (10—15 000 Volt) a fényerő kb. megkétszereződik az ernyő tükröző képességénél fogva és a kép sokszorosan jobb kontraszt hatásúvá válik. Külön előny még, hogy az aluminizált ernyőnél az ionfoltosodási veszély lényegesen kisebb, ezért egyes üzemek ennél a kivitelnél mellőzik az ioncsapda alkalmazását, ami az elektronagyú egyszerűsítését és olcsóbbítását jelenti. További előny, hogy ennél a kivitelnél a nagy gázforrást jelentő grafitbevonás is elhagyható, vagy lényegesen kisebb felületre csökkenthető. Hazai viszonylatban ennek a kivitelnek még az az előnye is lenne, hogy feleslegessé tenné a speciális kis vezetőképességű üveg alkalmazását és ezzel lehetővé válna az üvegballon kérdésnek egy lényegesen olcsóbb és jobb megoldása. A fémezéssel kapcsolatos kísérletek biztatónak látszanak, de azt is látjuk, hogy az aluminizálás eddig azért nem terjedt el általánosan a nagy előnyök ellenére, mert a fémezett ernyők tömegszerű gyártása igen súlyos technológiai feladatot jelent.

A TRANZISZTOR*

SZIGETI GYÖRGY levelező tag

A külföldi irodalomban 1948 óta mind több és több publikáció jelenik meg a tranzisztorra vonatkozólag. Ezek a közlemények részben a tranzisztorok alkalmazási területét, részben a különféle új tranziszortípusok leírását, részben pedig a tranzisztorok működésének elméletét ismertetik. Azt látjuk, hogy mind a három területen a szerzők szemlélete lényeges fejlődést mutat, új és új tranziszortípusok, alkalmazási területek és elméletek bukkannak fel. Mind ennek ellenére azonban világosan látszik, hogy ma még a kérdés egyáltalán nem tekinthető lezártnak. Az első publikációk az ún. tús tranzisztorokra vonatkoztak, majd 1951-ben megjelent a réteges tranzisztorok ismertetése, 1953-ban pedig ismertté vált az RCA és a Philco cégek diffúzió útján előállított, ún. felületi tranzisztor. Az első közlemények a tranzisztorok kristály lehetőséges anyagai gyanánt a germániumot, szilíciumot és ólom-szulfidot említik. A ténylegesen kivitelezett tranzisztorok leírásai mind germánium kristályerősítőket ismertetnek. Igen nagy feltűnést keltett a közelmúltban az a néhány publikáció, amely gallium, alumínium és antimon intermetallikus vegyületeinél észlelt olyan jelenségeket ír le, amelynek alapján arra lehetett következtetni, hogy ezek a vegyületek is alkalmasak lesznek tranzisztor céljaira. Welker 1953-ban¹ utal arra először, hogy ezek az intermetallikus vegyületek tranzisztor céljára alkalmasak lehetnek. Ténylegesen kivitelezett intermetallikus tranzisztorra vonatkozó leírást még eddig nem láttam.

Bár, mint a fentiekben említettem, a tranzisztorok működésének elmélete még távolról sem tekinthető tisztázottnak és számos esetben mutatkozik ellentmondás az egyes kísérleti eredmények és az elméleti megállapítások között, mégis nagy vonalakban a tranzisztor működése az alábbi elképzeléssel írható le.²

A tiszta germánium — mint tudjuk — félvezető, amelynél a valencia sáv és a kondukciós sáv között kb. 0,7 eV szélességű tiltott sáv van. Tiszta állapotban tehát a germánium vezetőképessége szobahőmérsékleten igen kicsi. A hőmérséklet növelésével ez a vezetőképesség exponenciálisan növekszik.

* A Híradástechnikai Konferencián 1954. május 8-án elhangzott előadás.

¹ Welker, Z. für Naturforschung, 681–686. 1953.

² Schockley, Proc. IRE, 40. 1289. (1952).

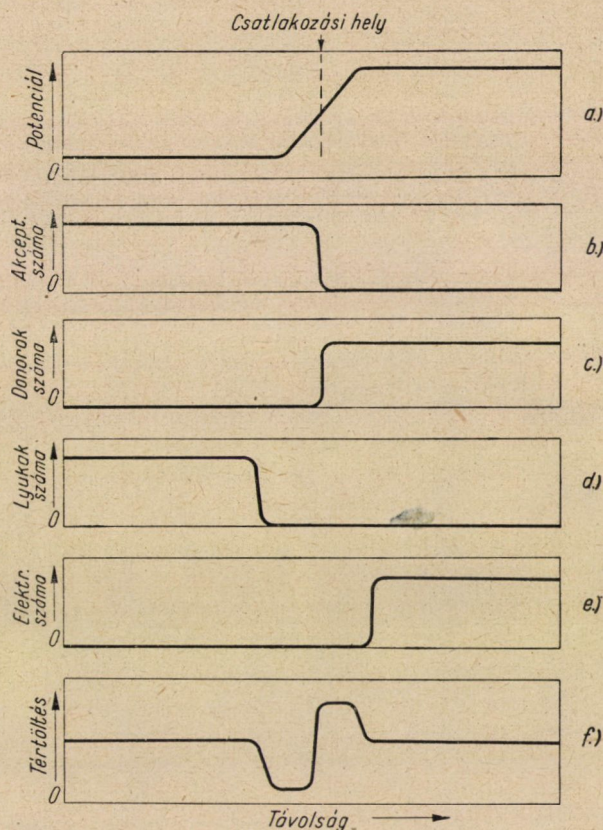
Tranzisztor céljaira az ilyen teljesen tiszta germánium nem alkalmas. Ha a négy vegyértékű germániumhoz igen kis mennyiségű öt vegyértékű anyagot, pl. arzént vagy antimont adunk, úgy az öt vegyértékű atomnak csak négy valencia elektronja fog részt venni a kristály kötésében, az ötödik elektron ellenben a kötés szempontjából felesleges marad. Ez az elektron, amely tehát igen gyöngén van csak a beágyazott atomhoz kötve, a hőmozgás folytán már aránylag alacsony hőmérsékleten — esetleg szobahőmérsékleten is — szabaddá válhatik. A kristályrácsba beágyazott idegen atom tehát mint a vezető elektronok forrása, »donor« fog szerepelni. A félvezetőknek ismert zóna elméletével ez a jelenség úgy értelmezhető, hogy az elektron a kondukciós sáv alatt levő, ún. szennyezési nivóból (ez az energiaállapot felel meg a beágyazódott idegen atomnak) a hőmozgás hatására az üres kondukciós sáv alsó határának megfelelő energiaszintre jut és a kristályon belül szabadon mozog, tehát a kristálynak megfelelő vezetőképesség-többletet ad. (Hasonlóképpen szerepelnek azok az elektronok is, amelyek a valencia sávból jutottak a kondukciós sávba.)

Előfordulhat, hogy a germániumkristály három vegyértékű atommal, pl. alumíniummal vagy galliummal van szennyezve. A szennyezés helyén ez esetben csak három elektron vesz részt a kémiai kötésben, tehát ahhoz, hogy a kötés teljes legyen, még egy negyedik elektron volna szükséges. Az ily módon szabadon maradt kötési helyre a rács valamely más pontjáról juthat a hőmozgásnak megfelelő energia árán felszabaduló elektron, amikor is természetesen ennek a helyén marad egy üres hely. Ez a betöltetlen kötési hely a kristályon belül szabadon változtathatja helyét. Ennek az esetnek felelnek meg a zóna-elmélet szerint a teli valencia sávban létesülő lyukak, amelyek a kristálynak éppúgy vezetőképességet kölcsönöznek, mint a kondukciós sávban fellépő szabad elektronok, azzal a különbséggel, hogy a szóban forgó lyuk az elektromos tér hatására úgy fog mozogni, mint egy, az elektron tömegével azonos tömegű, de pozitív töltésű részecske. A germániumkristályba ágyazott három vegyértékű szennyezések tehát az elektronok számára mint »akceptorok« fognak szerepelni.

Az első típusú szennyezett kristályt, amelyben tehát a vezetést negatív töltésű szabad elektronok létesítik, »*n*-típusú« félvezetőnek, az utóbbit, amelyben a vezetést pozitív töltésnek megfelelő elektronhiányok, lyukak közvetítik, »*p*-típusú« félvezetőnek szokás nevezni. Az olyan félvezetőt, amelyben a vezetés a teli valencia sávból a hőmozgás folytán a kondukciós sávba felkerülő elektronok és az ezzel azonos számban a valencia sávban mutatkozó lyukak együttesen létesítik, intrinsic jellegű félvezetőnek nevezzük.

A legújabb vizsgálatok szerint a tranzisztorhatás létrejöttének elengedhetetlen feltétele, hogy valamely félvezetőben két azonos jellegű réteg között egy ellenkező típusú félvezető réteg foglaljon helyet. Ezen réteg vastagságának azonban csak olyan kicsinek szabad lennie, hogy a másik rétegből ezen vékony rétegbe átjutó töltéshordozók a rétegen való áthaladás közben a rács

atomjaival való ütközés folytán ne diffundáljanak szét jelentős mértékben és az elektronok és lyukak találkozása során előálló rekombináció is a szabad töltéshordozók számához képest ne legyen jelentékeny. Aszerint, hogy az alaprács n - vagy p -típusú félvezető, megkülönböztethetünk $n-p-n$ vagy $p-n-p$ csatlakozási rétegeket. A tranzisztorhatás szempontjából az az eset lényeges, amikor egy kristályban kb. 10^{15} szennyező atom fordul elő cm^3 -ként. Ez olyan



1a — f ábra. A potenciál és a töltés eloszlása a $p-n$ csatlakozási hely környezetében

alacsony koncentráció, hogy a kristály mechanikai szempontból még tökéletesnek mondható, viszont elektromos szempontból már lényegesen különbözik a tiszta — intrinsic jellegű — anyagtól.

Az 1. ábra egy olyan kristály belsejében előálló viszonyokat tünteti fel, amelynél a kristály baloldala p -, a jobboldala pedig n -típusú félvezető. Tekintettel arra, hogy a kristály két felében a szabad elektronok koncentrációja különböző, a két félnél az elektronok kilépési munkája is különbözni fog, az érintkezési helyen a kisebb kilépési munkájú részből a nagyobb felé elektronok,

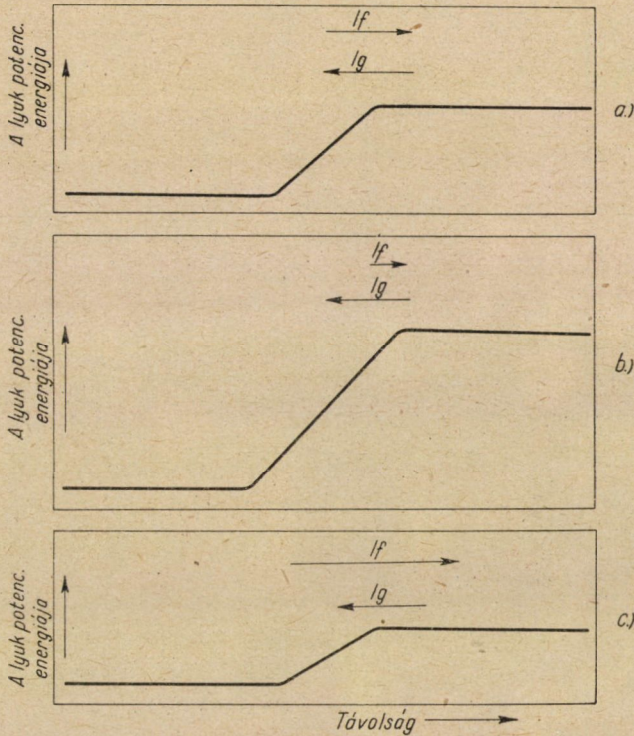
fordított irányban pedig lyukak fognak átdiffundálni, a két rész között potenciálkülönbség — az ún. kontaktpotenciál — lép fel. A potenciál eloszlását a kristály két felére vonatkozólag az 1/a ábra tünteti fel. Az 1/b ábrán láthatók az akceptorok, az 1/c ábrán pedig a donorok száma a hely függvényében. Az 1/d ábra a lyukak, az 1/e pedig az elektronok számát mutatja. Látható, hogy a csatlakozási hely közelében elektronokban, ill. lyukakban elszegényedő réteg fog mutatkozni. Ezen a területen az alaprácsba beágyazott szennyező atomok szabadon maradó töltését nem neutralizálják a szabad elektronok, ill. lyukak és így a csatlakozási hely közelében szabad töltésfelesleg fog mutatkozni, ennél fogva itt egy elektromos kettős réteg áll elő, mint ezt a töltéssűrűséget fel-tüntető 1/f ábra mutatja.

Ha a kristály termikus egyensúlyban van és a két fél közé nem kapcsolunk külső feszültséget, a csatlakozási helyen át végeredményben áramnak nem szabad folynia. Emellett azonban pl. a baloldali részről egyes lyukak, melyek termikus energiája elegendő az 1/a ábrán látható potenciálkülönbség legyőzésére, át fognak diffundálni a jobboldali részre. A jobboldali részbe átkerült lyukak a hőmérsékletnek megfelelően, minden irányítás nélkül a szokásos zezugos pályán fognak mozogni. Ezen hőmozgásuk során vagy visszajutnak a baloldali részbe, vagy pedig továbbdiffundálnak a jobboldali irányba, mindaddig, míg véletlenül olyan centrumhoz nem jutnak, amely már előzetesen egy elektront lekötött. Ezen a centrumon a lyuk neutralizálódik. Ugyanúgy megvan a lehetősége annak is, hogy egy ilyen neutralizációs centrumból egy lyuk a termikus energia hatására felszabaduljon és visszafelé diffundáljon a jobboldali tartományba. Egyensúlyi állapot esetén a lyukak jobboldali tartományban történő neutralizációjának, vagy felszabadulásának a valószínűsége teljesen azonos. A két processzus átlagosan egymás hatását teljes mértékben megsemmisíti.

Ha azonban a két kristályfélre feszültséget kapcsolunk, ez az egyensúly felborul, a potenciálkülönbségek alakja a 2. ábrán látható formát veszi fel.

A 2/a ábra mutatja az egyensúlyi helyzetet, midőn az I_f a baloldali részben keletkező, a potenciálhegyen felfutó és a jobboldali részben neutralizálódó lyukkal által képviselt áram teljesen azonos a jobboldali részben keletkező, a baloldali részbe átjutó lyukak által reprezentált I_g árammal. Az áramnak azt a részét, amelyet a termikus diffúzió folytán visszatérő lyukak létesítenek, mivel ez természetszerűleg oda- és visszafolyik, nem szükséges a továbbiakban figyelembe venni. Ha a feszültség iránya olyan, hogy a baloldali rész pozitívabb, úgy a lyukak számára a potenciálkülönbség a 2/b ábrán látható módon megemelkedik. Ezáltal a jobboldalra áthaladó I_f áram már csak azokból a lényegesen kisebb számban jelenlevő lyukakból eredhet, melyek termikus energiája elegendő a jóval magasabb küszöb átlépésére. Az ellenkező irányban folyó áram értéke: I_g nem fog változni, mert a jobb oldalon keletkező lyukak száma független a feszültségkülönbségtől, viszont minden lyuk, amely baloldal felé haladva

a küszöbig eljutott, a tér hatására amúgy is visszakerül a baloldalra, ugyanúgy, mint a külső feszültség nélküli esetben. Ha a feszültség fordított polaritású, vagyis a baloldali rész negatív, úgy a lyukak számára a küszöb lényegesen alacsonyabb lesz (2/c ábra). Ebben az esetben viszont a küszöbön átlépni képes lyukak száma lényegesen megnő, míg az I_g áram természetesen ez esetben is változatlan marad.



2. ábra. I_f és I_g különböző előfeszültségek esetén

Az I_f értéke — mint ismeretes — a feszültségtől az alábbi törvény szerint függ :

$$I_f = I_g \exp(qV/kT) \quad (1)$$

és így a lyukak által vitt teljes áram :

$$I_p = I_f - I_g = I_g [\exp(qV/kT) - 1] \quad (2)$$

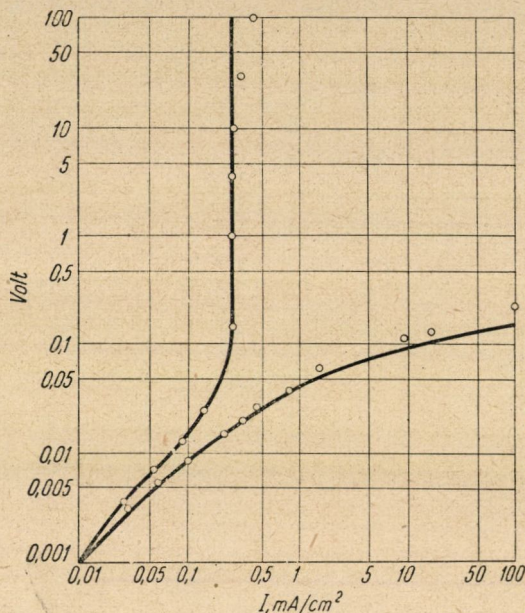
teljesen hasonló megfontolások érvényesek az elektronok által vitt áramra is. Az eredő áram a kettőnek az összege lesz, vagyis

$$I = I_s [\exp(qV/kT) - 1] \quad (3)$$

ahol I_s jelenti a neutralizációs centrumokból felszabaduló lyukak és elektronok által vitt áramok összegét. A 3. ábrán van feltüntetve a harmadik képlet alapján számított és a mért áram és az alkalmazott feszültség közötti összefüggés.

Mint látható, az elmélet a mért értékekkel nagyon jó egybevágó eredményt ad az említett $n-p$ réteges egyenirányító működésére vonatkozólag.

A tűkontaktussal működő egyenirányítóknál fel kell tételeznünk, hogy a kristály egész felületén egy, a kristály tömegével ellentétes töltéshordozókat



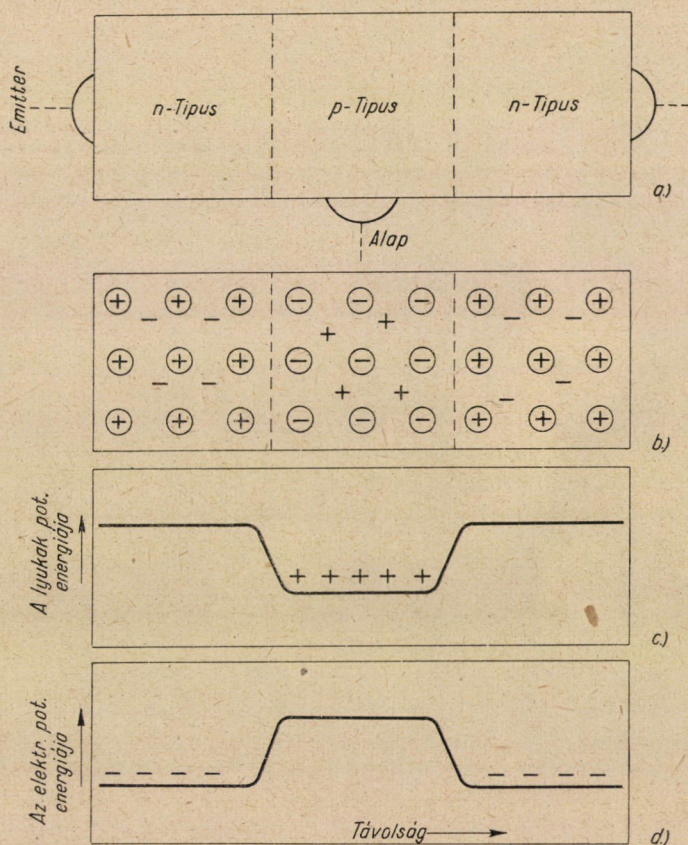
3. ábra. A kontaktusok közötti feszültségkülönbség $p-n$ csatlakozási helyen, az átfolyó áram függvényében

tartalmazó réteg alakul ki. A kristály egyik csatlakozó elektródája nagy felületen érintkezik a kristállyal, így tehát az áramsűrűség rendkívül kicsi, ennélfogva a feszültségesés mind az átmenő, mind a záró irányban ezen a felületen elhanyagolhatóan kicsi lesz.

Ezzel szemben a tűkontaktus helyén az áramsűrűség sok nagyságrenddel nagyobb, így ezen kontaktus helyén létesülő feszültségi viszonyok fogják az egyenirányító karakterisztikáját megszabni.

A fentiek ismeretében most már kielégítő magyarázatot lehet adni a tranzisztorok működésére vonatkozóan. Érdekes módon elvileg sokkal egyszerűbb és áttekinthetőbb a tranzisztorok egyik legújabb típusának, az ún. rétegtranzisztornak a működésmódja, mint az eredetileg 6 év előtt felfedezett tűs kontaktussal működő eredeti tranzisztoré.

Egy $n-p-n$ réteges tranzisztor vázlatos rajza a 4. ábrán látható. Lényege abban áll, hogy egyetlen germániumkristály középső zónáját valamilyen módon p -típusúvá alakítjuk, míg a kristály többi részét a szokásos n -típusú germánium alkotja. Az ábra szerint a baloldali n -típusú rész szerepel mint emitter, a jobboldali rész kollektor és a középső, p -típusú rész felel meg a tűkontakt-

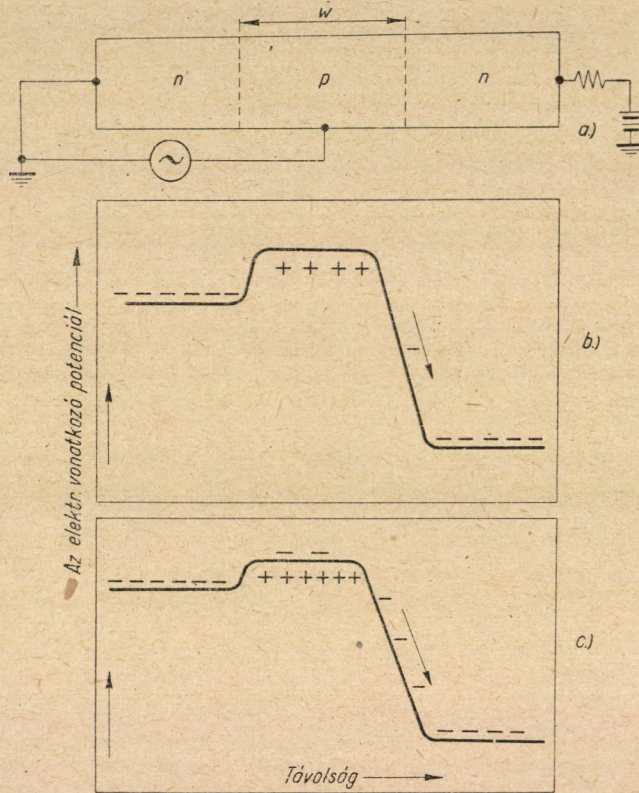


4. ábra. $n-p-n$ csatlakozási hely termikus egyensúlyban, előfeszítés nélkül

tusos germániumnál az alapkristálynak. A szennyezések és töltéshordozók eloszlását a 4/b ábra tünteti fel, míg a 4/c a lyukak és 4/d az elektronok szempontjából fennálló potenciáeloszlást mutatja arra az esetre, ha a kristályra külső feszültséget nem adunk.

A tranzisztor mint erősítő fog működni, ha az 5/a ábra szerinti módon kapcsoljuk be. A középső p -típusú rész és a baloldali n -típusú rész közé kapcsoljuk az erősítendő feszültséget, míg a jobboldali n -típusú részre egy nagy terhelő ellenálláson át nagy pozitív előfeszítést adunk. Ebben az esetben

az elektronok számára a potenciáeloszlást az 5/b ábra tünteti fel. Az előbb tárgyalt egyenirányító esetéhez képest a jobboldali $p-n$ csatlakozás annyiban mutat különbséget, hogy a p oldalról az n oldal felé haladó elektronoknak nem szükséges a p rétegben az ottani neutralizációs centrumokban termelődni, hanem a p rétegbe elektronok juthatnak át a baloldali n rétegből is. Ha a baloldali n és p réteg között a külső feszültség nulla, mindazon elektronok átjutnak az n -típusú anyagból a p -be, amelyeknek termikus energiája



5. ábra. $n-p-n$ csatlakozású tranzisztor a megfelelő előfeszültségek rákapcsolása után

nagyobb, mint a kontakt-potenciál által létesített energiaküszöb. Ha már most a p rétegre pozitív feszültséget kapcsolunk, ill. a beérkező jelfeszültség pozitív félperiódusát tekintjük, úgy a potenciálküszöb az emitter és a középső p réteg között lecsökken (l. 5/c ábra), ennél fogva az emittertől a kollektor felé haladó elektronáram az 1. képlet értelmében igen erősen megnő. Fordítva, ellenkező polaritás esetén az emitter és kollektor közötti áram erősen lecsökken. Ilyen módon a középső p rétegnek a szerepe teljesen analóg egy elektroncső rácsával. Ahhoz, hogy az ilyen $n-p-n$ réteges tranzisztor jól működjék, szükséges,

hogy a p réteg vastagsága minél kisebb legyen. Ha t_1 a p réteg vastagsága nagy, úgy az emitterből kilépő elektronok rekombinációjára megnő a valószínűség. Továbbá, minél nagyobb utat kell az elektronoknak a p rétegen keresztül megtenniök, annál jobban szétmosódik az emitterből beérkező jel az elektronok szétdiffundálása miatt. Tehát minél vékonyabb a p réteg, annál nagyobb frekvenciát tud a tranzisztor torzítás nélkül feldolgozni.

Az elektroncsőhöz képest a tranzisztornak mindenesetre megvan az a hátránya, hogy a rács nem vezérel teljesítményfelvétel nélkül, mindamellett a rácsáram és kollektoráram viszonya, tehát az áramerősítési faktor egy modern $n-p-n$ réteges tranzisztornál 100-nál is nagyobb lehet. A teljesítményerősítés a kollektor rész belső ellenállásától is függ. Az $n-p-n$ tranzisztornál sikerült 1 Mohm nagyságrendű kollektorellenállást elérni, vagyis ugyanekkora lehet az áramkörbe kapcsolt terhelőellenállás értéke is. Ily módon a teljesítményerősítés elérheti az 50 dB értéket is.

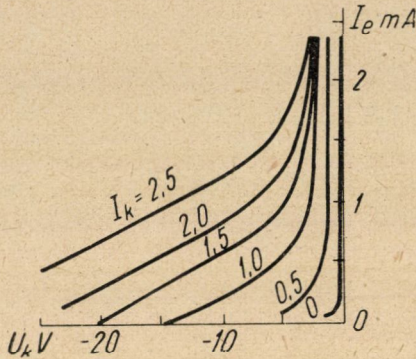
Az alkalmazott frekvenciát határolja még a fentiekén kívül a $p-n$ csatlakozás közötti kapacitás értéke is. Ez a kapacitás a tranzisztor keresztmetszetének csökkentésével szorítható le.

A fentiek ismeretében ellentmondás nélküli magyarázatot adhatunk a csúcselektrodos tranzisztorok működésére is. Mérésekkel kimutatható volt, hogy minden csúcselektrodos tranzisztornál a kollektor körüli részen a formálás során az eredetileg n -típusú germániumkristály felületén egy kb. $2 \cdot 10^{-2}$ cm átmérőjű és kb. $1,5 - 2 \cdot 10^{-3}$ cm mélységű p réteg alakul ki. Ennek a rétegnek a méretei a formálás intenzitásától és módjától függenek. Lényegileg tehát itt is egy $n-p-n$ rétegeű tranzisztor áll elő, amelynek működése azonos az előzőekben leírttal. Mindenesetre kristályhibáknak és a fellépő tértöltési jelenségeknek további szerepe van az áramviszonyok kialakításában, amely teoretikusan sokkal kevésbé követhető. A gyakorlat azonban azt mutatta, hogy a kellő formálás beállításával a kívánt karakterisztikát aránylag szűk tolerancián belül reprodukálni lehetett a tűkontaktusos tranzisztoroknál is.

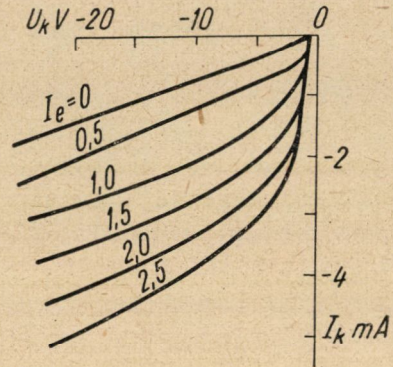
Magyarországon a tranzisztor kidolgozására irányuló kísérleteket az 1953. év elején kezdtük meg. A kísérletek célja volt először egy a külföldi irodalomban ismertetett tús tranzisztor típus reprodukálása, majd az így szerzett tapasztalatok felhasználásával a réteges tranzisztorok kidolgozására irányuló munkát megkezdeni és lehetőség szerint minél előbb újabb önálló eredményeket is elérni.

A kísérletek megkezdése elé számos nehézség tornyosult. A rendelkezésre álló igen kis mennyiségű és erősen szennyezett germánium anyagot le kellett tisztítani és ezen kidolgozni egy olyan tisztítási eljárást, amelynek terméke már lehetőleg az intrinsic típusnak megfelelő anyag legyen. Ki kellett dolgozni a megfelelő donor jellegű szennyezés adagolásának módját, az anyag olvasztására, kristályosítására és felaprítására szolgáló eljárásokat. Mikromanipulátort kellett építeni a tűk beállítására a célból, hogy különböző tűtávolságok

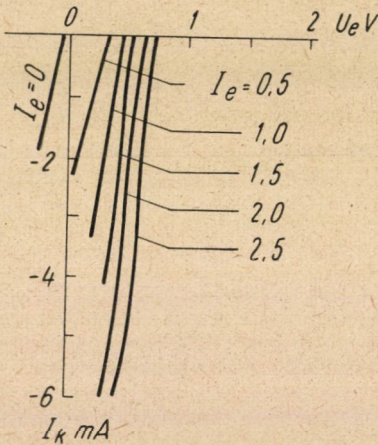
és nyomások szerepét tisztázhattuk. Ki kellett dolgozni a formálás, aktiválás és mérés módszereit. Ezeket a munkákat Bodó Zalán, Szép Iván és Bán Tamás kartársaink végezték a HIKI Bródy Imre laboratóriumában. A mérőberendezés elkészítésére szocialista szerződést kötöttünk a Műszaki Egyetem docensével, Klatsmányi Árpáddal. A munkák eredményes keresztülviteléhez nagymérték-



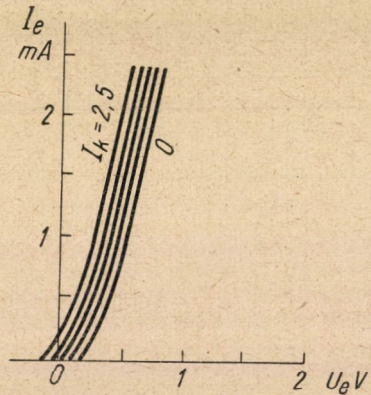
6. ábra. Hazai gyártású tranzisztor kollektorfeszültsége a kollektoráram függvényében



7. ábra. Kollektorfeszültség az emitteráram függvényében, a kollektoráramot mint I_e paramétert változtatva



8. ábra. Emitterfeszültség a kollektoráram függvényében különféle állandó emitteráramok esetén



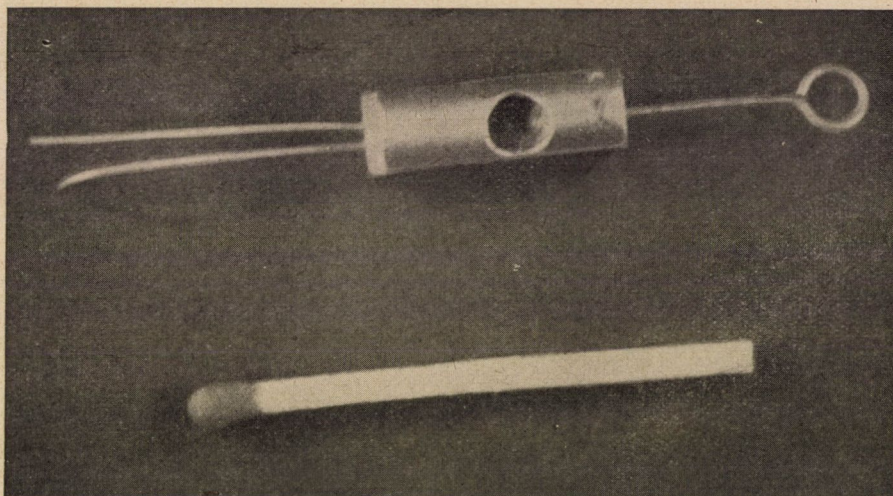
9. ábra. Emitterfeszültség mint az emitteráram függvénye

ben hozzájárult, sőt azt lehet mondani ennek megkezdését csak az tette lehetővé, hogy kartársaink a szükséges elméleti ismereteket már régebbi munkájuk során elsajátították és állandóan továbbfejlesztették.

A kísérletek eredménye gyanánt az év végére el is készültek az első tranzisztórpeldányok. Ezeknek teljesítményerősítése 10–15 dB volt. Az év folya-

mán a kísérleteket tovább folytattuk és sikerült az erősítést reprodukálhatóan 15 dB fölé emelni. Célul tűztük ki, hogy az irodalomban részletesen ismertett SAF gyártmányú VS 200 típusú tranzisztort reprodukáljuk. (A választás azért esett erre a típusra, mert ebből sikerült 20 mintapéldányt kapnunk és az irodalom szerint ennek karakterisztikái megfeleltek a piacon levő jobb minőségű, egyéb gyártmányú tranzisztorokénak.)

Március hónap folyamán eljutottunk odáig, hogy az elkészült kísérleti példányok jó része belesett már a rendelkezésre álló mintapéldányok szórási



10. ábra. T—1 tranzisztor fényképe

tartományába. A tranzisztorokon a Műszaki Egyetemen időközben elkészült automatikus felvevőkészülék segítségével felvettük a négy jellemző karakterisztikasereget. A 6. ábra mutatja egy hazai gyártású, kb. átlagos minőségű tranzisztoron a kollektorfeszültséget a kollektoráram függvényében állandó emitteráramoknál (az emitteráram szerepel mint paraméter). A 7. ábra mutatja a kollektorfeszültséget az emitteráram függvényében, a kollektoráramot mint paramétert változtatva. A 8. ábra mutatja az emitterfeszültséget kollektoráram függvényében különféle állandó emitteráramok esetére. Végül a 9. ábra az emitter feszültséget mint az emitteráram függvényét ábrázolja az állandó kollektoráramokat véve paraméter gyanánt. A 10. ábra a hazai gyártású T-1 tranzisztor fényképét mutatja. A T-1 tranzisztor tokja egyelőre még egyenként esztergán készült és így nem tekinthető a későbbi példányok végleges méretére jellemzőnek. Gyártásszerű kivitelnél a külső méreteket lényegesen csökkenteni fogjuk.

Az eddig gyártott tranzisztorok stabilitás tekintetében elég jónak mutatkoznak, így pl. jellemző adatai nem változtak $+100\text{ C}^\circ$ -ra való rövid idejű felhevítés és újra lehűtés után sem.

További kísérletek egyrészt a tranzisztorok adatainak javítását, másrészt pedig a nagyobb mennyiség készítési feltételeinek tisztázását célozzák.

HOZZÁSZÓLÁSOK

BODÓ ZALÁN, a fizikai tudományok kandidátusa

Egy tévhitet szeretnék eloszlatni a tranzisztorokkal kapcsolatban. Ti. általában az a hit, hogy a tranzisztorok élettartama, hogy úgymondjam, korlátlan. Ezzel kapcsolatban legyen szabad megemlítenem az egyik külföldi szerző tréfás megjegyzését: Ha az ember kezébe kap egy tranzisztort és azzal el kezd méricskélgni, akkor, ha szerencséje van, műszere ég ki, ha nincs, a tranzisztor.

A tranzisztor élettartalma igaz, hogy korlátlan, de csak az üzemi körülmények között. Ellenben »nem üzemi« körülmények közé hozni egy tranzisztort, lényegesen könnyebb, mint egy elektroncsövet. Ezért talán azt kell megjegyezni, hogy — nyilván a hallgatóság körében vannak olyanok, akiknek a közeljövőben kezébe kerül egy-egy tranzisztor — a legnagyobb óvatosságot kell ajánlanom az alkalmazással és a méricskéléssel szemben. A legkellemetlenebb meglepetés érheti ezen a téren az embert. Nálunk is már több tranzisztor égett ki. Mi ennek az oka? Először is pl. egy új berendezéssel kezdtünk mérni és egymás után égtek ki a tranzisztorok. Rájöttünk arra, hogy a magyarázat abban van, hogy két szobával odébb Szép dr. tisztítja a germániumot és nagyteljesítményű bombázóval dolgozik. Véletlenül az említett készülék áramkörében egy vevőkör alakult ki, a tranzisztor vette a teljesítményt, teljesítette a maga kötelességét, de természetesen kW nagyságrendű teljesítményről lévén szó, a másik oldalon az erősített teljesítményt nem bírta ki, tehát ezért égtek ki a tranzisztorok.

Másik megszokott körülmény, hogy elektroncsöveknél a különböző mérésnél feszültség generátorokkal dolgozunk. A tranzisztorra feszültség generátorral rámenni a tranzisztor számára életveszélyes, amennyiben a tranzisztor jelleggörbéjének negatív ellenállású szakaszai is vannak. Ha viszont áramgenerátort alkalmazunk, akkor a következő kellemetlen meglepetés érheti az embert: a kollektor nyilván egy zárókontaktus, s az egész tranzisztoeffektus lényege az, hogy az emitteren befolyó áram ezt a kontaktust kinyitja. Tehát egy különben bezárt kaput nyit ki. Az üzemi vagy a munkapont úgy van megválasztva, hogy ebben a kollektorban egy bizonyos emitter áram folyik. Mi történik akkor, ha az emitter áram hirtelen kimarad? Az emitter-körben egy szakadás jön létre, abban a pillanatban az emitternek a kollektorra való nyitó hatása megszűnik és a kollektor zárni akar, de mivel egy áramgenerátorral vagyok rajta, az előbb említett okok miatt természetesen a feszültsége felmegy és ezt az áramot keresztülhajtja az áramgenerátor a kollektoron, s így megint a tranzisztor halála lesz az eredmény. Különösen kellemetlen ez olyan esetben, amikor nem is tudjuk, hogy miért történt ez.

Az emitterkör és a kollektor kör két külön egyenáramkör. Ha kondenzátorral megyünk rá váltóáramú körre, és például az emitterkörben a kondenzátor a bekapcsolási áramlökés pillanatában lesöntöli az emitterkört, egyenáram szempontjából ez annyit jelent, mintha az emitterkörtön nem folya az áram. Ebből nyilván megint az előbbi hatás lép elő, hogy a kollektor nem kapja meg az indítását, viszont a mérés miatt áramgenerátorral vagyunk rajta és megint kiég a tranzisztor.

Csak ennyit akartam elmondani annak érdekében, hogy a közeljövőben vagy a távolabbi jövőben kikerülő tranzisztorokkal nagyon óvatosan bánjunk.

NAGY ELEMÉR, a fizikai tudományok kandidátusa

Tranzisztor-hatást nagyon sok anyagon észleltek már, főképp a természetben előforduló kristályokon. Megállapíthatjuk tehát, hogy a tranzisztor-hatás nem annyira elszigetelt jelenség. Mindenesetre tény az, hogy ipari megvalósításra pillanatnyilag csak a germániumot alkalmazzuk, esetleg szilícium alapú és intermetallikus vegyület kivételben került még rá sor.

A réteges tranzisztor ($p-n-p$ vagy $n-p-n$) számítással teljességgel követhető. Meglepő eredmény nincs, a számítások eredménye és a mérések nemcsak kvalitatíve, hanem kvantitatíve is a kívánt pontosságon belül teljes egyezést adnak.

Ezek alapján meg kell nézni azt, hogy melyek azok a tulajdonságok, amelyek egy anyagot arra predesztinálnak, hogy abból jó tranzisztort lehessen készíteni, vagy ne lehessen belőle jó tranzisztort készíteni. Néhány ilyen szabályt szeretnék itt elmondani.

Az egyik legfontosabb szabály talán a tranzisztor alapanyag szempontjából az, hogy nagy legyen a nagyfrekvenciás dielektromos állandója, azaz nagy legyen az optikai törésmutatója. Hogy ez mennyire teljesül, erre példaképpen felhozom, hogy a germánium törésmutatója 4, az ólom-szulfidé, szelenidé vagy telluridé 4,5–5 körül van, a szilíciumé szintén 4 fölött.

A következő fontos szabály az, hogy a tranzisztornak használt alapanyag olyan legyen, hogy tilos sáv szélessége ne legyen túlságosan kicsi. Tudni illik, ha a tilos sáv szélessége kicsi — a valencia sáv és a kondukción sáv közötti sáv szélességéről beszélek, amelly a germániumnál 0,7 eV — akkor sem tudok a szennyezések beépítésével különböző p - vagy n -típusú réteget előállítani, mert akkor már a valencia-sávból termikusan jut fel elektron a kondukción sávba és szobahőmérsékleten mindenképpen lesz már bizonyos számú lyuk, amelyet bizonyos számú elektron kompenzál. Ez azért rossz, mert szobahőmérsékleten közel ugyanúgy az intrinszik esethez.

Ugyanúgy rossz az is, ha ez a tilos sáv szélessége túlságosan nagy. Ebben az esetben ugyanis a kristály nem fog vezetni, nem lesz elég vezető részecske, s természetesen nem fog tudni teljesítményt erősíteni.

A tilos sáv szélessége számítások szerint tranzisztor anyagnál nem lehet másutt, mint 0,4 és legfeljebb 1,5 eV között.

Mindebből megállapíthatjuk, hogy a különböző tranzisztor céljára alkalmas anyagok kiválasztása ma már nem sötétben való tapogatódzás alapján történik, s úgy látszik, elég szűk tartományt alkotnak azok az anyagok, amelyek közül válogathatunk.

SZÉP IVÁN

T. Konferencia! Amikor 1948-ban a tranzisztor felfedezéséről szóló közlemény megjelent, ez a hír lázba hozta szerte a világon a szakembereket. Az egyszerű szerkezeti elveken felépülő eszköz mindenütt lázas tevékenységnek lett a kiindulópontja. Valóban a kis germániumlapocskával érintkező két tű első látásra nem látszott különösebb problémának. Az azóta eltelt idő azonban megmutatta, hogy a szerkezeti felépítésben egyszerű kis eszköz kielégítő megoldása csak úgy lehetséges, ha előbb egy sor, a szilárd testek fizikájával és

kémiájával összefüggő problémát tisztázunk. Az elhangzott előadás beszámolt néhány ilyen tisztázott, vagy legalább is tisztázottnak látszó problémáról. Az elméleti kutatás nagyjából lefektette azokat a követelményeket, amelyek a tranzistorhatás fellépéséhez szükségesek. Ezeknek a követelményeknek jelenleg kielégítő mértékben a megfelelő módon előállított kristályos germánium, ill. kisebb mértékben a szilícium felel meg.

Az aktív szennyezések igen kis, optimális koncentrációja (10^{14} – 10^{15} atom/cm³), más, még ennél is kisebb mennyiségben jelenlevő szennyezések káros hatása egészen újfajta analitikai eljárások kidolgozását tették szükségessé. Kiderült, hogy a spektráltisztaság már nem a tisztaság legmagasabb kritériuma, mert spektrálisan tiszta germániumból még mindig nem állítható elő jó tranzistor, ha a vezetőképességből és a Hall állandóból számított szennyezés koncentráció a szükséges mértéket meghaladja. A kis mennyiségű szennyezések szerepe sehol sem domborodott ki annyira, mint éppen a félvezetőkutatásban. A legmodernebb analitikai eszközök, a radioaktív indikáció, a neutron aktiválási eljárások voltak szükségesek ahhoz, hogy szennyezések ilyen kis mennyiségben mérhetőek legyenek. Szinte a modern fizikai elemzés és vizsgálati módszerek egész fegyvertárát mozgósítani kellett ahhoz, hogy a fennálló analitikai problémákat megoldják. Az ezen a téren végzett nagy munka óriási lépésekkel vitte előre a szilárd testek tulajdonságaira vonatkozó ismereteinket. A következő problémakör a gyártási technológia, a kívánt tisztaságú anyag előállítása volt. A kutatás során sikerült olyan eljárást találni, amely forradalmasította nemcsak a félvezetők, hanem minden olvadékot képező anyag tisztításának technológiáját. Ez az ún. szakaszos, vagy zónás átolvasztás abból áll, hogy a rúd alakúan kiképezett anyag egyrészét, a rúd hosszához viszonyítva keskeny helyen megolvastjuk, és ezt az olvadt szakaszt a rúd egész hosszában bizonyos program szerint végigvándoroltatjuk. Ezzel az eljárással a germániumban a szennyezések számát olyan mértékben sikerült leSORÍTANI, hogy csak minden 10 milliárd germániumatomra esik egy szennyező atom. Ezt az eljárást azóta kipróbálták rézen, alumíniumon — teljes sikerrel. Az alumínium pl. az eddigi legtisztább 99.998%-os alumíniumnál lényegesen tisztább, vezetőképessége 30%-kal nagyobb és szobahőfokon egyáltalán nem mutat hidegkeményedést.

Ezek a módszerek tehát, amelyek mintegy melléktermékei a szilárd testek kutatásának, igen nagy fontossággal bírnak más, pl. metallurgiai problémák megoldásánál. Hogy a szilárd testek fizikai kémiája és az ezzel foglalkozó kutatás mennyire fontos ipari feladat, arra éppen Millner dr. tegnapi előadása további bizonyíték. Erre azért tartom szükségesnek hivatkozni, mert Szigeti elvtárs előadása csak a nálunk elért eredményeket ismertette és nem számolt be azokról a nehézségekről, amelyek a kutatómunkát ezen a vonalon megnehezítik. Szerke a világon, minden olyan országban, ahol tudományos kutatómunka folyik, az elsők között szerepel a szilárd testek problémája. Óriási anyagi támogatás mellett igen nagyszámú kutatóapparátus foglalkozik mindenütt a szilárd testek kutatásával. Egy kiragadott példa: a Kínai Népköztársaságban, melynek tudományos intézményeit a háború, a japán megszállás szinte teljesen megsemmisítette, a népi kormány megalakulása után 3 fizikai jellegű kutatóintézet létesült. Ezek közül az Alkalmazott Fizikai Intézet elsősorban a szilárd testek fizikájával, köztük a félvezetők tulajdonságainak vizsgálatával foglalkozik. Az Egyesült Államokban vagy különösen a Szovjetunióban folyó munkát már csak azért sem említem, mert Magyarország még hátrányosabban kerülne ki ebből az összehasonlításból. A szilárd testek kutatásának fontosságára az

Akadémiának is fel kell figyelnie és meg kell teremtenie azokat a feltételeket, amelyek biztosítják az ezzel a témakörrel foglalkozó kutatógárda munkájának fokozottabb eredményességét. Nem kétséges, hogy megfelelő létszámú kutatógárda megfelelő támogatással be tudja hozni azt az elmaradást, amely jelenleg mutatkozik. Ezt az elmaradást elsősorban a híradás technikai ipar érzi és fogja érezni, hiszen a félvezetőkön alapuló híradástechnikai eszközök korszaka van beköszöntőben. Kutatóink nem lesznek abban a helyzetben, hogy az új kormányprogram szellemében új és önálló eredményekkel hozzanak dicsőséget népünknek és országunknak, ha a külföldön szisztematikus, aprólékos munkával nagyléptekkel előrevitt szilárd test-kutatásban sanyarú adottságok mellett csupán az elmaradás behozásán tudnak több kevesebb sikerrel munkálkodni.

JEGES KÁROLY

A tranzistor kialakulásának még igen rövid történetében érdekes tünet az, hogy tulajdonképpen még csak egy-két anyagot ismernek, elsősorban a germániumot, mely gyakorlatilag hasznosítható tranzisztorhatást mutat és csak néhány olyan anyag ismeretes, mely esetleg a jövőben jöhet gyakorlati szempontból számításba.

Mint az előadó vázolta, ma még a tranzisztorok elmélete nem tekinthető lezártnak, még nem tükrözi kifogástalanul vissza a valóságot, ezért talán nem volnának haszontalanok az új anyagok felfedezésére irányuló olyan fajta kutatások sem, melyek a hosszadalmasabb utat választják és elsősorban a természetben már nagy számban meglévő félvezetők megvizsgálását tűzik ki feladatul. Mely anyagok azok, amelyek már közvetlenül, minden előzetes kezelés befolyásolás nélkül mutatnak tranzisztorhatást, hogy azután felderítve ezeknek az anyagoknak az összetételét, struktúráját, a második lépésben következő szintetikus előállítás folyamán, az összetétel megfelelő változtatásával az optimális arányt megtalálva, maximális tranzisztorhatást lehessen elérni.

A fentiekben vázolt vizsgálatokkal pl. a Német Demokratikus Köztársaságban is intenzíven foglalkoznak. Szabad legyen megemlítenem, hogy ilyen vizsgálatokba kezdtem két évvel ezelőtt én is, és most röviden az e téren végzett munka vázolásával szeretnék az elhangzott előadáshoz kapcsolódni.

A szűrővizsgálatok lehetőleg gyors elvégzése céljából építettem egy kettős tűkontaktusú mikromanipulátorral és katódsugároszcilloszkóppal kombinált vizsgálóberendezést. Ezzel a készülékkel lehetővé vált az esetleges tranzisztorhatást mutató anyagoknál a hasznos teljesítményerősítés mérése a terhelőellenállás függvényében, amikor is a terhelőellenállást az optimális illesztés értékéig lehetett változtatni.

A biztos tranzisztorhatás kritériumául az 1-nél nagyobb mért teljesítményerősítést tekintem. A teljesítményerősítésnek a terhelőellenállás függvényében való mérése a szűrés szempontjából igen fontosnak bizonyult, mert legtöbbször a teljesítményerősítés az 1-es érték körül mozog és legtöbbször a helyes illesztés vitte fel a teljesítményerősítést az 1-es érték fölé.

Számos anyagfajtából 330 példányt vizsgáltam meg eddig, ezek közül néhány galenit (PbS) és argentit (Ag₂S) példányon lehetett találni kifejezett tranzisztorhatást, szobahőmérsékleten 1-nél nagyobb teljesítményerősítéssel. A galenitek közül 43 különböző példány került vizsgálat alá.

Kifejezett tranzisztorhatást 1-nél nagyobb teljesítményerősítéssel 4 galenit példányon lehetett észlelni. Ezek közül az egyik példány minden előzetes hőkezelés nélkül is mutatott maximálisan $7 \pm 2,7$ -szeres teljesítményerősítést 3500 Ohm terhelőellenállásnál. Általában a teljesítményerősítés a kristályfelület különböző pontjain a 2—4-es értékek között mozgott. (8—15%-os hibával.) A megvizsgált argenticumok közül 5 példányon lehetett tranzisztorhatást kimutatni.

Az észlelt erősítési értékek messze elmaradnak a germániumé mögött, azonban az ilyen irányú bevezető vizsgálatoknak nem lehet az az elsődleges célja, hogy azonnal gyakorlatilag használható eredményeket kapjunk.

A megvizsgált nagyszámú anyag közül sok mutat sokszor igen jó egyenirányító hatást, tranzisztorhatást azonban csak igen kevésnél lehetett észlelni. Általában a természetben előforduló anyagok sok más anyaggal vannak erősen szennyezve és feltehetően — ha nem is olyan nagy mértékben —, de ez fennáll a tranzisztorhatást mutató anyagoknál is.

Egyes jelenségek arra is mutatnak, hogy nem kizárólag a szennyezések játszanak — legalábbis egyes esetekben — szerepet a tranzisztorhatás szempontjából, mert pl. az egyik tranzisztorhatást mutató galenitet öt percre kb. 600 C° hőmérsékletnek vetve alá, bár külsőleg semmi változást nem lehetett észlelni rajta, a tranzisztorhatás eltűnt, sőt vezetőképessége is kb. 1 nagyságrenddel megnövekedett. Ugyanez az anyag 290 C°-on órák hosszat tartva, semmi változást nem mutatott, ez a hőmérséklet ennyi ideig nem változtatta meg a tranzisztorhatást.

Ilyen rövid ideig tartó magasabb hőmérséklet nem valószínű, hogy az anyagban levő komponensek számszerű arányát megváltoztatta volna, lehetséges azonban az, hogy vagy vegyi, vagy strukturális változást hozott létre. Már ezek a kezdeti megfigyelések is arra mutatnak, hogy igen bonyolult problémákkal állunk szemben, különösen akkor, ha majd esetleg egy feltűnőbb tranzisztorhatást mutató összetett anyag szintetikus előállítására gondolnánk.

SZIGETI GYÖRGY válasza a hozzászólásokra

Igen tisztelt Konferencia! Az elhangzottakat nagyon köszönöm és azokkal teljes mértékben egyetértek.

Bodó et. rámutatott arra, hogy a tranzisztor még tulajdonképpen egy csecsemő és nagyon helytelen dolog volna, ha egy csecsemőt az elválasztás után rögtön paprikás szalonnával próbálnának táplálni. Azt, amit egy rádiócső — végeredményben egy férfikora delén levő produktum — elbír, azt nyilvánvalóan a tranzisztor még nem bírja el. A tranzisztoroknál, ha méréseket végezzünk, megfelelő óvatossággal kell eljárunk.

Nagy Elemér és Jeges Károly elvtársak rámutattak arra, hogy elméletileg és kísérletileg is más anyagoknál kimutatható a tranzisztorhatás és valóban ilyen irányú munka a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával hazánkban is folyik.

Nagyon köszönöm Szép et. felszólalását, amennyiben rámutatott a kutatás nehézségeire és arra, hogy tulajdonképpen mennyire szükséges volna a kutatás bővítése. Azt hiszem, hogy a konferencia zárórészének igen fontos feladata lesz, hogy megtárgyaljuk és javaslatot tegyünk arra, hogy miben lehet segíteni az egyes kutatási ágazatokat.

A TRANZISZTOROK FELHASZNÁLÁSÁNAK KÉRDÉSEI*

KLATSMÁNYI ÁRPÁD

(Az előadás kivonata. A teljes szöveg megjelent: Magyar Híradástechnika V. évf. 7–8. szám. 102–109. old. 1954. júl.–aug.)

A második világháború utáni idők egyik legjelentősebb híradástechnikai találmányának a tranzisztor bizonyult. Az elektroncsőhöz hasonlóan az új szerkezet egyenáramú teljesítmény rovására váltóáramú teljesítményt képes szolgáltatni, tehát ugyanúgy felhasználható erősítésre és rezgéskeltésre, mint az elektroncső.

A tranzisztor és az elektroncső tulajdonságait egybevetve, sok szempontból a tranzisztor bizonyul előnyösebbnek, ezért a műszaki életben való megjelenése veszélyezteti az elektroncső eddigi szinte monopól helyzetét.

A mai tapasztalatok szerint két tranzisztor-típus látszik életképesnek: a tūstranzisztor és a rétegtranzisztor.

Szerkezetük egyszerű, mechanikai hatásokra érzéketlenek. Méreteik kicsinyek. Fogyasztásuk kicsiny, ezért főleg telepes üzemre alkalmasak.

Kis teljesítményük miatt nyomtatott áramkör technikában, miniatűr készülékekben jó eredménnyel alkalmazhatók.

Nagy teljesítményű egységek is készíthetők tranzisztorokkal. Ilyenkor azonban gondos hűtést kell alkalmazni és az áramköröket stabilizálni kell.

A tūstranzisztorok l -nél nagyobb áramerősítése az áramkört egyes esetekben visszacsatolás nélkül is instabillá teheti. Ez kihasználható egyszerű oszcillátor kapcsolások (negatív ellenállású oszcillátorok), multivibrátorok és számláló fokozatok felépítésére.

A csövekkel szemben nagy előnyük szinte korlátlan élettartamuk. (Kb. 100.000 óra.) Ez különösen nagy fokozatszámú készülékek építésénél előnyös (tranzisztoros számolóberendezések stb.), de jelentős az ipari elektronika területén is. A p típusú tranzisztor ekvivalense az elektroncső, az n típusú tranzisztoré a csőtechnikában megvalósíthatatlan »pozitroncső«. A két típussal megoldható erősítőfokozatok közvetlen csatolása. Ez módot ad sokfokozatú egyszerű felépítésű erősítőláncok szerkesztésére.

Az emitter és kollektor elektródák azonos kezelésével szimmetrikus tranzisztorok is készíthetők, így a tranzisztor két elektródája üzem közben

* A Híradástechnikai Konferencián 1954. május 8-án elhangzott előadás.

szerepet is cserélhet. Ez utóbbi típus különösen impulzus technikában, televíziós kapcsolásoknál egyszerű fokozatokra vezet.

A tranzisztorok felső határfrekvenciái alacsonyak. Különösen a réteg tranzisztor használata korlátozódik az 1 MHz alatti frekvenciatartományra. Az újabb nagyfrekvenciás típusoknál ez a frekvenciahatár jelentősen növekedett, kb. 60 MHz-ig. A legújabb kísérleti példányok pedig 400 MHz-ig használhatók.

A demodulációs és áramellátási feladatok megoldására alkalmasak a germánium diódák, melyeknek egyeránt jó az áteresztő és záróirányú tulajdonságuk. Teljesítményeik elérik az erősáramú teljesítményeket is. Egyeránt jól használhatók teljesítmény és jel egyenirányítására.

A fentiek alapján feltehető, hogy a tranzisztorok — az alkalmazások nagy részében — ki fogják szorítani a csöveket. Mai térhódításuk még nem nagy, mert áruk elég magas, továbbá a tranzisztorelőállító ipar kapacitása még kicsiny és kapcsolástechnikájuk most van fejlődőben. Hazai híradástechnikai iparunknak mégis számítania kell térhódításával, mert a fenti akadályozó körülmények rövid időn belül meg fognak szűnni.

HOZZÁSZÓLÁSOK

VALKÓ IVÁN PÉTER a műszaki tudományok kandidátusa

Hozzászólásom első részében szeretném az előadást a tranzisztrok zajára vonatkozó adatokkal kiegészíteni. A tranzisztrok zaja általában jelentősebb, mint az elektroncsöveké. Az irodalomban rendszerint olyan szimbolikus ábrázolási módot választanak, amely szerint az emitter és a kollektor áramkörében külön-külön zajgenerátor működik. A kollektorkörben természetesen az emitter felerősített zaja is fellép. Egyes tapasztalatok szerint a kétféle zaj nem független egymástól, hanem bizonyos korreláció vagyis fázisösszefüggés áll fenn köztük. Az erre vonatkozó adatok azonban nem egyértelműek. Itt szeretném megjegyezni, hogy az általunk eddig végzett vizsgálatok alapján korreláció nem volt kimutatható. Egyébként a két külön zajgenerátor feltételezése formai okokból, a tranzisztornak négypólus ábrázolásából következik. Nem biztos tehát, hogy megfelel a fizikai valóságnak.

A zaj fő jellegzetessége az, hogy erősen frekvenciafüggő. A keskeny sávban fellépő zajteljesítmény közelítően fordítva arányos a közepes frekvenciával. Ez a különös jelenség hasonlít az elektroncsöveknek egészen mély frekvencián mutatott villogási zajára (flicker-effektus). Magyarozatát a félvezető természetében kell keresnünk. Ezen különleges félvezető-zaj mellett mindig jelen van a minden ellenállásban fellépő termodinamikai ún. Johnson-zaj is, amelynek értéke azonban sokkal kisebb:

$$P = 4kT(f_2 - f_1)$$

A teljes zajt közelítőleg a kétféle zaj összegének tekinthetjük. Az irodalom általában a tranzisztros erősítők zaját a zajtényező fogalmának alkalmazásával tárgyalja. Ez az erősítő által szolgáltatott teljes zajteljesítmény viszonya, ahhoz a zajteljesítményhez, amelyet az erősítő ideális esetben szolgáltatna, ha csupán a bemenő impedanciájának megfelelő termodinamikai zajt erősítené. A jel/zaj viszony számításánál a zajtényező bonyolult képletekre vezet, ha maga a zaj frekvenciafüggő. Az áttekinthetetlen és bonyolult számítások helyett itt most egyszerű formában, bár csak közelítő pontossággal foglalom össze a lényegét. A zaj f_1 és f_2 frekvenciahatárok között nem $f_2 - f_1$, hanem f_1 értékkel arányos közelítően:

Ez magával hozza azt az érdekes tény, hogy a zaj teljesítménye bizonyos zenei hangközön belül állandó, pl: minden oktávban ugyanakkora.

A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet Elektroncső Laboratóriumában Fekete Róbert és Kovács Róbert fiatal kartársaimmal végeztünk zajvizsgálatokat tranzisztrokon. Elsősorban német gyártmányú tústranzisztrokat vizsgáltunk földelt bázisú kapcsolásban és azt tapasztaltuk, hogy a zaj oktávonként kb. 10^{-12} -watt bemenő teljesítménynek felelt meg.

Az illesztés és munkapont az optimális erősítésnek megfelelő volt, kivéve a bemenetet, amelyet végtelen ellenállással és rövidzárlatban is vizsgáltunk. A két mérés között a különbség nem volt túl nagy, amiből az következik, hogy ebben a beállításban a zaj túlnyomó része a kollektorkörben keletkezik.

A zaj nagyságát a munkaponti adatok közül főleg a kollektor árama befolyásolja : növekvő árammal a zaj is növekszik. A munkapont és illesztés egyébként kevésbé befolyásolja a kimeneten mért zajteljesítményt, annál inkább az erősítést és ezzel természetesen a bemenetre visszaszámított értéket. Az általunk vizsgált különböző példányok zaja egy nagyságrenden belül szórt.

A fenti érték jól egyezik az irodalmi adatokkal, ha azokat megfelelően átszámítjuk. Földelt emitter esetén a zaj ugyanekkora ; földelt kollektor esetében azonban lényegesen nagyobb.

Rétegtranszisztorok mérése nem állt módomban. Irodalmi adatok szerint ezeknek zaja kb. 40 dB-el kisebb, vagyis oktávonként 10^{-16} watt bemenő teljesítménynek felel meg.

Ezekből az adatokból megállapíthatjuk, hogy tústranzisztoroknál kb. 1000 Mc az a frekvenciahatár, amely fölött már a termikus zaj a túlnyomó. Ilyen frekvencián azonban a tranzisztor már nem erősít. Rétegtranszisztoroknál ez a határ 100 és 1000 Kc közötti értéknél lenne.

A mérések azonban ezt általában nem igazolják és a legtöbb irodalmi közlés szerint a nagyfrekvenciás tranzisztorzaj néhány decibellel magasabb marad a Johnson-zajnál, amelyet a bemenetre kell számítanunk. Kivétekléppen mérték azonban rétegtranszisztorokon magas frekvenciákon olyan zajt is, amely nem sokkal magasabb a rendes ellenállás zajnál.

Vizsgáljuk meg mit jelentenek ezek az adatok a gyakorlat szempontjából. Rögtön láthatjuk, hogy a tústranzisztor mikrofon előerősítésre nem alkalmas. Hangfrekvenciás sávban 10^{-11} watt körül lenne a zaja, de ugyanebben a nagyságrendben van az a teljesítmény is, amelyet egy dinamikus mikrofon szolgáltat közepes hangerőnél. Nagyothallóerősítőkben a múltban mégis alkalmaztak tústranzisztorot, de itt keskeny sávban érzékeny, jó hatásfokú mikrofont kombináltak válogatott kis zajú tranzisztorpéldányokkal. Rétegtranszisztorokat viszont minden további nélkül lehet alkalmazni.

Rádióvevőberendezésekben a keverés kristálydiódával vagy keverőtranzisztorral történhetik. Előbbi esetben a középfrekvenciás zajt kell figyelembe vennünk, mert a dióda zaja csekély. Mivel a sáv itt egy oktávnak kb. 1/30-ad része, a zaj 3×10^{-14} watt lenne. A keverő gyengítés miatt ez legalább 10^{-13} watt antenna teljesítménnyel egyenértékű, ami kb. 20 μ V feszültségű jelnek felel meg. Ha azt akarjuk, hogy a készülék kimenetén ez még ne legyen hallható, a készülék érzékenységét kis értéken, kb. 1 mV-on kell tartanunk. Keverőtranzisztor esetében hasonló eredményre jutunk.

A piacon levő rétegtranszisztorokat csupán kisfrekvenciás használatra ajánlják, így az összehasonlítás ezekkel céltalan.

A laboratóriumi kísérletezés stádiumában levő maratott tranzisztorok azonban nagyfrekvenciás erősítésre is alkalmasak, zajuk pedig legalább olyan csekély, mint a rétegtranszisztoroké. Ezekkel tehát, ha majd kifejlődnek, valószínűleg ugyanolyan érzékeny vevőkészülékeket lehet szerkeszteni, mint csövekkel.

Hozzászólásom következő részében szeretnék kitérni arra a kérdésre, hogy milyen módon befolyásolja a tranzisztor az elektroncsövek jövő perspektíváját. Az a nézetem, hogy óvakodnunk kell kétféle túlzástól. Nagy hiba lenne a forrongásban levő tranzisztor kutatás eddigi eredményeit egyszerűen szembeállítani a műszaki tökéletesség jelentős fokát elért elektroncsövekkel. De ugyanilyen, vagy még nagyobb hiba lenne, ha lezártuk tekintenénk az elektroncsövek fejlődését és viszont velük szemben a tranzisztoroknál biztosítottak

tekintünk mindenféle kitűnő tulajdonságot, amit csak elképzelhetővé tesz valamilyen sikeres kísérlet vagy elméleti meggondolás.

A józan megítéléshez figyelembe kell vennünk azt, hogy minden kialakult technikai eszköz további fejlődésére óriási ösztönző hatást gyakorol egy új, hozzá némileg hasonló eszköz megjelenése. Közismert pl., hogy az új mikrobarázdás hanglemezek tökéletes technikáját a magnetofon megjelenésének hatására dolgozták ki. Nyilvánvaló, hogy a tranzisztor megjelenése kényszeríteni fogja az elektroncső-ipart, hogy eleget tegyen az áramfogyasztás csökkentésére, az élettartam növelésére és a paraméterek állandóságára vonatkozó követelményeknek.

Ami a felhasználást illeti, bizonyos hogy a tűstranzisztor az erősítés-technikában mind az elektroncsővel, mind pedig saját testvérével, a rétegtranzisztorral szemben hátrányban van.

Vitán felül állnak azonban kapcsolóelemként való alkalmazásának nagy előnyei, amelyekre az előadás rámutatott. Kétségtelenül nagy elterjedést fognak ezek biztosítani számára az automatizálásban és a telefontechnikában.

A rádióvételektechnikában vitán felül állnak a rétegtranzisztor és különösen a felületi gáttranzisztor előnyei. Hordozható kis készülékekben feltétlenül kiszorítják a csövet. Különösen áll ez kis katonai, rendőrségi készülékekre és általában rövid távolságú vevőkre. Nem látom ilyen egyszerűnek a helyzetet a szórakoztatás célját szolgáló nagy, telepített vevőkészülékekénél. Ezeknek a működésében ma már legfontosabb a számos kényelmi berendezés, amely az utolsó évtizedek során kialakult.

Természetes, hogy mindezeket a műszaki problémákat megfelelő számú tranzisztor alkalmazásával valahogyan meg lehet oldani, bár a keresztemoduláció, intermoduláció és egyéb hibák elkerülésével a tranzisztortechnika eddig keveset foglalkozott. A tranzisztor egyik vonzó tulajdonsága azonban éppen elvi egyszerűsége: az hogy lényegében pontszerű valami. De épp ezért nem lehet paramétereit, műszaki tulajdonságait olyan mértékben variálni és a feladatokhoz alkalmazni, mint az elektroncsövet. Így hát nyilván csak nagyobb számú tranzisztor alkalmazásával lehet azokat a műszaki tulajdonságokat biztosítani, amelyeket a vevőkészülék kevesebb csővel is elér.

Ehhez járul az erősítés kérdése. Bár a rétegtranzisztor erősítése elvben 40 dB körüli van, ami nem áll messze a pentódáknál szokásos 50 dB körüli teljesítményerősítéstől, figyelemmel kell lennünk az előadó által kiemelt hibára, a munkapont vándorlásra és a hőmérsékleti érzékenységre. Ennek következtében negatív visszacsatolásra kell áldozni az erősítés jelentékeny részét. Ez tovább fokozza a szükséges tranzisztorok számát, ami azért is jelentős, mert magával hozza az egyéb alkatrészek számának növekedését is.

A csekélyebb áramfogyasztás nem jelent komoly előnyt sok tranzisztoros készülék számára, hiszen a helyhez kötött készülékek legnagyobb része hálózatról működik.

Véleményem természetesen egyáltalában nem jelenti azt, mintha a tranzisztorok leendő elterjedését alábecsülném. Ellenkezőleg azt gondolom, hogy a tranzisztorok előnyei folytán az elektronika be fog vonulni a technika és a mindennapi élet rengeteg új területére, sőt ennek során valószínűleg még további új alkalmazási területek nyílnak összetettebb berendezésekben a különleges elektroncsövek számára is. Erre az új helyzetre fel kell készülnünk. A legközelebbi évek mind az elektroncső, mind a tranzisztorkutatás terén döntőek lesznek.

Kötelességünk az, hogy mindkét irányban a legnagyobb erőt fejtjük ki. Csak így fogjuk méltóan megállni helyünket a nemzetek nagy versengésében.

KISS ERNŐ

Elektroncsöves erősítőkhöz hasonlóan tranzisztor erősítőknél is döntő fontosságú az erősítő alapzaja, mert végső fokon ez szabja meg a legkisebb, még erősíthető jel nagyságát.

A tranzisztorok zajára vonatkozó ezen rövid megjegyzés után szeretnék kitérni néhány olyan eredmény ismertetésére, amely a hazai tranzisztor fejlesztés irányára kihatással lehet a jövőben.

Mint az előzőkből kitűnik, a rétegranzisztorok zajszáma kb. 35 dB-el kisebb, mint a tústranzisztoroké. Ennek következtében többfokozatú, nagy érzékenységgű erősítőben a rétegranzisztorok egyre jobban kiszorítják a tústranzisztorokat és felhasználásuk olyan területre korlátozódik, ahol zajosságuk nem zavar, pl. áramkörüi kapcsolási célokra.

A rétegranzisztorok frekvenciaátvitel szempontjából ma még a tústranzisztorok mögött elmaradnak, de a fejlődés ezen a területen is rendkívül gyors. Évenként csaknem egy tízes nagyságrenddel emelkedett a rétegranzisztorok felső határfrekvenciája megjelenésük óta és így várható, hogy a közel jövőben a rétegranzisztorok ezen a területen is sikerrel felveszik a versenyt a tústranzisztorokkal.

A rétegranzisztorok felső határfrekvenciájának kiterjesztésében jelentős lépés volt a modern elektrolitikus maratási eljárással készült nagyfrekvenciás tranzisztor trióda és az új, javított tranzisztor tetróda kidolgozása.

Röviden még az ún. analóg tranzisztor szeretném megemlíteni. Ez szintén rétegranzisztor és lehetséges, hogy a fenti rétegranzisztor-típusokkal együtt jelentős szerepe lesz a tústranzisztor kiszorításában. Az analóg tranzisztor tulajdonságai nagyon hasonlítanak az elektroncsövek köréből ismert feszültség-erősítő pentódáéhoz, innét is ered a neve. A bemenő impedanciája néhány Mohm nagyságrendű, szemben a többi tranzisztor típus néhány száz ohm nagyságú bemenő impedanciájával és egyéb tulajdonságai is hasonlítanak a pentódáéhoz. Meredeksége 0,7 mA/V körül van. Amennyiben a tömeggyártását technikailag sikerül gazdaságosan megoldani, feltétlenül számítani lehet a nagymérvű elterjedésére.

Az eddigiek alapján várható, hogy már a közel jövőben is, a fejlesztés és a tömeges felhasználás a rétegranzisztorok felé tolódik el, s a tústranzisztorok részben zajosságuk, részben pedig nehéz összeszerelhetőségük következtében egyre inkább háttérbe szorulnak. Még olyan területen is, mint pl. az áramkörök kapcsolása, új versenytársuk jelentkezett az ún. kettős bázisú diódával, amely a rétegranzisztorokhoz hasonló technológiával készül.

Hazai tranzisztor fejlesztésünk eddig csak tústranzisztorok előállításával foglalkozott, mint az elhangzott beszámolókból kitűnik. Amennyiben felsőbb szerveink a közel jövőben nagyobb mértékben kívánják fejleszteni a híradástechnikai kutatómunka ezen területét, feltétlenül szükségesnek tartom a rétegranzisztorok előállítására irányuló kísérletek megindítását.

Ha lépést akarunk tartani felhasználás területén a külfölddel, nem elegendő a szakirodalom tanulmányozása, hanem nagyobb híradástechnikai vállalataink fejlesztési osztályainak módot kell nyújtani a kísérletezésre is.

Végül fontosnak tartom megemlíteni a miniatürizálás kérdését. Külföldi tranzisztoros készülékek tervezésénél a legnagyobb mértékben kihasználják a tranzisztorok kis méretei által adott lehetőségeket és igen kis méretűek a felhasznált telepek, ellenállások, kondenzátorok, transzformátorok is. Ezen alkatrészek miniatürizálása azonban csak megfelelő alapanyagok biztosításával oldható meg.

SZABÓ NÁNDOR, a műszaki tudományok kandidátusa

Klatsmányi Árpád értékes előadásához a következőket kívánom hozzáfűzni:

1. Az amerikai irodalomban megjelent cikkeket kellő óvatossággal tanulmányozzuk, mert azokban számos súlyos tévedés fordul elő.

2. A rétegtranzisztorok kidolgozása sokkal égetőbb, mint ahogy azt az irodalom tanulmányozása alapján vélhetnők, mert ezek teljesítőképessége lényegesen nagyobb az ismertettnél. Így pl. a gyakorlati alkalmazhatóság felső frekvenciahatárát néhány száz kHz-ben szokás megadni. Ezzel szemben laboratóriumban sikerült aránylag régi típusú (CK 722 sz. Raytheon-gyártmányú) tranzisztorral 5 MHz-es rezgést előállítani, ami azt mutatja, hogy ezen a frekvencián még lehet erősíteni. A tranzisztorok bemenő ellenállása általában kicsi, ami sok áramkörben kellemetlen. De nem túlnagy (legalább pár száz kHz) frekvenciáig ezen megfelelő áramkörrel, elsősorban az emitter-áramkörbe helyezett ellenállással könnyen segíthetünk. Így pl. könnyen készíthetünk 300 kHz-ig működő, legalább 20 kohm bemenő ellenállású »jel-másolót«. (Ez az áramkör az elektroncsöves katód-erősítő ekvivalense.)

3. Megfelelő áramkörökkel, számos irodalmi adattal ellentétben, a földelt-emitteres kapcsolással nagy frekvenciákon is nagyobb erősítést érhetünk el, mint földelt-bázisú áramkörrel. Ennek oka az, hogy a nagyobb erősítésből többet használhatunk fel kiegészítő áramköri elemekben.

WINTER ERNŐ levelező tag

Klatsmányi docens előadását nagyon szép összefoglalónak tartom, nagyon nagy anyagot dolgoz fel nagy alaposággal. Nem szeretnénk azonban, ha a konferencia résztvevői és a felsőbb szervek jelenlevő képviselői ezen nagyon optimisztikus hangú megnyilatkozás után olyan benyomással távoznának el innen, mintha most már a csövekkel foglalkozni sem kellene.

A tranzisztor gyártásban óriási nehézségek vannak, még hatalmas a kiesés és jó néhány év fog beletelni, mire odáig jutunk el, hogy a tranzisztorok nagyarányú bevezetéséről szó lehessen. Én az első pillanattól kezdve a leg-erősebben szorgalmazója voltam annak, hogy ezzel foglalkozni kell. Viszont csatlakozom Valkó kartárshoz abban, hogy amíg a tranzisztorok tényleg odáig fejlődnek ki, hogy tömegesen válnak használhatókká, a csövek is fognak egy lépést előre tenni.

Egyébként én magam is végső kifejlésként 60–70%-ra becsülöm a tranzisztor bevonulását az elektronikába.

KLATSMÁNYI ÁRPÁD válasza a hozzászólásokra

Először Valkó kartárs hozzászólásához szeretnék annyit hozzáfűzni, hogy a zajméréssel a tranzisztorok körében Magyarországon ő foglalkozott először és mondhatni egyedül. Ő volt tehát illetékes ennek a kérdésnek az ismertetésére és igen jól és velem egyetértően teljesen ismertette is.

A tranzisztorok térfoglalásával kapcsolatos vita elég élesen kibontakozott. A csövek és a tranzisztorok közötti harc véleményem szerint úgy fog alakulni, hogy a kis csőszámú, főleg a hálózati készülékekben a tranzisztor a csövet nem fogja kiszorítani. A tranzisztor egyszerű felépítése és aránylag egyszerű működési funkciói nem minden esetben adnak módot arra, hogy például a fadingszabályozást és egyéb problémákat könnyen megoldjon. Nagy fokozatszámú készülékekben azonban — még ha a csövek bizonyos előnyöket nyújtanának is — az üzembiztonság, élettartam és üzemeltetés kérdései feltétlenül a tranzisztorok mellett döntenek. Ilyen esetben ugyanis a gazdaságosság követelményeit valószínűleg jobban kielégítik a tranzisztoros készülékek.

Tehát végeredményben mind a két eszköz meg fogja találni a maga legideálisabb alkalmazási területét. Hogy ez hogy fog megoszlani, erre nézve jóslgatni ma még túlzottan merésznek kellene lennünk, hiszen a tranzisztorok kialakulását, de talán még a csövek fejlődését sem látjuk teljes egészében magunk előtt.

A zajproblémákhoz azt szeretném még hozzáfűzni, hogy a tústranzisztoroknak — amint előadásomban igyekeztem többször is kifejtetni — főleg az impulzustechnikai áramkörökben, az oszcillátor áramkörökben van meg a létjogosultsága, és ma még kénytelen kellelten alkalmazzák nagyfrekvenciákra is. Amennyiben a nagyfrekvenciás rétegranzisztor a jövőben nagyobb példányszámban piacra kerül, el fogja foglalni ezeket az alkalmazási területeket és a tústranzisztorok a maguk nagy zajával visszavonulnak arra a területre, ahol a zajnak semmi jelentősége nincs, mert egy impulzustechnikai áramkör vagy oszcillátor zaj szempontjából nem igényes készülék.

A tranzisztor tetródára és az analóg tranzisztorra vonatkozó megjegyzését Kiss kartársnak köszönettel veszem. Az analóg tranzisztoroknál a tértöltés effektusa is van és hasonló karakterisztikát mutat egy elektroncsőéhez, az elrendezése is nagyon hasonló. Azt lehet mondani, hogy a szabad elektron vákuumban való mozgása helyett a kötött elektronnak anyagok belsejében való mozgását valósítja meg, majdnem azonos geometriákkal. Az analóg tranzisztor előállításának drágasága miatt nem valószínű, hogy el fog terjedni, és nem valószínű, hogy azokért a kisebb előnyökért, amelyeket a működő csövekkel szemben esetleg lehetséges velük elérni, gyártani fogják őket. Úgy látszik, hogy a rétegranzisztor, illetve a modernebb gyártású felületi tranzisztor fogja nagyrészt uralni a tranzisztorok helyzetét.

Amit Szabó kartárs a határ-frekvenciáról és a bemenő impedanciáról mondott, azt köszönettel veszem. Winter Ernő akadémikus hozzászólására azt hiszem Valkó kartárs hozzászólásával kapcsolatban megfelelttem. Winter akadémikussal egyetérték abban, hogy a jövő fejlődése fogja megszabni azt, hogy mennyiben kerül alkalmazásra tranzisztor és mennyiben cső. Egyébként, hogy az én felfogásommal ő is teljesen egyetért, az abból látszik, hogy a százalékértékek, amelyeket mondottunk, jóformán teljesen meg is egyeztek.

Ennyiben kívántam a hozzászólásokra válaszolni.

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója — Műszaki felelős: Farkas Sándor

A kézirat beérkezett: 1955. IV. 20 — Terjedelem 14 $\frac{1}{2}$ (A $\frac{1}{2}$) ív, 45 ábra

36912/55 Akadémiai Nyomda, V., Gerlőczy-u. 2. — Felelős vezető: ifj. Puskás Ferenc

TARTALOMJEGYZÉK

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya
és a Híradástechnikai Tudományos Egyesület 1954. május 6., 7. és 8-án rendezett
Híradástechnikai Konferenciájának anyaga

<i>Osztrovski György</i> : Megnyitó	3
A Híradástechnikai Konferencia határozata	5
<i>Winter Ernő</i> : Az elektroncsövek fejlődésének irányai	7
<i>Bognár Géza</i> : A mikrohullámú rádióösszeköttetések elektroncső-követelményei	17
H o z z á s z ó l á s o k	23
<i>Valkó Iván Péter</i> : Haladóhullámú csövek perspektívája a mikrohullámú technikában ..	29
H o z z á s z ó l á s o k	37
<i>Dallos András</i> : A turbátor működéséről	45
H o z z á s z ó l á s o k	56
<i>Winter Ernő</i> : Szekunderemissziós jelenségek nagy feszültségen működő vákuumcsövekben (Kivonat)	58
<i>Sebestyén L. Gábor és Váradí F. Péter</i> : Rádiófrekvenciás tömegspektrométer néhány vákuumtechnikai alkalmazása	59
H o z z á s z ó l á s o k	80
<i>Koncz István</i> : Titánfém mint vákuumtechnikai szerkezeti anyag	85
H o z z á s z ó l á s o k	96
<i>Millner Tivadar</i> : Beszámoló a wolfram területén végzett kutatásokról	99
H o z z á s z ó l á s	110
<i>Barta István</i> : Televíziós berendezések elektroncső-igényei	117
H o z z á s z ó l á s o k	124
<i>Zakariás Imre</i> : Különleges erősítőcsövek televíziós készülékekben	127
<i>Magó Kálmán</i> : Televíziós képközlő és képfelbontócsövek kérdései	131
H o z z á s z ó l á s	141
<i>Szigeti György</i> : A tranzisztor	143
H o z z á s z ó l á s o k	155
<i>Klatsmányi Árpád</i> : A tranzisztorok felhasználásának kérdései	161
H o z z á s z ó l á s o k	163

A MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
HEVESI GYULA

XVI. KÖTET

2-4. SZÁM

*A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya
1954 október 4-, 5- és 6-án megtartott Méréstechnikai Kongresszusának előadásai*
**RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLAT
A VAS- ÉS FÉMIPARBAN**



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
BUDAPEST, 1955

VI. OSZT. KÖZL.

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
HEVESI GYULA

XVI. KÖTET, 2-4. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG: BUDAPEST, V., SZÉCHENYI RAKPART 3.
KIADÓHIVATAL: BUDAPEST, V., ALKOTMÁNY UTCA 21.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

Kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei
Budapest, V., Széchenyi rakpart 3.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Minden szerzőt száz különlenyomat illet meg megjelent munkájáért. Közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttat a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért, vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként belföldi címre 40 forint, külföldi címre 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest, V., Alkotmány u. 21. Magyar Nemzeti Bank egy számlaszám: 04-878-111-46), külföldi megrendelések a »Kultúra« Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest, VI., Sztálin út 21. Magyar Nemzeti Bank egy számlaszám: 43-790-057-181) útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

Acta Technica

című idegen nyelvű folyóirat.

E lap hivatott a magyar műszaki tudományok eredményeinek legjavát a külföld felé tolmácsolni. A cikkek orosz, német, angol vagy francia nyelven jelennek meg, lehetőleg a szerző kívánsága szerint, összefoglaló pedig a cikk nyelvén és azonkívül a másik három nyelven. Cikkeket magyar, vagy a szerző választotta idegen nyelven a következő címre kell beküldeni:

Acta Technica szerkesztősége, Budapest, V., Széchenyi rakpart 3.

MEGNYITÓ

OSZTROVSZKI GYÖRGY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA LEVELEZŐ TAGJA, FŐTITKÁRA

Tisztelt Kongresszus!

Üdvözlöm a megjelenteket, vendégeinket: a Szovjetunió Tudományos Akadémiája küldöttségének tagjait: J. K. *Szokolov* akadémiakust, N. P. *Rajevszkijt*, a műszaki tudományok doktorát, N. D. *Genkint*, a műszaki tudományok kandidátusát. Üdvözlöm William *Wooster* doktort, a cambridgei egyetem tanárát és feleségét, Nora *Woostert*; a Bolgár Tudományos Akadémia kiküldöttét, Emil *Dzsakov* professzor levelező tagot; a Csehszlovák Tudományos Akadémia küldöttségét: Dr. Adéla *Kochanovska* docenst, Ing. Dr. Miroslav *Baimlert* és Miroslav *Rossival* professzort. Üdvözlöm a Lengyel Tudományos Akadémia küldötteit: Ignaty *Maleczky* professzor levelező tagot és Filipcsinszky *Leszeket*, a műszaki tudományok kandidátusát. Üdvözlöm a Német Tudományos Akadémia küldöttségét: Dr. Ernst *Schiebold* professzort, Dr. Hansgeorg *Laporte* professzort, Dr. Rudolf *Ritschl* akadémiakust, Dr. Alfréd *Eckardt* professzort és Dr. Ing. Karl *Hormuthot*. Üdvözlöm a Román Tudományos Akadémia kiküldötteit: Dr. Elie *Carafoli* akadémiakust és Bogdan *Radut*, a műszaki tudományok kandidátusát.

Az új kormányprogram többek között célul tűzte ki a magyar ipar termékeinek minőségi megjavítását. Ennek a célnak elősegítése érdekében rendezi Akadémiánk Műszaki Tudományok Osztálya ez évi Méréstechnikai Kongresszusát.

Kongresszusunk a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek kérdéseit vitatja meg, elsősorban azokat, amelyek a vas- és fémiparban kerülnek alkalmazásra. A roncsolásmentes anyagvizsgálatnak a korszerű ipari gyártásban döntő jelentősége van. Ez megnyilvánul Kongresszusunk külföldi résztvevőinek feltűnő érdeklődésében is, amely arra mutat, hogy ez a kérdés nemcsak hazánkban, hanem külföldön is a kutatás homlokterében van. A roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek kidolgozása terén még nagyon sok a tennivaló és sok feladat vár megoldásra. Ebből a munkából a hazai kutatás már eddig is nagymértékben kivette részét. A Magyar Tudományos Akadémia, felismerve a mérés-technika döntő jelentőségét a műszaki kultúrában, a

baráti államok közül elsőnek létesítette Méréstechnikai és Műszerügyi Intézetét.

A magyar ipar a felszabadulás óta nagy utat tett meg. Új iparágak keletkeztek, megsokszorozódott a dolgozók száma. Ebben a fejlődésben a hazai műszeripar jelentős helyet biztosított magának. A fejlődés annál figyelemre méltóbb, mert a felszabadulás előtt — nem tekintve két középnagy, optikai és erősáramú villamos műszereket előállító gyárunkat — mérőműszertermelésünk jelentéktelen és kisipari jellegű volt. A felszabadulás után egymás után létesültek hazánkban olyan műszergyárak, melyek nagyüzemi módszerekkel sorozatban állítják elő a mechanikai, optikai, elektromos, elektronikus és üzemgazdasági műszereket. Az iparág fejlődésére jellemző, hogy a műszeriparban foglalkoztatottak létszáma 1952-ben három és félszerese, a termelés pedig hétszerese volt az 1950. évinek. Műszeriparunk gyártmányainak 30%-a került 1953-ban exportra.

A műszeripar azonban így sem tudja kellően kielégíteni a jelentkező igényeket és ennek következtében iparunk általános műszerezettségi foka nem érte el a szükséges mértéket. Akadályozza a fejlődést továbbá a megfelelő méréstechnikai káderek hiánya és az általános méréstechnikai képzetlenség, amely ipari kultúránk elégtelen színvonalának következménye.

Ezen az állapoton sürgősen javítanunk kell. Erre kötelez bennünket a magyar műszerkutatás nagyhírű múltja, amelynek olyan képviselői voltak, mint Eötvös Loránd, a Magyar Tudományos Akadémia tagja, aki torziós-ingájával világhírt szerzett a magyar névnek, éppen úgy, mint *Bláthy, Zipernovszky, Kruspér* és annyian mások.

A műszerkutatásnak azonban nemcsak a múltban, hanem napjainkban is kiváló művelői vannak, akiket világszerte jól ismernek, mint *Tárczy-Hornoch* Antal akadémikus, *Bárány Nándor* lev. tag, *Szalay Sándor* lev. tag, *Ács Ernő* Kossuth-díjas, de felsorolhatnám még számtalan kiváló kutató nevét, akik eredményesen dolgoznak a magyar műszeripar fejlesztésén.

A felszabadulás után újjászervezett Tudományos Akadémiánk ennek a kérdésnek mindig a legnagyobb jelentőséget tulajdonította és első feladatai közé tartozott a Méréstechnikai Főbizottság megszervezése. A Főbizottság munkája nyomán, a Műszaki Tudományok Osztálya első intézeteként alakult meg a Méréstechnikai és Műszerügyi Intézet, valamint a tudományos kutatás megsegítésére az Akadémia Kutatási Eszközök Kivitelező Vállalata.

A Méréstechnikai Főbizottság 1952 őszén rendezte első Méréstechnikai Kongresszusát és ugyanakkor kiállításon mutatta be az Akadémia a magyar műszeripar fejlettségét.

Hazai műszeriparunk ma már olyan kutatóintézetekre támaszkodhatik, mint az Akadémia Központi Fizikai Kutató Intézete, az Akadémiai Méréstechnikai Intézet, a Műszeripari Kutató Intézet és az Optikai és Finommechanikai Központi Kutatólaboratórium.

Az alig két éves Méréstechnikai Intézet máris igen komoly eredményeket ért el, amit meggyőzően bizonyít a Kongresszuson elhangzó előadások sora, amelyek az intézet tudományos munkatársainak eredményeiből adódnak.

A tudományos kutatás megsegítésére a Méréstechnikai Intézet keretében kölcsönműszerparkot is létesítettünk, mely meglepő eredményességgel tölti be hivatását és a legkülönbözőbb kutatóintézeteket olyan műszerek kölcsönadásával segíti ki, melyek hiányában témáikat több évi késéssel tudnák csak ki-dolgozni. A f. évben a mintegy 5 millió forint értékű műszerpark kikölcsön-zésével 13 millió forint értékű, egyébként mellőzhetetlen beruházást takarít-tottunk meg népgazdaságunk számára.

Az Intézet nyilvántartásba vette a Magyarországon található ritka egyedi műszereket, amivel széleskörű kooperáció lehetőségét teremtette meg az egyes kutatóintézetek között.

Ezt a szervezetet a baráti államok közül mi létesítettük elsőnek és hasonló intézmény létesítése több baráti államban még csak most van folya-matban.

Az ipar általános minőségi kérdéseinek hivatott őre az Országos Mérés-ügyi Hivatal. Feladata a mérőműszerek hitelességének biztosítása. Hogy erre az intézményre milyen nagy szükség van, mi sem bizonyítja jobban, mint azok a példák, amelyek a Hivatal ellenőrző működése során kiderültek, hogy pl. a legnagyobb kohászati üzemekben használt hőmérsékletmérő műszerek úgyszólván kivétel nélkül 100—200 C° eltérést mutattak. Sajnos, a Hivatal még mindig nincs tökéletesen kiépítve, aminek elvégzése egyike legsürgősebb feladatainknak.

A jelentkező igények kielégítésére a Budapesti Műszaki Egyetemen megszerveztük a műszermérnöki szakot, amelyen nappali és esti tagozaton neveljük mérés technikai szakembereinket. Távrolról sem kielégítő azonban a középfokú káderek képzése: nincs önálló műszertechnikum, de nem fordítunk kellő súlyt műszerész képzésünkre sem. Égető hiány van üvegtechniku-sokban és az Akadémia, valamint a Kohó- és Gépipari Minisztérium több éven keresztül folytatott harca ellenére ez a kérdés még most is megoldatlan.

A műszeriparnak hazai viszonyaink között döntő jelentősége van. Ma már olyan műszeripari üzemekkel rendelkezünk, mint az Elektronikus Mérő-műszerek Gyára, az Elektromos Készülékek és Mérőműszerek Gyára, a Mecha-nikai Mérőműszergyár, a Laboratóriumi Felszerelések gyára, az Anyagvizsgáló Készülékek gyára, a Kaliber-gyár, az új Mérleggyár, az Óragyár, az Orvosi Műszergyártó Egyesülés, a Geofizikai Műszergyár stb. A felsorolt üze-mek közül több már a legkorszerűbb módon épült fel első öt éves ter-vünk során.

Jelentős műszergyártás folyik még a Magyar Optikai Művekben, a Gam-mában és a Ganz árammérőgyárban. Egyedi és kisszériájú műszereket gyárt számos ipari műszerész-szövetkezet is.

Üzemeink számos olyan műszerfajtát készítenek, amelyeknek nagy külföldi piaca van. Itt elsősorban kell megemlítenem a geofizikai és carrotage-műszereket, a különböző fajtájú árammérőket, fiziko-kémiai műszereket és eszközöket és az elektronikus mérőműszereket.

Műszeriparunknak — mint munkaigényes iparnak — a finommechanikai és híradástechnikai iparágakkal együtt exportunk gerincét kell képeznie. Ennek érdekében azonban parancsolóan szükséges, hogy műszeriparunk gyártmányai minden tekintetben megüssék a nemzetközi mértéket. E célból kell fokozott erőfeszítéseket tennünk mind a kutatás, mind az ipar fejlesztése terén.

Midőn azon meggyőződésnek adok kifejezést, hogy a Kongresszus résztvevői legjobb tudásukkal és igyekezetükkel kívánják ezt a munkát elősegíteni, biztos vagyok abban, hogy ez a Kongresszus olyan eredményekkel zárul, amelyek jelentős mértékben fognak segítséget nyújtani kormányunknak és pártunknak a szocializmus építésére irányuló hatalmas erőfeszítésében.

Meg vagyok győződve arról, hogy a Kongresszus eredményei hathatósan szolgálják majd az új kormányprogram végrehajtását is, amennyiben olyan hatalmas erőforrásokat fognak feltárni, amelyek jelentős mértékben mozdítják elő a dolgozó nép életszínvonalának emelését.

Ebben a hitben és meggyőződésben, jó munkát kívánva mindannyiok számára, a Kongresszust megnyitom.

RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLAT A VAS- ÉS FÉMIPARBAN

GILLEMOT LÁSZLÓ

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA LEV. TAGJA

A roncsolásmentes vizsgálatokon alig egy évtizeddel ezelőtt az iparban csak az anyagvizsgálatnak azt a fajtáját értették, amely az anyagban levő folytonossági hiányok (zárványok, repedések) kimutatására volt alkalmas. Ez a fogalomkör az utolsó 10—15 év alatt jelentősen kibővült és ma a roncsolásmentes vizsgálatok tulajdonképpen két nagy csoportra: a belső folytonossági hiányok kimutatására irányuló hibakereső anyagvizsgálatokra és az anyag belső szerkezetére vonatkozó szerkezetvizsgálatokra oszthatók fel. Nem céлом az itt következő rövid összefoglalóban az egyes eljárások fizikai alapjainak részletes ismertetése, vagy akár az eljárások rendszerbe foglalása és áttekintése. Csupán arra törekszem, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálatok hazai állásáról képet adjak. Egyben néhány példán bemutatom, hogy ezek a vizsgálatok a magyar ipar szempontjából hogyan használhatók fel és legalábbis a leglényegesebb vonásokban mik legyenek a kutatás leendő fő irányai.

A belső folytonossági hibák kimutatására szolgáló vizsgálatok ma lényegileg három nagy csoportba sorolhatók. Ezek: a röntgensugárzással, illetőleg újabban a mesterséges rádióaktív anyagokkal folytatott vizsgálatok, az ultrazónikus anyagvizsgálat és a mágneses vizsgálatok. Mind a három fajta vizsgálatnak közös célja az anyagban levő folytonossági hiányok kimutatása. Ahhoz tehát, hogy ezek értékéről, alkalmazási területéről és ezen keresztül általános felhasználhatóságukról véleményt lehessen mondani, elsősorban tisztázni kell azt, hogy a fejlődés jelen állapotában milyen méretű anyagokra, és milyen hibafelismerési lehetőségekkel alkalmazhatók. Ebből önként következik már az ipari felhasználás köre, valamint a fejlődés további irányai.

A három csoport közül Magyarországon jelenleg legjobban a röntgenvizsgálat van elterjedve, igen sok üzemünkben van ultrahang anyagvizsgáló készülék; anélkül azonban, hogy ezeknek széleskörű használatáról lehetne beszélni, míg a mágneses vizsgálatok közül széles körben nálunk csak az ún. mágneses repedésvizsgálatot alkalmazzák.

A múltban Magyarországon a röntgenvizsgálatok ipari alkalmazása terén elég jó eredményeket ért el. Röntgenvizsgálati technikánk fejlettségének

volt köszönhető, hogy a háborúban elpusztult hídjaink helyett sok nagy-fesz-távolságú hegesztett hídszerkezet elkészülhetett. A vezető ipari államok röntgen-, illetve rádióaktív sugárzással folyó vizsgálataival szemben a mi vizsgálati módszereink és készüléktípusaink ma már nem mondhatók korszerűeknek. Ezért legfontosabb tennivalónk, hogy a külföldön már gyárilag is alkalmazott újabb módszereket mi is minél szélesebb körben alkalmazzuk.

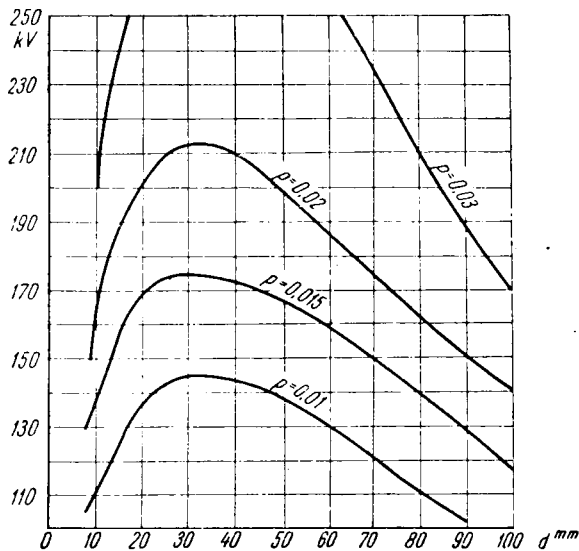
A röntgenvizsgálat alkalmazási határait két tényező szabja meg. Az egyik a röntgennel átvilágítható próbatest vastagsága, amelynek felső határa 250—300 KV csúcshőfeszültségű röntgenkészüléknél 100 mm vastag acélpróbatess. Ennél nagyobb falvastagság röntgennel gazdaságosan már nem világitható át, vagy pedig olyan különleges nagyfeszültségű berendezésre van szükség, amelynek gyakorlati alkalmazása gazdaságosnak vagy célszerűnek egyáltalában nem mondható. A hibának röntgenvizsgálattal elérhető felismerhetőségét két tényező szabja meg. Az egyik a sugárzás hullámhossza, amit — tekintve, hogy a röntgensugárzásból egész spektrum lép ki — célszerűbb az anód-feszültséggel jellemezni, a másik tényező pedig a vizsgálat geometriai elrendezése. Minél nagyobb a csőfeszültség, vagyis minél keményebb a röntgensugárzás, annál inkább romlik a hiba felismerhetősége. Megfordítva viszont: minél keményebb a sugárzás, annál inkább rövidíthető a megvilágítás ideje, tekintve, hogy a keményebb sugárzás kevésbé nyelődik el az anyagban. Ha pusztán csak ezt a feltételt vesszük figyelembe, akkor két ellentétes szempont-hoz lehet jutni. Nagyobb csőfeszültség alkalmazásakor a vizsgálat ideje csökken, viszont a hiba felismerhetősége is romlik. A lágy sugárzás, vagy ami ezzel egyenértékű, kis csőfeszültség alkalmazásával a hiba felismerhetősége javul, viszont olyan hosszú felvételi idők adódnak, ami az eljárás gazdaságosságát rontja. Még 1941-ből származó vizsgálataim szerint minden anyagvastagsághoz meghatározható az a legkedvezőbb csőfeszültség, amely meghatározott méretű hibának a felismeréséhez még éppen elegendő. Legyen a továbbiakban h az anyaghibának a röntgensugárzás irányába eső mérete, d a vizsgálandó anyag vastagsága, p pedig egy arányossági tényező, amely megadja, hogy a legkisebb még felismerhető hiba hányadrésze a falvastagságnak. Tehát

$$p = \frac{h}{d}.$$

Az alkalmazható csőfeszültséget az anyagvastagság és p , mint paraméternek a függvényében ábrázolva, az 1. ábrán látható görbék adódnak. A görbék jellegeből könnyen leolvasható, hogy az anyagvastagság 1,5%-át kitevő hibák vizsgálatához legfeljebb 180 KV feszültségű berendezésre van szükség. Ennél nagyobb feszültségű berendezés az átvilágítás idejét ugyan természetesen megrövidíti, nagyobb falvastagság vizsgálatát is lehetővé teszi, azonban a

hiba felismerhetősége ekkor már a falvastagság 2%-ára, némelykor a falvastagság 3%-áig is csökken.

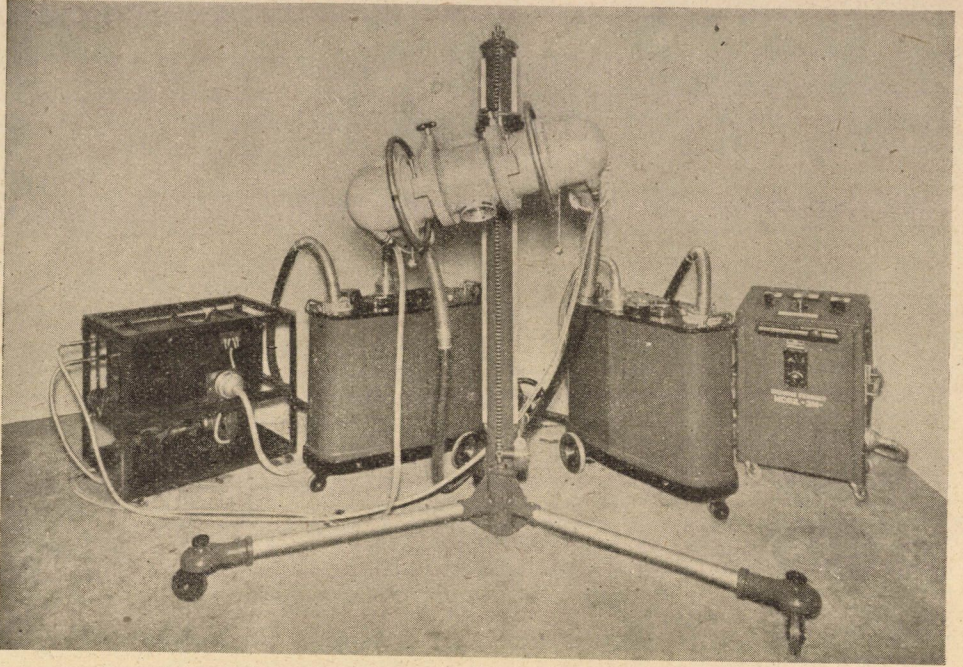
Hasonló jellegű vizsgálatokból adódott az a szabály, hogy acélban 50 mm vastagságig általában a falvastagság 1,5%-át kitevő hibák ismerhetők fel röntgennel, 50–100 mm falvastagságig pedig a falvastagság 2%-át kitevő hibákat lehet kimutatni. A további megfontolások szempontjából tájékozásul szolgálhat az, hogy 100 mm vastag acél esetében 300 KV csőfeszültség és 4 mA anódáram alkalmazásakor is a megvilágítás ideje kereken 1 óra.



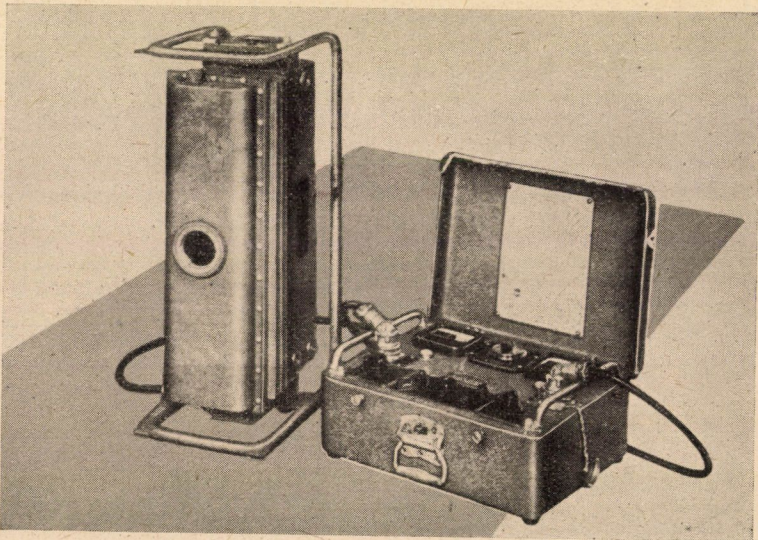
1. ábra

Ugyanakkor 50 mm vastag acélfal és az előbb optimálisnak jelzett 170 kV és 4 mA esetén a megvilágítási idő kereken 5 perc, tehát gazdaságos és elfogadható felvételi idő.

A fenti inkább szemléltető jellegű szám adatok azt mutatják, hogy a röntgenvizsgálatnak mind a gazdaságossága, mind pedig a hiba felismerhetősége a kb. 170–180 kV felső határnál végződik. Az ennél nagyobb feszültségű berendezések az iparban kétségtelenül hasznosak, de alkalmazásuk gazdaságossága az újabb megoldásokkal szemben már vitatható. A régebben általánosan használt 250–300 kV-os készülékek egyik típusát a 2. ábra mutatja. A berendezés főbb jellegzetességei az ólom-burkolattal ellátott röntgen-cső, amelyhez a nagyfeszültségű kábelek tartoznak. A nagyfeszültség előállítására tankokban elhelyezett transzformátorok és egyenirányító berendezések szolgálnak, míg a röntgenkészülék vezérlése az ábra jobb sarkában látható kapcsolóasztalról történik.



2. ábra. MOBIL M-3 anyagvizsgáló röntgenberendezés



3. ábra

Az ilyen típusú berendezések összsúlya igen tekintélyes, és a berendezés egyes alkatrészeinek mozgására, tehát a röntgenső vagy pl. a tankok mozgására egyenként két ember szükséges. Az iparban folyó anyagvizsgálatoknál, lévén a legtöbb feladat ún. helyszíni vizsgálat, a berendezések állandó mozgása a vizsgálat menetét nagyon megnehezíti. Ha az 50 mm-en felüli



4. ábra

vastagságok amúgy is nem gazdaságos, és az 50 mm alatti falvastagságoknál rosszabb hibafelismerhetőséget adó vizsgálatától eltekintünk, szükségképpen következnek, hogy a röntgenvizsgálatok céljára elegendők kisebb feszültségű, olcsóbb és egyszerűbb szerkezetű berendezések. Ilyen pl. a 3. ábrán bemutatott 200 KV-os berendezés, amelynél a nagyfeszültségű egyenáramot előállító részek magával a röntgensővel vannak egybeszerelve. Az egész készüléknek csupán két része van: a kapcsolóasztal és a nagyfeszültségű berendezésekkel egybeszerelt röntgenső. További előnye még az is, hogy hiányzanak a nagyfeszültségű kábelek, amelyek a tapasztalat szerint a röntgenkészülékek legkényesebb és legtöbb zavart okozó alkatrészei. Ezek a készülékek — mint azt a 4. ábra mutatja — igen könnyen mozgathatók és így a helyszíni röntgen-

vizsgálatok követelményeit jobban kielégítik, mint az előbbieken ismertetett nagyobb feszültségű berendezések.

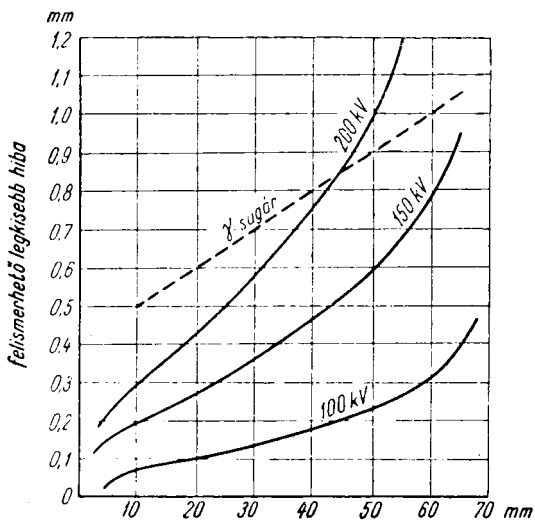
A másik tényező, amit a hiba felismerhetősége szempontjából vizsgálnunk kell, a hiba felismerhetőségének geometriai feltételei. Ha a filmet gyakorlatilag végtelen kicsiny átmérőjű röntgensugárzás éri, akkor ennek a röntgensugárzásnak képe a filmen a film minőségétől és az alkalmazott erősítő ernyőktől függetlenül véges méretű feketedést fog okozni. Ezt a jelenséget belső életlenségnek nevezik, és az elhanyagolható átmérőjű röntgensugárral létesített folt átmérőjével szokás kifejezni. Maga a röntgenfelvétel tulajdonképpen centrális projekció, ha ti. a fókusz méretét végtelenül kicsinek lehet tekinteni. A röntgensövek fókusza azonban általában véges méretű és az a 250–300 kV-os készülékeknél 5–6 mm nagyságrendű. Ez a véges méretű fókusz a röntgenfényképezésnél az anyaghiba képe körül félárnyékot hoz létre, amelyet külső életlenségnek nevezünk. Hogy ez a külső életlenség ne keletkezzék, vagy legalábbis az előbb ismertetett és szükségszerű belső életlenséggel azonos nagyságrendű legyen, ezeket a nagyméretű csöveket a vizsgálandó tárgytól nagyobb távolságra kell elhelyezni, hogy a külső életlenség a belső életlenséggel azonos mértékű lehessen. Ugyanezen okból nem lehetséges ezekkel a csövekkel a kis méretű hibáknak nagyítása a centrális projekcióval nyújtott lehetőségek szerint. Ebből következik tehát, hogy a kisebb anyaghibák felismerésénél az ún. finom fókuszú csövek felé kell törekedni annak érdekében, hogy a röntgenképeken elérhető felismerhetőséget tovább lehessen javítani.

A kérdés további részletekbe menő vizsgálata helyett tehát azt a következtetést lehet levonni, hogy a röntgenvizsgálat alkalmazási területe acélon kb. 50 mm falvastagságig terjed. Ennek vizsgálatára 180–190 kV feszültségű berendezés teljesen elegendő. Ilyen berendezés — mint az előbbiekből látható volt — könnyen mozgatható, olcsó és egyszerű, következésképpen sokkal szélesebb körben alkalmazható, mint a nagyméretű, nehezen mozgatható és költséges berendezések.

Az ipari röntgenvizsgálatokhoz ezenkívül még egy készüléktípusra van szükség: a 120–150 kV csőfeszültséggel működő ún. finom fókuszú berendezésekre. A még használatos 250–300 kV-os berendezések a fejlődési irányzat szellemében előbb-utóbb, de mindenesetre a következő években el fogják veszíteni jelentőségüket. Amint ugyanis előbb láttuk, indokoltságuk csak az 50 mm falvastagság feletti méreteknél van. Ilyen méretű anyagok vizsgálatára a legutolsó évtized eredményei alapján a mesterséges rádióaktív izotópok lényegesen alkalmasabbak.

Nem kívánok itt a kérdés részleteibe belemenni, mert a Kongresszus előadásai között *Konkoly* Tibor műszaki egyetemi adjunktus a kérdés részleteivel amúgy is foglalkozni fog. Ezért itt csupán a rádióaktív izotópok alkalmazási területét szeretném bemutatni azért, hogy a röntgenkészülékek előbb bemutatott fejlődési irányait ezzel is tovább indokoljam.

Az ipari vizsgálatok céljára alkalmas rádióaktív izotópok közül a néhány legfontosabb izotóp adatait az 5. ábra mutatja. A táblázatból látható, hogy az Ir 192 és a Co 60 alkalmazásával azok a területek jól megoldhatók, amelyek



5. ábra

a röntgenvizsgálatról előbb kifejtettek szerint a röntgenvizsgálat számára már nem gazdaságosak. Bár a táblázat szerint mind a Co 60, mind az Ir 192 már

Típus	Co 60	Cs 137	Jr 192	Ra
Felezési idő	5,3 év	33 év	70 nap	1580 év
Hatékony γ komponens (MeV)	1,71 MeV 1,331 MeV	0,660 MeV	0,610 MeV -0,600 MeV 0,580 MeV	1,7 MeV 1,1 MeV 0,6 MeV
Pb-réteg vastagsága, amely a sugárzást 1/10-re csökkenti	51 mm	24 mm	11 mm	~ 48 mm
Acél javasolt vizsgálható vastagsága	12–300 mm	6–75 mm	12–67 mm	—

12 mm anyagvastagságtól felfelé alkalmazható, kis vastagságoknál a hiba velük elérhető felismerhetősége még nem közelíti meg a röntgennel elérhető felismerhetőséget. Éppen ezért, ha csak a felismerhetőség szempontjából vizsgáljuk a kérdést, akkor kb. 40–50 mm az a határ, ahol a rádióaktív izotópokkal való vizsgálat a röntgensugárzással azonos hibafelismerhetőséget eredményez. A viszonyokat tájékoztatásul a 6. ábra szemlélteti. Az ábrán a próba-

test vastagságának függvényében a legkisebb felismerhető hiba mérete van feltüntetve. Mint az ábrából kivehető, a 200 kV feszültséggel gerjesztett röntgensugárral kimutatható hiba és a γ -sugárzással kimutatható hibák görbéje egymást a 40 és 50 mm falvastagság között metszi. Természetes azonban az, hogy bár a 100 és a 150 kV-ra feltüntetett görbék mindvégig a γ -sugár görbéje alatt járnak, ennek különösebb jelentősége nincsen, mert még 150 kV feszültséggel is gazdaságosan legfeljebb 30 mm vastagságot lehet átvilágítani, az összehasonlítás alapja tehát csak a 200 kV-os röntgensugárzás lehet.

Összefoglalva tehát, a mesterséges radioaktív izotópok a régebben szokásban volt nagy és nehéz röntgenkészülékeket jól pótolják és így lehetőség nyílik arra, hogy az ipari röntgenkészülékeknél alkalmazott feszültségeket és így természetesen a készülékek méreteit is csökkenteni lehessen. Ezenkívül a radioaktív izotópok alkalmazása növeli az átvilágíthatóság felső határát is. Anélkül tehát, hogy merev szabályokat kívánnék kialakítani, a jövő fejlődési irányait az elmélet és a külföldi tapasztalatok nyomán a következőkben lehet megjelölni: kb. 50 mm falvastagságig a legfeljebb 200 kV-os röntgenkészülékek alkalmazása a célszerű. 30–60 mm között az Ir 192 izotóp, 60 mm felett pedig a Co 60 izotóp alkalmazása látszik a leg gazdaságosabbnak. A röntgensugár számára gazdaságosnak látszó alkalmazási területen belül pedig a vékonyabb anyagok vizsgálatánál egyre nagyobb súlyt kell helyezni a finom fókuszú röntgensövek kifejlesztésére.

Az izotópok alkalmazása nemcsak az anyagvastagság és a hiba felismerhetősége szempontjából, de egyébként is újabb lehetőségeket nyújt a roncsolásmentes vizsgálatok számára. Az egyik döntő előnye az izotópok alkalmazásának abban van, hogy kis méreteiknél fogva olyan helyeken is elhelyezhetők, amelyek röntgensővel már nem közelíthetők meg. Ezen a területen csak két példát említek. Hegesztett csőkötések belsejében (ha a cső mérete elegendő nagy) az izotópok belülről is elhelyezhetők, a varratot pedig kívülről lehet a filmmel burkolni. Így a kötés egyszerűen és gyorsan vizsgálható, a projekció pontos és a sugárzásnak csak az egyszeres falvastagságon kell áthatolnia. Mivel a röntgenső a hegesztett cső belsejébe nem helyezhető, a hegesztett kötést csak ferde projekcióval lehet átvilágítani, eközben természetesen kétszeres falvastagságot kell átvilágítani. Egy kötésről több felvételt is kell készíteni, mert különböző falvastagságok állnak a sugárzás útjában.

A második példa, ahol az izotópok előnyösebbnek látszanak, mint a röntgensugárzás, az öntvények vizsgálata. Bonyolultabb alakú és falvastagságú öntvények belsejében helyezve el az izotópokat, a különböző falvastagságú részekben levő anyaghibák egymás után fényképezhetők, míg röntgennel éppen azért, mert a cső nem helyezhető az öntvény belsejébe, igen nagy felvételi nehézségek adódnak az öntvény belső üregei következtében. Az üzemi gyakorlatban éppen ezért a röntgenvizsgálatot sokkal ritkábban alkalmazták

öntvények vizsgálatára, mint pl. a hegesztések vizsgálatára. Az izotópok alkalmazásával az öntvények vizsgálata is a gyakorlati igényeknek megfelelően megoldható, és ezen a ponton az izotópok használata sokkal szélesebbkörű is lehet, mint amennyit az előzőkben pusztán a hibafelismerhetőség és a gazdaságosság szempontjából a röntgennel való összehasonlítás alapján megjelöltem.

Sem a röntgenvizsgálatok, sem az izotóppal való vizsgálatok nem oldanak meg egy fontos és alapvető kérdést, a repedések vagy az elnyújtott hosszú zárványok vizsgálatának kérdését. Éppen azért, mert az előbbieket szerint a röntgen- vagy izotóp-vizsgálat csak olyan hibákat képes kimutatni, amelyeknek a sugárzás irányába eső mérete az anyagvastagságnak egy bizonyos százaléka, könnyen belátható, hogy pl. kazánlemezben levő réteggesség egyik módszerrel sem észlelhető. Az ilyen típusú hibák kimutatására csak az ultrahanggal történő vizsgálat látszik ma alkalmasnak. Az ultrahang ugyanis a fémekben egyenes vonalban terjed, és a nemfémes határfelületekről visszaverődik. Bármilyen vékony is legyen a sugárzás irányára merőleges hiba, az ultrahangvizsgálat révén ezt észlelni lehet. A vizsgálat tehát elvileg alkalmas olyan anyaghibák felfedésére is, főleg vastagabb testekben, amelyek röntgennel vagy izotópokkal elvileg sem találhatók fel. Az ultrahang anyagvizsgálat azonban természeténél fogva nem annyira egyedi darabok vizsgálatára alkalmas, hanem az ipari tömegvizsgálat jellegzetes eszközének tekinthető. Hazai szempontból itt tehát nem az egyes készülékek szerkezetét kell vizsgálnom, hanem csak azt a tényt kívánom leszögezni, hogy az ultrahanggal történő vizsgálatokat esetenként kell az egyes tömegcikkgyártásának ellenőrzésére, lehetőleg automatikusan használni. A hazai kutatómunkának tehát nem is annyira a már meglévő vizsgálati metodika továbbfejlesztésére kell irányulnia, mint arra, hogy a már meglévő berendezéseinket valóban a tömeggyártás szolgálatába állíthassuk és az egyes részfeladatokhoz lehetőleg automatizált vizsgálati módszert alakíthassunk ki. Ilyen természetű munkát végzett már Magyarországon a Vasipari Kutató Intézet is akkor, amikor hengeres testek automatikus vizsgálatára alkalmas berendezést dolgozott ki. Ehhez hasonlóan kell megoldani egyes ipari tömegcikkvizsgálatainak automatizálását, valamint nem utolsósorban a lemezek ultrahanggal történő vizsgálatát.

Teljeség kedvéért meg kell említenem, hogy itthon teljesen hiányzik még az anyagvizsgálati eszközeink közül az ultrahang-mikroszkóp, vagyis az ultrahanggal való átvilágításnak az az eszköze, amely az ultrahang segítségével a belső anyaghibákról látható képet ad. A hazai kutatómunka ilyen irányú megindítása helyett sokkal célszerűbbnek látszik legalább egy ilyen berendezést külföldről behozni és azzal a szükséges tapasztalatokat megszerezni.

Nem kívánok a továbbiakban kitérni a vizsgálatok harmadik csoportjára, az ún. mágneses repedésvizsgálatokra, tekintve, hogy ezek már itthon

is széleskörben elterjedtek, továbbfejlesztésük lehetősége pedig az előbbi két úthoz képest korlátozottabbnak látszik.

A roncsolásmentes anyagvizsgálatok közül a hibakereső anyagvizsgálatok terén a következő főbb tennivalók látszanak szükségesnek :

1. Ki kell alakítani egy legfeljebb 200 kV-os ipari röntgenvizsgálatokra alkalmas, könnyen mozgatható készüléktípust az 50 mm-ig terjedő falvastagságok vizsgálatára.

2. Meg kell szervezni az Ir 192 és Co 60 izotópokkal történő vizsgálatokat.

3. Esetenkénti mérlegelés alapján az ipari tömegtermelésbe lehetőleg automatizált kivitelű ultrahang-vizsgálatokat kell beiktatni, és végül

4. külföldről beszerzett ultrahang-mikroszkóp segítségével meg kell kezdeni az ultrahang-mikroszkóp hazai tanulmányozását is.

Bár előadásom főcélja a hibakereső anyagvizsgálatok fejlesztési útjainak tárgyalása volt, egészen röviden mégis megemlékezem a roncsolásmentes vizsgálatok azon ágazatairól és módszereiről, amelyek az anyag szerkezetének tanulmányozásával foglalkoznak. A terület azonban túl széles ahhoz, hogy akárcsak összefoglaló képet is lehessen adni, és így inkább csak példák felsorolására kell szorítkoznom.

A röntgen kristályszerkezet-vizsgálat messzemenő betekintést nyújt az anyag szerkezetébe. Segítségével tehát képet lehet kapni az anyagszerkezetben végbemenő változásokról. Így pl. azok a kísérletek, amelyek a röntgenreflexek segítségével az anyag belsejében uralkodó feszültségi állapotot kívánják kimutatni, lassan már olyan stádiumban vannak, hogy azok széleskörű ipari alkalmazására is gondolni lehet. Abban a pillanatban, amikor a belső feszültség mérésére szolgáló röntgenmódszerekkel a fényképezésről a Geiger-számlálók alkalmazására lehet áttérni, ez a módszer alkalmas lesz a széleskörű ipari használatra is. Véleményem szerint a belső feszültségek rendszeres vizsgálata egyes területeken a méretezés szempontjából még lényegesebb, mint a belső anyaghibák kimutatása. Pl. a hegesztett szerkezetekben keletkezett törések az esetek túlnyomó többségében sokkal inkább a belső feszültségekre vezethetők vissza, mint egyszerű anyagfolytonossági hibákra.

Ugyancsak példaképpen megemlítem, hogy a kovácsoláskor vagy hengerléskor keletkező szálas szövet kimutatása röntgen kristályszerkezet-vizsgálattal egyszerűen és biztosan történhet, ami pedig a gépszerkesztő számára az anyag hossz- és keresztirányú tulajdonságai szempontjából lényeges összefüggéseket mutat meg.

A további példák felsorolása helyett a röntgen kristályszerkezet-vizsgálattal kapcsolatos hazai tennivalókat a vas- és fémipar szempontjából három csoportba kell sorolnom: magának a kristályszerkezet-vizsgálatnak módszertani tanulmányozása és továbbfejlesztése. Ez elsősorban a fizikusok feladata, és gondoskodnunk kell arról, hogy ezen a területen jól képzett és a korszerű fejlődéssel lépést tartó fizikusgárda álljon rendelkezésre. Az így kidol-

gozott vagy a már meglevő fizikai módszereknek a gyártás terén való alkalmazását a mérnököknek és a fizikusoknak szoros együttműködésben kell kidolgozniok. Ebből az együttműködésből kell végül kialakulniok azoknak az egycélú készüléktípusoknak és ipari rutinvizsgálattá egyszerűsített eljárásoknak, amelyeket a gyárak tömeges ellenőrzésre tudnak felhasználni.

Sajnálattal kell megállapítanom, hogy a röntgen kristályszerkezet-vizsgálatok vas- és fémipari alkalmazásában a külföldhöz képest erősen el vagyunk maradva, ezen a hiányon csak a mérnökök és fizikusok jövőbeni lényegesen szorosabb együttműködése fog tudni segíteni.

A hazai roncsolásmentes vizsgálatokról festett kép teljessége miatt említem meg csupán azokat a mágneses vizsgálati eljárásokat, amelyek nálunk sajnos még nem tartoznak az iparba bevezetett eljárások közé. Mivel ezen módszerek közül néhányat a Kongresszus előadásai is érintenek, itt feleslegesnek tartom a kérdés részletezését, csupán azt említem meg, hogy az ipari élet számos területén, mint pl. acéllemez különböző irányú sajátságainak megállapításánál széleskörű alkalmazási területük van.

Legvégül néhány szóval és szintén csak példa jellegével az izotópok néhány olyan alkalmazását említem meg, amelyek nem a hibakereső anyagvizsgálat csoportjába tartoznak. Ilyenek pl. a Harders, Greve és Oelsen részéről kezdeményezett, majd pedig Koch és Fink által végzett vizsgálatok, amelyek azt a hazai szempontból is rendkívül érdekes kérdést kívánták tisztázni, hogy az acél kéntartalma mennyiben függ a fűtőgázok kéntartalmától. Erre a célra S 35 izotópot alkalmaztak, amelyet a fűtőgázhoz adagolva, meg lehetett állapítani, hogy mennyi kén került a fűtőgázokból az acélba. Vizsgálataik alapján az az eredmény adódott, hogy 54 g/100 m³ kéntartalmú fűtőgáz alkalmazásával 0,016 % kéntartalommal csapolt acélnál összesen a kénnek csupán kerekén 10%-a került az acélba a fűtőgázból, és ez a mennyiség is túlnyomó többségében a betét beolvadása alatt került be. A kérdés magyar vonatkozásban, tekintve a martinkemencéink fűtésére alkalmazott gáz nagy kéntartalmát, rendkívül érdekes.

Egy másik példája lehet az izotópok alkalmazásának az alumíniumkohók fajlagos áramfogyasztásának meghatározása, ahol állandó problémát jelent a jelenlegi mérési módszerek szerint a kádban levő fémmennyiség pontos és egyértelmű meghatározása. Izotópok alkalmazásával ez a mérés is rendkívül könnyűvé és egyszerűvé válik.

Ilyen igen széles terület áttekintése közben természetesen nem érintettem minden kérdést. Éppen ezért rövid összefoglalóm nem lehet teljes sem a módszerek felsorolása, sem pedig a jövő fejlődési irányainak megjelölése szempontjából. A részletek vizsgálata helyett elegendő csak annyit leszögezni, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálatok más ismert módszereinek széleskörű alkalmazása, az egyik legnagyobb fegyvert jelentheti iparunk kezében, a jobb minőségű gyártmányokért folytatott harcban. Hazai vonatkozásban tehát arra

kell törekednünk, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálatok minél szélesebb körben kerüljenek ipari alkalmazásra. E célból ki kellene dolgozni országos viszonylatban az egyes gyárak különleges adottságait, figyelembe véve azt, hogy hol és milyen vizsgálati módszert kell a gyártás menetébe beiktatni. Ez a munka önmagában bár igen nagy feladat, de aránylag kis beruházással tudná megoldani a gyártási selejt lényeges csökkentését.

A második feladat a roncsolásmentes anyagvizsgálatok továbbfejlesztése lenne, aminek — mint az előbbiekből is kitűnik — az alapja a fizikusok és a mérnökök igen szoros és állandó együttműködése. Ha a most megnyíló Mérés- és Műszerügyi Kongresszus csak annyit tud elérni, hogy képet ad az ilyen irányban folyó magyar kutatómunkáról, lehetőséget ad arra, hogy tisztelt vendégeink révén a külföldi tapasztalatokat jobban megismerjük és a kialakuló viták során megszabja a hazai fejlődés további irányait, akkor kétségtelen, hogy nemcsak a magyar tudománynak, de a magyar iparnak is igen jelentős szolgálatokat fog tenni.

ANYAGOK DURVASZERKEZETÉNEK RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI MÓDSZEREI, A MÓDSZEREK JELENLEGI FEJLETTSÉGE ÉS AZOK ALKALMAZÁSA CSEHSZLOVÁKIÁBAN*

Ing. Dr. M. BAIMLER
TECHNOLÓGIAI ÉS ANYAGKUTATÓ INTÉZET, PRÁGA

1. A Csehszlovákiában használatos vizsgálati módszerek

Az anyagok durvaszerkezetének roncsolásmentes vizsgálati módszerei Csehszlovákiában hosszú múltra tekintenek vissza. A mágneses hibakeresés nedves módszerét és a röntgenvizsgálati módszert mintegy 25–30 évvel ezelőtt alkalmazták először. Időközben ezekhez újabbak csatlakoztak és a jelenleg alkalmazott módszerek a következők:

- a) a röntgen- és gammasugár vizsgálat,
- b) a nedves mágneses vizsgálat,
- c) a fluoreszcens vizsgálat,
- d) a színjelzéses vizsgálat,
- e) ultrahang vizsgálat.

2. Röntgensugár vizsgálati módszer

2.1 Röntgenkészülékek

Csehszlovákiában jelenleg még számos külföldi készülék van üzemben abból az időből, amikor még nem volt belföldi gyártás. Újabban már kizárólag csehszlovák gyártmányú készülékek kerülnek használatba.

Jelenleg a következő készülék-típusok gyártása folyik:

2.1.1. Az »Unipolar 150 kV« készülék, amely a következő csövek bármelyikével működtethető:

- a) 120 kV, 15 mA teljesítményű röntgensugárzó, lágysugárzás előállításához;
- b) 150 kV, 20 mA teljesítményű röntgensugárzó;
- c) 150 kV, 12 mA teljesítményű röntgensugárzó, amely 300, vagy 600 mm hosszú, üreges anódú és köralakban sugároz.
- d) 150 kV, 1–5 mA teljesítményű finomfókuszú röntgensugárzó.

* Kivonatolt ismertetés.

A csövek vízhűtésűek, az üreges anódú, vagy finomfókuszú csövekhez külön berendezés biztosítja az állandó feszültségű egyenáramot. Az »Unipolar« készülék csaknem egyetemlegesen használható; mind a készülék, mind a csövek egyik pólusa földelt.

a) *Könnyűfém öntvények vizsgálata.* Egyedi felvételekhez leginkább a 120 kV, 15 mA teljesítményű csövet használják. A röntgenső beállítását elektromotorral működtetett szerkezet könnyíti meg.

Öntvényekről készült sorozatfelvételek készítésére a 150 kV, 12 mA teljesítményű ső szolgál, melynek üreges anódja köralakban sugároz. Ilyenkor a csövet felfüggesztett állványra erősítik, ily módon a ső körül elhelyezett öntvényeket kényelmesen lehet mozgatni.

Kis öntvények átvilágítására igen megfelelő a 150 kV, 20 mA teljesítményű ső. A berendezést ilyen célra átvilágító kamrával kell kiegészíteni. A kamra homlokrészén van a fluoreszkáló ernyő. A kamra kézi kerék segítségével minden irányban mozgatható. Az asztalt elektromotor forgatja. A csőnek keresztalakú határretesze és elektromágneses úton működő elzáró retesze van. Az utóbbi automatikusan záródik, ha a védőpajzsot eltávolítják és ezzel a kezelőnek tökéletes védelmet nyújt a röntgensugárzás ellen.

b) *Acélből, vagy más nehéz fémből készült vékony falú alkatrészek röntgenvizsgálata.* Egyedi felvételek készítésére a 150 kV, 20 mA csövet alkalmazzák, míg tömeges vizsgálatra a 150 kV, 12 mA teljesítményű ső a legmegfelelőbb.

c) *Egyéb kis fajsúlyú anyagok vizsgálata,* mint pl. fa, műanyagok és hasonló esetében a 120 kV, 15 mA teljesítményű lágysugárzású csövet alkalmazzák.

2.1.2. *A »Makroskop 200« típusú röntgenkészülék.* Ez a készülék nagyméretű könnyűfém öntvények vizsgálatára alkalmas. A készülék 200 kV, 30 mA teljesítménnyel működik. A ső olajhűtésű, az olajat pedig különleges hűtőben vízzel hűtik. A csövet hordozható állványon helyezik el. A vizsgálandó öntvény beállítása 200 kg teherbírású daruval történik. A berendezést nyomógombok útján a vezérlő kamrából működtetik.

2.1.3. *A »Makrophos 250« típusú röntgenkészülék.* A készülék Villardkapcsolású. A használatos ső 250 kV, 20 mA teljesítményű, olajhűtésű. Az olajat ugyancsak különleges hűtőben vízzel hűtik. A berendezés egyedi részekből építőszekevény módra állítható össze. A készülék acél és egyéb nehéz fém röntgenvizsgálatára alkalmas.

A »Montix 200« röntgenberendezés. A készülék teljesen zárt és hordozható. A röntgenső és a transzformátor közös házban van. A készüléket helyszíni vizsgálatoknál használják, pl. vasszerkezetek hegesztett varratainak vizsgálatára, építkezéseken.

A jelenlegi gyártás csaknem mindazon röntgenkészülék típusokat felöleli, amelyek a gyakorlatban szükségesek. A közeljövőben kis feszültséggel (kb. 50 kV) és igen nagy feszültséggel (1000–2000 kV) működő készülékeket, valamint betatront is fognak készíteni.

2.2 A röntgenvizsgálat alkalmazási területe

A röntgenvizsgálat ma már számos gyártási ág nélkülözhetetlen ellenőrző eszköze. Az összes fontos hegesztett szerkezeteket, mint pl. nagynyomású kazánok, csővezetékek, kotrógépek, hidak, járművek hegesztett alkatrészeit stb. ezzel a módszerrel vizsgálják. Hasonlóképpen fejlett a repülőgépek és gépjárművek könnyűfém öntvényeinek ellenőrzési módszere. Vas-, acél- vagy bronzöntvények röntgenvizsgálata még nem terjedt el általánosan. Sok esetben megfelelőbbnek látszik röntgensugár helyett gammasugár alkalmazása.

2.3 Varratokról készült röntgenfelvételek értékelése

Röntgenfelvételek egyöntetű értékeléséhez kézikönyvet dolgoztak ki, amely kézi ívhegesztéssel készült, tompán hegesztett varratokról 86 felvételt tartalmaz. A felvételeken kívül a varratok hibás részeinek makrofényképét és azok vázlatát is tartalmazza. A varratok minőségének értékelésére vonatkozó részletes szabvány most készül. Kézikönyv készül még ebben az évben egységes hegesztőporral automatikusan hegesztett varratok röntgenfelvételeiről is. A közeljövőben olyan kézikönyv megjelenése is várható, amely vas- és acélöntvények belső hibáinak röntgen- és gammasugár felvételeit tartalmazza.

2.4 Hivatásos röntgenkészülékkezelők kiképzése

A vizsgálatok eredménye nemcsak a berendezéstől, hanem a kezelő jártasságától is függ. Ezért Csehszlovákiában 14 napos elméleti és gyakorlati tanfolyamokon képezik ki a kezelőket. Bár az oktatási módszer még nem a legkorszerűbb, annak további fejlesztése napirenden van.

2.5 Az eljárás egyéb fejlesztési irányai

A röntgenberendezések különféle tartozékai terén elsősorban a sötétkamra munka tartozékai, a film- és lemezkazetták hiányoznak. Fokozni kell az erősítő- és fluoreszkáló ernyők gyártását is. Szabványosítani kell a röntgenberendezéseket és tartozékait, valamint magát a vizsgálati eljárást is. Ki kell dolgozni a lágy és az igen kemény röntgensugár vizsgálati módszert. Foglalkozni kívánnak még a xerográfiai eljárás kidolgozásával, valamint azokkal az új módszerekkel, melyek révén elektronikus úton javítják a fluoreszkáló ernyőkkel történő értékelést.

3. Gammásugárzással végzett vizsgálat

3.1 A Csehszlovákiában alkalmazott sugárforrások

A leggyakrabban alkalmazott, természetes rádióaktív anyagok: a mezo-thorium és különleges esetekben a radon. Mesterséges rádióaktív forrásként a Co 60 és Ir 192 terjedtek el. A rádióaktív kobalt (Co 60) igen előnyösnek bizonyult szürkevas és acélöntvények, valamint hegesztési varratok vizsgálatára 40 és 150 mm közötti falvastagságok esetén.

Mindezideig Csehszlovákiában 500 mC intenzitású Co 60-nál erősebb sugárforrásokat nem használtak, mert hiányoznak a távolból vezérelhető biztonságos tárolóberendezések.

A rádióaktív iridiumot (Ir 192) 10–50 mm vastag acéldarabok vizsgálatára használják. Az iridium 192 különösen előnyös a kazáncsővek varratainak ellenőrzésére. A jövőben egyéb rendelkezésre álló rádióaktív elemek is használatba kerülnek.

3.2 Biztonságos tárolóberendezések és tartozékok

Kifejlesztettek néhány biztonságos tárolóberendezést, azonban ezideig távvezérlő berendezés nélkül.

Jelenleg terveznek olyan távolról vezérelhető tartályt, amely egyaránt alkalmas laboratóriumi és helyszíni vizsgálatokra is. A vezérlő berendezés 6–10 m távolságból működtethető és ezért 500 mC-nél nagyobb erősségű rádióaktív anyagok is használhatók lesznek. Kidolgoztak néhány segédeszközt, mely a forrcsővek vizsgálatát könnyíti meg.

A nagynyomású csövek varratainak hibái többnyire a varratgyökben található. Ezért dolgoztak ki olyan különleges vízhűtésű kazettát, melynek segítségével közvetlenül a varrat felrakása után, a még meleg varratról gamma-sugár felvételt lehet készíteni. A kazettával 400 C°-ig terjedő hőmérsékletig lehet felvételt készíteni, tehát akár kazántelemek üzeme közben is. Így nincs szükség a szolgáltatás megszakítására.

3.3 Gyakorlati alkalmazás és eredmények

A gammásugár-vizsgálatok egyik fő alkalmazási területe a nagy nyomású csővezetékek és forrcsővek varratainak ellenőrzése, gőzerőművek szerelésénél. A másik alkalmazási terület a vastagfalú öntvények ellenőrzése.

A gammásugár ellenőrzési eljárásnál nagymértékben fokozható a varratok minősége, egyben pedig a hegesztőre gyakorolt lélektani hatás következtében munkájának minősége javul.

A gammasugár vizsgálati módszer Csehszlovákiában gyakran kerül alkalmazásra. Így pl. az egyik erőmű szerelésénél 4000 forrcső varratát kellett ellenőrizni. Ebben az esetben iridium 192-t alkalmaztak, mert a csövek falvastagsága aránylag kicsiny volt (5–7 mm). Nagy nyomású csővezetékek varratait többnyire Co 60, vagy MTh-mal vizsgálják.

A hegesztett forrcsövek fő hibája a hegesztés gyökében található. A VUMT-intézet* ezért olyan hornyolt kalibereket készített, melynek segítségével a gammasugárfelvételekkel meghatározható a hibák megközelítő mélysége a feketedés fokától. A jövő évben a VUMT-intézet kézikönyvet állít össze, amely majd alapul szolgál varratok felvételeinek egyöntetű értékeléséhez.

3.4 A további fejlesztés iránya

A gammasugár-vizsgálatok kialakítása csak most kezdődött Csehszlovákiában, különösen ami a mesterséges rádióaktív izotópok alkalmazását illeti. A legközelebbi jövőben közléteszik a gyakorlati munkához szükséges expozíciós táblázatokat és görbéket, melyek alapján a különböző izotópok használatához szükséges erősítő ernyőket és filmanyagokat ki lehet választani. Most dolgozzák ki a biztonsági előírásokat, és foglalkoznak az anyagvizsgálók különleges kiképzésével is.

4. Mágneses vizsgálati módszer

4.1 Csehszlovákiában gyártott készülékek

Különböző típusú készülékeket gyártanak, amelyek az ún. nedves módszerrel történő mágneses vizsgálatra alkalmasak. Ezek a típusok a következők:

4.1.1. *IH típusú vízszintes elrendezésű defektoszkóp.* Három nagyságban készül, melyeknél a befogási hossz 0–3000 mm-ig változik. A vizsgálható keresztmetszet 40–300 cm² lehet. A készülék főleg rudak, csövek, kovácsolt darabok, sima és forgattyús tengelyek vizsgálatára használható.

4.1.2. *IÁV típusú függőleges elrendezésű defektoszkóp.* Ez a készülék első-sorban kisebb alkatrészek tömeges vizsgálatára alkalmas. A legnagyobb befogási hossz 400 mm, a vizsgálható keresztmetszet max. 25 cm².

4.1.3. *Az IPU típusú hordozható defektoszkóp.* A készülék rudak, csövek, hosszú tengelyek stb. vizsgálatára alkalmas. Egyszeri befogással vizsgálható hosszúság 3000 mm, a vizsgálható keresztmetszet max. 300 cm².

4.1.4. *ZS–500 típusú hordozható készülék.* A készülék helyszíni vizsgálatok céljaira készült. Főleg vasszerkezet, csővezetékek stb. varratainak vizsgálatára alkalmas.

* Vyskemny Ústav Materialu a Technologie: Praha.

4.2 Jelző folyadékok

Kétféle jelző folyadék használatos : az ún. fekete és a fehér folyadékok. A fekete folyadék vaspor olajos petróleumban lebegtetett, a fehér folyadék vas- és alumíniumpor vazelinolajban lebegtetett oldata.

4.3 Gyakorlati alkalmazás

A nedves mágneses eljárás Csehszlovákiában igen elterjedt. Különböző gépalkatrészek, hengerelt anyagból készült kovácsolt darabok, hegesztett szerkezet stb. vizsgálatára alkalmazzák. Nagynyomású és magas hőmérsékleten dolgozó csővezetékek varratait is mágneses eljárással vizsgálják, főként a Zs-500 hordozható készülékkel.

A mágneses vizsgálati módszer kiválóan egészíti ki a röntgen- és gamma-sugárral végzett anyagvizsgálati eljárásokat, mert ezek nem alkalmasak finom felületi repedések kimutatására.

4.4 A továbbfejlesztés iránya

Kutatások folynak ennek a vizsgálati eljárásnak automatizálására, melynek keretében a mágneses indikációk regisztrálását is automatizálni akarják.

Megoldásra vár még a bonyolult alakú alkatrészek optimális vizsgálati körülményeinek felderítése is. Gondoskodni kell a vizsgálatok magasabb színvonalának érdekében a vizsgáló személyzet megfelelő kiképzéséről is. A nedves mágneses eljárással csak ferromágneses anyagok vizsgálhatók. Egyéb anyagokat fluoreszcens, vagy színes indikációs eljárással lehet vizsgálni.

5. Fluoreszcens vizsgálati eljárás

5.1 A készülék

A szükséges készülék fluoreszcens folyadékot tartalmazó egyszerű tartály, amelybe a vizsgált alkatrészt belemerítik. Szükséges továbbá egy öblítő tartály, valamint egy 3600 Å hullámhosszúságú fénysugarakat kibocsátó ultraibolya fényforrás. A jelzett repedések sötét látótérben ultraibolya sugárzás hatására, az alkalmazott fluoreszcens folyadéktól függően sárgászölden, vagy kéken fluoreszkálnak. A készülékeket sorozatban nem gyártja a csehszlovák ipar. A berendezések többnyire az egyes eseteknek megfelelően, egyedileg készülnek.

5.2 A fluoreszcens folyadék

A VUMT-Intézetben különleges fluoreszcens folyadékot készítettek. 9 rész petróleumban, 1 rész »VT-olajat« oldottak. Petróleum helyett ugyanilyen arányban metilciklohexan is alkalmazható. A folyadékkal igen jó sárgászöld fluoreszcenciát kaphatunk. A vizsgált alkatrészeket a folyadékban 5–30 percig kell tartani, majd folyóvízben leöblíteni és megszáritani. Ezután az alkatrészeket magnéziumoxid-porral kell behinteni, amelynek hatására a hibaindikáció erősen javul.

5.3 Alkalmazási terület

A fluoreszcens vizsgálati eljárást többnyire könnyűfém öntvények, továbbá golyóscsapágyak golyóinak vizsgálatára használják, minthogy ez igen gyors és egyszerű módszer.

A fluoreszcens vizsgálati eljárást Csehszlovákiában jelenleg még nem régen használják és inkább a színes hibakimutatást alkalmazzák.

6. Színes hibakimutatási eljárás

Ez lényegében a petróleumos vizsgálati módszer tökéletesítése azzal, hogy a petróleumhoz az élénk kontraszthatás végett erősen színező hatású anyagot kevernek.

Az eljárás igen egyszerű. A vizsgált alkatrészt a színes jelző folyadékba merítjük, vagy ha az alkatrész nagyobb, benedvesítjük vele. 5–20 perc eltelte után az alkatrészeket vízszaggárral leöblítjük. Az alkatrészeket ezután pl. acetoneban oldott kalciumkarbonáttal kenik be, minek következtében a vizsgált felületen gyorsan száradó fehér bevonat keletkezik. A felületi repedésekbe, vagy üregekbe behatolt folyadék átüt a fehér felületen és világosan jelzi a hibát. Ez az eljárás nemcsak egyszerű és olcsó, hanem a legkülönbözőbb alakú hiba esetén alkalmazható, ha a hiba egyébként a felületen van.

6.3 Alkalmazási terület

Az eljárás alkalmas könnyűfém alkatrészek porozitásának és repedéseinek vizsgálatára, valamint varratok és hegesztett tartályok stb. szivárgásának ellenőrzésére. Az eljárás egyszerű volta a fluoreszcens vizsgálati eljárást háttérbe szorítja, főleg azért, mivel nincs szükség különleges berendezésre, sem sötét kamrára. Az eljárás automatizálási lehetőségei kedvezőek.

7. Ultrahang vizsgálati eljárás

7.1 Csehszlovákiában alkalmazott készülékek

Hibavizsgálatra alkalmas ultrahangkészülékeket ezideig Csehszlovákiában nem gyártottak. Csak korlátozott számú »Ultrasonel« készülék (ACEC gyártmány, Belgium) és Hughes II. B készülék (Kelvin Hughes, Anglia) áll rendelkezésre.

7.1.3. *A Csehszlovákiában kidolgozott ultrahangkészülék prototípus.* 1953-ban a bratislavai Hegesztési Kutató Intézet megbízást kapott impulzus-rendszerű ultrahangkészülék prototípusának megtervezésére. Az volt a kívánság, hogy a prototípus hasonló legyen a külföldi ilyen rendszerű készülékekhez és szükség szerint egy vagy két vizsgálófejjel egyaránt lehessen használni. A készülék elkészült, de a kívánalmaknak csak részben felelt meg, és ezért a tervezési munka tovább folyik.

7.2 Gyakorlati alkalmazás

Üzemi gyakorlatban kovácsolt munkadarabok, öntvények (különösen acélöntvények), hengerelt anyagok és egyes esetekben varratok minőségének megállapítására használják az ultrahang vizsgálati eljárást. A VUMT-intézet olyan vizsgálati módszert dolgozott ki, amely vasúti kocsiengelyek és mozdonyok kerékagyán, kifáradás következtében keletkező repedések kimutatására alkalmas. A gyakorlati vizsgálatok igazolták, hogy 0,7–1 mm mélységű repedés kimutatható, ha azok hossza legalább 15–25 mm.

A VUMT-intézet és az MST tanfolyamot szervezett anyagvizsgálók részére, hogy azok az ultrahang vizsgálatban megfelelő jártasságra tegyenek szert.

7.3 A fejlődés iránya

1955-ben két kutató kollektíva foglalkozik egyetemes impulzusrendszerű ultrahangkészülék tervezésével, amely akár egy, akár két mérőfejjel felszerelhető. 1956-ban megindul ennek a sorozatgyártása.

Rezonancia-elven működő ultrahangkészüléket is terveznek. Ugyancsak foglalkoznak a Szokolov-féle vizuális hibakutatás elvén alapuló ultrahangkészülék kidolgozásával. A feladat igen lényeges része a kellő számú anyagvizsgáló megfelelő kiképzése, hogy ezzel a sorozatban gyártott készülékek ipari bevezetése idejére azok már rendelkezésre álljanak. Az újabb gyakorlati alkalmazási lehetőségeket állandóan tanulmányozzák.

8. A rendelkezésre álló vizsgálati eljárások bírálata

Meg kell állapítani, hogy egyetlen eljárás sem tekinthető egyetemesnek. Minden eljárásnak vannak sajátos lehetőségei és határai. Ezért minden esetben a legmegfelelőbb eljárást kell kiválasztani, vagy még inkább több egymást kiegészítő eljárást.

Csővezetékek varratainak ellenőrzéséhez pl. nedves mágneses vizsgálati eljárást kell alkalmazni a felületi, és röntgen- vagy gammasugár-vizsgálatot a belső hibák kimutatásához.

További kombinációra példa: varratok előzetes ultrahang-vizsgálata és a vizsgálat eredményének röntgen-, vagy gammasugárral történő ellenőrzése.

A roncsolásmentes vizsgálati eljárásokat általános alkalmazási lehetőségük szerint bírálva mondhatjuk, hogy a nedves mágneses módszer és a röntgen- vagy gammasugárral végzett vizsgálatok az elterjedtebbek. Az ultrahangvizsgálati eljárás most van kialakulóban és az igen fontos feladatot fog betölteni, amint a megfelelő készüléktípusok rendelkezésre fognak állni.

A RETIGRÁF, VAGYIS A RECIPROK RÁCS TORZÍTATLAN ÁBRÁZOLÁSÁT BIZTOSÍTÓ RÖNTGENGONIOMÉTER

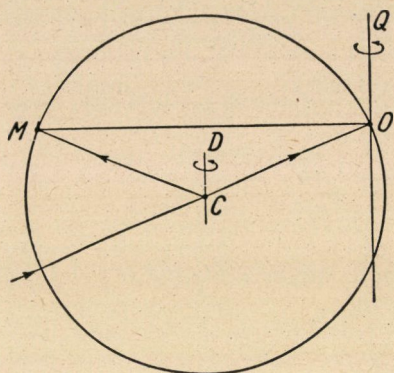
Prof. Dr. W. A. WOOSTER

CAMBRIDGE, EGYETEM

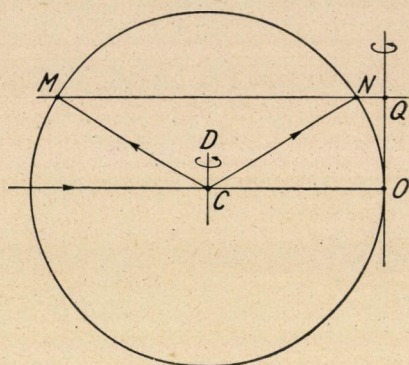
A retigráfok fejlődése

1938-ban *de Jong* és *Bouman* olyan röntgengoniométert ismertettek, amellyel a reciprok rács bármely hálózati síkja torzíthatatlanul ábrázolható síkfilmre. A szerzők az új készüléket retigráfnak, vagyis hálózatrajzolóknak nevezték el. A készülékben mind a kristály, mind a film függőleges tengely körül forog. A két tengely kölcsönös helyzete az 1. képen látható. A képen CO a beeső röntgennyaláb iránya, a C pont mint középpont köré írt ONM gömb a reflektáló gömb, MNQ a vizsgált reciprok rácssík, s egyben a film síkja, CD a kristály forgástengelye és OQ a reciprokrács forgástengelye. Ha a reflektáló gömb sugarát egységnek vesszük, akkor az OQ ζ -val egyenlő. Ismeretes, hogy a reflektáló gömb felületén fekvő valamennyi reciprok rácspontra teljesül a Bragg-egyenlet és a visszavert röntgensugarak a C pontot és a megfelelő reciprok rácspontokat összekötő egyenesek irányában haladnak. A köralakú röntgenfilm középpontja a Q pontban van, a film síkja merőleges az OQ tengelyre és a film ugyanolyan sebességgel és ugyanolyan irányban forog, mint a kristály. Ilyen körülmények között a foltok eloszlása a felvételen egyszerűen vetülete az MNQ reciprok rácssíknak. Ezzel a berendezéssel csak nulladik rendűnél nagyobb rendű rácssíkokat lehet lefényképezni és a felvétel közepén NQ sugarú vakfolt keletkezik, amelyen belül nincsenek reflexiók. A filmnek a kristálytól való távolsága (OQ) azonos nagyítás esetén ζ függvénye. A módszert *de Jong*, *Bouman* és *Lange* még 1938-ban továbbfejlesztették, amennyiben a készülékre olyan diafragmát szereltek, amelynek hajlásszögét a CD tengelyhez képest változtatni lehetett. E módosított készülék elrendezési vázlata a 2. képen látható. Az ábráról azt olvashatjuk le, hogy az új elrendezések a reciprok rács több egyenlítői, vagyis a nulladik síkkal párhuzamos hálózati síkja tanulmányozható, azonban a reflektált röntgensugarak kis MOC szöggel esnek be a filmre. Ezt a módszert *Buerger* 1942-ben részletesen tárgyalta és egy jól bevált készüléktípust dolgozott ki hozzá (3. kép).

A képen láthatjuk, hogy a kamratartó oldalirányban eltolható. A kristály tengelye és a kamra tengelye párhuzamosak egymással, mindkettő ugyan-

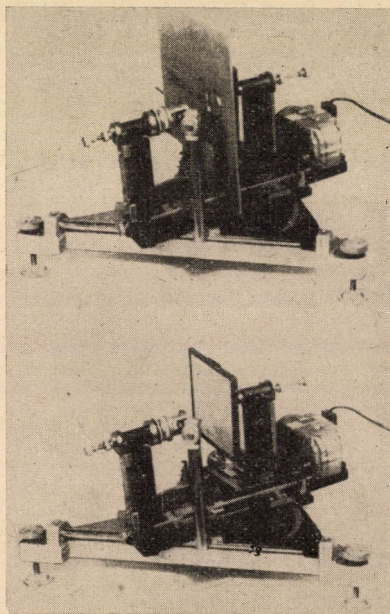


1. ábra. Az eredeti de Jong—Bouman-retigráf diagramja. A kristály CD forgástengelye, a film CO forgástengelye, MCO kúppal határolt regisztrált reflexiók



2. ábra. A de Jong, Bouman, Lange-retigráf diagramja

arra a tartókarra van szerelve, amely az alaplaphoz képest elforgatható. Buerger azért választotta ezt az elrendezést, mert véleménye szerint a készüléket akkor legelőnyösebb használni, ha mind a reflektált kúp nyílásszöge, mind a kristálynak a filmtől való távolsága konstans. Buerger módszerének a követ-

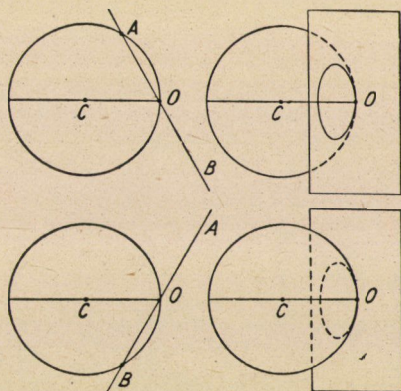


3. ábra. A de Jong, Bouman, Lange-retigráf Buerger részéről szerkesztett modellje

kező hiányosságai vannak: a nulladik réteg kivételével minden rétegen van vakfolt és csak olyan hálózati síkokat lehet vizsgálni vele, amelyekre a ζ nem nagyobb egy viszonylag elég kicsi értéknél. 1944-ben Buerger kidolgozott egy precessziós eljárást, amellyel szintén torzításmentesen lehet ábrázolni a reciprok rács hálózati síkjait.

A precessziós módszer elvét a 4. kép szemlélteti.

A 4. képen az AB vonalnak megfelelő reciprok rácssík nem forog, hanem a COA félnyílásszögű kúp felületén jár körül. A 4. képen az AB reciprok rácssík négy egymás után következő helyzete, valamint a síknak és a reflektáló



4. ábra. A diagram a reciprok rács síkjának négy egymás után következő helyzetét mutatja be. A reciprok rácssík a COA félnyílásszögű kúp felületén jár körül. (A Buerger-féle precessziós retigráf mozgása)

gömb felületének metszészvonala látható. Ha a reciprok rácstről torzítatlan képet akarunk kapni, akkor az AB sík helyébe fényérzékeny filmet teszünk és azzal ugyanolyan mozgást végeztetünk, mint amilyent a vizsgálandó reciprok rácssík végez. Ezzel elérjük, hogy a vizsgálandó reciprok rácssík párhuzamos lesz a fényérzékeny filmmel. A precessziós módszer nagyon alkalmas a reciprok rács egyenlítői síkjának tanulmányozására. Fehérjék és más nagy rácsállandójú kristályok vizsgálatakor a COA szög közel 90° -ra növelhető, s ily módon az elérhető reflexiók a legrövidebb idő alatt regisztrálhatók. A módszer azonban inkább csak a nulladik sík vizsgálatára alkalmas, magasabb rendű hálózati síkoknál ugyanis szükségszerűen nagy vakfolt jelentkezik. 1951-ben Torroja, Pajares és Amoros kidolgoztak egy egyenlőkúp módszerrel működő retigráfot, amely ugyanarra a célra szolgált, mint a Buerger-től 1942-ben ismerttetett minta, az egyes alkotórészek azonban másként voltak elrendezve rajta. Az 1954 júliusában tartott párizsi krisztallográfiai kongresszuson három de Jong—Bouman-típusú retigráfot is láthattunk, ami arra látszik mutatni, hogy kezdenek ismét visszatérni a régebbi típushoz.

Milyen követelményeket kell kielégítenie a retigráfnak

Mielőtt készülékünk ismertetésére rátérnénk, célszerű lesz előbb felsorolni, mi mindent várnak tulajdonképpen a kristallográfusok ilyen készüléktől:

1. A nulladik síkot regisztrálni kell tudni, egyrészt a kezdőpont körül rajzolt kis körön belül (ez az eset a nagy rácsállandójú kristályoknál), másrészt lehetőleg minél nagyobb sugarú körön belül (ez a helyzet a közepes rácsállandójú kristályoknál).

2. A reciprok rácssíkokat vakfolt nélkül kell regisztrálnia minél nagyobb ζ értékekig.

3. Ugyanannál a kristálynál az egymásután következő rácssíkokról készült felvételek nagyítása azonos legyen.

4. A nagyítást lehessen változtatni a vizsgált kristályfajtának megfelelően.

A de Jong—Wooster-retigráf

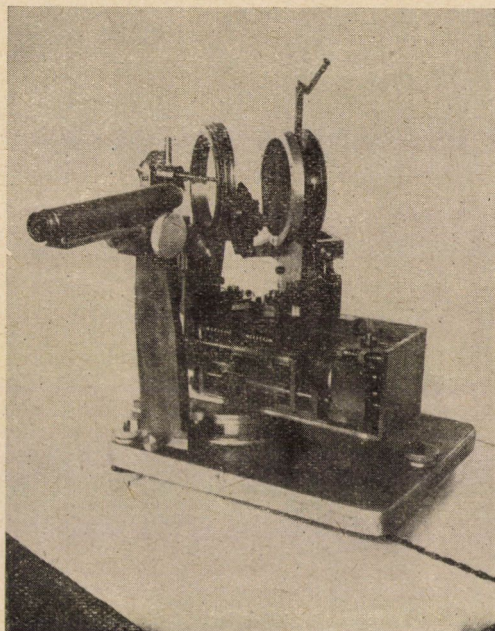
A felsorolt követelményeket nagyrészt sikerült kielégíteni a Buerger-féle 1942-ben kidolgozott készülék módosításával. Az alábbiakban ismertetendő készülék három szempontból tér el az említett korábbi típustól: a kristály felerősítése, a kamratartó és a kristály kamra távolság változtatása tekintetében.

1. A kristály felerősítése

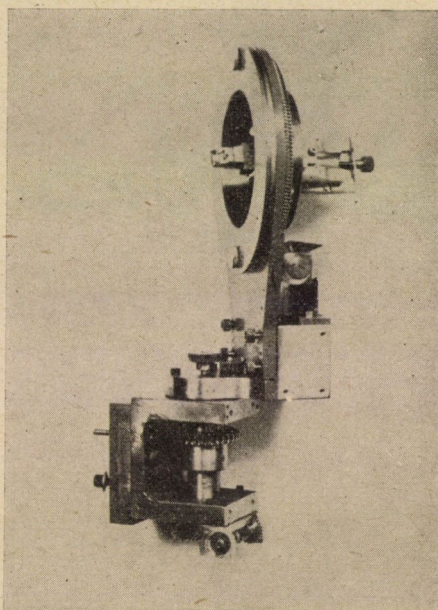
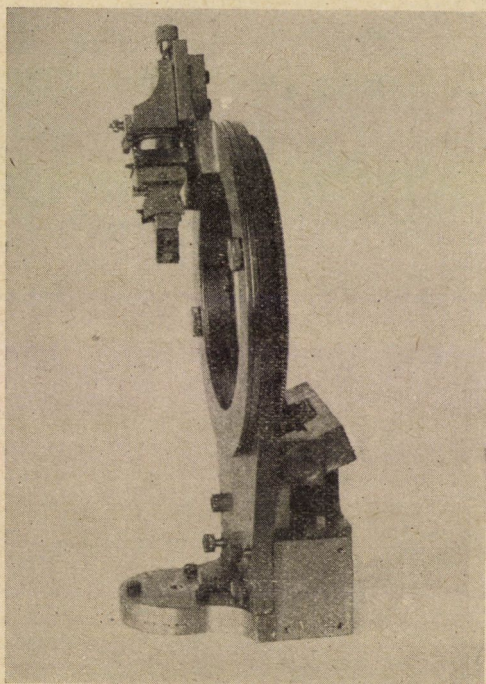
A kristálytartót kétféleképpen lehet felszerelni: sugárirányban és tengelyirányban. Az 5. képen a teljes készülék fényképe látható, ezen a felvételen a kristály sugárirányban van felszerelve. A 6. kép bemutatja egymás mellett mindkét fajta szerelést. A goniométerfej három szánból és három ívből áll, amelyekkel a kristály bármilyen helyzetbe beállítható. A goniométerfej függőleges körgyűrűre van erősítve, amely körül elforgatható. Ezzel az elrendezéssel a nulladik hálózati síknak a kezdőpont közvetlen közelébe eső része is tanulmányozható. A nulladik hálózati sík vizsgálatának csupán a függőleges körgyűrű véges vastagsága szab korlátot. A függőleges körgyűrű síkjának normálisával és a belső nyalábbal bezárt szög maximum 45° lehet. Ennek megfelelően, ha a reflektáló gömbnek egységnyi sugara van, akkor a ξ maximális értéke 1,4 lehet. A mondottak illusztrálására a 8. képen bemutatjuk a gipsz ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) nulladik hálózati síkjáról készült felvételt.

A 6. képen látható tengelyirányú szerelés megegyezik az 1942. évi Buerger-készüléknél használt elrendezéssel.

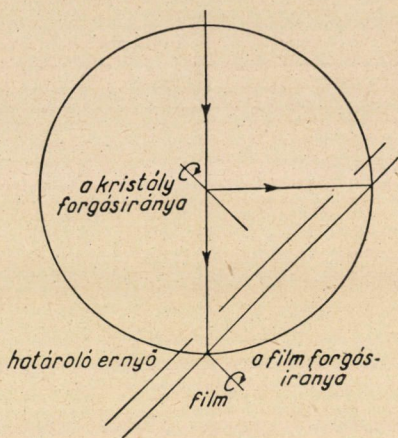
Ezzel a szereléssel igen magasrendű hálózati síkok is vakfolt nélkül regisztrálhatók.



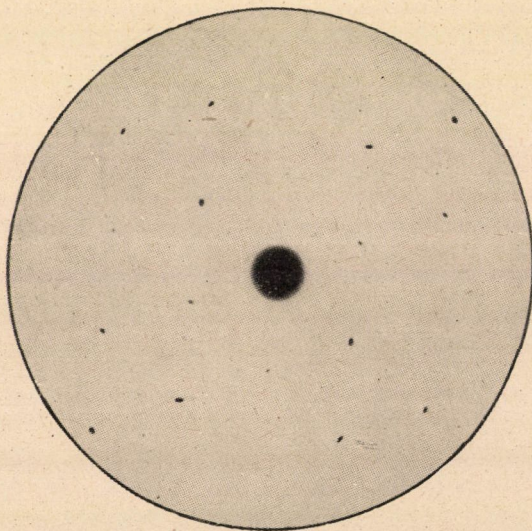
5. ábra. A de Jong-Wooster-retigráf fényképe, amely a goniómeterfej sugárirányú felszerelését és a 10 cm átmérőjű kamrát ábrázolja. A gyűrűalakú nyílás elmozdításával a kamra jól látható



6. ábra. A jobboldali felvétel a goniómeterfej sugárirányú, a baloldali felvétel a tengelyirányú elrendezést mutatja



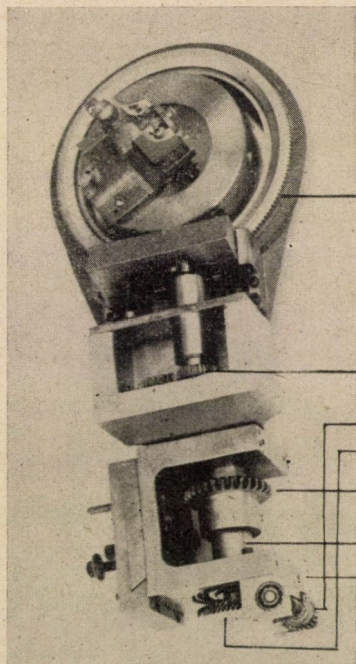
7. ábra. Olyan elrendezés diagramja, amelynek alkalmazásával a nulladik hálózati síkról a legnagyobb felvétel készíthető ($\xi = 1,4$) a készülékkel



8. ábra. A nulladik hálózati síkról közvetlen projekcióban készített felvétel.
Vizsgált anyag : gipsz, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

2. A kamra és a függőleges körgyűrű tengelyének felszerelése

A készülék előbb említett előnyös sajátságai annak köszönhetőek, hogy a függőleges körgyűrű és a kamra tengelyének felerősítésénél új módszert használtunk.



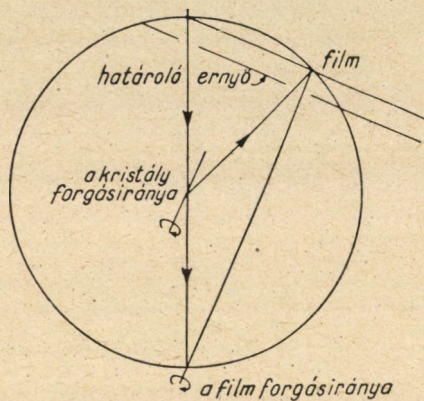
9. ábra. A felvétel a fogaskerékáttételt és a vertikális körgyűrű felszerelését mutatja

A két tengely felerősítésének módját a 9. kép szemlélteti. Az 1-gyel jelzett U-alakú öntvény négyszögletes doboz függőleges falához van rögzítve. Az U-alakú öntvényre támaszkodik a 2 tengely, amelyre a 3 fogaskerék van erősítve. Ennek a fogaskeréknek a segítségével az egyik egység függőleges körgyűrűje és a másik egység filmtartó kamrája párhuzamossá tehető, és a négyszögletes doboz hosszirányával bezárt hajlásszögük közel 90° -kal változtatható. A 2 tengelyen belül van egy másik kisebb tengely, amelyet a 4 ferdefogazású kerék hajt. A 4 kereket az egész készülék fényképén látható hosszú bordázott tengely hajtja az 5 kerék segítségével. A 4 keréssel meghajtott tengely hajtja az 5 kerék segítségével a 6 fogaskerékrendszert, amely viszont a függőleges gyűrűt tartó nagy fogaskereket forgatja. A fogaskerekek elrendezése mind a kamratartó, mind a kristálytartó egységnél ugyanaz, és mindkettőt ugyanaz a hosszú bordázott tengely hajtja.

A hosszú bordázott tengely azért előnyös, mert így a fogaskerekek nem akadnak ki, miközben a kamra és a kristály távolságát 5 és 10 cm között változtatjuk.

A nagy ζ értékekhez tartozó magasabbrendű hálózati síkok tanulmányozása

A 10. képen látható, hogy miért lehet a magasabb hálózati síkokat vakfolt nélkül fényképezni. A film síkját — mint látjuk — úgy állítjuk be, hogy a négyzetes doboz párhuzamos legyen a film közepe felé haladó reflektált



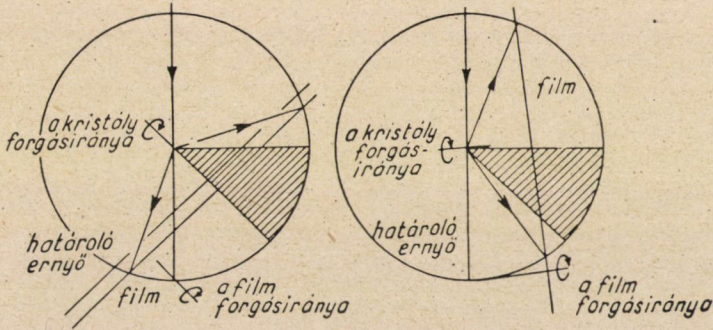
10. ábra. Nagy ζ értékekhez tartozó magasabbrendű hálózati síkok berendezésének diagramja

nyalábbal. Ez az ún. egyenlő hajlásszögű helyzet. Ha a függőleges körgyűrűt és a kamrát tartó tengelyek távolsága nem változik, akkor nem változik a reflektáló gömb sugara sem. A kamratartón tolóka van, melynek segítségével ez a távolság 5 és 10 cm között változtatható. Amennyiben a függőleges körgyűrűt és a kamra távolságát 10 cm-nek választjuk, akkor az egyenlítői és az egyenlő hajlásszögű felvételeken a film középpontjától mért folttávolságok közvetlenül megadják a megfelelő reciprokrács távolságát. Így a felvétel középpontjától 5 cm távolságra levő reflexiónak a reciprokrácsban $\zeta = 0,5$ értéke felel meg. Azonkívül a felvételen látható pontsorokkal bezárt szögek pontosan egyenlők a reciprokrács megfelelő pontsoraival bezárt szögekkel.

A közbeeső hálózati síkok vizsgálata

Az ismertettett készülékkel a közbeeső hálózati síkok a kristály felerősítésének módjától függően tanulmányozhatók. A 11. képen két diagram látható, amelyek közül a baloldali a sugárirányú, a jobboldali pedig a tengelyirányú

felelősítésnek felel meg. A kamra függőleges tengelye az egyik esetben baloldalt belül, a másik esetben jobboldalt kívül esik a reflektáló gömbön és az ebből adódó kis állítás a kamra tartószáján elvégezhető. A 11. képen a csíkozott területek azokat a tartományokat ábrázolják, amelyekbe nem kerülhet bele a függőleges körgyűrű normálisa. Ennek a korlátozásnak tisztán geomet-



11. ábra. A közbeeső hálózati síkok vizsgálatára szolgáló berendezés diagramja; a baloldali diagram a kristály sugárirányú elrendezését, a jobboldali tengelyirányú elrendezését mutatja be

riai oka van, ti. a függőleges körgyűrűnek nem szabad metszenie a diafragmát. A 11. képről egyben azt is leolvashatjuk, hogy ennél a módszernél is keletkezik egy kis vakfolt, azonban ez ritkán jelent komoly veszteséget. A különböző fel-

ξ	A kristály felerősítése		Fedett ξ -tartomány
	sugárirányú	tengelyirányú	
0,0	x	—	0,0 — 1,4
0,0	x	—	0,0 — 1,4
0,6	x	—	0,3 — 1,3
0,6	—	x	0,1 — 1,9
1,6	—	x	0,0 — 1,0

12. ábra. Értéktáblázat a készülékekkel elérhető ξ és ζ értékekről

erősítések esetén regisztrálható tartományok a 12. képen vannak összeállítva. A táblázatból leolvashatjuk, hogy az egyenlítő síkjában, vagyis a nulladik hálózati síkban, ζ mértéke 1,4-ig mehet, ami a legtöbb esetben elegendő, különösen $Mo K_{\perp}$ sugárzás használata esetén. A Weissenberg-felvételhez képest azonban ez kevés, s így a rácsállandók nagy pontosságú meghatározására ez a rendszer nem alkalmas. A magasabbrendű hálózati síkokban azonban, egé-

szen $\zeta = 1,6$ -ig a készülék jobb hatásfokkal dolgozik, mint talán bármely más. A vizsgálható legnagyobb ζ -érték többszörösen akkora, mint a Buerger-féle precessziós készüléknél és kb. kétszer akkora, mint a legjobb Weissenberg-goniométernél. A vakfolt viszont, amely $\zeta = 0,5$ -nél a legnagyobb, feltétlenül hátrányt jelent a Weissenberg-goniométerrel szemben.

Néhány kiegészítő megjegyzés a készülékről

A készüléket szemléltető felvételekről a hálózati sík kiválasztására szolgáló gyűrűalakú ernyőt általában mellőztük, hogy jobban lehessen látni a kamrát. Az ernyőt kb. 20 cm átmérőjű tárcsa hordja, amelyet közös alapra szerelnek a kamrával és a film síkjától kb. 5 mm távolságra helyezkedik el. Mivel az ernyő és a film távolsága nem változtatható, a készülékhez 12 db cserélhető ernyő tartozik, a gyűrűalakú rés mindegyikben úgy van megválasztva, hogy más-más elhajlási szögtartomány fényképezését tegye lehetővé. E gyűrűk felhasználásával a hálózati síkok egészen 30° -os beesési szögig regisztrálhatók. (A szög nem a film síkjának normálisától, hanem magától a film síkjától van mérve.)

A készülékhez tartozik egy 20 és egy 10 cm átmérőjű kamra, az előbbi az egyenlítő síkja (tehát a nulladik hálózati sík) és a közbeeső síkok. Az utóbbi a nagy ζ értékeknek megfelelő hálózati síkok vizsgálatára szolgál.

A készülékbe be van szerelve egy oszcillátató mechanizmus is, melynek segítségével a kristály 10° -os szöggel oszcillálható. Erre a felvételt megelőző pontos kristálybeállításnál van szükség.

IRODALOM

- Buerger, M. J.*: »X-Ray Crystallography« New York, John Wiley and Sons Inc. 1942.
Buerger, M. J.: »The photography of the reciprocal lattice« ASXRED Monograph No. 1. 1944.
de Jong, W. F. és *Bouman, J.*: Zeit. Krist. (1938) 98, 456. Das Photographieren von reziproken Kristall-Netzen mittels Röntgenstrahlen.
de Jong, W. F., *Bouman, J.* és *de Lange, J.*: Physica (1938) 5, 188. X-ray photography of zero-order reciprocal net planes of a crystal.
Torroja, J. M., *Pajares, E.* és *Amoros, J. L.*: Journ. Sci. Instru. (Lond.) (1951) 28, 44.
 A single crystal X-ray camera for direct recording of the reciprocal lattice.

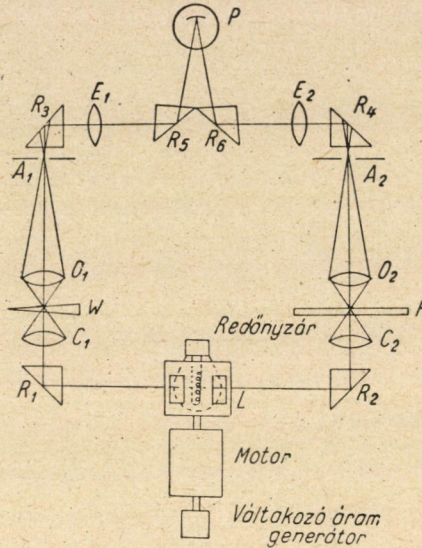
AUTOMATIKUS REGISZTRÁLÓ MIKRODENZITOMÉTER

Prof. Dr. W. A., WOOSTER

CAMBRIDGE, EGYETEM

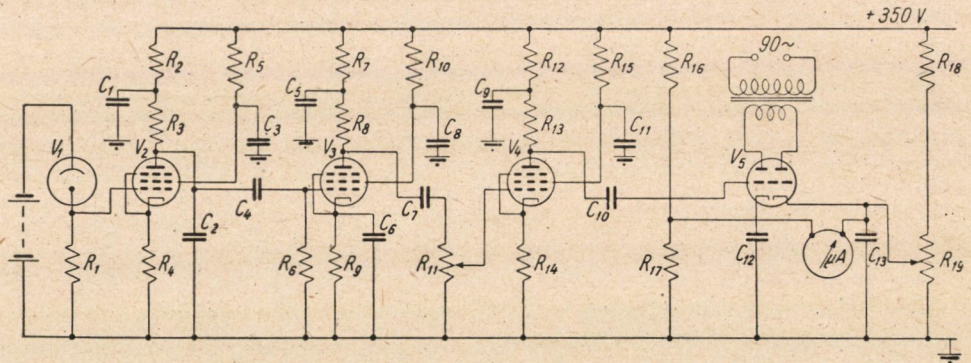
A mikrodenzitométerek története kb. 40 évvel ezelőtt kezdődött, ekkor használtak először fotocellát kis fényintenzitások mérésére. Azóta a fényvel, röntgensugárzással és egyéb sugárzásokkal megvilágított fotografiai emulziók feketedésének mérésére igen sok fotométer-szerkezet született. Az alábbiakban ismertetendő fotométer a Dobson részéről 1923-ban ismertetett készülék továbbfejlesztése. A készülék működésének optikai alapelvét az 1. kép szemlélteti. Amint látjuk, a készülék egyetlen izzólámpával (L) és egyetlen fotocellával (P) dolgozik. A fény kétféle úton jut el az izzólámpától a fotocelláig. Az egyik oldalon a kalibrált fotografiai W éken, a másik oldalon pedig a vizsgált film felületének kis F darabján keresztül. A fotografiai éket úgy készítik, hogy a vizsgálandó filmmel azonos minőségű filmből vágott csíkot előre megvilágítanak, a csík mentén egyenletesen növelve a megvilágítási időt. A kép alján egy zár látható, melynek állításával jobb vagy balfelé el lehet zárni a fény útját. Dobson eredeti készülékében a zárat kézzel mozgatták. A készülék mérőműszere Lindemann-elektrométer volt, amellyel a fotocella egyik elektródjának sztatikus potenciálját mérték. A most ismertetendő készüléknél a hengeres alakú zár folyamatosan forog és a V_1 fotocella egy váltakozó áramú erősítőhöz csatlakozik (2. kép). Ha a két fénynyaláb intenzitása nem azonos, akkor az erősítő első csövének V_2 rácsa váltakozó feszültséget kap. Ezt a feszültséget a készülék felerősíti, úgyhogy ha a két fénynyaláb intenzitásában 1% eltérés mutatkozik, ez a kimenőkapcsokon több volt amplitudójú váltakozó feszültséget eredményez. A készüléknek egy érdekes sajátossága van, amellyel sok nehézséget le lehet győzni. Sok kutatónak az a véleménye, hogy a lámpát akkumulátorról kell táplálni, mert másképp a fény a hálózati feszültség frekvenciájának ütemében ingadozik. Az akkumulátorok használata azonban nehézkes és állandó ellenőrzést kíván. Az ismertetett készüléknél a lámpát 50 Hz frekvenciájú váltakozóáram táplálja, a forgózár forgássebességét pedig úgy választjuk, hogy az erősítő kimenőkapcsaira kb. 90 Hz frekvenciájú váltakozófeszültség jusson. Ezzel azt érzük el, hogy az 50 Hz frekvenciájú fényingadozás semmilyen hatással sem lesz a 90 Hz frekvenciájú kimenőfeszültségre. Az erősítő kimenőkapcsain jelentkező váltakozó feszültséget a 2. képen látható V_5 ikertrióda

átalakítja egyenárammá. Az ikertrióda anódjaira 90 Hz frekvenciájú feszültséget ad egy kis váltakozó áramú generátor, amely közös tengelyre van szerelve az 1. képen látott redőnyzárral. Ennek az anódfeszültségnek a fázisát be lehet úgy állítani, hogy megegyezzek az erősítő kimenőfeszültségének fázisával.



1. ábra. Optikai alapelv

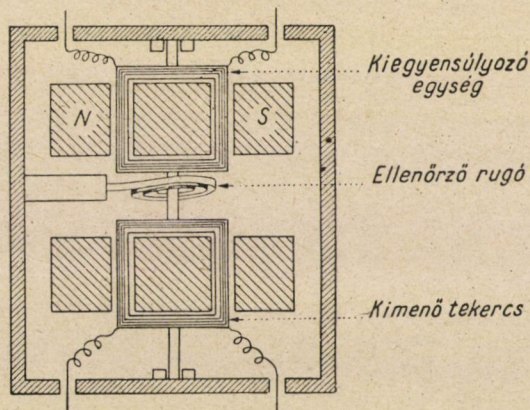
vagyis hogy amikor a baloldali fénynyaláb intenzitása nagyobb, mint a jobboldalié, akkor a mikroampermérőn átfolyó egyenáram (2. kép) balról-jobbra haladjon és megfordítva. Mindez azt eredményezi, hogy az izzólámpát nyugodtan lehet 50 Hz frekvenciájú hálózati feszültséggel táplálni, anélkül, hogy az erősítő 50 Hz frekvenciájú hálózati morgása bármilyen hatással lenne a mikroampermérőn átfolyó egyenáramra.



2. ábra. V_1 fotocella. A mikroampermeter és a kapcsolóáramkör

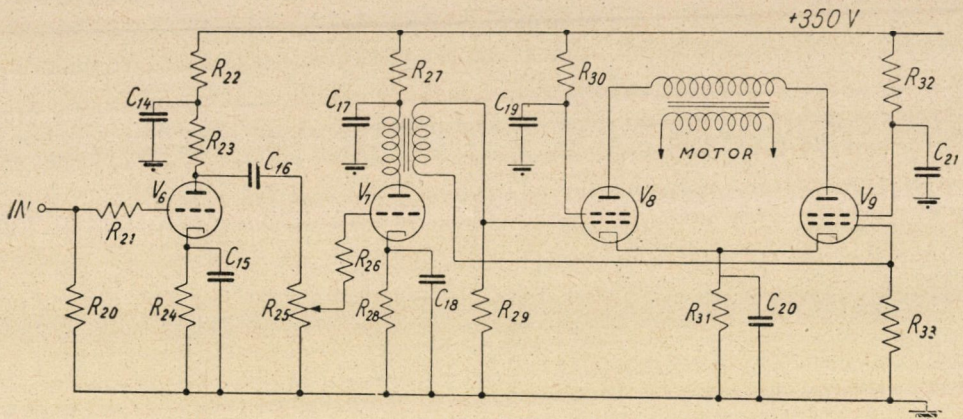
Szervomechanizmusok

A következő probléma a kapott néhány mikroamperes egyenáram erősítése olyan értékre, hogy motort lehessen vele hajtani. Ezt a problémát is új módon oldottuk meg a kiegyensúlyozónak nevezett készülékkel. A kiegyensúlyozó vázlatos rajza a 3. képen látható. Lényegében két koaxiálisan szerelt mikroampermérőből áll. Az egyik mikroampermérő tekerese permanens mágnese erőterében forog, tehát semmiben sem különbözik egy közösleges mikroampermérőtől. A másikkal a tekerese mechanikailag össze van kapcsolva az elsővel,



3. ábra. Kiegyensúlyozó egység, kimenő tekercs 50 ~, ellenőrzőrugó

úgyhogy együtt forognak, elektromosan azonban teljesen el vannak szigetelve egymástól. A második tekercs két vaspofa mágneses térben mozog, amely mágneses teret a vaspofákat körülvevő tekercsbe vezetett 50 Hz frekvenciájú hálózati árammal gerjesztik. Amikor az első tekercsben nem folyik egyenáram, a második tekercs síkja párhuzamos az erővonalakkal. Ha az első tekercs az óramutató járásával egyező irányban forog, akkor a második tekercs kimenő feszültsége arányos a tekercsek elfordulási szögével s van valamilyen fázisa is, amit vegyünk nullának. Ha most az első tekercs az óramutató járásával ellenkező irányban fordul el, akkor a második tekercs kimenő feszültségének fázisa 180° lesz. Megfelelő méretezéssel elérhető, hogy amikor az első tekercsben $5,10^{-6}$ A erősségű áram folyik, akkor a második tekercs kimenő feszültsége 0,01 V legyen. Ezt a feszültséget felerősítve betáplálják egy két-fázisú ún. kiegyensúlyozó motorba. Ez a motor az óramutató járásával egyenlő vagy ellenkező irányban forog, aszerint, hogy a második tekercs kimenő feszültségének fázisa 0 vagy 180° . 10 V, 0,2 A betáplálása esetén a motor közel maximális sebességgel forog, ezt viszont könnyen elérhetjük a fentiekben ismertetett kiegyensúlyozó második tekercsében jelentkező kimenőfeszültség felerősítésével. A kiegyensúlyozó motor olyan irányban mozgatja az éket, hogy a két

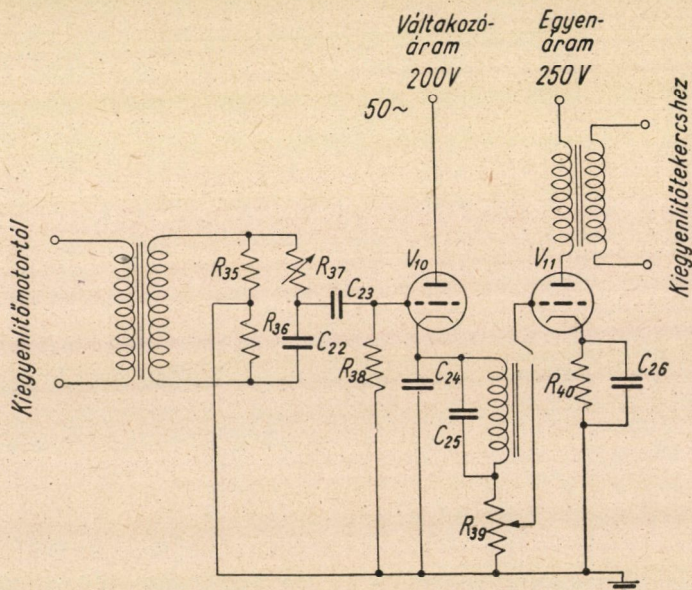


4. ábra. A kiegyensúlyozó egység és a motor kapcsoló áramköre

nyaláb intenzitása azonos legyen. A motor meghajtásához szükséges 50 Hz-n dolgozó erősítő kapcsolási vázlatát a 4. kép szemlélteti. Amint látjuk, a szokásos egyszerű kapcsolás, semmi különlegesség nincs benne.

A szervomechanizmusok ellenőrzése

Előfordul, hogy az előzőekben ismertetett berendezés berezeg. Ez azt jelenti, hogy a motor túlviszi az éket az egyensúlynak megfelelő helyzetben,



5. ábra. Visszacatolóáramkör. Kiegyenlítőmotortól, kiegyenlítőtekercshez, 200 V váltakozó áram, 250 V egyenáram

mire a kiegyensúlyozó motor irányt vált és az ék most ellenkező értelemben megy túl az egyensúlyi helyzeten. Ez a játék azután folyamatosan ismétlődik, hacsak megfelelő csillapítással és visszacsatolással nem gondoskodunk kiküszöböléséről. A kellő csillapítást oly módon biztosítják, hogy a kiegyensúlyozó motorral ventilátort hajtataknak, amelynek fordulatszámja többszöröse a motor fordulatszámának. A visszacsatolást viszont az 5. képen látható kapcsolással oldják meg. Ha a kiegyensúlyozó motor feszültséget kap, akkor az 5. képen látható visszacsatolókör ellenkező előjelű feszültséget ad a kiegyensúlyozó egység bemenő kapcsaira. Ezzel a visszacsatolókör megakadályoz minden gyors feszültségváltozást, nehogy a kiegyensúlyozó egység bemenő kapcsain gyors feszültségváltozások jöjjenek létre, a hosszú idő alatt bekövetkező változásokra viszont nem sok hatása van. A visszacsatolás növeli az ék rezgéseinek frekvenciáját, ugyanakkor azonban csökkenti a rezgések amplitudóját. A gyakorlatban az ék rezgéseinek amplitudója kb. 0,5 mm.

Az ék mozgásának önműködő regisztrálása

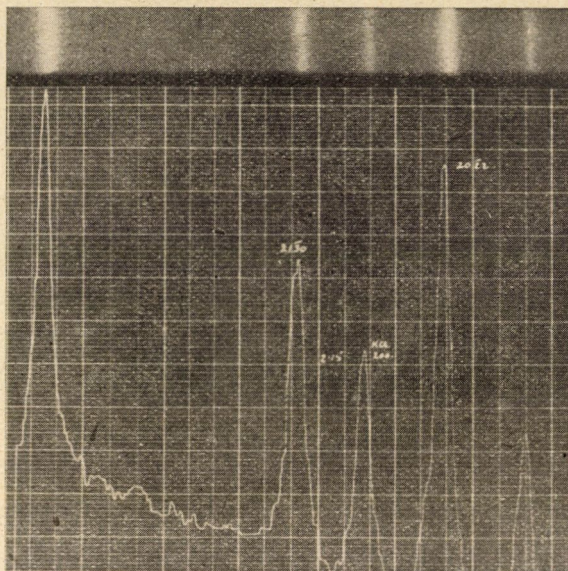
Az önműködő írókészülékek nagy elterjedésére való tekintettel a mikrodenzitométer adatainak regisztrálására Honeywell—Brown-típusú írókészüléket használnak. Ennél a készüléknél az írókar 28 cm széles papírcsíkon mozog előre és hátra. Az írókart a kiegyensúlyozó motor oly módon mozgatja, hogy az íróhegy keresztirányú kitérése a papírcsíkon arányos a regisztrálókészülékre adott feszültséggel. A maximális kitérés kb. 10 mV feszültségnél következik be, s ezt a maximális utat az íróhegy kb. 2 sec alatt teszi meg. A regisztrálókészülék mozgatásához szükséges feszültséget potenciométer szolgáltatja, amelyen a csúszórész helyzete forgássá változtatható. A csúszórész forgatását ugyanaz a kerék végzi, amely az éket is mozgatja, miáltal az íróhegy kitérése a papíron arányos az ék eltolódásával. A papírszalag mozgásának sebessége 1,2 cm-től 5,0 cm-ig változtatható percenként.

A fényérzékeny film felszerelése a mikrodenzitométerre

A gyakorlatban használatos legnagyobb filmméret a 19 cm átmérőjű Debye—Scherrer-kamra filmjének mérete.* A kamrába a filmet két darabban helyezik el, mindkét darab 27 cm hosszú. A filmtartóasztal két egymásra merőleges sínpár mentén mozgatható, amelyek úgy vannak méretezve, hogy x irányban az asztal 29 cm-rel, y irányban pedig 12,5 cm-rel tolható el. Az oszcillációs és Weissenberg-felvételek általában elég kicsik ahhoz, hogy egyetlen hely-

* A tárgyalat készülék röntgen-kristallográfiai felvételek mérésére volt szánva.

zetben felerősítve, teljes felületük tanulmányozható legyen. Más a helyzet azonban kitüntetett orientációk vizsgálatánál, ahol a Debye—Scherrer-gyűrűk mentén változik a feketedés. Ezt a feketedésváltozást oly módon lehet tanulmányozni, hogy a filmet feltesszük az asztalra és utána a középpontja körül forgatni kezdjük. A forgatás eredményeképpen a körgyűrűnek mindig más és más része kerül a mikroszkóp objektívje alá. A filmtartóasztal x -irányban egyenletes sebességgel mozgatható jobbról-balra és megfordítva. A szinkronmotorhoz tartozik egy sebességváltó, amelynek segítségével a következő asztalsebességeket lehet igazítani: 1, 2, 4, 8, 16 és 32 mm/min. A megfelelő sebesség beállítása egyszerűen egy kar elforgatásával történik. Az asztal y irányban kézzel mozgatható

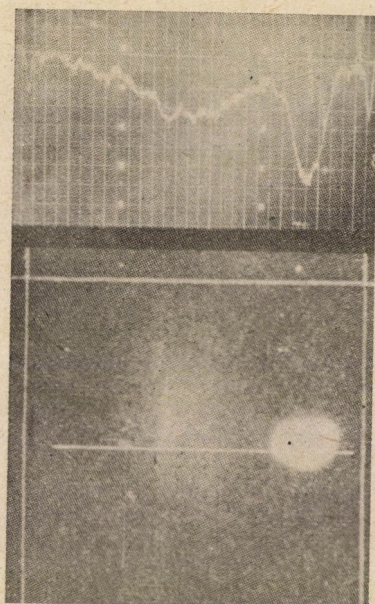


6. ábra

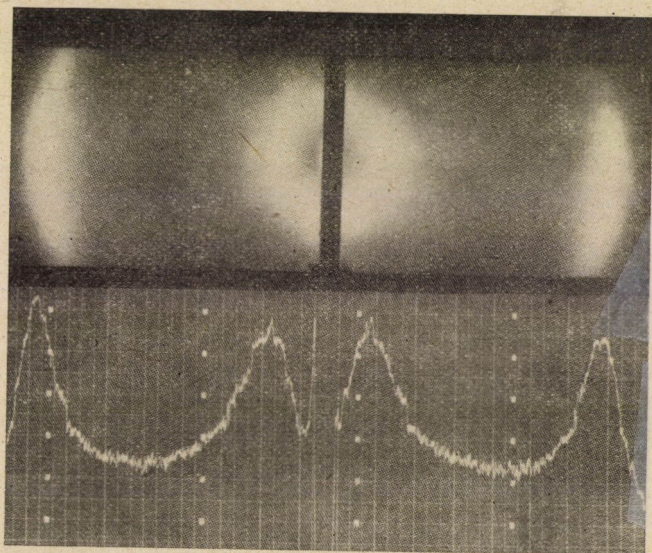
ható egy csavarfej elforgatása útján. Az x és y irányú elmozdulások milliméterskálán olvashatók le, 0,05 mm-es pontosságot biztosító nóniusok segítségével. A leolvasáshoz használt milliméterskálák képét optikai úton rávetítik a film alatt levő üveglapra.

A röntgensugárzás intenzitásmérésének pontossága

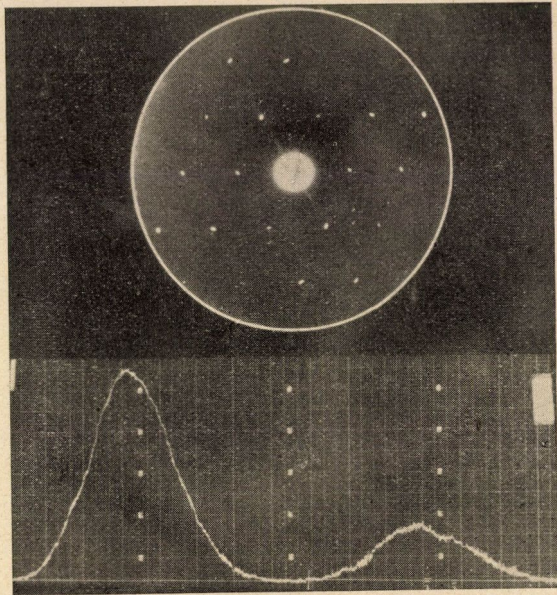
A mérendő folt feketedésének meghatározásához az előzőekben ismertett mikrodensitóméterben általában háromféle éket használnak. A három éken a feketedés az alábbi határok között változik: 0—0,75; 0—1,5; 0—3,0.



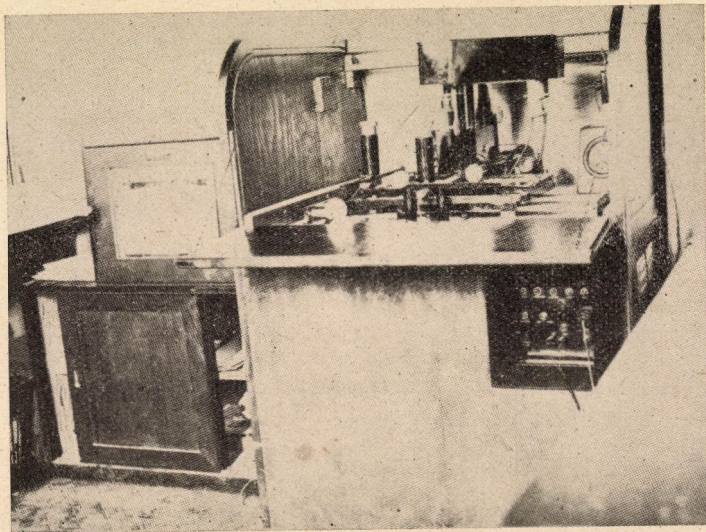
7. ábra



8. ábra



9. ábra



10. ábra

Az ékeket úgy készítik, hogy a mikrodenzitométert 2—3 m távolságra viszik a röntgensötőtől (optikai spektrumok vizsgálatánál a fényforrástól), az asztalra fekraknak egy filmet és utána az asztalt egyenletes sebességgel abszorbeáló ernyő mögött elhúzzák. Ily módon az expozíciós idő a film minden pontjában arányos az illető pontnak az abszorbeáló ernyő szélétől való távolságával. Ha változtatjuk az asztal sebességét, az ék ugyanazon pontjai között más lesz a feketedési arány, tehát különböző sebességgel dolgozva az ék feketedési sávja változtatható. Az ék helyzete vetítőkroszkóppal 0,05 mm pontossággal határozható meg, az ék maximális elmozdulása pedig 5 cm. Ha az éket kézzel mozgatjuk, az elérhető maximális pontosság kb. 2%. A mérés pontosságának a használatos röntgenfilmek szemcsemérete szab határt.

A készülék alkalmazásai

A mondottak szemléltetésére a következőkben bemutatunk néhány röntgenfelvételt és a róluk készült mikrodenzitogramot. A 6. felvételen Debye—Scherrer-felvétel és a hozzátartozó mikrodenzitogram látható. A 7. kép egy diffúz folt feketedésének változását szemlélteti a képen megjelölt egyenes mentén. A 8. kép egy kőszénmintáról készült felvétel mikrodenzitométeres meghatározásának eredményét mutatja. A feketedési görbe alakjából Fourier-analízissel meg lehet határozni az atomelrendezést. A 9. képen retigráffal készült röntgenfelvétel látható a gipsz Okl-típusú reflexióiról. A röntgenfelvétel alatt két folt mikrodenzitométeres meghatározásának eredménye van feltüntetve. Végül a 10. kép fényképfelvételt mutat a teljes készülékről.

IRODALOM

G. M. B. Dobson : Proc. Roy. Soc. (Lond.) A. (1923) 104. 248.



HÁTSÓREFLEXIÓS RÖNTGENKAMRA FÉMDRÓTOK RUGALMAS BELSŐ FESZÜLTSGÉNEK MÉRÉSÉHEZ

SASVÁRI KÁLMÁN

HÍRADÁSTECHNIKAI IPARI KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

A fémek felületi rétegében a felülettel párhuzamos tetszőleges irányban keletkező rugalmas feszültséget a hátsóreflexiós röntgen módszer segítségével a

$$\sigma_x = A_{+\perp} (d_\psi - d_\perp) \quad (1)$$

egyenlet alapján számíthatjuk ki, ha mérjük a kérdéses felületelemre merőleges és a felület normálisához ψ szög alatt hajló irányban a kiválasztott hálózati sík identitástávolságát, amit a normális irányában d_\perp -el, a hozzá ψ szög alatt hajló irányban pedig d_ψ -el jelölünk. A ferdeszögű iránynak az 1. ábra szerint benne kell lenni abban a síkban, amelyet a felület normálisa és a felület kiválasztott iránya alkot. Az (1) egyenletben előforduló együttható

$$A_{+\perp} = \frac{2 \cdot E}{(1 + \nu)(1 + \sin 2\eta) \cdot d_0}, \quad (2)$$

ahol E a fém rugalmassági modulusa, ν a Poisson-féle szám, d_0 a kiválasztott hálózati sík identitástávolsága, η pedig a reflexiós szög pótszöge, $\eta = (90 - \vartheta)$. Erről az együtthatóról könnyen kimutatható, hogy adott anyagra ugyanazon röntgenhullámhosszúságnál állandó.

Ha az (1) egyenletben a $(d_\psi - d_\perp)$ különbséget, mint azt *Glockner* [1] tette, az interferenciagyűrűk feszültségmentes állapothoz képest mutatkozó eltolódásának különbsége szerint sorbafejtjük, akkor az (1) egyenlet a

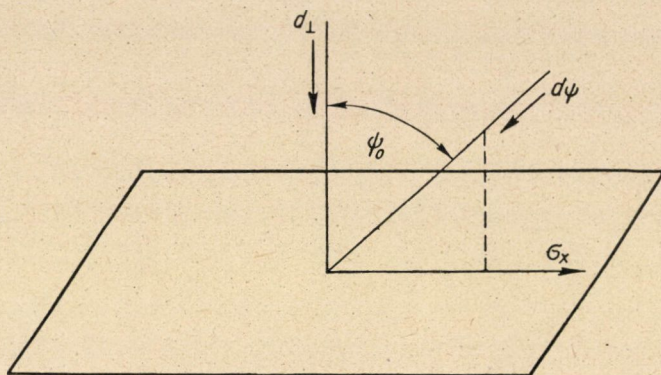
$$\sigma_x = C_{+\perp} (l_\psi - l_\perp) \quad (3)$$

alakba megy át, ahol l_ψ és l_\perp a kétféle irányú identitástávolság méréséhez készült röntgenfelvételen, az interferenciagyűrű féltátmérője, és pedig a 2. ábrán látható jelölésnek megfelelően. A (3) egyenletben

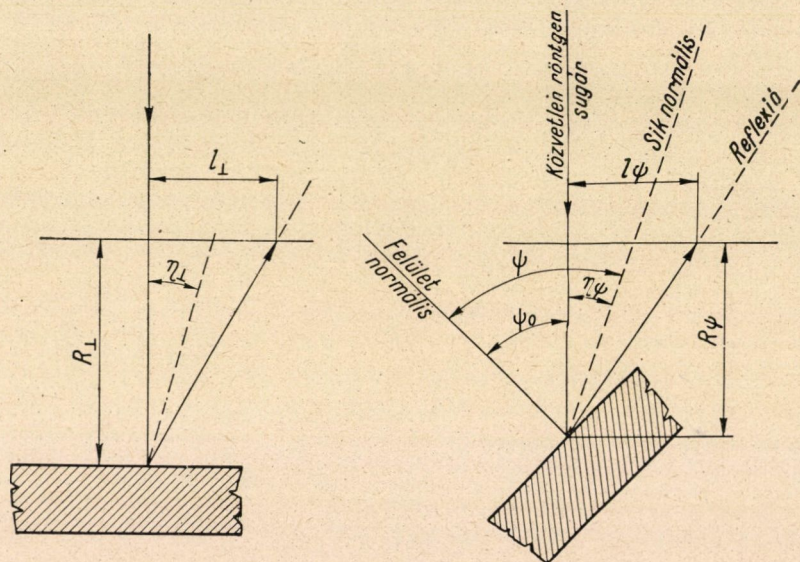
$$C_{+\perp} = \frac{E \cdot \operatorname{tg} \eta \cdot \cos^2 2\eta}{(1 + \nu) \cdot R \cdot (1 + \sin 2\eta)}, \quad (4)$$

ahol R a röntgenfelvétel közben a film-preparátum távolságát jelenti. A $C_{+\perp}$

adott R esetén az előbbi feltételek mellett szintén állandó. A (3) egyenlet az (1) egyenletnél előnyösebb, mivel kevesebb mérési adatból, kevesebb számolással



1. ábra



2. ábra

jutunk az eredményhez. A kétféle módon azonos észlelési adatokból számított feszültség, amint arról az 1. táblázat alapján könnyen meggyőződhetünk, alig mutat észrevehető eltérést.

Mind az (1), mind pedig a (3) egyenlet alapján számított feszültség az interferenciagyűrű féltátmérőjének l_ψ és l_\perp , azonkívül a film-preparátum távolság R_ψ és R_\perp méréséből határozható meg. A feszültségmeghatározás pontossága attól függ, hogy milyen pontossággal tudjuk ezeket a mennyiségeket mérni.

1. táblázat

Az (1) és (3) egyenlet alapján számított feszültség azonos észlelési adatok mellett

ψ_0	R mm	η	l mm	d Å	$(\psi - l_{\perp})$ mm	σ_x kg/mm ²	
					$(d_{\psi} - d_{\perp})$ Å	(1)	(3)
0	50,00	11°28,20'	21,162	0,844110	—	—	—
45	50,00	11°28,49'	21,172	0,844124	0,01	0,73	0,76
					$1,4 \cdot 10^{-5}$		
45	50,00	11°38,20'	21,506	0,844612	0,344	26,26	26,15
					$50,2 \cdot 10^{-5}$		
45	50,00	11°48,20'	21,851	0,845121	0,689	52,90	52,38
					$101,1 \cdot 10^{-5}$		
45	50,01	11°28,49'	21,176	—	0,014	—	1,06
					—		
	50,00	11°28,61'		0,844130	—		
					$2 \cdot 10^{-5}$	1,04	—

A feszültségmérésnél jelentkező követelményekről képet alkothatunk magunknak a 2. táblázat adataiból, amelyek az (1) és (3) képlet alapján számított 1 kg/mm² feszültséghez tartozó $(d_{\psi} - d_{\perp})$ és $(l_{\psi} - l_{\perp})$ különbségek, ha a direkt röntgensugárzás iránya a ferde helyzetű felvételnél a felület normálisához képest $\psi_0 = 45^\circ$.

Láthatjuk, hogy a fémek rugalmassági modulusának növekedésével arányosan növekszik az a pontosság, mely az identitás távolság, vagyis az interferenciagyűrű félátmérőjének és az R film-preparátum távolság meghatározásánál szükséges ahhoz, hogy a feszültséget minden esetben azonos pontossággal kapjuk meg. Ezek között a fémek között a wolframnál találkozunk a legnagyobb nehézséggel, és jelen fáradozásaink éppen odairányulnak, hogy ezen fém drótjainak feszültségét tudjuk mérni legalább 2–3 kg/mm² pontossággal, amint az a gyakorlatban legtöbbször előforduló acélnál elérhető. A korlátozó feltételeket meg gondolásainkban 1 kg/mm² feszültségre vonatkoztatjuk, és ebből a mérés elérhető pontosságának meghatározásával a feszültségmérés elérhető pontossága is meghatározható.

A 2. táblázatból megállapítható, hogy ha wolframon 1 kg/mm² pontossággal akarjuk a rugalmas feszültséget meghatározni, akkor az identitástávolsá-

ságot legalább 10^{-5} Å pontossággal kell tudni mérni. Ez éppen az identitás-távolság-mérésnél elérhető legnagyobb pontosság. A táblázat utolsó oszlopából következik, hogy ennek a pontosságnak az eléréséhez, $R = 50$ mm film-preparátum távolság esetén az kell, hogy az interferenciagyűrűk helyét 0,01 mm-nél nagyobb pontossággal tudjuk mérni. Ha figyelembe vesszük, hogy az identitás-távolság meghatározásának relatív hibája a Bragg-egyenlet alapján

$$\frac{\Delta d}{d} = \left| \frac{\operatorname{tg} \eta \cos^2 2\eta}{2 \cdot R} \right| (|\Delta l| + \operatorname{tg} 2\eta \cdot |\Delta R|) \quad (5)$$

és felvesszük, hogy $\Delta d = 10^{-5}$ Å, akkor wolframnál a 2. táblázatban található adatokkal

$$|\Delta l| + 0,42 \cdot |\Delta R| = 0,7 \cdot 10^{-2} \text{ mm} \quad (6)$$

Vagyis nemcsak az interferenciagyűrűk félátmérőjét, hanem a film-preparátum távolságot is 0,01 mm-nél nagyobb pontossággal kell tudni mérni.

2. táblázat

Néhány fémnek a rugalmas feszültségmérés szempontjából jellemző adatai

Fém	E kg/mm ² **	d_0 (hkl)** hkl	η (hkl) Sugárzás λ Å	$(d_{\psi} - d_{\perp})$ Å $A + \perp$ (kg/mm ² · Å)	$(l_{\psi} - l_{\perp})$ mm $C + \perp$ kg/mm ² ($R = 50$ mm)
Al	7190	0,77778 Å	8°45,8' Cu $K\alpha_1$	$9,4 \cdot 10^{-5}$	$8,6 \cdot 10^{-2}$
	0,34	(333)	$\lambda = 1,537396$	$1,06 \cdot 10^4$	11,56
Cu	12500	0,90194 Å	8°13,9' Co $K\alpha_1$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$
	0,35	(400)	$\lambda = 1,785287$	$1,60 \cdot 10^4$	19,2
α -Fe	21690	0,90465 Å	9°20,7' Co $K\alpha_1$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$
	0,28	(130)	$\lambda = 1,785287$	$2,8 \cdot 10^4$	37,9
Mo	30650	0,83947 Å	9°47,4' Ni $K\alpha_1$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,86 \cdot 10^{-2}$
	0,31	(123)	$\lambda = 1,654503$	$4,2 \cdot 10^4$	53,7
W	39600	0,84411 Å	11°28,2' Ni $K\alpha_1$	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$1,32 \cdot 10^{-2}$
	0,29	(123)	$\lambda = 1,654503$	$5,2 \cdot 10^4$	76,0

Az interferenciagyűrűk félátmérőjének mérési hibáját minden eddigi ismert eljárásnál az interferenciagyűrű helyének meghatározásánál mutatkozó hiba

* (2), ** (3)

határozza meg. A különböző eljárások [4–11], amelyek a fémek rugalmas feszültségének mérésével foglalkoznak, lényegileg abban térnek el, hogy az R film-preparátum távolság meghatározását és a deformált interferenciagyűrű félátmérőjének mérését más módon végzik.

Az eredeti *Wever—Möller* [4] eljárásnál az R meghatározásához a vizsgálandó fém felületére olyan kristályos anyag finom porát visszük fel vékony rétegben, amelynek rácsállandóját nagy pontossággal ismerjük. Ilyenkor a vizsgálandó és segédanyag hátsóreflexiója a röntgenfelvételen egymás mellett jelenik meg, és a segédanyag interferenciája segítségével a vizsgálandó anyag interferenciájának félátmérője és a film-preparátum távolság is meghatározható. Ennek az eljárásnak hátránya, hogy nehezen sikerül reprodukálhatóan azonos rétegvastagságot elérni, minek következtében nagyon könnyen megesik, hogy hol az alapanyag, hol a segédanyag interferenciája marad le a felvételtől; attól függően, hogy túl vastag vagy túl vékony réteget viszünk fel a segédanyagból. A segédanyag változó vastagsága R mérésének pontosságát is befolyásolja.

Thomas [8] mechanikai berendezés segítségével, a film-preparátum távolságot minden felvételnél ugyanarra az értékre állítja be, amit segédanyag segítségével egyszer meghatároz. Így további méréseknél a segédanyag használata szükségtelenné válik, ami a mérést lényegesen egyszerűsíti. Az interferenciagyűrű félátmérőjét, a direkt röntgennyaláb geometriai tengelyéhez képest, rögzített jeltől való távolságából határozza meg.

Szántó István [9] kettős film alkalmazásával megkerülte a film-preparátum távolság közvetlen meghatározását. Ez igen kényelmes eljárás, de nagyobb követelményeknél számbajönnek azok a hibaforrások, amelyek az észlelési adatok számának a szaporodásával járnak.

Az R közvetlen mérését úgy is megkerülik [11], hogy a rugalmas feszültség meghatározásához a vizsgálandó anyagnak egy második interferenciagyűrűjét is felhasználják, amely nem tolódik el érzékenyen a feszültség okozta rácsállandó változásra. Ha ez utóbbit szerencsésen lehet megválasztani, akkor ez a módszer szintén jól használható.

Arra az esetre, amikor kis mintadarabok vizsgálatáról van szó, amelyek felülete sima, és így a felületnek egy rögzített ponthoz való beállítása reprodukálhatóan elvégezhető, a legnagyobb pontosság és gyorsaság eléréséhez a *Thomas*-féle eljárást tekinthetjük a legcélravezetőbbnek. Elvi fontosságú vizsgálatok elvégzéséhez ennek a módszernek a finomításával foglalkoztunk.

A wolfram nagy abszorpciója következtében feltétlenül szükséges gondoskodni arról, hogy a vizsgálandó felület nagyon sima legyen és ne maradjanak benne olyan apró mélyedések, amelyekből a belépő röntgensugárzás a reflexió irányában abszorpció miatt nem tud kilépni. Ilyen módon biztosítani tudjuk, hogy felületi adottságok ne rontsák az interferenciagyűrűk egyenletes intenzitáseloszlását. A sima felületet, a mechanikai fényesítés okozta amorf felületi

réteg elkerülése végett, elektrolitos polírozással hozzuk létre. Így tehát a sima felület más követelmények miatt is mindig rendelkezésre áll.

Mi itt elsősorban drótban keletkező feszültség mérésével óhajtunk foglalkozni. Ennek hengeres felülete következtében foglalkozni kell azzal a kérdéssel, hogy a kétféle (merőleges és ferde irányú) beállításnál, mit kell az effektív film-preparátum távolságon érteni, és hogyan változik ez akkor, ha a röntgennyaláb átmérője változik a drót átmérőjéhez képest.

A Thomas-féle eljárás finomításánál a következő megfontolásokból indulunk ki:

A (3) egyenlet alapján, ha a $C_{+\perp}$ állandót adott R értékkel számítjuk, akkor a mérés alapját az képezi, hogy a film-preparátum távolságot mindig ugyanezen R értékre állítjuk be. Tegyük fel, hogy a távolságot sikerül pontosan mindig ugyanazon értékre beállítani, de annak valódi értékét, mondjuk segédanyag segítségével, csak ΔR pontossággal tudjuk meghatározni, és ilyenformán fennáll, hogy

$$R_{\psi} = R_{\perp} = R + \Delta R. \quad (7)$$

Ebben az esetben könnyen kimutatható, hogy a mérés alapján számított feszültségnek a valódi feszültségtől való $\Delta\sigma_x$ eltérésére fennáll, hogy

$$\frac{\Delta\sigma_x}{\sigma_x} = \frac{\Delta R}{R}. \quad (8)$$

A wolframnál, az eddigi becslések és gyakorlati mérések alapján biztosak vagyunk, hogy $\Delta\sigma_x \geq 1 \text{ kg/mm}^2$, ami minden esetben 1%-nál nagyobb mérési hibát jelent, és így $R = 50 \text{ mm}$ esetén elegendő, ha az R távolságot 0,5 mm abszolút hibán belül ismerjük.

Ha ellenben feltesszük, hogy a kétféle beállításnál a film-preparátum távolság nem pontosan azonos, vagyis

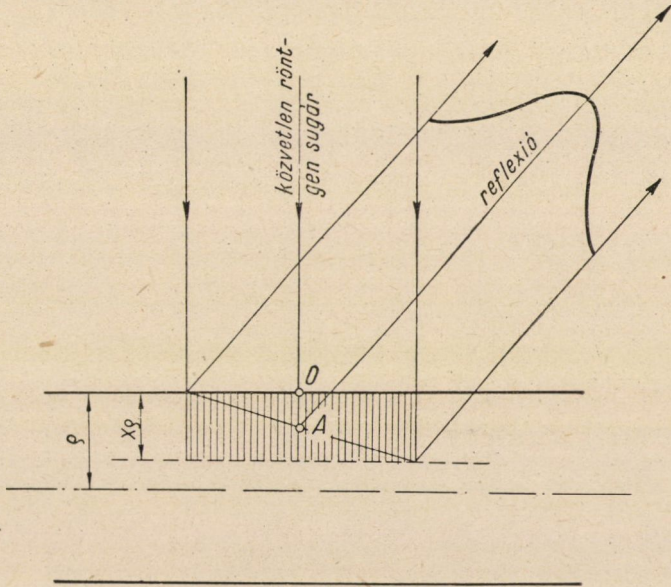
$$R_{\psi} = R \quad \text{és} \quad R_{\perp} = R + \Delta R, \quad (9)$$

akkor a (3) egyenlet alapján wolfram esetében

$$\Delta\sigma_x = 32,55 \cdot \Delta R. \quad (10)$$

Eszerint, ha azt akarjuk, hogy a feszültségmérés hibája 1 kg/mm^2 -nél nagyobb ne legyen, akkor szükséges, hogy a két egymásutáni felvételnél az R távolság 0,03 mm-nél kisebb eltérést mutasson. Vagyis a film-preparátum távolság beállításának hibája ne legyen nagyobb, mint $\Delta R = \pm 0,015 \text{ mm}$.

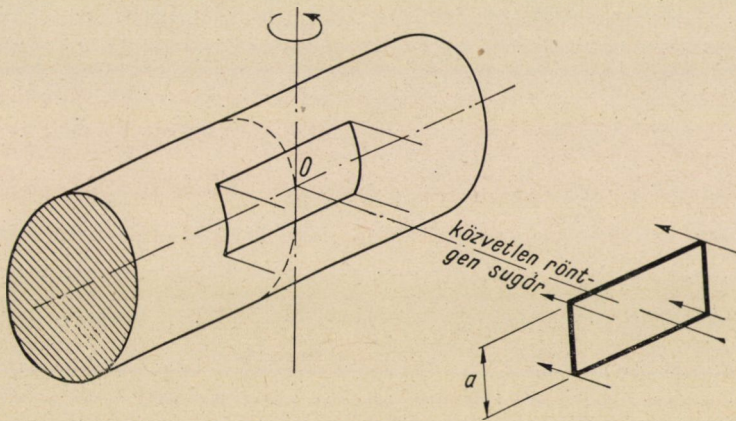
Ezek szerint a pontos mérés feltétele az, hogy a film-preparátum távolságot nagy pontossággal tudjuk beállítani mindig ugyanarra az értékre, de nem



3. ábra.

szükséges, hogy ezt a távolságot néhány tized mm-nél nagyobb pontossággal ismerjük.

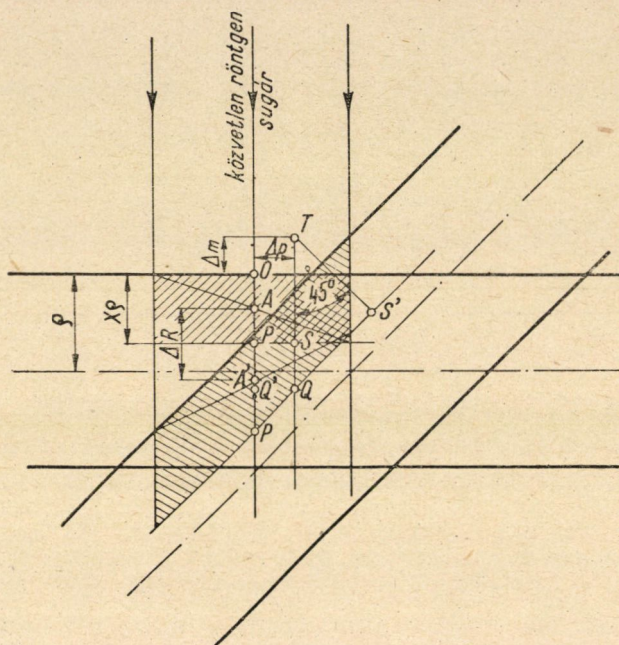
Ennek a ténynek a felismerése igen megkönnyíti helyzetünket síkfelületű mintadarabok esetén. De még mindig bizonyos nehézséggel állunk szemben, amikor fémdrótok felületében kívánjuk mérni a rugalmas feszültséget. Ilyenkor a film-preparátum távolságot a 3. ábra szerint nem a drót azon felületi pontjától kell számítani, amely a megvilágított felületen a filmhez legközelebb esik, és



4. ábra

ahhoz képest 0,01 mm pontossággal állandó értékre állítottunk be, hanem egy fiktív belső A pontjától, amely a direkt röntgennyaláb geometriai tengelyének és a reflexió félértékközepéhez tartozó reflexió irányának a metszéspontjában van.

A két egymásutáni felvételen a felületnek mindig azonos helyét világítjuk meg. Ezt a drótnál akkor érjük el, ha a drótnak az egyik helyzetből a másikba



5. ábra

való elforgatását olyan tengely körül végezzük, amely szimmetrikus megvilágítás esetén, a 4. ábrának megfelelően merőleges a közvetlen röntgensugárzás irányára és annak geometriai tengelyét metszi, azonkívül a drótnak a film felőli szélét érinti. Ilyenkor a film-preparátum távolságát kijelölő A pontnak a drót szélétől, azaz a forgástengelytől való távolsága négyzetes keresztmetszetű röntgennyaláb esetén, nagy röntgenabszorpciót feltételezve

$$\overline{AO} = \frac{1}{2} \left(\varrho - \sqrt{\varrho^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} \right), \quad (11)$$

ha ϱ a drót félátmérőjét, a pedig a röntgennyaláb négyzetes keresztmetszetének élhosszúságát jelenti, amely a forgástengellyel párhuzamos. Az \overline{OA} távolság és ezzel a film-preparátum távolság azonos beállítás mellett tehát változik aszerint, hogy mekkora a drót keresztmetszete a röntgennyaláb keresztmetszetéhez képest.

Az A pontnak a T forgástengelytől való távolsága, azaz az R film-preparátum távolság azonban akkor is változik, ha a drótot az adott beállítás mellett tengely körül elforgatjuk. Mégpedig, ha az 5. ábra szerint a forgástengelynek a közvetlen röntgensugár geometriai tengelyétől való távolsága Δp , a drót legközelebbi alkotójától való távolsága pedig Δm , — ezek a beállítás pontatlanságai —, akkor a drótnak a közvetlen röntgenirányra merőleges helyzetből a 45° -os helyzetbe való elforgatásánál az \overline{OA} távolság megváltozása, vagy más szavakkal a film-preparátum távolság megváltozása

$$\Delta R = \Delta p + (\overline{OA} + \Delta m) (\sqrt{2} - 1), \quad (12)$$

amiből következik, hogy

$$R_\psi = R_\perp + \Delta R. \quad (13)$$

Ha a közvetlen röntgenirány geometriai tengelyéhez a drót elforgatási tengelyét rögzítjük, akkor $\Delta p =$ állandó. Ha azonkívül gondoskodni tudunk arról, hogy a drótnak a film felőli szélét a forgástengelyhez 0,01 mm pontossággal mindig azonos módon tudjuk beállítani, akkor azonos drótátmérőkhöz minden esetben

$$\frac{R_\perp}{R_\psi} = \text{állandó}.$$

Az $\frac{R_\perp}{R_\psi}$ hányados a (13) egyenlet alapján elég jó közelítéssel számítható, ha a röntgennyaláb négyzetes keresztmetszetű és az anyag abszorpciója oly nagy, hogy a röntgensugárzás 0,01 mm-nél kisebb mélységig tud csak a felület alá behatolni. Körkeresztmetszetű röntgennyalábbal, vagy kisebb abszorpció esetén már más lesz a helyzet. Éppen ezért leghelyesebb, ha az $\frac{R_\perp}{R_\psi}$ hányadost minden esetben sima felületű ismert átmérőjű és abszorpciójú feszültségmentes hengeres preparátumról készült felvételből, mérés útján határozzuk meg. Különböző drótátmérőkre azonos abszorpció mellett kapott mérési adatokból azután már interpolációval bármely drótátmérőre megkapjuk az $\frac{R_\perp}{R_\psi}$ értékét.

Itt a síkfelületű mintadarabokon észlelt azon előny, hogy R_ψ és R_\perp értékét csak néhány tized mm pontossággal kell ismerni, látszólag elvész. Feszültségmentes sima felületű drótokról nagy gonddal készített felvételekből az $\frac{R_\perp}{R_\psi}$ hányados igen nagy pontossággal meghatározható. Meghatározható azonban a jelen körülmények között a kívánt pontossággal, a vizsgálandó anyag felületére

felvitt segédanyag segítségével is. Az a hiba ugyanis, amely segédanyag használatakor a film-preparátum távolság értékének meghatározásánál a felületi réteg vastagságának ingadozása és meghatározásának bizonytalansága miatt jelentkezik, az $\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}}$ hányados meghatározásánál elesik. Erről könnyen meggyőződhetünk, ha figyelembe vesszük, hogy $R_{\perp} \sim R_{\psi} \sim 50$ mm, az összetartozó R_{\perp} és R_{ψ} értékeket a segédanyagnak mindig ugyanazon felületi rétege segítségével határozzuk meg. Ennek következtében az R_{\perp} és R_{ψ} azon hibája, mely a segédanyag vastagságának bizonytalanságától származik, a két esetben előjelre és abszolút értékre mindig 0,01 mm belül ugyanaz (csak a különböző rétegeknél változik), azonkívül ez a hiba 0,5 mm-nél mindig biztosan kisebb. Ilyen feltételek mellett a segédanyag rétegvastagságának bizonytalansága az $\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}}$ hányadosnak negyedik tizedesében okoz legfeljebb 6 egységnyi eltérést. $\left(\text{pl. } \frac{49,5}{50,5} - \frac{49}{50} = 0,00023 \text{ illetve } \frac{49,51}{50,49} - \frac{49}{50} = 0,00058 \right)$. Ez pedig, tekintve, hogy $l_{\perp} \sim 20$ mm, elhanyagolható hibát okoz a (14) egyenletben.

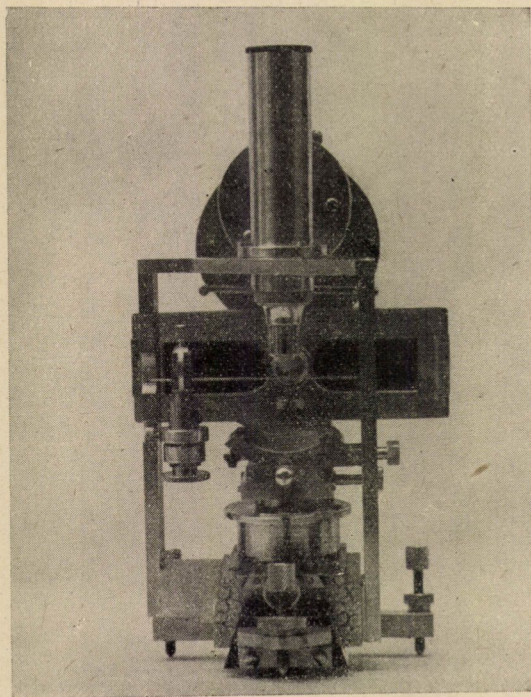
Mivel a drótnak a direkt röntgensugárhoz és filmhez képest rögzített helyzetében a röntgennyaláb állandó keresztmetszete, és a drót azonos abszorpciója mellett az $\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}}$ hányados csupán a drótátmérővel változik, az egyszer pontosan meghatározott $\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}}$ hányados, a feszültség alatt álló preparátum röntgenfelvételének kiértékeléséhez azonos drótátmérő és abszorpció mellett felhasználható. Az $\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}}$ hányados különböző drótátmérőkre meghatározva, a kamra adott beállítása mellett, kamraállandónak számít.

Ha ismerjük az $\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}}$ hányadost legalább 0,001 pontossággal — ez mindig könnyen elérhető a segédanyagról készült felvételből is, ha a segédanyag interferenciagyűrűjének átmérőjét két észlelésből határozzuk meg —, akkor a feszültség meghatározásához készült kétféle röntgenfelvételen az interferenciagyűrű mért félátmérőjét azonos film-preparátum távolságra vonatkoztathatjuk, vagyis a (3) egyenlet alapján a feszültséget

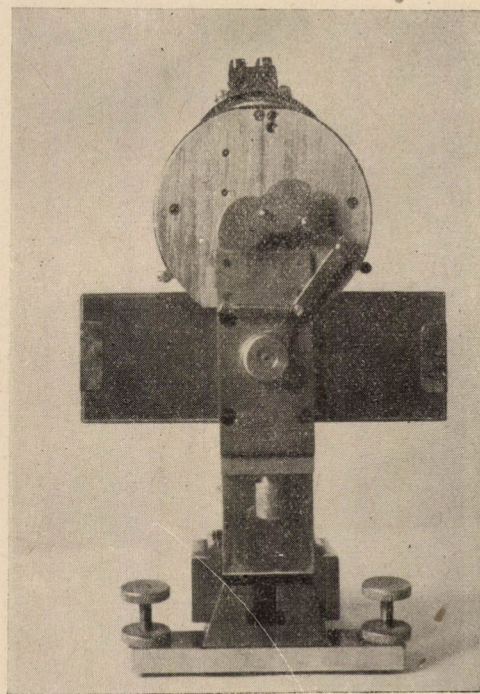
$$\sigma_x = C_{+\perp} \left(\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}} l_{\psi+} - l_{\perp} \right) \quad (14)$$

egyenlettel számítjuk ki.

Ezen megfontolások figyelembevételével a Thomas-féle módszer finomításához szerkesztettük meg a 6. ábrán látható röntgenkamrát, amelyet



6/a ábra



6/b ábra

különösen wolfram- és molibdéndrót rugalmas feszültségének méréséhez akarunk felhasználni, más irányú vizsgálatokkal kapcsolatban. A Thomas-féle röntgenkamrával szemben a lényeges különbség a dróttartó, a beállító goniométer és az ellenőrző leolvasó mikroszkóp.

A goniométerre rögzített dróttartón vízszintesen befogott drót, mikrométercsavar segítségével, a goniométer asztalkára merőleges irányban finoman emelhető és süllyeszthető. A goniométer a réshez képest rögzített tengely körül forgatható. Ez a tengely a rés geometriai tengelyére merőleges és azt metszi. A goniométeren elhelyezett drót, a rés geometriai tengelye körül elvégezhető döntéssel és két egymásra merőleges eltolással, egyrészt vízszinteshez képest 0—45 között dönthető, másrészt az előzőekben tárgyalt feltételeknek megfelelően a goniométer forgástengelyéhez mindig legalább 0,01 mm pontossággal beállítható. A beállítás ellenőrzése igen érzékenyen, a drót fölött rögzítve és beigazítva elhelyezett kb. 20 ×-os nagyítású leolvasó mikroszkóp segítségével történik.

Így mindazon feltételek, amelyek szükségesek ahhoz, hogy $\frac{R_-}{R_+}$ hányados minden felvételnél az előzőekben adott hibahatáron belül ugyanaz legyen, teljesítve van.

A drót helyes magasságának gyors és pontos beállítását megkönnyíti, hogy a távcső kis mélységélességű, és magassága úgy van beigazítva, hogy a helyes drótmagasságnál a beállításra szolgáló drótalkotó élesen, parallaxis hibamentesen látszik. A beállításnál a drót magasságát tehát az erre szolgáló mikrométercsavarral addig változtatjuk, amíg ez a feltétel teljesítve nincs.

A 6b ábrán látható szív motormeghajtással egyenletes szögsebességgel forgatható. A szív alakja úgy van elkészítve, hogy a rátámaszkodó és réshez rögzített kar és vele együtt a film egyenletes szögsebességű lengést végezzen. Ezzel az interferenciagyűrű feketedés eloszlása egyenletesebb lesz, és így helyének nagypontosságú meghatározása is könnyebbé válik.

Az interferenciagyűrű félátmérőjének meghatározásához a film alapfeketedésének ekvátor menti szélét használjuk fel. Ezt a réshez rögzített korong ékalakban kiképzett széle határozza meg. Hogy az alapfeketedés szélénél minél élesebb ellentétet kapjunk, minden felvétel után, azonos beállítás mellett, a korong ékalakú szélének két oldalát, keskeny csíkban, a közvetlen röntgensugárzással is megvilágítjuk. Ezzel a filmen a 7. ábra szerinti alapfeketedési széllet kapjuk, amely 0,01 mm pontossággal reprodukálható és ki is jelölhető. Ezt igazolja a 3. és 4. táblázat harmadik oszlopa, amelyben 6 különböző felvételen mérve, az alapfeketedési szélek ekvátormenti távolsága $2f$ és ezen távolságoknak a középértéktől való maximális eltérése látható.

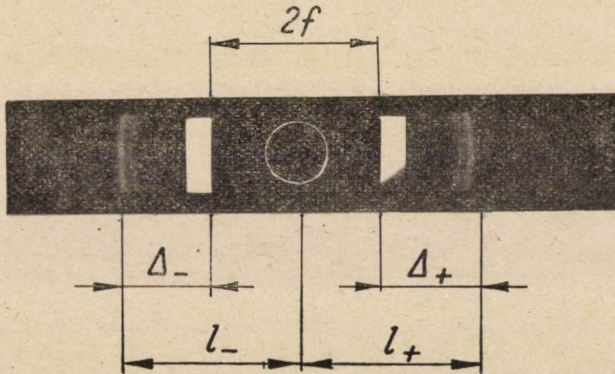
A feketedés szélének a közvetlen sugártól való távolsága hitelesítő anyag segítségével határozható meg. Ez a röntgenkamra másik állandója, amelyet az ekvátor két oldalán f - és f_+ -szal jelölünk. Ennek ismeretével, ha a vizsgálandó anyag interferenciagyűrűjének a feketedés szélétől való távolsága a felvétel

jobboldalán Δ_+ , akkor a félátmérője ugyanezen az oldalon a 7. ábra szerint ($l_{\psi+} = l_+$ jelöléssel)

$$l_+ = f_+ + \Delta_+. \tag{15}$$

A mérési adatokból a feszültséget a (14) egyenlettel számítjuk, s ebben a (15) egyenlet alapján

$$l_{\psi} - l_{\perp} = \left(\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}} \Delta_+ - \Delta_{\perp} \right) + c, \tag{16}$$



7. ábra

ahol $c = f_+ \left(\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}} - 1 \right)$ az f_+ -t helyettesítő kamraállandó. Mivel az $f_+ \sim 10$ mm, viszont $\frac{R_{\perp}}{R_{\psi}}$ hibája 0,001 nagyságrendű, a c kamraállandó hibája $\Delta c \leq 0,01$ mm. Ennek figyelembevételével könnyen belátható, hogy ha az interferencia-gyűrűk helyét is 0,01 mm pontossággal tudjuk meghatározni, a (16) egyenletben előforduló ($l_{\psi} - l_{\perp}$) különbséget 0,05 mm maximális hibán belül kapjuk meg még akkor is, ha f_+ értékét néhány tized mm-es hibával ismerjük csak. Ekkor a $2-3 \text{ kg/mm}^2$ mérési pontosság a wolfrámnál is elérhető.

A bemutatott röntgenkamra ellenőrzése végett 1,49 mm átmérőjű kovácsolt wolframdrót felületére glicerinnel föl vitt *Mo*-porról egy-egy: és a tiszta fényesített wolframdrót azonos helyéről egymásután 5-5 hátsóreflexiós felvételt készítettünk, merőleges és 45° -os ferde irányú megvilágítással. A felvételek egyike a 7. ábrán látható. A kimérést a Zeiss-féle gyorsfotométerrel végeztük.

A 3. táblázatba foglalt adatok szerint a mikroszkóppal végzett drót-beállítás mellett a merőleges és ferde irányú felvételnél a film-preparátum távolság 0,01 mm hibahatáron belül azonos.

Ezen feltétel mellett, a drót azonos helyéről készült felvételek adataiból számított feszültségek a 4. táblázatban láthatók. Eszerint az egyes mért feszült-

3. táblázat

Film-preparátum távolság meghatározásához 1,49 mm átmérőjű drótra felvitt Mo-rétegről készített felvételek adatai és azokból számított film-preparátum távolság. (Ni $K\alpha_1$ sugárzás, $tg2\eta = 0,35569$, $2f = 22,50$ mm.)

Felv. sz.	ν_0	$2f$ mm	$\Delta-$ mm	$\Delta+$ mm	$2l_s$ mm	R mm
H-41/2	0°	22,515	8,02	8,305	38,825	54,58
	45°	22,50	8,035	8,29	38,825	54,58

ségértékeknek a középértéktől való maximális eltérése $\Delta\sigma_x = 2,8$ kg/mm², ami hibabecsléseinkkel igen jól egyezik. Ez az eredmény és az egyes észlelési adatok is amellet szólnak, hogy a fényesített drótfelületről kapott röntgeninterferenciák helyének meghatározása igen jól megközelíti a 0,01 mm pontosságot, s a film-preparátum távolságnak mikroszkóppal történő reprodukálható beállítása megadta a lehetőséget, hogy a feszültségmérés hibáját, más módszerek hibájának felére csökkentjük.

A röntgenkamra ellenőrzéseképpen már előzőleg wolframdróton és lemezen hajlítással előállított, és a görbületi sugárból számított feszültségek mérését is

4. táblázat

Kovácsolt wolframdrót azonos helyéről egymásután készült hátsőreflexiós felvételek adatai és az azokból számított feszültségek

Felv. szám	ν_0	$2f$ mm	Δ_{\perp} mm	$\Delta+$ mm	$\Delta+ - \Delta_{\perp}$	σ_i kg/mm ²	$\sigma_k - \sigma_i$
H-41/3	0°	22,51	12,205	—	-0,24	-16,7	+1,4
	45°	22,495	—	11,965			
H-41/4	0°	22,495	12,215	—	-0,225	-15,6	+0,3
	45°	22,50	—	11,99			
H-41/5	0°	22,505	12,205	—	-0,215	-15,0	-0,3
	45°	22,495	—	11,99			
H-41/6	0°	22,48	12,195	—	-0,18	-12,5	-2,8
	45°	22,485	—	12,015			
H-41/7	0°	22,49	12,235	—	-0,24	-16,7	+1,4
	45°	22,51	—	11,995			
Középértékek	—	22,50	12,21	11,99	-0,22	-15,3	1,2
Középértéktől való max. eltérés	—	0,015	0,025	0,025	0,04	2,8	—

5. táblázat

Wolframdróton és lemezen hajlítással előállított feszültség mérése hátsóreflexiós röntgenmódszerrel.
(A drót fürdik a röntgennyalámban; $R = 45$ mm: Cu $K\beta$ (240) reflexió, $C_{\perp} = 89$)

M i n t a	Hajlítás görbületi sugara mm	Drótátmérő ill. lemez- vastagság mm	σ_x számított kg/mm ²	ν_0	Δ_{\perp} Δ_{\parallel}	σ_x kg/mm ² mért		$\Delta\sigma_x$ mért
						hajlítás előtt	hajlítás után	
Drót	—	1	—	0 45	6,30 6,43	+ 11,6	—	—
Drót	360	1	27,5	0 45	6,27 6,68	—	+ 36,5	24,9
Drót	300	1	33,0	0 45	6,19 6,69	—	+ 44,5	32,9
Lemez	—	0,225	—	0 45	6,31 6,18	— 11,6	—	—
Lemez	161	0,225	55,3	0 45	6,24 6,72	—	+ 42,7	54,3

elvégeztük, még az eredeti Thomas-módszer segítségével. A hajlítást úgy végeztük el, hogy a vizsgálandó mintát ismert görbületi sugarú alumínium hengerfelületre szorítottuk rá. Drótok esetében, amikor az a röntgennyalámban fürdik, figyelembe vettük, hogy az interferenciagyűrű eltolódásából mért rugalmas feszültség a maximális hajlítási feszültség fele. A mért és számított feszültségek összehasonlítása az 5. táblázatban látható. A táblázat alapján megállapítható, hogy a mért értékek mind kisebbek, mint a számítottak. Ez azt jelenti, hogy a mérések szórása a számított értékek egyik oldalára esik, tehát valójában kisebb, mint a számított és mért értékek legnagyobb eltérése. Ebből egyrészt a mérés pontosságára lehet következtetést vonni, másrészt azonban az is megállapítható, hogy a hajlítással előállított feszültség kisebb, mint a hengerfelület görbületi sugarából számított. Ezen bizonytalanság ellenére is a mért feszültség igen jól megközelíti a hajlítás görbületi sugarából számított feszültséget. Ebből igazoltnak látható, hogy a mérés reprodukálhatóságának hibája a feszültségmérés reális hibáját jelenti.

IRODALOM

1. R. Glocker : Zs. f. techn. Phys. 3, (1951) 212.
2. W. Köster : Appl. Sci. Research, A, 4, 4, (1954) 329.
3. R. W. G. Wyckoff : Crystal Structures, Interscience Publ. New York, 1948.
4. F. Wever—H. Möller : Archiv für das Eisenhüttenwesen 5, (1931) 215.
5. R. Glocker—E. Osswald : Zs. f. techn. Phys. 16, (1935) 237.
6. F. Gisen—R. Glocker—E. Osswald : Zs. f. techn. Phys. 17, 5, (1936) 145.
7. R. Glocker—B. Hess—O. Schaaber : Zs. f. techn. Phys. 19, (1938) 194.
8. D. E. Thomas : J. Sci. Insts. 18, (1941) 135 és 201 és 25, (1948) 440.
9. Szántó I. : M. Tud. Akad. Műszaki Tud. Osztályának Közleményei 9, 1—4, (1953) 293.
10. G. Beckmann : Feingerätetechnik 3, (1954) 15.
11. F. Kohl : Mérés és Automatika 2, 3, (1954) 85.

HOZZÁSZÓLÁS

SZÁNTÓ ISTVÁN

Az itt elhangzott előadásból megállapíthatjuk, hogy Sasvári Kálmán éismerésre méltó feladatra vállalkozott, amikor wolframdrótban és lemezben ébredő feszültségek röntgenografiai úton való meghatározását tűzte ki céljául. Mint tudjuk, a wolfram rugalmassági modulusa aránylag nagy, az acélénak csaknem kétszerese, az Al-énál pedig 5 és félszerre nagyobb. Ez egyet jelent azzal, hogy azonos leolvasási pontosság mellett a mérés bizonytalansága is ugyanilyen arányban nő. Ha pedig az a követelmény, hogy az acél vizsgálatánál eddig elért 2–3 kg/mm²-es mérési biztonság wolframnál is megvalósuljon, akkor a rácsszerkezet identitástávolság meghatározásánál a regisztrálás pontosságát 100%-kal meg kell növelni. Ez kemény dió, ha tekintetbe vesszük, hogy a regisztráló filmtechnika terén a röntgen feszültségmérés az utóbbi években eljutott az elérhető pontosság felső határára. Egyébként így lehet könnyen megérteni, hogy a kérdést tárgyaló régebbi közlemények főleg Al-mal és Al-alapú ötvözetek feszültség-meghatározásával foglalkoztak. Ennél lehetett ugyanis a legkevésbé kényes módszerrel aránylag igen jó mérési eredményeket elérni.

Sasvári Kálmán a legnehezebb utat választotta. Vállalta a wolfram feszültségmérésével járó nehézségeket. Lássuk, mennyiben sikerült feladatát megoldania. Vizsgáljuk a mérési folyamat 3 leglényegesebb és egyben legkényesebb hibaforrását:

1. a drótfelzín-regisztráló sík távolság mérési hibája. A tárgy—film távolság beállítási nehézségeit Sasvári itt bemutatott szerkezete ötletesen megoldja. Lényege kifogástalan gondolatmeneten alapul. Elvileg valóban szükségtelen, hogy a távolságot néhány tized mm-nél nagyobb pontossággal kelljen beállítani, ha sikerül biztosítani, hogy az $\frac{R_1}{R_p}$ hányados minden felvételnél azonos legyen. Az újfajta beállítási mód eredményességéről azonban még hiányoznak a kísérleti adatok.

2. a röntgenogram interferenciagyűrűinek leolvasási bizonytalansága. A filmregisztrálás leolvasási bizonytalanságának 0,01 mm-re való csökkentésével kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy ez az érték jobb, mint az eddig közölt mérési eredmények bármelyikének átlaga. Szeretnénk tudni, hogy ezt objektív regisztráló műszerrel, vagy más úton sikerült-e elérni. Valami szisztématis hiba — úgy látszik — mégis belecsúszott a leolvasásokba, mivel a mért és számított feszültségértékek közti eltérés végig azonos előjelű szórást mutat.

3. az elasztikus anizotrópia problémája. A röntgenografiai feszültség-meghatározás megbízhatóságának egyik legvitatottabb pontja: a rugalmassági modulus (E) és a Poisson-tényező (ν) korrekt értékeinek kiválasztása. A feszültségmérésre vonatkozó egyenleteknél ugyanis hallgatólagosan feltételezik, hogy a vizsgált anyag izotróp. Ez a feltételezés fémekre nem lehet érvényes, sem a fém polikristályos, sem monokristályos megjelenési alakjában. Az E és ν iránytól függően változik, mégpedig pl. vaskristályban a [100] kristallografiai irányban $E_{100} = 13500$ kg/mm², míg a [111] kristallografiai irányban $E_{111} = 29000$ kg/mm².

Sasvári az előadásban közölt táblázatban $E = 21690 \text{ kg/mm}^2$ -t választ a röntgenmérések alapjául Köster legújabb közleménye nyomán. Ez átlagérték a mintegy $\pm 37\%$ -os ingadozást mutató szélső E értékek közt. Ha figyelembe vesszük, hogy a röntgensugár csak olyan kristallitokról verődik vissza, melyek a próbatestben bizonyos kedvező irányítottsággal rendelkeznek, tehát valójában csak egyes kitüntetett irányokban lehet a feszültségkomponens nagyságát mérni, akkor joggal kérdezhető: vajon szabad-e a kitüntetett irányokhoz átlagos E és ν értékeket rendelni az értékelés során. A kérdést tovább bonyolítja, hogy újabb kutatási eredmények arról tesznek említést, hogy ezek az állandók értéküket az ötvöző elemek koncentrációjának, a hőkezelés mértékének függvényében is változtatják.

Mindezek a részletproblémák még tisztázásra várnak. Kevésbé igényes eljárásoknál egyelőre kielégítőnek tekinthető a mechanikai úton kapott E és ν érték alkalmazása, mivel az így elkövetett hiba nagyságrendje nem nagyobb, mint a film leolvasásából származó egyéb hibáké. Sasvári leolvasási átlaghibája azonban már oly kicsi, hogy ezt az elhanyagolást esetenként megismételt külön kalibráló mérés nélkül már nem szabadna alkalmazni. Nézetem szerint az egyébként igen gondosan kidolgozott eljárást ilyen értelemben még további kísérletekkel kell kiegészíteni, hogy választ kapjunk a kérdésre: az új műszer beváltja-e a hozzáfűzött reményeket.

SASVÁRI KÁLMÁN viszontválasza

A hozzászólást megköszönve, arra a következőkben szeretnék röviden válaszolni.

A fotografiai úton készített hátsóreflexiós röntgenfelvételeken az interferenciagyűrű és a feketedési szél helyének $0,01 \text{ mm}$ pontosságú leolvasása lehetséges, ha a Zeiss-féle gyor-fotométer segítségével kimérjük a feketedés eloszlást. Ezt igazolja az, hogy pl. a feketedési szélek egymástól vett távolságát, egymás utáni felvételeken végzett és megismételt méréseknél $\pm 0,015 \text{ mm}$ maximális hibával sikerült reprodukálni.

A rugalmassági modulusnak az egykristályban ismert anizotrópiája a mikrokristályos mintában a szemcsék statisztikai rendezetlensége következtében kiadódik egy átlagértékre. Hogy ez az érték mégis mennyit ingadozik egyrészt irány szerint, másrészt aszerint, hogy melyik hálózati sík reflexiója alapján végezzük a mérést, függ a szemcsenagyságtól, vagyis, hogy hány különböző orientációjú szemese veszi körül az egyes kristályszemcséket, azonkívül a szóban forgó hálózati sík számosságától. Bizonyosra vehető, hogy itt fontos szerepe van a kristályszemcsék közötti és azokat összekötő átmeneti rétegnek is, amely a kristályrácstól különböző átmeneti atomelrendeződés következtében inkább izotróp mint anizotróp. Ennek befolyása annál inkább jön számításba, minél nagyobb a fajlagos térfogata, azaz minél kisebbek a szemcsék. Ennek a kérdésnek a tisztázása külön kutatási probléma lehet, amely a jelen felvételi módszerünk problémájától különböző. Nagyon helyes azonban, hogy Szántó István ezt a kérdést felveti már akkor, amikor a mérési pontosság finomítására törekszünk, mivel ez a rugalmas feszültségmérésnek eddig még nem tisztázott, de aktuális problémája.

A röntgenkamra ellenőrzésénél eddig főként csak a mérés reprodukálhatóságának megállapítására szorítkoztunk. Néhány olyan esetben is végeztünk feszültségmérést, amikor wolframdrótban és lemezben hajlítással ismert feszültséget állítottunk elő, és a drót beállításánál még az eredeti Thomas-módszer szerint jártunk el. Ezeknél a méréseknél, mint azt Szántó István is megállapítja, a mérési eredmények mind a számított értékek egyik oldalára esnek. De az előadásban közölt adatokból az is megállapítható, hogy a mért feszültségek mind kisebbek a számított értékeknél, ami egyszerűen azzal magyarázható, hogy a drótot, amelyet ismert görbületi sugarú hengerfelületre szorítottunk rá, nem sikerült elég pontosan a felülethez simítani, ami miatt kisebb feszültséget kellett kapni, mint amelyet a görbületi sugárból számítottunk. Ennek ellenére a hátsó-reflexiós röntgenfelvétel alapján mért és a görbületi sugárból számított feszültségek igen jól egyeznek. Helyesebbnek látszik, ha az ismert feszültséget nyújtással állítjuk elő, és dinamométerrel mérjük. Eerre azonban eddig nem volt lehetőségünk.

PRECÍZIÓS RÁCSPARAMÉTER-MEGHATÁROZÁS PROBLÉMÁI α -TITÁN VIZSGÁLATA KAPCSÁN

SZÁNTÓ ISTVÁN

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM, MECHANIKAI TECHNOLÓGIAI INTÉZET

Bevezetés

Fémek rácsszerkezeti méreteinek pontos megállapítása a metallográfusok és anyagvizsgálók több évtizedes törekvése. A probléma a műszaki gyakorlattal szorosan összefügg. A rácsparemeterek precíziós ismeretén alapszik többek között az ötvözetek egyensúlyi diagramjainak felvétele, különösen a szilárd oldatok egzisztencia-határgörbéinek meghatározása, a roncsolásmentes belső feszültségmérés, a hőtágulási együttható és a fajsúly szubmikroszkópos ellenőrző-vizsgálata, valamint a tiszta fémek kis mennyiségű szennyezéseinek kimutatása. Az alább ismertetendő mérésnél, az α -titán rácsméreteinek meghatározásánál éppen ez utóbbi volt a kérdés. A titánfém közismerten előnyös mechanikai tulajdonságait ugyanis a különböző szennyezők jelentéktelenül csekély előfordulása is döntő módon meg tudja változtatni. Különösen károsak és ugyanakkor leggyakoribbak a gázszennyeződések. Ezek között is főleg az oxigén és a nitrogén [1].

A fémben elnyelt gázok mennyiségét tisztán kémiai módszerekkel ez idő szerint még nagyon bonyolult és kevésbé megbízható módon lehet csak mérni. Ezért került szükségképpen előtérbe az elgondolás, amely szerint ezeket a szennyezéseket rácsparemetér mérésekkel kellene kimutatni. A vizsgálat célja az volt, hogy elsőnek a kiindulási etalon-anyag, a szennyezéstől gyakorlatilag mentes titánfém adatait határozzuk meg az elérhető legnagyobb pontossággal.

Hibaforrások és a korrekció lehetőségei

Krisztallitszemcsék halmazán röntgendiffrakcióval végezhető rácsparemetér-meghatározásnak jól bevált módszere a *Debye-Scherrer*-eljárás. Általánoson használt alakjában azonosításra széles körben alkalmazzák. Mennél pontosabban kell azonban a rácsparemetereket megmérni, annál inkább szükséges az egyes hibaforrások, pontosságot korlátozó tényezők áttekintése, illetve a vizsgálat folyamán a lehetséges javítások elvégzése. Az Ångström-egységekben

kifejezett paraméter értékek negyedik tizedes jegyének megállapítását e tényezők tekintetbevétele nélkül már nem lehet megbízhatónak elfogadni.

Mik tehát a tényezők, amelyek a mérés pontosságát korlátozzák, hogyan lehet csökkenteni vagy kiküszöbölni hatásukat és végül mi a szabatos rácsméret-meghatározás pontosságának abszolút értékben vett felső határa a mérés technika fejlődésének jelenlegi helyzetében és mennyire sikerült ezt megközelítenünk. Ezeket a kérdéseket kívánjuk e tanulmány keretében megvilágítani általában, az *a*-titán mérés esetében pedig különlegesen.

A pontosságra ható tényezőket három főcsoportba lehet sorolni.

I. A próbatest fizikai természetével összefüggő hibaforrások :

a) Túl nagy vagy túl kicsiny szemcsék hatása, melyek miatt a Debye-gyűrűk egyenetlen elhelyezkedésű foltokká töredeznek vagy elmosódnak.

b) Belső feszültség okozta rácsstorzulások, melyek miatt a gyűrűk sugárirányban eltolódnak és diffúzzá válnak.

c) Összetételbeli ingadozások, egyenlőtlenül eloszló szennyezések, amelyek a röntgenogramon az előbbihez hasonló jellegű hatásokat váltanak ki.

d) A titán vizsgálata kapcsán jelentkező különleges nehézség az ún. fluoreszcens szórás jelensége, mely az alapháttér (background) intenzitás-szintjének növekedését okozza.

II. Felvételtechnikai tényezők :

e) A kameraátmérő (tárgy-film távolság) mérési hibája.

f) Próbatest befogásának excentricitása.

g) Próbatest valódi középvonalának eltolódása az anyagban fellépő abszorpció miatt.

h) Termikus ingadozások okozta méretváltozások (mind a vizsgálandó anyag, mind a felvevő film dilatációja a mérés folyamán).

III. A regisztrálás és értékelés fogyatékségei :

i) A vizsgálat elrendezésének méreteivel kapcsolatos ún. instrumentális vonalszélesedés jelensége.

k) Az elsődleges röntgensugár színeképének különmeműségéből eredő ún. spektrális (színképi) vonalszélesség hatása.

l) Regisztrálásból származó egyéb tárgyi hibalehetőség.

m) Leolvasásból keletkező szubjektív pontatlanság.

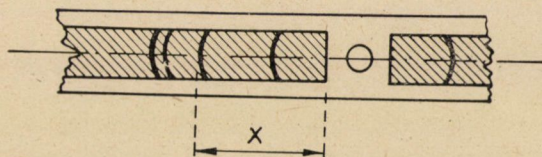
n) Értékelés számítástechnikájának elhanyagolása.

Nem célunk e helyen az egyes hibák és kiküszöbölésük részletes tárgyalása. Mindenesetre rá kell mutatni arra, hogy az I. főcsoportba tartozó hibaforrásokat

gondos kísérleti munkával gyakorlatilag ki lehet küszöbölni. Ezt meg is tettük kísérleteinknél. A megoldás módszereire saját méréseink ismertetése keretében térünk vissza. A II. főcsoportba sorolt hibalehetőségeket az irodalomból ismert módon korrekciós tényezők felhasználásával lehet kiegyenlíteni [2,3,4]. Az ezekkel kapcsolatos kérdések felülvizsgálata szükségtelennek látszik, évtizedek óta bevált mérési gyakorlat bizonyítja. Méréseinknél természetesen figyelembe vettük ezeket, a kísérlet leírásánál lesz még szó róluk. A hibaforrások III. főcsoportját egzakt pontossággal számítható bizonytalansági korlátok közé lehet szorítani. E tényezőket egymással összefüggésben tárgyalhatjuk.

Hibaelemzés

Ismeretes, hogy a vizsgálat egyik legkényesebb részletfeladata az egyes diffrakciós gyűrűk mértékadó középvonalának meghatározása. A középvonal mérésének bizonytalansága függ :



1. ábra

1. az alapfeketedéshez képest észlelhető kontrasztosságtól vagy másképpen : az intenzitáseloszlási görbe meredekségétől,
 2. a kérdéses diffrakciós vonal szélességétől és
 3. a regisztrálás és a leolvasás hibájától.
- Ezekből adódik a középvonal mérés relatív hibája.

Legyen x a filmen az S_z szélességű reflex középvonalának az élszegélytől való távolsága a röntgenogram ekvátorvonalára mentén mérve (1. ábra). Az x meghatározása csak egy bizonyos Δx hibával lehetséges (2. ábra). Matematikai alakban a vonal véges szélessége folytán keletkező relatív mérési hiba :

$$h_r = \frac{\Delta x}{S_z} \tag{1}$$

A diffrakciós mérések alapjául szolgáló Bragg-egyenlet :

$$\lambda_0 = 2 d \cdot \sin \theta_0 \tag{2}$$

ahol λ_0 = a vizsgáló monokromatikus röntgensugár hullámhossza,
 d = a (hkl) indexű atomsíkok egymástól való távolsága,
 θ_0 = a visszaverődés szöge.

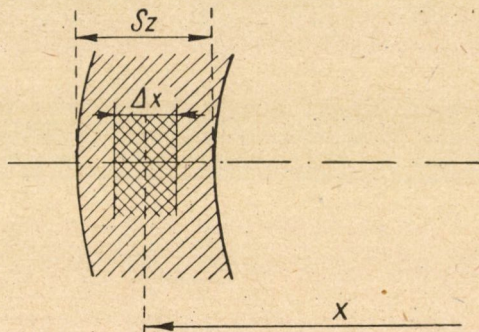
Vizsgáljuk meg a h_r hiba függvényében d pontosságát.

A mérés pontosságának jellemzésére a $\frac{\Delta d}{d}$ fajlagos érték használatos.

A két vonalszélesedést okozó tényező (i és k) hatása ebben az értékben egymásra szuperponált. A hibacsökkentés lehetőségeinek oknyomozó vizsgálata céljából indokolt a különválasztásuk.

A) Insztrumentális jellegű vonalszélesedésből eredő hiba $\left| \frac{\Delta d_i}{d} \right|$.

Ez olyan tényezőktől függ, mint a röntgenső-fókusz véges mérete, a kollimátor-rés nagysága, a sugárnyaláb széthajlása, a kollimátor és a próbatest,



2. ábra

valamint a regisztráló felület közti távolságok. Eszményien egyszínű sugárzást feltételezve, e szélesség a mérőkészülék geometriájából számítható. Mivel az Sz a visszaverődés szögétől függően is változik, ennek a mérés fajlagos hibájára gyakorolt hatását a (2) egyenlet d szerinti differenciálása útján lehet kimutatni.*

Eszerint

$$\Delta d \cdot \sin \theta_0 + d \cdot \cos \theta_0 \cdot \Delta \theta_0 = 0. \quad (3)$$

Ahonnán

$$\left| \frac{\Delta d}{d} \right| = |\operatorname{ctg} \theta_0 \cdot \Delta \theta_0|. \quad (4)$$

* Targyalásunk folyamán a differenciálás »d« szimbóluma helyett mindenütt Δ jel van. Ezt a jelölésmódot a d rácsmérettel való összecszerelhetőség elkerülése végett használjuk.

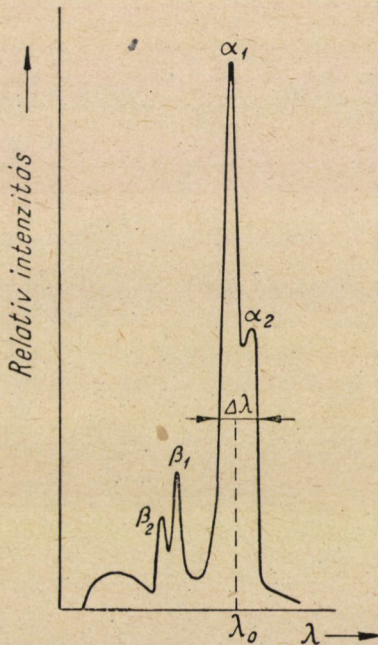
Ha a film és a próbatest közti távolság : R , akkor írható :

$$\Delta x = R \cdot 2 \Delta \theta_0 \tag{5}$$

(1), (4) és (5) kifejezések felhasználásával az instrumentális szélesedésből származó fajlagos hiba

$$\left| \frac{\Delta d_i}{d} \right| = \left| \frac{\text{ctg } \theta_0}{2R} \cdot h_r \cdot S_{z_i} \right| \tag{6}$$

Ebből következik, hogy a nagy reflexiós szögek tartományában e hiba elenyészik, ugyanis ha $\theta_0 \rightarrow 90^\circ$, akkor $\text{ctg } \theta_0 \rightarrow 0$.



3. ábra

B) Spektrális vonalszélesség okozta hiba $\left| \frac{\Delta d_s}{d} \right|$.

A vizsgáló röntgensugárzás a valóságban nem ideálisan monokromatikus, tehát nem egyetlen λ_0 hullámhosszt, hanem egy véges $\Delta\lambda$ -hullámhossz-eloszlást mutat a röntgenfény spektrális különeműsége miatt (3. ábra). A Debye-gyűrű kis θ szögek esetén hűen visszatükrözi ezt a hullámhossz-eloszlást, a nagy szögek tartományában viszont csak erős torzítással.

A szélesség ilyen szögfüggő megváltozásának leírására ismét a (2) alapegyenletből indulhatunk ki. Ezúttal $d = \text{állandó}$ feltétel alkalmazásával λ változó szerint kell a differenciálást elvégezni. Eszerint a (2)-t átrendezve :

$$\frac{\lambda}{\sin \theta_0} = 2d. \quad (2a)$$

Amiből következik, hogy

$$\Delta\lambda \cdot \sin \theta_0 - \cos \theta_0 \cdot \Delta\theta_0 \cdot \lambda = 0. \quad (7)$$

Innen a kiszélesedés szögnövekményben kifejezve :

$$\Delta\theta_0 = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot \operatorname{tg} \theta_0 \quad (8)$$

Mivel a spektrális jellegű vonalszélesség (5)-nek megfelelő módon írható le, ezért*

$$S_{zs} = 2R \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot \operatorname{tg} \theta_0 \quad (9)$$

Tehát a szélesség tg-függvény szerint rohamosan nő a θ szög növekedtével. A valóságban, minthogy d is változó, a (9)-ből kapott S_{zs} értéket a (6)-hoz hasonló összefüggésbe helyettesíthetjük. A spektrális szélesség miatt így kiadódó fajlagos hiba lesz :

$$\left| \frac{\Delta d_s}{d} \right| = \frac{\operatorname{ctg} \theta_0}{2R} \cdot h_r \cdot 2R \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot \operatorname{tg} \theta_0 = h_r \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad (10)$$

Mivel $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ hullámhossz-bizonytalanság a rácsszerkezet vizsgálatoknál használatos röntgensugár fajtákra közelítően azonos érték (kb. $4 \cdot 10^{-4}$), ezért a (10) képlet így alakul :

$$\left| \frac{\Delta d_s}{d} \right| \approx 4 \cdot 10^{-4} \cdot h_r \quad (10a)$$

Diagramban kifejezve a fajlagos mérési hiba alakulása a θ_0 függvényében a 4. ábrán látható.

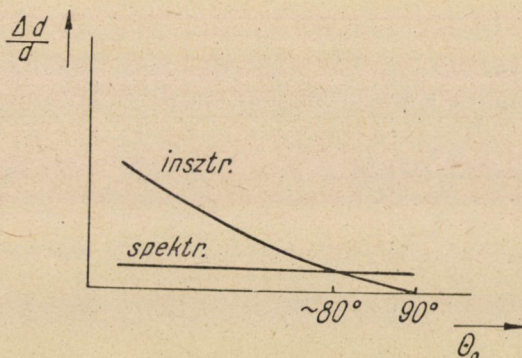
Összefoglalva : $\theta_0 = 90^\circ$ -hoz közeledve az összes instrumentális jellegű hibák elhanyagolhatóvá korlátozódnak. Visszamarad azonban a közép vonal méréséből adódó relatív hiba, mely $\theta_0 = 80^\circ$ -nál nagyobb reflexiós szögeknél kizárólag a színekpi különeműség okozta szóródásból, illetve intenzitáscsökkenésből származik. A gyakorlatban ezzel, mint kikerülhetetlen tényezővel kell számolnunk.

Mérési eredmények [5] azt mutatják, hogy $\theta_0 = 81^\circ$ — és 88° -nál (egyéb-ként azonos körülmények között) a mérés pontossága kb. azonos. Bár a diszperziós érzékenység négy és félszeresére nő, de ugyanakkor az egyre szélesedő Debye-gyűrű intenzitásmaximuma 4 : 1 arányban ellaposodik, az alapfeketés erősen nő és zavarja az értékelhetőséget. Mindebből érdekes és a köztudattal ellentétes következtetés vonható le. A vizsgáló készülék geometriájában megvaló-

* Pl. $\text{Cu-K}\alpha_1$ sugárzás esetén $\lambda_0 = 1,540522 \text{ \AA}$; $\Delta\lambda = 0,581 \text{ \AA}$; ebből $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 3,7 \cdot 10^{-4}$

sított bármilyen — egyébként logikusnak tűnő — módosítás (pl. kollimátor belső átmérőjének csökkentése, tárgy—film távolság növelése) egy bizonyos határon túl (méréseinknél mi épp eddig a határig mentünk el) már nem csökkenti a hibát, viszont gyengíti a diffrakciós gyűrű intenzitását, ami hátrányos.

A relatív mérési hiba csökkentésének másik tényezője a regisztrálás és a leolvasás pontosságának növelése. Elsősorban objektív leolvasó műszer (automatikusan regisztráló mikrofotométer) felhasználásával érhető el. Nálunk ilyen még nincs. A mérőmikroszkópon végzett leolvasás egyéni. Méréseink pontatlanságát mégis sikerült csökkenteni azzal, hogy növeltük a mérési adatok számát. Tizenhat Debye-gyűrű adatai alapján készült az értékelés, szemben az eddig



4. ábra

közölt hat [6] és tíz [7] reflexből számított rácsmeghatározással. A mérési részeredmények matematikai statisztikával történő feldolgozása elősegítette a hibakorlátok megbízhatóbb kijelölését. A hibák eloszlása szempontjából ugyanis van egy bizonyos $\Delta\xi$ szélességű tartomány, melybe a mérések S%-os biztonsággal beesnek. Minél több mérést végzünk, annál jobban meghatározható a $\Delta\xi$ tartomány.

A vizsgálat gyakorlati kivitele

1. *Próbatest előkészítése* : A vizsgálatához használt jodid-titán drótokat a Mechanikai Technológiai Intézet laboratóriuma állította elő. A *van Arkel*-féle ismert eljárást módosítva, az Arkel-edényben két volfrám fonalrendszer volt. Az egyikben elsődlegesen lerakódott fém (mely még kimutatható szennyezéseket tartalmazott) az első rendszer árammentesítése és a második fűtése útján a másikkra került át. A másodlagos átvitelnél a még meglévő szennyeződések gyakorlatilag nem mutatkoztak.* Az edény és fonal hőfokának alkalmas kiválasztásával

* A vizsgált Ti-drót spektroszkópiai analízise az észlelés alsó határán még éppen kimutatható Mg, Mn, Fe és Si nyomokról adott tájékoztatást.

sikerült elérni, hogy az alaphuzalon a szál tengelyéhez képest teljesen rendezetlen és megfelelő méretű krisztallitok halmaza képződött. Az így készült fonalat 10^{-6} mm hig. o. nagyságú vákuumban 800° -on izzítva gondosan feszültségmentesítettük. A drót átlagos vastagsága 0,27 mm, a wolfram-alapfonalé 0,05 mm volt.

2. *Röntgenfelvétel*: A felvételek VEM-gyártmányú mikroröntgenberendezéssel készültek. Üzemi adatok minden esetben a következők voltak: 40 kV csőfeszültség; 10 mA anódáram és Cu-K sugárzás. A regisztráláshoz mindkét oldalán emulzióval bevont Agfa-Laue röntgenfilmet és 19 cm átmérőjű »Unicam«-kamerát használtunk. A nagyméretű kamera alkalmazásának két oka volt. Egyrészt az, hogy ennek felbontóképessége az irodalomban eddig megjelent titán vizsgálati elrendezési adatokkal [6, 7] összehasonlítva kedvezőbb. Másrészt döntő előnye mutatkozott a fluoreszcens szórás leküzdése terén. A Ti lágy saját-sugárzásának gerjedése adott körülmények között elkerülhetetlen [8]. Intenzitása viszont 95 mm levegőrétegen áthaladva a Cu-sugárzáséhoz képest mintegy ötszörösen csökkent. A kamera egyetlen hátrányának a megnövekedett expozíciós időtartamot tekinthetjük.

3. *Felvételek értékelése*: A Debye-vonalak és a kameraátmérő mérése UIM-21 jelű ezred mm-es leolvasású mérőmikroszkópon, a filmvastagság meghatározása IKV-típusú vertikális optiméteren történt. A próbatest vastagságának hatását a gyűrűátmérőkre *Hadding* [2, 159. old.] szerint vettük figyelembe. A még fennmaradó hibaforrásokat grafikus extrapolációval korrigáltuk.

I. táblázat

Debye-kamera szabatosan mért átmérője	189,811 mm
Agfa-Laue film átlagos vastagsága	0,183 mm
Mértékadó kamerakerület a filmvastagság félértékretege mentén	596,903 mm
Kamera élszegélyek közti műszerállandó a $\Theta = 0^\circ$ körül (ívhosszban)	31,234 mm
Egységnyi ívhossz szögegyenértéke	1 mm = 0,603113°
Korrektció a film tágulása miatt	0,137%
Korrektció a próbatest vastagsága miatt	$-q \cdot (1 + \cos \Theta_0)$
Vizsgáló elsődleges röntgensugárzás hullámhosszai [15] szerint	
Cu-K α	$\lambda_0 = 1,538973$ kX
Cu-K α_1	$\lambda_0 = 1,537395$ kX
Cu-K β_1	$\lambda_0 = 1,389350$ kX

Megjegyzések:

1. A hosszmerések toleranciája $\pm 0,002$ mm.
2. Minden érték 20°C -on érvényes.
3. A röntgenogramokon a K α -vonalpár szétválása kb. $\Theta = 55^\circ$ -nál vált észlelhetővé. Ez alatt $\lambda_{K\alpha}$ átlagértékkel, felette kizárólag $\lambda_{K\alpha_1}$ -el számoltunk. Ugyanis a K α_2 -sugárzástól eredő jóval gyengébb reflexek belevesztek az erősödő alapfeketedésbe.

II. táblázat

Sorszám	Korrigált diff. gyűrű átmérő mm	Θ° korr.	$\sin^2\Theta$ mért	Atomsík indexe (hkl)	Sugár- fajta	$\sin^2\Theta$ számított	Hiba $\Delta \sin^2 \Theta \cdot 10^3$
1	116,52	17,569	0,0911183	(100)	α	0,0910606	+ 5,7
2	119,85	18,071	0,0962247	(101)	β_1	0,0963602	- 13,5
3	127,65	19,247	0,1086683	(002)	α	0,1086869	- 1,9
4	133,39	20,113	0,1182480	(101)	α	0,1182323	+ 1,6
5	176,05	26,545	0,1997255	(102)	α	0,1997475	- 2,2
6	208,93	31,503	0,2730531	(110)	α	0,2731819	- 12,9
7	224,86	33,905	0,3111621	(112)	β_1	0,3112257	- 6,4
8	234,82	35,406	0,3356800	(103)	α	0,3356061	+ 7,4
9	253,06	38,157	0,3817024	(112)	α	0,3818688	- 16,6
10	256,91	38,737	0,3915704	(201)	α	0,3914142	+ 15,6
11	340,18	51,293	0,6089590	(203)	α	0,6087880	+ 17,1
12	379,29	57,189	0,7063780	(114)	α_1	0,7064785	- 10,0
13	395,56	59,644	0,7445960	(212)	α_1	0,7445819	+ 1,4
14	406,35	61,271	0,7689545	(105)	α_1	0,7687749	+ 17,9
15	462,53	69,742	0,8801088	(213)	α_1	0,8801621	- 5,3
16	492,44	74,252	0,9263349	(302)	α_1	0,9263299	+ 0,5

Megjegyzés : A számítás a hexagonális rácsrendszerre érvényes alábbi összefüggés alapján készült :

$$\sin^2 \Theta_{hkl} = \frac{\lambda^2}{3a^2} \cdot (h^2 + hk + k^2) + \frac{\lambda^2}{4c^2} \cdot l^2$$

ahol $a \dots$ a bázislap síkjában
 $c \dots$ a bázislapra merőleges irányban } mért rácsparaméter,

A röntgenfelvétel folyamán a laboratórium hőmérséklete + 17 C° volt.

Itt a *Nelson* és *Riley* javasolta $\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\cos^2 \Theta}{\sin \Theta} + \frac{\cos^2 \Theta}{\Theta} \right)$ abszcisszaértékeket helyettesítettük*[9].

A számításokat általában 6 tizedesjegynyi pontossággal »Facit« számológépen végeztük. A leolvasás bizonytalanságának nagyságrendje miatt indokolatlan lett volna nagyobb számításbeli pontosságra törekedni. A mérési hibák tolerancia-határainak megállapítása végett *Linder* [10] megfontolásai nyomán elvégeztük a regisztrált adatok statisztikai analizisét. Az ún. »Student-féle t-eloszlás« szerint a $\Delta\xi$ hibatartomány nagyságát aránylag könnyen lehetett

* Megjegyezzük, hogy ezt az eljárást tulajdonképpen csak köbös rács szerkezet esetén szabadna alkalmazni. Az a rácsparaméter azonban — mint a szennyezések függvénye — titánnál igen jó közelítéssel konstansnak tekinthető. Ezt a megállapítást az »Eredmények« fejezetben még indokoljuk.

számítani. Ellenőrzésképpen a hibaeltérések maximumát meghatároztuk a legkisebb négyzetek módszerével is. Ez a kétváltozós alapösszefüggés (l. a II. táblázat) parciális differenciálása útján adódott. Eszerint módosítottuk a számított rácsparaméter-értékeket. A mérési részletadatokat kivonatossan az I. és II. táblázat szemlélteti.

Eredmények

Az eddig közölt mérésekkel való összehasonlítás végett eredményeinket a III. táblázatban közöljük. Az irodalomban előfordult adatokkal együtt minden értéket Å-egységre* és 25 C°-ra számítottunk át.

III. táblázat

Megfigyelő	Mérés időpontja	a c		$\frac{c}{a}$	Próbatest-előállítás módja
		Ångström			
Greiner és Ellis [12]	1948	2,951	4,695	1,591	Kroll-eljárással
Gonser [13]	1949	2,952	4,695	1,590	Arkel-eljárással
Clark [7]	1949	2,9504	4,6833	1,588	
Rostoker [6]	1953	2,950	4,681	1,587	
Saját mérés	1954	2,9506	4,6788	1,585	Módosított Arkel-elj.

Az összehasonlításból az derül ki, hogy az a értékek az egyes szerzőknél igen kevésbé ingadoznak. De már nem egyeznek meg ilyen jó közelítéssel a c rácsparaméterek. Figyelemre méltó a c és $\frac{c}{a}$ értékek csökkenő irányzata, ami a tiszta titánfém előállítási módszerének az évek során bekövetkezett tökéleteseződését látszik bizonyítani. Az interszticiálisan oldott szennyező gázatomok ugyanis a hexagonális rácsnak főként a bázislapra merőleges méretét növelik. A c méret-növekedése a szennyezők súlyszázalékával 0,5%-ig lineáris összefüggésben van. Ily módon a fém kis gázszennyezéseinek kvantitatív analízise lehetségessé válik.

Az eredmények értékelése

A II. táblázat $\Delta \sin^2 \theta$ felírású rovatában a számított és mért értékek közti különbség 16 reflex közül 12 esetben kisebb, mint a külföldi közleményekben elő-

* A rácsméreteket nemzetközi megállapodás [11] szerint valódi Å-egységekben fejeztük ki, vagyis a Siegbahn-táblázatban található hullámhossz adatokat 1,00202 szorzófaktorral helyesbítettük. Az amerikai szakirodalomban — sajnálatos módon — a kX és Å egységek összeecserélése előfordul (pl. Metal Progress, 1954. júl. 15-i szám, 87. old. összevetve a Metals Transactions, 1949. szept-i száma 589. oldalának megfelelő adataival). Ezzel a -ban kb. 0,005 Å, c -ben mintegy 0,009 Å hibát követnek el, amely az ugyanott közölt, látszólag kitűnő pontossággal végrehajtott mérés $\pm 0,0003$ Å nagyságú túrt hibájának kerekén 8-, illetve 15-szöröse.

forduló legnagyobb megengedett tűrés ($\pm 14 \cdot 10^{-5}$). Négy Debye-gyűrű esetében ennél valamivel nagyobb eltérés mutatkozott, de a hiba még ezeknél sem haladja meg a $|0,000179|$ értéket. Ebből az elvégzett matematikai statisztikai számítások alapján következik, hogy 16 mérés figyelembevételével a leolvasási hiba tartománya:

$$S = 95\% \text{-os mérési biztonságnál } \Delta\xi_1 = \pm 0,026 \text{ mm,}$$

$$S = 99\% \text{-os mérési biztonságnál } \Delta\xi_2 = \pm 0,036 \text{ mm.}$$

Az utóbbi (tehát nagyobb biztonságú) mérőszámot véve alapul

az a rácsparaméter mérési bizonytalansága legfeljebb: $\pm 0,0005 \text{ \AA}$;

a c rácsparaméter mérési bizonytalansága legfeljebb: $\pm 0,0007 \text{ \AA}$.

Ez közelítően megfelel $\frac{\Delta d}{d} \approx 16 \cdot 10^{-5}$ mérési hibának, amely leginkább

a gyűrű középvonalak meghatározása közben elkövetett Δx leolvasási bizonytalanságból ered. A leolvasások előjeles hibái ugyanakkor csaknem teljesen kiegyenlítődnek.

Az irodalomból [14] ismeretes, hogy durva szemcséjű filmen éles vonal esetén $\Delta x = 0,05 \text{ mm}$, míg $h_r = \frac{1}{5}$ körül van. A precíziós rácsparaméter-mérés

eddig elért legkisebb relatív hibája $\frac{\Delta d}{d} \approx 3 \cdot 10^{-5}$ volt, melynél $h_r \approx \frac{1}{15}$ -nek

felel meg. A mérési technika fejlődésének jelenlegi fokán — film-regisztrálás esetén — ennél nagyobb pontosság nem várható. Méréseink során ezt a pontosságot nagyságrendileg csak megközelíteni sikerült, elérni vagy meghaladni azonban nem. Ugyanis nem állt rendelkezésünkre megfelelő méretű objektív regisztráló műszer. A szubjektív leolvasás miatt méréseink átlagos relatív

hibája: $h_r \approx \frac{1}{2,5}$ volt. Az eredmény a rosszul mérhető α -Ti esetében még így

is pontosabbnak látszik — az ismertett mérés technikai finomítások miatt —, mint az eddig közölt, kevesebb reflex alapján mért adatok bármelyike.

IRODALOM

1. Kornjilov, I. I. : Uszpechi chimii, Tom. 23. vü. 5. (1954) 529.
2. Glocker, R. : Materialprüfung mit Röntgenstrahlen, (1949) Springer.
3. Kítajgorodszkij, A. I. : Rentgenosztrukturnüj analiz melkokrisztallicseszkich i amorf-nich tyel. (1952) Moszkva—Leningrad. Izdat. techn.-teor. lityeraturü.
4. Henry, N. F. M.—Lipson, H.—Wooster, W. A.: The interpretation of X-ray diffraction photographs. (1953) London, Macmillan.
5. Frohnmeyer, G.—Glocker, R. : Acta Cryst. vol. 6. (1953) 19.
6. Bumps, E. S.—Kessler, H. D.—Hansen, M. : Transact. ASM ; vol. 45. (1953) 1012.
7. Clark, H. T. : Metals Transactions, vol. 185. (1949) 588.
8. Campbell, N. J. M. : Machinery, vol. 78. (1951) 646.

9. Nelson, J. B.—Riley, D. P. : Proc. Phys. Soc., vol 57. (1945) 160.
10. Linder, A. : Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure (1951) Basel—Birkhäuser, 156.
11. *Bulletin of the Institute of Metals*, (1954. január) London.
12. Greiner, E. S.—Ellis, W. C. : Trans. AIME. vol. 180. (1949) 657.
13. Litton, F. B.—Conser, B. W. : Metal Progress, vol. 55. (1949) 346.
14. Ekstein, H.—Siegel, S. : Acta Cryst. vol. 2. (1949) 102.
15. Landolt—Börnstein : Zahlenwerte und Funktionen, I. Bd. 1. Teil, (1950) Springer, Berlin, 216.

HOZZÁSZÓLÁSOK

PÓCZA JENŐ

Örömmel állapítja meg, hogy 10^{-4} nagyságrendű pontossággal sikerült eljárást kidolgozni a rácsparaméter meghatározására. A szerző nem közölte, hogy milyen mennyiségű titánnal történtek a mérések, azonban a kronologikus sorrendben közölt táblázatokból kiderül, hogy a szerző saját mérési adatai szerint a titán a Clark-féle mérések extrapolálásából származó értékekhez képest 0 tisztasági fokúnak tekinthető, ha ahhoz képest kismértékű szórást mutatnak is.

Fentiek szerint a hazai kísérletek alapján hihetetlenül tiszta titánt sikerült előállítani. A szerző kézírata szerint a használt fajtának bizonyos fém-szennyezései voltak.

Nehézséget okoz vizsgálat közben, hogy a fém-szennyezés és az oxigén-szennyezés hatására nézve ellentétes jellegű. Amíg a rácsba behelyezkedő oxigén, tetraéderes helyekre behelyezkedve, szétfeszíti a bázis-alapra merőleges rácsméreretet, tehát rácsparaméter-növekedést okoz, addig a dolgozatban említett mangán- és nyomokban található ferrum-szennyeződés a rácsparaméter összehúzó hatását okozhatja.

Ha a mérések olyan anyagon történtek, amely a Clark-féle extrapolációhoz képest 0 oxigéntartalmat mutatott, akkor ennek oka az is lehetett, hogy a specimen ferrum- és mangán-szennyeződése éppen a spektroszkópiai határon volt.

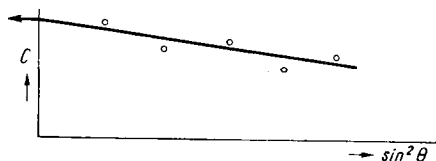
Ezek szerint kétirányú vizsgálat szükséges: megállapítani a tényleges rácsparaméter-növekedést, mint oxigén-, nitrogén-, esetleg együttes tartalmú függvényt, másrészt külön kell vizsgálni megadott oxigén-nitrogéntartalom mellett az idegen fémek szennyeződésének rácsparaméter összehúzó hatását.

Véleménye szerint a mérési pontosságot esetleg lehet még növelni, de túl sokat ne várjunk, mert irodalmi adatok alapján a 10^{-4} és 10^{-5} pontosság között van az eljárásnak a legpontosabb mérések mellett elérhető határa.

Elismerését fejezi ki, hogy ez a módszer most már a további kutatásokhoz rendelkezésre áll.

W. A. WOOSTER

Nagy-Britanniában a következő módszert használják a rácsparaméter pontos meghatározására:



Az c az egyik rácsparaméter. Az ábra a különböző pontokra kapott c értéket ábrázolja a $\sin^2 \theta$ függvényében.

Ebben az esetben a nagyszögű reflexióknak megfelelő pontok nagyjából egy egyenes mentén fekszenek. A keresett legpontosabb c értékeket az egyenes extrapolálásával kapjuk meg. A legpontosabb c érték tehát az az ordináta, ahol az egyenes metszi a függőleges tengelyt. A főkülönbség az előadói módszeréhez

képest az, hogy Angliában a legnagyobb Θ értékhez tartozó reflexiókból indulnak ki és azokat határozzák meg. Itt pedig 80° körüli Θ értékkel van dolgunk, mint amiből a legnagyobb érték volt számítható, illetve ennél kisebb is.

Ma már sűrűséget igen nagy pontossággal tudunk mérni. A sűrűséget sok esetben pontosabban lehet mérni, mint a rácsparamétereket. Nem tudja, hogy a titán éppen alkalmas anyag-e erre a célra, azonban lehetséges, hogy az oxigéntartalomra könnyebben lehetne a sűrűségmérésnél jelentkező eltérésekből következtetni, mint a rácsparamétereknél észrevehető eltérésekből, tekintve, hogy azok pontosabban mérhetők.

További kérdés az, hogyan lehet olyan titánt készíteni, amelyben nincsenek abszorbeált gázok. Javasolja az ismert vákuum-fémdestillációs módszert és utána meghatározott oxigénmennyiséget kell elnyeletni a fémmel. Ily módon előre meg lehet határozni a titán oxigéntartalmát.

Valószínű, hogy az oxigén hatása abban nyilvánul, hogy szorosabban összetartja a titánrácsot, ami például a hőtágulási koefficiensnek csökkenésében jut kifejezésre.

MILLNER TIVADAR lev. tag

Gillemot László, akad. lev tag, műsz. egyet. tanár a közelmúlt években a hazai titánfém előállítására egyes fázisait ismertető előadásaiban mártóbb ízben rámutatott arra, amit legutóbb Koncz István, a műsz. tud. kandidátusa, műsz. egyet. docens, az 1954. évi Híradástechnikai Konferencián is kiemelt: arra ti., hogy néhány tizedszázalék oldott oxigén vagy nitrogén az egyébként duktilis titánfémeket igen nehezen megmunkálhatóvá teszi.

A titánfém gyakorlati előállítása és megmunkálása terén nagy érdek fűződik tehát ahhoz, hogy ezeket a szennyezéseket, amelyeket a titánfém a megmunkálások szokásos hőmérsékletén (pl. $700-800^\circ\text{C}$ -on) közvetlenül a levegőből is mohón felvesz, lehetőleg pontosan meghatározhassuk. A titánféméből ezeket a szennyezéseket vákuumban történő hevítéssel nem lehet felszabadítani. Ezért ezek meghatározása végett tisztán kémiai módszerekhez szokás fordulni. Ezek a módszerek azonban egyelőre még körülményesek és nem eléggé megbízhatók.

H. T. Clark [Metals Transactions 185 (1949.) 588] néhány évvel ezelőtt kimutatta, hogy az α -titán legszorosabb illeszkedésű hexagonális rácsának állandói

$$a_0 = 2,9504 \pm 0,0003 \text{ \AA} (\pm 0,01\%)$$

$$c_0 = 4,6833 \pm 0,0003 \text{ \AA} (\pm 0,005\%)$$

közül a c_0 érték oxigén és nitrogén felvételkor kb. 0,5%-ig lineárisan növekszik, azaz

$$0,5\% \text{ oxigéntől } 4,6833\text{-ról kb. } 4,6915 \text{ \AA-re (0,175\%-kal)}$$

$$0,4\% \text{ nitrogéntől } 4,6833\text{-ról kb. } 4,6922 \text{ \AA-re (0,19\%-kal)}$$

nő. Arra lehet ennél fogva gondolni, hogy ezeket a szennyezéseket rácsparaméter-méréssel határozzuk meg titánfémekben. Ehhez mindenesetre precíziós rácsparaméter-mérésekre van szükség.

Szántó István most elhangzott előadásából arról értesülhettünk, hogy ezt a nagy kísérleti gondosságot és értékelési felkészültséget kívánó munkát titánfémre nemzetközileg is számottevő pontossággal elvégezte, és így ma mód van arra — ha szükséges —, hogy a rácsparaméter-méréseket is beilleszthessük a hazai titánfémelőállítás analitikai módszereinek sorába.

Kívánatos lenne, hogy ez megtörténjék. Legyen szabad azonban néhány szóval egy-két olyan tényezőre rámutatni, amelyeknek jelentőségét mérlegelni szükséges az ilyen módszereknél.

Nyilvánvaló például, hogy a rácsparaméter-mérés egymagában csak a rendszerint együtt megjelenő oxigén és nitrogén szennyezés együttes ráczállandó-változtatását állapíthatja meg. Ilyen együttes hatásból csak akkor tudunk analitikai következtetéseket levonni és ezzel technológiai hasznot húzni, ha valamelyik szennyezőt, pl. a nitrogént, független módszerekkel külön meg tudjuk határozni. Ez szerencsére lehetséges, és ez el is vezetne a titánfém oxigén- és nitrogéntartalmának számszerű megállapításához, ha nem lenne harmadik szennyezőként szén is a titánfémekben. Mivel azonban ez elég gyakori eset, a rácsparaméter-mérés még nitrogénmeghatározással kombinálva sem oldja meg mindig az analitikai kérdéseket.

Tekintsünk el azonban most a szénszennyezéstől és vizsgáljuk meg önmagában azt a kérdést, hogy ha igen pontosan tudunk rácsparamétert mérni, meg tudjuk-e különböztetni azt a paraméterváltozást, amelyet az oxigén és nitrogén okoz, azoktól, amelyeket pl. a megmunkálási feszültség vagy a fázisátalakulási jelenségek okoznak.

Szántó István szerint az α -titán esetében

$$c_0 = 4,6788 \pm 0,0007 \text{ \AA},$$

azaz $\pm 0,015\%$ pontossággal tudunk jellemző rácsparamétert mérni. H. T. Clark szerint viszont $0,5\%$ oxigén $0,18\%$ -kal, $0,4\%$ nitrogén pedig $0,19\%$ -kal növeli a c_0 értéket, azaz kb. $0,5\%$ szennyezés esetében kb. tízszeresen, $0,1\%$ esetében pedig kb. kétszeresen akkora értéket kell megállapítanunk, mint amekkora a mérés bizonytalansága.

Ilyen helyzetben nagy gondot kell fordítani arra, hogy a rácsparaméter-méréskor a fémminta tökéletesen ki legyen lágyítva, azaz ne torzítsák a fémrácst a mechanikai megmunkálásból származó belső feszültségek, mert ennek a mértéke könnyen elérheti a ráczállandó értékének egy-két századszázalékát, ami az oxigén- és nitrogénértékeket $0,1\%$ -kal is meghamisíthatja.

A titán-oxigénrendszer egyensúlyi diagramja [E. S. Bumps, H. D. Kessler, M. Hansen : Trans. Am. Soc. for Metals 45, (1953), 1008] ezenkívül arra int, hogy rácsparaméteres szennyezővizsgálatoknál a minta kilagyításakor külön figyelmet kell fordítanunk arra, hogy homogén α -szövetszerkezet keletkezzék és erről mikroszkópi vizsgálattal is meg kell győződnünk. A titán-oxigén rendszerben ugyanis pl. $0,5-1,0\%$ oxigéntartalom körül lehűtésekor kb. 1740°C -on egy peritektikus változás, a tiszta titánfémekben pedig 880°C -on egy allotróp módosulátváltozás (térben középpontos köbös β -ből hexagonális α -vá) megy végbe és ezeknek következtében a rendszer lehűléskor kb. 1000°C és 880°C között egy két-fázisú ($\alpha + \beta$) tartományon keresztül éri el a homogén szilárd oldat állapotát, azaz az oxigén által deformált homogén α -titánrácst. A 880°C alatt nem teljesen végrehajtott homogenizálás ugyancsak oka lehet olyan rácsideformációknak,

amelyek a rácsparaméter-változásból számított oxigén- vagy nitrogén-értékeket a valóságtól eltérően adják meg.

Hangsúlyozom azonban, hogy mindezek a megjegyzések egyáltalán nem érintik Szántó István gondos munkájának érdemét, hiszen ő egyelőre még nem is használta fel rácsparaméter-méréseit analitikai célokra, hanem csak utalt erre a lehetőségre. Ezek a megjegyzések tehát nem kritikai megjegyzések, hanem abból a jóleső érzésből fakadnak, amit egy ilyen gondos és hasznos munka a hazai titánelőállítás kérdését figyelemmel kísérő hallgatóságból önkéntelenül is kivált.

SZÁNTÓ ISTVÁN viszontválasza

Megköszöni a hozzászólók fejtegetéseit. Millner professzor hozzászólásával kapcsolatban megemlíti, hogy termodinamikai meggondolások alapján kiszámította a kémiai potenciál csökkenését mind a nitrogénnel, mind az oxigénnel való reakció mentén, légköri nyomáson és szobahőmérsékleten végbemenő reakció folyamán. Ebből az derült ki, hogy a TiO képződése sokszorosan nagyobb valószínűséget mutat, mint a titánnitrid képződése. Egyetért azzal, hogy az esetleges szén-szennyeződések is, mint hibaforrást valamilyen alakban a méréseknél el kell választani.

Pócza Jenő hozzászólásával kapcsolatban megemlíti, hogy saját mérési adatainak bizonyos alászórása Clark adataival szemben nem feltétlenül abból adódik, hogy itt valamely negatív tisztaságról van szó, hanem — amint az előállítási módból ki is világlik, amelyet Clark leír — olyan anyagon végezte a méréseit, amelyben a szennyeződések valószínűleg nagyobb mértékűek voltak. Ennélfogva még ha lineáris is az összefüggés a rácsparaméter-változással, önmagával párhuzamosan eltolva más távolságban metszhette az ordinátát.

A fémszennyezéssel kapcsolatos aggályok talán nem egészen jogosultak vizsgálatai esetében, mert a mangán-, magnézium- és vas-szennyezések ez esetben ezredszázalék nagyságrendűek. Ennek a rácsparaméterre gyakorolt hatását már irreális lenne vizsgálni.

További rácsparaméter-meghatározásokat kíván végezni titán-oxigén, titán-nitrogén ötvözetekre, illetve vegyületekre.

Koncz dr. elvégezte a vizsgálatban használt specimenek ellenállásmérését. Az ellenállás $48,6-50 \text{ ohm} \cdot \text{cm} \cdot 10^{-6}$ értékű volt, tehát pontosan belevág — az alsó határon — abba az értéktartományba, amelyet külföldi adatok állítanak. A méréseknél az alsó határ azt jelenti, hogy a vizsgált specimen valójában mentes volt fémszennyeződésektől.

Wooster dr. hozzászólásából csak a felvétel technikájával és az értékeléssel kapcsolatos részre kíván válaszolni, mert a titánfém előállításával kapcsolatos kérdésekre Koncz dr. hivatott válaszolásra.

A $\sin^2 \theta$ függvényében az extrapolálást azért nem végeztük el, mert itt kétváltozós függvénnyel van dolgunk. A Wooster dr. ismertette eljárás világírodalmilag valóban bevált köbös rácsok esetében, és Magyarországon is ismeretes. A hexagonális rácsoknál azonban nehézségek vannak, mert az extrapolációt csak akkor lehetne végrehajtani, ha valamelyik paramétert önkényesen állandónak vennők, és így végeznők el az extrapolálást a másik paraméterre, mivel itt kétváltozós függvény extrapolálásáról van szó. Megköszöni a sűrűségmérésre vonatkozó javaslatot és ha mód kínálkozik rá, a vizsgálatokat ily értelemben is ki fogja egészíteni.

GRAFIT ÉS KOBALT FINOMSZERKEZETÉNEK VÁLTOZÁSAI

Dr. A. KOCHANOVSKÁ

A CSEHSZLOVÁK TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI-FIZIKAI INTÉZETE, PRÁGA

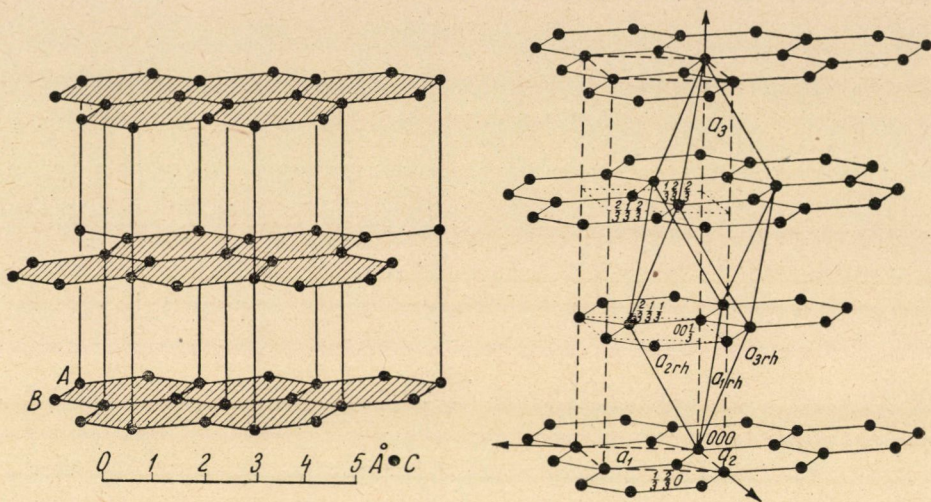
Ismeretes, hogy egyes anyagok fizikai és fiziko-kémiai tulajdonságai őrlés következtében lényegesen megváltozhatnak. Ezen változások oka gyakran nemcsak a krisztallitok alakváltozása és szétdarabolódása, hanem magának a rácsszerkezetnek a megváltozása következtében jönnek létre. Ilyen anyag pl. a grafit és a kobalt. Az őrlés következtében keletkező szerkezetváltozások mindkét anyagnál bizonyos mértékig hasonlítanak egymáshoz. Arról fogok itt röviden beszámolni, hogyan követtük ezen folyamatok menetét röntgensugár-diffrakció és differenciál-termoanalízis segítségével.

A természetes grafit, mint ismeretes, hexagonális rácsban kristályosodik (1. ábra). Az alapsíkokban (001) a szénatomok hexagonális hálózatban rendeződnek el. Az atomok közötti legkisebb távolság az alapsíkban $1,42 \text{ \AA}$ és az atomok közötti kötőerők igen erősek. Ezzel szemben az alapsíkok egymás közötti távolsága viszonylag nagy, $3,35 \text{ \AA}$ és a kötőerők az egymással szomszédos síkok atomjai között igen kicsik. Ezek az alapsíkok az ABAB... váz szerint úgy vannak egymásra helyezve, hogy minden harmadik síkon a megfelelő atomok pontosan egymás fölé kerülnek.

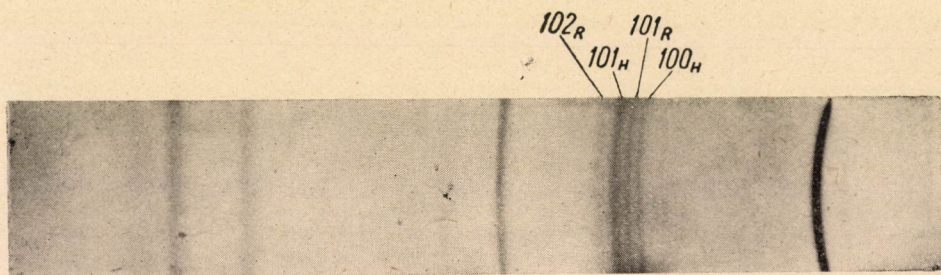
Az irodalomból ismeretes, hogy a természetes grafitban a túlnyomóan hexagonális alak mellett kis mennyiségben romboédes grafit is található, amely őrlés következtében mennyiségében lényegesen megnövekedhet. Ez a romboédes alak a hexagonálistól lényegében annyiban különbözik, hogy az alapréteg az ABAB... váz helyett ABC ABC... váz szerint követik egymást, úgy, hogy az atomok azonos rendezése minden negyedik síkban ismétlődik meg. Az alapsíkok egymástól való távolsága, valamint az atomok elrendezése és egymástól való távolsága az alapsíkokban változatlan marad. A röntgen-diffrakciós felvételeken a romboédes változat lényegében bizonyos számú járulékos vonal alakjában jelentkezik, amelyek a hexagonális változat vonalai mellett mutatkoznak (2. ábra). A (001) vonalak természetesen mindkét változatnál azonosak.

A romboédes változat képződésének, az őrlés időtartamától való függését röntgen módszerrel követtük. A tiszta cejlongrafitra vonatkozó eredmények, amelyeket két különböző rendszerű kolloidmalomban, az úgynevezett

cseh kolloidmalomban és a Dreyer—Holland—Merten-féle malomban történt őrlés útján kaptunk, az 1. táblázatban található. A romboédeses változat százalékaránya — amint az a táblázatból kitűnik — az anyagnak a malmon történő többszöri áteresztésével eleinte meredeken, később mind lassabban növekszik, míg végül a cseh malmon történő nyolcszori áteresztés után már



1. ábra. Hexagonális és romboédeses grafit rácsszerkezete



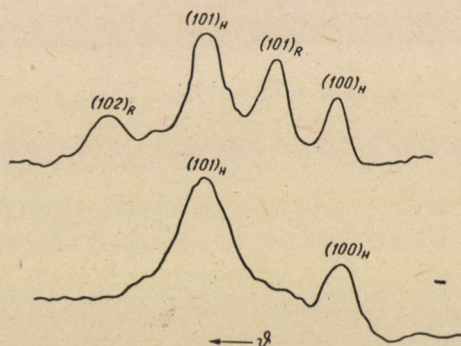
2. ábra. Őrölt természetes grafit röntgendiffrakciós diagramja (hexagonális és romboédeses változat keveréke)

nem figyelhetünk meg észrevehető növekedést. Ez a romboédeses változat azonban nem nagyon stabilis. Ha kellő ideig tesszük ki az anyagot meleg savak hatásának (salétromsav és kénsav elegye), akkor a romboédeses alak teljesen a hexagonális alakba megy át (3. ábra). Megállapítottuk, hogy ennél a folyamatnál az alapsíkok (001) egymás közötti távolsága megnövekszik. A romboédeses változat ugyancsak lényeges mennyiségben csökken, ha az anyagot 1200 C° fölötti hőmérsékleten izzítjuk.

1. táblázat

Cseh-malom		Dreyer—Holland—Merten-malom	
Áteresztések száma	Romboédes változat %-ban	Áteresztések száma	Romboédes változat %-ban
1	23	1	18
3	31	5	20
5	33	9	24
8	37	15	26
10	37	19	27

A természetes grafit őrlés következtében végbemenő szerkezetváltozásával párhuzamosan, röntgenografiai módszerrel megvizsgáltuk az amorf-szénből

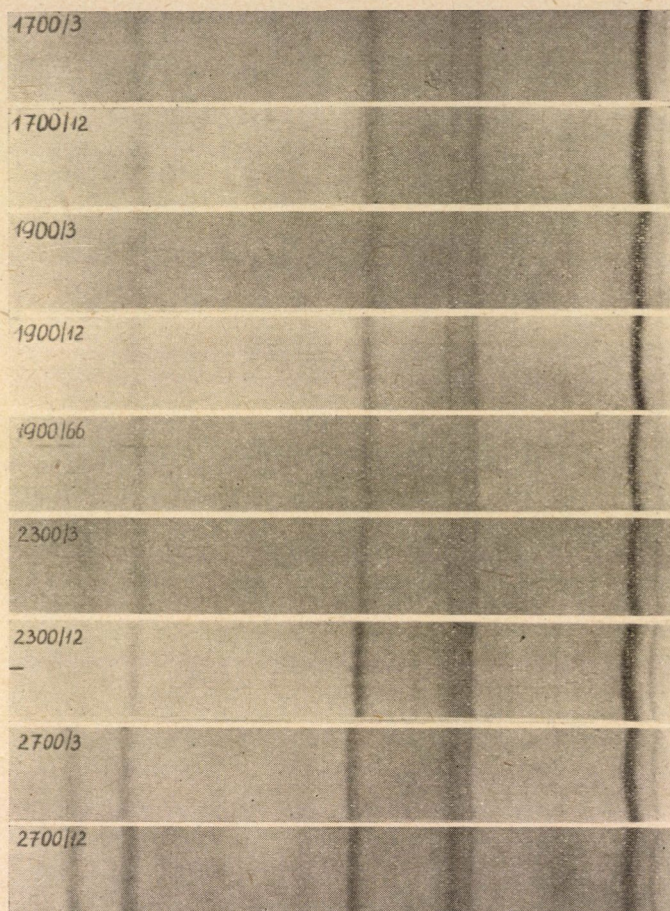


3. ábra. Az őrlt ceylongrafít hexagonális és romboédes változatainak jellemző vonalcsoportjairól mikrofotométerrel meghatározott görbék: a) forró savak behatása előtt, b) forró savak behatása után

előállított mesterséges grafit szerkezeti változását is. A grafitképződési folyamat eredményeit, amelyeket különböző hőmérsékleten és változó időtartam mellett kaptunk, a 4. ábrán láthatjuk. Az ábrából kitűnik, hogy alacsony hőmérsékleten és rövid ideig tartó izzítás következtében romboédes változat is keletkezik, amely a hőmérséklet emelkedésével hexagonális alakba megy át. Úgy látszik, hogy az átmenet azonban nem közvetlenül következik be, hanem sokkal valószínűbb, hogy a romboédes változat (1900/66) először az ún. turbosztrikus állapotba megy át. Ebben az állapotban az alapsíkok megtartják egymás közötti szabályos távolságukat, azonban rendezetlenül vannak orientálva. S csak ebből a turbosztrikus állapotból képződik valószínűleg a mesterséges grafit rendes hexagonális alakja.

Amikor az első ízben mesterséges úton előállított romboédes változatot közelebbről megvizsgáltuk, kiderült, hogy az különbözik attól a romboédes

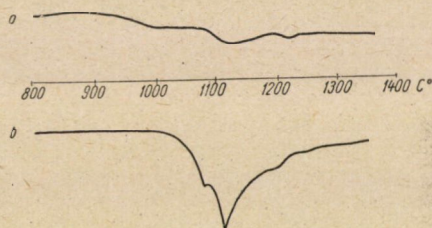
változattól, amely a természetes grafit őrlése közben keletkezik. A mesterséges grafit a és c rácsparaméterei nagyobbak és forró savak hatására nem roncsolódnak. A két romboédes változat különbsége a differenciális termáanalízis útján kapott görbékből is igazolható. Ezek a görbék az 5. ábrában láthatók.



4. ábra. Amorf petróleumkoksából előállított grafit szerkezeti változásainak a folyamat közben felvett röntgendiffrakciós diagramjai

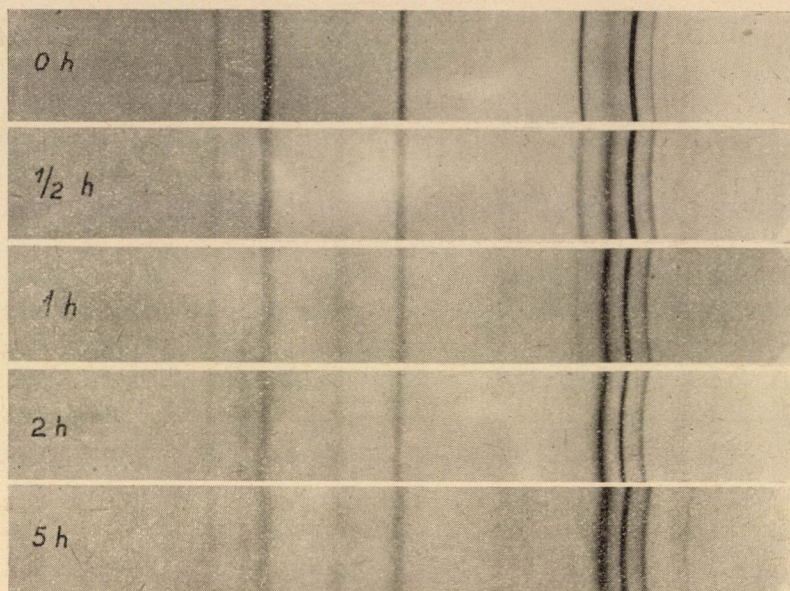
A minimumok helyzete és alakja, amelyek a hexagonális alakba való átmenetnek felelnek meg, mindkét esetben más. A grafit mesterséges úton előállított romboédes változata önálló krisztallográfiai egyednek tekinthető. A természetes grafit őrlési folyamata következtében keletkező romboédes változat ezzel szemben viszonylag kevésbé stabilis mechanikai képződmény, mely a csúsztatófeszültség hatására a hexagonális alakból képződik.

A grafit őrlése következtében keletkező szerkezetváltozások bizonyos hasonlósága megtalálható a kobaltnál. A kobalt — mint ismeretes — kétféle alakban kristályosodik; hexagonális alakban (gömbök legszorosabb illeszkedése), amely 450 C° alatt állítólag stabilis, és köbös, felületen központos alakzatban, amely egyben romboéderes alaknak is tekinthető; ez az adatok szerint 450 C° fölött stabilis. Az átalakulás azonban 450 C° -on nagyon lassú és a folyamat erősen függ a tisztátalanságoktól. Ezért a gyakorlatban szoba-hőmérsékleten gyakrabban találkozunk a kockaelrendezésű, tehát romboéderes, mint a hexagonális alakkal. A 450 C° -on redukció útján kapott kobalt is köbös és lehűtés után is ilyen marad. Az irodalomból ismeretes továbbá, hogy ez a köbös módosulat őrlés következtében hexagonálisba megy át. Ezen átalakulás lefolyásáról azonban közelebbit az irodalomban nem találtam.



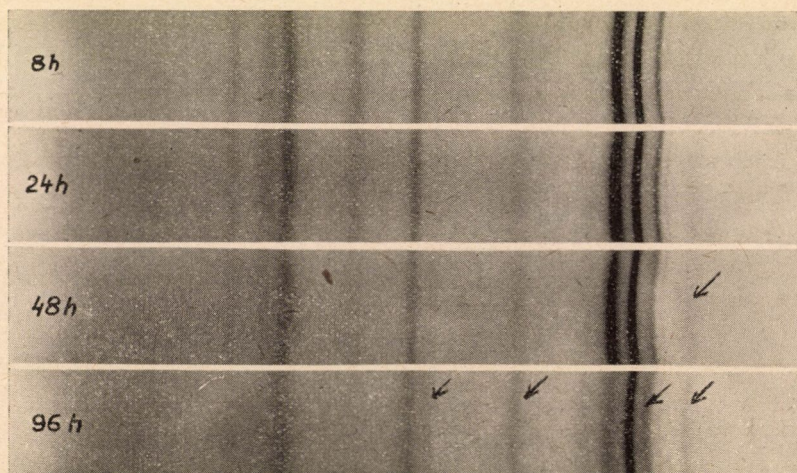
5. ábra. A differenciális termoanalízis útján kapott görbék: a) természetes őrlt grafit (hexagonális és romboéderes változat keveréke), b) mesterséges romboéderes változat

Érdekesnek találtuk tehát, hogy a kobalt köbös módosulatának alakulását az őrlés időtartamának növekedése közben röntgen eljárással közelebről megvizsgáljuk. Kiindulási anyagként 550 C° -nál hangyasavas kobaltról redukált köbös kobaltot használtunk, amelyet golyósmalomban őrltünk meg. A röntgenfelvételek készítéséhez használt próbákat $\frac{1}{2}$, 1, 2, 5, 8, 16, 24, ... 96 órai őrlés után vizsgáltuk. A kapott eredményeket a 6. és 7. ábrákon látjuk. A kiindulási anyagnak megfelelő első diffrakciós fölvételen, a két első jellemző vonal $(100)_H$ és $(101)_H$, amelyek a hexagonális alaknak felelnek meg, igen gyengén láthatók. A röntgenometriai meghatározás szerint ez a kiindulási anyag kb. 10% hexagonális kobaltot tartalmaz. Tehát túlnyomóan a kobalt köbös módosulatából áll. A diagramon látható többi vonalak a két változatnál, egy kivételével azonosak. Ez a vonal a $(002)_K$, csak a köbös módosulatnál található. Az őrlési eljárás időtartamának növelésével, a hexagonális módosulatra jellemző vonalak megerősödnek és a köbös módosulatra jellemző egyetlen vonal, $(002)_K$ gyengül, olyannyira, hogy már nyolc órai őrlés után teljesen eltűnik. Ha az őrlési eljárást tovább folytatjuk, láthatjuk, hogy a hexagonális változatra jellemző vonalak csökkennek és ismét a köbös módo-



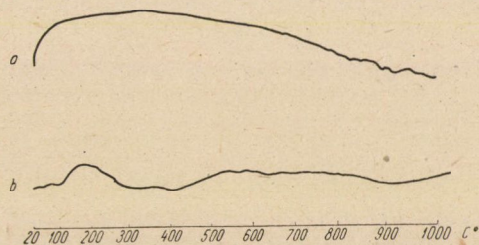
6. ábra. Az eredetileg kőbős kobalt röntgendiffrakciós diagramjai, ha az őrlési időtartam 0-tól 5 óráig növekedik

sulatra jellemző $(002)_K$ vonal jelentkezik. Egyidejűleg az összes vonalak egyre szélesebbek lesznek és a magasabbrendű vonalak szétfolynak a kép alapfeketedésében. Hosszabb őrlési időtartam után a kobaltoxid, CoO leg-erősebb vonalai is megjelennek.



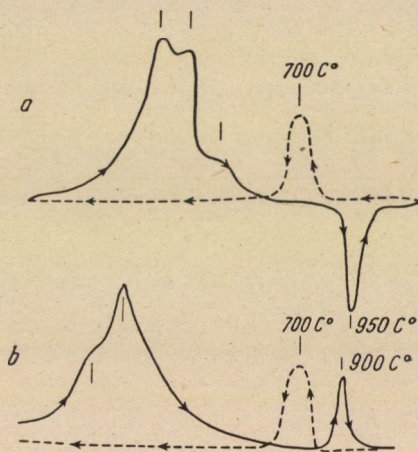
7. ábra. Az eredetileg kőbős kobalt röntgendiffrakciós diagramjai, ha az őrlési időtartam 8-tól 96 óráig növekedik

Meg lehet tehát állapítani, hogy az őrlési folyamat tartamának növekedésével a köbös módosulat (vagyis a romboéderes alak) hexagonális módosulatba megy át, majd abból ismét a köbös módosulat keletkezik, miközben már jelentékeny mikroszerkezeti feszültségek jelentkeznek. Ugyancsak figyelem-



8. ábra. Az a) eredetileg köbös és b) őrlött kobaltról nem oxidáló atmoszférában készített differenciál-termoanalízis görbéinek lefutása

mel kísértük a vonalak intenzitásának, az alapfeketedésnek és a rácsparaméterek változását. Ezekből a mérésekből kitűnik, hogy az őrlési folyamat első szakaszában, vagyis amikor a köbös módosulat a hexagonálisba megy át, valószínűleg egynemű, önerejű átmenetről van szó. Eközben azonban je-



9. ábra. Az a) eredetileg köbös és b) őrlött kobaltról oxidáló atmoszférában készített differenciál-termoanalízis görbéi

lentékeny rétegződési hibák keletkeznek. A második szakaszban, amikor a hexagonális módosulathoz ismét köbös módosulat keletkezik, a jelenséget vagy az úgynevezett növekedési hiba (a rétegződési hiba egyik fajtája) koncentrációjának fokozódásával, vagy ugyancsak egynemű, önerejű átmenettel magyarázhatjuk. Egyrészt ugyanis ismeretes, hogy nagyfokú képlékeny alakváltozás esetében a kis kristályok ismét növekedésnek indulhatnak. Ebből

a növekedési hiba keletkezésének lehetősége és koncentrációja következik. Másrészt az is lehetséges, hogy az elég hosszan tartó őrlés következtében a kobaltpor hőmérséklete eléri az átalakulási hőmérsékletet, úgyhogy a hexagonális alakzat önerejűen megy át a köbös módosulatba. Ezalatt gázatomok, mint pl. oxidatomok könnyen benyomulhatnak a rácsba, és ezzel irreverzibilissé teszik a folyamatot, oly mértékben, hogy a keletkezett köbös módosulat szobahőmérsékletre történő lehűtés után is legalább részben megmarad.

A köbös módosulatú kobaltnak az őrlési folyamat következtében keletkező szerkezeti változásai, jelentős hatással lehetnek bizonyos fiziko-kémiai folyamatokra. Így pl. a 8. és 9. ábrán bemutatott, differenciál-termoelemzés útján kapott görbék alakja igen különböző. Ezeket a görbéket az eredeti kiindulású és az őrlött kobaltról vettük fel, nem oxidálódó (CO_2), illetve oxidálódó (technikai O_2) atmoszférában. Különösen az oxidáció eltérő lefolyásának lehet a műszaki gyakorlatban jelentősége. A görbe jellemző pontjainak megfelelő oxidációs termékeket röntgenográfiaileg megvizsgáltuk és az oxidációs folyamat lefolyását termomérleggel is követtük. Megállapítottuk, hogy az őrletlen kobalt az oxidáció közben szakaszosan veszi fel az oxigént egészen 850 C° hőmérsékletig, ahol tiszta Co_3O_4 -et állapítottunk meg. A hőmérséklet további emelkedésével a kobalt ismét elveszti az oxigén egy részét és CoO -ba megy át. Ezzel szemben az őrlött kobalt folyamatosan oxidálódik és az oxidációs termék 850 C° -on igen finom szemcsés CoO , amelyben csak kevés Co_3O_4 van. Az oxigéntartalom ebben a szakaszban azonban a Co_3O_4 összetételnek felel meg. Ez a CoO 900 C° -on átkristályosodik közönséges oxigéntartalmú CoO -vá.

Úgy véljük, hogy az őrlött és őrletlen kobalt különböző lefolyású oxidációs folyamatainak vizsgálatából kapott eredmények jelentősek lesznek a kobalt és oxidjai katalitikus tulajdonságainak kutatásánál, valamint annak a problémának megoldásánál, amely a zománcnak vaslemezekhez való tapadásánál jelentkezik. Ebben az irányban tovább dolgozunk.

ADATOK RÖNTGEN- ÉS GAMMA-SUGARAKKAL VALÓ DURVASZERKEZETI VIZSGÁLATOK FELVÉTELKÉSZÍTÉSI ELJÁRÁSÁHOZ

KONKOLY TIBOR

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM MECHANIKAI-TECHNOLÓGIAI INTÉZETE

A műszaki gyakorlat a szerkezeti alkatrészek belső anyaghibáinak kimutatására egyre nagyobb követelményeket támaszt a hibakereső anyagvizsgálati eljárásokkal szemben. A feladat: minél nagyobb vastagságban a legkisebb méretű hibát jól érzékelhető módon kimutatni. Ebben az irányban a röntgen és γ -sugarakkal való vizsgálatok nagymértékben továbbfejlődtek. *Nagyobb vastagságok* átsugárzására nagyobb áthatolóképességű, tehát keményebb sugarakat kibocsátó forrásokat kerestek. A röntgenkészülékek legnagyobb feszültségét 250 KV-ról egészen 1–2 MV-ra növelték, megszerkesztették a különleges nagy vastagságok átsugárzására alkalmas betatronokat [1], amelyekkel 10–50 MV erősségű sugárzást lehet előállítani. Más oldalról a műszaki gyakorlatban is kezdték alkalmazni a természetes γ -sugárzókat: rádiumot, radont és mezothoriumot. A természetes γ -sugárzókat a háború utáni években csaknem teljesen kiszorították a mesterséges rádióaktív izotópok. Ezek előnye az előbbiekhöz képest a lényegesen kisebb előállítási költség, másrészt az, hogy erősségük fajlagosan (mc/mm^3) jóval nagyobb, s a kiinduló anyagok kiválasztásával — bizonyos határok között — a γ -sugárzás keménysége változtatható. A műszaki gyakorlat számára jelenleg alkalmas izotópok — csökkenő sugárkeménység sorrendjében — a következők [2, 3]: Co 60 (1,33, 1,171 MeV), Ta 182 (1,22, 1,13 ... MeV), Cs 137 (660 KeV), Ir 192 (610, 600, 580 ... KeV), Tm 170 (84 KeV).

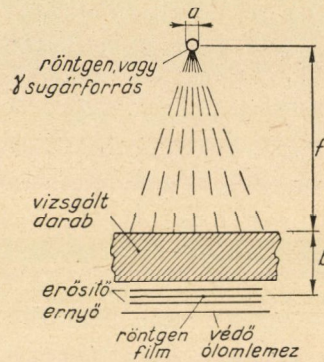
Növekvő anyagvastagságnál mind röntgen-, mind γ -sugárzás esetén felmerül a *hibafelismerhetőség* javításának szükségessége. Ezért — a filmfelvételi technikában — a közönséges röntgenfilmek és sóerősítő (kalciumwolframát) ernyővel együtt használt filmek helyett 0,1/0,1 mm-es ólomfóliák és élesebben rajzoló, meredekebb gradációgörbéjű finomszemcsés röntgenfilmek kombinációjára tértek át [2].

A legjobb hibafelismerhetőségre kell törekedni a röntgen- és γ -sugárzással végzett vizsgálatok elrendezésében és az expozíciós adatok kiválasztásában is. A felvételkedészítés általános elrendezése az 1. ábrán látható. Véges méretű sugárforrás használatakor a darab belsejében rejlő hiba képe egyrészt geometriai okokból életlen. Ez a *kerületi (külső) életlenség* a darab sugárforrás oldali felüle-

tén fekvő (legkedvezőtlenebb) hibahely és közvetlenül a tárgyra szorított film esetén az ábra jelöléseivel

$$K = \frac{a \cdot b}{f} \quad (1)$$

képletből számítható [4]. Teljesen pontszerű sugárforrás használatakor sem éles a hibahely képe. A sugárzás hatására a filmből és erősítő ernyőből kiváltott elektronok miatt keletkező *belső életlenség* filmanyagtól és az erősítő ernyőtől (bizonyos mértékben a sugárzás minőségétől) függ; ez a geometriai adatok számításánál már adott érték.



1. ábra. A felvét elkészítés általános elrendezése

A legjobb geometriai elrendezés nyilván az, amelynél a *belső életlenség* a kerületivel éppen egyenlő. A *belső életlenséget* kísérleti úton meghatározva, adott anyagvastagság [darabra szorított film esetén a gyakorlat számára elegendő pontossággal (b)] és sugárforrás méret (a) mellett a $B = \frac{a \cdot b}{f}$ összefüggésből a sugárzó legkedvezőbb távolsága (f) kiadódik.

Fentiekből következik vizsgálataim első feladata: *meghatározni a hazai műszaki gyakorlat számára hozzáférhető filmanyagoknak a különböző keménységű röntgen- és a γ -sugárzás hatására keletkező belső életlenségét és ennek változását só- vagy ólomerősítő ernyők hatására.*

A felvét elkészítés többi adatának meghatározásában a rádióaktív izotópokkal való vizsgálatokat emelem ki. A fenti összefüggésből adódó f és adott erősségű γ -sugárzó meghatározza azt a sugármennyiséget (óránkénti röntgen egység r /óra), mely a vizsgálandó darabba hatol. A tárgy belsejében elnyelt jól számítható százalékrész levonása után adódik az az óránkénti sugármennyiség, mely a sugárzás teljesen ép anyagon való áthaladása után a röntgenfilmet éri. Az expozíciós idő kiszámításához ismernünk kell azt a röntgen energiamenyi-

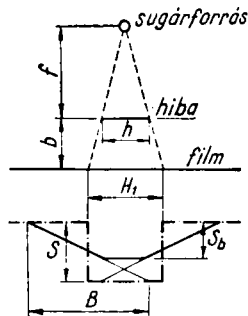
séget, mely a röntgenfilmen az ép anyag mögött olyan legkedvezőbb feketedést ad, amelyhez képest a hibahelyen áthaladt — kevésbé gyengült — sugárzás szemmel jól látható feketedéskülönbséget okoz. A hiba felismerhetősége azonban függ a felhasznált film feketedési görbéjének alakjától, a legkedvezőbb röntgen energiamentiség meghatározásához tehát ezek ismeretére is szükség van.

Ebből következik vizsgálataim második főfeladata : *meghatározni γ -sugárzásra a rendelkezésre álló filmanyagok feketedési görbéit és ezek változását só- vagy ólomerősítő ernyők hatására.*

A meghatározott belső életlenségi értékek és feketedési görbék alapján javaslatot lehet tenni különböző falvastagságú anyagok γ -sugarakkal való vizsgálatánál legkedvezőbb körülményeire : adott méretű sugárzó távolsági beállítására, a felhasznált filmanyag és erősítő ernyő kiválasztására és az expozíciós időtartam meghatározására.

A belső életlenség mérése

A mérési módszer



2. ábra. A belső életlenség hatása

Valamilyen film belső életlensége Berthold [4] szerint a 2. ábra jelöléseivel

$$B = \frac{S \cdot h \cdot n}{S_b} \quad (2)$$

összefüggésből adódik, ahol

S_b a hibahely mögött mutatkozó legnagyobb feketedés,

S legnagyobb feketedés, ha belső életlenség nem mutatkoznék,

h a hiba sugárirányra merőleges mérete,

n a kép nagyítása, mely $n = 1 + \frac{b}{f}$ összefüggésből számítható.

Az ábra jelöléseiből is kitűnik, hogy B a fotoelektronok kétszeres hatótávolságával egyenlő.

A belső életlenség kísérleti meghatározására a következő módszert választottam. 0,5 mm vastag ólomlemezen gépi úton pontosan merőleges oldalfalú, kb. 1 mm széles, keresztalakú nyílást készítettem. Ezt a lemezt helyeztem közvetlenül a fekete papírba csomagolt filmre, így a kereszt képe a sugárzás hatására a filmen megjelent. Az expozíciót és az előhívást úgy igazítottam be, hogy a sáv belsejében kb. 1,5 feketedés keletkezzék. A filmeket 20 C°-os Forte gyártmányú Devoyx előhívó oldatban kezeltem. A film alapfeketedéséből a sáv belsejébe való átmenetet 0,01 mm-es lépésekben MF-2 Stanko gyártmányú mikrofotométerrel mértem s az adatokból diagramot szerkesztettem. A különböző sugárforrásokkal és film-erősítő ernyő kombinációkkal felvett diagramok egyik típusát a 3. ábra mutatja, melybe a rés helyét és méretét bejelöltem. A 2. elvi rajzzal ezt összehasonlítva, látható, hogy a résméret nagyobb, mint a belső életlenség, ebben az esetben tehát $S = S_b$ s így a belső életlenség az átmenet szélességi méretéből közvetlenül adódik. Elegendő a rés egyik szélét leképező diagramrészt felrajzolni, a görbe szakasz legelső vízszintes érintőinek érintési pontjait az abszcisszára vetítve B értéke leolvasható.

A vizsgálatokat a következő sugárforrásokkal végeztem el:

1. VEM finomszerkezet vizsgáló röntgenkészülék 4,5 mm fókuszfelületű rezanódú röntgenső, 50 KV, 10 mA sugárzás (közvetlen filmre 20, 40 KV is).

2. Richard Seifert-röntgenkészülék 6 mm fókuszfelületű wolfram anódú röntgenső 160 KV, 5 mA sugárzás.

3. 4 mm átmérőjű 30 mg mennyiségű rádium 1 mm vastag platinaszűrővel.

Kétféle röntgenfilmet használtam, a hazai műszaki gyakorlat számára hozzáférhető Agfa Laue és Agfa Texo R gyártmányút.

Adott sugárforrás és filmanyagnál háromféle filmelrendezést alkalmaztam:

1. a sugárzás közvetlenül a filmre hat,

2. a film sóerősítő ernyők között, —

3. a film két 0,1 mm vastag ólomerősítő ernyő között van elhelyezve.

A mérési módszer hibalehetőségei

A vizsgálatnál alkalmazott mérési módszer főbb hibalehetőségeit a következőkben foglalom össze:

1. A kerületi életlenség nagyobb, mint a legkedvezőbb esetben adódó legkisebb belső életlenség.

2. A γ -sugárzás nagy áthatolóképessége miatt 0,5 mm vastagságra választott ólomlemez széle az esetleg ferde sugárirány miatt életlen kontúrt ad.

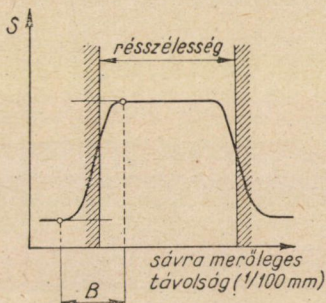
3. A mikrofotométer résmérete véges, két szomszédos (0,01 mm!) mérőállás esetleg részben fedi egymást.

4. A filmre leképezett sáv széle a fotométer részével nem pontosan párhuzamos.

5. A felvett diagramból B meghatározása pontatlan.

A következőkben a fenti hibalehetőségekből adódó hibaszázalékok nagyságát és legkisebb értékre csökkentésének módszereit foglalom össze.

Mivel a mikrofotométer tárgysztalának legkisebb mérhető elmozdulása 0,01 mm, mind az öt hibalehetségre vonatkozóan általánosságban megállapítható, hogy a mérés pontossága a sáv szélét leképező görbe vonalszakasz (l. 3. ábra) mindkét végén 0,01 mm. Ez a hiba B értékében összeadódhat és kivonódhat, a mérés legkisebb hibája tehát $\pm 0,02$ mm.



3. ábra. A belső életlenség meghatározása

ad 1. A kerületi életlenség adott sugárforrás méret esetén a fókusztávolság növelésével csökkenthető. A kerületi életlenség értékeit a háromféle sugárforrásra az 1. összefüggésből számoltam. A választott fókusztávolságokat behelyettesítve, b értékét 1 mm-re felvéve (közvetlenül rése szorított film), a következő értékek adódtak:

Rézanódú röntgenső, $f = 740$ mm

$$K = \frac{1 \cdot 4,5}{740} = \underline{0,0061 \text{ mm}}$$

Wolframanódú röntgenső, $f = 2000$ mm

$$K = \frac{1 \cdot 6}{2000} = \underline{0,003 \text{ mm}}$$

30 mg rádium, $f = 200$

$$K = \frac{1 \cdot 4}{200} = \underline{0,02 \text{ mm}}$$

A számadatokból látható, hogy a kerületi életlenség röntgensugárzásnál elhanyagolhatóan kicsi, γ -sugárzásnál (az expozíciós idő csökkentése végett legkisebbre választott f miatt) éppen a mikrofotométer mérési hibájával egyenlő.

ad 2. Az ólomlemez széle a ferde sugárzás miatt legfeljebb — az asztalmozgatás hibájával egyező 0,02 mm széles kontúrt rajzolhat a filmre. A 4. ábrából látható, hogy a sugárforrás — geometriailag pontos helyzetéből — a rés szélének síkjától jobbra-balra x értékkel tolható el. A beállítást tehát 2x pontossággal kell végezni.

$$\text{ABC háromszögből } \operatorname{tg} \alpha = \frac{0,02}{1,0}$$

$$\text{CDE háromszögből } \operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{f}$$

A hasonlóság alapján

$$\frac{0,02}{1,0} = \frac{x}{f}; \text{ ebből } x = 0,002 f$$

x értékei a különböző sugárforrásokra

$$\text{rézanódú cső röntgensugár } x = 0,002 \cdot 740 = 14,8 \text{ mm} \cong 1,5 \text{ cm}$$

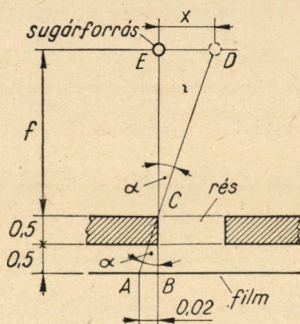
$$2x \cong 3 \text{ cm}$$

$$\text{wolframánódú cső röntgensugár } x = 0,002 \cdot 2000 = 40 \text{ mm} = 4 \text{ cm}$$

$$2x = 8 \text{ cm}$$

$$\gamma\text{-sugár } x = 0,002 \cdot 200 = 4 \text{ mm} = 0,4 \text{ cm};$$

$$2x \cong 1 \text{ cm}$$



4. ábra. A ferde sugárzás okozta hiba értékelése

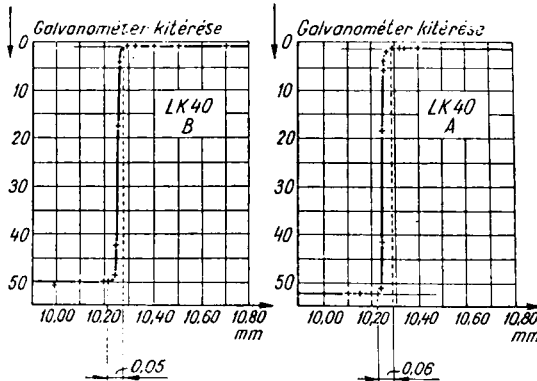
Mindhárom sugárforrással a számított hibahatárokon belül lehet maradni. A γ -sugárforrás jól látható gömb, film felőli oldalról a résen átnézve, a rés szélének síkjába a sugárforrás az előírt pontossággal beállítható. A röntgensövek fókusza nem látható, a wolframánódúnál azonban ismét a résen átnézve a nagy, 8 cm-es hibahatáron belül lehet maradni. A rézanódú csőre a hibahatár kicsi, itt azonban a sugárnyaláb keskeny, metszete 740 mm távolságban is csak 100×60 mm tengelyméretű ellipszis. A rés ennek közepére fluoreszkáló ernyővel az előírt hibahatáron belül beállítható.

ad 3. A mikrofotométer résének szélességi méretét — abból a célból, hogy elég pontosan mérhető feketedéskülönbségeket kapjak — méréseim egyik csoportjában 0,02 mm, nagyobb részben azonban 0,05 mm-re választottam. Mindkét érték jó, átfedés 0,01 mm asztalelmozdulásoknál sincs, mert a készülék a tárgytartó asztalra erősített film, s így a sáv képét $7 \times$ lineáris nagyításban vetíti a résre. Az átfedés veszélye nélkül megengedhető legnagyobb résméret tehát $7 \cdot 0,01 = 0,07$ mm volna.

ad 4. A mikrofotométer rését a sáv mellett áttételes forgató berendezéssel finoman lehet párhuzamosra igazítani. Ha a rés egyik vége a sáv szélének képét

érinti, 10 mm választott hosszméretnél másik végét — a $7\times$ lineáris nagyítás figyelembevételével — legalább $0,02 \cdot 7 = 0,14$ mm pontossággal kell beállítani. Éles kontúrnál (közvetlen film, ólom erősítő ernyő) ez szabad szemmel lehetséges, elmosódott sávnál (só erősítő ernyő) azonban a beállítás pontatlanabb; a nagy B érték miatt ennek jelentősége viszont kisebb.

ad 5. A diagramokat milliméterpapíron úgy szerkesztettem, hogy az abszcissza léptéke $1 \text{ mm} = 0,02 \text{ mm}$; ezzel szintén az asztalmozgatás hibájának nagyságrendjében lehet maradni.



5. ábra. Két egymásra merőleges sáv feketedés eloszlási diagramja. LK 40 = Agfa Laue film közvetlenül 40 KV röntgensugárral sugározva

Annak igazolására, hogy a 2, 4, 5, hibalehetőségekből adódó együttes hiba a számított 0,02 mm-es hibahatárt nem lépi túl, két kísérletet végeztem.

Agfa Laue filmre 40 KV sugárzással közvetlenül leképeztem a keresztalakú sávot. A mérést két egymásra merőleges sávrészen elvégeztem, a diagramokat megszerkesztettem (5. ábra). Az egyik sávon $B_1 = 0,06$, a másodikon $B_2 = 0,05$ adódott. Az eredmények igazolják a 2., 4. és 5. pontban állítottakat.

A Laue film B_1 mérési helyét megjelöltem, ide — a filmet ismételen elmozdítva és a rést újra párhuzamosra állítva — többször visszatértem és a mérést megismételtem. Az eredmények szórása 0,02 mm-en belül maradt, ami a 4. és 5. pontot szintén alátámasztja.

A mérési eredmények összefoglalása és értékelése

A kísérletek első részében erősítő ernyő nélkül alkalmazott filmre rezonódú csővel 20, 40, 50 KV röntgensugárzással készítettem felvételeket. A diagramokból meghatározott belső életlenség értékek a következők:

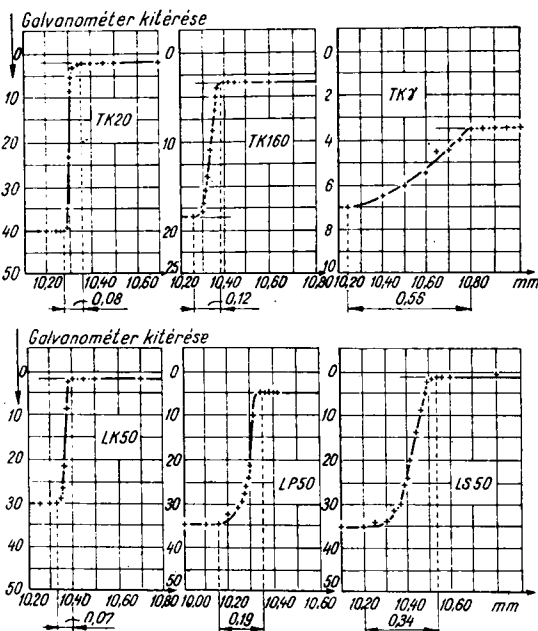
	20 KV	40 KV	50 KV
Agfa Texo R. film	0,08	0,06	0,1
Agfa Laue film	0,05	0,06	0,07

A további vizsgálatok során a különböző minőségű sugárforrásokra, erősítő ernyő és filmkombinációkra meghatározott B értékeket az I. táblázat tartalmazza.

I. táblázat
A belső élettenség érték (B) összefoglaló táblázata

Film-erősítő ernyő kombináció	Filmfajta Agfa-	Röntgensugárzás		Rádium γ sugárzás
		rézánódú cső 50 KV	wolframanódú cső 160 KV	
Közvetlen film	Texo R	0,1	0,12	0,56
	Laue	0,07	0,12	0,50
Film sóerősítő ernyővel	Texo R	0,44	0,54	0,53
	Laue	0,34	0,60	0,60
Film 0,1/0,1 mm ólom-erősítő ernyővel	Texo R	0,15	0,20	0,35
	Laue	0,19	0,15	0,28

A megszerkesztett diagramokból néhányat a 6. ábrán mutatok be.



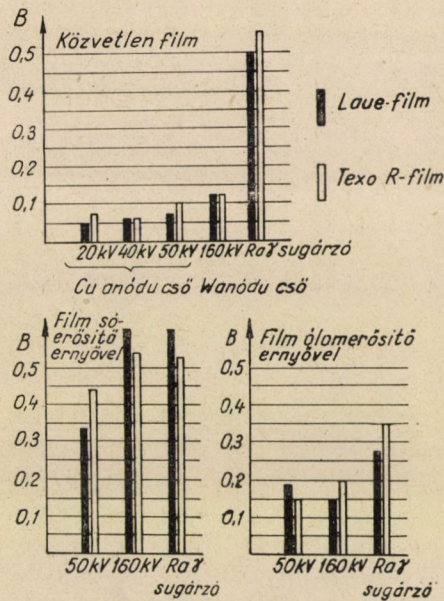
6. ábra. A belső élettenség (B) meghatározására felvett diagramok

A táblázatban és a diagramokon a film és erősítő ernyő kombinációk jelölésére bevezetett betűjelzések értelme a következő:

TK = Agfa Texo R röntgenfilm erősítő ernyő nélkül
 LK = Agfa Laue röntgenfilm erősítő ernyő nélkül
 TS = Agfa Texo R röntgenfilm só (kalciumwolframát) erősítő ernyővel
 LS = Agfa Laue röntgenfilm só erősítő ernyővel
 TP = Agfa Texo R röntgenfilm 0,1/0,1 mm ólomerősítő ernyővel
 LP = Agfa Laue röntgenfilm 0,1 0,1 mm ólomerősítő ernyővel.

(Jelölési példa : LP 50 = Laue-film ólomerősítő ernyővel, rézanódú cső 50 KV röntgensugárzás.)

A belső életlenségre meghatározott értékek egybevetéséből a következő szempontok alapján lehet a durvaszerkezet-vizsgálati gyakorlat számára használható következtetésekre jutni.



7. ábra. A különböző sugárforrások hatása a belső életlenségre

1. A kétféle filmfajta szembeállítása.
2. A röntgensugár keménységének (KV) és a sugárforrás minőségének befolyása.
3. A közvetlen film és a kétféle erősítő ernyős kombináció összehasonlítása.

1. A táblázat adatainak fenti csoportosításából a kétféle filmfajta közvetlenül összehasonlítható. Az Agfa Laue-filmeken meghatározott belső életlenség általában — az LP 50, LS 160, LS γ -kombinációk kivételével — valamivel kisebb, mint Texo R filmnél. A különbség legnagyobb értéke azonban 0,10 (LS 50), a 20 és 40 KV sugárzásra mért adatokkal együtt számított átlagkülönbség pedig

0,056. Mindezekből következik, hogy az Agfa Texo R és Laue-film belső életlenség szempontjából a durvaszerkezet-vizsgálat számára gyakorlatilag egyenértékű.

2. A sugárforrás minőségének befolyását a mérési adatok megfelelő csoportosításával szerkesztett 7. ábracsoport szemlélteti. A mérési adatok összehasonlításából a következőket lehet megállapítani:

a) Rézanódú röntgenső használatakor a csőfeszültség, így a sugárzás keménységének változása a belső életlenség értékére számottevő hatással nincsen. A 20—50 KV feszültségi sávon belül mért legnagyobb eltérés Texo R filmnél 0,04, Laue-filmnél 0,02.

b) Erősítő ernyő nélkül használt röntgenfilmnél a belső életlenség wolfram-anódú röntgenső 160 KV sugárzásánál sem változik lényegesen. A rézanódú cső 50 KV-os sugárzásához képest Texo R filmnél 0,02, Laue-filmnél 0,05 a változás.

c) Erősítő ernyő nélkül használt röntgenfilmnél a belső életlenség γ -sugárzás esetén — a röntgensugárzással kapott értékekhez képest — nagymértékben romlik; értéke mindkét filmfajtánál közel ötszörösére emelkedik.

d) Só-erősítő ernyők közé helyezett film már lágyabb sugárzásnál is nagyobb belső életlensége a wolfram-anódú cső 160 KV röntgensugárzásánál ugrásszerűen megnövekszik.

e) A sóerősítő kombináció γ -sugár hatására nem mutat nagyobb belső életlenséget, mint amit wolfram-anódú cső 160 KV röntgensugaránál észlelni lehet.

f) 0,1/0,1 mm ólomerősítő ernyők közé helyezett röntgenfilm belső életlensége különböző feszültségű és minőségű röntgensugarak hatására gyakorlatilag állandó. γ -sugárforrásnál a belső életlenség nagyobb, ez a növekedés azonban jóval kisebb (0,15), mint erősítő ernyő nélküli filmnél (0,4).

3. Az erősítő ernyők hatásának értékelésére a mérési eredményeket a II. táblázat szerint átcsoportosítottam. A táblázat betűjelzéseinek jelentése a 6. ábrával kapcsolatban megadottakkal egyező.

Az összehasonlítást grafikusan a 8. ábracsoport szemlélteti.

A II. táblázat, és a 8. ábra alapján az erősítő ernyők hatását a következőkben értékelem.

Rézanódú cső 50 KV röntgensugárzás:

a) Ólomerősítő ernyő a belső életlenséget alig (ΔB max. 0,12), sóerősítő jelentősen (ΔB átlagban 0,3) rontja.

Wolfram-anódú cső 160 KV röntgensugárzás:

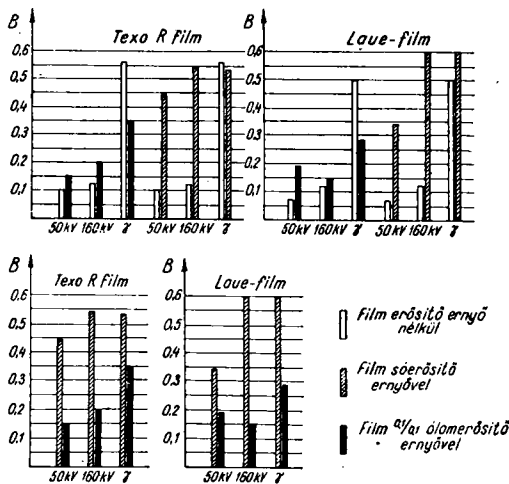
b) Ólomerősítő ernyő a belső életlenséget gyakorlatilag egyáltalában nem rontja (ΔB max. 0,08).

c) Sóerősítő ernyő a belső életlenséget nagymértékben rontja (ΔB átlag 0,45).

II. táblázat
Az erősítő ernyők hatása a belső életlenségre

	Film és erősítő ernyő kombináció jelzése	Röntgensugárzás				Rádiumsugárzás	
		rézanódú cső 50 KV		wolframanódú cső 160 KV		B	ΔB
		B	ΔB	B	ΔB		
Ólomerősítő ernyő hatása	TK	0,10	0,05	0,12	0,08	0,56	0,21*
	TP	0,15		0,20		0,35	
	LK	0,07	0,12	0,12	0,03	0,50	0,22*
	LP	0,19		0,15		0,28	
Sóerősítő ernyő hatása	TK	0,10	0,34	0,12	0,42	0,56	0,03*
	TS	0,44		0,54		0,53	
	LK	0,07	0,27	0,12	0,48	0,50	0,10
	LS	0,34		0,60		0,60	
Ólom- és sóerősítő ernyő összehasonlítása	TP	0,15	0,29	0,20	0,34	0,35	0,18
	TS	0,44		0,54		0,53	
	LP	0,19	0,15	0,15	0,45	0,28	0,32
	LS	0,34		0,60		0,60	

*-gal megjelölt ΔB értékeknél az erősítő ernyős kombináció a közvetlen film belső életlenségét csökkenti.



8. ábra. Az erősítő ernyők hatása a belső életlenségre

A röntgen durvaszerkezet-vizsgálatokban a hazai gyakorlat ilyen keménységű röntgensugarakkal és csaknem mindenütt sóerősítő ernyővel dolgozik. Bár az ólomerősítő ernyők használata a feszültség és az expozíciós idő némi emelését kívánja (2), olyan vizsgálatoknál, ahol a lehető legjobb hibafelismerhetőség a fontos, a *b*) és *c*) pontok alapján sóerősítő helyett ólomerősítő ernyők használata kell áttérni (külföldi kísérleti eredmények szerint röntgensugárzásnál az ólomerősítő ernyő a filmkontrasztot sem rontja).

Rádium γ -sugárzás :

d) A közvetlen film különben nagy belső életlensége sóerősítő ernyővel Laue-filmnél kissé javul, Texo R-nél romlik. A változás nem számottevő.

e) Ólomerősítő ernyő mindkét filmfajtánál a belső életlenséget jelentősen ($\Delta B = 0,2$) javítja.

A mérések azt bizonyítják, hogy a γ -sugarakkal végzett vizsgálatoknál a legjobb hibafelismerhetőség elérésére — ha a filmkontraszt nem romlik nagyon — ólomerősítő ernyőt kell alkalmazni.

Az ólomerősítő ernyők használhatóságát a γ -sugárzással való durvaszerkezeti vizsgálatokban a továbbiakban az dönti el, hogy a filmkontrasztra és a felvételkedés időtartamára milyen befolyással vannak. Ez a hatás a filmek feketedési görbéi alapján számítható, további kísérleteket kellett tehát végezni γ -sugárzással a különböző röntgenfilm-erősítő ernyő kombinációk feketedési diagramjainak meghatározására.

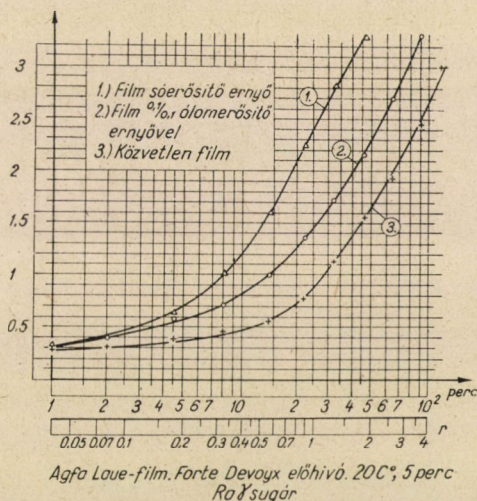
A feketedési diagramok felvétele γ -sugárzásra

A feketedési görbék meghatározására általában alkalmazott berendezések a γ -sugár nagy áthatolóképesége miatt nem használhatók. Abból a célból, hogy a különböző feketedési fokozatok egy filmdarabra kerüljenek, és a csekélyebb megvilágítású részeket a sugárzás hatásától megvédjem, a következő módszert választottam. A 30 mg 4 mm átmérőjű rádium sugárforrástól 100 mm távolságra úgy helyeztem el 5×10 cm méretű röntgenfilmeket, hogy egyik végük két-két darab \square 50 mm ólomhasáb közé került. A belső életlenségmérés hatféle kombinációjának megfelelően csomagolt filmeket adott időtartamú sugárzás után az ólomhasábok között kb. 5—10 mm-rel ismételtlen továbbtoltam. A filmek megvilágítási időit és ebből a rájuk ható sugármennyiség-értékeket (*r*) a következő táblázat szerint vettem fel :

Sugárzási idő, perc	2	4	8	14	22	32	46	64	90	120
<i>r</i>	0,08	0,16	0,32	0,56	0,98	1,28	1,84	2,56	3,6	4,9

A filmeket Forte Devoyx előhívó oldatban kezeltem. A hőmérséklet $\pm 2\text{ C}^\circ$ pontossággal 20 C° , az előhívás időtartama 5 perc volt. A feketedési értékeket MF-2 Stankó gyártmányú mikrofotométerrel határoztam meg.

A kísérletsorozatot háromszor megismételtem, Agfa Laue-filmnél a feketedési értékek alig szórtak, az érzékenyebb Texo R film diagramjait azonban ezeken belül kellő pontossággal reprodukálni nem tudtam. A hibát valószínűleg az okozta, hogy a hasábok közti filmszakaszokat érő kb. $0,1\text{ r/óra}$ sugármennyiség a Texo R filmnél már nem elhanyagolhatóan kicsiny feketedéskülönbségeket

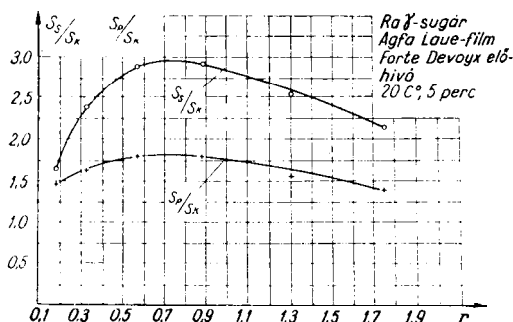


9. ábra. Agfa Laue-film feketedési görbéi γ sugárzásra

okoz. A méréseket kellő számban ismételni vagy egyéb módszereket kipróbálni nem lehetett, mert a gyógyászatban állandóan használt sugárzót csak néhány alkalommal lehetett a kísérletek számára igénybe venni. A Laue-filmre és erősítő ernyős kombinációra felvett diagramok felhasználhatók, Texo R filmekben azonban további méréseket kell végezni.

A Laue-filmekre közvetlenül, — só- és ólomerősítő ernyővel meghatározott feketedési diagramokat a 9. ábra mutatja. Ha az abszcissa logaritmikus léptékű megvilágítás-értékei mellé a velük egyenértékű r sugármennyiségeket szintén logaritmikus léptékben bejelölöm, a diagramok a sugárzó adatainak kiszámítására közvetlenül felhasználhatók. A legkedvezőbb filmkontraszt elérése céljából megfelelően választott S érték eléréséhez szükséges r érték a diagramból leolvasható. A különböző távolságokban különböző anyagvastagság mögött a filmre jutó óránkénti sugármennyiség ($r/óra$) a bevezetésben vázolt számítással meghatározható. A két értékből a felvét elkészítés időtartama adódik.

A 9. ábra feketedési görbéiből a megvilágítási adatokon kívül számos egyéb következtetést is le lehet szűrni. A diagramok helyzete alapján számítható és



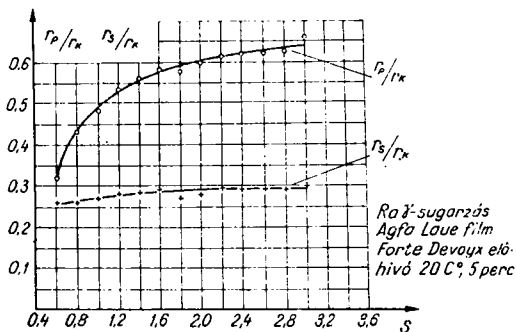
10. ábra. Só- és ólomerősítő ernyők erősítő hatása

összehasonlítható a különböző ernyők erősítő hatása. Ebből a célból meghatároztam a különböző r értékekhez tartozó feketedésekből az erősítő hatást jelentő S_P/S_K és S_S/S_K viszonzyszámokat, melyekben

S_K erősítő ernyő nélkül alkalmazott film feketedése,

S_P 0,1/0,1 mm ólomerősítő ernyők közé helyezett film feketedése,

S_S sóerősítő ernyők közé helyezett film feketedése.



11. ábra. Só- és ólomerősítő ernyők erősítő hatása

A viszonzyszámok értékeit a filmre jutó r sugármennyiség függvényében a 10. ábra mutatja.

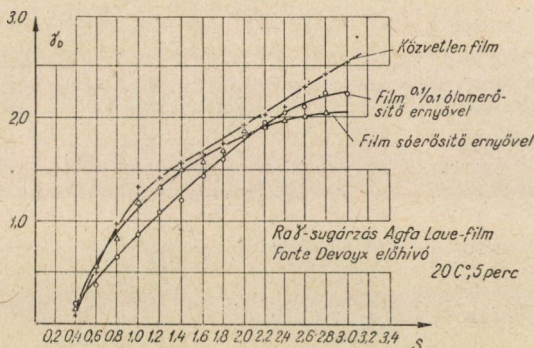
Az erősítő hatás — gyakorlatban jobban használható — másik fogalmazása az, hogy az erősítő ernyő adott feketedés, vagy feketedési sáv eléréséhez szükséges sugármennyiséget, — illetve adott sugárzónál a felvételi időtartamot — hányad részére csökkenti. Ebből a célból a diagramokból kimértem a különböző feketedésekhez tartozó r értékeket és képeztem az r_P/r_K és r_S/r_K viszonzyszámokat. Ezek változását a feketedés függvényében a 11. ábra szemlélteti.

A hibafelismerhetőség a röntgenfilm—erősítőernyő kombináció belső élettenségtől és a filmkontraszttól (γ_D) függ. A filmkontraszt számszerű meghatározására és változásának szemléltetésére megszerkesztettem a feketedési diagramok differenciálgörbéit a feketedés függvényében. A grafikus differenciálással meghatározott $\gamma_D = f(S)$ görbéket Laue filmre a 12. ábra szemlélteti.

A 9, 10, 11, 12. ábrákban bemutatott eredményekből leszűrt főbb következtetéseket az alábbiakban foglalom össze (Agfa Laue-film).

1. γ -sugaraknál is észlelhető az ernyők erősítő hatása ; legérzékenyebb a sóerősítő, kevésbé az ólomerősítő ernyős kombináció (9. ábra).

2. $S = 3,0$ feketedésig egyik kombinációnál sem mutatkozik még képfordulás, a feketedési görbék nem hajlanak vissza.



12. ábra. A filmkontraszt (γ_D) változása a feketedés függvényében

3. Mind ólom, mind sóernyő erősítő hatása (S_S/S_K , S_P/S_K , 10. ábra) a sugármennyiséggel változik. Legkedvezőbb viszonyok 0,5—0,10 r között vannak, legnagyobb erősítési tényező itt sóernyőnél 2,9, ólomerősnél 1,8. A bemért $r = 0,1—1,9$ sávon belül az átlagos erősítő hatás sóernyőnél 2,42, ólomerősítőnél 1,60.

4. Az erősítő ernyők adott feketedés eléréséhez szükséges sugármennyiséget csökkentik ; minél kisebb az r_S/r_K és r_P/r_K viszonyszám, annál erősebb ez a hatás. A 11. ábra szerint ez a feketedés függvényében sóernyőnél kevésbé, ólomerősítő ernyőnél erősebben változik, növekvő feketedéssel az erősítő hatás egyöntetűen csökken. A gyakorlatban használt $S = 1,0—3,0$ feketedési sávon belül a felvételkedészítés időtartamát a csóerősítő ernyő átlagban 71%-kal, az ólomerősítő 41%-kal csökkenti.

5. A feketedési görbékéből szerkesztett $\gamma_D = f(S)$ diagramok (12. ábra) közvetlen filmmel és erősítő ernyős kombinációknál egyaránt közel fekszenek egymáshoz, a filmkontraszt szempontjából nagy különbségek tehát nincsenek.

6. $S = 3,0$ feketedésnél (a mérésorozat felső határa) a közvetlen filmkontraszt diagramja még határozottan emelkedő jellegű, az ólomerősítő ernyős kombinációé kevésbé, — a sóerősítő ernyősé határozottan vízszintesbe hajlik.

7. A diagramok alapján a jó hibafelismerhetőség elérésére a durvaszerkezet-vizsgálat számára ajánlott feketedési sáv közvetlen film és a sóerősítő ernyős kombinációnál $S = 1,2-3,0$. Ólomerősítő kombinációnál a kísérleti eredmények szerint előnyösebb az $S = 1,9-3,0$ sávra exponálni.

8. A bemért tartományon belül a filmkontraszt legnagyobb értékei a következők :

közvetlen film $S = 3,0$ -nál $\gamma_D = 2,50$,
 film ólomerősítő ernyővel $S = 3,0$ -nál $\gamma_D = 2,22$,
 film sóerősítő ernyővel $S = 2,8$ -nál $\gamma_D = 2,02$.

A javasolt $S = 1,2-3,0$ sávra kiszámított átlagos kontraszt-értékek közvetlen filmnél 1,96, sóerősítő ernyővel 1,76, ólomerősítő ernyővel 1,73. Ha a hibahely mögött a film feketedése a javasolt sávba esik, az átlagértékek alapján az erősítő ernyők hatására következtetni lehet. Ezek szerint a kétféle ernyőkombináció kontrasztja gyakorlatilag egyező; mindkettő kereken 10%-kal rosszabb azonban az erősítő ernyő nélküli filmre mért értékeknél.

Agfa Laue-filmre vonatkozó, előbbieken vázolt kísérleti eredmények alapján igazolható az az állítás, hogy γ -sugarakkal végzett durvaszerkezeti vizsgálatokban ólomerősítő ernyők alkalmazásával jobb eredményeket lehet elérni, mint sóerősítő ernyővel, vagy közvetlen filmmel.

A hiba felismerhetősége annál jobb, 1. minél élesebb kontúrokkal jelentkezik a hibakép, és 2. minél nagyobb az a feketedéskülönbség, melyet a hibahelyen áthaladó sugármennyiség-többlet elődéz. A hibakép annál élesebben mutatkozik, minél kisebb a belső életlenség (B) és minél nagyobb az adott megvilágításkülönbség okozta feketedés differencia, vagyis a filmkontraszt (γ_D). A γ -sugárzásra meghatározott belső életlenség közvetlen Laue-filmnél 0,50, sóerősítő ernyővel 0,60, ólomerősítő ernyővel 0,28. Ebből látható, hogy a rajzélesség ólomerősítő ernyővel a közvetlen filmhez képest 44%-kal, a sóerősítő ernyős kombinációhoz viszonyítva pedig 53%-kal jobb. Másrészt a filmkontraszt a javasolt $S = 1,2-3,0$ sávon belül közvetlen film használatakor átlagban 1,96, sóerősítő ernyővel 1,76, ólomerősítő ernyővel 1,73. Az átlagértékek alapján megállapítható, hogy az ólomerősítővel elérhető kontraszt a sóerősítő ernyőével közel egyezik ($S = 2,2$ felett nagyobb), a közvetlen filmhez képest 10%-kal rosszabb.

A két hatás szembeállításából megállapítható, hogy a sóerősítő ernyő nagy belső életlensége és rossz filmkontrasztja miatt γ -sugárzással végzett vizsgálatokban nem célszerű alkalmazni.

Az ólomerősítő ernyős kombinációt közvetlen filmhez hasonlítva a százalékos arányokból szembetűnő, hogy az ólomernyővel elért 44%-kal jobb belső életlenség bőven átfedi a filmkontrasztban észlelt 10%-os hátrányt: γ -sugarakkal

végzett vizsgálatokban a hibafelismerhetőség javítására ólomerősítő ernyőket kell tehát használni. Külön előnyt jelent, hogy ólomerősítő ernyő a felvétel-készítés időtartamát az erősítő ernyő nélküli filmhez képest átlagosan 41%-kal csökkenti.

Ezúton is köszönetemet nyilvánítom dr. Gillemot László egyetemi professzornak és Bozóky László tanárnak, hogy intézetükben a mérések elvégzését lehetővé tették.

IRODALOM

1. Betatron- und Isotopen Radiographie. Brown-Boveri Mitteilungen 1953. Aug.
2. Der heutige Stand der Werkstoffprüfung mit Röntgen- und γ -Strahlen. R. Berthold, O. Vaupel, R. Wetterneck. Stahl und Eisen, 1952. April.
3. Gamma Radiographie. P. Trippe. The Machinist, 1954. febr. 13.
4. Atlas der zerstörungsfreien Prüfverfahren. R. Berthold, Leipzig 1938.

HOZZÁSZÓLÁSOK

RÉTI PÁL

Előadó két pontban foglalta össze célkitűzéseit. Nevezetesen :

1. Meghatározni a hazai műszaki gyakorlatban használatos filmanyagok viselkedését röntgen- és gammasugarak hatására ernyők nélkül és ernyőkkel.

2. A gammasugárzáshoz használatos filmanyagok feketedési görbéinek kidolgozása és ezek változása só és ólomerősítők hatására.

Meg kell állapítani, hogy előadó a kitűzött célokat rendszeres és pontosan kivitelezett kísérletsorozatokkal elérte. Végző megállapításai egyeznek a vonatkozó külföldi irodalmi adatokkal, azonban ezen túlmenően a kísérletek eredményeit nézetem szerint a következő szempontokból is igen értékeseknek kell tekintenünk :

1. Hazai viszonylatban ilyen természetű vizsgálatokat még nem végeztek. Így sem kipróbált mérési módszer, sem számszerű összehasonlító adataink a különféle filmek viselkedésére nem voltak. Különösen így van ez a gammasugárzó anyagvizsgálati területen való alkalmazásában, ahol a külföldi irodalomban is kevés adat áll még rendelkezésre, főképp a különböző ernyőkombinációk alkalmazására.

Adataink főleg közvetlen filmhasználatra vonatkoznak és ami adat rendelkezésre áll, az rendszerint számunkra nem hozzáférhető filmtípusra vonatkozik. A számszerű értékek pedig erősen kerekítettek és így kevésbé pontosak.

2. Gazdasági szempontból jelentős a megvilágítási időknél jelentős rövidíthetősége a kimutatott 41%-os mértékben ólomerősítők alkalmazása és 71%-ban sóernyők esetén. Így a vizsgálati idő és ezzel a csőégés ideje egy-egy vizsgálatnál csökken, ami a vizsgálat átfutási idejének csökkenéséhez és a cső élettartam növeléséhez vezethet. Különösen jelentős ez a kérdés, ha figyelembe vesszük, hogy a cső élettartama 65%-ára csökken, ha állandóan csak 10%-kal terheljük túl, míg 20%-nyi állandó kisebb terhelés mellett kb. 165%-ra növelhető az élettartama.

3. Fontos a kétféle ernyőkombináció azonos hatásának kimutatása a kontrasztra az erősítő nélküli filmmel szemben. E szerint mindkettő *azonosan* kb. 10%-kal csökkenti a kontrasztot.

4. Előadó az egyes filmtípusokra megvizsgált pontos számadataival jelentősen segítette röntgentechnikusainkat a megfelelő filmek kiválasztásánál a gyakorlat-megkívánta egyes speciális helyzetekben.

Hiányolható, hogy az előadó nem foglalkozott a hazai előállítású röntgen-filmekkel. Ezek adatainak bemutatása a külföldi filmekhez képest igen érdekes és fontos lett volna mind a felhasználás, mind a gyártómű szempontjából.

Megemlítem, hogy a végzett kísérletek száma még viszonylag kevés.

Összegezve : Az előadó kidolgozta a hazai gyakorlat számára a műszaki röntgenfilmek minőségi vizsgálatának egy összehasonlító módszerét, felhívta egyben a figyelmet e kérdés gazdasági és műszaki szempontból való rendkívüli fontosságára és az elérhető megtakarítási lehetőségekre is.

SCARI OTTÓ

MF-1 mikrofotométerrel a 2,0 és 3,0 feketedéseket a szerző hogyan tudta kellő pontossággal mérni?

KONKOLY TIBOR viszontválasza

Műszaki röntgenvizsgálatokhoz hazai röntgenlaboratóriumaink évek óta csaknem kizárólag Agfa-Texto R filmet használnak, mert a hazai gyártmányú Forte röntgenfilmet elsősorban az orvosi gyakorlat számára biztosítják. A méréseket erre a filmtípusra ezért nem terjesztettem ki.

A méréseket Stankó MF-2 típusú mikrofotométerrel végeztem. A belső élettenség meghatározásánál a berendezés mérési határán belül maradtam. A feketedési görbék felvételénél a nagyobb feketedéseket úgy mértem, hogy a határ közelében a galvanométer skáláját ismert értékkel átigazítottam, s ezt a feketedés mért értékéhez hozzáadtam. Az ebből származó hiba a leszűrt *minőségi* következtetések helyességét, véleményem szerint, nem zavarja.

ESCHIEBOLD

Az elhangzott előadás értékes és a durvaszerkezet vizsgálatában jól használható adatokat tartalmaz. Kérdezem, hogy szerző a méréseket lüktető egyenfeszültségű vagy folyamatos egyenfeszültséggel gerjesztett röntgensugarakkal végezte-e?

KONKOLY TIBOR

A méréseket R. Seifert-gyártmányú, Villard kapcsolású, lüktető egyenfeszültségű készülékkel végeztem. Folyamatos egyenfeszültséggel dolgozó röntgenberendezést a hazai durvaszerkezetű vizsgálatokban még nem alkalmaznak.



BESZÁMOLÓ TERMÉSZETES ÉS MESTERSÉGES AZBESZTFAJTÁK RÖNTGENOGRAFIAI FINOMSZERKEZET-VIZSGÁLATÁRÓL

Prof. Dr. E. SCHIEBOLD

ANYAG- ÉS ÁRUVIZSGÁLÓ HIVATAL, LEIPZIG

Az azbeszt a technika szempontjából nélkülözhetetlen nyersanyag. Azbeszt-tartalmú szigetelő- és tömítőanyagokat, szűrőszövetet, tömszelencetömítéseket, fék- és tengelykapcsolóbetéteket és azbesztgumiárukat az összes iparágakban és járműveknél a legkülönbözőbb kivitelben használják; azbesztcementet főképpen az építőiparban alkalmaznak. Az azbeszt technikai szempontból vett legfontosabb tulajdonságai a következők: hőállóság, sav- és lúgállóság, jó elektromos- és hőszigetelőképeség, fonhatóság, és nemezíthetőség. A vegyi összetétel szerint megkülönböztetjük a szerpentin-, vagy krizotil-azbesztet és az amfibol-azbesztet. A nyersanyagbeszerzés problémája rendkívül nagy jelentőségű az egész, azbesztet felhasználó ipar szempontjából, minthogy a Szovjet-unióon kívül nem a legtöbbet termelő országok a legfőbb felhasználók.

Németországban ezért már hosszabb idő óta végeznek kísérleteket mesterséges azbeszt előállítására. Először a lipcei egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézetében dr. *Lüdke Werner* kutatómunkájával sikerült *Scheumann* és *Schiebold* professzorok támogatásával 1931 és 1937 között mesterséges azbesztet félig üzemszerűen előállítani. 1937-től a továbbfejlesztés súlypontja a Bernburgban levő Anhalti Tanulmányi Társulatnál volt, a kísérleteknek azonban a háború befejezése átmenetileg véget vetett. Az előadó később kapta azt a feladatot, hogy a szintetikus azbeszt és a természetes amfibol-azbeszt azonosságát bebizonyítsa és rácsszerkezetét megvizsgálja. A röntgenográfiai vizsgálatok lényeges eredményei a következők:

Először *Warren B. E.* meghatározása alapján a tremolit szerkezetét vizsgáltuk, ezt követően pedig a természetes amfibol-csoport egyéb tagjainak a szerkezetét, különös tekintettel a kationok és anionok, nagyságuk és töltésük alapján végbemenő izomorf kicserélődésére.

Forgókristályról készült röntgenfelvétel segítségével dr. *Lüdke* eljárása alapján megállapítottuk egy szintetikus amfibol-minta azonosságai periódusait és a következő értékeket kaptuk:

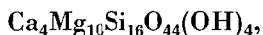
$$a_0 = 9,87 \text{ \AA}; \quad b_0 = 18,0 \text{ \AA}; \quad c_0 = 5,28 \text{ \AA}; \quad \alpha\beta = 73^\circ 58'$$

a monoklin elemi cellára vonatkozóan. A Warren részéről nyilvánosságra hozott rácsállandókkal szemben tehát kis növekedést kell megállapítani.

Forgókristály-diagramok és forgási röntgengoniométer felvételek alapján a kérdést a reciprokrács segítségével, számítással és grafikus úton vizsgáltuk és levezettünk képleteket a forgó síkfilmkorong 45°-os állására a primér-sugárnak a forgástengelyhez viszonyított merőleges és ferdeszögű beesésének esetére. Ismertetjük a Schiebold—Sauter, valamint a Schiebold-eljárás (forgó film hengerfelületen) használatakor a reciprokrács rétegsíkjainak ábrázolására és az indexek meghatározására a röntgengoniometria előnyeit; megadjuk továbbá az Ewald-féle terjedési gömb segítségével a mesterséges amfibolra készített grafikus szerkesztéseket. A forgási goniométer-diagramok értékelése a természetes amfibollal megegyező translációs csoportot és tércsoportot adott, a szerkezetek paraméterei nagymértékben egyezők, amint ez a forgókristály-, a Schiebold—Sauter- és Debye—Scherrer-diagramban megfigyelt interferenciák és ezek intenzitásának összeállításából kitűnik.

A röntgenográfiailag megvizsgált mesterséges amfibol, dr. Kunitz W. végezte egyik analizésének átszámítása, 48 (O, OH, F)-ion alapon, a következő összegező képletet eredményezte:

$X_4Y_{10}Z_{16}T_xA_{48}$, ahol $X = K^+, Ca^{2+}, Na^+, Mn^{2+}, Fe^{2+}$, $Y = Mg^{2+}$; $Z = Si^{4+}, Al^{3+}, Fe^{3+}$; $T = Na^+, Ca^{2+}, K^+$; $A = O^{2-}, OH^-, F^-$. Ha ezt összehasonlítjuk a tremolit ideális képletével:



akkor megállapíthatjuk, hogy a mesterséges amfibol elemi testében 3,56 fölös számú Na^+ van. Ez, bizonyos fokig megfelel a természetes amfibol-csoport alkálidús tagjai tipikus viselkedésének és erre már Warren is utalt. A fölös kationoknak a rácsban való elhelyezése bizonyos nehézségeket jelent, ami valószínűleg azzal függ össze, hogy a vizsgált azbeszttűk vegyi összetétele nem egyezik meg pontosan a vegyelemzés szerinti összetétellel. A rétegvonal-diagramban észlelhető, bizonyos további interferenciák azt mutatják, hogy a vizsgált mesterséges kristályok nem tökéletesen homogének, hanem kolloidális Na_2O -krisztallitokat is tartalmaznak.

Ehhez hasonló rendellenességeket a röntgengoniométeres felvételeken is megfigyelhetünk hosszúkás vonalak alakjában, ami az anyakristályban levő levélalakú, keresztrácsszerű — feltehetően antofillit — betelepedésekkel magyarázható. Ezek c -tengelyeikkel a szintetikus amfibol c -tengelyével párhuzamosan összenőttek. Valószínűleg az előállítási folyamat során keletkezett instabil közbenső termékről van szó.

NAGYTISZTASÁGÚ RÉZ SZENNYEZŐINEK VIZSGÁLATA SZÍNKÉPELEMZÉSSEL

VORSATZ BRUNÓ
MTA KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓ INTÉZETE

Rézalkatrészek roncsolásmentes színképelemzése

A fémeknek az iparban többnyire ötvözeteit használjuk, melyeknek szilárdsági stb. tulajdonságai előnyösebbek, mint összetevőiké. Mégis van néhány fém (és számuk egyre gyarapodik), melyek tisztán kerülnek alkalmazásra, egyes különleges tulajdonságuk miatt. Ezek közé tartozik a réz, a villamosipar nagy jelentőségű nyersanyaga, mely a gyakorlatban használt többi fém közül jó vezetőképességével tűnik ki. Ezt az előnyös tulajdonságát azonban nagymértékben befolyásolják szennyezői, mert ezek mennyiségének csekély növekedésével is már lényegesen romlik a vezetőképessége.

Még szigorúbbak a tisztasági követelmények a híradástechnikában, pl. a nagyteljesítményű elektroncsőgyártásnál felhasznált rézzel szemben, mert itt jó vezetőképészen kívül még kellő melegszilárdsággal és vákuumállósággal is kell bírnia.

A réz szennyezői Al, Sb, Bi, Cd, Fe, Pb, Ni, Ag, Sn, Zn és Si, valamint As, P, S és rézoxid. Ezek a szennyezők részben a rézércből erednek és nem sikerült őket eltávolítani, részben a kohósítási és raffinálási eljárás folyamán jutottak bele. Az elektrolízissel, mint tisztítási eljárással a szennyezők nagy része majdnem teljesen eltávolítható, azonban megmaradt mennyiségük még mindig zavaró mértékű lehet, úgyhogy csak nagy gonddal végzett vizsgálatok után kerülhet a rézalkatrész felhasználásra. Különösen indokolt a rézalkatrészeknek felhasználás előtti gondos vizsgálata akkor, ha a belőlük készítendő áru értéke nagy.

Ezért nagy jelentőségű az, ha sikerül ezekhez a vizsgálatokhoz a körülményes és viszonylag hosszantartó kémiai vizsgálatok pótlására gyors és megfelelő pontosságú színképelemző eljárásokat bevezetni.

A színképelemzés leggyakrabban használt és legjobban kidolgozott gerjesztőeljárása, a szikragerjesztés, nagytisztaságú réz vizsgálatára nem alkalmas, mert érzékenysége erre a célra nem elég nagy.

Ugyancsak nem célszerű alkalmazni a váltóáramú szaggatott ívet ezekhez a vizsgálatokhoz, bár néhány különleges esetben jó szolgálatot tehet [1], [2], [3].

Egyenáramú ívet használva, az érzékenység jelentősen megnövekszik, azonban ezt az előnyt, mely a minőségi vizsgálatoknál igen jól kihasználható, a mennyiségi vizsgálatok számára az egyenáramú ívgerjesztés számos kellemtelen tulajdonsága nagyban lerontja.

A gyakorlatban legjobban bevált a gömbös módszer (»globule arc method«). Ennél a vizsgálandó rézből bemért 0,15—0,5 g súlyú darabkát helyezünk el szén-, grafit-, vagy rézelektrodára, mellyel szemben réz-, vagy szén- (grafit) ellenelektrodát helyezünk. 4 mm-es ívköz használatával, a próbát katódnak kapcsolva 5—5,6 A-es áramerősségű egyenáramú ívet létesítünk. Ekkor a próba igen egyenletesen ég, katódfehlő nem jelentkezik, és a színkép 4500—2350 Å-ig terjedő tartományában szikravonalak nem jelentkeznek. Az egyenletes égés oka, hogy a rézgömböcske nem olvad meg, hanem a levegő oxigénje segítségével CuO alakjában fogy el.

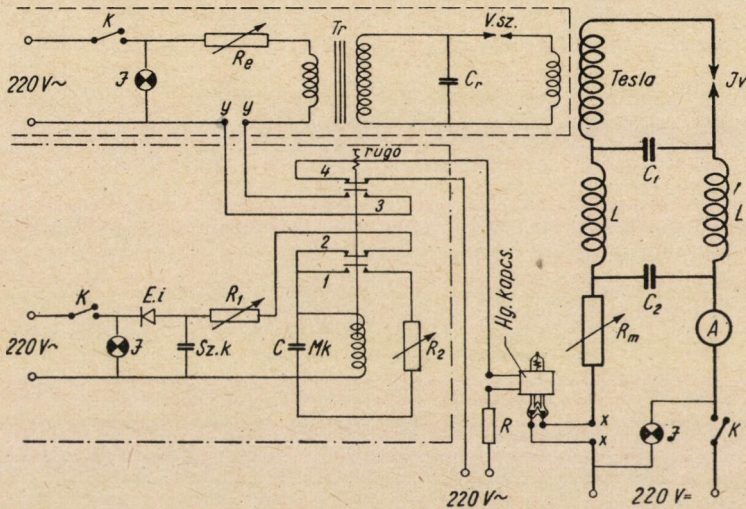
Az így kapott színképeket homológvonalpáros módszer segítségével meghatározva a 0,2%-on aluli szennyezőkre vonatkozó eredmények pontossága megközelíti az üzemi kémiai elemzéseket [4].

A homológvonalpáros elemzési mód előnyei közismertek [5], segítségével réz tisztasági vizsgálatai sok esetben könnyen elvégezhetők.

Az egyenáramú íves gerjesztésnek másik módja, mikor a próbát anódnak kapcsoljuk, nem mellőzhető, mert a P, Al és Si a gömbös módszerrel egyenlőtlenül égnék ki, tehát azon a módon nem elemezhetők, valamint ez a módszer nem mondható roncsolásmentesnek. Az anódos gerjesztésű ív használatakor azonban néhány elem szelektív desztillációja folytán az eredmények eléggé szórnak. Ennek a hibának kiküszöbölésére készült több berendezés, mely az ív állandó égését biztosítja [6] és ugyancsak ezen a hibán óhajt segíteni az alább röviden ismertetendő berendezés, melynek segítségével a közismert Pfeilsticker-féle váltóáramú szaggatott ívgerjesztőből egyszerűen szaggatott egyenáramú ívgerjesztő készíthető. Ennek a gerjesztőnek a segítségével a gyújtási gyakoriság, valamint az égés-szünet viszony megfelelő beállításával egyenletes égésű ívet létesíthetünk, sőt kész munkadarabok, huzal, vékony lemez roncsolásmentes elemzését is elvégezhetjük.

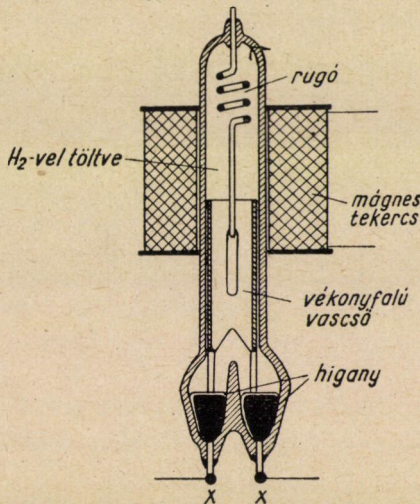
A gerjesztőnek (1. ábra) 3 része van: a munkaáramkör, a gyújtóáramkör és a folyamatos állíthatóságú szaggatóegység. Az ábrán vastagon kihúzott áramkör a szokásos váltóáramú ívgerjesztő munkaáramköre és attól csak abban különbözik, hogy egyenáramú hálózatra csatlakozik; továbbá, hogy egyik ágában kistehetlenségű higanykapcsoló foglal helyet. A higanykapcsoló, amelynek szerkezetét a 2. ábra mutatja, nyitott mágnesáramkör esetében a munkaáramkör $x - x$ pontjait zárja.

A kapcsolási rajz szaggatott vonallal körülkerített része a gerjesztő gyújtóáramköre, mely a szokásossal teljesen megegyezik. Nagyfeszültségű transzformátorának primér áramköre $y - y$ ponton van szakítva. E között a két pont között a kapcsolatot periodikusan a $—, —, —$ vonallal körülkerített



1. ábra. Ívgerjesztő kapcsolási rajza

K kapcsoló, J jelzőlámpa, R_e előtétellenállás, Tr hálózati trafó 220 V/2–10 kV, C_r Tesla primér kör kondenzátora, $V. Sz.$ vezérlő szikraköz, C_1 Tesla szekunder kör kondenzátora, L légmagos önindukciós tekercs, C_2 szűrőkondenzátor, R_m munkaáramkörü ellenállás, R_1 és R_2 szaggatóegység szabályzó ellenállások, Mk mágneskapcsoló, C szaggatóegység kondenzátora, $Sz. k.$ szűrőkondenzátor, $E. i.$ szelén egyenirányító, R Hg kapcsoló tekercsének előtétellenállása, 1, 2, 3, 4 mágneskapcsoló kapcsolópárja



2. ábra. Hidrogénnel töltött kistehetelenségű higanykapcsoló

szaggatóegység végzi. Ennek C kondenzátorát R_1 változtatható ellenálláson keresztül egyenárammal töltve, a feltöltődés idejét, és ezzel a Mk mágneskapcsoló behúzását az R_1 ellenállás változtatása szabályozza. A mágneskapcsoló behúzásakor annak 1 és 2 kapcsolópárja a töltőáramkört szétkapcsolja és az

R_2 -t tartalmazó kisütőáramkört a kondenzátorral összekapcsolja. A kondenzátor kisülését és ezzel együtt a mágneskapcsoló kinyitását R_2 változtatásával állíthatjuk. R_1 tehát a kapcsolások gyakoriságát, R_2 pedig a behúzott állapot hosszát állítja. A mágneskapcsoló 3 kapcsolópárja végzi behúzáskor az $y - \gamma$ pont összekapcsolását, 4 kapcsolópárja pedig, mely behúzáskor nyit, a higanykapcsoló mágnesstekercs áramkörének kapcsolását. A mágneskapcsoló behúzáskor tehát a gyújtóáramkör is és a munkaáramkör is be van kapcsolva, kinyitáskor pedig a gyújtás is megszűnik, valamint a higanykapcsoló az ív-áramot megszakítja. Ilyen módon széles határok között szabályozható gyújtási gyakoriságú és égési vagy hűlési idejű szaggatott egyenáramú ívet kapunk [7].

Gömbös-oldatos módszer mennyiségi elemzéshez

A homológvonalpáros módszer sok előnye mellett nem mindig elégti ki a kívánalmakat, mert a táblázatok még nem teljeseek, valamint az egyes irodalmi adatok néha eltérnek egymástól.

Az alábbiakban ismertetendő módszerrel módunk van bármilyen összetételű rézpróbát megvizsgálni.

Miután a mennyiségi szinképelemzésnél a vizsgálat eredményét ismert koncentrációjú próbák segítségével készített hitelesítőgörbék útján állapítjuk meg, ezért nagy tisztaságú réz vizsgálatánál is elő kell állítani hitelesítő próbákat. A hitelesítő próbák az elemzendő szennyezésekből ismert, a vizsgálandó réznél várható értékeknél kisebbtől növekvően változó mennyiségeket kell hogy tartalmazzanak. Ez a feladat általában három módon oldható meg:

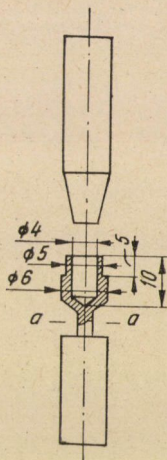
- a) számos, kémiailag gondosan megelemezett rézpróbából való kiválogatással.
- b) Oldatos módon való műötvözet készítéssel [8].
- c) Egyéb módon készített műötvözettel [9], [10].

Az első mód elvileg megfelelő, de a gyakorlatban általában ilyen lehetőség alig adódik. A második mód kisebb érzékenysége miatt nagy tisztaságú réz vizsgálatára nem alkalmas. A harmadik módon végezhető elemzésekhez tartozik az alábbi módosított gömbös módszer, mely nagy érzékenység mellett egyszerű módon nyújt segítséget a vizsgálatokhoz.

Mint már a fentiekből látszott, az elemzés elvégzéséhez szükség van ismert, változó koncentrációjú próbákra. A szakirodalomban számos közlemény foglalkozik ezzel a kérdéssel és a legkülönbözőbb módokon (oxiddá alakítva gázáramban [9], vagy oldatos úton stb.) állítják elő az összehasonlító próbákat, azaz végzik a vizsgálandó próbák gerjesztését. Az alábbi eljárás azon alapszik, hogy kelyhesen kialakított alsó szénelektrodákba spektráltiszta, bemért súlyú rézgömböcske alá kis szűrőpapírdarabkát helyezünk, melyre a szennyezők ismert koncentrációjú, ismert mennyiségű oldatát mértük rá, majd

beszárítottuk. Anódos gerjesztésnél a gömböcske az íveltetés elején megolvad és magábaötvözi a szűrőpapír elégése után ottmaradó fémsókat, így rövid idő múlva mint valódi, ismert koncentrációjú rézötvözet viselkedik. A gömböcskét teljes elégésig gerjesztjük és ezzel a tökéletlen ötvözés okozta hibák erősen csökkennek.

A spektráltiszta rézgömböcskék egyszerűen olyan módon készíthetők, hogy mintegy 100 mg súlyú spektráltiszta rézforgácsot, vagy reszeléket kelyhesen kiképzett szénelektrodába (3. ábra) helyezünk és katódosan kapcsolva, szén ellenelektroda alkalmazásával néhány másodpercig 5–6 A-es egyenáramú ívet létesítünk. Ekkor a rézforgács néhány mg súlyvesztés mellett kis gömbbé alakul. Az ív kikapcsolása után a gömböcskét a szénkehelyből kivesszük. Egy szénkehely segítségével több gömböcske is készíthető. A gömböket ezután



3. ábra. Rézelemzéshez használt szénelektrodapár

analitikai mérlegben bemérjük. Amennyiben a gömböcskék felülete oxidos, azt oldás útján bemérés előtt el kell távolítani.

A szennyezéseknek megfelelő mennyiségben a hitelesítő próbákhoz való hozzáadására 6–7 mm átmérőjű analitikai szűrőpapírdarabok szolgálnak, melyeket éles bőrlukasztó segítségével vághatunk ki fehér kötésű analitikai szűrőpapírból. Ezeket a kis kör alakú szűrőpapírokat egyenként csipeszbe fogjuk és mikropipetta, vagy mikrobüretta segítségével az elemzendő szennyezések ismert koncentrációjú oldatával megfelelő mennyiséget viszünk rájuk. A szűrőpapírdarabok fölé infralámpát helyezünk, mely a papírra cseppentett oldatot néhány másodperc alatt megszáritja. Ilyen módon rövid idő alatt a kis méretű papírokra aránylag nagymennyiségű oldatot vihetünk rá. Ez a mód egyúttal lehetővé teszi olyan szennyezőknek a hitelesítő próbákba való vitelét, melyek egy oldatban egymás mellett nem állnak el. Az ilyen fémeket külön oldjuk és a többi fém oldatának a papírra vitele és beszárítása után visszük a papírra.

Az így előkészített szűrőpapírdarabot az ábrán látható alakú szénkehelyben összegyűrt állapotban helyezünk el. Föléje kerül a bemért spektráltiszta rézgömböcske. Ellenelektrodául csonkakúp alakú spektráltiszta szénelektroda szolgál. A szűrőpapírt és rézgömböt tartalmazó elektrodát anódosan kapcsolva 6 A-es egyenáramú ívet létesítünk. Közbenső képleképzés használata célszerű. Ilyenkor a közbenső rekeszen az ív középső $\frac{1}{3}$ -át használjuk, a megfelelő rekeszt úgy választjuk ki, hogy a szénkehelynek $a - a$ vonalig való leégése alatt a lemez helyesen legyen megvilágítva. A spektrográf rése előtt 3 lépcsős fényszűrőt használunk. A Zeiss-gyátmányú Qu 24-es típusú kvarc-spektrográfnál 15 μ -os rés mellett 8-as közbenső fényrekesz, 11-es kamara nyílás és mintegy 40–60 mp adódik. A megvilágítási időt nem szükséges mérni, csupán a próba teljes elégsére kell ügyelni. Ívelés alatt kézzel való utánállítás szükséges. Előfordul, hogy az izzó rézgolyócska kiugrik a szénkehelyből. Ilyenkor a felvétel megismétlendő. A kiugrás meggátolására szolgál a szénkehelynek az ábrán látható alól megvastagított kiképzése.

A leírt módon készített felvételek háttere aránylag világos. A szükséges háttérkorrekciót Honerjäger—Sohm és Kaiser [11] szerint számítjuk ki.

A hitelesítőpróbák színeképeinek felvétele és a megfelelő színeképvonalak intenzitásának megállapítása után az ismert módon felrajzoljuk az értékelő görbét. Az ismeretlen összetételű rézforgácsból vagy rézreszelékből ezután a hitelesítő próba rézgömbjével közel azonos mennyiséget mérünk be, ezt a szénkehelybe helyezük és íveltetjük, egészen a 4. ábra $a - a$ vonaláig, miközben exponáljuk is a színeképlemet. Az így kapott színeképet a szokott módon meghatározva, a kapott adatokat az előbb leírt hitelesítő görbére visszük, és segítségével megkapjuk a próba keresett összetételét.

Ha a hitelesítő próbákhoz használt réz szennyezőinek mennyisége nem ismeretes, akkor a folytatólagos hozzáadás módszerével állapíthatjuk azt meg.

Még a legjobb minőségű szűrőpapír is tartalmaz Fe, esetleg Pb nyomokat. Ezek meghatározásakor az ismeretlen próba alá üres szűrőpapírt helyezünk.

A leírt módokon a vákuumtechnikában, illetőleg a híradástechnikában alkalmazásra kerülő nagy tisztaságú réz legtöbb fontos szennyezője a színeképlelemzés segítségével gyorsan és kielégítő pontossággal megelemezhető. Emellett említésre méltó még az a gyakorlati tapasztalat, mely számos rézminta színeképlelemzéses, valamint párhuzamos mikroszkópi vizsgálatából alakult ki, nevezetesen, hogy a felsorolt szennyezők szempontjából tiszta réz nagy tisztaságú oxigén és kén szempontjából is, vagyis a fémes és nemfémes szennyezés általában hasonló mértékben változó. Ennek oka valószínűleg az, hogy a fémes szennyezők mennyisége utal a raffinálási folyamat jóságára. Az elmondottak azt jelentik, hogy párhuzamos színeképi és mikroszkópi vizsgálatokkal nagy biztonsággal mondhatunk ítéletet a vizsgált réz tisztaságáról. Ezzel számos gyártásellenőrzési nehézség megoldódik, valamint a gondos és megbízható elemzések a selejt nagymértékű csökkenését eredményezik.

IRODALOM

1. *F. de Boer* : Rec. trav. chim. Pays-Bas 60, (1941) 5–12.
2. *A. L. Ostashevskaja* : Bull. Acad. Sci. Sz.Sz.Sz.R. 4, (1940) 9–15.
3. *R. Castro* : Chem. Abstr. 40, (1946) 2087.
4. *M. Milbourn* : Proc. Phys. Soc. 59, (1947) 273–75.
5. *Mika J. és Török T.* : Kémiai emissziós színeképelemzés. 1954.
6. *Vorsatz B.* : Mérés és Automatika 1954.
7. *D. M. Smith és C. M. Wiggins* : Spectrochim. Acta 3, (1948) 327–40.
8. *M. Milbourn és N. E. R. Hartley* : Spectrochim. Acta 3, (1948) 320–326.
9. *L. N. Filimonov* : Zavodskaya Lab. 16, (1950) 1200–1207.
10. *R. E. Wright* : Anal. Chem. 24, (1950) 603.
11. *M. Honerjäger—Sohn és H. Kaiser* : Spectrochim. Acta 2, (1944) 396.

HOZZÁSZÓLÁSOK

TÖRÖK TIBOR

Vorsatz Brunó kísérleteihez mechanikai úton vezérelt gerjesztőt használt, amelynek hibája 1%-on belül volt. A berendezés egyszerű és olcsó, ami a gyakorlat szempontjából rendkívül fontos.

Véleménye szerint a gerjesztő ismertetése nem is volt túl lényeges, szemben kísérleteinek azzal a rövidre fogott részével, melyben a standard-próbák előállítását ismertette.

A próbákat nem kémiaiilag elemzi, hanem maga állítja elő a standard-próbát igen merész módon, úgy, hogy a spektrál-tiszta réz-próbát megolvasztja, utána visszaméri pontosan és kis szűrőpapírcsíkon viszi bele az oldatba a szennyezőket. Vorsatz Brunó bebizonyította, hogy a szennyezők a szűrőpapírból teljes mértékben beleötvozödnek a kis rézgolyócskába és így a szintetikus előállított standard-próba szennyező tartalma mindenféle analízistől függetlenül biztosan meghatározott. Az elért eredménynek a gyakorlati színeképelemzés szempontjából igen nagy a jelentősége.

KONCZ ISTVÁN

Két szempontból kíván az előadáshoz hozzászólni. Az egyik a rézelemzésnek olyan feltűnő pontossága, ami a rézfelhasználó ipar szempontjából a legtöbb esetben szokatlan. Elektromos felhasználás szempontjából a vezetőképesség és esetleg a szilárdság mérése az anyagot teljesen meghatározza.

Híradástechnikai szempontból, különösen az elektroncső gyártás terén a követelmények már nehezebbek, mert üveg—réz forrasztásakor a réznek kötnie kell, de mint csőalkatrész, használatakor a szennyezők gőznyomása a cső későbbi működése során ne fejtsen ki káros hatást.

A kadmiummal finomított réz (1% kadmium) nagy mechanikai szilárdságot és aránylag nagy vezetőképességet mutat, de az elektroncső üzemi hőmérsékleten a kadmiumnak olyan nagy a gőznyomása, hogy az elektroncső későbbi működését kétségessé teszi, mert ellenőrizhetetlen helyekre is lecsapódik. Ugyanez vonatkozik a foszforral dezoxidált rézre, valamint a szilíciumtartalomra is, mert a réz—rézoxid—üveg kötésben a keletkező rézoxidul réteget a szennyezők lazán tapadóvá teszik. Vákuum-technikai szempontból jó a kis mangántartalom, legfeljebb 0,05% mangán maradékig. Az összes többi szennyezők mennyisége annyira kicsi, hogy az analízist általában $10^{-3}\%$ nagyságrendjében kell végrehajtani. A bemutatott eljárással mód nyílik az elemzést 30 percen belül elvégezni. Ennyi idő alatt a mikroszkópi csiszolat is elkészíthető és a felhasználásra kerülő réznek későbbi viselkedéséről legfeljebb egy órán belül megfelelő képet tudunk kapni. Az ipar szempontjából az eljárás kidolgozását nagy haladásnak kell nevezni.

A másik kérdés a kvantitatív elemzés lehetősége kis koncentrációk meghatározására olyan elrendezéssel, amely a pontos energia-adagolás szempontjából az első pillantásra csaknem háborzongatónak tűnik.

Az ismertetett gerjesztőberendezés használatakor ugyanis az ív több periódusig tart, és mégis olyan pontos a kvantitatív elemzés mérési eredménye, hogy annál nagyobb pontosságot igen szabatos energia-adagolással sem lehet elérni. Az eljárás — véleménye szerint — sokban hozzá fog járulni ahhoz, hogy a gerjesztési folyamatokat kicsit egyszerűbben, gyakorlatilag azonban ugyanazzal a pontossággal tudjuk irányítani.

ACÉL SZÉNTARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA SZÍNKÉPELEMZÉSEL

TÖRÖK TIBOR, a kémiai tudományok doktora és SZIKORA GIZELLA

»EÖTVÖS LORÁND« TUDOMÁNYEGYETEM SZERVETLEN ÉS ANALITIKAI KÉMIAI INTÉZETE.

»RÁKOSI MÁTYÁS« MŰVEK és CSEPEL AUTÓGYÁR ANYAGVIZSGÁLÓ OSZTÁLYAI

I. Bevezetés

A szén elsősorban az ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok egyik legfontosabb alkotója. Színképelemzéssel történő meghatározása sok előnyt nyújt. Lehetővé válik kész alkatrészek próbavétel nélküli, ún. roncsolásmentes elemzése. Ez mintadarabok vizsgálata, valamint kész gyártmányok szerelés előtti végső ellenőrzése szempontjából jelentős. Cementált felületek vizsgálata és általában a helyi és mikroelemzés lehetőségei nemcsak gyakorlati, hanem tudományos szempontból is fontosak.

Az irodalomban több módszer található, amelyek azonban nincsenek eléggé elterjedve. Ennek oka abban van, hogy az elérhető érzékenység és pontosság gyakran nem kielégítő. Elvértve bizonyos módszerbeli nehézségekkel is találkozunk. Ezenkívül a leírt eredmények és vélemények néha ellentmondásokat tartalmaznak.

Vizsgálataink célja volt, az ellentmondások tisztázása és a még fennálló nehézségek csökkentésével az eddigieknél alkalmasabb eljárás kidolgozása. Fő törekvésünk volt a gyakorlati keresztülvitel egyszerűsége mellett a meghatározás érzékenységének és pontosságának fokozása.

2. Irodalmi áttekintés

Az acél széntartalmának spektrográfiai meghatározása a modern kémiai emissziós színképelemzés fejlődésének kezdetétől fogva foglalkoztatta a kutatókat. Ennek ellenére viszonylag kevés közlemény jelent meg napjainkig.

P. Gmelin [1] (1930) közelítő mennyiségi eredményeket ért el a C III 2296,8 vonallal. F. H. Emery és H. S. Booth [2] (1935) már különböző gerjesztési módokat és újabb szénvonalakat is tanulmányoztak.

O. Schliessmann és K. Zänker [3, 4, 5] (1937) hidrogén atmoszférában gerjesztettek. Ez a körülmény a legfeltűnőbb, amennyiben az összes többi szerző védőgáz nélkül, egyszerűen levegőben végezte a gerjesztést. A levegőben történő gerjesztés hátránya szerintük a csökkent abszolút és relatív érzékenység. A C III 2296,8 vonalat alkalmazták az ennek gerjedésére legkedvezőbb sorbakapcsolt indukció nélküli szikrakisüléssel. E két utóbbi megállapításban különben minden szerző egyetért. Schliessmann és Zänker és több utánuk következő szerző [6, 7, 13, 18, 19, 20, 21] leszögezi, hogy a szén vonalát nikkelvonalak zavarják, amit azonban nagy diszperziójú készülék alkalmazásával ki lehet küszöbölni. Az elemzés relatív szórása 0,2–1,3%-os széntartalom mellett $\pm 10\%$.

A. Gatterer és J. Junkes [6] (1938) a C III 2296,8 és a közvetlen szomszédságában levő vasvonal pontos hullámhosszúságát állapították meg. Elemzéseket végeztek közép és nagy diszperziójú spektrográffal 0,2%-os széntartalomtól felfelé.

O. V. Blank [7, 8] (1945) a látható C II 4267,0 diffúz vonallal 0,3%-tól, a C 2296,8 vonallal pedig 0,1%-tól végez elemzéseket. Az utóbbinál készülékének diszperziója 2 Å/mm volt. Az eljárás pontossága $\pm 10\%$ körüli. *O. V. Blank* és *N. Sz. Szentickij* [9] (1945) a széntartalom távcsöves elemzésével foglalkoztak. *Szentickij* [10, 12] (1945, 1947) egyéb munkái ugyancsak a távcsöves elemzés szempontjából jelentősek.

J. Convey és J. H. Oldfield [11] (1945) acél zárványaira vonatkozó vizsgálataiknál levegőt fuvatnak át az elemző szikraközön, a visszamaradó ionok eltávolítása céljából. Ilyen módon fokozódik a kisülés szikrajellege.

A spektrográfiai szénelemzés egyik legjelentősebb munkája *F. W. J. Garton* [13] (1947) közleménye. Az ezüst ellenelektródos módszerhez 15 KV-os egyszerű vezérlő szikraközös gerjesztőt használt 4500 cm-es kapacitással. Levegő fuvatást nem alkalmaz. Az alkalmazott Hilger Littrow spektrográf résnyílása 15μ volt. 0,2%-tól kezdve lineáris értékű görbéhez jut. Részletesen tárgyalja a legkülönbözőbb kísérleti körülmények befolyását az elemzési szórásra. A négyzetes közepes elemzési szórás $\pm 3,7\%$.

K. A. Szuhenko és N. P. Jakovleva [14] (1948) 15 KV-os 3000 pF-os szikragerjesztéssel $\pm 11,5\%$ közepes szórásról számolnak be.

K. C. Mazumder és M. K. Ghosh [15] (1949) 15 KV-os 5000 pF-os szikragerjesztést használtak hegyes réz ellenelektróddal. Ha a próba 0,4%-nál több széntet tartalmaz, akkor szerintük nitrogén fuvatást kell alkalmazni.

A. P. Olejnikov és K. J. Taganov [16] (1949) munkájában feltűnő érdekességű, hogy a szokásos C 2296,86 vonal gerjesztéséhez hálózati feszültségű váltóáramú ívgerjesztést használ az alapsugárzás csökkentése céljából. Az elemzési szórás 0,1–2%-os széntartalomnál $\pm 3,5\%$.

F. Malamand [17, 18, 19] (1949, 1950, 1951) erős ötvözesű acél elemzésével is foglalkozik. Az ellenelektród anyaga alumínium, 0,1–1,0%-os határok között a közepes szórás $\pm 5,1\%$.

R. Breckpot és C. Grobert [20] (1950) az acél széntartalmának közvetlen elektronsokszorozós méréséről számol be. Az ellenelektród anyaga alumínium vagy vas. Leszögezük, hogy a levegő széndioxidtartalma nem zavar.

V. P. Borzov és munkatársainak [21] (1950) közleménye figyelemre méltó eredményeket tartalmaz. 3 KV-os 20 pF-os, 0,01 mH-s gerjesztéssel igen csekély alapsugárzás mérhető. A kis energiájú kisülés különösen mikro- és helyi szénelemzés céljaira alkalmas. Nyersvas szénelemzésére Feussner-gerjesztést ajánlanak. Az alkalmazott spektrográf ISZP 22. Az ellenelektród anyaga réz.

V. L. Abramov, V. T. Bogdanova és J. K. Taganov [22] (1950) öntöttvas próbák nagy széntartalmát $\pm 6\%$ -os szórással határozták meg.

L. Werner [23] (1953) szenezett és széntelenített felületek helyi elemzését végezte el a vonal mentén elhúzott színeképek módszerével. Ezüst, vagy vas ellenelektródot, 15 KV-os 20,000 pF-os szikragerjesztést és nagy diszperziójú Littrow spektrográfot használt. 0,01% széntartalomtól kezdve $\pm 10\%$ -os relatív hibával dolgozott.

F. Plzák és B. Lirel [24] (1954) 12 KV-os, 6500 pF-os szikragerjesztéssel, ezüst ellenelektróddal és Qu 24 spektrográffal dolgoztak. Munkatartományuk 0,2–1,0%, az átlagos szórás $\pm 7\%$.

A szükséges irodalmi adatok további ismertetésére és összevetésére saját kísérleteink leírásával párhuzamosan kerül sor.

3. Szénvonal

A teljes irodalom egyöntetű megállapítása szerint spektrográfiai elemzésre legalkalmasabb a C III 2296,86 vonal. Megjegyezzük, hogy a vonal hullámhosszúsága a leggyakrabban használatos táblázatok [25, 26, 27] szerint 2296,89. *Gatterer és Junkes* [6] nagy gonddal végzett mérése alapján azonban a vonal pontos hullámhosszúsága $2296,86 \pm 0,01 \text{ \AA}$.

A C 2296,86 vonalat zavarja a Fe I 2296,93 vonal, amely azonban az alkalmazott erősen szikrajellegű gerjesztési feltételek mellett csak igen kis

intenzitású. A legintenzívebb C I 2478,57 vonal a Fe II 2478,57 igen intenzív vonallal esik össze. *Schliessmann* és *Zänker* [3, 4, 5] megállapításai szerint az alkalmazott gerjesztési feltételek mellett a C 2478,57 vonal abszolút intenzitása harmincszorosa a C 2296,86 vonalénak. Ennek relatív érzékenysége csupán kb. hetedrésze az utóbbiának.

4. A gerjesztés villamos feltételei

Az igen nagy gerjesztési potenciálú (53,5 eV) C III 2296,86 vonal gerjedésére nézve természetesen a legszikraszerűbb gerjesztési mód a legalkalmasabb. Így a legnagyobb pillanatnyi áramsűrűség elérése céljából a kisülési kör indukcióját minimumra kell csökkenteni. Fontos még, hogy a kör ellenállása is minimális legyen. Főleg az átmeneti ellenállások csökkentésére kell nagy gondot fordítani. Így pl. a próbának a szikraállvány tárgyasztalával érintkező felülete ne legyen oxidos.

Kísérleteinknél házilag készített Feussner-elvű gerjesztőberendezést használtunk. A gerjesztésre vonatkozó főbb adatok a következők: csúcsfeszültség 35 KV, kapacitás 14000 pF, bekapcsolt indukció nincs, a másodpercenkénti fő kisülések száma 100. Az aránylag nagy feszültség és kapacitás értékeket a kellő fényintenzitás elérése céljából kellett választani. Ezzel ellensúlyoztuk ui. a védőgáz alkalmazásával járó fényintenzitás csökkenést és az alkalmazott Littrow-spektrográf viszonylag kis (1 : 23) fényerejét.

5. Védőgáz

Alapvető fontosságú volt annak eldöntése, hogy az irodalomban általában használt, egyszerű, levegőben történő gerjesztést alkalmazzuk-e, vagy hidrogén atmoszférában gerjesszünk, amint azt eddig egyedül *Schliessmann* és *Zänker* tették. Már az említett szerzők hangsúlyozták, hogy a szénmeghatározás abszolút és relatív érzékenysége jóval nagyobb hidrogén védőgáz alkalmazásánál, mint egyszerű levegőben való gerjesztésnél. Leszögezték továbbá, hogy a színkép alapsugárzása a 2300 Å körüli tartományban gyengébb, továbbá a gerjesztés jellege jóval szikraszerűbb különben azonos villamos adatok mellett is. Ezen előnyök mellett hátránynak könyvelték el a szikra fényerejének mintegy tizedére való csökkenését, valamint a védőgáz alkalmazásával járó technikai nehézségeket.

Schliessmann és *Zänker*nek a hidrogénben vagy levegőben történő gerjesztés (a továbbiakban rövidség kedvéért H-, és L-módszer) összehasonlításával kapcsolatos kísérleti megállapításaihoz a következő elméleti megfontolásokat fűztük hozzá. A H-módszernél elmarad a nagy hőfejlődéssel járó vasoxid-

képződés, amely lényegesen csökkenti az elpárolgó vizsgálati anyag mennyiségét, különben azonos gerjesztő energia mellett is. Ez az oka a csökkent fényintenzitásnak. Ezzel együtt nő azonban az egy atomra eső elektromos energia teljesítmény is, amely viszont a szikrajelleget fokozza. Hozzájárul ehhez — minden bizonnyal — az a tény is, hogy a gerjesztő részecskék szabad úthossza hidrogén atmoszférában jóval nagyobb, mint levegőben. Az alapsugárzás csökkenése valószínűleg az oxidsavok elmaradására vezethető vissza. Igen fontos körülmény továbbá az is, hogy a hidrogén atmoszférában elmarad a nagy termikus stabilitású cián keletkezése. A ciánképződés elmaradása lényegesen növeli a szikrapályában a szénatomok, és ionok vashoz viszonyított koncentrációját.

Már a fentiek és a továbbiakban ismertetett kísérleti adatok szerint sem vitás a hidrogén védőgáz alkalmazásának nagy fölénye a levegőben történő gerjesztéssel szemben. Láttuk azonban, hogy *Schliessmann* és *Zänker* kivételével minden szerző levegőben végzi a gerjesztést, sőt meg sem próbálja a hidrogén védőgáz alkalmazását. Ez minden bizonnyal a hidrogén alkalmazásával járó nehézségekkel magyarázható, vagyis a csökkent fényintenzitással együtt járó megvilágítási idő növekedéssel és főleg a védőgáz alkalmazásával járó technikai nehézségekkel, amelyek különösen a kész alkatrészek roncsolásmentes vizsgálatánál válnak igen súlyosakká. Belátva ezt a tényt, célul tűztük ki ezeknek a nehézségeknek a kiküszöbölésével olyan eljárás kidolgozását, amely egyszerűsége és gyorsasága mellett kész alkatrészek vizsgálatára is alkalmas.

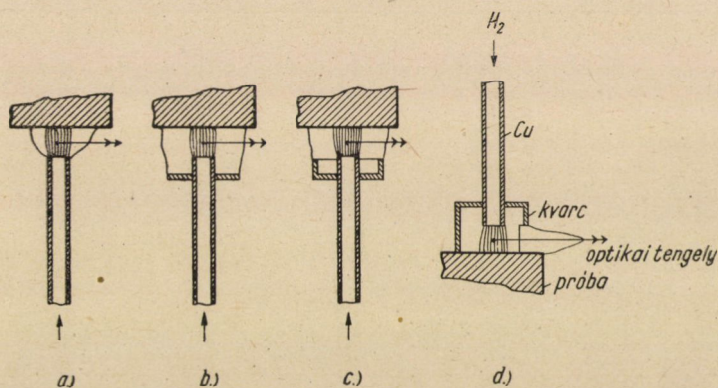
A fényintenzitás csökkenés ellensúlyozása a kísérleti körülmények célszerű választásával történt. A hidrogén védőgáz alkalmazásával járó kiviteli nehézségek leküzdésével, mint alapvető feladattal, külön foglalkozunk.

6. Hidrogén atmoszférában történő gerjesztés gyakorlati kivitele

Az irodalomban található megoldásokkal nem kívánunk bővebben foglalkozni, mivel ezek csak elektródok, vagy legfeljebb egészen kis darabok ellen-elektrodos vizsgálatára alkalmazhatók. Ezeknél a megoldásoknál a teljes vizsgálati darabot zárt térbe kell helyezni. A levegő kiűzésének hosszadalmassága, a robbanás esetleges veszélye, a zárt térben levő vizsgálati anyag és ellen-elektrod igazítása, (jusztirozása), valamint a viszonylag bonyolult berendezés előállítására mind megannyi nehézséget rejt magában.

Először a legmegfelelőbb ellenelektrod anyag kérdését tisztáztuk. Összehasonlító kísérleteket végeztünk réz, ezüst, alumínium, ón, kadmium és magnézium ellenelektrodokkal, anélkül azonban, hogy a réznél alkalmasabbat találtunk volna. Pl. az alumínium elektród, homlokfelületének hőmérsékletén olyan nagymértékben nyeli el a hidrogént, hogy erősen felhólyagosodik.

A hidrogén atmoszférában történő gerjesztés kivitelének egyszerűsítése céljából a legkülönbözőbb módokat próbáltuk ki, amelyeket a rövidség kedvéért vázlatosan az 1. ábrán szemléltetünk. Az *a)* megoldásnál a kifűrt réz ellenelektrodon át kiáramló hidrogén lángjában jön létre a kisülés. A kísérletek tanulságai szerint ezzel a különben egyszerű módszerrel nem lehet a szikrától a levegőt távol tartani. A szikra az átütése pillanatában keletkező nagy expanzió miatt ui. mintegy kifújja a hidrogént, azaz a lángot a szikraközből. A következő kisülés már nagyobbrészt levegőn üt keresztül. Ezt a hatást sem a *b)* megoldás szerinti tényérral, sem a *c)* szerinti kvarchengerrel nem lehet kiküszöbölni. Megpróbáltuk ez utóbbi megoldást módosítani. A hidrogént már a kisülési térbe való bejutása előtt mellék-nyíláson kivezetett hidrogéngáz lángjával próbálkoztunk annyira előmelegíteni, hogy a szikra expanzív hatása csökkenjen. Megpróbáltuk továbbá az expanziót ugyancsak a kisülési tér köz-



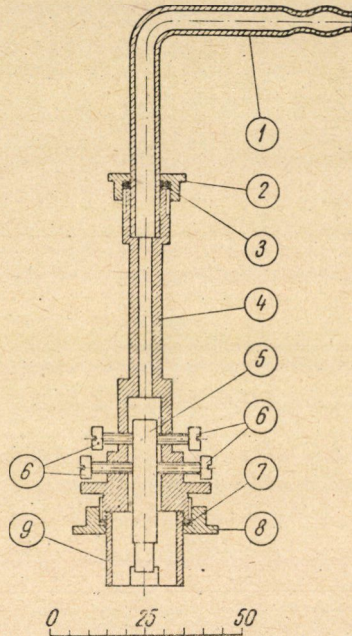
1. ábra. Különböző elrendezések hidrogénben történő gerjesztéshez

vetlen közelében elhelyezett ellenütemű rezgőmembrán segítségével kompenzálni. Ezek a kísérletek is sikertelenek maradtak. Olyan megoldás, amelynél a kvarchenger vége teljesen felfeküdnék a próba felületére, ugyancsak nem használható, mivel a henger belső felülete még az előszikráztatási idő alatt annyira behomályosodik, hogy igen nagy és bizonytalan fényvesztés állna elő.

Az 1. ábra *d)* rajza a végleges megoldást mutatja. Ezen ún. Cu—H₂ ellenelektrodot részletesen a 2. ábra szemlélteti. Amint az 1. *d)* ábrán látható, ennél a megoldásnál a próba az ellenelektrod alatt foglal helyet. A próba felületére felfekvő kvarchengeren az optikai tengely irányában kis nyílás (»kapu«) van. A nyíláson kiáramló és a gyulás hőmérsékletére felmelegedett gáz a levegőn lángrobban. A kisülések ütemében rezgő kis láng azonban semmiféle zavart sem okoz. A szikra sugárzása a lángon természetesen akadálytalanul átjut, a láng főleg nagy hullámhosszúságú emissziója pedig még a látható tartományban sem okoz észrevehető feketedést az alkalmazott kísérleti körülmények között.

Az alkalmazott megoldásnál tehát a gerjesztés áramló hidrogéngázban történik, amely — hasonlóan *Convey* és *Oldfield* [11], valamint *Mazumder* és *Ghosh* [15] nitrogénes szikrafúvatásához — még tovább fokozza a gerjesztés szikrajellegét.

A próba kicserélése rendkívül egyszerű és gyors. Anélkül, hogy a hidrogénáramot megszüntetnők, a szikraállványba befogott Cu—H₂ ellenelektrodot felemeljük a megfelelő beállítócsavar segítségével. Ekkor a hidrogénláng



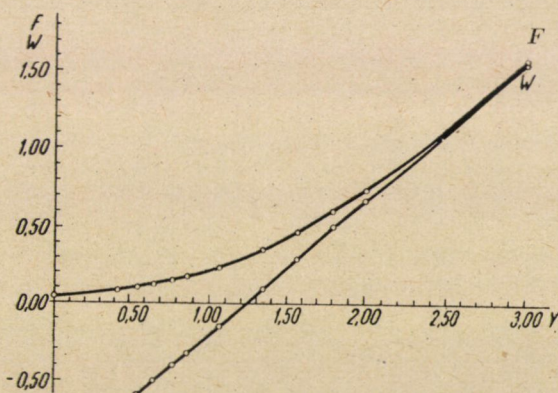
2. ábra. A Cu—H₂ ellenelektrod műszaki rajza. 1 üvegcső, 2 és 8 menetes gyűrű (V₂A), 3 és 7 azbeszt tömítőkarika, 4 alaptest (V₂A), 5 ellenelektrod (Cu), 6 elektródbefogó csavarok (V₂A), 9 kvarcgyűrű

a kvarchengerbe kissé behúzódik. Ezután a próbát kicserélve és igazítva, a Cu—H₂ ellenelektrodot ütközésig visszaengedjük. Elvégezhetjük a próbacsereét az ellenelektrod elmozdítása nélkül is, amikor is az új próbát toljuk fel a kvarchengerrel való ütközésig. A réz ellenelektrodot a kísérletek szerint igen hosszú ideig nem kell kicserélni. Az elektród végén már néhány perces szikráztatás után kialakul az ún. természetes felület, amely a próba egyenletes leszikráztatását biztosítja. 1%-os széntartalmú próba után 0,03% széntartalmú próba felvétele látszólagos széntartalom növekedést nem mutatott. Az ismertetett ellenelektrod elrendezés természetesen más fémötvözetek egyéb védőgázban való ellenelektrodos gerjesztésére is alkalmas.

7. Spektrográf

A vizsgálatokhoz a Hilger E 478 önműködő Littrow-spektrográfot használtuk. A nagy diszperziójú készülékre a C 2296,86 vonalhoz közelfelkvő vas- és főleg nikkelvonalak zavaró hatásának kiküszöbölése céljából volt szükség (l. 9. pont). A készülék megvilágítására, az eredeti Hilger-féle megoldástól eltérően, a készülékhez szállított leképző lencse helyett $f = 160$ mm-es fókusztávolságú lencsét alkalmaztunk. Ilyen módon 38 cm helyett 18 cm-es távolságot választhattunk a fényforrásnak a spektrográf lencséjébe való leképezése céljából. A mintegy négyszeres fénykihasználásra a spektrográf és a fényforrás viszonylag kis fényereje miatt volt szükség. Az alkalmazott résnyílás 40μ volt.

8. Negatív anyag és kidolgozása



3. ábra. Kodak UV lemez feketedési görbéje és annak Seidel korrigáltja 2300 Å-ön

Tekintve, hogy az általában használatos spektrográfiai negatív anyagok érzékenysége és γ -értéke 2300 Å-ön nem kielégítő, különleges negatív anyagot kellett alkalmazni. Kísérleteket végeztünk Agfa Schuhmann-lemezekkel és különböző emulziószámú Agfa és Kodak UV lemezekkel. A Schuhmann-lemezek a szokásos Kodak D 19 előhívóval használhatatlanul durva szemcsézetet adnak. A feketedési görbe meredeksége rendkívül nagy. Nagy meredekséget, de még mindig durva szemcsézetet kaptunk 1 : 12 hígítású 18 C°-os glycin hívóban történő 4 perces előhívással is. A legjobb eredményeket orthophenyl-endiamin-methol hívóval 18 C°-on 32 perces, 24 C°-on pedig 20 perces előhívással kaptuk. A szemcsézet nagyon finom és a γ -érték igen nagy volt. Ilyen körülmények között azonban az emulzió érzékenysége már nem bizonyult elégségesnek. Mindamellet a Schuhmann-emulzió mechanikai behatásokkal szemben tanúsított nagyfokú érzékenysége miatt a lemezhiba túlságosan nagy volt.

Az Agfa és Kodak UV lemezek közül az utóbbiakból különösen egyik emulziószámú felelt meg leginkább, főleg érzékenység tekintetében. Az előhívás előtt a fluoreszkáló olaj-réteget a szokásos módon benzinen való fürösztéssel távolítottuk el. Az előhívást Kodak D 19 hívóban 18 C°-on 4 percig végeztük. Ezen emulzió feketedési görbét és ennek Seidel korrigáltját 2300 Å-ön a 3. ábra szemlélteti. A feketedési görbét kétlépcsős szűrővel segédgörbe nélkül szerkesztettük meg [28]. A transzformált görbe ugyanígy szerkeszthető a Seidel-skálán leolvasott mérési eredmények alapján. Ugyanerre az eredményre jutunk, ha a feketedési görbe alapján Seidel-táblázatból kapott adatokkal végezzük a szerkesztést. A 3. ábrából megállapítható, hogy a korrigált görbe igen tág határok között lineáris, meredeksége pedig 0,90.

A fenti görbék szerkesztéséhez az alkalmazott 100/10%-os névleges átbocsátású, kétlépcsős szűrő 2300 Å-ön mért tényleges 100/16,3%-os átbocsátásának megfelelő szűrőállandót használtuk fel. Ezt az értéket Beckmann DU spektrofotométerrel határoztuk meg. A korrigált görbe így adódó tényleges γ értékére a későbbiekben alkalmazott alapsugárzaskorrekciónak szempontjából volt szükségünk.

9. Zavaró vonalak, vonalpárok

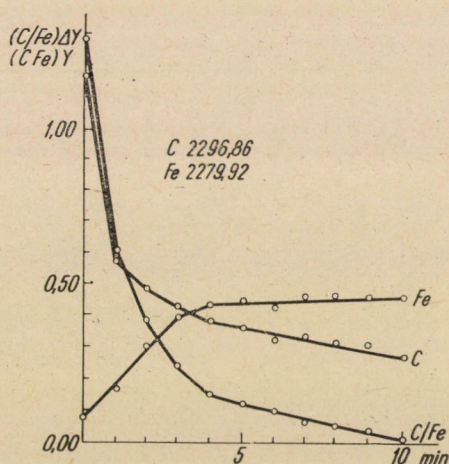
Az alkalmazott Littrow-spektrográf diszperziója 2300 Å-ön 2,0 Å/mm s így a felvételeknél használt 40 μ -os résnyílás mellett a 2296,86 \pm 0,20 Å tartományba eső vonalak zavarják a szén elemzővonalát. Ezek a következők: Ta I 2296,86, Fe I 2296,93, W II 2296,97. A tantál ritkán fordul elő, a vas és volfrám vonala pedig igen gyenge és így gyakorlatilag nem zavar. Közép diszperziójú készüléknél (pl. Zeiss Qu 24, diszperzió 2300 Å-ön 6 Å/mm) 20 μ -os résnyílás mellett a fentiekén kívül még a következő vonalak zavarnak: Ni II 2296,55, Ni II 2297,14, Cr 2297,19.

Az irodalomban alkalmazott vasvonalak közül a Fe II 2294,61 és a Fe III 2295,86 vonal hidrogénben való gerjesztésnél elégtelen intenzitású és így nem alkalmazható. Az ugyancsak irodalomban található Fe II 2311,22 + Fe 2311,29 összeeső kettős vonal hidrogénben is kellő intenzitású és jól alkalmazható, kivéve a vanádiummal ötvözött acélokat, amikor is a V 2311,29 intenzív vonal okoz zavarokat. A hidrogén atmoszférában történő gerjesztésnél *Schliessmann* és *Zänker* munkájában alkalmazott Fe II 2298,23 vonallal, a Ni II 2298,28 intenzív vonallal való összeesése miatt, kísérleteinkben nem foglalkoztunk. Vizsgálataink során legalkalmasabbnak bizonyult a Fe II 2279,92 teljesen zavartalan vonal. Az Ag II 2279,98 igen intenzív vonal az általunk használt réz ellenelektrodnál nem jöhet szóba. Kísérleteztünk továbbá még a Fe I 2304,73 és Fe I 2308,77 vonalakkal is. Az elsőt a Mn 2305,00 vonal zavarja, a másodikat pedig a Ni II 2308,52, de mindkét esetben csupán közép diszperzió mellett.

10. Előszikráztatási és megvilágítási idő

A 16. pontban részletezett végleges munkaelőírásnak megfelelő kísérleti körülmények mellett kapott (le)szikráztatási görbéket a 4. ábra szemlélteti. Megállapítható, hogy a szénvonal intenzitása az időben eleinte gyorsabban, később lassabban csökken. Ezt a felület fokozatos elszéntelenedésével magyarázhatjuk. A vasvonal intenzitása viszont nő. Ennek oka egyrészt a próba fokozatos felmelegedése, illetve felületének elszéntelenedése. Ezt a két megállapítást a későbbiekben ismertetésre kerülő eredmények fogják kísérletileg igazolni (l. 13. és 14. pontok).

A szén- és vasvonal-intenzitás ellentett értelmű időbeli változásának igen meredeken eső szikráztatási görbe felel meg, amelyet a C/Fe diagram



4. ábra. Szikráztatási görbék 0,69% széntartalom mellett

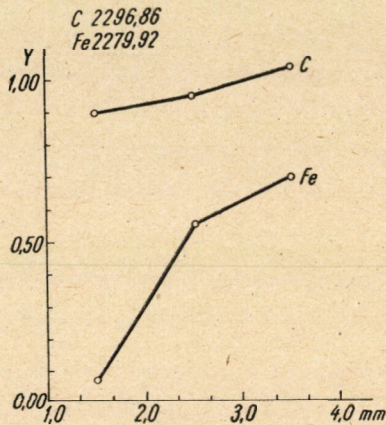
szemléltet. Az előszikráztatási idő helyes választásánál meg kell gondolni, hogy túl hosszú előszikráztatási idő mellett erősen csökkenne a módszer érzékenysége. A hosszú előszikráztatással együtt jár továbbá az elemzés időtartamának megnövekedése is. Túl rövid előszikráztatás, különösen rövid megvilágítási idővel együtt viszont károsan befolyásolná az elemzési eredmények megismételhetőségét. A körülmények mérlegelése után 2 perces előszikráztatási és 2 perces megvilágítási időt választottunk, ami a kísérleti eredmények szerint elegendő érzékenységgel mellett kellő pontosságot biztosított.

11. Elektródtávolság

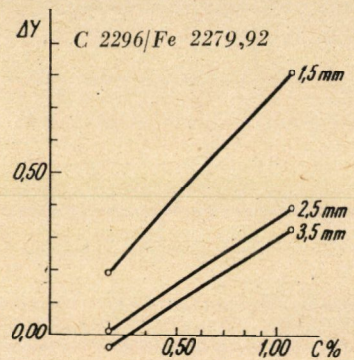
Az elektródtávolság befolyását a szén- és a vasvonal intenzitására, illetve intenzitásviszonyára 0,30 és 1,10% széntartalom mellett az 5. és 6. ábra szemlélteti. A kísérleti feltételek egyébként a végleges munkaelőírásnak felel-

nek meg. Kitűnik, hogy az elektródtávolság növelésével a vasvonalak abszolút intenzitása nő. Ugyanekkor nő azonban a szénvonalak intenzitása is, de kisebb mértékben, mint a vasvonalaké. Az elektródtávolság növelésével tehát a ΔY értéke csökken. Ez a csökkenés azonban a kisebb szénkoncentrációknál viszonylag kisebb mértékű, ami az (ki)értékelő görbe meredekségét csökkenti.

Feltűnő, hogy az elektródtávolság változása milyen nagy mértékben befolyásolja a ΔY értékét. Fémötvözetek fémes alkotóelemeinél ilyen nagy hatás sohasem észlelhető. Hasonló nagy azonban az elektródtávolság befolyása pl. az acél foszfortartalmának elemzésénél is, ahol éppen ezért az elektródtávolság pontos beállítását írják elő. Mint a kísérleti eredményeinkből látható,



5. ábra. Az elektródtávolság befolyása a szén- és a vasvonal intenzitására 1,10% széntartalom mellett



6. ábra. Az elektródtávolság és ΔY közötti összefüggés 0,30 és 1,10% széntartalom mellett

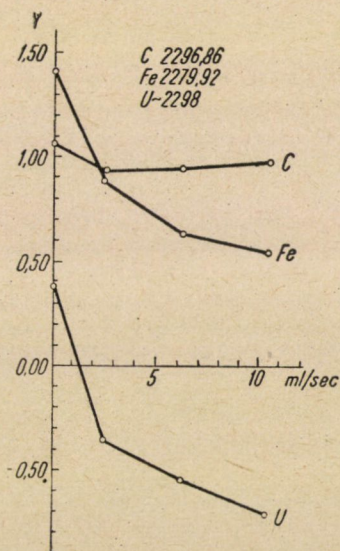
a ΔY -nak a szikratávolságtól való függése annál kisebb mérvű, minél nagyobb ez a távolság. Kedvező a távolság növelése aszakra fényintenzitás-növekedése szempontjából is, ami a spektrográf viszonylag kis fényereje és a lemezek elégtelen érzékenysége miatt feltétlenül előnyös. A nagyobb elektródtávolságoknál észlelt értékelő görbe laposodás nem olyan nagymérvű, hogy különösebb hátránnyal járna. Így 2,5 mm-es szikratávolságot választottunk, amelynek pontos megismételhetősége ellenelektrod elrendezésünk mellett önmagától adódik.

12. Gázáram

A gázáram mérése céljából a tűszeleppel ellátott hidrogénbomba és a Cu—H₂ ellenelektrod közé olyan T-csövet iktattunk be, amelynek az ellenelektrod felé eső szárát előzőleg kapillárisra szűkítettük. A T-cső szabadon maradt szárát nyitott végű vízoszlopos manométerrel kapcsoltuk össze. Az U-csöves

manométer skáláját ml/sec-ban hitelesítettük oly módon, hogy egy meghatározott idő alatt kiáramló gázmennyiséget eudiométercső segítségével megmértünk.

A szén- és vasvonal, valamint a szénvonal melletti alapsugárzás intenzitását levegőben, majd növekvő áramlási sebességű hidrogén atmoszférában 1,10% széntartalmú próba gerjesztésénél a 7. ábra szemlélteti. Mindenekelőtt megállapítható, hogy nyugvó levegőről fokozódó sebességű hidrogénre áttérve, a szén- és a vasvonal, valamint az alapsugárzás intenzitása folyamatosan változik. Ennek az a magyarázata, hogy a kvarchengerben levő gáz a kisülés pillanatában erősen kitágulva, majd az utána következő szünetben összehúzódva,

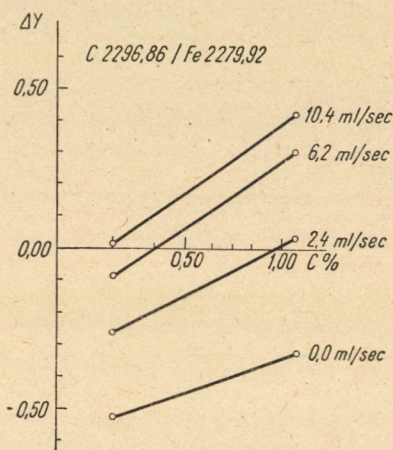


7. ábra. A szén- és vasvonal, valamint az alapsugárzás intenzitásváltozása, a hidrogén áramlási sebesség változásával 1,10% széntartalom mellett

kis hidrogén áramlási sebesség mellett a külső levegővel még nagymértékben keveredik. A hidrogénáram fokozásával csökken a védőgáz levegővel való szennyezettségének a mértéke, egy bizonyos sebességen túl pedig gyakorlatilag tisztának tekinthető. A 7. ábra görbéiből különben megállapítható, hogy a levegőről egyre fokozódó áramlási sebességű hidrogénre térve át, a vasvonal és az alapsugárzás intenzitása eleinte rohamosan, majd lassabban változik. Feltételezhető, hogy a rohamos változást a levegőszennyezés csökkenése, a finomabb effektust pedig az áramló gáz ionkifúvó hatása, valamint a próba hőmérsékletének emelkedése okozza. Megállapítható, hogy levegőről hidrogénre térve át, a vasvonalak és az alapsugárzás intenzitása erősen, a szénvonalé pedig alig csökken. Ezek a tények is a hidrogénben történő gerjesztés fölényét igazolják.

Megismételtük a gázáram befolyására vonatkozó méréseket 0,3% széntartalmú próbával is. A ΔY értékek változását kétféle szénkoncentráció mellett

az elektródtávolság befolyásának vizsgálatához hasonlóan, a 8. ábra szemlélteti. Megállapítható, hogy a hidrogénáram növelésével ΔY értéke eleinte rohamosan, majd lassabban nő. Megfigyelhető továbbá, hogy ΔY növekedése nagyobb mérvű a nagyobbik szénkoncentráció mellett, s így az értékelő görbe meredeksége is nő. A kísérleti eredmények alapján 10 ml/sec hidrogén áramlási sebességet fogadtunk el munkaelőírásunkhoz véglegesnek. Ebben az esetben ui. a gázáram esetleges kisebb változásai már nem okoznak számottevő hibát, az értékelő görbék meredeksége elég nagy, a vasvonalak abszolút feketedése pedig még kielégítő.



8. ábra. A ΔY változása a gázárammal 0,30 és 1,10% széntartalom mellett

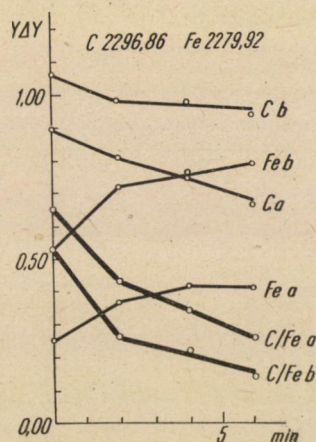
Az elfogadott 10 ml/sec gázsebességnél a 3. ábrán megadott méretű kvarchengerkapu mellett a hidrogén-láng hosszúsága szikrázás alatt kb. 30 mm. Az eljárás gyakorlatbavitelénél, tehát az ennek megfelelően beállított gázáram ellenőrzését elegendő egyszerű mm skálával felszerelt manométerrel végezni és így a skála kalibrálása szükségtelenné válik.

13. A próba hőmérséklete

A próbahőmérséklet befolyásának tanulmányozása céljából szikráztatási kísérletet végeztünk 130 g súlyú hűtött, illetve előmelegített 1,10% széntartalmú próbával. A hűtésnél a próba a gerjesztés alatt 300 ml szobahőmérsékletű vizet tartalmazó porcelán tálban foglalt helyet. Az előmelegítés úgy történt, hogy a tárgyasztalon levő próba szikráztatása előtt 10 percig égettük a hidrogén-lángot. A hűtött ill. előmelegített próbával kapott szikráztatási görbéket a 9. ábra szemlélteti. A görbék tanulságai szerint mind a szén-, mind pedig a vasvonal intenzitása a melegebb próbánál (b) minden időpillanatban

nagyobb, mint a hidegebbnél (a). Ez az effektus nagyobb a vasvonalnál, mint a szénvonalnál és így a ΔY értékek (C/Fe) minden időpillanatban kisebbek a meleg próbánál. Ez azzal magyarázható, hogy a melegebb próba anyaga jobban párolog, viszont felületének elszéntelenedése is gyorsabb.

További kísérleteket végeztünk a végleges elemzési feltételek mellett 0,51% széntartalmú 1380 g és 305 g tömegű próbával. Felvételeket készítettünk normális — hűtés, vagy melegítés nélküli —, továbbá hűtött, illetve előmelegített próbákkal, a fent megismert módon. A nagyobb próbánál a háromféle felvétellel kapott ΔY eredmények a kísérleti hibahatárokon belül megegyeztek.



9. ábra. A szén- és a vasvonal intenzitás és intenzitásvizony változása az időben, 1,10% széntartalmú hűtött (a) és előmelegített (b) próbánál

Ezzel szemben a 305 g tömegű próbánál a hűtött, normális és előmelegített próbákkal kapott ΔY értékek a következők voltak: + 0,270, + 0,230, + 0,168.

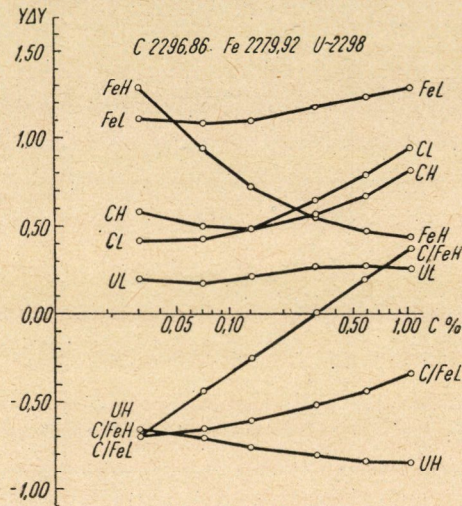
A szikráztatási és további kísérleti eredményekből azt a gyakorlatilag fontos következtetést lehet levonni, hogy igen lényeges a vizsgálatra kerülő és az összehasonlító próbák azonos hőmérséklete, amit a darabok azonos tömege biztosít különben változatlan hidrogén gázáram és gerjesztőenergia mellett. Kisebb és különösen különböző tömegű próbák esetében feltétlenül hűteni kell a darabokat, hogy így azonos hőmérsékletűek legyenek.

14. Értékelő görbe

Hidrogénben és összehasonlításként levegőben történő gerjesztéssel 0,03–1,02% széntartalmú próbákkal felvételsorozatot készítettünk. A 10. ábra szemlélteti a vonalak (C, Fe) és az alapsugárzás (U) intenzitásának és a szén- és vasvonal intenzitásvizonyának (C/Fe) változását a széntartalom függvényében. A két-két párhuzamos felvételtől mért és középértékelt vonal-

intenzitásokat ennél, valamint összes előzetes mérésünkénél is a megfelelő alapsugárzásértékkel kiigazítottuk. Ugyanez vonatkozik természetesen az értékelő görbékre is.

Az abszolút intenzitás változására vonatkozó görbékből a következők állapíthatók meg: A H-módszernél a szénvonal intenzitása 0,03 és 0,3% széntartalom mellett azonos, e tartományon belül alig változik, sőt eleinte csökken. Ez utóbbi jelenséget azonban az abszolút intenzitás nehéz megismételhetőségével járó kísérleti hiba is okozhatja. A szénvonal intenzitása 0,3% felett egyre nagyobb mértékben nő. A vasvonal intenzitása a széntartalom növeke-



10. ábra. A szén- és a vasvonal és az alapsugárzás intenzitásváltozása a széntartalom függvényében, valamint a megfelelő kiértékelő görbék hidrogénben (H) és levegőben (L) történő gerjesztés esetén

désével eleinte rohamosan, később lassabban csökken. E feltűnő jelenség okozza, hogy a H-módszer értékelő görbéje a kis koncentrációk tartományában is meredek, jóllehet a szénvonal intenzitása alig változik. Az alapelem vonalának kisebb fokú intenzitáscsökkenése figyelhető meg az ötvöző koncentrációjának a növekedésekor, pl. silumin típusú ötvözetek elemzésénél is, egyszerű levegőben történő gerjesztés mellett. Ezeket a jelenségeket csak külön kutatások segítségével lehetne megmagyarázni.

Az L-módszerre vonatkozó görbékből megállapítható, hogy a szénvonal intenzitása eleinte kisebb, majd nagyobb mértékben nő a koncentráció növekedésével. A vasvonal hasonlóan viselkedik, bár jóval kisebb mértékben. Az alapsugárzás mind a H-, mind pedig az L-módszernél nagyjából független a széntartalomtól és a szénvonal intenzitásához képest a H-módszernél minden koncentrációnál kisebb, mint az L-módszernél.

A H- és L-módszer értékelő görbéinek összehasonlításából kitűnik, hogy az előző módszer relatív érzékenysége kétszerese az utóbbiának. Még kedvezőtlenebbek a viszonyok az L-módszerre nézve 0,1 — 0,2% széntartalom alatt, ahol e görbe még laposabbá válik.

Kitűnik az is, hogy a H-módszer abszolút érzékenység tekintetében is kedvezőbb, mint az L-módszer. Az abszolút érzékenységre vonatkozólag számszerű adatokat nem tudunk megadni, minthogy 0,03%-nál kisebb széntartalmú pontosan megelemezett próbák nem álltak rendelkezésünkre. Így nem tudtuk megállapítani az ún. mérhetősegi határt [29, 30] sem, amelynél a szénvonal intenzitása az alapsugárzás intenzitásával egyenlő. Pontosabban ilyenkor az alapsugárzás feladatát a szénvonallal gyakorlatilag összeeső Fe I 2296,93 vonal és az alapsugárzás együttes intenzitása veszi át. Nézetünk szerint a H-módszer nagyobb abszolút érzékenységét, a kisebb alapsugárzás-intenzitás mellett, éppen ezen vasvonal gerjedésére nézve kedvezőtlenebb viszonyoknak is köszönheti.

A kísérletek tanulságai szerint tehát kétségkívül megállapítható, hogy a H-módszer mind relatív, mind pedig abszolút érzékenység tekintetében előnyösebb az L-módszernél.

15. Pontosság

Az elemzési szórás megállapítása céljából két, kb. 300 g súlyú, 0,50% széntartalmú acélpróbával 35 párhuzamos színeképfelvételt készítettünk ugyanarra a lemezre. Ezt a kísérletet az L-módszerrel is megismételtük. A H- és az L-módszerrel kapott négyzetes közepes hiba $\pm 3,5$ és $\pm 11,8\%$ -nak adódott, ami ugyancsak a H-módszer fölényét igazolja.

Az irodalomban a legkülönbözőbb pontossági adatok találhatók. Így pl. $\pm 10\%$ [8], $\pm 9\%$ [9], $\pm 4,1\%$ [13], $\pm 11,5\%$ [14], $\pm 3,5\%$ [16], $\pm 5,2$ [17], $\pm 4,2\%$ és $\pm 3,5\%$ [21], $\pm 10\%$ [23], $\pm 7\%$ [24]. Ezek az adatok azonban egymás között, valamint a mi pontossági adatainkkal alapos megfontolás után is csak nagyjából hasonlíthatók össze. Az elemzési szórás tekintélyes részét és ezzel a legnagyobb bizonytalanságot az egyes esetekben alkalmazott lemezanyagok különbözősége okozza. A kis fényerő miatt részünkről alkalmazott s elég hosszú idő óta tárolt Kodak UV lemezek viszonylag nagy fényképészeti szórása miatt H-módszerünket az irodalmi módszereknél feltétlenül pontosabbnak kell nyilvánítanunk.

16. Összefoglaló munkaelőírás

Gerjesztés :	Feussner elvű
Csúcsfeszültség :	35 KV
Kapacitás :	14 000 pF
Bekapcsolt önindukció :	nincs
Főkisülések száma :	100/sec
Próba :	legalább 20 × 20 mm-es sík felületű. (Kb. 500 g-nál kisebb különböző tömegű próbáknál vízhűtést kell alkalmazni.)

Ellenelektrod :	Cu-H ₂ , 5 mm Ø Cu elektrod ekvipotenciális homlokfelülettel, kvarc-henger 20 mm Ø, kapujának mérete 5 × 7 mm (3. ábra), hidrogén gázáram 10 ml/sec
Elektrodtávolság :	2,5 mm
Előszikráztatás :	2 perc
Megvilágítás :	2 perc
Spektrográf :	Hilger E 478 Littrow-készülék
Leképezés :	a kollimátor lencsébe, a rés elé helyezett f = 160 mm-es lencsével. A fényforrás és a leképező lencse közötti távolság 180 mm
Résszélesség :	40 μ
Negatívanyag :	Kodak UV lemez
Előhívás :	benzinben való fürdetés után (a fluoreszkáló réteg eltávolítása céljából) Kodak D 19 hívóban, 18 C° mellett 4 percig
Vonalpárok :	C 2296,86/Fe 2279,92 ; rögzített pont 0,30% /Fe 2308,77 ; « « 0,15% /Fe 2304,73 ; « « 0,12%
Százalékos határok :	0,01—1,5%
Pontosság :	±3,5% négyzetes közepes hiba (0,5% C mellett)
Zavaró vonal :	Fe I 2296,93

17. Fejlesztési irányok

Kísérleti tapasztalatainkból kibontakoznak a továbbfejlesztés körvonalai. A hidrogénben történő gerjesztés technikai kivitele továbbfejleszhető egy, a Petery-féle állványhoz hasonló megoldással. Ebben az esetben tehát az előre beigazított helyzetű Cu—H₂ ellenelektrod nem lefelé, hanem felfelé áll. A kvarc-henger helyett pl. égetőcsőből készült porcelán gyűrű is használható. Az állvány ugyancsak beigazított tárgytartó asztalát célszerű vízzel hűteni.

A módszer megfelelő hiteles próbákkal minden további nélkül használható 0,03%-nál kisebb széntartalmú, valamint ötvözött acélok elemzésére is. A kis százalékos tartalmak gyors és pontos meghatározása igen nagy gyakorlati jelentőségű lenne. Az ötvözött próbák elemzése csak a megfelelő típusú alapprobák segítségével végezhető el. Jól észlelhető a harmadik atom befolyása pl. szénacélok és nikkelaacélok összehasonlításakor, ahol az utóbbi esetben mindig kisebb ΔY értékek adódnak.

A módszer relatív érzékenysége és pontossága még fokozható lenne kisebb szikratávolság, valamint érzékenyebb és egyenletesebb negatívanyag alkalmazásával. A vonalak közvetlen intenzitásmérése ebből a szempontból is nagy jelentőségű lenne.

Végül meg kell említeni, hogy a kísérletek során felvetődött igen érdekes és eddig meg nem magyarázott elméleti problémák megoldása, a színképelemzés számos területére kihatással lenne.

Köszönetünket fejezzük ki Csicsák Károlynak és Buzás Lászlónénak, akik egyes felvételek elkészítésénél és fotometrálásánál értékes segítségünkre voltak.

IRODALOM

1. P. Gmelin : Chem. Fabrik 3, 469, 1930.
2. F. H. Emeri és H. S. Booth : Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 7, 419, 1935.
3. O. Schliessmann és K. Zänker : Techn. Mitt. Krupp 5, 67, 1937.
4. O. Schliessmann és K. Zänker : Techn. Mitt. Krupp 5, 76, 1937.
5. O. Schliessmann és K. Zänker : Arch. Eisenhüttenw. 10, 383, 1937.
6. A. Gauterer és J. Junkes : Lab. Astrofis. Specola Vaticana. Ric. Spettroscop. 1, 24. pp. 1938.
7. O. V. Blank : Zavodszkaja Lab. 11, 305, 1945.
8. O. V. Blank : Izveszt. Akad. Nauk Sz. Sz. R. Szer. Fiz. 9, 703, 1945.
9. Q. V. Blank és N. Sz. Szventickij : Compte rendu Akad. Nauk. Sz. Sz. R. 48, 252, 1945.
10. N. Sz. Szventickij : Dokladi Akad. Nauk. Sz. Sz. R. 50, 189, 1945.
11. J. Convey és J. H. Oldfield : Iron and Steel 18, 580, 1945.
12. N. Sz. Szventickij : Izveszt. Akad. Nauk Sz. Sz. R. Szer. Fiz. 11, 319, 1947.
13. F. W. J. Carton : Spectrochim. Acta 3, 68, 1947.
14. K. A. Szuchenko és N. P. Jakovleva : Zavodszkaja Lab. 14, 625, 1948.
15. K. C. Mazumder és M. K. Ghosh : Indion J. Phys. 23, 477, 1949.
16. A. P. Oleinikov és K. J. Taganov : Zavodszkaja Lab. 15, 59, 1949.
17. F. Malamand : Congr. Groupement Avance Method d'Anal. Spectrogr. Prod. Met. 12, 59, 179, 1949.
18. F. Malamand : Office natl. études recherches aéronaut ignes. 15, 39, 1950.
19. F. Malamand : J. Iron Steel Inst. 167, 465, 1951.
20. R. Breckpot és C. Grobert : Bul. Soc. Chim. Belg. 59, 102, 1950.
21. V. P. Borzov, O. S. Gramm, S. S. Riljand, N. Sz. Szventickij és K. I. Taganov : Izvest. Akad. Nauk. Sz. Sz. R. Szer. Fiz. 14, 611, 1950.
22. V. L. Abramov, V. T. Bogdanova és J. K. Taganov : Zavodszkaja Lab. 16, 1218, 1950.
23. L. Werner : Arch. f. d. Eisenhüttenw. 24, 465, 1953.
24. F. Plzák és B. Lizel : Spektrograficke stanoveni uhliku v ocelich. A Csehszlovák Spektroszkopiai Társaság Kongresszusán (Liblice, 1954. május hó 26–29) elhangzott előadás.
25. H. Kaiser és R. Ritschl : Tabellen der Hauptlinien der Linienspektra aller Elemente. 2. Aufl. J. Springer, Berlin, 1939.
26. G. R. Harrison : Wavelength tables of more than 100 000 spectrum lines. (John Wiley and Sons, New York) 1939.
27. Sz. K. Kalinin, A. A. Javnelj, A. I. Alekszejeva és L. E. Najmark : Atlasz szpektralnüh linij dlja kvarcevovo szpektrografa. GOSz. izd. teh. teor. lit. Moszkva–Leningrad, 1952.
28. T. Török : Mérnöki Továbbképző Int. Kiadv. V. 59. szám, 16. old. 1948.
29. T. Török : Acta Chim. 1, 289, 1950.
30. T. Török : Acta Chim. 2, 347, 1951.

HOZZÁSZÓLÁSOK

VORSATZ BRUNÓ

A színképelemzés egyre szélesebb területen terjed el, alkalmazhatósága szempontjából mégis bizonyos hiányok mutatkoznak. Éppen az acél elemzésekor érzünk hiányokat a kén, szén és foszfor meghatározásánál. Ezért a színképi szénmeghatározás nem csak pótolja ezt a hiányt, hanem különleges elemzések elvégzésénél is igen előnyös. Így pl. helyi mikroelemzéseknél, egyes szennyezett felületek elemzésénél, szövetelemek széntartalmának meghatározásánál.

Nagyon ötletesnek és alkalmazhatónak találja a védőgáz-adagoló elektródát, amely a szikraköz beállítása szempontjából is igen előnyös.

Szeretné tudni, hogy a többi ötvözők meghatározására külön felvételt, külön expozíciót kell-e végezni.

KOVÁCS K. PÁL lev. tag

Felvilágosítást kér arra vonatkozólag, hogy a vasvonal intenzitásának változása arányos-e a szénkoncentrációval, vagy pedig a szénvonal intenzitásának változásából számítható ki a szénkoncentráció?

TÖRÖK TIBOR viszontválasza

Az egyéb ötvözők meghatározása nem megy egy expozícióból. Ezt a kérdést nem vizsgálták, mert elméleti nehézségei is vannak. Úgy látszik, a módszer nem alkalmas szimultán meghatározásra, hanem külön vizsgálat szükséges klasszikus módszer szerint levegőben. Erre már Schliessmann és Zänker is utalnak.

Kovács K. Pál lev. tag észrevétele nagyon is indokolt. A legfeltűnőbb az, hogy a szénvonal intenzitása eleinte csökken, bár lehetséges, hogy ez kísérleti hiba. Az intenzitás csak később kezd emelkedni, ellenben a vasvonal intenzitása rohamosan csökken. A színképelemző eljárás tulajdonképpen a szén és a vas mennyiségi viszonyát határozza meg. Az effektus magyarázata szerint vaskarbid képződéséből adódik. A jelenségtől független tény az, hogy gyakorlatilag használható és teljesen lineáris értékelő görbe adódik.

Érdekes módon az ismertetett kísérlet igazolja Bunsen és Kirchhoff megállapításával szemben Gerlach állítását, mely szerint soha sem az abszolút intenzitást kell alapul venni, hanem az alapelem vonalához viszonyított intenzitást.

ULTRAHANGHULLÁMOK TERJEDÉSE FOLYÉKONY ÉS SZILÁRD TESTEKBEN*

J. K. SZOKOLOV,

A SZOVJETUNIÓ TUDOMÁNYOS AKADÉMIAJÁNAK TAGJA,
LENINGRÁD

Az előadás keretében olyan rövid ultrahanghullámokról van szó, amelyek hullámhossza összemérhető az infravörös hullámok hosszával. Jelenleg már mód van ilyen nagy rezgésszámú ultrahanghullámok előállítására. Kérdés az, hogy jelenleg melyek a felső határai az előállítható ultrahanghullámok rezgésszámának.

Laboratóriumokban sikerült olyan ultrahanghullámokat létrehozni, melyek rezgésszáma 10^8 – 10^9 nagyságrendű. Ilyen rezgésszámú ultrahanghullámok acélban három-négy mikron hullámhosszúságúak, ami már összemérhető az infravörös sugarak hullámhosszaival. Ha ilyen kis hullámhosszúságú ultrahanghullámokat megfelelő intenzitással tudunk gerjeszteni, akkor eddig meg nem oldott feladatokat eredményesen dolgozhatunk ki.

Érdekes jelenség, hogy ezek a hullámok sokféle típusú egykristályban igen jól terjednek és a kristályok belsejében vékony nyalábokban a szemben fekvő oldallapokról ismételten visszaverődnek, mert a csillapodás aránylag kicsi. Az ilyenfajta hullámok alkalmasak hosszirányú, keresztirányú és kvarckristályban felületi Rayleigh-hullámok előállítására is.

Ha egy kristályban egyidejűleg gerjesztett hossz- és keresztirányú ultrahanghullámokat vizsgálunk, megállapítható, hogy a keresztirányú hullámok bizonyos mértékben elmaradnak, mert ezek terjedési sebessége kisebb. Lehet egyidejűleg felületi hullámokat gerjeszteni, az ún. Rayleigh-hullámokat, vagy pedig ahogy a szeizmikusok nevezik: földrengéshullámokat.

Jelenleg öt mikron hullámhosszú ultrahanghullámokat lehet előállítani. Rövid időn belül előreláthatólag sikerülni fog még rövidebb, a látható színek hullámhosszaival összemérhető, sőt még ennél is rövidebb ultrahanghullámokat előállítani. Ha a kis rugalmas egyenetlenségeken keletkező fényszóródás új kutatási módszerét a fizikusok megtalálják, lehetséges lesz az inhomogénitásokon keletkező Rayleigh-féle fényszóródás törvényeinek a kikutatása. Éppen ezért remény van arra, hogy laboratóriumi körülmények között adhassunk választ pl. arra a kérdésre, hogy miért kék az ég?

Különösen nagy figyelmet kell szentelni az ultrahanghullámok olyan irányú alkalmazásának, hogy segítségükkel fényt át nem eresztő közegekben bizonyos

* Kivonatos ismertetés.

testeket, más anyagokat érzékeljünk. Már régen ismeretes a látható színekben működő mikroszkóp, amely nagy mértékben segítette elő sok tudományág fejlődését, de még sokkal érdekesebb az ultrahangmikroszkóp problémájának megoldása, mert az ultrahang gyakorlatilag minden közegen át tud hatolni. A tudomány további fejlődése szempontjából igen érdekes tehát az ultrahangmikroszkóp problémája, amely igen közel van az optikai mikroszkóp problémájához: ugyanis a reprodukált kép annál jobb lesz, minél rövidebb az ultrahanghullám hossza. Az utóbbi időben ezen a téren elért eredmények a Szovjetunióban gyakorlatilag már bizonyos mértékben elterjedtek. Sikerült ultrahangmikroszkópot kidolgozni és elkészíteni, és ezzel a mikroszkóppal át nem látszó közegekben levő tárgyak képét láthatóvá tenni. A kapott kép élessége és világossága alapján nyugodtan állíthatjuk, hogy a módszer előtt nagy lehetőségek állanak. Pl. bórsavkristályok oldódása vízben közönséges mikroszkóppal nem figyelhető meg. Azonban a közvetlenül feloldódott kristályt tartalmazó oldószer (jelen esetben víz), koncentráltabban tartalmazza a kristály környékén az oldatot, és itt az ultrahanghullámok másképpen törnek, és a jelenség emiatt láthatóvá tehető, megfigyelhető. Így lehetőség nyílik diffúziós jelenségek vizsgálatára.

Az ultrahangmikroszkóp segítségével jelenleg 20–30 mikron-nyi méretű tárgyak vagy zárványok kimutathatók és igen csekély elmozdulások, melyek gyakran előfordulnak a korszerű technikában, megfigyelhetők. Így remélhető, hogy igen rövid időn belül hőfolyamatokat, oldódási folyamatokat, egyéb fizikai és kémiai folyamatokat láthatóvá tehetünk. Természetesen a fennálló nehézségek még igen nagyok és ezért még nem sikerült olyan gyors ütemben eredményeket kapni, mint ahogyan szeretnénk volna.

HOZZÁSZÓLÁSOK

TARNÓCZI TAMÁS

Felvilágosítást kér a kapilláris hullámokra. Történtek-e már vizsgálatok 10^9 frekvenciájú hanghullámok és hőhullámok azonos terjedésének bizonyítására.

J. K. SZOKOLOV

A kapilláris hullámok, illetve — amint nevezik — viszkózus hullámok terjedési sebessége 4,5-szer kisebb. A kutatások még folynak és ezért bővebb adatokat nem tud közölni.

A hőhullámok és az ultrahanghullámok összevetése igen kívánatos és nagyon fontos. Azonban az eddig elért legnagyobb ultrahangfrekvencia 10^9 , és ez még nem ad módot a 10^{13} rezgésszámú hőhullámok terjedésével való összehasonlításra.

E. SCHIEBOLD

Helyes-e Szmetanának az az állítása, hogy üveg törésekor 10^{11} rezgésszámú ultrahanghullámok keletkeznek?

J. K. SZOKOLOV

Igen, de véleménye szerint ennek gyakorlati jelentősége nincs.

EMÓD GYULA

Lehetséges-e ultrahang módszerrel magas hőmérsékletű tárgyakat pl. 100 C° , vagy akár 1000 C° hőmérsékleten szilárd, esetleg folyékony állapotban vizsgálni?

J. K. SZOKOLOV

Lehetséges, történtek is már ilyen próbálkozások. Természetesen, ez esetben a megfigyelés egész módszerét megfelelőképpen át kell alakítani.

A Bányászatban és a Geológiában Alkalmazható Ultrahang-Kutatási Módszer Tudományos Alapjai

Prof. Dr. Ing. I. MALECKI,
A Lengyel Tudományos Akadémia Levelező Tagja,
Warszawa

I. Az eljárás általános jellemzői

Azok a geofizikai módszerek, amelyek a talajszerkezet megismerésére szolgálnak, ma már nélkülözhetetlenek a kutatóknakban és fúrásoknál végzett munkánál. Ezek az eljárások általános tájékozódást tesznek lehetővé az előfordulás szerkezeti felépítésében (pl. szeizmikus eljárások), vagy pedig valamely értékes anyag, különösen érctelepek fekvésének felfedezését eredményezhetik. (Gravimetrikus eljárások.) Mindezideig még nem sikerült az említett eljárások alapján valamely bányamű jövesztőterületének geológiai szerkezetéről pontos képet kapni. Ezen a téren kizárólag fúrásokra voltunk utalva. A bányászat követelményeit kielégítő olyan eljárás kialakítása a közelebbi megismerés céljára — amely a fúrásokat részben helyettesíthetné — igen nagy gazdasági jelentőségű lenne, mivel

- a) csökkentené a feltérési munkák költségeit,
- b) növelné a bányában a munkabiztonságot és
- c) a geológiai előfordulás ésszerűbb kiaknázását tenné lehetővé.

A szerző az eddig alkalmazott geofizikai eljárásokat elemezve azt találta, hogy a feltérésnél megkívánt pontosság ultrahanghullámok segítségével teljesíthető és ez az eljárás független az anyag elektromos tulajdonságaitól.

A bányászat igényeinek megfelelő ultrahangvizsgálati módszer problémáival kapcsolatos munka a Lengyel Tudományos Akadémia intézetében párhuzamosan folyt az ipar részére szükséges ultrahang anyagvizsgálati módszer kutatásával. Jóllehet az anyagvizsgálati módszer már évek óta ismert — az ultrahang használata a bányászatban és a geológiában egészen új —, előlről kellett tehát kezdeni a tapasztalatok összegyűjtését és az elmélet kidolgozását. A kifejlesztett módszer az ultrahang impulzus visszatéréséhez szükséges T idő mérésén alapszik, mialatt a felület egyenlőtlenségeiről visszaverődik.

A visszavert impulzusok alakja és nagysága további adatokat szolgáltat az egyenlőtlenségek minőségéről és nagyságáról.

Az egyenlőtlenség L távolságát a következő képlet adja meg :

$$L = \frac{cT}{2},$$

ahol c az ultrahanghullám terjedési sebességét jelenti.

Három probléma-csoportot kellett megvizsgálni és megoldani ; ezek a következők voltak :

- a) az ultrahanghullámok terjedése geológiai közegekben,
- b) a mérőberendezés teljesítőképessége,
- c) a mérőberendezés elektromechanikai működése.

Ebben az értekezésben a két első problémával fogunk foglalkozni, amelyeket ezideig csak kevéssé vizsgáltak és emiatt az elmélet kimélyítését, valamint terepen végzett vizsgálatokat tettek szükségessé. A harmadik probléma inkább rádiótervezőkre tartozik, mint valamely kísérleti laboratóriumra, ezért műszaki kollektívánknak fáradságos munkát jelentett.

2. A közeg tulajdonságainak vizsgálata

Az eljárás alkalmazhatóságának megállapítása szempontjából alapvető jelentőségű az ultrahanghullámok csillapításának vizsgálata geológiai közegekben, mert a távolság megállapítása a reflektált ultrahangimpulzusoktól függ. A csillapítás megállapítása végett először laboratóriumban végeztünk különböző hosszúságú próbatesteken méréseket. Ezzel az eljárással lehetőség nyílik a vizsgált anyag és a mérőfej érintkezési helyein keletkező ismeretlen veszteség kiküszöbölésére. Ha az l_1 hosszúságú minta végén a sugárnyomás p_1 és az l_2 mintánál p_2 , akkor a csillapítási állandó a következő

$$\delta = \frac{1}{l_1 + l_2} \ln \frac{p_2}{p_1}.$$

Az eredményeket utólag a terepen végzett helyszíni mérések igazolták. A csillapítás a frekvenciával a következő képlet szerint változik :

$$\delta = a + bf^m$$

a , b , m — olyan együtthatók, amelyek az anyagfajtától függenek.

Az egyes sófajtákra pl. ezek az állandók a következők :

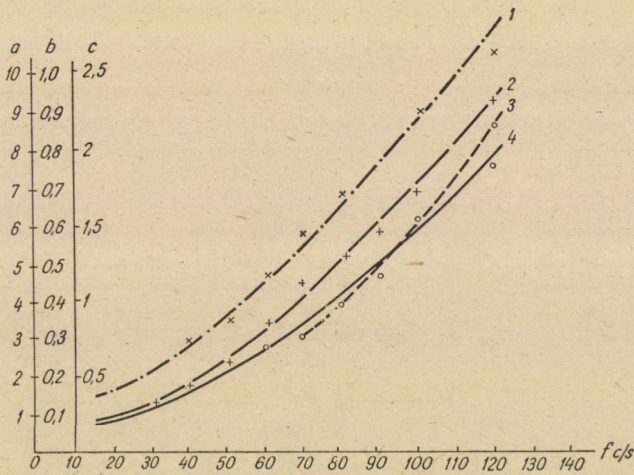
vörös kősó	$a = 0,4$	$b = 4,7 \cdot 10^{-3}$	$m = 3/2$
sötétsárga kősó	$a = 0,2$	$b = 1,7 \cdot 10^{-3}$	$m = 3/2$
fehér kősó	$a = 0,13$	$b = 0,84 \cdot 10^{-3}$	$m = 3/2$

A csillapítás frekvencia-függőségét az 1. ábra mutatja.

A csillapítás méréseiből kitűnik, hogy az ultrahangvizsgálati módszer alkalmas olyan ásványok vizsgálatára, mint amilyen a kőszó, a mészkő, az anhidrit, a gránit stb., de a szénbányászatban csak korlátozott mértékben alkalmazható.

A második paraméter az ultrahanghullám tovaterjedésének sebessége. Az ultrahanghullám visszaverődési helyének távolsága meghatározható abból a T időből, amely az impulzus visszaérkezéséhez szükséges.

Egyenletes szemcsézettségű ásványoknál a tovaterjedés sebessége, melyet krisztallográfiai állandókból (Voigt-állandó) számítottunk ki és laboratórium-



1. ábra. A csillapítási állandó a frekvencia függvényében

ban mértünk meg, megegyezett a terepen kapott mérési eredményekkel. Ezzel szemben a nem egyenletesen szemcsézett ásványoknál, mint pl. szennyezett kőszónál, az ultrahanghullámok lényegesen kisebb terjedési sebességét állapítottuk meg. Sárga kőszó esetében a mért terjedési sebesség $c = 4060$ m/sec. Fehér kőszónál 4020 m/sec. Ugyanakkor az elméleti számítások szerint c -nek 4150 m/sec-nek kellene lennie. Szennyezett kőszónál c -re 2780 m/sec kaptunk.

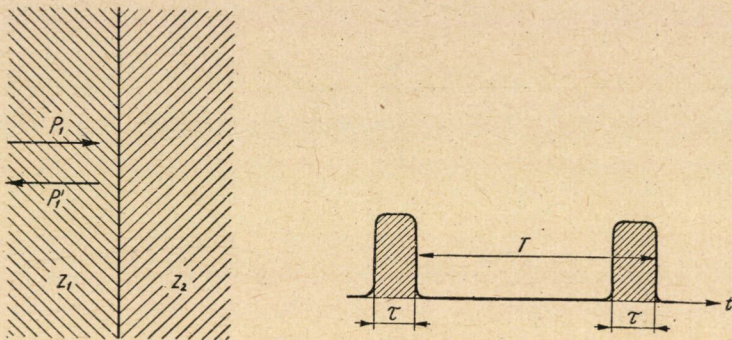
Mélyrehatóbb elméleti vizsgálatra volt szükség a reflektált impulzus alakja és amplitudója közötti összefüggés megállapítására, figyelemmel a geológiai előfordulás felépítésére. A visszavert hullám sugárnyomása, ha a felületek közötti határ éles és az akusztikai hullámenállás Z_1, Z_2 :

$$P_1' = \left| \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right| P_1.$$

A visszavert jelnek ugyanolyan alakja és időtartama van, mint az eredetinek (2. ábra).

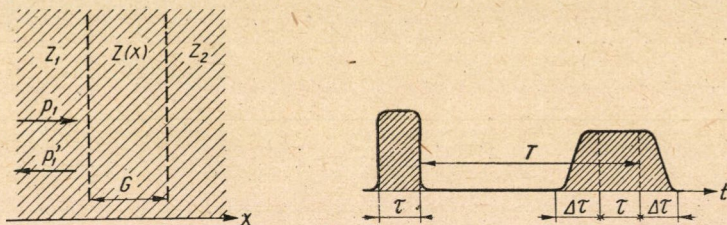
Ha a két közeg között G vastagságú átmeneti réteg van, az akusztikus ψ potenciál a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$\frac{\delta^2 \psi}{\delta x^2} + \frac{1}{Z} \frac{\delta z}{\delta x} \frac{\delta \psi}{\delta x} + \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \frac{2}{\psi} = 0.$$



2. ábra. Visszaverődés a közeg éles határán

Ebből az egyenletből meghatározhatjuk a reflexió Z_2 bemenő ellenállását. Ennek az ellenállásnak számszerű értéke a $Z(x)$ függvény menetétől függ. Azt az esetet, amikor $Z = e^{-2mx}$, alaposabban megvizsgáltuk és megfelelő, de meg lehetősön bonyolult képleteket vezetünk le.



3. ábra. Visszaverődés az átmeneti rétegről

Ha az eredeti jel négyszögletes, úgy ez esetben a reflektált jel trapézalakú (3. ábra).

Harmadszor a gyakorlatban sűrűn előforduló esetként azokat a reflexiókat vizsgáltuk meg, amelyek G vastagságú közbenső rétegben Z_2 hullámellenállásúak, és amelyekre hasonló közegben Z_1 akusztikai hullámellenállást találunk. Ebben az esetben egy sor visszavert impulzust kapunk, amelyek t_i időközökben visszatérnek (4. ábra).

$$t_i = \frac{2G}{C_2}.$$

Az első visszavert jel amplitudója ugyanaz, mint a Z_1, Z_2 felület határán, a második reflexió amplitudója :

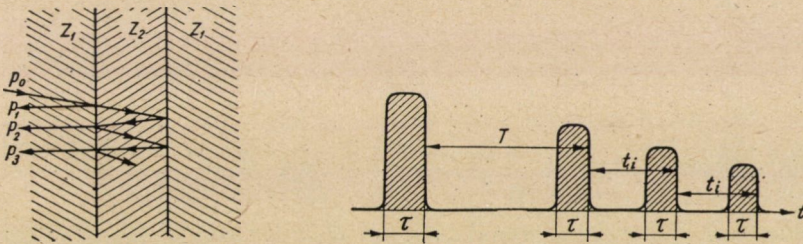
$$P_2 = \left| \frac{4(z-1)z}{(z+1)^2} \right| P_0.$$

A legközelebbi jeleknek amplitudójuk kisebb, a képletnek megfelelően:

$$P_n = \left| \frac{1-z}{1+z} \right|^{2(n-2)} P_2, \quad \text{ahol } z = \frac{Z_1}{Z_2}.$$

3. Az ultrahangmérési eljárás hatótávolsága és feloldóképessége

A hatótávolságot elméletileg és gyakorlatilag is megvizsgáltuk. Ez magától értetődően a berendezés tulajdonságaitól függ. Azt az esetet elemeztük, amikor



4. ábra. Visszaverődés a közbenső rétegről

az egyenlőtlenység, amely az ultrahanghullámok visszaverődését befolyásolja, kerek, tárcsa-alakú, B sugárral. Ez az adótól L távolságra, a hullám terjedési irányára merőlegesen helyezkedik el. A mérőfej az L távolsághoz viszonyítva az adótól csekély távolságban van. A hatótávolság határát ez esetben az alábbi képlet fejezi ki:

$$L = \frac{B}{\lambda} \sqrt{C_0 \frac{P_x}{P_3} e^{-(a+bf^m)L}},$$

ahol C_0 = az az állandó, amely a készülék szerkezeti módjától, valamint az elektromechanikai tulajdonságoktól függ.

P_x = az adó sugárnyomása, gömbhullámra redukálva.

P_0 = a visszavert hullám sugárnyomása a mérőhelyen.

a, b, m = a csillapítási képlet fent jelzett együtthatói. Ebből a képletből meghatározhatjuk az optimális frekvenciát, amelyen a készüléknek működni kell. Ez a frekvencia

$$f_{opt} = \frac{1}{m \sqrt{mbL}}.$$

A terepen végzett mérések a gyakorlatban azt mutatták, hogy a hasonló kőszó előfordulások mérési határa 15–30 m, sőt homogén kőzeteknél akár 100 m-t is elérhet. Kőszó esetében a maximális mérési határ 1–2 m-t nem halad meg. A részünkről használt berendezés 68 kc/s frekvenciával dolgozott, amely a sóbányákban és kőfejtőkben végzett kísérletekhez a legjobb előfeltételeket biztosította.

A készülék feloldási képességének azt a gömbalakú, ideálisan visszaverő akadálynak R sugarát tekintjük, amely adott hullámhossznál még észlelhető

visszavert impulzust okoz. Megfigyelésünk szerint a feloldóképesség a $\sqrt[3]{\frac{P_x}{P_3}}$

kifejezéssel arányosan változik. Pontosabb képletet a hanghullámok elhajlásának elmélete alapján a visszaverődési gömbfelület felhasználásával vezethetünk le (Rayleigh szerint).

4. Az ultrahang-adófej kiképzése

A minél erősebb visszavert jelek elérése érdekében az adófej éles irányító-karakterisztikájú legyen. Különböző kiképzésű adófejeket vizsgáltunk meg elméletileg és kísérletileg. Legegyszerűbb szerkezetű a dugattyúmembrános adófej. A membrán irányítási tényezője: Q , a következő képlettel fejezhető ki:

$$Q = \frac{J_1\left(\frac{2\pi R}{\lambda} \sin \theta\right)}{\frac{2\pi R}{\lambda} \sin \theta}.$$

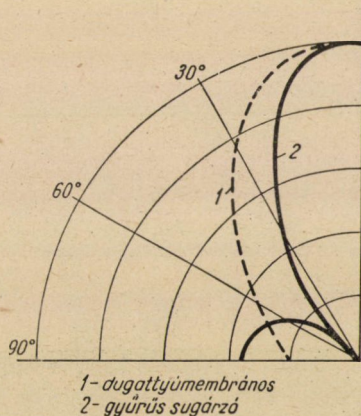
A kellő irányító hatás érdekében viszonylag nagy átmérőjű adófejet kell alkalmazni. Ebből a szempontból jobb az a gyűrűsugárzó, melynek iránykarakterisztikája a következő:

$$Q = J_0\left(\frac{2\pi R}{\lambda} \sin \theta\right).$$

Legjelentősebb hiányossága azonban az erős mellékmaximumok kialakulása, amelyek véletlen, félrevezető visszaverődő impulzusokat eredményezhetnek. A kerek dugattyúmembrán, összehasonlítva a gyűrűsugárzóval, az 5. ábrán látható. Az említett hiányosságot két gyűrűsugárzóval küszöbölték ki. Ez két koncentrikus gyűrűből áll, melyek sugara R_1 , illetve mR_1 . A gyűrűk p_1 és sp_1 sugárnyomást fejtenek ki. Az m és s paraméterek megfelelő kiválasztása esetén,

a belső gyűrű sugárzásával kiegyenlíthetjük a külső gyűrű sugárzása nyomán kialakuló mellékmaximumot. A gyakorlati szempontból legjobb előfeltételeket $m = 0,44$ és $s = 0,8$ -nál értük el. Az első mellékmaximumot a főjelhez képest annak 0,1 részére tudtuk csökkenteni.

A különböző adófejek irányító tulajdonságait víz alá merített modelleken vizsgáltuk meg. Az irányító karakterisztikát igen kis átmérőjű piezoelektromos vevőfejjel mértük. Minthogy az ultrahanghullámok hossza vízben 2,7-szer nagyobb, mint kősóban, a modellek méreteinek arányát ilyen mértékben csökkentettük a tényleges adóhoz viszonyítva. A valóságban az irányító-karakterisztika vízben más, mint szilárd testekben, azonban a pontos elméleti és kísérleti



5. ábra. A kerek dugattyúmembrán és a gyűrűsugárzó iránykarakterisztikája

eredmények elegendő összehasonlítási alapot adtak a különböző adófejek vizsgálatához.

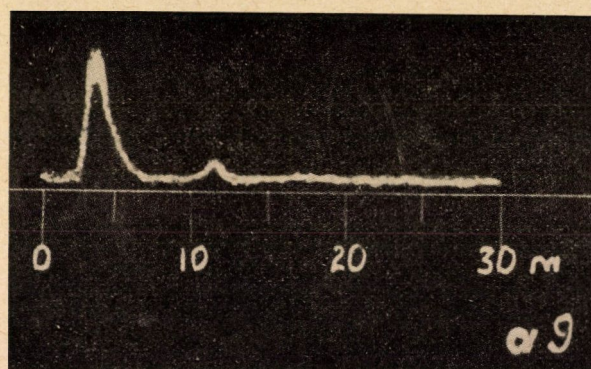
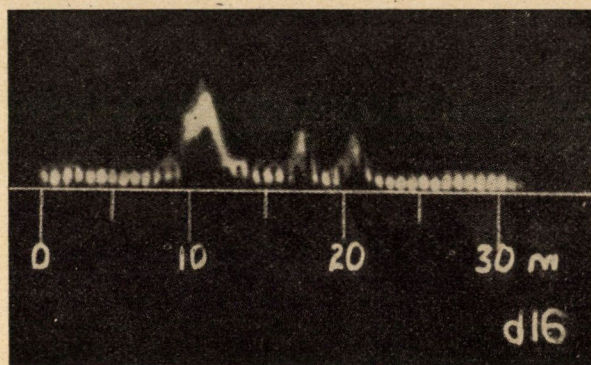
A berendezés lényeges érzékenységsökkenésének oka az adó, illetve a vevőfej, valamint a geológiai kontinuum közötti határokon az ultrahanghullámok átmeneténél keletkező energiaveszteség. Az ilyen veszteségek kiküszöbölésével kapcsolatos eljárásokat pontosan megvizsgáltuk, mégpedig mind kísérleti, mind elméleti szempontból. Az adó és a kontinuum közé átmeneti réteggként transzformátorolajat használtunk. A különleges adófejet gumiból készült tömítőgyűrű biztosítja az olaj kiömlése ellen. Ez a kivitelezés a gyakorlati helyszíni méréseknél igen bevált.

5. Az ultrahangmérési eljárás alkalmazása a gyakorlatban

A bevezető laboratóriumi vizsgálatok és az elméleti munkák alapján a kollektíva ing. *Koltoński W.* vezetése alatt elkészítette a berendezés üzemi mérésekre alkalmas modelljét, amely tökéletesen megfelelt a bányászati feltárások kivitelezésére. A berendezés, a meglehetősen nagy akusztikai teljesítmény

és érzékenység ellenére könnyű és zárt kivitelű. A készülék ezen tulajdonságai a bányászat nehéz körülményei között nélkülözhetetlenek. Az impulzus időtartama kb. 0,2 m/sec, az impulzussorozat 20–200/sec frekvenciatartományban szabályozható.

A sóbányákban eszközölt méréseknél az ultrahang-impulzusok visszaverődését a közegek különböző fajtájú egyenlőtlenégein tanulmányozták.



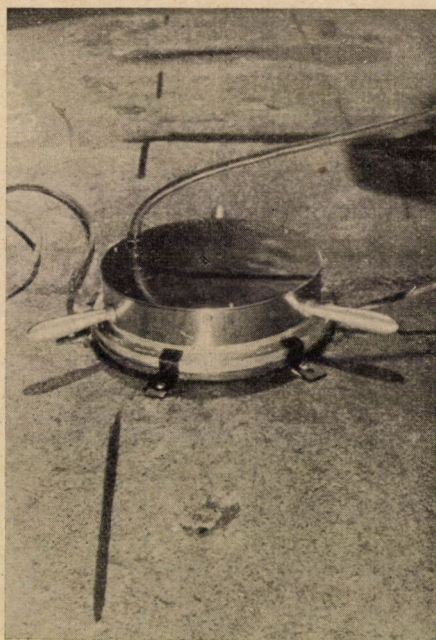
6. ábra. A felületi hullámokról és a rétegekről visszavert impulzusok oscillogramja

Az adó ezeknél a méréseknél állandóan rögzítve volt és a vevőfejet vittük arra a helyre, ahol a kísérletet végrehajtottuk.

Ily módon egy sorozat oscillogramot vettünk fel, melynek tipikus alakját a 6. ábra mutatja. Az első impulzus felületi hullámtól származik, amely kb. fele olyan gyorsasággal terjed, mint a hosszirányú rezgések hulláma. A további impulzusok az ultrahanghullámoknak a közeg belsejében levő egyenetlenségekről történő visszaverődéséből származnak.

Az egyenletlenségek helyének meghatározására a vevőfej minden helyzetére vonatkozóan egy ellipszist jelölhetünk ki, melynek féltengelye:

$$a = \frac{cT}{2}; \quad b = \frac{cT}{2} \sqrt{1 - \frac{l^2}{c^2 T^2}},$$



7. ábra. Hangforrás, sóbánya falára erősítve

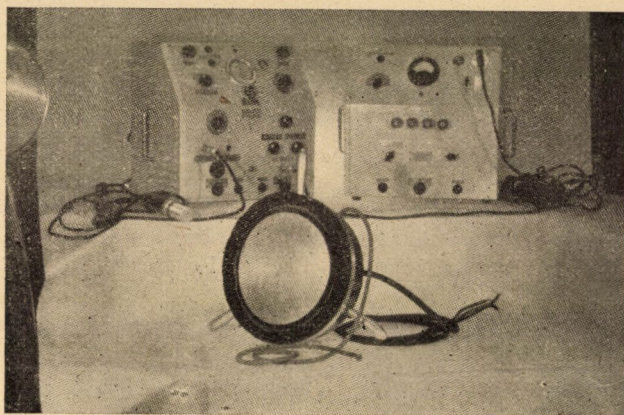
ahol l = az adó és a vevőfej közötti távolsággal,
 T = az impulzus visszatérésére szükséges idővel,
 c = a hullámok terjedési sebességével.

Ezen ellipszisek mértani helyei az egyenletlenségek vetületét határozzák meg.

Az ultrahang-módszerrel történő méréseknek a fúrásokkal és a geodéziai mérésekkel történő összehasonlítása az eredmények tökéletes egyezését mutatja. Egy eddig még kikutatlan bányarész feltárási munkáinál megállapítottuk a rétegződés vastagságát és a víztárolók helyzetét. A később eszközölt fúrások igazolták méréseink helyességét.

Az ultrahangvisszaverődések elemzésével sikerült mind nagy egyenetlen rétegeket meghatározni, mind helyi egyenletlenségeket, pl. egyes sziklákat az előfordulásokban felismerni.

A végzett munkából megállapítható, hogy az ultrahangmérési módszer mind a sóbányászatban, mind más hasonló ásványok bányászatában alkalmazható. További, jelenleg még kutatás alatt álló terület, kőzettömbök és hasonló kőzetek kiterjedésének és belső szerkezetének mérési lehetősége. Ennek igen nagy jelentősége van mind a geológiai kutatások, mind a kőzetfejtések szempontjából, különösen márvány- és gránitbányákban. Hangsúlyozni kell azonban, hogy az ultrahang-módszer vegyes összetételű geológiai előfordulások és nagy csillapítású közegek (homokos talaj, agyag) vizsgálatára nem alkalmas.



8. ábra. A teljes berendezés (jobbra az adó, balra a vevő, előtérben a hangforrás)

IRODALOM

1. Bergmann, L. : Der Ultraschall. S. Hirzel, Zürich 1949.
2. Furdujew, W. : Elektroakustika. Ogiz, Moszkva 1948.
3. Keil, K. : Ingenieurgeologie u. Geotechnik. W. Knapp, Halle, 1951.
4. Koltowski, W.—Malecki, I. : Application de la méthode ultrasonore dans les recherches géologiques. Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences 1953. Vol. I. Nr. 3.
5. Malecki, I. : Wplyw ksztaltu membrany na jej promieniowanie akustyczne. Archiwum Elektrotechniki. Tom. I. zeszyt 1, 1952.
6. Rizniczenko, F. W. : Impulsnij ultrazvukovoj seizmoskop. Izvestija Ak. Nauk SzSzsR. Szeria geofiziceszkaja 1953. Nr. 1.
7. Sorokin : Obszczyj kurs geofiziceszkiej razwietki.
8. Wolff, J.—Mater, L. : Radiation of circular ring source. Journal of Acous. Soc. of Amer. Nr. 2. 1930.

ACÉL-SZÖVETSZERKEZET ELEKTRONMIKROSKÓPOS VIZSGÁLATA

CSOKÁN PÁL
DANUVIA SZERSZÁMGÉPGYÁR, BUDAPEST

Fémek s ezek között a vas és acélfajták szövetszerkezetének elektronmikroszkópos vizsgálatával számos szerző foglalkozott már, de olyan felvételeket, amelyek az acélipar egyik vagy másik aktuális problémájára, vagy éppen valamely gyártás közben felbukkanó hiba kikutatására irányulnak, alig találunk a szakirodalomban [1]. Az ilyen problémák elektronmikroszkópos vizsgálata pedig nemcsak a kutató tudós számára lenne érdekes, hanem a gyakorlati, üzemi emberek számára is értékes felvilágosításokat adna. Az előadásban azokról a vizsgálatokról számolok be, amelyeket az egyik budapesti szerszámgépgyárunkban mutatkozott, selejtoko­zó hiba megállapítására végeztünk az elektronmikroszkópai laboratóriumban.

A) Vizsgálati anyag

A vizsgálatokat sorozatban gyártott szerszámgép olyan alkatrészén végeztük, amely a gépszerkezetben mint kétkarú emelő a középrészen levő furatába illő csapra támaszkodik (1. ábra). A gép működésekor az egyik kart percenként kb. 600 fordulatszámmal forgó bütykös tárcsa löki fel, majd az eredeti helyzetbe a másik kar alá támasztott rugó emeli vissza. Egy-egy impulzus igen rövid ideig tart, s a rövid idejű kényszermozgások következtében nagy gyorsulások és így nagy tehetetlenségi erők keletkeznek, amelyek leginkább az alkatrész furatos alátámasztási részét veszik igénybe.

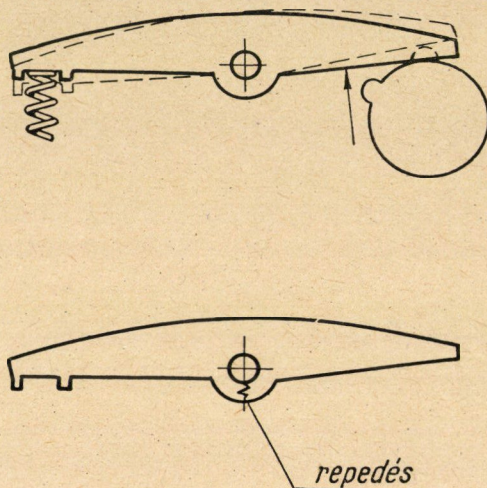
A kérdéses alkatrész konstrukciója minden tekintetben megfelelt az erőtan­i követelményeknek és a végig ellenőrzött hőkezelés is eleget tett az előírásoknak. Az automata működésekor mégis elég nagy számban mutatkozott a furatnál idő előtti hibásodás. A hiba legtöbbször a furat belső oldaláról, ritkábban a külső felület felől, a kisebb kereszt­szelvény irányában hatoló kezdő hajszálrepedés volt, amely — ha az automata néhány periódussal tovább működött — gyorsan erőszakos töréssé fejlődött ki.

Az alkatrész alacsony króm-nikkel-wolfram ötvözésű szerkezeti acélből készült, melynek vegyi összetétele a következő volt :

C	= 0,22 %,	Mn	= 0,35 %,	Si	= 0,17%,
Cr	= 1,40 %,	Ni	= 4,05 %,	W	= 1,02%,
P	= 0,021%,	S	= 0,020%,	Cu	= 0,22%.

A forgácsoló megmunkálás után a munkadarabokat a következő előírás szerint hőkezelték :

A felületi széntelenedés csökkentése céljából vékony galvánréz bevonattal ellátott alkatrészt elektromos kemencéből 860–880 C°-on 30 perces hőntartás



1. ábra

után 40–80 C° hőmérsékletű olajban hűtötték le. Az edzett alkatrész megeresztése a felület pácfürdőben való réztelenítése után 200 C° hőmérsékletű sófürdőben 30 perces melegítéssel történt, ami után a darabokat levegőn hűtötték le.

B) Vizsgálati eredmények

A hibásodott alkatrészek mikroszkópi vizsgálatakor az anyagban a Jernkontoret salakskála A–2, B–2 fokozatainál nagyobb salakzáródmányokat nem találtunk. A szövetszerkezet egyenletes megeresztési sorbit, a felületen kifokú széntelenedés látható (2. ábra). 500-szoros, de még inkább 1000-szeres nagyítással az alkatrész felszíni rétegében feltűnő jelenség észlelhető, nevezetesen, hogy a felülettől az anyag belsejébe hatolón, nyilván a primér kristályhatárok mentén, világos színű, eléggé összefüggő hálózat keletkezett. A mikroszkóp alatt végzett karepróba szerint a kristályközi fázis lágyabb, mint a környező szövetelemek. A 3. és 4. ábrákon kitűnően látható, hogy a kezdő hajszálrepedés



2. ábra



3. ábra

ezen világos színű hálózat mentén keletkezett, tehát a hiba okozójaként ezeket a szövetelemeket tekinthetjük.

Annak megállapítására, hogy az említett felületi kristályok közötti hálózat melyik munkafázisban jött létre, kísérletsorozatot végeztünk. A próbadarabokat forgácsoló megmunkálásuk után végig vezettük a gyártásban előírt műveleti sorrenden (rezezés, edzés, réztelenítés, megeresztés) és minden részletművelet után néhány mintadarabot mikroszkópon vizsgáltunk. Kiderült, hogy a kristályközi hálózat az edzéskor képződött, s keletkezésére a többi műveletnek befolyása nincs.

Arra nézve, hogy a kristályhatárközi fázis milyen okból jött létre, többféle — később ismertetendő — magyarázat merült fel, de a vitás nézetek eldöntésére a fénymikroszkópos felvételek nem szolgáltattak elegendő bizonyítékot. Ezért szükségesnek mutatkozott a fénymikroszkóp alatt szerkezetnélkülinek látszó fázis finomsztruktúrájának elektronmikroszkópos vizsgálata.

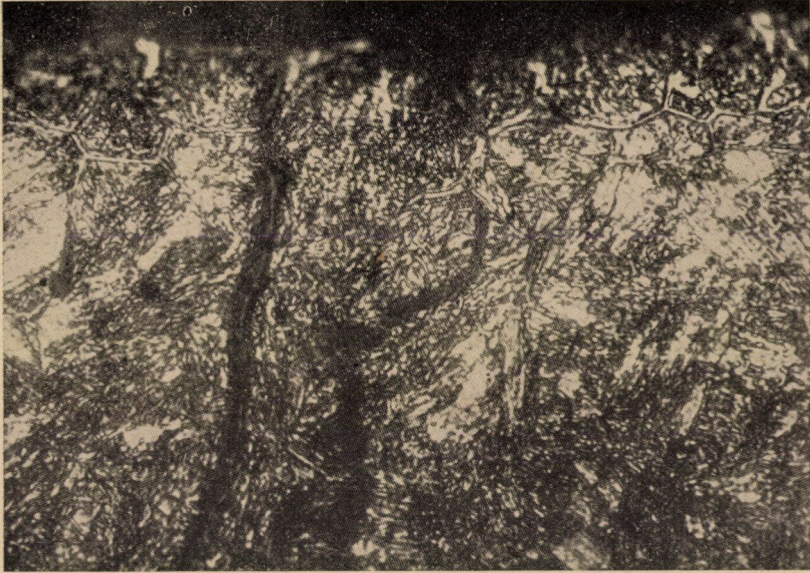
A minta anyagával azonos minőségű acélba ágyazott, fényesített és marott darabról az elektronmikroszkópiai laboratóriumban használatos módszer szerint Au-Al pozitív fémreplikát s erről 40–45 kV mellett elektronmikroszkópos fényképfelvételeket készítettünk.

A felvételeket a következő rétegek szerint tanulmányoztuk: 1. felszíni fedőréteg, 2. hálózatos réteg, 3. magrész.

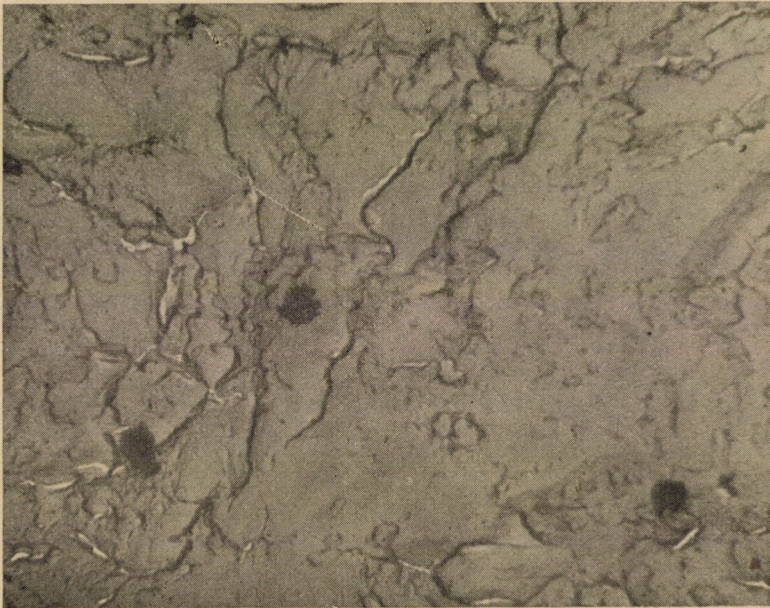
A felszíni rétegről származó felvételek jórészt ferrit szövetelemeket mutatnak, melyekben kisebb-nagyobb szemcsékiválás van (5. és 6. ábra).

A hálózatos réteg fénymikroszkópos felvételén szerkezetnélkülinek látszó kristályközötti fázisáról sikerült néhány jellemző elektronmikroszkópos képet készíteni (7., 8. és 9. ábra). A felvételeken jól felismerhető a két különböző orientációjú kristály közötti határvonal finom szerkezete. A kristályközötti fázis világos színű, síma felületű és változó szélességű alapszövetből s ebben szabálytalan alakú, nagyjából haránt irányítottságú, finomszemcsékkel struktúrált szigetekből áll. Ezen szigetek alakja és elhelyezkedése arra vall, hogy a szigetek anyaga a határfázist képező fémben oldódik. Olyan határvonal is található, amelyből a finomszemcsés szerkezetű szigetek már hiányoznak (10. ábra). Valószínűleg a mélyebb rétegekből származnak azok a képek, amelyeken a kristályközi fázis egyenletesen olyan finomszemcsékkel elrendezettnek látszik, amilyen az előbbi képeken a szigetek anyaga volt (11. és 12. ábra). A 13. ábrán két különböző módon orientált kristály közt húzódó, haránt elemekkel elég feltűnően megszagott szerkezet látható. A 14. ábra két szomszédos kristály differenciált elemeket nem tartalmazó, síma határfelületét mutatja.

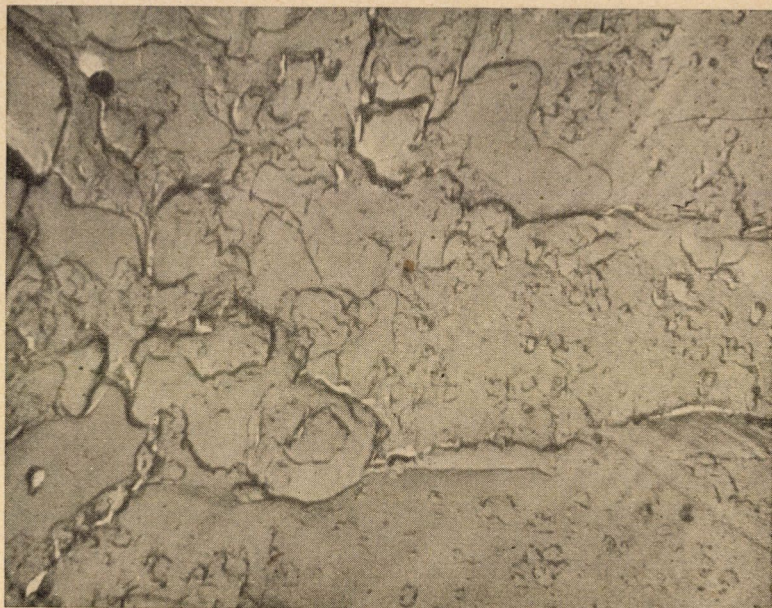
A vizsgálati anyagunk magrészének szövetszerkezetét ábrázolják a 15., 16., 17. és 18. ábrák. Ezekben a felvételeken a megeresztési sorbit alapszövetnek 8–14 000-szeres nagyítással felbontott finomszerkezetét láthatjuk, s ebben a szétszórtan beágyazott, változatos alakú és méretű karbid szemcséket.



4. ábra



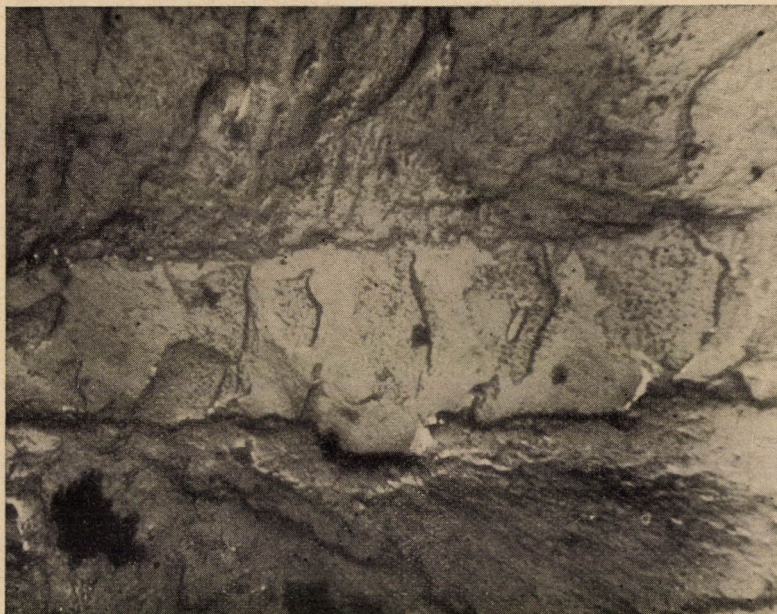
5. ábra



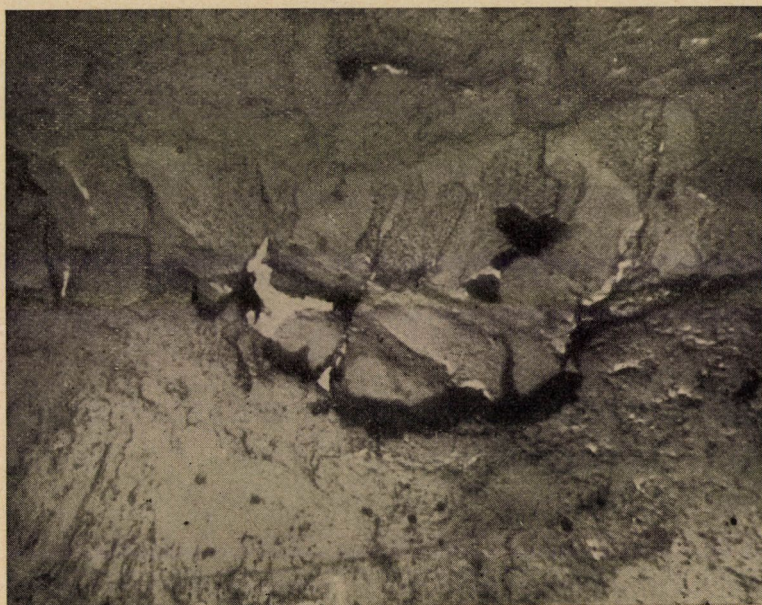
6. ábra



7. ábra



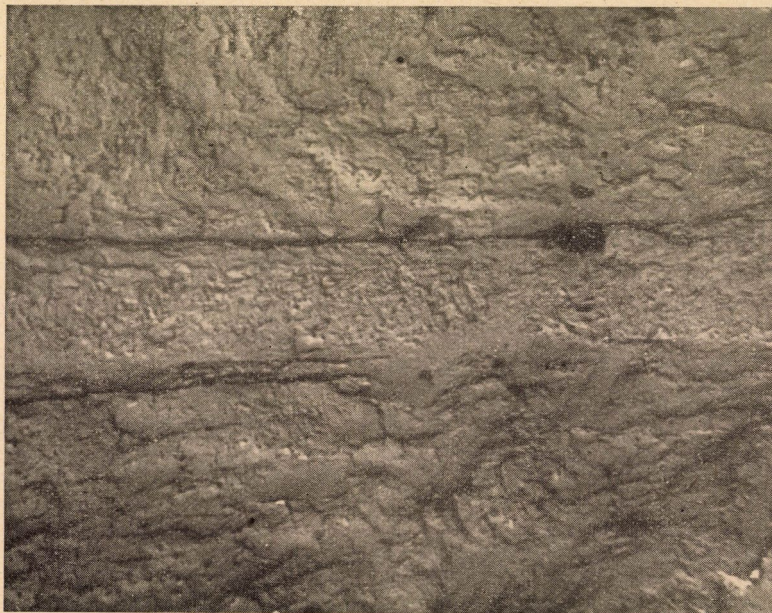
8. ábra



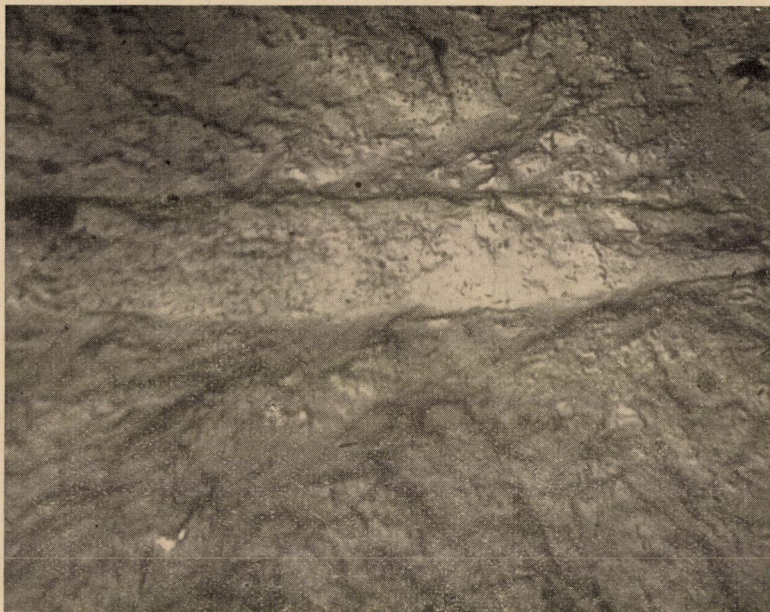
9. ábra



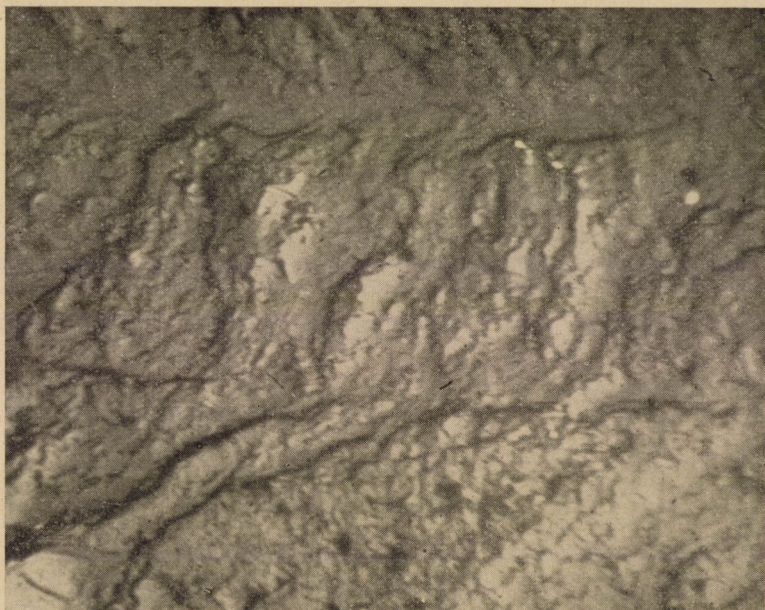
10. ábra



11. ábra



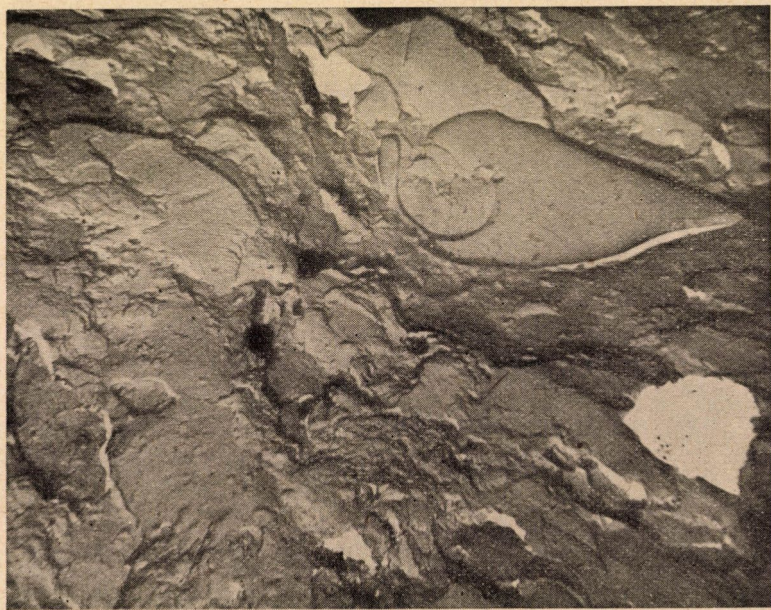
12. ábra



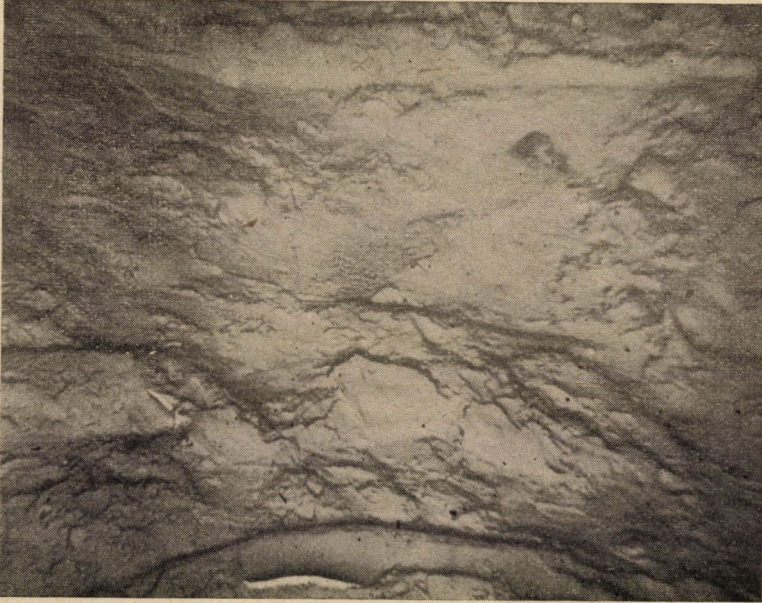
13. ábra



14. ábra



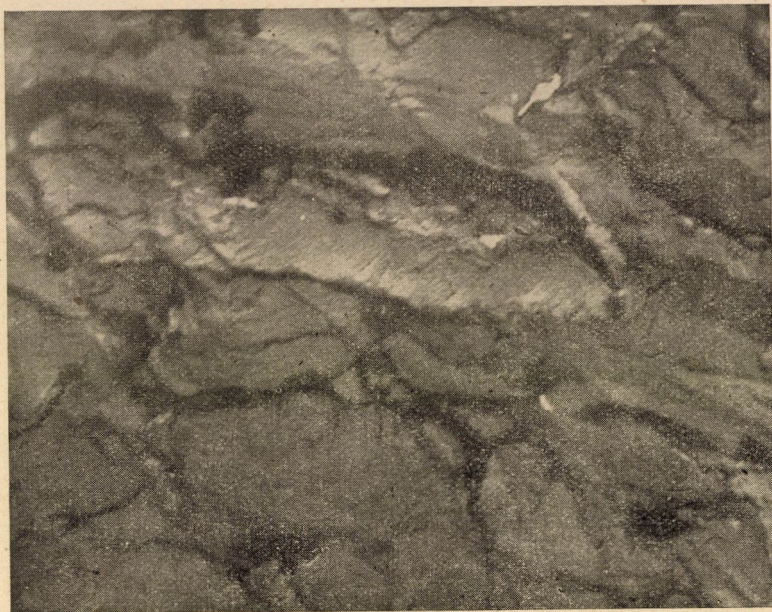
15. ábra



16. ábra



17. ábra



18. ábra

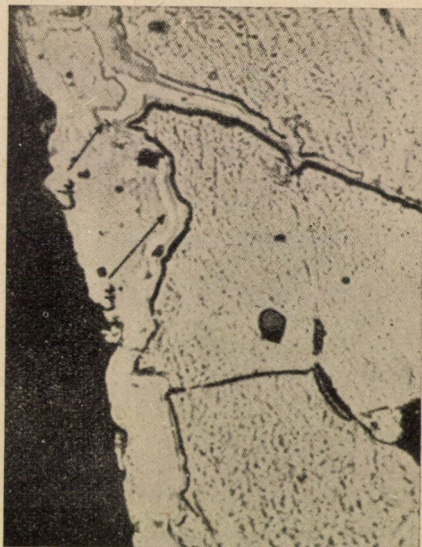


19. ábra

C) A kristályhatárközi fázis keletkezésének magyarázata

A leírt kristályok közötti fázis keletkezésének értelmezése céljából tekintjük át először a fentebb említett eltérő nézeteket:

Az egyik felfogás azokra a mikroszkópos megfigyelésekre, vizsgálatokra támaszkodik, amelyeket egyes szerzők [2] az acél rézszennyezése káros hatásának felderítésére végeztek. Ezen vizsgálatok szerint a legalább néhány tizedszázalék rezet tartalmazó acél hőkezelésekor a vas — az oxigénhez való nagyobb affinitása miatt — gyorsabban oxidálódik, mint az ötvözetet szennyező réz, ennek következtében a reve alatt rézdús fázis keletkezik. A rézdús fázis a réz

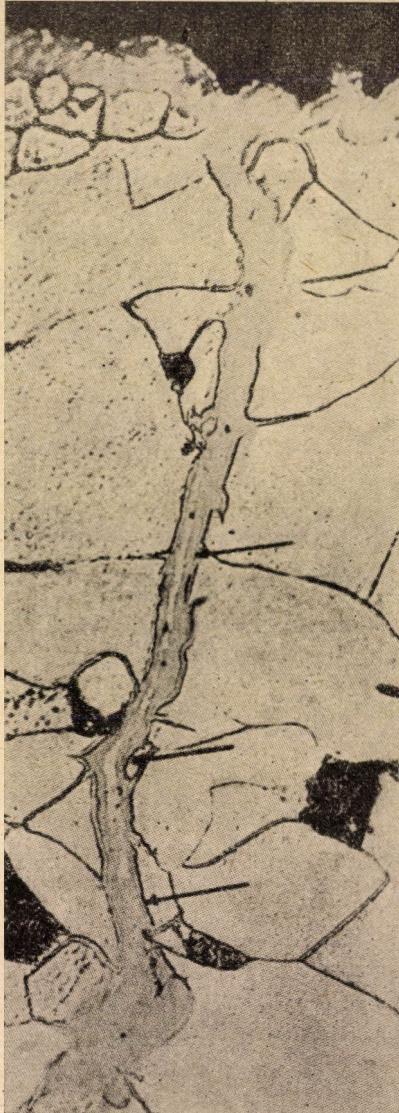


20. ábra

olvadáspontját meghaladó, sőt több kutató szerint még ez alatti hőmérsékleten is az austenit szemcsehatárok mentén hálózatos vagy csapalakú elemek alakjában a mélybe szívódik, s az így keletkező felületi szövetlazulás a melegrepedékenység növekedéséhez vezet. *K. Born* [2] fénymikroszkópos felvételeinek (19., 20. és 21. ábra) tanulmányozása és az elektronmikroszkópos felvételeink jellegzetességével való összehasonlítása könnyen meggyőz arról, hogy — bár a vizsgálati anyagunk 0,22% rezet tartalmaz — a kristályok közti szövetelemek képződése aligha magyarázható felületi rézdús fázis megjelenésével.

A másik felfogás a rozsdálló acélok kristályok közötti korróziójának magyarázatát próbálja alkalmazni a jelen vizsgálati anyagra. Ezen elmélet szerint a dús krómmal ötvözött acélok 450–900 C° hőmérsékletre való hevítésekor, illetve az ezt követő nem túlgyors lehűtésekor a króm és szén különböző diffúziós sebessége eredményeként a szemcsehatárokon krómkarbidok válnak ki,

ugyanakkor a környezetükben a krómtartalom csökken. A fázishatárokon mutatkozó koncentráció különbség, illetve a szövet egyenlőtlensége következ-



21. ábra

tében az ilyen állapotú acélok korrózióálló képessége erősen romlik. A kristályhatárok krómban való elszegényedésének elmélete még ma is erősen vitatott, sok érv szól mellette, de ellene is [3]. *Levin* és *Frumkin* szovjet szerzők határozottan kétségbe vonják elektródpotenciál mérési adataik alapján ezen elmélet

helyességét. Tény, hogy fénymikroszkópos vizsgálatokkal kétséget kizáróan még nem sikerült a határfelületi krómkarbid kiválását beigazolni.

A mi vizsgálati anyagunkban jóval kevesebb a nemes ötvöző elem, mint amennyi a rozsdálló acélokban van, ezért ezekhez hasonló viselkedést nem is igen várhatunk tőle. Az elektronmikroszkópos felvételeken a mélyebb szövetrétegekben található ugyan karbidszemcsék, a kristályhatárokon azonban nyoma sincs karbidkristály kiválásnak. Világos tehát, hogy krómkarbid kiválással előidézett korrózió elmélete helyett itt más magyarázatra van szükség.

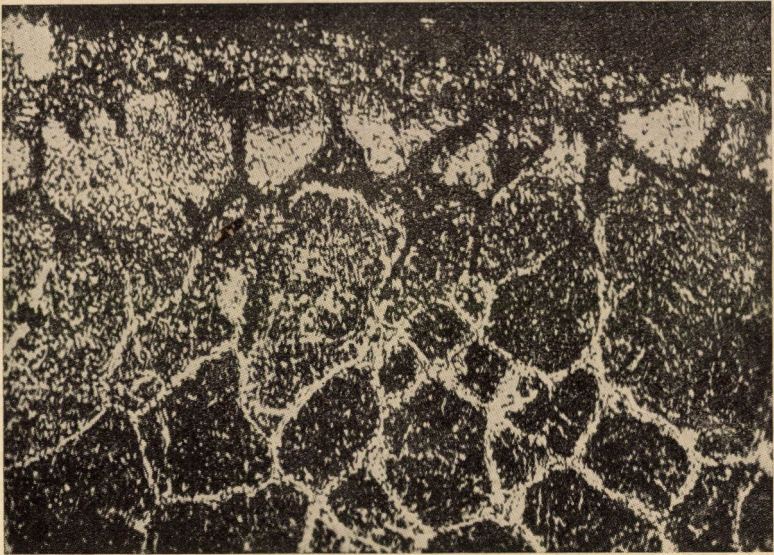
A kristályközi fázis keletkezésének nyilvánvalóan legelfogadhatóbb magyarázatához induljunk ki *Lehotzky Gyula* egyik tanulmányából, amelyet kis ötvözésű acélok, többek közt króm-wolfram-ötvözésű acél széntelenítési jelenségeivel kapcsolatban folytatott. *Lehotzky* megállapította, hogy egyes acél-fajtáknál az izzó acéllal érintkező levegő (oxigén) mennyisége szerint a széntartalom oxidálódása két lépcsőben megy végbe. Kisebb mennyiségű oxigén jelenlétében — pl. zárt elektromos kemencében — a részleges széntelenedés a kristályhatárok mentén terjed az anyag mélyébe. Nagyobb mennyiségű oxigén jelenlétében a széntelenedés (ferritesedés) nyomában ugyancsak a kristályhatárok mentén oxidáló korrózió mutatkozik, aminek következtében a felületi szövetelemek összeköttetése erősen meglazul. Ezeket a megállapításokat kitűnően mutatja egy kis króm-wolfram-ötvözésű acélról *Lehotzky* által készített, eddig még közzé nem tett felvétel (22. ábra).

Mi is végeztünk olyan kísérletet, hogy vizsgálati anyagunkat nyitott elektromos kemencében, tehát bőséges levegő jelenlétében az előírt idő kétszereséig tartottuk edzési hőfokon. Az erről a darabról készített fénymikroszkópos képen (23. ábra) világosan felismerhető a kristályhatárok mentén mélybehatoló, oxidációs korrózió, sőt a fedőrétegben nagyfokú szövetszétesés is.

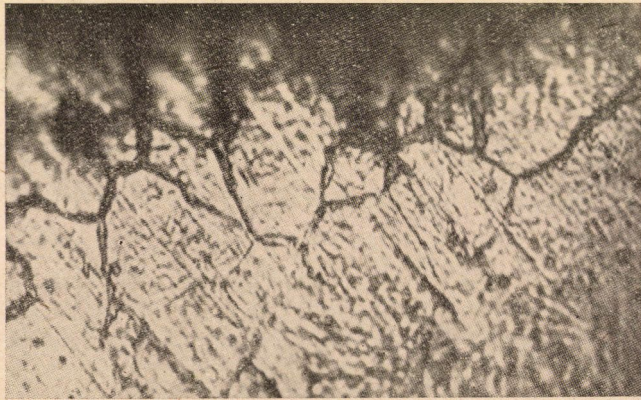
A *Lehotzky* és a saját fénymikroszkópos felvételeinknek, valamint az elektronmikroszkópos képeknek összehasonlítása alapján nézetünk szerint a selejtté vált alkatrész hibájának keletkezését a következőképpen értelmezhetjük :

Hőkezeléskor az alkatrész felületén, a vékony rézbevonat gyors leégése után, erősen ferrites fedőréteg keletkezett, majd a fedőréteg alatt, az aktív kristályhatárok mentén, a széntartalom felszín felé való diffúziója következtében, az alapszövettől minőségileg eltérő összetételű, ferritszerű új fázis képződött. A ferritben az eredeti szövetelemek lassan feloldódtak s ilyenformán az eredetileg egyenletes alapszövet kristályai közé elütő mechanikai tulajdonságú szövetelemek ékelődtek. A kristályok közti ferrit-fázis jelenléte — képződésének mértéke szerint akár rendezett, akár szerkezetnélküli ez a fázis — az alkatrész gyors periódussal váltakozó fárasztó igénybevételekor idő előtti anyagfáradásra, s a repedési hajlam növekedésére vezetett.

Az elmondottak alapján megállapíthatjuk, hogy bár a kérdéses selejtté vált alkatrész hibásodásának okát, vagyis a kristály közötti fázis megjelenését



22. ábra



23. ábra

fénymikroszkóppal is észlelni lehetett, a kristályhatárközi szövetelemek keletkezésének mechanizmusára vonatkozólag mégis csak az elektronmikroszkópos finomsztruktúra-felvételek s ezeknek más eredményekkel való összehasonlítása alapján lehet következtetéseket levonni.

*

Az elektronmikroszkópi felvételeket *Sugár Irén* és *Fodor Pál*, a Magy. Tud. Akadémia Elektronmikroszkópiai Laboratóriumának tudományos munkatársai készítették. Kiváló munkájukért mind nekik, mind az Elektronmikroszkópiai Laboratórium Vezetőségének ezen a helyen is köszönetemet fejezem ki.

IRODALOM

1. Symposium on metallurgical applications of electronmicroscope, London, 1950.
 - A. Schrader, F. Wever* : Arch. Eisenhüttenwesen, Nov. Dez. (1952) 489.
 - A. Schrader* : Arch. Eisenhüttenwesen, 24 (1950) 337 ; Stahl und Eisen 70 (1950) 1027 ; Z. wiss. Mikrosk. 60 (1952) 309.
 - A. Hultgren* : Trans. ASM. 39 (1947) 915.
 - A. Rose, W. Peter* : Stahl und Eisen 72 (1952) 1063.
2. *F. Eberle* : Metals a. Alloys 15. (1942) 758.
 - H. K. Ihrig* : Iron Age 86 (1944) 170.
 - C. E. Williams, C. H. Lorig* : Metals a. Alloys 7 (1936) 57.
 - G. G. Foster, I. K. Gilchrist* : Metallurgia, The Br. J. o. Metals, May (1952) 225.
 - U. R. Evans* : Introd. to metallic corrosion, London, 1950.
 - F. Nehl* : Stahl und Eisen 53 (1933) 773.
 - H. Schrader* : Techn. Mitt. Krupp 2 (1934) 136 (ref. alapján).
 - H. Schoutky, K. Schichtel, H. Stolle* : Arch. Eisenhüttenwesen 4 (1930) 541.
 - K. Born* : Stahl und Eisen 73 (1953) 1268.
3. *E. B. Bain, R. Aborn, J. Rutherford* : Trans. Am. Soc. Steel Treat 21 (1933) 481 (ref. alapján).
 - J. A. Levin, A. A. Babakov, Z. V. Ljutova* : Vesztnik inzs. i. techn. 2 (1950) 66.
 - E. C. Rollason* : Journ. Iron a. Steel Inst. 127 (1933) 391.
 - J. A. Levin, A. N. Frumkin* : Dokladi Akad. Nauk SzSzsZr, Nov. ser. 83 (1952) 701.
 - M. B. Sapiro* : Vesztnik Masinosztroenija 32 (1952) 63.
 - H. F. Tremlett* : Welding a. Metallfabr. 21 (1953) 136.

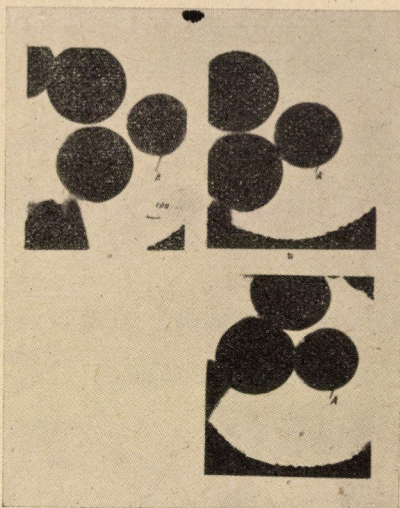
LÁTSZAT ÉS VALÓSÁG AZ ELEKTRONMIKROSKÓPOS KÉPBE

Prof. A. ECKHARDT

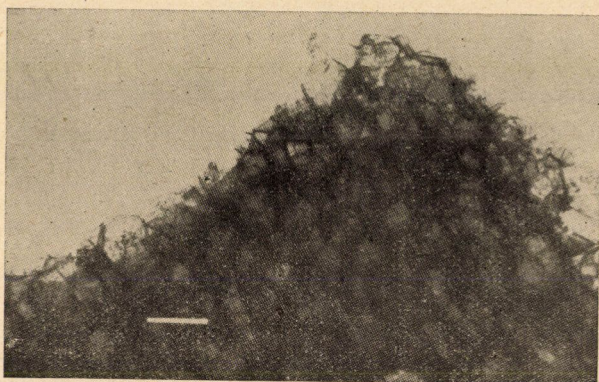
SCHILLER EGYETEM FIZIKAI INTÉZETE, JENA

Az elektronmikroszkópos vizsgálati módszer egyik feltétlen hátránya az elektronok és anyag közötti kölcsönhatás. Az elektronok szóróképessége 10^8 -szorta nagyobb, mint a röntgensugarak szórása. Az elektronoknak kerek 50%-a nem elasztikus módon szóródik és ezek felmelegítik a vizsgálandó tárgyat. A zavaró hőhatás mellett még az átjárt rétegek változó ionizációjával is számolnunk kell. Ennélfogva kezdettől kérdéses az, hogy egyáltalában lehetséges-e elektronokkal az olyan képszerű ábrázolás, amely a valóságnak megfelel. Példátlan merészségnek tűnik, hogy annakidején az elektronmikroszkópia úttörői érzékeny biológiai tárgyak vizsgálatával kezdtek foglalkozni és valójában találtak olyan képet, amely a két nagyságrenddel nagyobb nagyítási határon belül annak felelt meg, amit fénymikroszkópból szerzett tapasztalatok alapján nagyjából várni lehetett. Az a kérdés, hogy tulajdonképpen mit ábrázol az elektronmikroszkópos kép, azóta is foglalkoztatta a kutatókat. A valóság és látszat körüli vita máig is tart és megközelítő magyarázatot csak az utóbbi években kaptunk. Ez nemcsak biológiai tárgyakra vonatkozik, hanem tulajdonképpen minden vizsgált anyagra, amelyet a gyors elektronokkal történő besugárzás több száz fokra felhevíthet.

Elgondolásaimat olyan jelenséggel szeretném kezdeni, amely a nem biológiai anyagok változásait is világosan megmutatja. Ha pl. kis kolofonium golyócskákat vizsgálunk, úgy ezek nagysága és átvilágíthatósága megváltozik a mikroszkópban az elektronokkal történő besugárzás következtében. Az egymáshoz közelálló golyócskák összenőni látszanak, miközben a nagyobbak gyorsabban növekednek, mint a kicsik. A golyók — különösen a felületen — átlátszóbbak lesznek és egy burkot kapnak, röviden az anyag határozottan megváltozik (1. ábra). Hasonló jelenség mutatkozik finom kristálykák vizsgálatánál is. Zinkoxidtűk könnyen átbocsátó burkot kapnak és ily módon is növekedni látszanak. Hasonló változások észlelhetők biológiai tárgyakon is, mindamelllett az alakhúség jól megmarad. Átfogó módon magyarázza ezeket a változásokat Könignek a szerves anyagok elektronsugárral történő elszenesítésére vonatkozó vizsgálata. Ezzel az átalakulással kapcsolatos a felületen képződő, a szénhidrogénszármazékok bomlástermékeiből álló fedőréteg, mely végül elszenesedik.



1. ábra

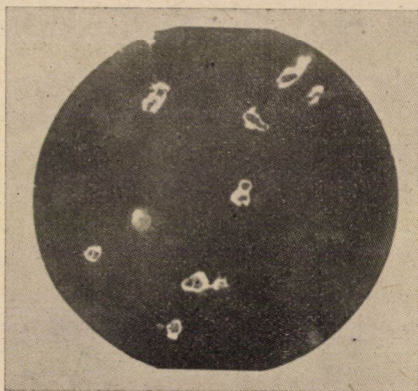


2/a ábra

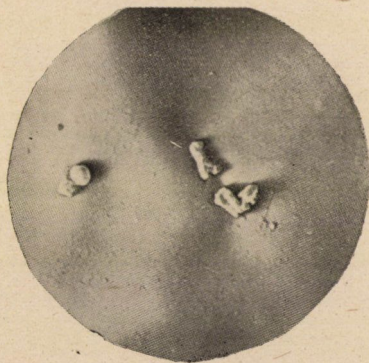


2/b ábra

König H. és Helwig G. ezt a hatást felhasználták érzékeny preparátumok szén-hasonmásának előállítására, amelyek az elektronsugár behatására már nem változtak a vizsgálat során. A tulajdonképpeni preparátumanyagot a szénburok-

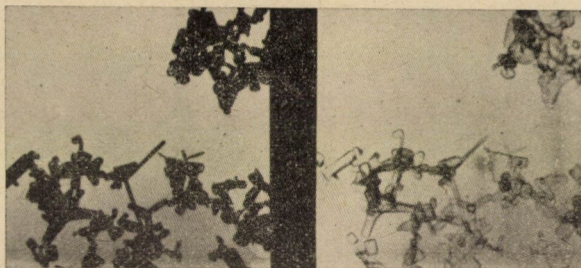


3/a ábra



3/b ábra

ból kigőzölték vagy kioldották (lásd 2a, 2b és 4. ábra). A maradéktalanul eltávolított készítmény helyén megfelelően alakú szényszerkezetet látunk, amelyet erősen elektronszóró fémrel való beárnyékolással kontrasztdússá lehet tenni



4. ábra

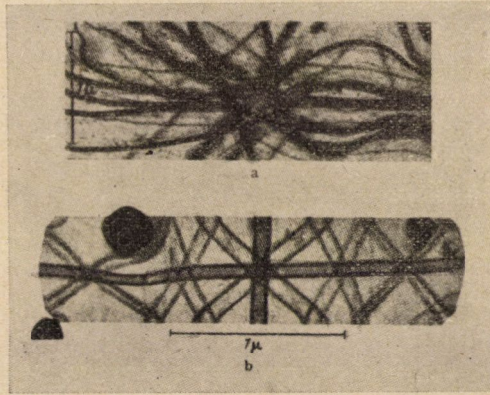
és ismert árnyékolási szög esetében az árnyékok lehetővé teszik a vizsgált tárgy magassági megmérését (átnézeti irányban!). Példaként említjük a gumigyártásnál alkalmazott könnyen párologó kolloidális kénrészecskék szemcsenagyságának meghatározását. A kénnek az elektronsugárban történő elgőzölgötése után a szén, vagy a mesterségesen felvitt SiO₂-burok marad meg, amely a továbbiakban arannyal árnyékolva lehetővé teszi a részecskék nagyságának és alakjának pontos mérését (3a és 3b ábra). Ily módon a kényszerűség előnyös megoldást hoz, amennyiben a bomlékony preparátum helyett a vizsgált tárgy alakhű és hőálló hasonmásával rendelkezünk. Így megértjük a baktériumok és hasonló

biológiai tárgyak elektronsugárral történő ábrázolásának lehetőségét; a valószínűségben csak az elektronsugárban keletkezett szénszerkezeteket, illetve szénvázakat látjuk, amikor is a szerencsés módon alakhű szerkezet mellett még bizonyos változásokkal számolni kell.

Ha nem akarunk érzékeny anyagokat vákuumnak vagy elektronsugárzásnak kitenni, akkor az eredetileg a fénymikroszkópiában használt és *Mahl* által a fenti speciális cél elérésére, kidolgozott lenyomati eljárást alkalmazhatjuk. Sajátságainak megfelelően ez az eljárás különösen vastag, az elektronok számára áthatolhatatlan rétegek felületének reprodukálására alkalmas. A természet ilyen folyamatot ott bocsát önként rendelkezésre, ahol az anyag olyan vékony oxidréteget alkot, amely a felületről könnyen leoldható. Ennek iskolapéldája az alumínium, amelyről az oxidlevonatok alapján a legjobb elektronoptikai felületi felvételek állnak rendelkezésre. Ez az eljárás nehezen alkalmazható egyéb fémekre; általánosabban használható az ugyancsak *Mahl* részéről megadott lakklenyomati eljárás. A hígított zaponlakkból készített bevonat olyan hárttyát képez, amely a felület finomságait matricaként felveszi. Ennek a módszernek előfeltétele az a lehetőség, hogy a vékony lakkréteget az alapról sértetlenül lehessen leválasztani. Az utólagos ferde árnyékolás ebben az esetben is a felületet jól és térszerűen kiemeli. Nagyon finom szerkezeteknél a felületi feszültségek ezt az eljárást kedvezőtlenül befolyásolják, a lenyomatoknál hiányzik a szükséges pontosság, az élek lekerekítése figyelhető meg és a hibák az árnyékolás ellenére sem küszöbölhetők ki. Az utóbbi években számos új eljárás alakult ki, mindenekelőtt az a replika-eljárás, melynél a vizsgálandó felületet először valamely alkalmas fémmel (arany, platina) közvetlenül kell leárnyékolni. Ezt a felvitt réteget azután az alapról történő leválasztás előtt megóvás végett lakkréteggel vonjuk be, illetve SiO -val gőzöljük be. A levétel után a lakkréteget hevítéssel párologtatjuk el. Feltételezve, hogy az alkalmazott fémréteg elektronoptikai szempontból nem rendelkezik feloldható szerkezettel, az eredeti tárgy legkisebb finomságai is visszaadhatók. Utoljára említjük azon lenyomatokat, amelyeknél legújabban polistirolból, plexianyagból vagy fémből matricát készítenek, és amelyről SiO -val vagy C-vel történő rágőzölés után eltávolítható patrica készül. Ez az eljárás akkor ajánlatos, amikor a lakkhártya, illetve a rágőzölt réteg az eredetiről nem távolítható el. A SiO -hártyának többnyire az az előnye, hogy magától könnyen leválik. Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy ezen eljárások esetében a tényleges tárgy helyett, melyet elektronoptikai úton figyelünk meg, csak annak kellően ellenállóképes anyagból készült alakú lenyomatát érzékeljük.

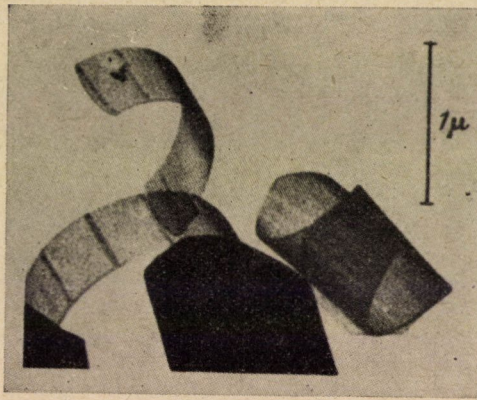
Az elektronmikroszkópiával foglalkozók számára már régóta jólismert jelenség az, hogy monokristályokból álló hárttyák vizsgálatánál sávok és vonalak mutatkoznak, amelyek gyakran bonyolult alakúak és változékonyak. Kézenfekvő volt a fent leírt és könnyen elérhető idegen anyagbevonatot ezen hatás magyarázatául felhasználni. Különösen MoO_2 -hártyáknál mutatkoznak ilyen

tipikus csíkok, amelyek hevítéssel befolyásolhatók (5. ábra). Ezen jelenség magyarázatát *König, Möllenstedt* és *Hampe* abban találták, hogy a kristály-



5. ábra

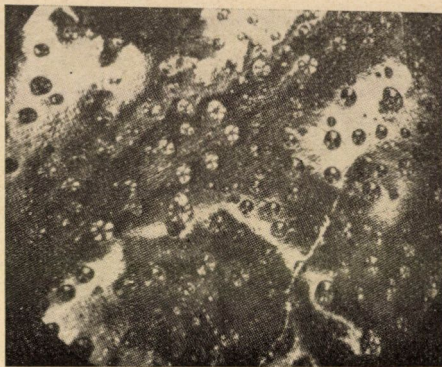
lamellákat különleges módon hajlították, melynek következtében a csíkokat előidéztek, illetve megváltoztatták. Így világossá vált az a tény, hogy a lamellák hajlított rácsán jelentkező elektron-interferenciáról van szó. Az elektronok ott



6. ábra

hajolnak el és az ábrázoló fősugárból ott hiányoznak, ahol a Bragg-féle szög előfordul (6. ábra). Ezeknek a jelenségeknek az elektronsugárnyalábok irányának változásával kell eltolódnik és ezzel is meg tudjuk állapítani, hogy a vizsgált tárgy reális tulajdonságával vagy interferencia jelenséggel van-e dolgunk. Ha a tárgyat kis aranygolyócskákkal terheljük, elhajlásokat idézünk elő, amelyek az interferencia jelenségek lefolyására hatnak. Ugyanígy WO_2 -vel

történő egyoldalú legőzöléssel a MoO-kristályokat mesterségesen elhajlíthatjuk (7. és 8. ábra). Az interferencia-gyűrűket, mint ahogy az a geometriai elhajlás



7. ábra

elrendezéséből látható, könnyen lehet a sötét látótérben ábrázolni. Az elektron-diffrakciós rés alkalmazása a következők megismerését teszi lehetővé: a keletkező Laue-diagramok indexelését, a jelenlevő hálózati síkokat és így a Bragg-



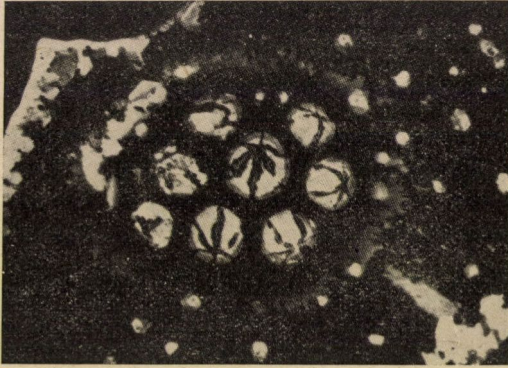
8. ábra

féle szöveget, továbbá a fólának a sugárhoz képest való hajlását és görbületét (9. ábra). A szubmikroszkópos elhajlások tehát az interferenciacsíkok méréséből a különböző elhajlási rendszerekben meghatározhatók (12. ábra). Az elektron-mikroszkópos kép egyes részletei mérés útján történő meghatározásának lehetősége ezt a területet rendkívül kiszélesítette (10. és 11. ábra).

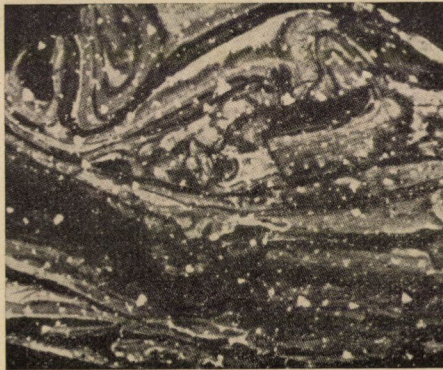
Az ismertetett szemlélet alapján a legutóbbi időkben *Möllenstedt G.* és *Rang O.* a kristályos anyagokon megfigyelt rendkívül érdekes jelenségnek tudtak fizikai magyarázatot adni és ezzel a különösen mineralógusok számára



9. ábra

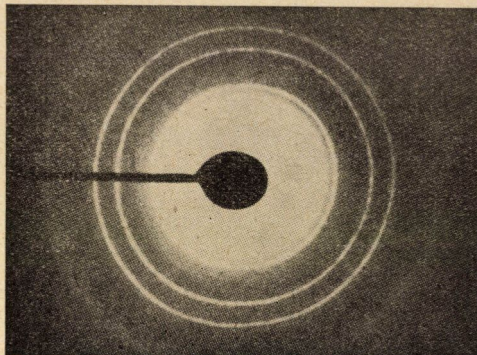


10. ábra



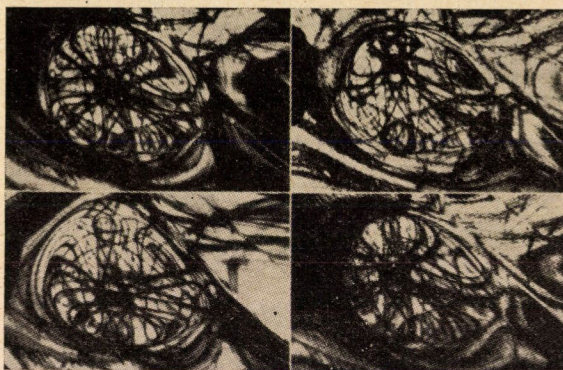
11. ábra

fontos eredményeket értek el. Ha monokristály-lamellákat vizsgálunk, a fent leírt elhajlási csíkok mellett gyakran kis gömbölyű képződmények figyelhetők meg, amelyek finom vonalrendszerrel kitöltöttek látszanak; ezek gyakran



12. ábra

virágokra vagy díszítésekre emlékeztető rajzolatot mutatnak (13. ábra). A besugárzási irány megváltoztatásával könnyű kimutatni, hogy itt nem valóságos



13. ábra

zárványokkal, hanem ugyancsak elektroninterferencia-képekkel van dolgunk. Nevezett szerzők különösen PbJ_2 -n állapították meg azt, hogy ezek a kis pontképződmények gyakran az elektronsugárzás hatására keletkeznek. Kossel W. nyomán teljes sikerrel kísérelték meg ezt a monokristályokban levő kis üregek hatásaképpen megmagyarázni. Erre különösen alkalmasak voltak a vékony PbJ_2 -lamellák, mert a konvergens elektronsugár hatására keletkező Kikuchi-vonalak különösen jól megfigyelhetők voltak és így megismerhettük az egyes reflexekhez tartozó hálózati síkokat. Elsőnek Möllenstedt mutatta ki, hogyan

határozhatjuk meg PbJ_2 , csillám és egyéb kristály-lamellákon a megfigyelt vonalrendszerből a zárványként megfigyelhető üregek magasságát. Később ezen mikroüregek szabályos topográfiajáról végzett pontos meghatározásokat O. Rang az említett sötétlátóteres interferenciavonal felvételeken a Laue-reflex ismert rekeszelésével. (Úgynevezett diffrakciós lencse alkalmazásával.) Az így megfigyelt kristályüregek nagysága $1,00-0,05 \mu$ között van. Az eljárás mérési pontossága Rang szerint 15%. Hasonló interferenciajelenségek tapasztalhatók, ha a zárvány csak részben figyelhető meg, azaz az eredetileg megfigyelt üreg nyitott; ez esetben hiányzik az alsó kristályrétegből származó tükröképszerű rész. Möllenstedt, Rang, König, Rampe és más kutatók nemcsak érdekes jelenségek felderítésével dicsekedhetnek, hanem megteremtették annak a lehetőségét is, hogy a tulajdonképpeni elektronmikroszkópos képen nem mutatkozó harmadik dimenziót is érzékelni tudjuk (a térben). Magától értetődik, hogy a monokristályrétegeknek az elektronsugár hatására polikristályos anyaggá történő átalakulásakor az interferenciajelenségek eltűnnek. Az ilyenfajta vizsgálatoknál az elektronsugár intenzitásával igen gondosan kell bánni és a nagymérvű besugárzást kerülni kell. Másrészt viszont a leírt üregek, mint ahogy erre már céloztunk, az elővigyázatos elektronbesugárzás következtében valószínűleg a kristályok hibahelyein elektronoptikai szempontból látható nagyságrendűvé válhatnak.

Ha az ismertetett kísérleteket az elektronoptikai »schlieren«-eljárás egyik válfajának tekintjük, úgy röviden a valódi »schlieren«-optikát is meg kell említeni, amelyet a legutóbbi időkben mágneses és elektromos mezők ábrázolására fejlesztettek ki (ez néhány anyag, mint acélhuzal, magnétofonszalag, báriumtitanát vizsgálatát öleli fel). Ebben az esetben a fényoptika analógiájára egy, a tárgyat beborító finom hálót is ábrázolunk, ezen háló képének torzulásából a tér alakulására vonatkozó következtetéseket tudunk levonni. A járulékos saját mezőket tehát szándékosan »képhamisításhoz« használjuk fel. Elsőként kell megemlítenünk ebből a szempontból *Marton L.* munkáját.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az utóbbi 5–10 évben a tárgynak az elektronsugárral szembeni magatartását nagy vonalakban tisztáztuk. Az elektronoptikai ábrázolásban a látszat és valóság, amennyiben a tárgyra vonatkozik, fizikai megjelenésében kielégítő módon elválasztható. Az alapvető magyarázatoknak nagy része a preparatív eljárás továbbfejlesztéséhez és az elektronoptikai vizsgálati módszerek mérés technikai értékelhetőségéhez vezettek. Tudjuk tehát, hogy érzékeny biológiai tárgyak milyen mértékben változékonyak és ennek következtében tudjuk azt, hogy milyen elővigyázatosnak kell lennünk a műtermékekkel szemben. Másrészt viszont számos olyan eljárást ismerünk, amelyek elektronsugárzásnak ellenálló anyagból, alkhú és finomságaiban is megfelelő matricákat és hasonmásokat szolgáltatnak. Éppen ebben az esetben tapasztalhattuk, hogy a szerves anyagok is az elektronoptikai vizsgálatoknál komoly fejtörést okozhatnak. Az interferenciavonalak magyarázata számos

esetben a vizsgált tárgyak képzeletszülte szerkezetét valóságban mutatta meg, ugyanakkor új mérési eljárásokhoz is jutottunk, különösen akkor, amikor figyelmünket az ilyen képződmények meghatározására fordítottuk.

HOZZÁSZÓLÁS

GUBA FERENC

Az elektronmikroszkópos vizsgálatok nagyon sokszor műtermékek képződésére vezetnek és ezt mindig a legnagyobb mértékben figyelembe kell venni. Szeretne választ kapni arra a kérdésre, hogy végeztek-e kémiai vizsgálatot annak megállapítására, milyen bomlási termékek keletkeztek kolofónium részecskéék elektronsugarak következtében bekövetkező szennyeződésekor. A londoni elektronmikroszkópos kongresszuson Little hasonló témával foglalkozott: nukleinsavak és proteinek bontási termékeit vizsgálta meg.

BESZÁMOLÓ AZ MTA MÉRÉSTECHNIKAI ÉS MŰSZER- ÜGYI INTÉZETÉNEK ELEKTRONMIKROSKÓP OSZTÁLYÁN FOLYTATOTT FÉMVIZSGÁLATOKRÓL

GUBA FERENC

MTA MÉRÉSTECHNIKAI ÉS MŰSZERÜGYI INTÉZETE, ELEKTRONMIKROSKÓP LABORATÓRIUM

Az Elektronmikroszkóp Laboratórium munkája főleg a nagy molekulájú anyagok szerkezetének vizsgálatához fűződik. Emellett azonban a felmerülő kérdéseknek megfelelően eleget kíván tenni a fémvizsgálati kutatásokat illető igényeknek is. A következőkben beszámolok azon munkákról, amelyek ebben a vonatkozásban eddig folytak. Ezt megelőzően azonban az elektronmikroszkópos fémvizsgálatok mai fejlettségi fokáról és értékeléséről néhány szót mondok.

A fémfelületek elektronmikroszkópos vizsgálata ma kétféleképpen történhetik. Egyrészt transzmissziós elektronmikroszkóppal: itt a felületről vékony hártya alakjában közvetett vagy közvetlen lenyomat kerül átvilágításra. Másrészt reflexiós elektronmikroszkóppal: itt a fémfelület közvetlen vizsgálatáról van szó. Utóbbi módszertanilag sokkal közelebb van a fénymikroszkópos szemlélethez, azonban ezekkel a készülékekkel ma még 500 Å-nél jobb felbontást nem igen lehet elérni. A képszelek torzultak és csak a kép közepe jöhet számításba az értékelésnél. Ma még a fémfelületi vizsgálatok jórészt transzmissziós mikroszkópokkal folynak. Az itt felmerülő preparatív nehézségekre most nem akarok kitérni. Annyit azonban meg kell jegyeznünk, hogy ma a fémfelületi vizsgálatok mindegyikénél szükség van arra, hogy az adott fém és a vele kapcsolatos probléma természetének megfelelően kell kiválasztani az előkészítő módszert és esetenként mérlegelni a műtermékképződés lehetőségét. További nehézséget jelent morfológiai azonosításoknál az a szakadás, ami az elektronmikroszkópos és a fénymikroszkópos nagyítás között van. Ezen a téren ma már erős a fejlődés, mert egyre több komerciális mikroszkóp rendelkezik folytonos nagyítási átmenettel a fénymikroszkópos tartományból az elektronmikroszkóposba. Az elektronmikroszkóppal nyújtott két nagyságrenddel nagyobb felbontás újabb és újabb fémszövetstruktúrákat tár fel, amelyek a fénymikroszkópos képeken hiányoznak és így ezek értelmezésére is szükség van. Mindezen nehézségek ellenére, vagy éppen ezek miatt, ma már az egész irodalom egyre több figyelmet fordít az elektronmikroszkópos fémfelületi kutatásokra. *Schrader* pl. jelenleg vas-szénötvözetek legegyszerűbb típusainak elektronmikroszkópos vizsgálatával foglalkozik és érdekes, hogy kutatásaiban a sokak részéről nem kedvelt közvetlen replikákkal dolgozik. Az elektronmikroszkópos felvételek a vizu-

ális benyomást illetően is mások, mint a reflexiós fénymikroszkópi képek. Mind az utóbbi vonatkozásban, mind pedig a felbontóképesség és nagyítás tekintetében a fénymikroszkóp és elektronmikroszkóp közti különbségeket át fogja hidalni véleményünk szerint *Möllenstedt* és *Keller* újonnan szerkesztett különleges reflexiós (ionágyus, elektronleképezésű) mikroszkópja, amelynek nagyítása és felbontása éppen a fény- és az elektronmikroszkóp között van. A módszer lényege az, hogy 20 kV-on gyorsított csősugarakkal a felületen kiváltott elektronok egy immerziós objektívvel kerülnek ábrázolásra. E módszernél tehát a sugarak a felületről közvetlenül reflektálódnak, mint a fénymikroszkópnál, az elektronobjektívvel való ábrázolás folytán azonban a fénymikroszkópénál nagyobb a felbontóképesség (max. 500 Å).

A fémporok elektronmikroszkópiája terén igen nagy nehézséget jelent a részecskék kellő diszperziójának elérése. Ma még nincsen egyetemesen alkalmazható preparatív módszer ezen a területen sem és — mivel itt is egyedi preparálási módra van szükség minden egyes objektum esetén — esetenként kell diszperziós módszereket kidolgoznunk.

Lássunk most a következőkben néhány, a laboratóriumban végzett vizsgálatot. Kiterjedt vizsgálatokat végeztünk morfológiai vonatkozásban vas-szén-ötvezeteken. A cél az volt, hogy egyszerű alapstruktúrák elektronmikroszkópos felvételeit összehasonlítsuk a fénymikroszkóppal kapott felvételekkel és megállapítsuk azt a többletet, amelyet a fénymikroszkóppal szemben az elektronmikroszkópi felbontás nyújthat. Eddig a következőket vizsgáltuk: Kémiailag tiszta vas, szemcsés és lemezes perlit, szorbit, martensit stb. Az azonosítás számos esetben sikerrel járt, sok esetben azonban az elektronmikroszkóp olyan újabb részleteket is feltárt, amelyek idegenek a fénymikroszkópos szemlélet számára. Ilyen esetekben morfológiai megállapításainkat egyéb vizsgálatok eredményeivel is alá kell támasztanunk. Morfológiai kérdésekben a fénymikroszkópos eredményekkel való összehasonlításban nehézséget okoz a vizsgálat módszereinek különbözősége. Remélhető azonban, hogy az áthidalást kitűnően meg fogja oldani az említett *Möllenstedt*-féle egyencsés reflexiós mikroszkóp.

A gömbgrafitképződés problémájával kapcsolatban is folytattunk morfológiai vizsgálatokat. Ezen a téren sajnos a kísérleti módszert nem sikerült olyanán fejlesztenünk, hogy jelentősebb eredményekhez juthattunk volna. Nagy valószínűség van annak, hogy a szokásos fénymikroszkópi és maratási eljárások éppen a grafit szemcse metszetének struktúráját teszi tönkre. Egyes sikerült felvételeinknek érdekessége, hogy a grafiton belül jellegzetes rétegvonalakat találtunk. A legvalószínűbb feltevés az, hogy ezek a rétegvonalak igen vékony, a bázissíkba eső rétegek metszéséből származnak. Ilyenfajta felvételeket eddig az irodalomban sem találtunk. Legújabban *Tsuchikura*, *Kusakawa* és *Okumoto* japán kutatók számoltak be eddig még nem közölt eredményekről ezen a téren. A mienkéhez hasonló rétegvonalakat ők is találtak. Az ő felvételeikből azonban arra lehet következtetni, hogy a grafit szemcsében levő rétegek síkja mindig

merőleges a szféra centrumára. Az említett kutatók katódmaratást alkalmaztak, ami lehetővé tette a grafit szemcse metszeti felületének épségben maradását, szemben a szokványos eljárással, amelynél csiszoláskor a puha grafitfelület struktúrárészei elmosódnak.

Ismeretes, hogy fémszórással készített bevonatok, rétegek, tömbök szilárdsági vizsgálatok az öntéssel készült darabokhoz képest eltérő értékeket kapunk. A csökkent szilárdsági viszonyoknak a morfológiában is tükröződniük kell. Az ide vonatkozó elméletek és megfontolások, valamint a fénymikroszkópos megfigyelés alapján nyilvánvaló volt, hogy ezt a kérdést a szemcsehatárok szerkezetének megismerésén keresztül kell vizsgálnunk. Szórt fémek szemcsehatármorfológiáját illetően rézbevonat vizsgálata szolgált modellkísérletül. Azért, mert itt a határokon keletkező termékek felismerése viszonylag könnyű. Azonban fénymikroszkóppal a szemcséket elválasztó oxidréteg kapcsolódásának mibenlétét nem lehetett tovább követni. Elektronmikroszkópos vizsgálataink alapján a szemcsék egymáshoz való kapcsolódását illetően a következő megállapításokat tehetjük: 1. Vannak olyan szemcseérintkezések, ahol fém-fém kapcsolódás van, oxidréteg pedig nincs jelen. Itt a választóvonal igen éles. 2. Amikor a szemcsék között Cu_2O réteg van: a fém és az oxid között ilyen éles elválasztó vonal nincs. Ebből arra lehet következtetni, hogy a fém és az oxid között kohéziós kapcsolat van. 3. A szemcséken belül és a szemcsehatárokon diszpergált állapotban, vagy erek alakjában CuO található. Ez hozzájárul a szemcsék nagy keménységének megmagyarázásához. Az elektronmikroszkópos felvételek alapján a határréteg struktúrája nyomon követhető volt. A szemcsék a felületre való becsapódáskor alakváltozást szenvednek. A szabályos vagy közel szabályos gömbalak ellaposodik. Felületén, amely a következő szemcsékkel fog érintkezni, Cu_2O -réteg van. Az is előfordul, hogy becsapódáskor a felületi oxidréteg megreped és így az előző szemcsék oxidrétege a következő szemcse fémanyagával kerül kapcsolatba. Bizonyos valószínűséggel előfordul, hogy két oxidréteg nélküli szemcsefelület találkozik. A felrepedt és lepattogzott oxiddarabok zárványokat, szigeteket alkothatnak.

Ismeretes, hogy az ultrahangkeltésnél, továbbá bizonyos híradástechnikai vonatkozásokban felhasználásra kerülő finomszemcsés vasporoknál elsőrendű a szemcsenagyság és a szemcséket burkoló természetes vagy mesterségesen felvitt rétegek kérdése. Más intézetekkel közösen több idevágó vizsgálatot végeztünk. Így vizsgáltunk pl. vasformiátból redukcióval előállított porokat az oxidálódás különböző stádiumában. A szemcsenagyság eloszlását elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. Mágneses diszperziós módszerrel sikerült a szemcsék egyedi különállását biztosítanunk és így valódi eloszlásokat mérnünk. A kapott eloszlásban a részecskék szabályosan szférikusak, a kristálylapok lineáris dimenziói oly kicsinyek voltak, hogy az elektronmikroszkóp azokat már nem bontotta fel. A gömbalaknak ultrahangkeltési szempontból jelentősége van, annyiban, hogy az ettől való eltérés (pl. megnyúltság) a koercitív erő nagy-

sága szempontjából leronthatja azt a hatást, ami a kis szemcsenagyság tulajdonsága. A nagyságeloszlás a 200–2750 Å-ös intervallumba esett. Más szerzők megfelelően találtak pl. már olyan eloszlásokat, amelyek az 500–3000 Å intervallumba estek. Így vizsgálatainkkal sikerült kimutatnunk, hogy a két követelménynek — szféricitás és kis szemcsenagyság — a vizsgált anyag messze-meszeen eleget tett. Az anyag kristályszerkezetét illetően elektrondiffrakciós vizsgálattal kimutattuk, hogy a vas és a jelenlevő vasoxid nem kapcsolódik komplex ráccsá — amint az kérdéses volt —, hanem egymás mellett és egymástól függetlenül vannak meg oly módon, hogy az oxid felületi réteget alkot a vaszemcséken és FeO alakjában van. A diagramban a vasvonalakból átlagos szemcsenagyságot kiszámítva és azt összevetve az elektronmikroszkópos eredményekkel, a felületi oxidréteg átlagos vastagságára hozzávetőleges becslést tehettünk. Más módszerrel előállított vasporoknál a kellő diszperziót nem tudtuk elérni és így elektronmikroszkópos szemcsenagyságmérésnek és a nagyságeloszlás felvételének nem lett volna értelme. Ilyen esetekben röntgendiffrakciós reflexkiszélesedésből mértük a szemcsenagyság átlagértékét.

Hasonló problémával volt dolgunk a katalizátorként használt finom eloszlású rézkromit és ezüstporok vizsgálatánál. A részecskék különállását, egyedi szemlélhetőségét biztosító diszperziót nem sikerült elérnünk. Ez a kérdés ma még egyáltalán nem megoldott és azt mondhatjuk, hogy úgyszólván minden egyes objektumnál külön módszer kidolgozására van szükség. Ezekben az esetekben ma még egyéb, főleg diffrakciós vizsgálatokra vagyunk utalva. A fémporok elektronmikroszkópiájának fejlődését főleg a kellő diszperziós módszer hiánya gátolja.

Bizonyos optikai műszerek üvegprizmáin ismeretlen eredetű homályosodás volt tapasztalható. Különböző üzemi vizsgálatok alapján nem lehetett eldönteni, hogy az üvegfelület korróziójáról vagy az üveg öregedése következtében előidézett átkristályosodásról van-e szó. Elektronmikroszkópos vizsgálattal eldöntöttük, hogy az üveg felületén rendkívül finom eloszlású 200–400 Å szemcsenagyságú idegen részecskék vannak jelen. A részecskéket pseudoreplika segítségével lehetett észlelni. Ugyanekkor elektrondiffrakciós vizsgálattal valószínűsíteni lehetett azt a feltevést, hogy a műszer fémalkatrészeinek korróziós termékeiről lehet szó.

Elektrolitosan vagy mechanikai úton fényesített wolfram és molibdén rudak felületét vizsgáltuk elektronmikroszkóppal a fényesítés minőségének eldöntésére. Megállapítottuk, hogy a mechanikai fényesítés *nem rosszabb*, mint az elektrolitos. Mindkét esetben találtunk ugyanis olyan felületelemeket, amelyek az elektronmikroszkóp és az alkalmazott előkészítő módszerek megengedett felbontóképességi határig tökéletesen simák, szerkezetnélküliek voltak, ugyanekkor mindkét esetben találtunk különböző egyenetlenségeket, szabálytalan, gödrös felületeket. A mechanikai fényesítés esetén arról lehet szó, hogy a keletkező apró fémrészecskék elkenődnek a felületen, eltömik a fényesítés tökéletlenségéből

adódó egyenetlenségeket. Elektrolitos fényesítés esetén pedig a belső kristályszerkezet (szemcsék orientációja) befolyásolhatja a fényesítés folyamatát és így a felület minőségét. Wolframon pl. találkozunk azzal a jelenséggel, hogy ilyen »nem tökéletes« elektrolitos fényesített próba szálak irányítottaságot mutat. Ebben az esetben a felületi replika a hengeralakú minta palástjáról származott. Az irányítás feltehetőleg megegyezett a minta tengelyével.

Bizonyos acélok kristályok közötti korrózióját a szemcsehatárok elektronmikroszkópos megfigyelésével nyomon tudtuk követni. Megfigyeléseink nagymértékben összhangba hozhatók voltak az idevágó elmélettel. Ezekről a vizsgálatokról bővebben Csokán Pál számolt be.

Katalizátorhordozóként használt Al-dara felületén kialakult oxidhártyák morfológiáját vizsgáltuk azzal a távolabbi céllal, hogy ezt a morfológiát hogyan tudjuk kapcsolatba hozni bizonyos, a darára felvitt katalizátorok hiperaktivitásával. A dara felületi rétegének vizsgálhatóságára újfajta előkészítő módszert vezettünk be. Megállapítottuk, hogy a felületi oxidréteg rendkívül finom porozitással vagy gyűröttséggel rendelkezik és így igen nagy felülete van.

Ellenőrző kísérletünkben lemezes Al-on mesterségesen fejlesztett oxidrétegeket használtunk fel. Megállapítottuk, hogy az Al-dara előállítási módjától a hártya struktúrája nem függ. Következtetni tudtunk arra, hogy a felületi hártya struktúrája az alatta levő fém felületi geometriájától is nagyrészt független, és a dara felületi egyenetlenségei valószínűleg nagyságrendekkel nagyobb lineáris méretekkel rendelkeznek.

Jelenleg morfológiai vizsgálatot folytatunk a mélynyomásban használt és különböző kezelésnek kitett cinklemez felületét illetően. Ez irányú vizsgálatunk még kezdeti stádiumban vannak.

Megemlítjük végül, hogy a fémfelületek vizsgálatával kapcsolatban laboratóriumunkban kifejlesztettünk egy új preparatív módszert, amely különösen kis felületi nívőkülönbségekkel rendelkező objektumok esetén igen jól bevált.

Az elmondottakban számot adtunk az Intézetünkben folytatott elektronmikroszkópos fémvizsgálatokról és ezzel egyúttal jellemezni tudtuk azon igények mibenlétét, melyek ilyen vonatkozásban az egyes kutatóintézetek részéről intézetünk felé felmerülnek. Kiviláglott az elmondottakból az is, hogy a fémek elektronmikroszkópos vizsgálata folyamán még számos módszerbeli nehézséget kell legyőznünk és ugyancsak nagy fejlődésnek kell még bekövetkeznie a fém szövetszerkezetek morfológiai értelmezése során is. Reméljük, hogy az adott fejlettségi nívó lehetőségein belül — amellett, hogy az elektronmikroszkópos módszer fejlesztése is állandó programunk — munkánk hasznosnak bizonyult az ország különböző ipari és tudományos kutatóintézetei egyes problémáinak megoldásában.

HOZZÁSZÓLÁSOK

CSOKÁN PÁL

Még most is nagy hézag mutatkozik a fémszövet-szerkezetek elektronmikroszkópos és fénymikroszkópos képeinek megítélésekor. Ez a hézag részben a preparatív technikából adódik. A hazai fémiparral kapcsolatos elektronmikroszkópos vizsgálatok meglehetősen ötletszerűek voltak és szükség lenne tervszerű vizsgálati program kitűzésére.

Szükség lenne az acél szálas, rostos szerkezetének vizsgálatára, valamint az acél öregedési folyamatának vizsgálatára, figyelemmel arra, hogy erősen dezoxidált acélban az öregedési hajlam kisebb.

Javasolja az Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya felé, hogy a fémipari anyagvizsgálat bevonásával készítsen a Méréstechnikai Intézet elektronmikroszkóp osztálya átfogó, tervszerű kutatási programot azon feladatokra, melyek elektronmikroszkópos megoldással közelíthetők meg.

TARNÓCZI TAMÁS

Új kérdés szempontjából kíván az előadáshoz hozzászólni: a telefonkészülékek minőségének megjavításához. Telefonkészülékeink elavult típusúak. Legalább 10 decibell-el lehetne javítani a telefonok határfokát, ha a szénmikrofon megfelelőbb volna. Segítséget kér a Méréstechnikai Intézettől, olyan preparatív technika kidolgozására, amelynek segítségével a mikrofonban használt szénszemcsék elektronmikroszkópos eljárással vizsgálhatók lennének.

GUBA FERENC viszontválasza

Egyetért azzal, hogy a fémszerkezeti vizsgálatokhoz az elektronmikroszkóp laboratórium rendelkezésre álljon. Szükségesnek tartja, hogy legyen olyan kutatási irány, amely a fémszerkezetek alapvető kérdéseivel foglalkozik.

AZ ATOMSPEKTROSKÓPIA IDŐSZERŰ KÉRDÉSEI

Prof. R. RITSCHL,
A NÉMET TUDOMÁNYOS AKADÉMIA TAGJA, BERLIN

Bevezetés

Úgy látszott, hogy az atomspektroszkópia klasszikus korszaka, amely mindenekelőtt Rowland, Kayser, Runge, Paschen nevéhez fűződik és amelynek mintaszerű pontossággal kidolgozott eredményei Sommerfeld, Born, Heisenberg, Jordan, Hund és Schrödinger munkássága nyomán a mai kvantumelmélet megalapozásához vezettek, a második világháború kezdetével lezárult. A fizikusok többsége jelenleg más kérdésekkel foglalkozik, amelyek közül az atommag és a szilárd halmazállapot kutatása áll kétségen kívül az érdeklődés homlokterében. Az a körülmény, hogy még ma is igen számos spektroszkópiai, mégpedig atomspektroszkópiai kutatás folyik a legtöbb ország laboratóriumában, kifejezésre jutott az idén nyáron tartott azon a két kongresszuson is, amelyeken magam is részt vehettem. Az elsőt július elején a svédországi Lundban »A 100 éves Rydberg-konferencia« címen rendezték. Ezen mintegy 250 spektroszkópiai kutatásokban érdekelt fizikus cserélte ki tapasztalatait. Hatvan referátum hangzott el és azokat behatóan megvitatták. A második volt a »Colloquium Internationale Spectroscopicum«, amelyet augusztus végén az ausztriai Gmundenben tartottak. Ezen 23 ország több, mint 500 spektroszkópiával foglalkozó kutatója vett részt. Ezen a kongresszuson 60 referátum túlnyomóan spektrálanalitikai kérdéseket tárgyalt.

Az atomspektroszkópiának tiszta elvi tudományos feladatkörén túl alapvető a jelentősége a mérés technikában is. Lehetőséget nyújt egyrészt az interferometrikus összehasonlító hossz mérés mellett a hosszúság egységének új meghatározási módjára is. Ez az eljárás hivatott arra, hogy a több, mint 100 év óta érvényes hosszúság-ősmértéket a mindenkor és mindenütt reprodukálható fényhullámhosszal pótolja. A spektroszkópiából alakult ki másrészt a mennyiségi és minőségi színképelemzés, amely ma már az ipar számos területén a gyakorlat részére nélkülözhetetlen. Ezért úgy gondolom, hogy nem felesleges, ha az itt összegyűlt mérési szakembereknek áttekintést nyújtok a tiszta elméleti és az alkalmazott atomspektroszkópia kérdéseiről és az előrehaladásról.

I. A spektroszkópos technika fejlődése

a) *A fényforrások*

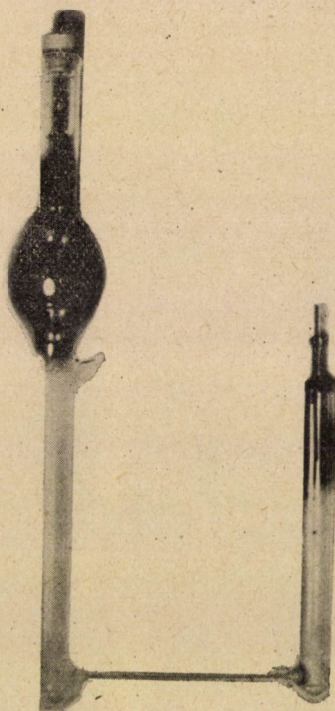
A spektroszkópia azon alapvető feladatához, hogy a fény hullámhosszának mérése hosszegységekben, vagy ennek fordítottja, hogy a hossz mérték meghatározása a fény hullámhosszának egységével elvégezhető legyen, monokromatikus fényforrás szükséges. Ennek megfelelően messzemenően ki kell különböztetni azokat az okokat, amelyek a színképvonalak megsokszorozódását, eltolódását és kiszélesedését idézik elő. Ezek a következők: a magnyomaték következtében keletkező hiperfinom szerkezet, az izotópok okozta finom szerkezet, a nyomáskiszélesedés és a Doppler-effektus. A fény hullámhosszának a méter hosszegységben történő meghatározására eredetileg használt vörös kadmiumvonal 8 stabilis izotóp keverékéből származik. Ezek közül a két páratlan tömegszámú izotóp mechanikai magnyomatékkal és két egymástól különböző mágneses magnyomatékkal rendelkezik. A kadmiumvonalaknál tehát már eleve számolnunk kell a színképvonalak többszöröződésével. Ma már abban a helyzetben vagyunk, hogy el tudunk különíteni olyan megfelelő páros tömegszámú izotópokat, amelyek null-értékű mechanikai és mágneses magnyomatékkal rendelkeznek. Ennek megfelelően színképvonalaik nem hiperfinom szerkezetűek, tehát így ezeknél izotópeltolódás sem mutatkozik. Így pl. *Meggers* a »Bureau of Standards«-ben olyan higanygőzlámpát alkalmazott, amely a 198-as tömegszámú higanyizotóppal volt megtöltve. A lámpa kis nyomáson, elektróda nélküli nagyfrekvenciás gerjesztéssel működik és így nem mutatkozik a vonalak nyomás- és mezőkiszélesedése. A higanyizotópot atommáglyában higanymentes aranyból neutronbesugárással állították elő (1. ábra).

Interferenciás mérésekhez nehéz nemesgázok, mint pl. kripton és xenon párosszámú izotópjait is felhasználták spektrállámpák töltésére. Ezek elkülönítése *Clusius* és *Dickel*-féle termodiffúziós oszlopban, vagy tömegspektrográffal könnyen elvégezhető. Ilyen izotóplámpákat használ például Engelhardt, a braunschweigi Állami Műszaki Fizikai Intézetben.

A színképvonalak szélesedését okozó Doppler-effektus kiküszöbölésére a *Paschen*- és *Schuler*-féle eljárás szerint vagy folyékony levegővel, vagy folyékony hidrogénnel hűtött üreges katódégőt használnak, vagy megfelelően hűtött Geissler-csővet, vagy olyan rendkívül éles vonalakat szolgáltatató atomsugár-fényforrásokat alkalmaznak, mint amilyeneket pl. *K. W. Meissner*, *Lafayette* az USA-ban használt. Meissnernek és munkatársainak sikerült így atomsugár-fényforrással interferometrikusan a germánium színképvonalait $\pm 0,00004 \text{ \AA}$ pontossággal meghatározni.

A mennyiségi színképelemzésben használt gerjesztésnél főképpen a gerjesztés biztos reprodukálhatósága fontos, vagyis az a körülmény, hogy min-

den színek felvételénél biztosan adagolható energia legyen sugárzássá átalakítható. A Feussner-féle vezérelt szikragerjesztő és a Pfeilsticker-féle szagatott ívgerjesztő berendezés mellett *Leutwein* Freibergben olyan műszert készített, amelynél a szikra elektronikus vezérléssel egy oszcillálás után megszakítható. Ilyen módon a gerjesztés állandósága és megismételhetősége lényegesen növekedik.



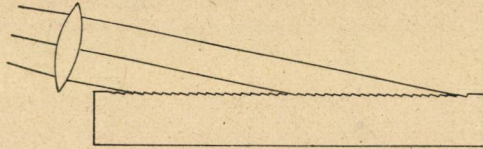
1. ábra

b) A fénybontásra használt készülékek

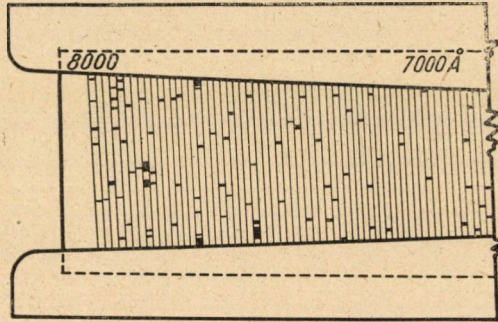
Az atomszínek és az ebben található vonalak szerkezetének pontos mérésére nagy feloldóképességű készülékek, vagyis rácsos-spektrográfok és interferométerek szükségesek. Megfelelő optikai rácsokat jelenleg a Szovjetunióban és az Északamerikai Egyesült Államokban állítanak elő, de Angliában, Svédországban, valamint a Német Demokratikus Köztársaságban is foglalkoznak a rács-osztógépek szerkezetének tökéletesítésével. Úgy látszik, hogy Angliában az optikai rácsok készítésénél alapvető haladást értek el. A rácsokat itt először acélhengeren osztják, ami által a menetvágó esetleges hibáit tökéletesen kiküszöbölték. A hengeres rácsról képlékeny anyag segítségével másolatot készítenek, ezt felvágják és síkra lefejtik. Az így keletkező sík-

rács gyakorlatilag mentesnek tekinthető a periodikus hibáktól és így a színképek hamis vonalaktól mentesek.

Az optikai rácsokkal elérhető feloldóképesség nem haladhatja meg a 10^5 nagyságrendű értéket, azonban diszperziójuk így is az interferométerekhez viszonyítva magasabb rendekben még mindig igen nagy. (λ/m , ahol λ a hullámhosszat és m a rendszámot jelenti.) Amerikában éppen ezért újabban más útra tértek: itt ún. »Echelle-rácsokat« (2. ábra) állítanak elő, amely közbenső fokozatot jelent az Echelette-rács és a lépcsőzött rács között. Az



2. ábra



3. ábra

Echelette-rács olyan határozott alakú barázdákkal ellátott optikai rács, amelyen több száz vonal esik egy milliméterre. Ezzel szemben a lépcsőzött rácsnak milliméterenként 40, több milliméter mély osztása van. Ezek az újonnan kialakított rácsok milliméterenként 100 lépcsővel és összesen több ezer lépcsővel rendelkeznek. Ezeknél a rendszám ezreket tesz ki és így a rács feloldóképessége 10^6 nagyságrendű vagy még annál is nagyobb, azonban ez csak néhány hullámszámnyi, színszórási tartományra vonatkozik (3. ábra). Ezért ezeknél a rácsoknál tág felbontást kell használni. Ez az optikai elrendezés tökéletesen megegyezik a fényt visszaverő rácsokéval. A legegyszerűbb az a megoldás, ha az Echelle-rács Littrow (autokollimációs)-prizma hátsó tükröző felületének a helyén van. Az Echelette-színképek különösen alkalmasak rendkívül finomszerkezetű színképek és Zeeman-színképek vizsgálatára. Az Echelle-rácsot rácsosztógéppel vékony porlasztott fémrétegbe karcolják. A hiperfinom szerkezet felbontására reflektáló lépcsősrácsot és a Lummer—Gehrcke-féle lemezt már alig használják, mert előállításuk nagyon költséges és diszperziós

tartományuk nem változtatható. Éppen ezért terjedt el széles körben a Fabry—Perot-féle interferométer, amelynél a lemeztávolság változtatásával a diszperzió-tartomány módosítható. Ez a műszer lényegesen tökéletesedett azzal, hogy a korábban alkalmazott fémtükrös interferométer-lemezek helyett sokrétegű, váltakozóan kicsi és nagy törésmutatójú anyagból készült lemezeket alkalmazunk. Az ilyen rétegződéssel még 98%-os fényvisszaverődést is el lehet érni, igen kis elnyelési veszteség mellett. A feloldóképesség és a diszperzió további növelését tette lehetővé a Gehrcke-, Lau- és Houston-féle Multiplex-interferométer alkalmazása, amelynél a fényt két, megfelelő távolságban felállított Fabry—Perot-féle interferométeren bocsátjuk keresztül.

c) *A fényintenzitás mérése*

Szükséges, hogy a színekvonalaknak nemcsak a hullámhosszát, hanem legalábbis a relatív intenzitását mérni tudjuk. Erre a célra a spektrálfotometriát vagy megfelelő sugárázmérő segítségével a közvetlen fotometriai eljárást alkalmazzák. A spektrálfotometria, amely a lemezfeketedés és a beeső energia közötti törvényszerű összefüggésen alapul, a mennyiségi színeképelemzésnél ma még széles körben használatos. Ha a lemezek feketedési görbéinek eltérését a linearitástól megfelelő transzformációval (Seidel-transzformációval) számítás útján kiegyenlítik, akkor még igen kis intenzitások is mérhetők. A legutóbbi időkben spektrálfotometriai célokra új feketedésmérő berendezéseket készítettek. Ezeknél a spektrálfotométerekhez hasonlóan kétsugaras kompenzációs módszert alkalmaznak és ezzel a fényforrások és a mérőműszer változékonyságát kiküszöbölik. A kétsugaras kompenzációs eljárásnál váltakozó fényvel dolgoznak és az eredményt az összehasonlító sugármenetben elhelyezett fénygyengítő elem helyzetéből állapítják meg. A legutóbbi időkben a színekpek vizsgálatára és összehasonlítására használt színeképvetítőket a feketedés meghatározására fotométerrel kapcsolják össze. Gmundenban érdekes vita folyt arról, hogy a fényképezéses színeképelemzés, vagy pedig a közvetlen sugárázméréseken alapuló a megfelelőbb. Ez azzal az eredménnyel járt, hogy megfelelő fényerejű és teljesítményű spektrográfok és megfelelő erősítőkkel ellátott új típusú fotocellák, illetve szekundér erősítő alkalmazásával a közvetlen fényintenzitásmérésen alapuló eljárás a fényképezést feltétlenül felülmúlja. Számos országban (mint pl. Franciaországban, USA-ban) a fejlődés ebbe az irányba tart. Ma már úgynevezett kvantométereket készítenek, amelyeknél a színekép bizonyos helyein beállított kilépési rések mögött 12, vagy annál több »multiplier«-rel elérik, hogy mutatós műszer segítségével közvetlenül lehessen összehasonlítani az alap- és járulékos elemek színeképvonalainak erősségét.

Ha a mérendő vonalak a szélső ultraibolya, vagy az infravörös tartományban vannak, akkor különleges sugárázmérőkre van szükség. Az első

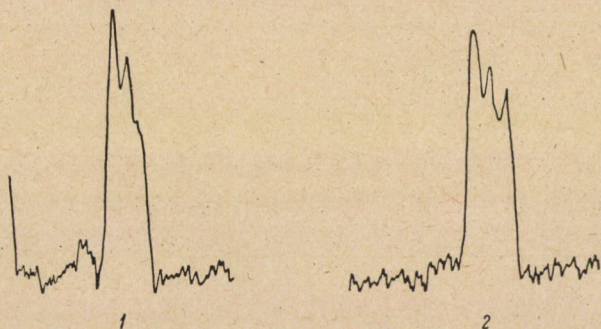
esetben a fényt vagy közvetlenül fényérzékeny rétegre vetítik, vagy pedig fluoreszkáló anyagok segítségével a fényt olyan sugárzássá változtatják át, melyre a fényelem érzékeny. Újabban az infravörös fény mérésére az új típusú bolométerek és a kistehetetlenségű thermoelemek mellett olyan pneumatikus vevőket fejlesztettek ki, melyeknél hővé alakítják a beeső sugárzási energiát, amely egy gázkamrában nyomásnövekedést okoz. Ezt finom membrán kihajlásával mérni lehet (Golay-cella).

d) Mikrohullám-módszerek

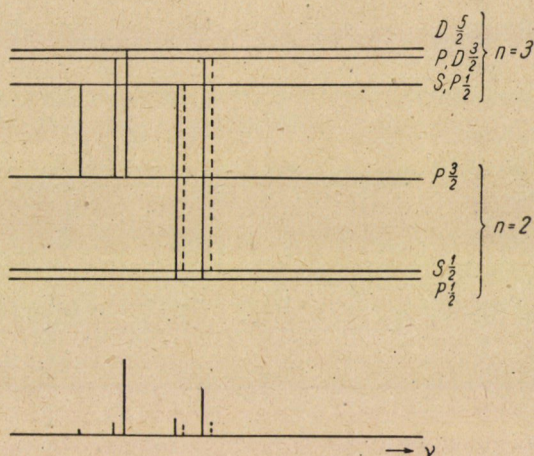
Az optikai színeképelemzés annak köszönheti nagy sikereit, hogy a fény hullámhosszát 10^{-8} relatív pontossággal lehet meghatározni. Ezzel a pontossággal valamely energiaállapotnak a kiindulási állapothoz viszonyított értéke meghatározható. Ha azonban két, egymáshoz közelálló term, pl. az alapállapothoz viszonyított kis energiakülönbségét pontosan meg akarjuk mérni, akkor az optikai színeképelemzés kevésbé alkalmas módszer, mert ezt két, sokkal nagyobb szám különbségeként adja meg. Megfelelőbb a két energianívó átmeneti frekvenciáit közvetlenül megmérni. Mivel az energiakülönbség kicsi, ezek az elektromos rövid és ultrarövid hullámok tartományába esnek. Ezeknek a hullámoknak a technikáját az elmúlt háborúban katonai célokra (radar) messzemenően kifejlesztették és így lehetségessé vált, hogy az elért eredményeket spektroszkópiai problémák megoldására is felhasználják. A legtöbb esetben úgy járnak el, hogy a vizsgálandó atomokat konstans külső mágneses mezőbe helyezik. Így Zeeman-szintek képződnek. Megfelelően irányított olyan rezgésű elektromos hullámokat sugárztatnak, hogy a hullám frekvenciája a mágneses szintek közötti átmeneti frekvenciával megegyezzen. Az ilyen átmenetekenél abszorbeált energiát a rezonanciagörbéből, vagy a megváltozott hullámfrekvenciánál, vagy pedig megváltozott mágneses térerősségnél lehet meghatározni. *Rabi* és munkatársai által kidolgozott atomsugár rezonancia módszerrel a keletkező rezonanciát úgy mutatták ki, hogy mágneses úton irányított atomnyalábot két Stern—Gerlach-készüléken bocsátanak keresztül. A kettő között állandó mágneses térben történik a mikrohullám-frekvenciájú besugárzás. A rezonancia következtében megváltozik az atomok térbeli helyzete és emiatt a második Stern—Gerlach-készüléken már nem az eredeti pályán futnak át. *Lamb* és *Retherford* hasonló eljárást alkalmazott a hidrogénatom 2-kvantumú pályája finomszerkezetének vizsgálatára. Ennél az eljárásnál a 2 S-állapot metastabilitásának a mágneses átmenet következtében előálló megbomlását használták fel (5. ábra).

Váltakozóáramú mezőkben, egymáshoz igen közeli energiaszintek közötti átmeneteket az elektromos térben keletkező Stark-féle energiaszintekre is rákényszeríthetjük. Az erre vonatkozó kísérleteket a berlini Humboldt-egye-

tem I. sz. Fizikai Intézetében dr. *Rother* végezte el, amelyek azokra a régebbi kísérletekre támaszkodnak, amelyeket az elmúlt háború előtt a német Műszaki-Fizikai Intézetben magam végeztem. A megfigyelt átugrási folyamat az előzőleg igen erős, egyenirányú elektromos mező hatására dezionizált csökkent energiájú Stark-energiaszint újrafeltöltődésével bizonyítható (az elektron alagúthatása Rausch, Trautenberg és Gebauer szerint). Az elektromos válto-



4. ábra



5. ábra

kozó mezőket ez ideig keresztben elhelyezett kondenzátorok között áthaladó atomok segítségével állították elő (4. ábra).

II. A fény hullámhossza és a mértékegység közötti összefüggés

Ha a beszámolóm I. részében vázolt, kiszélesített színeképlemezési eljárások alapján kapott eredményeket vizsgáljuk, úgy a mértékegység és a fény hullámhosszának viszonyára két fontos javaslatot találunk, amelyeket

a Tanácsadó Bizottság 1953. szeptemberi ülésén a méter meghatározására tett. Ennek alapján meghatározott időponttól a méter hosszát megfelelő atomszínkép vonalakkal kell meghatározni. Addig is a vörös kadmium vonal hullámhosszát $0,643\ 846\ 96 \cdot 10^{-6}$ m-ben javasolják megállapítani. Az átmeneti időre a vákuumban történő átszámításra a Joint Commission for Spectroscopy 1952-ben Rómában megállapított diszperziós képletét ajánlották, amelyet *Edlen* hozott nyilvánosságra (Journal Opt. Soc. Am. 43, p. 339, 1953). Ez azokon a méréseken alapszik, amelyeket *Barell* és *Sears* a látható fénytartományban, *Koch* és *Traub* az ultraibolyában végezték.

III. Mennyiségi és minőségi színképelemzés

A kémiai színképelemzés már említett technikai előrehaladásán kívül, tehát az új szikra- és ívgerjesztésű készülékeken, valamint a kvantométeren kívül a legújabb haladást talán a színképelemzésnek az infravörös és az ultraibolya spektrumtartományra történt kiterjesztése jelenti. Bizonyos nem fémes elemek, mint pl. foszfor elemzésére, melynek érzékeny vonalai már a Schumann-tartományban fekszenek, vákuum rácsspektrográfot használnak. Az elért műszaki fejlődés alapján lehetséges az ilyen elemek meghatározásához szükséges nagy pontosság és érzékenység (a fényforrást is evakuált edényben kell működtetni). Gmundenban beszámoltak röntgen színképeknek analitikai célokra történő felhasználásáról is, továbbá ismertettek egy röntgen kvantométert.

A színképvonal táblázatok a minőségi elemzés és az ismeretlen színképvonal azonosítása szempontjából alapvető fontosságúak. Az általam 1939-ben átdolgozott, a vonalas színképek fővonalairól készített Kayser-féle táblázat jelenleg kifogyott vagy elpusztult. Ezenkívül a legelterjedtebb *Harrison G.* (Massachusetts Institut of Technology, USA) nagy táblázata. A könyv 8000 Å-től 2000 Å-ig terjedő tartományon belül 100 000 vonalat tartalmaz, azonban nem mentes hibás vonatkoztatásoktól.

1952-ben jelent meg Moszkvában *Saidel, Prokofjev és Raiszkij* új színkép táblázata. A hullámhosszúság szerint rendezett vonal-összeállítás mellett ez további, elemek szerinti összeállítást is közölt. Ezen táblázatok adatai túlnyomó részben a *Harrison-féle* táblázatokból származnak. A könyv második részében található táblázatok fontos újítást tartalmaznak: ezek a fontosabb vonalakra — amennyiben ismert — két energiaszint közül megadják a nagyobb gerjesztőfeszültségét, úgyhogy a vonal hullámszámából az alsó szint energiahelyzete is kiszámítható. Ezek az adatok fontosak a vonalak megítélésére a gerjesztés, önvisszatérés és abszorpció szempontjából. A könyv harmadik része egy sor segéd táblázatot tartalmaz a színképelemzési vizsgálatokhoz fontos adatokkal, mint pl. fémek és vegyületek olvadási- és forráspontja, az elemek megjelenésének sorrendje az ívben, ötvözetek és elegyek

gerjesztése esetén és más hasonlók. A táblázatokat, amelyek bizonyára sok hasznos adatot tartalmaznak, a közeljövőben Berlinben többnyelvű kiadásban közreadják.

IV. Atomszínképek, finomszerkezet

A legegyszerűbb atomnak, a hidrogénnek színképe mérsékelt feloldásnál igen egyszerű szerkezetet mutat. Ennek a Balmer-féle képlet alapján történt meghatározása szerint először volt lehetséges valamely színkép vonalsorozatának szabatos meghatározása. A Balmer-képlet állandóinak elméleti kiszámítása volt az első próbaköve mind a Bohr-féle elméletnek, mind pedig a kvantummechanikának. Fokozott feloldásnál a hidrogén vonalai összetetteknek mutatkoztak. A hidrogénvonalak finomszerkezetének értelmezése a Dirac-elmélettel látszólag teljesen megindokolható; az elmélet szerint az elektron relatív elemi részecske, melynek spin-je $1/2 \cdot h/2\pi$ és mágneses nyomatéka $\mu = 1$ Bohr-féle magneton. Az elmélet szerint az azonos fő- és azonos összeforgatónyomaték kvantumszámú állapotoknak pontosan egybe kellene esni. A vonalak optikai finomszerkezetének legújabb spektroszkópos vizsgálatai arra mutatnak, hogy a Dirac-elmélettől megkívánt eredmények eltérők, valamint a belső, $j = 1/2$ kvantumszámú S - és P -termek között $n = 2$ energiaszinten csekély eltérés mutatkozik. Ezt a megfigyelést Lamb és Retherford fentemlített vizsgálatai a rövidhullámtartományban teljes mértékben igazolták, és ezt a »Lamb-féle eltolódás«-nak nevezett frekvenciakülönbséget mintegy 1000 MHz értéknél nagy pontossággal megmérték. A hidrogén-színképben talált új spektroszkópiai felfedezés a sugárzási mező kvantumelméletében kapott számszerű értelmezést. Ez utóbbit az atomok színképeinek értelmezésére ez ideig még nem használták fel (Bethe, Schwinger és mások).

A Lamb-féle eltolódás más színképeknél is mutatkozik. *Herzberg* a közelmúltban a hidrogénnek és héliumnak alaptermjeit nagy pontossággal újból meghatározta, azon fővonalak mérésével, amelyek már a vákuumspektroszkópiai tartományra esnek. A nagy pontosságú mérést ráccsal végezte, magasabbrendű színképben. Az eredmény jól egyezett az elmélettel.

Az atomszínképek elemzésének tökéletesítése mellett — melynek különösen nagy a jelentősége a ritka földfémek és az új mesterséges elemek vizsgálatánál (pl. a transzurán elemeknél) — az újabb spektroszkópi kutatások különösen intenzitások és átmeneti valószínűségek meghatározására terjednek ki. Ezek igen fontosak a színképelemzésnél és asztrofizikai kutatásoknál. Ezen a területen nagy jelentőségű a Bureau of Standards-nél dolgozó *Meggers* munkája, aki számszerűen megmérté 70 elem 3000 színkép vonalának relatív intenzitását. Ily módon lehetőség nyílik a színkép vonaltáblázatok intenzitás-adatait egységes rendszerbe foglalni.

V. A mágneses nyomatók

Az utolsó 25 évben végzett optikai ultrafinomszerkezet vizsgálat alapján számos atommag mechanikai és mágneses nyomatókait meghatározták. Ez a színképekből kiszámítható *Goudsmit* félempirikus képletével. Az eredmények alapján az atommagszerkezeteket jobban megismerték és különösen a magok belső héjszerkezetére kaptak felvilágosítást. Ez bizonyos analógiában van a külső elektronburok héjszerkezetével, amely az elemek periódusos rendszeréből már ismert. A modellszerű ábrázolásból a nyomatók egész sorát lehetett elméletileg levezetni. Ugyanakkor nyilvánvalóvá vált, hogy az utoljára behelyezkedett nucleon (proton vagy neutron) spinje mellé meghatározott pálya-forgatónyomatókimpulzust kell rendelni.

A már említett elektromos rövidhullámtechnika a nyomatókkutatás terén új, jelentős fejlődést hozott. Amellett, hogy számos mágneses nyomatókat sokkal pontosabban lehet meghatározni, mint optikai mérésekkel, az elemi részecskék mágneses nyomatókát is nagy pontossággal lehet mérni. Ha összehasonlítjuk olyan atomok keringési frekvenciáját, melyek forgatónyomatók-impulzusa csak az elektron spinjétől függ, szabad elektronok mágneses keringési frekvenciájával (ciklotronfrekvencia), azonos erősségű mágneses térben, akkor az elektron mágneses nyomatóka pontosan meghatározható. A vizsgálat során olyan értéket találtak, amely a Dirac-elmélettől megkívánt 1 Bohr-magneton értéktől 1,15 ezrelékkal eltér. A sugárzás elméletével ez az eredmény is megmagyarázható.

A protonok és deuteronok mágneses nyomatókát is nagy pontossággal lehet meghatározni. Az atomsugár-módszerhez hasonló eljárással a neutronok mágnessége is mérhető. Ezen vizsgálatok eredményei a magerők mezonelméletét erősen alátámasztják.

VI. A mag elektromos négypólusnyomatóka, izotóp-eltolódás

A mágneses és mechanikai nyomatók-kutatás alapján ismertük meg az atommag felépítését, és a hiperfinomszerkezetek kifinomult mérési módszerei további felvilágosítást adnak az atommagról. *Schüler* megfigyelte és *Schmidt* elméletileg megmagyarázta azt a jelenséget, amikor egyes atomok hiperfinomszerkezetében eltérés mutatkozik a hiperfinomszerkezeti szintek közötti intervallumokra különben érvényes szigorú szabályoktól. Ezek az eltérések a magnak a gömbszimmetriától való eltéréseire vezethetők vissza. Így jutottak el a mag elektromos négypólusnyomatókának meghatározásához. Ez a jelenség az optikai hiperfinomszerkezeten kívül a mikrohullám színképben is felismerhető, ha ilyen mag precessziós mozgását valamely molekula vagy kristály aszimmetrikus terében végzi. Vannak olyan magok, amelyeknek belapítottaknak és olyanok, amelyeknek megnyúlt alakúaknak kell lenni.

Ezzel a jelenséggel bizonyos mértékben összefügg az atomállapotok izotóp-eltolódása is. Ennek kétféle oka lehet. Könnyű magoknál, kb. $Z = 20$ nagyságrendig két izotóp energiaérték állapotának különbözősége az atommagnak az elektron keringési pályájához viszonyított mozgásán nyugszik (csak a rendszer súlypontja marad nyugalomban). Nehezebb magoknál ez a hatás már nem jelentős; ennek ellenére jelentős izotóp eltolódást lehet megfigyelni. Mind a nehezebb, mind a könnyebb izotóp rendelkezhet nagyobb energiaértékkel. Ez nem tömeg-, hanem térfogathatás. Ez a hatás azon alapszik, hogy két izotóp esetében az elektromos magpotenciálok alakulása a Coulomb-féle tértől eltérő lefolyásba megy át és az elektronok különféle r_0 -sugarú pályákon mozognak. Ez a hatás tehát nyilvánvalóan a mag alakjával is összefügg, és emiatt bizonyos tömeg- és neutrons számok esetében a magok szerkezeti elrendezésében anomáliák mutatkoznak, mind az izotóp-eltolódás nagyságában, mind a négypólusnyomaték nagyságára vonatkozóan. Ezek a helyek feltűnően megegyeznek a magszerkezet úgynevezett »mágikus« számaival, amelyeket egész más értékekből (magkötőerő, stabilitás stb.) vezettek le. Itt ismét utalást találunk az atommagok előbb említett héjszerkezetére.

*

Remélem, hogy ez a rövid felsorolás kis áttekintést nyújtott azokról a problémákról, amellyel ma az atomspektroszkópia foglalkozik. Ez a tudományág, amely virágkorában jelentősen gazdagította a fizikát, még ma is fontos elméleti felismeréseket és számottevő műszaki alkalmazási lehetőséget hoz felszínre.

RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATRA ALKALMAS PERMEAMÉTER

LÁSZLÓ GYÖRGY

MTA MÉRÉSTECHNIKAI ÉS MŰSZERÜGYI INTÉZETE

Bevezetés

Hazai viszonylatban új permeamétert dolgoztunk ki, melyet egyrészt a roncsolásmentes anyagvizsgálat területén, másrészt nagypermeabilitású anyagok permeabilitásának mérésénél alkalmaztunk. Megjegyezzük, hogy a leírásra kerülő permeaméter és felhasználása az irodalomból ismeretes, de úgy véljük, hogy az anyagvizsgálat olyan területén is felhasználtuk, amelyen tudomásunk szerint még nem talált alkalmazást. A mérési módszer előnye a többi permeabilitást mérő módszer fölött az, hogy a mérőfej kis méretei lehetővé teszik a mágneses térerősségnek kis területen való vizsgálatát. Anyagvizsgálati célra való felhasználásra pedig a kis méreteken kívül az teszi különösen alkalmassá, hogy mint közvetlen mutató műszer használható.

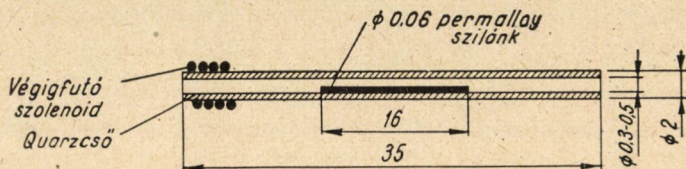
A mérés elve

A mérésnél ismert tényt használunk fel, nevezetesen azt, hogy a mágneses térerősség tangenciális komponense a közeghatáron folytonosan megy át. Ha tehát valamely anyagot mágnesezünk és annak közvetlen felületén vizsgáljuk a térerősség tangenciális komponensét, az megegyezik az anyagban levő térerősség tangenciális komponensével. Ezen a tényen alapszik a klasszikus térerősség-mérési eljárás, melynél a mágnesezett anyagra tett vasmag nélküli tekercs fluxusának ballisztikus galvanométerrel történő mérésével határozzuk meg az anyagban levő térerősség tangenciális komponensét.

Az általunk alkalmazott eljárás ettől a módszertől abban különbözik, hogy vasmagos mérőtekercset alkalmazunk és a térerősséget nem ballisztikus galvanométerrel határozzuk meg, hanem a tiszta váltóárammal táplált vasmagos tekercs sarkain a külső térerő hatására keletkező feszültség-torzítást mérjük. A torzítás, mint kimutatható, bizonyos határig arányosan nő a térerősséggel, az arányossági határon túl pedig kompenzációval kell mérni a térerősséget.

A mérőfej és az indikáció

A kis geometriai méretekkel rendelkező mérőfej — mely 35 mm hosszú és 2 mm átmérőjű kvarccsőre tekercselt szolenoidból és a kvarccsőbe helyezett 16 mm hosszú 0,06 mm átmérőjű permalloy C-szilánkból áll, — tekercsét hangfrekvenciás árammal gerjesztjük. A hangfrekvenciás áram a mérőfej permalloy-szilánkját — minthogy előmágnesezés még nincs — a mágnesezési görbén mindkét irányban egyformán mágnesezi. Ha most a mérőfejet egyenárammal gerjesztett térbe — a mérendő térbe — helyezzük pl. úgy, hogy azt a mágnesezett anyag felületére tesszük, akkor a váltóáramú mágnesezés munkapontja eltolódik a mágnesezési görbén. Az eltolódás következtében a



I. ábra

gerjesztett fluxus időbeni lefolyása aszimmetrikussá válik. Az aszimmetrikus fluxus-alak következménye az lesz, hogy a tekercs sarkain levő feszültség szintén aszimmetrikus lesz az időtengelyhez képest, tehát páros harmonikusok lépnek fel.

Indikáció céljára a mérőfej-szolenoidot gerjesztő feszültség kétszeres frekvenciájú harmonikus feszültségét választjuk ki a páros harmonikus feszültségek közül, mert a harmonikusok rendszámának növelésével az amplitudók csökkennek.

Említettük, hogy a torzítás — bizonyos határig — arányosan nő a térerősséggel. E törvényszerűség addig áll fenn, míg a mérendő egyenáramú térerősség sokkal kisebb, mint a mérőfej mágnesező szilánkjának telítési térerőssége. Számításunk menete abból indul ki, hogy a mérőfej belsejében a mérésnél két-féle térerősség van: a mérendő egyenáramú térerősség (H_0) és a gerjesztő szinuszos-térerősség, azaz

$$H = H_0 + H_m \sin \omega t,$$

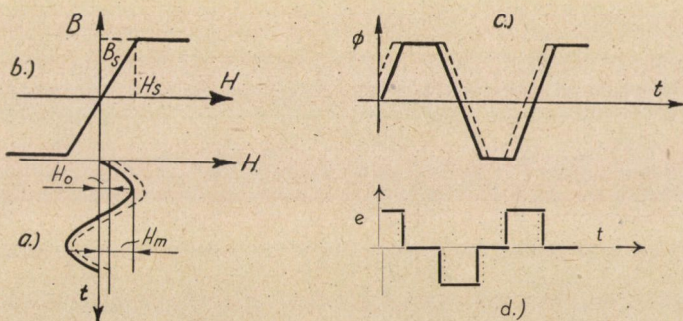
ahol H_0 — mint mondtunk — a mérendő egyenáramú térerősség és H_m a hangfrekvenciájú váltakozó térerősség csúcscértéke. A 2. ábrán könnyű követni a jelenség lefolyását.

A 2a ábra a permeameter hangfrekvenciás árama által a mérőfej szolenoidjában előállított szinuszos áram gerjesztette mágnesező térerősséget tünteti fel az idő függvényében akkor, ha a mérőfejet még nem vittük be — a mérendő

— egyenáramú térbe. A szaggatott vonal az egyenáramú tér következtében adódó eltolódott görbét mutatja.

A 2b ábra a mérőfejben levő permalloy-szilánk mágnesezési görbéjét mutatja. A görbét a számítások egyszerűsítése végett vettük fel az itt feltüntetett idealizált alakban.

A 2c ábra szemlélteti a fluxus változását az idő függvényében. A folytonos vonallal kihúzott görbe a fluxus abban az esetben, ha nincs egyenáramú tér következtében előálló eltolás, míg a szaggatott az eltolás következtében előállott fluxusnak időbeli lefolyását mutatja. Már itt is látható, hogy a fluxusban aszimmetria jelentkezik.



2. ábra

A 2d ábra a fluxusból leszámaztatható feszültség-impulzusokat szemlélteti az idő függvényében, szintén azon két esetben, ha nincs egyen-mágneses tér, míg a szaggatott az egyen-mágneses tér következtében előállottat tünteti fel. Az aszimmetria mint látható, az egyes impulzusok kezdési ideje között eltelt szünet-időben jelentkezik, az impulzusok területe egyforma. Kimutatható, hogy a Fourier-analízis szerint az ilyen alakú impulzusokban páros harmonikusok vannak jelen, s adott esetben e feszültség-impulzusban fellelhető második harmonikus feszültség:

$$e_2 = - \frac{NAH_0 \omega \mu' \sin 2\varphi}{\pi} \sin 2\omega t, \quad \text{ahol} \quad \sin \varphi \approx \frac{H_s}{H_m}.$$

Itt H_s a permalloy-szilánk telítési térerőssége.

N a mérőfej szolenoid menetszáma.

μ' a permalloy-szilánk permeabilitása.

A a mérőfej szolenoid keresztmetszete.

Az eredmény tehát a következő:

A keletkezett második harmonikus feszültség a mérendő egyenáramú tér lineáris függvénye, ha $H_0 < H_s$, ahol H_s a permalloy-szilánk telítési térerőssége. Ezt, mint már a bevezetőben említettük, egyrészt anyagvizsgálati méréseknél, másrészt kis térerősségek mérésénél lehet felhasználni, mikor is a második

harmonikus feszültség nagyságából közvetlenül tudjuk leolvasni a mérendő térerősséget. Készülékünknel mérésünk szerint a lineáris összefüggés mindaddig fennáll, míg $H_0 = 330 \text{ m0e}$, ha $H_s = 650 \text{ m0e}$. Ha a mérendő térerősség nagyobb, mint 330 m0e , akkor kompenzációval mérünk. Ez azt jelenti, hogy a mérőfej tekercsére olyan intenzitású egyenáramot kapcsolunk, mely olyan nagy és ellentétes értelmű egyen-mágneses teret létesít a mérőfej vasmagjában, mint a mérendő egyenáramú H_0 -tér. Ezek szerint a mérőfej tekercsén kompenzációnál kétféle feszültség van jelen : az eltorzított váltóáramú feszültség és a kompenzáló egyenáramú feszültség.

Kérdés ezek után, ha H_0 adott és a lineáris indikációhoz tartozó mérési határon belül esik, adott H_s mellett mennyire kell választanunk a gerjesztő hangfrekvenciás térerősség H_m csúcsát, hogy a készülék-indikáció maximális legyen.

A feszültség-maximum egyszerűen a φ -szerinti deriváláskor előálló szélsőértéknél van. Ekkor

$$H_m = \sqrt{2} H_s.$$

Az itt kapott eredményt kísérletileg a következőképpen igazoltuk :

Több mérőfejet egy kötegbe vettünk (számszerint hármát) és ezeket egy ferrográf mérőfejébe helyeztük (a kis permalloy-szilánknak mágnesezési görbáját ugyanis klasszikus módszerrel felvenni nem lehet). A ferrográfot torzításmentesen állítottuk be, s oszcilloszkópján a mágneses ciklus két csúcsa közötti térerősség felét vettük mint telítési térerősséget. A mérőfej kapcsain beállítottuk azt a generátor-feszültséget, mely mellett adott kis H_0 mellett maximális második felhang-indikációt kaptunk. A mérés azt tanúsította, hogy a mérőfejben levő váltakozó áramú térerősség ekkor 730 m0e , a permalloy-szilánk mért telítési térerőssége pedig 650 m0e körül volt (910 m0e helyett 730 m0e -nél kaptunk maximális második harmonikus feszültség-indikációt), ami azt mutatja, hogy a számítás nagyságrendileg jól egyezik, míg numerikusan eltérés mutatkozik. Az eltérés oka a számításoknál felvett egyszerűsítésekben rejlik.

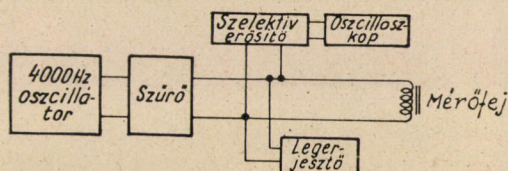
A ferrográf oszcilloszkóppal ellátott műszer, amelynek mérőfejébe helyezük a mérendő anyagot, a próbatestet. Megfelelő elektronikus kapcsolással elérhető, hogy az oszcilloszkópon a vizsgálandó anyag teljes hiszterézis-ciklusa jelenik meg. Az abszcissa tengelyen a térerősséggel, az ordináta-tengelyen pedig az indukcióval arányos feszültség van.

A próbatest mágnesezése 50 Hz -es váltakozó árammal történt. Az 50 Hz -el felvett mágnesezési görbe nem különbözik alapvető módon az egyenárammal felvett mágnesezési görbétől.

A készülék szerkezete

Készülékünkbe gerjesztő oszcillátorként — mely a mérőfej tekercsét hangfrekvenciás árammal gerjeszti — egy viszonylag egyszerű szerkezetű rezgéskeltő berendezést, ún. Wien-hidas R—C oszcillátort szereltünk be. Ennek kimenő feszültsége 1,1 volt. Az alkalmazott frekvencia 4000 Hz. Ellenőriztük harmonikus analízátorral az oszcillátor 8000 Hz-es felhang-tartalmát, s azt találtuk, hogy ez 0,4%.

Ezt követi a szűrőberendezés, mely az oszcillátor — hanggenerátor — második harmonikusának szűrését 60 dB-nyi csillapítással végzi. A mérőfej tekercsére így gyakorlatilag tiszta 4000 Hz-es gerjesztő váltóáram kerül. A mérőfej tekercsének kapcsain a mérendő külső tér hatására keletkező második harmonikus feszültség a háromfokozatú frekvenciaszelektív erősítőre kerül —



3. ábra

melynek erősítése 80 000-szeres — és melynek kimenetén mérjük az indikáló második harmonikus feszültséget. A legerjesztő: egyenáramú áramforrásból és ellenállásokból, valamint ampermérőből összetett egység, mellyel szabályozhatjuk a kompenzáló ellentér előállításához szükséges áramerősséget.

A készülék érzékenységeinek alsó határát az erősítő kimenetén jelentkező maradékjel szabja meg. Készülékünknel a maradékjel: 450 mV, ami 10 m0e külső térerőnek felel meg. Ez tekinthető a térerősség-mérés alsó határának. A felső határ készülékünknel, ha a legerjesztést nem a készülékbe beszerelt, hanem külső teleppel végezzük, kb. 13 000 m0e, tehát a térerősség-mérés határai: 10 m0e—13 000 m0e. A felső határ kiterjesztése csupán méretnövelés kérdése.

A készülék hitelesítése

A mérést egy, a mérőfejhez képest végtelen hosszú szolenoid (kb. 1000 mm) középvonalába koaxiálisan helyezett mérőfejjel végeztük. A szolenoidot gerjesztettük és a gerjesztő áramot igen pontos műszerről olvastuk le. A szolenoid menetszámából és a gerjesztő áramerősségből számítottuk és permeaméterrel egyidejűleg mértük a térerősséget.

A számított és mért térerősség-értékeket összehasonlítottuk. Megállapítottuk, hogy a számított és mért térerősség-értékek között mindig 4%-os

eltérés mutatkozott, mégpedig a mért érték volt a kisebb. Annak ellenére, hogy a fenti térerősség-eltérés mutatkozott a hitelesítési méréseknél, ez sem anyagvizsgálati, sem pedig permeabilitás-méréseknél nem okoz hibát, mert ez csupán korrekciót fog jelenteni, ha abszolút mérést akarunk elvégezni.

Permeabilitás mérések

Kétféle anyag permeabilitását vizsgáltuk úgy, hogy felvettük az anyagok első mágnesezési görbéjét és a kapott értékeket összehasonlítottuk a térerősség ballisztikus mérése útján kapott eredményekkel. A vizsgált anyagok a következők voltak:

a) 4% Si tartalmú 0,35 mm vastag transzformátor-lemez,

b) 0,35 mm vastag permalloy C lemez.

a) 4% szilíciummal ötvözött transzformátorlemez
első mágnesezési görbéjének felvétele

A mérést Hopkinson-járomban végeztük. A próbatest kötegbe foglalt transzformátor-lemez volt. Hossza megfelelt a Hopkinson-járom mérésekhez előírt hosszúságú próbatestek hosszának, mely, mint ismert, kb. 500 mm. A mágnesezési görbét kétféle módon vettük fel:

1) A térerősséget egy vasmag nélküli H-tekeres fluxusváltozásából ballisztikus úton, illetve

2) permeaméterrel mértük.

Vizsgáltuk tehát az azonos indukcióhoz tartozó, kétféle módon megmért térerősséget. A mérést megelőzően mind a H-tekerest, mind a permeaméter mérőfejét a szolenoidban hitelesítettük. Ez abban állt, hogy a szolenoid térerősségét annak menetszámából és a gerjesztő áramerősségből számítottuk és ezzel egyidőben mértük a H-tekeressel, valamint a permeaméterrel. Ha az így korrigált értékkel mérjük az azonos indukcióhoz tartozó térerősség-értékeket, úgy a két módszerrel mért H-adat közötti eltérés maximuma nem több, mint kb. 8%. (A permeaméterrel mért H-érték nagyobb.) Az eltérés valószínű oka a szórás, melynek folytán a mágneses térerősség nem egyforma a mért próbatest hossza és szélessége mentén, márpedig a permeaméter-mérőfej és a H-tekeres méretei jelentősen eltérnek: a mérőfej \varnothing -je 2 mm, hossza 35 mm, míg a H-tekeres 40 mm \times 100 mm felületű és kb. 6 mm vastagságú.

A szórásokat adott esetben matematikailag követni nem lehet, legfeljebb kis mágneses szondával lehetne feltérképezni a teret. A permeaméternek nagy előnye van a klasszikus módszer felett. Nevezetesen az, hogy a térerősséget sokkal kisebb értékektől kezdve lehet mérni, mert éppen ezen méréseknél tisztáztuk, hogy a permeaméterünk érzékenysége kb. 20-szor nagyobb, mint az összehasonlítás alapjául szolgáló klasszikus módszeré. Ennek folytán igen kis térerősségeket is meg tudunk mérni, melyekre a H-tekeres még egyáltalán nem érzékeny. Az alkalmazott H-tekeres menetszáma kb. 600, a ballisztikus galvanométer állandója pedig $C_b = 4,317 \cdot 10^{-9}$ Coul/fok/1,7 méter.

b) Nagy permeabilitású anyagok első mágnesezési görbéjének felvétele

A már kis mágneses térerősségeknél telítésbe jövő, tehát nagy permeabilitású anyagoknál az első mágnesezési görbék felvételét akkor végezzük helyesen, ha a mérésre kerülő nagy permeabilitású anyagokból toroid-alakú próbatestet készítünk. A térerősséget a gerjesztő tekercs menetszámából és a gerjesztő áram erősségéből egyszerűen számolhatjuk. Csupán annak a feltételnek kell eleget tenni, hogy a próbatest szélességi méretéhez képest annak sugara nagy legyen. Ez a legpontosabb módszer, a gyakorlatban azonban ezt több ok miatt nem szeretik alkalmazni:

1. Amennyiben a próbatestet lemezekből állítjuk össze, a lemezeknek körgyűrűvé váló kisajtolásánál erősen ügyelni kell arra, hogy a körgyűrűk teljesen egybevágók legyenek. Ezt pontos mérésnél mindenképpen teljesíteni kell. Ehhez igen pontos prés-szerszámot kell készíteni.

2. Az így kapott próbatestek, noha készítésük jelentős mennyiségű anyag felhasználásával jár, mágnesezési görbék felvétele után másra már nem használhatók, tehát selejtté válnak.

3. A toroid-alakú próbatesteket nehézkes tekercselni s így a mérés csak laboratóriumi jellegű lehet.

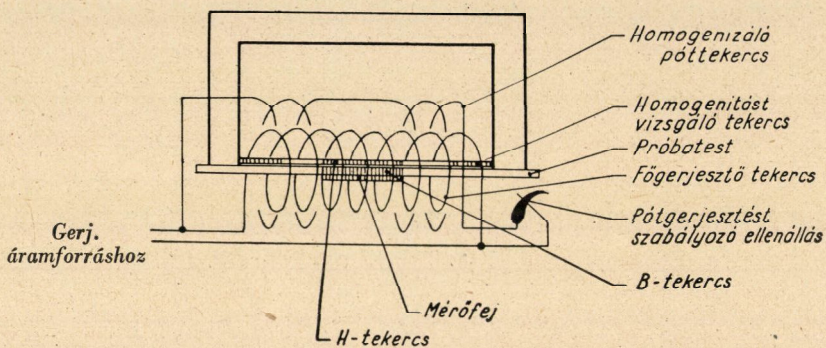
Fenti okokból mindinkább arra irányul a törekvés, hogy lehetőleg ne toroid-alakú próbatesteket használjunk, hanem lemezcsíkot. A toroid kiküszöbölésével azonban más nehézségek állottak elő. A lemezcsíkok alakú próbatestet a mágneses-kört záró járomba kell fogni s az illesztések helyén úgynevezett illesztési légrések állnak elő. Itt az anyagon, illetve próbatesten lemágnesezési pólusok keletkeznek, a légrés körül pedig szóródások állnak elő, amelyek a tér alakulását inhomogénná teszik. A légréssel kapcsolatban általában annak a célnak kell szem előtt lebegni, hogy az illesztési légrés mágneses ellenállása sokkal kisebb kell hogy legyen, mint a mérendő nagy permeabilitású próbatest mágneses ellenállása.

Esetünkben a próbatest befogási hossza 125 mm, keresztmetszete $0,0352 \text{ cm}^2$, vastagsága $0,0352 \text{ cm}$, szélessége 1 cm (4. ábra).

A mérésnél a járom-befogásnál fellépő illesztési légrés, valamint az ábrából is kivehető kisméretű főgerjesztő-tekerces következtében előállott inhomogén tér miatt mutatkozhatnak jelentékeny hibák. Mindenesetre elsőrendű követelmény, hogy a nagy permeabilitású anyagok teljesen homogén térben legyenek mágnesezve.

E felsoroltak szem előtt tartásával mérésünket a következő megfontolás szerint rendeztük el:

A főgerjesztő tekercsre, mely a próbatesten végigfut és melynek $2N$ menetszáma van, két oldalt $N-N$ menetszámú póttekerceset helyeztünk. Ezen



4. ábra

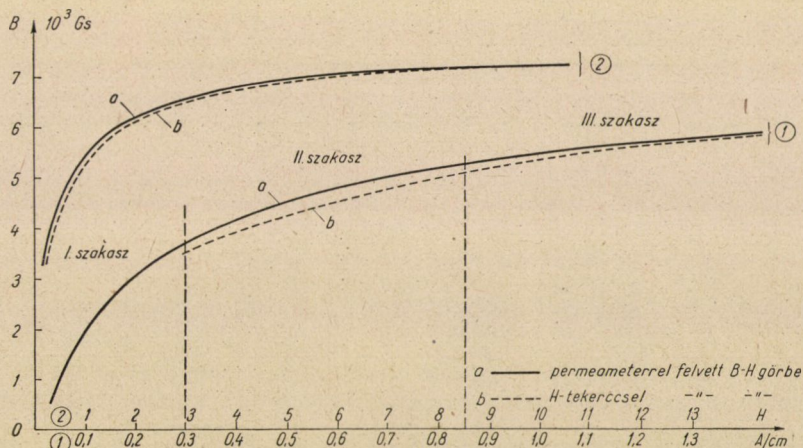
póttekerceseket a $2N$ menetszámú szolenoidhoz szabályozható ellenállás segítségével párhuzamosan kapcsoltuk. A póttekercesekkel előállított mágneses mező egyirányú volt a főgerjesztő mezővel, melyet a $2N$ menetszámú szolenoid gerjesztett. A tér homogenitását mármost a következőképpen vizsgáltuk meg:

Egy, a próbatest szélességének megfelelő kb. $2,5 \text{ mm}$ vastag bakelitlapocskát három helyen: a két szélén és a közepén bemélyítettünk, és oda tekerceseket helyeztünk. Mégpedig a közepére $2N_1$ menetszámút, a két szélére pedig N_1-N_1 menetszámút. (A két szélső, vagyis az N_1-N_1 menetszámút egymással sorba és e két, sorbakapcsolt tekerceset a középső $2N_1$ menetszámúval szembekapcsoltuk.) Az egészet szolenoidba helyeztük és ellenőriztük, hogy nagy homogén terek esetén sem ad-e a hozzákapcsolt ballisztikus galvanométer kitérést. Tehát homogén térre mintegy hitelesítettük az ellenkapcsolt »H«-tekerces-csoportot. Az így hitelesített tekerceseket behelyeztük a próbatest főgerjesztő tekercsébe és a póttekercesekkel addig szabályoztuk a főgerjesztéshez járuló pótgerjesztést, míg meg nem győződünk arról, hogy a ballisztikus galvanométer bármilyen térerősségnél zérus kitérést ad. Ekkor a viszonylag kis szolenoid-gerjesztette mágneses tér homogenizálva volt. Egy

átkapcsoló segítségével a bakelit-lapocskára helyezett középső $2N_1$ menetszámú tekercset leválasztottuk, és azt H-mérésre használtuk fel. Az első mágneselési görbe felvételénél minden H érték mellett homogenizáltuk a teret s közvetlen utána a homogén térerősséget a középső tekercssel, valamint a permeaméterrel megmértük.

Az 5. ábrán a méréssel kapcsolatban a következőket olvashatjuk le :

I. szakasz kb. $0,275 \text{ Am/cm}$ -ig a H-tekercssel egyáltalán nem tudtuk a térerősséget megmérni, mert ilyen kis térerősségeknél a ballisztikus galvanométer nagy érzékenysége és a H-tekercs nagy menetszáma (kb. 1000 menet)



5. ábra

ellenére sem kaptunk számbavehető kitérést a galvanométeren. A H-tekercs felülete : $0,52 \text{ cm}^2$ volt.

II. szakasz. Ezen szakaszban az azonos indukcióhoz tartozó térerősségek között még mindig nagy eltérések mutatkoztak. Megjegyzendő azopban, hogy a H-mérésnél olyan kis kitérést adott a ballisztikus galvanométer, hogy a kitérés leolvasásakor jelentős hibát is elkövethettünk.

III. szakasz. Ahol a H-mérésnél a ballisztikus galvanométer már elég nagy kitérést adott, a kétféle módszerrel felvett B-H görbe igen közel fut egymáshoz.

Az eltérések okai a következők lehetnek :

1. A H-tekercs középvonala messzebb van a próbatesttől, mint a mérőfej középvonala. A mi esetünkben a mérőfej középvonalának távolsága a próbatesttől $1,2 \text{ mm}$, a H-tekercsé kb. 4 mm . Miután közvetlen a próbatest felületén az erővonalak megritkulnak, a mérőfejjel kevesebb erővonalat, és ezzel kapcsolatban kevesebb térerősséget fogunk mérni, mint a H-tekercssel.

2. Szórások, melyek folytán a mágneses térerősség nem egyforma a próbatest hossza és szélessége mentén. Ezt, mint már említettük, legfeljebb méréssel lehet kimutatni, számítással nem lehet követni.

Nagy permeabilitású anyagok mágnesezési görbéjének felvételénél a fenti ismert nehézségek mellett mégis lényegesen előnyösebbnek mutatkozik a permeaméterünkkel végzett mérés, mert a térerősség mérését üzemi viszonylatban is be lehet vezetni annak egyszerűsége és relatív nagy pontossága miatt. Ugyancsak nagy előnyére írandó az, hogy a térerősséget igen kis értékeknél meg tudjuk mérni, ami éppen nagy permeabilitású anyagoknál elengedhetetlen a kezdeti permeabilitás értékének megismerése miatt.

A permeaméter felhasználása anyagvizsgálati célra

Az anyagvizsgálat négy területén vizsgáltuk meg a készülék alkalmazhatóságát:

1. Metallográfiai vizsgálat céljára.
 2. Mechanikai feszültségek vizsgálatára.
 3. Hengerlés következtében mutatkozó inhomogenitások vizsgálatánál.
 4. Belső hibák és hajszálrepedések felkutatásánál.
- Ezekről a vizsgálatokról későbbi közlemény fog beszámolni.

IRODALOM

Könyvek:

- Richard M. Bozorth*: Ferromagnetism. D. Van Nostrand Company New York, 1951.
Karapetoff: Experimental Electrical Engineering. John Wiley and Sons New York, 1948.
Simonyi: Elméleti villamosságtan. Egyetemi könyvkiadó. 1952.
Karsa Béla: Villamos mérések. Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, 1950.
Retter: Mágneses terek és körök. Tankönyvkiadó 1952.
Messkin-Kussmann: Die Ferromagnetische Legierungen. Berlin, 1932.
Gumlich: Leitfaden der magnetischen Messungen. Braunschweig, 1918.

Folyóiratok:

- Garr, W. I.* »A New D. C. Permeameter«. — Symposium on Magnetic Testing. (A. S. T. M. 1948.)
Dr. F. Förster: Neuere Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. Archiv für das Eisenhüttenwesen. (Bd. 95, Heft 12. S. 284—291.)
T. M. Palmer: A Small Sensitive Magnetometer. Power Engineering. (Okt. 1953.)
Dipl. Ing. R. Kühne: Magnetfeldmessung mit Eisenkern-magnetometer nach den Oberflächenverfahren. A. T. M. Aug. 1952.

HOZZÁSZÓLÁSOK

KARSA BÉLA

Az előadásban ismertetett permeaméter a Carr-féle permeaméter módosított változata, melynél mint ott is, a mérés, a mágneses tér kompenzálásán alapul. Bár a berendezés még nem tekinthető befejezett kutatásnak, mégis komoly anyagvizsgálati eredményeket sikerült vele elérni. A mágneses mérésekkel kapcsolatban nem tartja megnyugtatónak a 10–12 százalékos eltéréseket, és szükségesnek véli az eltéréscsoportnak elhárítását, illetve az eltérés okának kiderítését. Kívánatosnak tartja a készülék alkalmazhatósági korlátainak kikutatását és annak megállapítását, hogy mekkora a legkisebb méretű próbatest, amellyel a készülék még használható. Ennek a permalloy és a mumetal vizsgálatokor igen nagy jelentősége lenne.

ZOLTÁN ISTVÁN

Az ismertetett mérőeszköz tulajdonképpen mágneses anyagvizsgálat céljára készült készüléknek a térerősségmérő eleme, de alkalmazási területeit a szerzők az általános anyagvizsgálat területére is kiterjesztették.

Szeretne felvilágosítást kapni arra, hogy folytattak-e vizsgálatokat transzformátor- és dinamólemez mágneses tulajdonságainak mérésére.

A Villamosipari Központi Kutató Laboratóriumban kidolgoztak transzformátor- és dinamólemez vizsgálatára olyan készüléket, amellyel a fajlagos vasveszteséget folyamatosan lehet indikálni.



A KEMÉNYSÉGMÉRÉS MÓDSZEREINEK HELYZETE ÉS AZ NDK MÉRÉSÜGYI HIVATAL PONTOS ROCKWELL-KEMÉNYSÉGMÉRŐ MŰSZERÉNEK FEJLŐDÉSE*

K. HORMUTH

NÉMET SÚLY- ÉS MÉRÉSÜGYI HIVATAL (DAMG)** BERLIN

A különböző anyagok vizsgálatának egyik legfontosabb és legelterjedtebb módja a keménységmérés, melyet az iparban egyre nagyobb mértékben alkalmaznak a minőség biztosítására és gyártásellenőrzésre egyaránt.

A keménység fogalma nem egyértelmű. Kifogástalan fizikai meghatározása ez ideig még nincs. Bizonyítottnak vehető, hogy a keménység az atomok és molekulák rácsszerkezetével van összefüggésben. A keménység egyszerű és ésszerű magyarázata az anyag mechanikai igénybevételéből adódik. Ha meghatározott mértani alakú testet egy másik test felületébe lassan benyomunk, a benyomódás bizonyos ellenállással találkozik: ezt nevezzük keménységnek. A behatolási folyamat akkor ér véget, amikor a képlékeny alakváltozás, vagyis az anyag folyása megszűnt és ezzel bizonyos egyensúlyi állapotot érünk el.

A számos keménységmérési eljárás közül az ipari gyakorlatban főleg a Rockwell-, Brinell- és Vickers-féle keménységmérési eljárásokat használják. A keménységmérési eljárások tökéletesítésére nagy gondot kell fordítani, mert az iparnak igen pontos keménységmérésre van szüksége. A keménység-meghatározás mérés technikai előfeltételeinek kielégítését sajnos, még ma sem ismerik mindenütt fel és a pontatlan, hibás keménységmérések az anyag téves megítéléséhez vezetnek.

A megbízható keménységmeghatározási eljárások kidolgozására irányuló törekvés arra indította a DAMG*-t (az NDK mérésügyi Hivatala), hogy olyan szabványos műszert szerkesszen, amely alkalmas a Rockwell- és Brinell-keménységi fok legkisebb hibával való mérésére. (A Vickers-féle keménységi fok meghatározására szolgáló szabványos műszert csak ezután fogja a Hivatal megszerkeszteni.) Az elkészült szabványos műszer megfelel a keménységmérési technika mai állásának. A Német Mérésügyi Hivatal ezzel a műszerrel hitelesíti a szabványos keménység etalonokat, amelyek az iparvállalatok keménységmérő műszereinek ellenőrzésére szolgálnak.

* Kivonatos ismertetés.

** Deutsches Amt für Mass und Gewicht.

A Német Mérésügyi Hivatal a mérési hibák okait behatóan megvizsgálta és a Rockwell-féle keménységmérési eljárást a DIN 50 103 szabványban egyértelműen lezögezte.

Eszerint a Rockwell keménységmérés olyan mélységmérésen alapuló eljárás, ahol a benyomódási mélység különbségét

a) Rockwell-C módszerrel: 120° csúcscsögű gyémántkúppal (melynek 0,2 mm a csúcs lekerekítési sugara),

b) Rockwell-B módszerrel, 1,588 mm ($1/16''$) átmérőjű acélgolyóval előterhelés alatt, de a főterhelés megszűnte után mérjük. A nyomótestet a tulajdonképpeni mélységmérés megkezdése előtt viszonylag kis előterheléssel (10 kp^*) sajtoljuk be a vizsgálandó anyagba. A főterhelést (140 kp^*) akkor kezdjük működtetni, amikor a nyomótest mélyebben sajtolódik az anyagba. Ennek következtében abban részben maradó, részben rugalmas alakváltozás keletkezik. A főterhelés kiiktatása után az előterhelés tovább hat a nyomótestre, de az eredeti helyzetébe nem tér vissza, az anyag maradó alakváltozása következtében. A kiindulási helyzetből mért behatolási mélység adja meg a vizsgált test keménységének mérvét.

A Rockwell keménységi fokot az alábbi, önkényesen megállapított összefüggésből kapjuk meg:

$$a) \text{ Rockwell-C-re vonatkozóan: } HR_c = 100 - e$$

$$b) \text{ Rockwell-B-re vonatkozóan: } HR_b = 130 - e,$$

ahol e a behatolási mélység a főteher megszüntetése után, Rockwell-egységekben.

Az e mértékegysége $0,002 \text{ mm} = 1$. Ha a megmaradó t_b benyomódási mélységet mm-ben fejezzük ki, úgy a következő összefüggés érvényes:

$$HR_c = 100 - \frac{1}{0,002} \cdot t_b = 100 - 500 \cdot t_b,$$

vagy

$$e = 500 \cdot t_b.$$

Ennek alapján a 0 Rockwell keménységi fok 0,2 mm-es benyomódási mélységnek, a 100 Rockwell-keménységi fok pedig nulla mm-nek felel meg. A keménységi fok leolvasása tehát a mélységjelzéssel ellentétes irányú. A keménységet századmilliméter osztású mérőórán közvetlenül Rockwell keménységi fokban olvashatjuk le.

A Rockwell-féle gyémántkúp benyomódási folyamatánál a vizsgált darab keménységétől függően a keletkezett benyomat alakja szerint három különböző kombináció lehetséges:

* Hazai szabványban kg van.

a) A szűrőtest csak lekerekített csúcsával hatol a vizsgált darabba. A maradandó benyomat gömbsüveg alakú.

b) A szűrőtest előterhelés mellett a gömbsüveggel és teljes terhelés esetén a kúpfelületen is behatol. A főterhelés kiiktatása után a maradandó benyomat alsó részén gömbalakú, felső része pedig kúpos. A Rockwell-C vizsgálatnál ez az általános eset.

c) A nyomótest előterhelés alatt kúpos felületével behatol. A főteher megszüntetése után a maradó benyomat alul gömb, fent kúpalakú. Ez az igen lágy anyagok esete (30 HRc alatt).

A fent leírt három benyomati alak keletkezésének előfeltételei a következők:

1. a vizsgált anyag egyenletes, vagyis egységes szerkezetű legyen,
2. a keletkezett benyomatok a szűrőtest ideális alakjának megfeleljenek és
3. a főterhelés eltávolítása után a benyomaton az anyag rugalmas tulajdonságai következtében ne mutakozzék további módosulás.

A gyakorlatban azonban a három előfeltétel teljes mértékben ki nem elégíthető.

A DIN 50 103 szabvány kimondja, hogy a terhelésnek lökésmentesen kell történnie. Az előterhelésről az összes terhelésre való fokozatos áttéréshez 3—6 sec időnek kell eltelni. Az összterhelésnek addig kell hatnia a vizsgálandó darabra, míg a mélységmérő berendezés mutatója nyugalmi helyzetbe jut. Ez az előírás azonban nem lebecsülendő bizonytalanságot idéz elő. A folyási folyamat időtartama a különböző fémeknél, ötvözeteknél különböző, és annak befejeződését a vizsgálatot végző egyénnek kell megítélnie.

Itt utalunk az üzemekben szokásos veszélyes gyakorlatra, amikor a vizsgálatot a szabványos vizsgálati idő rövidítésével befolyásolják, vagy azt megszakítják, hogy ezzel a vizsgált mennyiség növelésével a teljesítményt emeljék.

A szabványos műszer szerkesztésénél a következő különleges hibaforrásokat vettük figyelembe :

1. A keménységmérő műszer szerkezete.
2. A nyomótest makro- és mikrogeometriai alakja. Az egyes szerkezeti részek hibáit a minimumon kell tartani, ha a készülék összhibájában nem szabad egy bizonyos határt túllépni. A szabványos műszer tervezésénél előírtuk, hogy annak hibája $\pm 1,5$ Rockwell-egység-nél azonos nyomótest alkalmazása esetén nagyobb ne legyen.

A helytelen befogásból eredő hibacsoport kiküszöbölésére előfeszítést alkalmaztunk. Az előfeszítés oly mértékben terheli a műszerállványt, hogy a mélységmérés irányában károsan ható elmozdulás már kiegyenlítődjék. Ugyancsak ügyelni kell a mérőóra hibáira, mert a mérőóra 5 μ -os szórási vagy jelzési hibája mintegy 0,5 Rockwell-egységnyi hibát jelent. Gondosan kiegyensúlyozandó az óra mérőcsapjának nyomása is. Az előterhelés hibahatárát ± 2 5%-ban állapítottuk meg. Ezt a tűrést a járulékos mérőcsapnyomás nem lépheti túl. A mérésre a leglényegesebb befolyást kifejező tényező maga a

nyomótest, amely acélba foglalt gyémánt. A gyémánt biztosan üljön foglalatában, mert ferdén ágyazott, vagy laza foglalatú gyémánt hibás mérési eredményeket okozhat.

A gyémánt nyomótest alakhűségének különös jelentősége van. Rendkívül nehéz a gyémántkristályt úgy köszörülni, hogy pontos kúppalást és annak csúcsán a helyes legömbölyítés keletkezzék. A DIN 50 103-ban megengedett tűrési határon belül levő szabványos nyomótestek 0,8 Rockwell egységnyi szórást idézhetnek elő. Makrogeometriai szempontból megfelelő gyémánt akkor is szórást okozhat, ha mikroalakja és felülete nem kifogástalan.

Fentiek figyelembevételével készítette el a Német Mérésügyi Hivatal szabványos Rockwell keménységmérő műszerét. A hibaforrások legnagyobb részét ki tudtuk küszöbölni. A mérőerőt az előterhelésből és a főterhelésből összeadódó közvetlen súlyterhelés adja. Az erőátviteli kar, a felfüggesztett részek és a nyomótesttartó foglalat gyakorlatilag hibamentes. A terhelés sebessége olajfékkel szabályozható. Az egyes alkatrészek súrlódásából eredő hatásokat golyóscsapágyazással a mérés szempontjából elhanyagolható értékig csökkentettük.

A benyomat mélységét optikai úton mérjük, mert az optikai mérés teljes mértékben nyomatékmentes. A mélységmérő berendezésnél már csak a mikroszkóp hibáját kell figyelembe venni. Az osztásokat a Német Mértékügyi Hivatal hossznormáliájával (végmérő komparátor) ellenőriztük és a csekély hibákat korrekcióval vettük figyelembe.

A tárgyat felfogó készüléknél a tervezés során kiküszöböltük mindazokat a káros hatásokat, amelyek a műszer rugalmas alakváltozását okozhatják.

Miután a mérési eredmények további bizonytalansága a nyomótest eddig szokásos befogási módjából ered, annak befogását megváltoztattuk. A foglalatot a szokásos rögzítő csavar nélkül, menetes hüvely segítségével rögzítjük, így utólagos deformálódás, és visszarugózás aligha lehetséges.

A továbbiakban vizsgálatokat végeztünk annak megállapítására, hogy a javított befogás a nyomótest eddigi megerősítési módjából eredő mérési bizonytalanságokat milyen mértékben szüntette meg. A vizsgálatok alapján nyilvánvalóvá vált, hogy a mérőmikroszkópot a tárgytartó asztalon kell rögzíteni és a leolvasást magán a nyomótesten kell eszközölni. Az új Rockwell szabvány-műszerrel $\pm 0,1$ HRc egységnyi pontosság érhető el. Mint említettük, a kifogástalan keménységmérés egyik leglényegesebb tényezője maga a nyomótest. A nyers gyémánt természetadta tulajdonságai korlátozzák az ideális mértani alak előállítását. A porózus és berepedezett nyers kristályok e célra nem megfelelők. Belső mechanikai feszültségektől mentesek legyenek, továbbá nem lehetnek ridegek sem. A gyémántot úgy kell csiszolni, hogy a kristály egyik főtengelye a nyomótest tengelyével egybeessen. Legcélszerűbb az egyik tengelyre merőlegesen csiszolt felületével a gyémántot keményfémlepra fektetni. A nehezen elérhető kúpalakon kívül különösen a csúcs gömbsüvege és a kúppalást érintőleges

átmenetének elkészítése kíván különös gondosságot. Miután nem minden gyémánt-csiszoló üzem rendelkezik a szükséges optikai vizsgálóberendezéssel, a felhasználó feltétlenül követelje meg a DIN 50 103 szabványban megállapított $120^\circ \pm 30'$ csúcshőszögűtűrés és a $0,2 \pm 0,01$ mm lekerekítési sugár betartását.

A Német Mérésügyi Hivatal feladatai közé tartozik a nyomótestek méret-hűségének ellenőrzése és hitelesítése is. A felhasználónak állandóan ellenőriznie kell, hogy a nyomótest használat közben nem sérült-e meg. Lehetőleg optikai úton ellenőrizték a nyomótesteket. A Német Mérésügyi Hivatal a Német Tudományos Akadémia Optikai és Finommechanikai kutató Intézetében Dr. Lau és Dr. Krug kidolgozta új fényképészeti eljárás segítségével, interferencia módszer alkalmazásával ellenőrzi a gyémánttesteket (aequidensit-módszer). A mikrogeometriai alak kifogástalan ellenőrzése biztosítható ugyan, de ezt további vizsgálatoknak is bizonyítani kell.

A Német Mérésügyi Hivatal különféle nyomótestekkel végzett összehasonlító mérések eredményeiből képzett középértéket vette e keménységmérési rendszer alapértékéül. Az így kapott alaplémérték állandó, míg esetleg ha a szabványosnak minősített nyomótest használat közben megsérülne, az alaplémérték is megsemmisülne.

A keménység mérése csak úgy lehet tökéletes, ha egyenletes minőségű anyag segítségével összehasonlító mérések végezhetők. Erre a célra szolgálnak a keménységetalonok. A gyakorlatban minden mérőműszerhez több keménységetalon tartozik, hogy a keménységmérő műszert a Rockwell-skála kellő széles tartományában lehessen ellenőrizni. Nem elég tehát egyetlen keménységetalon, amely egy meghatározott keménység értékét véletlenül helyesen határozza meg, míg pl. a nyomótest alakhibája következtében a további keménységmérések helytelenek lehetnek. A Német Mérésügyi Hivatal feladatai közé tartozik a keménységetalonok gyártási módjának megállapítása és rögzítése is. A keménységetalonnak az alábbi követelményeket kell kielégítenie:

1. Biztosítani kell a keménységi érték pontosságát.
2. A szabványlemez egész felületén azonos keménységi értékeket mutasson.
3. A szabványlemez keménysége idővel ne változzék meg a szövet szerkezetében bekövetkező öregedési jelenségek révén.
4. A felületi simaság, párhuzamosság és egyéb felületi tulajdonságok mellett (érdesség) a geometriai alakhűség betartható legyen.

A feltételek betartásának ellenőrzése szabványos keménységmérő műszerrel történjék. A Német Mérésügyi Hivatal részéről megengedett átlagos szórási érték a Rockwell-c keménység-szabványlemezeknél (etalonoknál) 50 HRc érték felett $\pm 0,2$ Rockwell-egység, 40 – 50-ig $\pm 0,3$ Rockwell-egység lehet.

A szórás egyidejűleg a szövetszerkezet egyenletességének mértéke is. Fenti követelményeket nem könnyű elérni, csak az anyag tulajdonságainak pontos ismerete és kifogástalan hőkezelése teszi lehetővé kifogástalan keménységetalonok előállítását.

Jelenleg mélyreható vizsgálatok folynak olyan anyagszerkezet kialakítására, amely a fenti követelményeknek megfelel.

A jövőben arra kell törekedni, hogy a mérési biztonságot a készülékek szerkezeti javításával tovább növeljük, pontos nyomótesteket állítsunk elő és igen egyenletes szerkezetű keménységetalonokat készítsünk.

HOZZÁSZÓLÁS

LUKÁCS GYULA

A Deutsches Amt für Mass und Gewicht, a nagy hírű Physikalisch-Technische-Reichsanstalt jogutóda a Német Demokratikus Köztársaságban, tulajdonképpen már az anyaintézetben kifejlesztett műszert vett át, amelyet 1945 óta módszeres és alapos munkával tovább fejlesztettek. Ezt azért kellett elmondania, mert az előadás nem adta vissza azt az alapos és hosszú munkát, amelyet az intézet a cél érdekében folytatott.

FÉMEK FELÜLETI RÉTEGEI VASTAGSÁGÁNAK RONCSOLÁSMENTES MÉRÉSE

ALKÉR TIBOR és SCHALK ERVIN

MTA MÉRÉSTECHNIKAI ÉS MŰSZERÜGYI INTÉZETE

Bevezetés

Fémek felületi rétegei, elsősorban a ferromágneses fémek felületén hőkezeléssel, elektrolitosan, vagy más úton előállított réteg vastagságának roncsolásmentes mérése iparunk egyik fontos, de mindeddig kielégítően meg nem oldott feladata.

Külföldön, mint arról a német szakirodalomból tudomást szereztünk, vannak eljárások edzett acél edzési rétege vastagságának roncsolásmentes mérésére; amennyire azonban a megjelent közlésekből megállapítható, ezek alapvetően különböznek a részünkről kidolgozott módszertől. Csupán némi felszínes hasonlóság — mint pl. mérőfejek kiképzése — állapítható meg az általunk kidolgozott és azon egyetlen eljárás között, melynek az irodalom gyakorlati alkalmazását is említi.

I. r é s z

Rétegezett anyagok vizsgálatánál a mérési módszert döntően befolyásolja az alapanyag, illetve a réteg minemősége. Ha tehát rétegvastagság méréséről óhajtunk beszélni, meg kell neveznünk mind az alap, mind a réteg fizikai tulajdonságait. Az elektromos és mágneses módszerek szempontjából az anyagokat négy csoportra oszthatjuk:

1. Szigetelők, dielektrikumok,
2. félvezetők,
3. fémes, de nem ferromágneses anyagok,
4. ferromágneses anyagok.

Gyakorlatban a félvezető csoportot elhanyagolhatjuk, ezek az anyagok ugyanis a vizsgálati módszertől függően, hol mint vezetők, hol mint dielektrikumok tárgyalhatók. A megmaradó 3 csoport bármely tagja alkothat réteget bármely csoportba tartozó alapon, így a következő mérési problémák merülnek fel:

- a) Szigetelő réteg szigetelő alapon
- b) » » fémes »
- c) » » mágneses »

d)	fémes	réteg	szigetelő	alapon
e)	»	»	fémes	»
f)	»	»	mágneses	»
g)	mágneses	»	szigetelő	»
h)	»	»	fémes	»
i)	»	»	mágneses	»

Méréstechnikailag különösebb nehézséget csak az azonos csoportba tartozó alap és réteg esetén találunk, ebben a közleményben ezekkel foglalkozunk, tehát az e) és i) csoportokkal.

Az i) csoportra vonatkozólag matematikai számítások nem lehetségesek, csak az egyes anyagok konkrét és messzemenő ismeretében. Mérési lehetőségek szempontjából meg kell különböztetnünk azt az esetet, amikor az alap és a réteg közötti különbség főleg permeabilitásban, vagy főleg ellenállásban mutatkozik. Utóbbi esetben a mérésnél általában nem kell tekintettel lennünk az anyag ferromágneses viselkedésére. A permeabilitás differencián alapuló mérési eljárások, melyek esetünkben legcélravezetőbbeknek látszottak, elvileg a következők lehetnek :

A) Permeabilitás statikai mérése

- I. Mágnes tapadó erejének mérése.
- II. Ballisztikai galvanométeres mérés, vagy permeaméteres módszer.
- III. Mágneses differenciálhíd.

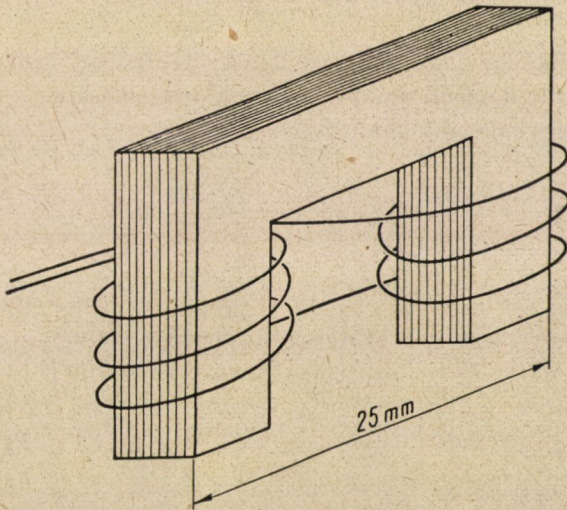
B) Permeabilitás dinamikai mérése

- I. Önindukciómérés a frekvencia, a mágnesező térerő stb. függvényében.
- II. Kölcsönös indukció változásának mérése.
- III. Veszteségek mérése (Hiszterézis, örvényáram).
- IV. Hullámalak torzulásának mérése.

Tisztázni kívánjuk azt, hogy amikor permeabilitás mérésről beszélünk, akkor általában eredő permeabilitást értünk alatta. A mágneses ellenállás, illetve erővonal úthossz változásait a mérőfej észleli, azonban a mérőfej nem tud diszkriminálni az erővonalhossz, keresztmetszet és mágneses permeabilitás-változás között. Ennek eredményeképpen meghatározhatunk mérési szempontból egy eredő permeabilitást, amellyel az a homogén anyag bír, mely az alapanyaggal összehasonlítva a műszeren ugyanakkora kitérést okoz, mint a vizsgált rétegzett anyag.

A felsorolt mérési módszerek közül a közlemény II. részében a B. I. csoportban elért eredményeket ismertetjük. Csupán néhány elméleti kérdést szeretnénk tisztázni, nemcsak a ferromágneses anyagok rétegvastagságával kapcsolatban,

hanem kissé általánosabban. A mérési módszer maga a következő: (1. ábra) U-alakú permalloy-vasmag két szárán foglalnak helyet a sorbakapcsolt tekercsek. Két ilyen mérőfejünk van, melyek egy Wheatstone-hídnak két oldalát képezik, míg a híd kiegyenlítése a másik két ágban levő ohmos ellenállásokkal történik. A mérés menete már most az, hogy a két fejet homogén, réteggel nem bíró anyagra helyezve, a hidat kiegyenlítjük. Ha most az egyik mérőfejet a rétegzett anyagra helyezzük, úgy a réteg eltérő villamos és mágneses sajátságai miatt ennek a mérőfejnek az impedanciája megváltozik és így a híd egyensúlya felborul. Ezt a hídba kapcsolt mérőműszer jelzi. A kiegyenlítetlenségi feszültség,



1. ábra. A mérőtekercs vázlata

illetve áram nagysága megfelelő hitelesítő diagramok segítségével rétegvastagság értékekké számítható át.

A matematikai levezetés célja az, hogy megállapítsuk azt a legkedvezőbb frekvenciát, melynél a legkisebb rétegvastagságváltozásnak a legnagyobb műszerkitérés felel meg. Ehhez természetesen szükségünk van az anyag elektromos és mágneses sajátságainak ismeretére.

A matematikai tárgyalás egyszerűsítésére néhány elhanyagolást végeztünk és most ezeket ismertetjük.

Elsősorban feltételeztük, hogy a mérőfej által az anyagban keltett mágneses tér az anyag felületével párhuzamos, vagyis, hogy a pólussaruk egymástól végtelen távol vannak. Ez az elhanyagolás indokolható azzal, hogy a pólussaruk távolsága az edzett réteg vastagságához képest elhanyagolhatóan nagy, és hogy a szórt mező mágneses ellenállása a teljes mágneses ellenállásnak csak kis része.

Ha azonban a pólussaruk távolsága végtelen, úgy elegendő a rétegzett anyag elektromos vagy mágneses impedanciáját ismerni, azaz ennek a lefolyását

a frekvencia függvényében ; az egész kör mágneses impedanciájának konkrét ismeretére nincs szükség az optimális frekvencia kiszámításához. A Maxwell-egyenletek szimmetriája miatt az elektromos és mágneses impedanciára alakilag azonos összefüggések adódnak, így az egyik kiszámítása már tájékoztatást ad az optimális mérőfrekvenciáról. Minthogy a levezetés nem csak ferromágneses anyagokra vonatkozik, a következő levezetések során feltételezzük, hogy az alapanyag, vagy a réteg permeabilitása és a dielektromos tényezője, illetve vezetőképessége állandó, vagyis feltételezhetjük, hogy

$$\bar{B} = \mu \bar{H}, \text{ ill. } \bar{D} = \varepsilon \bar{E}, \bar{i} = \gamma \bar{E}. \quad (1)$$

Ennek következtében a Maxwell-egyenletek rendszere szokásos alakjában, kiegészítések nélkül használható problémáink megoldására.

Kiindulási egyenleteink tehát :

$$\text{rot } \bar{H} = \bar{i} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}; \quad \text{rot } \bar{E} = - \frac{\partial \bar{B}}{\partial t}; \quad \text{div } \bar{E} = 0 \\ \text{div } \bar{H} = 0 \quad (2)$$

Rétegzett fémek viselkedését óhajtjuk vizsgálni, nem nagy frekvenciákon, tehát elégséges a vezetési áram hatását figyelembe venni.

Rétegzett síktér ellenállása ismert levezetés szerint [1] :

$$Z = \frac{P_1}{\gamma_1} \left[\frac{sh p_1 d + \frac{P_2 \gamma_1}{P_1 \gamma_2} ch p_1 d}{ch p_1 d + \frac{P_2 \gamma_1}{P_1 \gamma_2} sh p_1 d} \right] = \frac{1+j}{\gamma_1 \delta_1} \left[\frac{sh p_1 d + \frac{P_2 \gamma_1}{P_1 \gamma_2} ch p_1 d}{ch p_1 d + \frac{P_2 \gamma_1}{P_1 \gamma_2} sh p_1 d} \right],$$

$$\text{ahol } p_1 = \frac{1+j}{\delta_1} = (A+j) \sqrt{\pi f \mu_1 \gamma_1}, p_2 = \frac{1+j}{\delta_2} = (1+j) \sqrt{\pi f \mu_2 \gamma_2}$$

ha $d=0$, kapjuk az alap impedanciáját (3a ábra) :

$$Z_0 = \frac{P_1}{\gamma_1} \frac{P_2 \gamma_1}{P_1 \gamma_2} = \frac{P_2}{\gamma_2} = \frac{1+j}{\gamma_2 \delta_2}$$

minthogy összehasonlító mérésről van szó, a $\frac{Z}{Z_0}$ viszony érdekel :

$$\frac{Z}{Z_0} = \frac{\gamma_2 \delta_2}{\gamma_1 \delta_1} \left[\frac{sh p_1 d + \frac{\gamma_1 \delta_1}{\gamma_2 \delta_2} ch p_1 d}{ch p_1 d + \frac{\gamma_1 \delta_1}{\gamma_2 \delta_2} sh p_1 d} \right] =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\gamma_2 \delta_2}{\gamma_1 \delta_1} \left[\frac{e^{p_1 d} - e^{-p_1 d} + \frac{\gamma_1 \delta_1}{\gamma_2 \delta_2} e^{p_1 d} + \frac{\gamma_1 \delta_1}{\gamma_2 \delta_2} e^{-p_1 d}}{e^{p_1 d} + e^{-p_1 d} + \frac{\gamma_1 \delta_1}{\gamma_2 \delta_2} e^{p_1 d} - \frac{\gamma_1 \delta_1}{\gamma_2 \delta_2} e^{-p_1 d}} \right] = \\
 &= \frac{\gamma_2 \delta_2}{\gamma_1 \delta_1} \left[\frac{\gamma_2 \delta_2 e^{p_1 d} - \gamma_2 \delta_2 e^{-p_1 d} + \gamma_1 \delta_1 e^{p_1 d} + \gamma_1 \delta_1 e^{-p_1 d}}{\gamma_2 \delta_2 e^{p_1 d} + \gamma_2 \delta_2 e^{-p_1 d} + \gamma_1 \delta_1 e^{p_1 d} - \gamma_1 \delta_1 e^{-p_1 d}} \right] = \\
 &= \frac{\gamma_2 \delta_2}{\gamma_1 \delta_1} \left[\frac{(\gamma_1 \delta_1 + \gamma_2 \delta_2) e^{p_1 d} + (\gamma_1 \delta_1 - \gamma_2 \delta_2) e^{-p_1 d}}{(\gamma_1 \delta_1 + \gamma_2 \delta_2) e^{p_1 d} - (\gamma_1 \delta_1 - \gamma_2 \delta_2) e^{-p_1 d}} \right] = \\
 &= \frac{\gamma_2 \delta_2}{\gamma_1 \delta_1} \left[\frac{(\gamma_1 \delta_1 + \gamma_2 \delta_2) e^{(1+j) \frac{d}{\delta_1}} + (\gamma_1 \delta_1 - \gamma_2 \delta_2) e^{-(1+j) \frac{d}{\delta_1}}}{(\gamma_1 \delta_1 + \gamma_2 \delta_2) e^{(1+j) \frac{d}{\delta_1}} - (\gamma_1 \delta_1 - \gamma_2 \delta_2) e^{-(1+j) \frac{d}{\delta_1}}} \right]
 \end{aligned}$$

tekintve, hogy: $\delta_1 = \frac{1}{k_1} = \frac{1}{\sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}}$, $\delta_2 = \frac{1}{k_2} = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_2 \gamma_2}}$

$$\begin{aligned}
 &\frac{\gamma_2 \sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}}{\gamma_1 \sqrt{\pi f \gamma_2 \mu_2}} \left[\frac{\left(\frac{\gamma_1}{\sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}} + \frac{\gamma_2}{\sqrt{\pi f \gamma_2 \mu_2}} \right) e^{(1+j)d \sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}} +}{\left(\frac{\gamma_1}{\sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}} + \frac{\gamma_2}{\sqrt{\pi f \gamma_2 \mu_2}} \right) e^{(1+j)d \sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}} -} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\left(\frac{\gamma_1}{\sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}} - \frac{\gamma_2}{\sqrt{\pi f \gamma_2 \mu_2}} \right) e^{-(1+j)d \sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}}}{-\left(\frac{\gamma_1}{\sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}} - \frac{\gamma_2}{\sqrt{\pi f \gamma_2 \mu_2}} \right) e^{-(1+j)d \sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}}} \right] = \\
 &= \sqrt{\frac{\gamma_2 \mu_1}{\gamma_1 \mu_2}} \left[\frac{\left(\sqrt{\frac{\gamma_1}{\mu_1}} + \sqrt{\frac{\gamma_2}{\mu_2}} \right) e^{(1+j)d \sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}} + \left(\sqrt{\frac{\gamma_1}{\mu_1}} - \sqrt{\frac{\gamma_2}{\mu_2}} \right) e^{-(1+j)d \sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}}}{\left(\sqrt{\frac{\gamma_1}{\mu_1}} + \sqrt{\frac{\gamma_2}{\mu_2}} \right) e^{(1+j)d \sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}} - \left(\sqrt{\frac{\gamma_1}{\mu_1}} - \sqrt{\frac{\gamma_2}{\mu_2}} \right) e^{-(1+j)d \sqrt{\pi f \gamma_1 \mu_1}}} \right]
 \end{aligned}$$

legyen:

$$a = \sqrt{\frac{\gamma_1}{\mu_1}} + \sqrt{\frac{\gamma_2}{\mu_2}}$$

$$b = \sqrt{\frac{\gamma_1}{\mu_1}} - \sqrt{\frac{\gamma_2}{\mu_2}}$$

$$c = d \sqrt{\pi \gamma_1 \mu_1} \quad (1+j)$$

$$g = \sqrt{\frac{\gamma_2 \mu_1}{\gamma_1 \mu_2}}$$

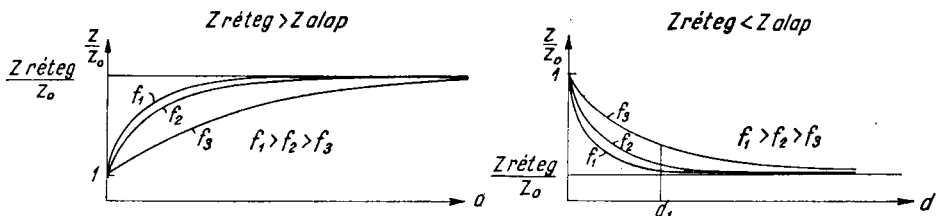
$$\text{így: } \frac{Z}{Z_0} = g \frac{ae^{c\sqrt{f}} + be^{-c\sqrt{f}}}{ae^{c\sqrt{f}} - be^{-c\sqrt{f}}} \quad \checkmark$$

alakú megoldásra jutunk. Ez a tört komplex számlálója és nevezője révén komplex értéket ad. A görbék felrajzolásánál és a táblázatok számításánál a képzetes részt elhanyagoltuk. Ez a következő szempontból volt megengedhető :

Kis frekvenciákon : $c \sqrt{f}$ értéke kicsiny, így a képzetes részt kitevő sinus argumentuma is kicsiny, a képzetes rész a reális rész mellett elhanyagolható.

Nagyobb frekvenciákon : A törtben a számláló és nevező második tagja egyre elhanyagolhatóbbá válik az első tag mellett, így a tört értéke a komplexitásra való tekintet nélkül az egységhez közeledik. Pontosabb számítások során kiadódott, hogy a képzetes rész elhanyagolásával adódó hiba sokkal kisebb, mint azok a hibák, amelyeket egyéb elhanyagolásokkal követtünk el. Ezekről a hibákról később még külön lesz szó.

Ha $\frac{Z}{Z_0}$ -t diagramban ábrázoljuk, aszerint, hogy az alapanyag, vagy a réteg impedanciája a kisebb, a következő két ábra adódik :



2. ábra

Ezekből láthatjuk, hogy kis rétegvastagságoknál, illetőleg kis frekvenciáknál a rétegezett anyag úgy viselkedik, mintha réteg nem is volna, nagyobb rétegvastagságoknál és nagyobb frekvenciáknál viszont már az alapanyag befolyása tűnik el. Adott d rétegvastagság esetén a legkedvezőbb mérési frekvenciák megkeresése a következőképp történik : a diagramban a d -tengelyen a d_1 pontban merőlegest állítunk és ennek mentén megkeressük azt a frekvenciaértéket, amelynek görbéje e helyen a legmeredekebb. Matematikailag ez a d és f szerint vett vegyes másodrendű derivált 0 pontjának megkeresését jelenti.

Matematikai számításaink során nem a d , hanem a c érték szerint vett deriváltat használtuk fel ; ez megengedhető, mert a c értékében d mint szorzótényező fordul elő.

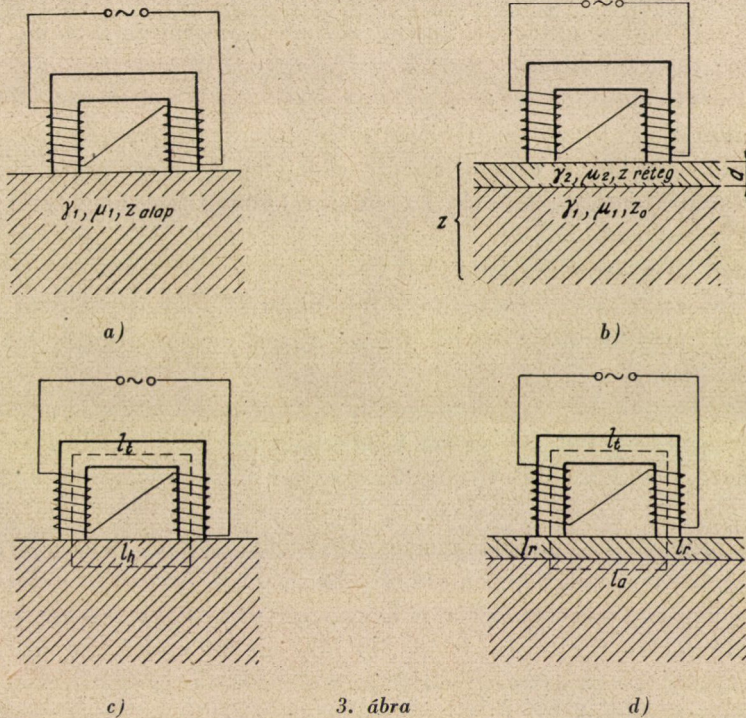
Először c szerint differenciálva a következő eredmény adódik :

$$\frac{\partial}{\partial c} \frac{Z}{Z_0} = g \frac{-4 ab \sqrt{f}}{(ae^c \sqrt{f} - b e^{-c} \sqrt{f})^2}$$

Ha ezt az egyenletet megvizsgáljuk, látjuk hogy 0 helye a c függvényében csak ∞ -nél van, azaz maximum és minimum pontok híján a mérés egyértelmű.

Fenti egyenletünket most f szerint deriválva :

$$\frac{\partial^2}{\partial c \partial f} \frac{Z}{Z_0} = \frac{4 abg \left[\frac{1}{2 \sqrt{f}} (ae^c \sqrt{f} - be^{-c} \sqrt{f})^2 + b^2 ce^{-c} \sqrt{f} - a^2 ce^c \sqrt{f} \right]}{(ae^c \sqrt{f} - be^{-c} \sqrt{f})^4}$$



3. ábra

Ez a kifejezés 0, ha a számláló 0, vagy a nevező ∞ . Miután ez utóbbi lehetőség csak $f = \infty$ -nél fordulhat elő, ezt figyelmen kívül hagyhatjuk, elégséges a számláló 0 helyét megkeresni. A konstansok közül egyedül b lehet 0, ha $\frac{\gamma_1}{\mu_1} = \frac{\gamma_2}{\mu_2}$, ekkor viszont az alapanyag és a réteg között ily módon nem tudunk különbséget tenni, ezt az esetet tehát kizárhatjuk.

Optimális frekvenciára vonatkozó követelményünk tehát :

$$\frac{1}{2\sqrt{f}}(ae^{c\sqrt{f}} - be^{-c\sqrt{f}})^2 + b^2 ce^{-c\sqrt{f}} - a^2 ce^{c\sqrt{f}} = 0.$$

Az egyenlet megoldása csak közelítő módszerekkel lehetséges.

Irodalmi adatok alapján [2], [3], amelyek sajnos, nem egyeztek meg az általunk vizsgált anyagok adataival, két példát számoltunk ki és foglaltunk táblázatokba, melyek egyike edzett acélra, a másik rézzel bevont acéllemezre vonatkozik. (I. I. és II. táblázat.) Mérési területünket a táblázatok bekeretezett része jelzi.

Ha a táblázatban felsorolt adatokat kísérleteink során kapott eredményeinkkel összehasonlítjuk, megállapíthatjuk, hogy az impedancia viszony változása a frekvencia és rétegvastagság függvényében megegyezik a méréseink során kísérletileg találtakkal, jóllehet az anyagi állandó különbözősége miatt a számszerű adatok csak közelítőleg egyeztek. Jó az egyezés rézzel bevont acél esetén is (10., 11., 14. ábra).

Megállapítható továbbá a táblázatból, hogy a mérőfrekvencia kiválasztása nagyságrendileg helyes. E téren is rézrétegekre jobb egyezést kaptunk, melynek okára az alábbiakban rámutatunk. Ez annak tulajdonítható, hogy bizonyos elhanyagolásokat tettünk a matematikai levezetésben, melyek a gyakorlati esetek egy részében nem teljesen indokoltak :

1. a réteget teljesen homogénnek feltételeztük, éles elválasztó felülettel az alap és a réteg között, ez a feltételezés edzett acélon a viszonyok túlzott idealizálását jelenti,

2. feltételeztük, hogy a pólustávolság a rétegvastagsághoz képest elhanyagolhatóan nagy. Ez a feltételezés azt a célt szolgálta, hogy a pólussaruk közelében keletkező tér kialakulását, minthogy e rész impedanciája az egész elrendezés impedanciájához képest elhanyagolható, ne kelljen figyelembe venni.

Nem indokolt ez az elhanyagolás esetünkben akkor, amikor vastagabb edzett rétegeket mértünk s ennek tudható be, hogy olyan mélységekben is kaptunk indikációt, ahol a műszernek az elmélet szerint a rétegvastagság változásaira már érzéketlennek kellett volna lennie. Így pl. egy 0,9 és 1,3 mm edzési rétegű anyagot hasonlítottunk össze. A műszer kitérésének változásait egyszer számítottuk, másszor mértük.

	Számítva	Mérve
0,5 kHz	10 %	15%
1 »	8,3%	7,1%
2 »	5,6%	8%
5 »	3%	8%

E kérdések tisztázása a további kutatások feladata.

I. táblázat. Edzett acélok

A $\frac{Z}{Z_0}$ viszony különböző f frekvencia (Hz) és d rétegvastagság (m) értékekre.

d [m] \ f [Hz]	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}
10	0,96	0,93	0,846	0,74	0,622	0,428	0,354
20	0,950	0,906	0,805	0,674	0,535	0,3984	0,340
50	0,921	0,860	0,753	0,584	0,450	0,348	0,332
100	0,90	0,815	0,654	0,515	0,40	0,335	
200	0,860	0,764	0,580	0,450	0,363	0,332	
500	0,80	0,762	0,492	0,383	0,340		
1 000	0,740	0,622	0,428	0,354	0,332		
2 000	0,674	0,535	0,3984	0,340			
5 000	0,584	0,450	0,349	0,332			
10 000	0,515	0,40	0,335	0,332			
20 000	0,450	0,363	0,332				
50 000	0,388	0,340					
100 000	0,354	0,332					

Anyagállandók:

1.) Edzett anyag:

$\gamma_1 = 3 \cdot 10^6$

$\mu_1 = 150$

2.) Alapanyag:

$\gamma_2 = 11 \cdot 10^6$

$\mu_2 = 5000$

II. táblázat. Rézbevonatú acél

d [m] \ f [Hz]	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}
10	0,99999	0,99999	0,9999	0,999	0,999	0,9824	0,8832	0,7872	0,672	0,4096
20	0,9999	0,9999	0,999	0,999	0,9888	0,9408	0,835	0,736	0,4928	0,3264
50	0,999	0,999	0,999	0,995	0,9632	0,8832	0,7712	0,5664	0,3808	0,2368
100	0,999	0,999	0,999	0,9824	0,9408	0,832	0,688	0,5216	0,3072	0,1773
200	0,999	0,999	0,9884	0,9632	0,9056	0,7712	0,6112	0,448	0,2336	0,1312
500	0,999	0,999	0,979	0,9408	0,848	0,6144	0,4992	0,3168	0,160	0,0896
1 000	0,999	0,999	0,9632	0,8992	0,7904	0,576	0,4096	0,256	0,099	—
2 000	0,999	0,995	0,9312	0,8448	0,7200	0,4928	0,3264	0,1984	—	—
5 000	0,995	0,9632	0,9088	0,7712	0,608	0,3808	0,2336	0,1344	—	—
10 000	0,9824	0,8992	0,832	0,6656	0,5216	0,3008	0,1856	0,0992	—	—
20 000	0,9632	0,89	0,7712	0,6176	0,4256	0,2336	0,1344	0,0704	—	—
50 000	0,9248	0,848	0,736	0,464	0,3264	0,1632	0,0832	—	—	—
100 000	0,8832	0,794	0,6816	0,432	0,2528	0,1184	0,0640	—	—	—

Anyagállandók:

1) acél: $\gamma_2 = 11 \cdot 10^6$
 $\mu_2 = 200$

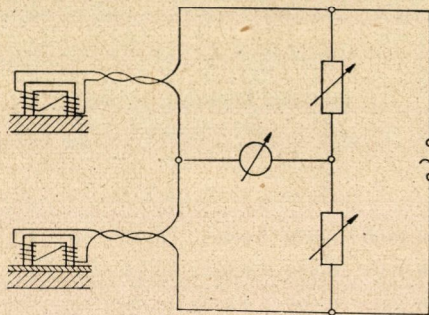
2) réz $\gamma_1 = 57 \cdot 2 \cdot 10^6$
 $\mu_1 = 1$

II. r é s z

Módszerünk alapgondolata egy homogén és egy felületi réteggel bíró anyag mágneses ellenállásának összehasonlítása. Az 1. ábrán látható vasmagos tekercset váltakozó feszültséggel táplálva és ráhelyezve a mérendő felületre, a keletkező mágneses tér eloszlása más egy homogén, mint egy réteges anyagban; ennek következménye pedig az, hogy a tekercs induktivitása, réteges anyagra helyezve, megváltozik; más értéke lesz, mint homogén anyagon. Ez a jelenség természetesen csak akkor mutatkozik, ha az alapanyag és a réteg elektromágneses adatai (permeabilitás, villamos vezetőképesség) egymástól különböznek; ez hőkezelt vagy elektrolitos rétegekkel bevont acélnál így van.

A gerjesztési törvényből levezetett mágneses ellenállás kifejezése: $R_m = \int \frac{dl}{\mu q}$, ahol l az erővonal hossza, μ a permeabilitás, q a mágneskör keresztmetszete; így a mágneskör állandó keresztmetszetű homogén szakaszaira felírhatjuk, hogy:

$$R_m = \int \frac{dl}{\mu \cdot q} = \sum \frac{l_i}{\mu_i q_i}.$$



4. ábra

A mágneskörök ellenállása homogén és felületi réteggel bíró anyagokkal általában különböző, miután (l. a 3. ábrát):

$$\frac{l_t}{\mu_t q_t} + \frac{l_a}{\mu_a q_a} \neq \frac{l_t}{\mu_t q_t} + \frac{l_r}{\mu_r q_r} + \frac{l_a}{\mu_a q_a},$$

ahol a t index a tekercs vasmagjának, h a homogén darab, r a réteg és a az alapanyag megfelelő értékeit jelenti.

A gerjesztőtekercs induktivitása függ a mágneses vezetőképességtől, következésképp a mágneses ellenállásban a felületi réteg okozta változás a tekercs, vagyis a mérőfej induktivitásának értékét is megváltoztatja.

Két, kivitelben és elektromágneses értékeiben egymásközt egyenlő tekercset egy mérőhídba (Wheatstone-, vagy differenciálhíd) iktatunk be (3. ábra).

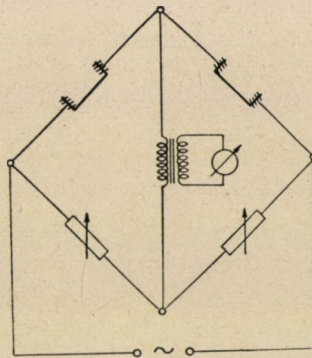
A két tekercs mindegyike a híd egy-egy oldalát képezi, a másik két oldalt változtatható ohmos ellenállások alkotják.

A hidat homogén anyagra kiegyenlítjük úgy, hogy először mindkét mérőfej homogén anyagon van, majd az egyiket a vizsgált, réteges felületre helyezzük át. A híd egyensúlyát ez megbontja, a műszer kitérésének nagysága függ a vizsgált réteg vastagságától. Ha elegendő számú ismert rétegvastagságra elvégezzük a mérést, a vizsgált acélfajtára hitelesítő görbét vehetünk fel, s ennek segítségével ismeretlen rétegvastagságok mérhetőek lesznek.

A mérőberendezés kivitele

1. A mérőfej.

Az 1. ábrán látható tekercs magja lemezelt permalloy, [-alakú, ezen van két, sorbakapcsolt tekercs. A tekercseket, a mérőfelület kivételével, rézlappal árnyékoljuk, hozzávezetésük is árnyékolts vezetékkel készült. A mérendő felületek



5. ábra

kis egyenetlenségei okozta mérési hibákat úgy csökkentjük, hogy a mérőfej kiképzése kis, $\sim 0-0,8$ mm légrés beállítását teszi lehetővé.

2. A mérőhíd.

A mérőhídba egy csővoltmérő van beiktatva. A csővoltmérő elé az első kivitelben hangfrekvenciás transzformátor volt beépítve (5. ábra). Ennek következtében, ha egy adott rétegvastagságú darabról frekvenciagörbét vettünk fel, az kiemelt frekvenciaértékeket, tehát maximumot mutatott, a maximum helye azonban anyagonként változott. A kiemelt frekvenciaértékek különbsége különböző acélfajtáknál a 2 kHz-et is elérte, ugyanazon króm-cél héjded és átédzett darabjai között e különbség 0,45 kHz volt. A különbség oka az, hogy a műszer a transzformátor rezonanciáját és a réteg okozta kitérést egyesítve mutatja. A jelenség mérés szempontjából hasznos, mert egy adott anyagra a megfelelően választott mérőfrekvencia mellett a rétegvastagságok jól és egyér-

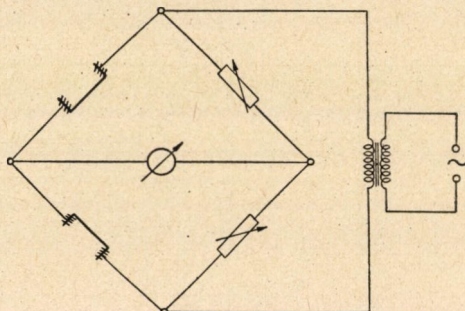
telmően megállapíthatók, elméleti jelentőségű vizsgálatainknál a kiemelés azonban félvezető volt. Később a transzformátort kicseréltük egy másik-
kal, melynek rezonancia pontja magasabb frekvencián volt. Az új transzfor-
mátort szerelési okokból a 6. ábrán látható módon a generátor és a híd közé
kapcsoltuk.

A transzformátor csökkenti a hálózati és egyéb idegen mágneses terek
okozta mérési pontatlanságokat és a berendezés föld- szimmetriáját biztosítja.

Ha olyan transzformátort iktatunk a berendezésbe, melynek rezonáns
frekvenciája jóval a számbajövő frekvenciatartomány fölött van, a kiemelés
megszűnik, de a többi előnyök változatlanul fennállnak; a cikk I. részében ismer-
tetett frekvenciákon belül tetszés szerint választhatunk, nem kell a rezonancia-
pontokra tekintettel lenni.

3. A mérőműszer.

Megfelel hangfrekvenciás csővoltmérő, mely az 1 mV-10 V feszültséghatá-
rokon belül kb. 4⁰/₀ pontossággal mér.



6. ábra

4. A generátor.

Hangfrekvenciás generátor szükséges, mely 0–10 mA áramot képes a
használt frekvenciatartományon belül a hídba táplálni.

Mérési eredmények

Jóllehet a fentiekben és a következőkben is meggondolásunkat és kísér-
leteinket csak sík felületekre korlátoztuk, nincsen akadálya annak, hogy a mérő-
fejek megfelelő kiképzésével az eljárást görbe felületeken, pontszerű méréseknél
is alkalmazzuk, bár kísérleteket ez irányban még nem folytattunk.

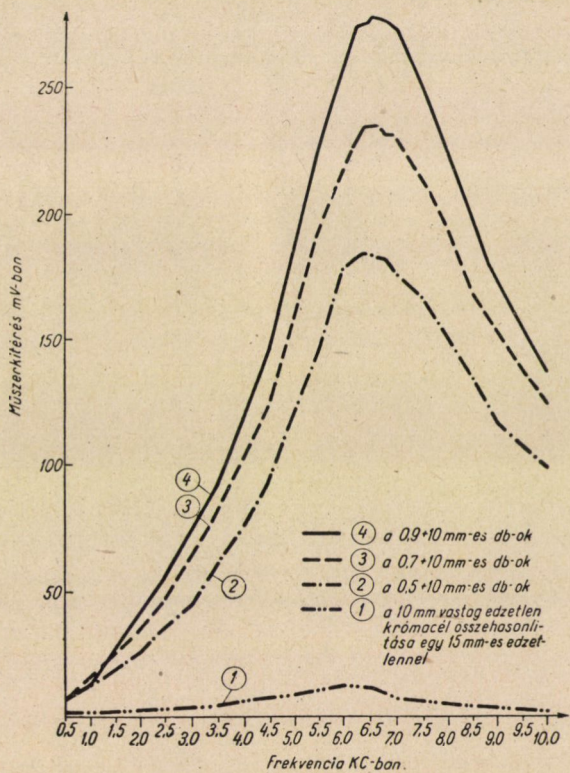
Az eddig elvégzett vizsgálatok három csoportra oszthatók :

- a) acél edzési rétegének mérése,
- b) acélon elektrolitos rétegek mérése és
- c) nem ferromágneses anyagok hőkezelési állapotának mérése.

A *b)* és különösen a *c)* alattiakkal vizsgálataink során még csak kvalitatív értelemben foglalkoztunk, míg az edzési rétegek mérésére irányuló vizsgálataink már jelentős mértékben előrehaladtak. Az alábbiakban e három irányban végzett méréseink eredményeit ismertetjük.

a) Acél edzési rétegeinek mérése

Edzett acél edzési rétegeiben a permeabilitás értéke 50 Gauss/Oersted nagyságrendű, ami jóval nagyobb ugyan a nem-ferromágneses anyagokénál, de lényegesen kisebb az alapanyagénál, tehát az eloszlás megváltozásának feltétele itt teljesítve van. Ez a megállapítás csak szobahőmérsékletű, vagy hideg dara-



7a ábra. Megedzett krómacedarabok edzetlen és átédzett darabok összefogásával előállított utánzatának mérése a frekvencia függvényében

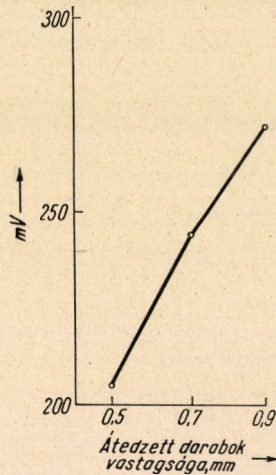
bokra vonatkozik, mert a Curie-pontnál a permeabilitás értéke 1-re csökken ; azonban maga a mérőfej kivitele sem engedi meg meleg anyagok mérését.

A kísérletek során addig, amíg roncsolással ellenőrzött rétegvastagság értékek nem állottak rendelkezésünkre, hőkezeletlen és vékony átédzett krómacedarabokból mesterségesen állítottunk elő héjédzett darabokat. Ez úgy

történt, hogy vastagabb (10 mm vastag) edzetlen darabra egymásután vékony, azaz 0,5, 0,7, és 0,9 mm vastag átedzett darabokat illesztettünk, s így végeztünk méréseket. A mérések alapján felvett frekvenciagörbékét a 7a ábra tünteti fel. Ezen világosan látszanak a különböző mesterségesen előállított rétegvastagságok közötti különbségek (2., 3., és 4. görbék). Ugyancsak jól látható a frekvenciakiemelés is, mely maximális értékét 6,5 kHz-nél éri el. Az 1. számú görbe a híd kezdeti kiegyenlítetlenségének értékeit tünteti fel.

A 7b ábrán az egyik frekvenciaértékre (6,5 kHz) a rétegvastagság függvényében kapott mérési eredményeket tüntettük fel. A mérési pontok számát itt a rendelkezésünkre álló átedzett darabok száma korlátozta.

A betétedzéssel készült héjdedzett próbadarabok rétegvastagságának értékét a gyártó vállalat az iparban ez idő szerint szokványos becslési eljárás alapján adta meg, mely az edzés módját, időtartamát stb. veszi alapul. Ennek alapján kaptuk a 8a ábrán látható görbét, mely a méréseinkkel kapott műszerleolvasásokat

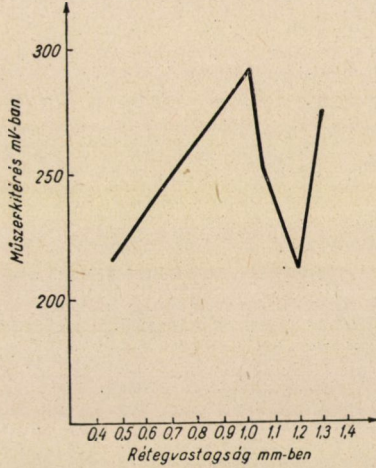


7b ábra

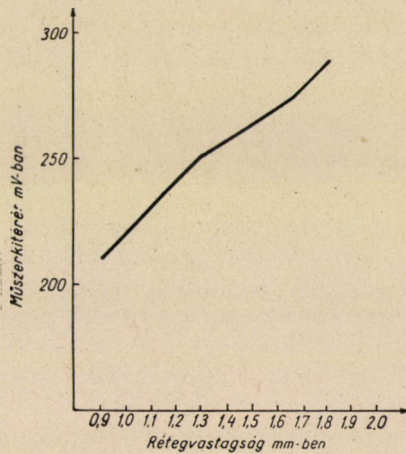
az így megadott rétegvastagság értékek függvényében tünteti fel. Kérésünkre a gyár roncsolásos keménységmérési eljárással ellenőrizte és helyesbítette az eredetileg megadott rétegvastagság értékeket. A helyesbített abszcissaértékekre újból felvittük az általunk eredetileg mért ordinátaértékeket — ezek ugyanazok, mint a 8a ábrán — s így kaptuk a 8b ábrán látható görbét, mely ugyan mutat töréseket, valószínűleg mérési pontatlanságok következtében, de egészében egyenes, összefüggő, töretlen. A mérési pontok száma itt eggyel kevesebb, mint a 7a görbén; ennek oka az, hogy ezek közül kettőnek az ordináta-értékei azonosak voltak s a roncsolásos vizsgálat ezeket a rétegvastagságokat egyenlőknek találta.

Mindezek a mérések csupán néhány, 3—5 különböző ismert rétegvastagság érték megállapítására és ellenőrzésére voltak alkalmasak, s így teljes bizonyító

értékük nem volt. Ezért egy kb. 6 mm mélyre edzett szénacél darabot vizsgáltunk meg úgy, hogy az edzett rétegből kisebb-nagyobb (0,2—1 mm) vastagságú rétegeket leköszörülve végeztünk méréseket, előzőleg azonban az edzett felületre merőleges egyenes mentén megtörtént a darab Rockwell-keménységének vizsgálá-



8a ábra. Mérési eredmények krómaceél daraboknak a gyártó vállalat által eredetileg becsléssel megadott edzési rétegvastagságai függvényében. A mérések 6,5 kHz frekvenciával történtek



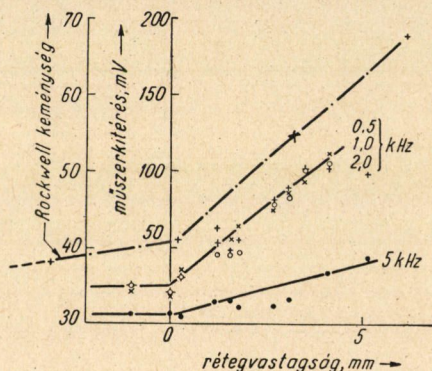
8b ábra. Mérési eredmények krómaceél darabok roncsolásos vizsgálattal módosított edzési rétegvastagságainak függvényében. A mérések 6,5 kHz-on történtek

lata 3—3 mm-ként. A vizsgálatok, valamint a keménységmérések eredményeit a 9. ábrán tüntettük fel. A darab eredeti felülete nem volt sík, ezért, mint az az ábrán látható, mérés szempontjából értéktelen eredményt adott, ugyanez a hiba mutatkozott akkor is, mikor 1 mm réteget legyalultak az edzési rétegből; a gyalulás ugyanis a kemény réteget nem egyenesítette ki, s így a változó mélységű

légrések nem tették lehetővé a pontos mérést. A következő rétegeket már közö-
rüléssel távolítottuk el, a keletkezett sík felületek már jóval pontosabb méréseket
tettek lehetővé. A méréseket a 0,5, 1,0, 2,0 és 5,0 kHz frekvenciákra végeztük el,
az előbbi három frekvenciával végzett mérések eredményei aránylag közel esők
egymáshoz, így azokat egy közös görbével ábrázoltuk; az 5 kHz-el kapottakat
a laposabb görbe tünteti fel. Meg kell jegyeznünk, hogy a transzformátorcsere,
amelyről fentebb megemlékeztünk, e mérési sorozat megkezdése előtt történt.

A Rockwell keménységi görbe a felülettől 6 mm mélységben megtörik,
ugyanígy az általunk felvett görbék is, de miután ez utóbbiak mérési pontjai
sűrűbbek, a törést, tehát az edzési réteg határát 6,15 mm mélységben pontosab-
ban mutatják.

Tekintve, hogy ebben a mérési sorozatban az említett okokból csupán
kb. 6 mm-es edzési rétegvastagságra sikerült elfogadható mérési eredményeket



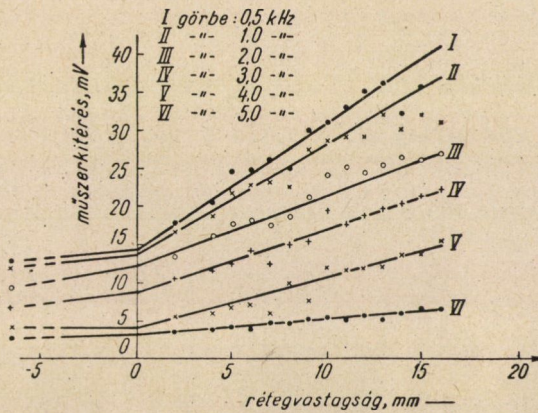
9. ábra

kapni és azt is csak a felülettől számított 2 mm mélységtől kezdve, hasonló méré-
seket végeztünk Jominy-eljárással edzett próbadarabon, melynek edzési mély-
sége 16 mm volt. Itt közörrüléssel távolítottunk el 1–2 mm vastag rétegeket a
darabról és így végeztük el a méréseket.

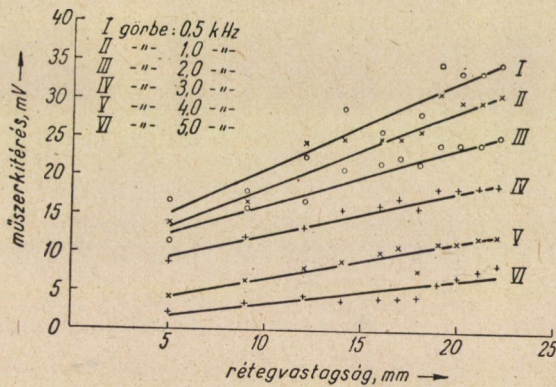
Az előbbtől eltérőleg itt a 3 és 4 kHz frekvenciákkal is mértünk. A mérések
eredményei a 10. ábrán láthatók. A szórás itt kisebb, bár még mindig elég jelen-
tékeny: 0,5 1,0 és 2,0 kHz-nél oly mértékű, hogy a mérések voltaképp csak a
felülettől 2–3 mm mélységben fogadhatók el; a nagyobb frekvenciáknál,
különösen 3,0 és 5,0 kHz-nél azonban a mérési pontok eléggé elfogadható
értékeket adtak végig a 16 mm edzési rétegen. Ennél a mérési sorozatnál a mérési
pontosságot károsan befolyásolta az a körülmény, hogy a mért darab felülete a
mérőfejéhez képest aránylag kicsiny volt, 30 mm \varnothing , s így a mechanikai rezgések
(légrésváltozások) a mért értékekben bizonyos szórást okoztak.

Ugyancsak mérési sorozatot végeztünk (11. ábra) egy 22 mm mélyre edzett
szénacéldarabon, ugyancsak 1–3 mm-es rétegek leközörrülésével. A 0,5 és 1,0

kHz frekvenciasávokra itt is úgy találtuk, hogy azok csak a felülettől számított 4 mm mélységben kezdenek elfogadható eredményeket adni; a 2,0–5,0 kHz frekvenciák azonban már a felületen is jó megközelítést adtak, a szórás ezeknél 3–4 mm mélységig $\leq 10\%$ volt, a rétegvastagság értékében számítva. Ezt az értéket meghaladó szórások csak kivételesen fordultak elő, leginkább az 5 kHz-el végzett méréseknél, valószínűleg az itt talált abszolút értékek kicsinsége folytán (2–6 mV között).



10. ábra



11. ábra

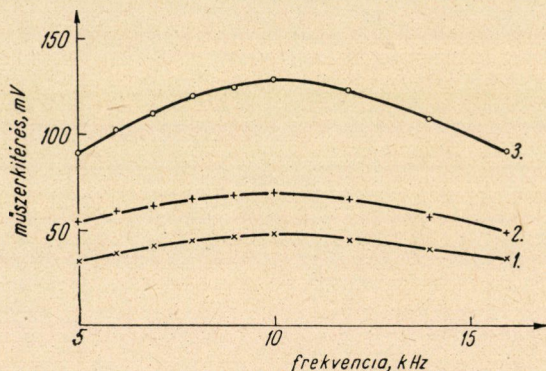
Noha az iparból kapott értesülésünk szerint $\pm 10\%$ pontosság az edzési rétegek vastagságának mérésénél ugyan tökéletesen elegendő (az ipari szükséglet egyelőre beéri az edzési rétegek vastagságának nagyságrendi meghatározásával is), mégis vizsgálatokat és kutatást végzünk abban az irányban, hogy a mérésből a még meglévő bizonytalanságokat minél nagyobb mértékben kikü-

szöböljük, s ezzel az eljárást finomítsuk. A vizsgálatok eredményesen folynak, s kilátás van rá, hogy már a közeli jövőben sikerül a még meglévő pontatlanságot nagymértékben csökkenteni. A vizsgálatok a következő négy körülményre terjednek ki:

1. A generátor kimenő feszültségének, illetve áramának stabilizálása.
2. A vizsgált darabok előzetes demagnetizálása.
3. A vizsgált darabok hőmérséklete befolyásának vizsgálata.
4. A mechanikus rezgések (légrésváltozások) káros hatásának, vagyis a mérőfejek billegésének megszüntetése.

b) Elektrolitos rétegek vastagságának vizsgálata acélokon

A leggyakoribb esetek a réz-, nikkel- és krómrétegek. Utóbbiak nem közvetlenül az alapra, hanem réz alaprétegre kerülnek, sőt krómozott acélnál réz- és nikkelrétegekre kerül a krómréteg.

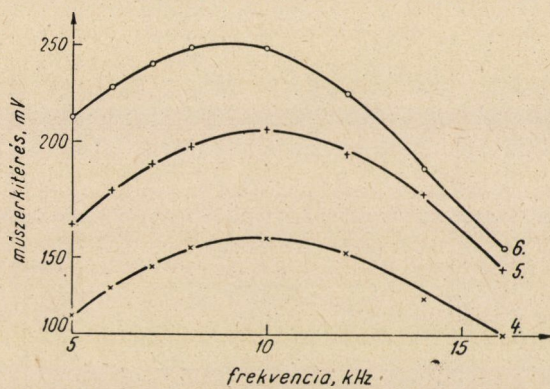


12. ábra

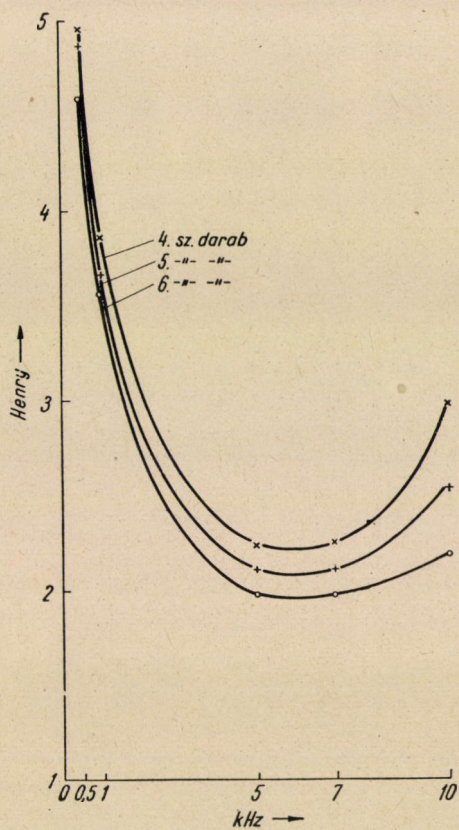
E három fajtára terjedtek ki eddigi kísérleteink, bár e téren a kezdeti vizsgálatokon még nem mentünk túl, így pl. a mérési eredmények roncsolásos ellenőrzése nem történt meg. Ezért az eddigi eredmények számszerűeknek nem mondhatók.

Vizsgálatainkat először rézbevonatú krómacélokon végeztük. Három, egyenlő méretű darabot vizsgáltunk, ezek a beléjük vert számok növekedésének megfelelően hosszabb ideig voltak elektrolitos fürdőben. Az összehasonlítás és a híd méréselőtti kiegyenlítése az alapanyaggal azonos összetételű és méretű krómácél darabra történt.

Az így kapott görbéket a 12. ábra tünteti fel. A görbék, mint látható, a számozás, tehát az elektrolitos fürdő időtartamának megfelelő sorrendben adnak nagyobb értékeket. A kiemelt frekvencia ezeknél 10 kHz-re adódott.

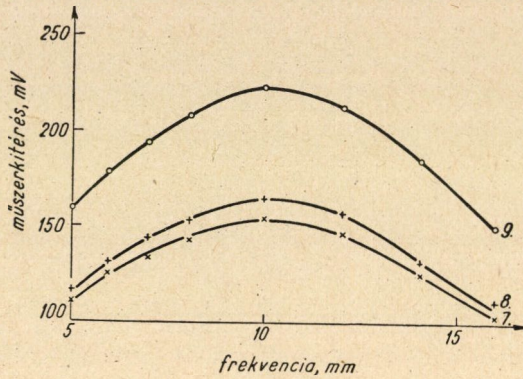


13. ábra

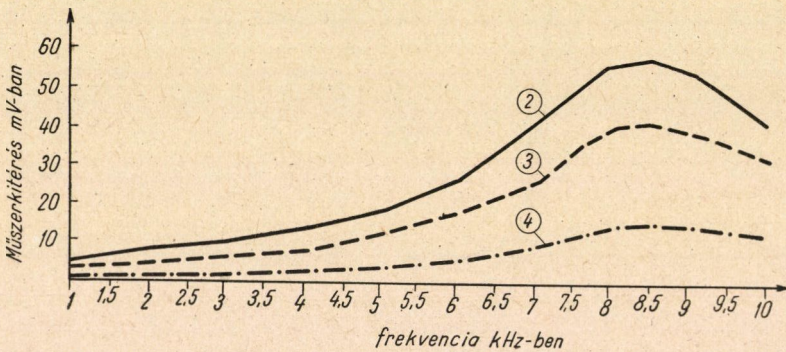


14. ábra

Következő vizsgálatunk három darab nikkelezett krómacélra vonatkozott. A darabok számozásának sorrendje ugyancsak megfelelt az elektrolitos fürdő időtartamának, szintén emelkedő sorrendben; a híd kiegyenlítése és az összehasonlítás itt is úgy történt, mint a rézbevonatú daraboknál. Az így kapott frekvenciagörbéket a 13. ábrán mutatjuk be, ezek általában nagyobb műszer-



15. ábra



— (2)
 - - - (3) } különbözően hőkezelt anyagok
 - · - · (4)

16. ábra. Alumínium-darabok ($50 \times 102 \times 7,5$ mm) mérése, saját anyagból készült hőkezeletlen darabra kiegyenlítve

kitéréseket adtak, mint a rézbevonatú darabok. A kiemelt frekvencia nem volt ugyanaz mindegyik darabon, a 6. sz. darabnál 9 kHz-re adódott ki.

Ellenőrzésképpen ugyanezen darabokra egy másik mérési sorozatot is végeztünk. Az egyik mérőfejet Maxwell-hídba kapcsolva, annak önindukcióját mértük különböző frekvenciákon, úgyhogy a fejet a mért darabokra helyeztük.

A kapott görbéket a 14. ábra mutatja, a görbék ordinátái, mint az várható volt, az eddigivel szemben megfordított sorrendben helyezkedtek el. Miután itt nem az induktivitások különbségét, hanem azok abszolút értékét mértük, a jelenséget természetesnek kellett tartanunk.

Elektrolitosan krómozott acéldarabok mérési eredményeit tüntettük fel a 15. sz. ábrán. A görbék elhelyezkedése itt szintén a számozás sorrendjében történt, a kiemelt frekvencia 10 kHz-re adódott.

Méréseinknél két feltételezést tettünk, nevezetesen :

a) a rétegvastagságokat a darabokon mindenütt egyenleteseknek tételeztük fel,

b) feltételeztük, hogy a rétegvastagságok az elektrolitikus fürdők időtartamával arányosak.

Nincsen módunkban megállapítani a roncsolásos vizsgálatok elvégzése előtt azt, hogy a vizsgált darabok mennyiben tesznek eleget ezeknek a feltételeknek.

A roncsolásos mérések fognak irányítást adni a következő kérdésekre vonatkozó további kutatásokra :

1. mi az összefüggés a műszerkitérésekben mutatkozó különbségek és a feltételezhetően mikronokban kifejezhető rétegvastagság különbségek között ; ezzel kapcsolatban pedig :

2. hogyan befolyásolja a mérési eredményeket a nikkkel-és krómrétegek alatti réz, tehát nem ferromágneses alapréteg ;

3. jöllehet a számozás egyenletesen emelkedő, elektrolitos fürdőben töltött időtartamokat jelöl, a felvett görbék közötti különbségek miért nem emelkednek lineárisan ;

4. mi okozza a 6. sz. vizsgált nikkelezett darab kiemelt frekvenciájának eltolódását ?

Eddigi vizsgálataink kizárólag krómacélokra felvitt elektrolitos rétegek történtek. Ki kell azonban terjeszteni ezt oly irányban is, hogy másfajta acéloknál módszerünk hogyan alkalmazható. Ez is további kutatásokat kíván.

c) *Hőkezelt alumíniumdarabok mérése*

A fémek hőkezelése azok villamos adatait módosítja, következőleg a mágneses terek eloszlását is. Ebből kiindulva, mérési sorozatokat végeztünk három darab, különféle mértékben hőkezelt alumínium lemezen, azonos alapanyagból készült hőkezeletlen darabbal összehasonlítva. A mérést megelőzőleg a hidat, szintén hőkezeletlen alumíniumon, kiegyenlítettük.

A mérések eredményét a 16. ábra görbéi tüntetik fel : jól láthatók a különféle hőkezelések okozta különbségek, noha — nem ferromágneses anyagról lévén szó — az abszolút értékek jóval kisebbek, mint ferromágneses anyagoknál. A kutatást ez irányban egyelőre nem terjesztettük ki.

IRODALOM

a) Könyvek :

1. *Simonyi Károly* : »Elméleti villamosságtan« (Egyetemi Könyvkiadó, 238—260. old.).
- D. F. Hanstock* : »The non-destructive testing of metals.« (Institute of Metals Monograph and Report Series, 10. London, 1951., 4—13. old.)
- Methfessel* : »Dünne Schichten« (W. Knapp Verlag, Halle, 1953).
- Dr. Fr. Förster* : »Eddy Current Instruments for Use in the Field of Non-Destructive Testing.« (Bios, C, 9/1952., Technical Information Documents Unit., London.)
- Dr. Fr. Förster* : Apparatus Dependent on Eddy Current Principles. (Bios, Final Report, No. 720.)
2. *R. Bozorth* : »Ferromagnetism.« (Van Nostrand, New York, 1951.)
- Dr. K. Streckler* : »Hilfsbuch für die Elektrotechnik.« (J. Springer, Berlin, 1921.)
- K. P. Blejov* : Erscheinungen in ferromagnetischen Metallen, VEB Verlag Technik, Berlin 1953.

b) Cikkek :

- W. Jellinghaus* : Zerstörungsfreie Prüfung mit magnetischen und elektrischen Verfahren. Institut für Metallforschung. Düsseldorf. 1952. 138—139. old.
- J. M. Zaat* : Elektromagnetische Schichtdickenmesser, die einen magnetischen Kreis benutzen. Metalloberfläche. 1951. dec. 185—191. old.
- H. Goebbel* : Vasanyagok roncsolásmentes vizsgálata váltakozó elektromágneses térben. Archiv für Eisenhüttenwesen. Düsseldorf. 1952.
- Dr. Fr. Förster* : Die berührungsfreie Messung der Dicke und Leitfähigkeit von metallischen Oberflächenschichten, Folien und Blechen. Zeitschrift für Metallkunde. 1954. ápr.
- S. Levy* : Electromagnetic Shielding Effect . . . Proc. I. R. E. 1936. jún. 923. old.

HOZZÁSZÓLÁSOK

RÉTI PÁL

Az előadók által ismertetett eljárást iparunk ez idő szerint teljességgel nélkülözi. A mindinkább elterjedő felületi hőkezelési eljárásokkal, mint a cementálással, nitrálással, nagyfrekvenciás edzéssel stb. létesített rétegek mérése csakis úgy lehetséges, hogy vagy a darabot roncsolnunk kell és ezen a rétegvastagságot metallográfiai úton láthatóvá téve mikroszkópi méréseket végzünk, vagy pedig közvetett úton a darabokkal együtt azonos hőkezelésű próbatesten az előbbihez hasonló módon végzünk méréseket. Mindkét eljárás rendkívül hosszadalmas, költséges és végeredményben nem biztosít bennünket afelől, hogy valamennyi gyártásra kerülő darabon a mérettel azonos rétegvastagság van.

Tudomásom szerint külföldön is folynak hasonló jellegű eljárások kidolgozására törekvések, de még nem kaptunk hírt arról, hogy bárhol is üzemszerűen a kérdést megoldották volna.

Rá kell mutatnunk az eljárás egy-két hiányosságára; a végleges módszer kidolgozásánál feltétlenül ajánlatos lenne ezek figyelembevételére. Az egyik ezek közül a mérőfejek alkalmassá tétele hengeres tárgyak vizsgálatára. Itt fel kell hívni a figyelmet arra is, hogy a két mérőfejjel való munka általában kényelmetlen és ezért ajánlatos a mérőfejeket közös foglalatba téve könnyen kezelhetővé tenni. További nehézséget látok a gyakorlati keresztülvitelnél abban, hogy a méréshez szükséges etalonok előállítása különféle kémiai összetételű anyagok vizsgálatánál nehézséget fog okozni, s ezért gondolni kell arra, hogy a módszer lehetőség szerint minél kevesebb etalonnal minél szélesebb területen alkalmazható legyen. Elvileg a módszert mint összehasonlító módszert alkalmazni, sőt az abszolút mérési eljárásnál jobbnak tartom.

KONCZ ISTVÁN

Az ismertetett módszer nagy jelentőségű a magasfrekvenciás edzés technikájában.

Bonyolultabb munkadarab, pl. forgattyús tengely edzésekor, igen fontos, hogy az edzési mélység a sarokban, tehát a legjobban igénybe vett pontokon, nem hatol-e túl mélyre, azaz éppen a legjobban igénybe vett pontokon keletkeznek nagy káros feszültségek.

Ezért szükségesnek véli a mérőfej olyan kiképzését, hogy aránylag kis méretek mellett az edzést követni lehessen.

A felület keményítésének valamilyen más módja, pl. nitrálásakor is van-e kimutatható effektus és meghatározható-e a rétegvastagság ilyen módon.

SZABÓ GYÖRGY

Elismerését fejezi ki az előadók munkájáért. A hídban mért induktivitásnál rendkívül erős frekvenciafüggőséget találtak a szerzők. Javasolja Anderson-híd használatát, esetleg szelektív csővoltmérő beszerelését.

KOVÁCS KÁROLY PÁL lev. tag

Véleménye szerint roncsolásmentes rétegvastagság mérésekor néhány százalékos, akár 10%-os hiba is megengedhető, mert amikor roncsolással kellett a vizsgálatot végezni, a hibahatárok tágabbak voltak.

A leírt módszernek az iparba történő bevezetése céljából alapvető, további munkára van szükség. Az ipar igényei minél kisebb, és különböző idomokra illeszthető mérőfejekre irányulnak. A munkának eme része még hátra van.

ALKÉR TIBOR viszontválasza

Megköszöni az elhangzottakat és kísérleteiket tovább fogják folytatni, figyelembe véve a hozzászólásokban foglaltakat.

SCHALK ERVIN viszontválasza

Szabó György hozzászólásában említett hibakiküszöbölési módokat alkalmazni próbálták, de a hibákat megszüntetni a javasolt készülékek segítségével nem lehetett.

REZGÉSMÉRŐ MŰSZEREK ÉS MÉRÉSI MÓDSZEREK TOVÁBBFEJLESZTÉSE

PRÉDA ZOLTÁN

SZERSZÁMGÉP FEJLESZTŐ INTÉZET, HALÁSZTELEK

Amikor a volt Mintagépgyár, jelenleg Szerszámgép Fejlesztő Intézet a rezgésvizsgálatokat a kutatási tervébe felvette, célkitűzése nem a készülék, vagy a műszer elkészítése volt, hanem rezgéssel szemben kellően merev szerkezet megalkotása céljából olyan vizsgálatok elvégzése, amelyek irányt mutatnak a célszerű gyártási módszer és takarékos méretezés felé.

Az első akadály azonban mindjárt kezdetben a műszerek beszerzésének nehézsége volt. Mivel rezgésmérés céljára csak külföldön gyártott műszerek voltak számbajöhetőek, ezeknek a beszerzése különböző okokból nehézségekbe ütközött. Ezért kénytelenek voltunk magunk foglalkozni a műszerek elkészítésével is.

A forgalomban levő különböző rendszerű rezgésmérőket megvizsgáltuk céljainknak megfelelő kivitel, hazai gyárthatóság, könnyű kezelhetőség szempontjából. Két megoldást találtunk a legmegfelelőbbnek. Egyik a Vibrometer, másik a Philips-gyártmányú rezgésmérő volt. A Vibrometer vivőfrekvenciás gyorsulásmérő fej előnye a statikus hitelesítés lehetősége, aránylag kis súlya; hátránya a hozzá szükséges elektronikus rész bonyolult és kényes volta, valamint az a tény, hogy a gyorsulással arányos jelből kétszeres integrálással kapjuk meg az amplitudóval arányos jelet, mely sok hibalehetőséget rejt magában. Az elektrodinamikus Philips-rendszerű rezgésmérő fej ezzel szemben sebességarányos jelet ad, amelyből integrálással az amplitudót, vagy differenciálással a gyorsulást könnyűszerrel megkaphatjuk. Közöséges oszcilloszkóp megfelel indikátornak. Hitelesítése azonban csak dinamikus lehetséges, mely különleges készüléket kíván.

A két megoldás közül az elektrodinamikus rendszert választottuk, melynek végleges kivitelénél sikerült a fej súlyát és méreteit jelentősen csökkentenünk. A legnehezebb feladat a felfüggesztett lengőrendszer önlengésszámának lehető legkisebbre való csökkentése volt. E célból eltértünk a tekercsek felfüggesztésétől és a permanens mágnest függesztettük fel két foszforbronz membránra. Így az önlengésszám felső határát csak a felfüggesztett mágnes maximálisan megengedett belógása szabja meg, amint azt az alábbi közismert levezetésből láthatjuk.

Ha c rugóállandójú rugóra felfüggesztett m tömegek, mint lengő rendszernek differenciálegyenletét (a csillapítás elhanyagolásával) felírjuk, megkapjuk az

$$m \cdot \ddot{x} + c = 0$$

egyenletet, ahol \ddot{x} az útfüggvény idő szerinti második differenciálhányadosa. Szinuszos lengéseket feltételezve,

$$x = a \cdot \sin \omega t; \quad \ddot{x} \equiv \omega^2 \cdot a \cdot \sin \omega t$$

ezt behelyettesítve

$$-\omega^2 \cdot m \cdot a \cdot \sin \omega t + c \cdot a \cdot \sin \omega t = 0$$

kifejezést kapjuk. Az egyszerűsítést elvégezve az egyenlet

$$-\omega^2 \cdot m + c = 0.$$

Ebből

$$\omega^2 = \frac{c}{m}.$$

A P erővel terhelt c rugóállandójú rugó deformációja

$$f = \frac{P}{c} = \frac{m \cdot g}{c}.$$

Ebből a c rugóállandót kifejezve

$$c = \frac{m \cdot g}{f}$$

és a vetítő szögsebesség képletébe behelyettesítve

$$\omega^2 = \frac{m \cdot g}{f \cdot m} = \frac{g}{f}.$$

Mivel $\omega = 2\pi\nu$ és $g = 981 \text{ cm sec}^{-2}$

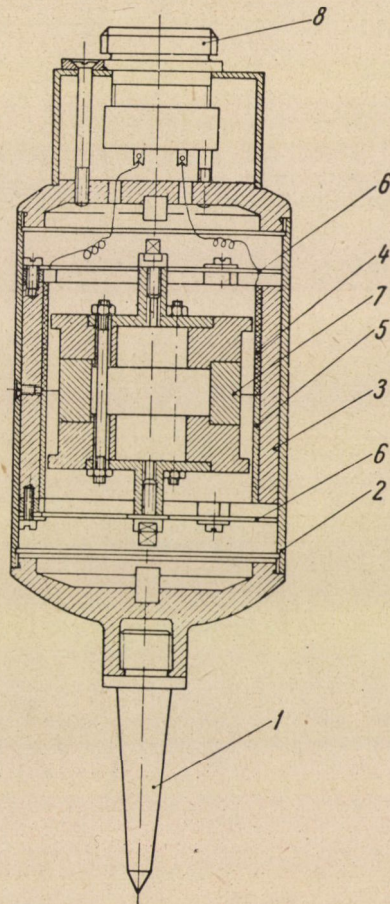
$$f = \frac{25}{\nu^2}.$$

Ebből a ν frekvenciát kifejezve

$$\nu = \sqrt{\frac{25}{f}}$$

kifejezést kapjuk. Az f belógás értékét cm-ben helyettesítjük be. A csillapítás elhanyagolása miatt csak közelítő értéket kapunk, de jó tájékoztatást nyújt a membránok beállításánál.

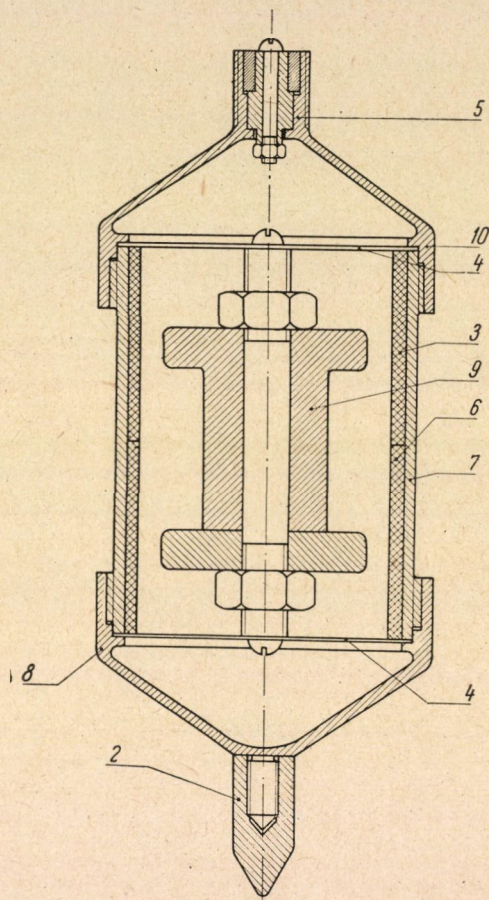
Már két éve van állandó használatban az első, nagyméretű fej, melynek jellemzői (önlengésszám, csillapítás) még nem feleltek meg a nagyobb igényeknek, de a gyakorlati mérések során használhatónak bizonyult. A nagy tömege azonban, főleg kisebb tömegű rezgő testek vizsgálatánál sokszor hátrányos, mert megváltoztatja a viszonyokat és ezzel meghamisítja a valódi képet.



1. ábra

Ennek a hibának a kiküszöbölésére készítettünk egy lényegesen kisebb méretű és súlyú fejet, melynek önlengésszáma 6,8 Hz, a nagyméretű fej 8,4 Hz-es önlengésszámával szemben, súlya 160 g, az 1390 g-mal szemben. Csillapítása is megfelel a kívánalmaknak. Elvileg azonos kivitelű az elsővel, csak a kis méretek miatt szükséges gyártási módszer érdekében változtattuk meg egyik vagy

másik alkatrészét. Kis tömege folytán egészen nagy frekvenciájú rezgéseket is lehet vele mérni (10 kHz), kis sajátfrekvenciája pedig lehetővé teszi, hogy már 10–12 Hz-től korrekció nélkül mérhessünk vele. Állékonyságára még adatunk nincs, mivel az első példány nem régen készült el.



2. ábra

Az 1. ábrán látható az első, nagyméretű rezgéstapintó szerkezete. Az *I* tapintócsúccsal merev kapcsolatban levő 2 házban, a két darab 6 membránra felerősítve függ a 7 mágnesgyűrű, a megfelelő alakú lágyvas pólusokkal. A mágneset körülvevő 3 lágyvas henger belső falára van felerősítve az 5 csillapító rézgyűrű és a 4 tekercs. A tekercs két kivezetése a 8 kábelcsatlakozóhoz van forrasztva. A mágnes és a tekercs közötti relatív elmozdulással indukált feszültséget vezetjük az oszcilloszkóphoz.

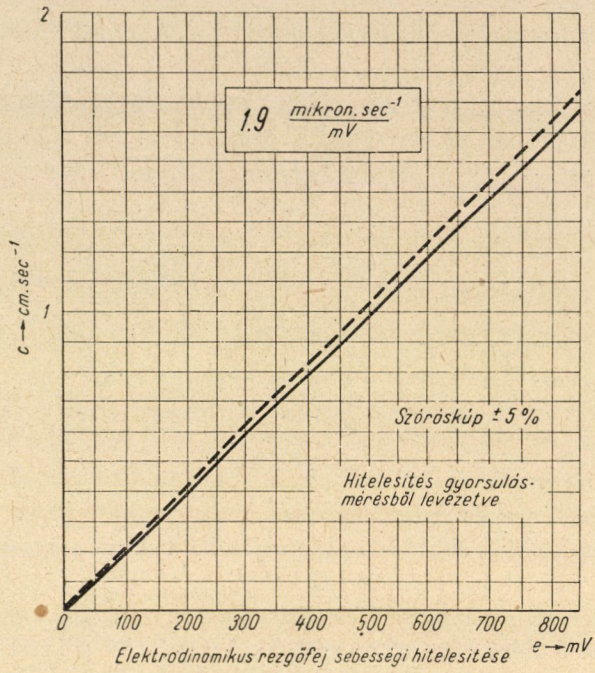
A 2. ábra az újabb kivitelű kisméretű rezgéstapintó szerkezetét mutatja be. A 2 tapintócsúcs menettel csatlakozik a 8 pajzshoz. A pajzsba menettel beerősített 7 lágyvas hüvelyben foglal helyet a 3 tekercs és a 6 réz csillapító gyűrű. A hüvely közepén a két 4 foszforbronz membránra erősítve helyezkedik el a 9 mágnes. A 10 pajzson pedig a mérőszinór csatlakozására szolgáló 5 koncentrikus csatlakozó látható.

A hitelesítésnél két utat követtünk. Az egyik út, Ludvig Győző műegyetemi adjunktus közreműködésével végzett méréseknél a gyorsulásból indult ki. Ennek oka az volt, hogy hiteles műszernek a Vibrometert fogadtuk el, melyet statikusan hitelesítettünk. Ez a műszer gyorsulás arányos jelet ad. A méréseket egy elektromágnesesen rezgetett acélrúd segítségével végeztük, melynek rezgéseit a hitelesítő és hitelesítendő műszerekkel egy időben mértük. Az adatokat a gyorsulásból visszszámítva kaptuk. A hitelesítő diagram a 3. ábrán látható.

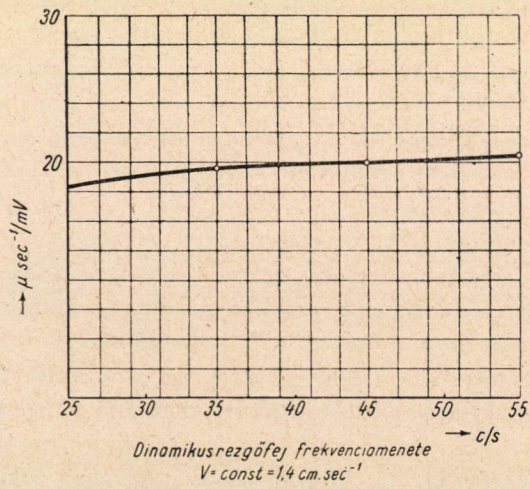
A 4. ábra a rezgéstapintó frekvencia karakterisztikáját ábrázolja. A másik hitelesítési módszer a Szerszámgépfelkészítő Intézetben végzett méréseknél az amplitudóból indul ki és ebből számítás útján kaptuk meg a sebességi adatokat.

Az 5. ábrán látható a hitelesítő készülék, melyet ideiglenesen állítottunk össze. Az 1 jelű rezgőnyelvre van felerősítve a 2 számú rezgéstapintó. Az amplitudó mérésére a 3 mérőmikroszkóp szolgál. A rezgést végző test itt ugyancsak az elektromágnességgel rezgetett acélrúd volt, melynek rezgés amplitudóját optikai módon mértük. Ezzel abszolút hitelességgel volt megállapítható az amplitudó nagysága. Integrátornak RC-integrátort használtunk, amelyet hangfrekvenciás generátorral hitelesítettünk. Végeztünk azonban méréseket integrátor nélkül is, amelynek adatait az optikai úton mért és átszámított értékekkel hasonlítottunk össze.

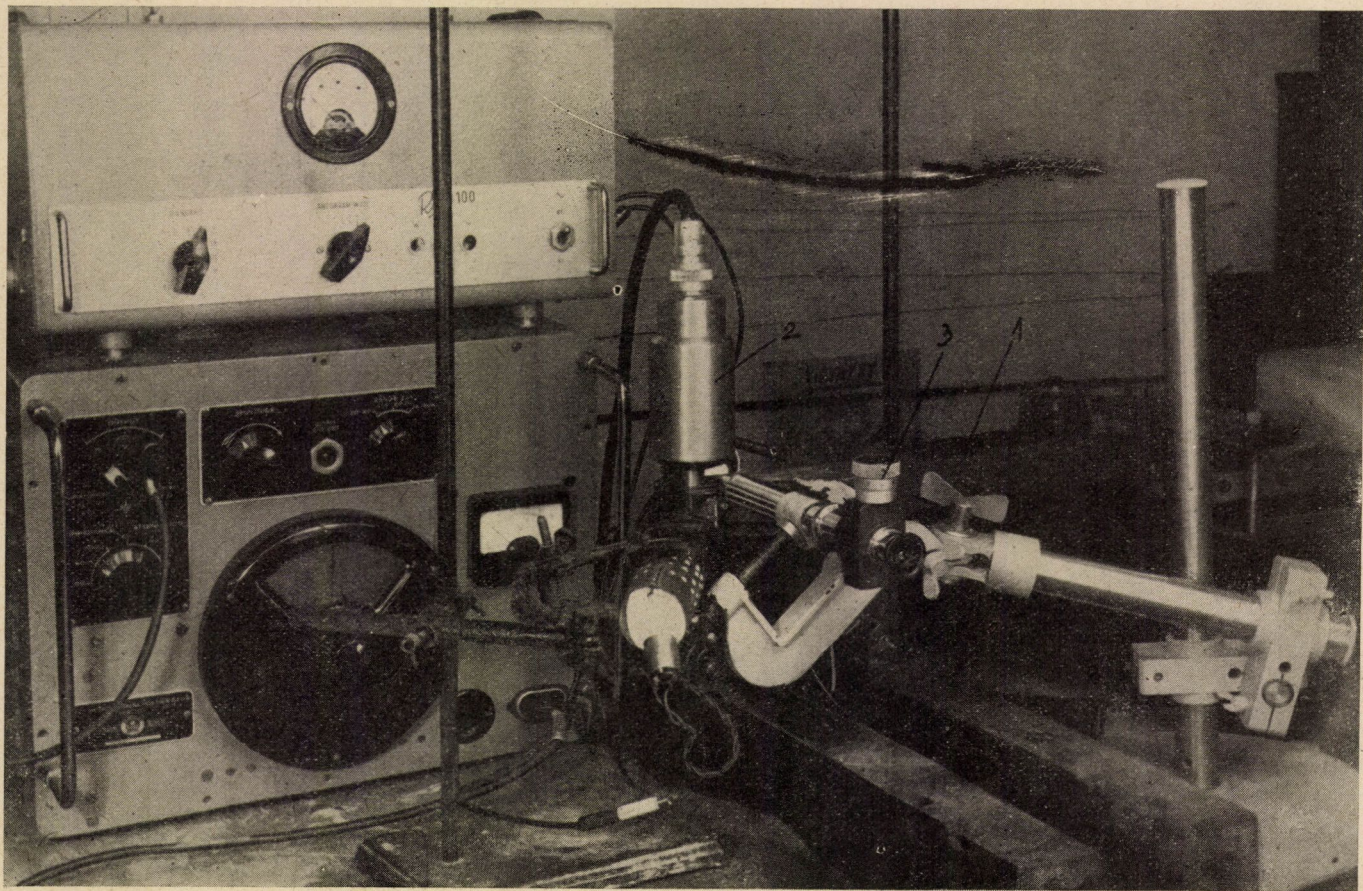
A rezgésmérések alkalmazásával sikeres kísérleteket végeztünk a Ludvig Győző és Ritter Endre csehországi tanulmányútja során tanulmányozott új kiegyensúlyozási módszer meghonosítására. Az eredeti módszer főleg elektromotorok finom kiegyensúlyozására vonatkozik, azonban a kísérletek során kiterjesztettük összeszerelt gépek finom kiegyensúlyozására is. Az eljárás lényege az, hogy az elektromotort rugalmasan felfüggesztve járattuk a rajta levő szíjtárcsával együtt. A szíjtárcsára jól látható jelet rajzolunk krétával. Ezt egy stroboszkóppal megvilágítjuk. A stroboszkóp felvillanási frekvenciáját úgy állítjuk be, hogy a jel látszólagosan egészen lassan vándoroljon körbe a szíjtárcsán. A rezgésmérővel vízszintes síkban mérjük az amplitudót, ugyanekkor a stroboszkóp impulzusát a rezgés alakját indikáló oszcilloszkóp fénymodulátor rácsára vezetjük, amely a rezgéskép görbében szakadást fog eredményezni. Ha a szakadás rezgéskép amplitudójának maximumán van, akkor a szíjtárcsára adott jel pillanatnyi helyzete és a rezgésmérősíkjá (hossztengelye) között bezárt szög meghatározza a kiegyensúlyozatlanságot okozó tömegtöbblet helyét (6. ábra).



3. ábra

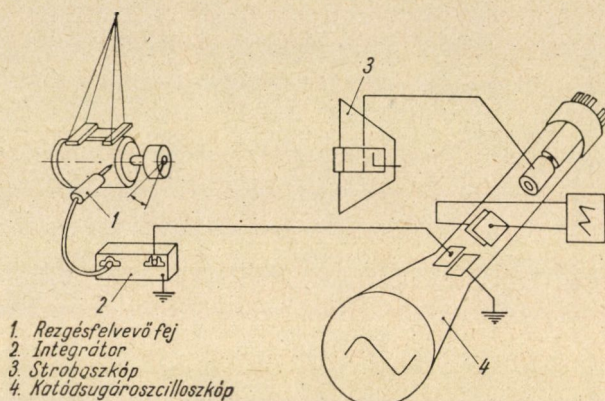


4. ábra

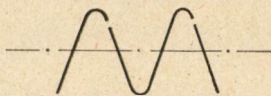


5. ábra

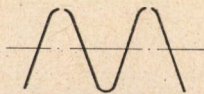
Így az anyag megfelelő helyre való felrakásával, vagy elvételével a kiegyensúlyozatlanságból adódó rezgések amplitudóját egy mikron alá is leszoríthatjuk. Ipari viszonylatban azonban az 1—2 mikron amplitudójú rezgésekkel járó elektromotor már a legkényesebb gépnél is megfelelő. Természetesen az elektromotorok forgórészei előzőleg az eddig szokásos módon dinamikusan kiegyensúlyozandók. Az eljárás jelenleg még hosszadalmas, ezért csak olyan esetekben végeztük el,



A vizsgálathoz felhasznált műszerek kapcsolási vázlatja



A stroboszkóp felvillanásakor megszakítja a katódsugárcső ernyőjén látható jelet



A megszakítás a sinusgörbe maximumánál van

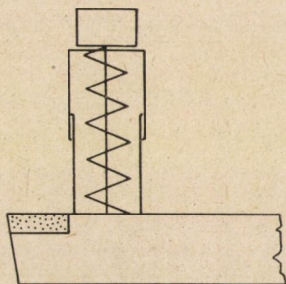
6. ábra

ahol a szerszám gép rezgése különösebbképpen befolyásolhatják a felület finomságot (köszörűk, finomfúrók).

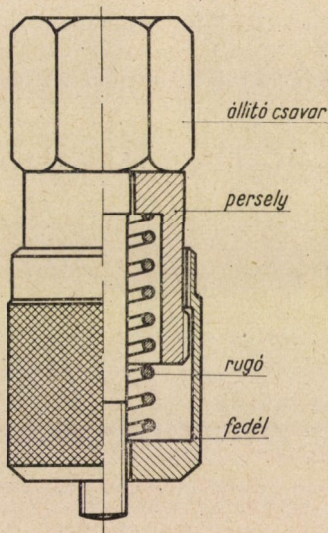
Az RD-47 típusú revolvereszterga gyártásánál felmerült egy probléma, mely a kiegyensúlyozással függött össze. A főorsóra szerelt alkatrészek egy részét csak az orsó beszerelése után lehet felszerelni, ezért előzőleg a főorsót nem lehet az ismert módon teljesen kiegyensúlyozni. E miatt nehézségek támadtak a gépek átadásánál, mivel a főorsóra utólag szerelt pneumatikus befogó működtető szerkezete kiegyensúlyozatlanságot okozott. Egy másik ok, amiért az utólagos kiegyensúlyozás szükségessé vált, az volt, hogy a dinamikus kiegyensúlyozó

gép kis fordulatszámán (360 ford/perc) kiegyensúlyozott munkadarab a lényegesen nagyobb (2000 ford/perc) üzemi fordulaton a kiegyensúlyozási módszer érzékenységeinek elégtelensége miatt újból rezgéseket okoz.

A rezgő gépet ugyancsak stroboszkóppal és rezgésmérővel lehet az elektromotor kiegyensúlyozásához hasonlóan, de felfüggesztéstől eltekintve, kiegyen-



Az ütőhatású rezgéscsillapító elvi vázlatja



Az ütőhatású rezgéscsillapító összeállítási rajza

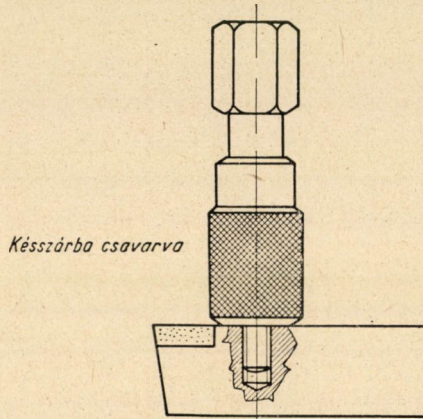
7. ábra

súlyozni. Az elért eredmények kifogástalanok voltak a módszer kezdetlegességének ellenére is.

Ugyancsak eredményeket értünk el a felvonó hajtóművek rezgés okainak felderítésénél is, mellyel lehetővé vált a végső szerelésnél szükséges utánmunkálások 90%-kal való csökkentése.

Rezgésmérés segítségével sikerült kialakítani Szőke és Ritter elvtársak elgondolása alapján olyan tengelykapcsolót, amely a meghajtó motorról minimális rezgést visz át a munkagépre, ugyanakkor kiegyenlíti még az aránylag nagyfokú szerelési pontatlanságokat is.

Jelenleg kísérletek folynak a Gépipari Technológiai Intézettel együttműködve, a szovjet dokumentációból átvett esztergakés rezgésnyelőkkel is, melyek az esztergakés káros rezgéseit lesznek hivatva kiküszöbölni. Ilyen ütőhatáson alapuló rezgéscsökkentő rajza látható a 7. ábrán, a 8. ábra pedig a késre történő felerősítés módját mutatja.



8. ábra

Kísérletek folynak a különböző profilú esztergakések rezgéscsökkentő hatásának vizsgálatára is.

Esztergakések forgácsolás közbeni rezgéseinek mérése alkalmával azt tapasztaltuk, hogy a felvevőfej késhez való érintése elhangolja a rezgő rendszert s így meghamisítja a mérést. Kísérleteket folytatunk közvetlen a késszárra ragasztott nyúlásmérő bélyegekkkel, melyekkel a rezgés okozta deformáción keresztül rezgésviszonyai oscillográf segítségével mérhetők.

Intézetünk foglalkozik a szíjhajtások lengésvizsgálataival is. Erről részletes eredményeket később fogunk tudni közölni.

HOZZÁSZÓLÁSOK

MAGYARI ENDRE

A szerszámgép rezgésállapotának olyan feltérképezésére van szükség, hogy a gép bármely pontján a rezgési jelenség háromirányú komponensei egy időben legyenek vizsgálhatók. Ez azonban jelenleg nem teljesíthető, holott a forgácsolási rezgések egy részének oka éppen ilyen fázisjátékon alapuló pozitív visszacsatolásban keresendő.

Olyan elektro- vagy hidromechanikai szerkezetet kellene szerkeszteni, amely erősen csökkenti a gép rezgés-hajlandóságát. Ebben az irányban nagy jelentőségű lenne az, ha a szerszámgép-állványzat olyan anyagból készülhetne, amelynek nagy belső súrlódása következtében a rezgést okozó állóhullámok nem tudnának vehemensen kialakulni. Ilyenszerű megoldás lehetne az is, hogy az állványok megfelelő helyen változtatható mechanikai impedanciájú, energiaelemésztő toldalékokat kapnának.

SZÓKE BÉLA

A rezgésvizsgálattal sikerült megállapítani a kísérleti gépeken a rezgések forrását, valamint az egész gép és egyes alkatrészek kritikus rezgésszámát. Így javaslatot tudtak tenni egyes alkatrészek átszerkesztésére.

Rezgésméréssel állapítottak meg egyes rejtett hibákat, például keringő vektor jelentkezését olyan helyen, ahol csak pusztán erőpárnak lett volna szabad a forgatónyomatékokot átvinni.

A Szerszámgép Fejlesztő Intézetten kívül számos más üzem részére is végeztek méréseket és sikerült számos helyen segítséget nyújtani.

A közeli jövőben szerszámgépek alapozási kérdéseit kívánják vizsgálni, egyrészt abból a szempontból, hogy emeleti munkatermekben elhelyezett gépek nagy sebességgel legyenek járathatók, másrészt nehéz gépek ne zavarják a szomszéd gépeket. A méréseket új területekre is ki szándékoznak terjeszteni, mint golyóscsapágyak felületi finomsága stb.

E. SCHIEBOLD

Vizsgálatokat végeztek alacsony hőmérsékleten észlelt törésekre oszcillográfokkal. Ezek a vizsgálatok nagy fontosságúak az acél kifáradásának vizsgálata szempontjából, amiben a rezgésjelenségeknek tudvalevően nagy jelentőségük van.

NYÚLÁSMÉRŐK HASZNÁLATÁNAK ÚJ MÓDSZEREI GÉPEK VIZSGÁLATÁNÁL

N. P., RAJEVSZKIJ
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

A SZOVJETUNIÓ TUDOMÁNYOS AKADÉMIAJA GÉPTANI INTÉZETE, LENINGRÁD

Előadásomban azokat a mérési módszereket ismertetem, amelyeket a Szovjetunióban használnak gépek és szerkezetek kísérleti vizsgálataihoz. Mindezek a módszerek a mérendő mechanikai paramétereknek olyan villamos mennyiségekké való átalakításán alapulnak, amelyek arányosan változnak a mechanikai mennyiségekkel.

Ezek a módszerek nemcsak a gépgyártás valamennyi ágában terjedtek el széles körben, hanem sok más területen is, mint pl. a legpontosabb laboratóriumi és üzemi méréseknél.

Mint ismeretes, a mechanikai mennyiségek és egyéb nem villamos mennyiségek mérésére szolgáló mérőkörök három főrészből állanak :

1. Az érzékelőből vagy mérőátalakítóból, amely a nem villamos mennyiséget átalakítja villamos mennyiséggé.

2. A közvetítő, vagy átadó elemből, mely az impulzust felerősíti.

3. A mérőműszerből. Ez lehet mutatós műszer, vagy katódsugár-oszcillográf.

Nehéz lenne olyan nem villamos mennyiséget találni, amelyet ne lehetne átalakítani villamos mennyiséggé, és időbeli változását ne lehetne oszcillográffal vizsgálni. Természetesen nincs módomban a mérőátalakítók összes fajtáit most ismertetni. Itt csak azokat ismertetem, amelyeket gépek és szerkezetek vizsgálatánál alkalmaznak, mégpedig főként a Szovjetunió Tudományos Akadémiája Géptani Intézetének gépek dinamikájának vizsgálatával foglalkozó laboratóriumában.

Ez a laboratórium *Artobolevszkij I. I.* akadémikus vezetésével a gépek és szerkezetek elmélete terén végez kutatómunkát. A laboratóriumban folyó munkáról a »Gépek és szerkezetek elméletével kapcsolatos munkák gyűjtemények« c. folyóirat számol be, amely évente 6—8-szor jelenik meg. Eddig már 60 ilyen példány látott napvilágot.

Az elméleti kutatásokon kívül a laboratórium gépek kinematikai és dinamikai kísérleti vizsgálataival is foglalkozik olyan mértékben, amennyire azt a laboratórium kitűzött feladatai megkívánják. A munka során szükséges a működő gépek kísérleti vizsgálati módszerének kidolgozása és a legkülönbélebb mérések elvégzése. A nem villamos elven működő műszerek gyakran alkalmatla-

noknak bizonyulnak az időben változó, aránylag gyors folyamatok mérésére. Ezért kénytelenek voltunk több új, egyszerű műszert kidolgozni, amelyek mind a laboratóriumi, mind pedig az üzemi vizsgálatok körülményei között jól alkalmazhatók.

A gépek és szerkezetek kísérleti vizsgálatánál elegendő a következő öt mechanikai mennyiséget mérni :

1. Elmozdulást és szögelfordulást,
2. lineáris sebességet és szögsebességet,
3. lineáris gyorsulást és szöggyorsulást,
4. erőt és
5. nyomatékot.

Az összes többi mérések ennek az öt paraméternek mérésére vezethetők vissza.

Ezen paraméterek mérésére a villamos módszerek széleskörű lehetőséget biztosítanak. A felhasználás megkönnyítése céljából összeállítottuk és osztályoztuk azokat a mérőátalakítókat, amelyek felhasználhatók gépek vizsgálatára (1. ábra).

Ez a felosztás nem foglalja magában a mérőátalakítók rendkívül sokféle változatát. Nem tartalmazza a kísérleti fizikában, kémiában és a méréstechnika egyéb ágazataiban használatos mérőátalakítókat, hanem csakis azokat, amelyek gépek és szerkezetek vizsgálatánál alkalmazhatók.

A felosztás szerint az összes mérőátalakítók két osztályba sorolhatók, mégpedig : a közvetlen mérőátalakítók és a közvetett mérőátalakítók csoportjába.

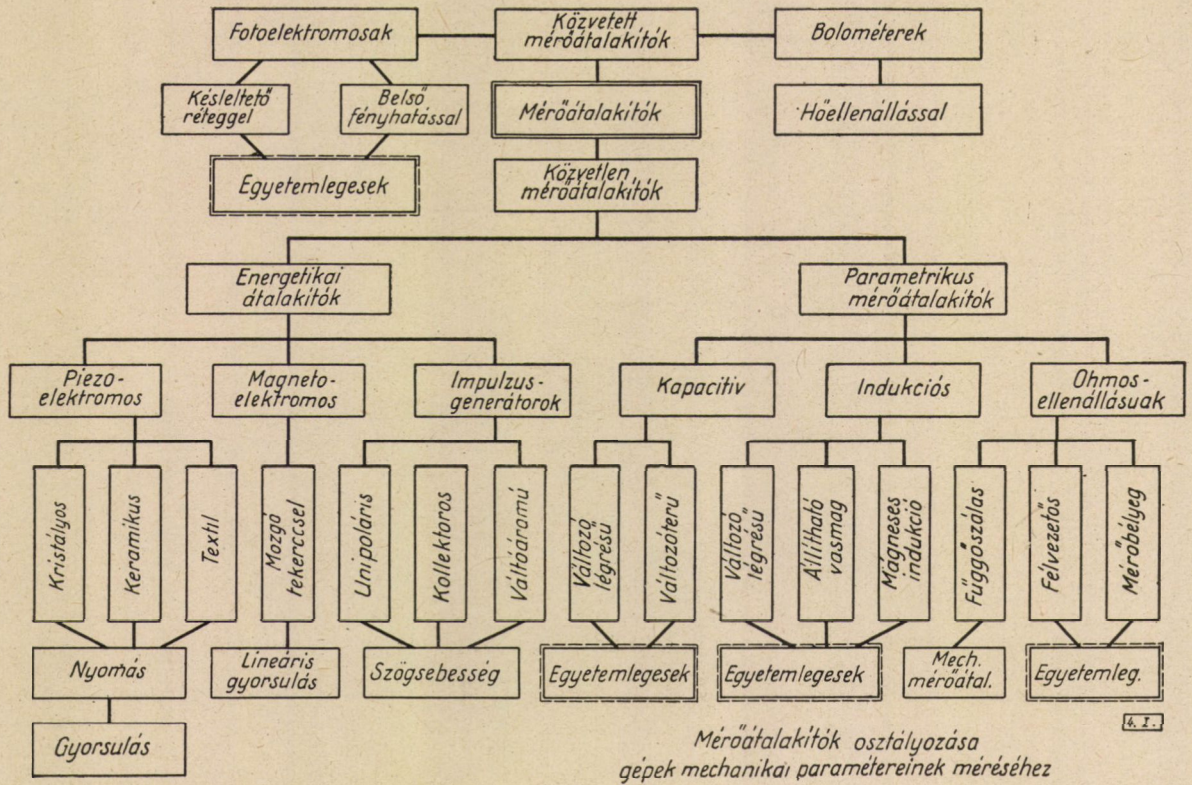
A közvetlen mérőátalakítók az alábbi két csoportba oszthatók fel :

1. energetikai mérőátalakítók, amelyek az átalakításhoz szükséges energiát a mérendő paraméter energiájából veszik és
2. paraméteres mérőátalakítók, amelyek a következő villamos paraméterek egyikének változásán alapulnak : kapacitás, induktivitás vagy ellenállás (C , L , R).

Mindezek még további alcsoportokra oszlanak, attól függően, hogy milyen körülmények idézik elő a szóban forgó paraméter változását. Az osztályozásban a mérőátalakítók alkalmazási területei is fel vannak tüntetve.

Az osztályozásból láthatjuk, hogy négy mérőátalakító típus képes biztosítani az összes szükséges paraméterek mérését, míg némelyik csak egyes mérésfajták elvégzését teszi lehetővé. A mérőátalakító típusának kiválasztása az egyes mérési eljárások elemzése alapján oldható meg. Így például az energetikai mérőátalakítók csak nyomás, nagy gyorsulások és főként sebesség mérésére használhatók fel. Egyéb célra nem igen alkalmasak.

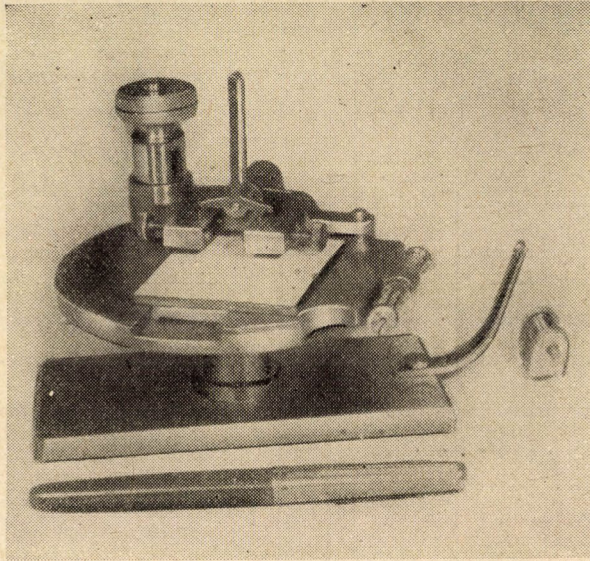
A kapacitív és induktív mérőátalakítók, valamint az ohmos ellenállás-változás elvén működő mérőátalakítók és a fényelektromos mérőátalakítók viszont majdnem minden mechanikai paraméter mérését lehetővé teszik.



Mérőátalakítók osztályozása gépek mechanikai paramétereinek méréséhez

I. ábra

Többé-kevésbé mindegyiket alkalmazzák laboratóriumunkban, ami gyakran a kísérletet végző személy beállítottságától és szokásaitól függ. Természetesen helyesebb az egyes módszereket a mérendő folyamat jellegétől függően alkalmazni. Így pl. a kapacitív módszer inkább pontos laboratóriumi munka esetében szükséges, mivel ez a módszer igen érzékeny, de rendkívül bonyolult, jól kivitelezett és költséges berendezést követel. Az induktív módszer a legegyszerűbb, de a mérőátalakító néha nagy tömege folytán csak aránylag lassú folyamatok mérésére alkalmas. Ez a módszer meglehetősen elterjedt az automatikus méréseknél.



2. ábra

A fényelektromos mérőátalakítókkal szintén meg lehet mérni az összes paramétereket. Előnyük, hogy tehetetlenség mentesek, viszont magát a mérőátalakítót bonyolulttá teszi az alkalmazott optika, a szükséges megvilágító berendezés stb.

Legáltalánosabbak a félvezetőből, vagy ellenálláshuzalból készült változó ohmos ellenállású mérőátalakítók.

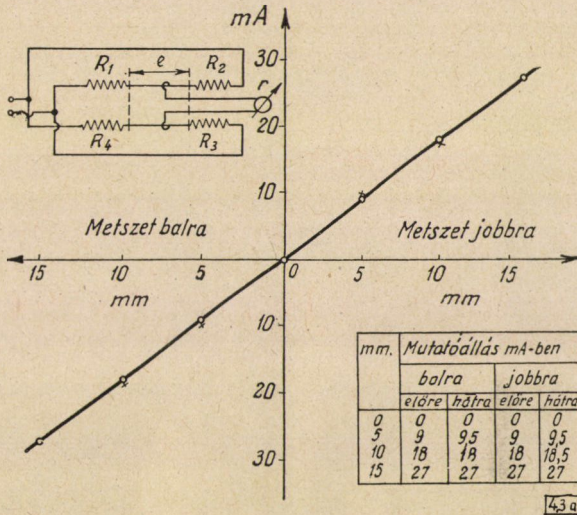
A félvezetők igen érzékenyek, míg az ellenálláshuzalból készült mérőátalakítók minden más vonatkozásban sokkal tökéletesebbek.

Az ellenálláshuzalból készült mérőbéllyegek széles körben elterjedtek és sokkal gyakrabban alkalmazzák azokat, mint az összes többi villamos módszer elvén működő átalakítókat.

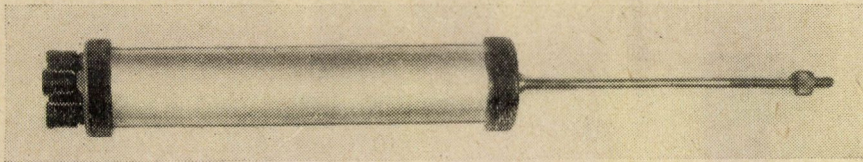
Azt az elvet, amelyen az ilyenfajta mérőátalakítók működnek, már 1881-ben leszögezte Chwolszon O. D. orosz fizikus, aki kimutatta, hogy a huzal deformá-

ciójakor nemcsak annak méretei, hanem fajlagos ellenállása is megváltozik, ami jelentős mértékben függ a huzal anyagától. A fajlagos ellenállás változásától függ a mérőbéllyeg érzékenysége.

A mérőbéllyeg vas-króm-alumínium ötvözetből, kemény és lágy konstantánból, valamint nikróból és elinvarból gyártott huzalból készítik. (A vas-króm-alumínium ötvözet összetétele : 22,3% Cr, 4,8% Al, 0,035% C + Fe).



3a. ábra



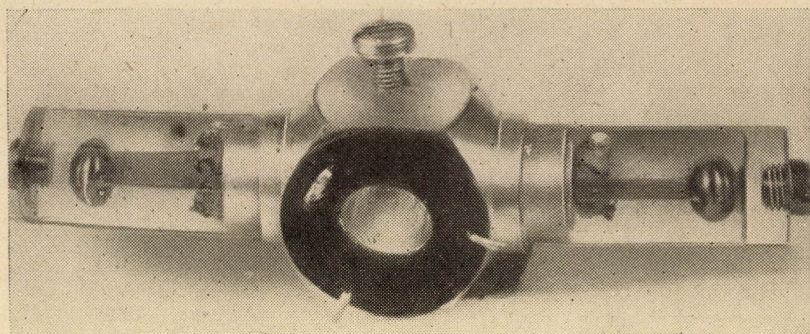
3b. ábra

Legalkalmasabb a vas-króm-alumínium ötvözet. A huzal átmérője 15–30 mikron között váltakozik. A huzalokat különféle nitrocelluloid- és bakelitlakkal szerves polimérekből, vagy pedig papírból készült szalagra ragasztják.

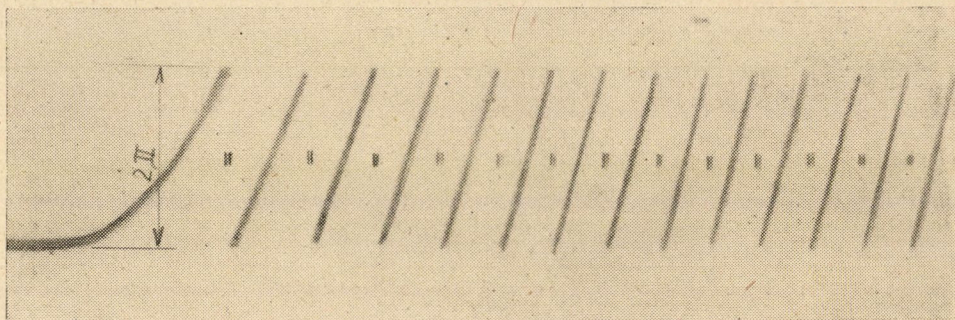
A mérőbéllyegek hossza 5–20 mm között, ellenállásuk 100–1500 ohm között változik. A mérőbéllyegeket általában a felhasználási helyen készítik, kézzel hajtott egyszerű gépen (2. ábra).

Ezeket mind sztatikai, mind pedig dinamikai mérésekre is alkalmazzák, és különféle erősítőberendezések segítségével a méréseket korlátlan terheléstartományban lehet végezni.

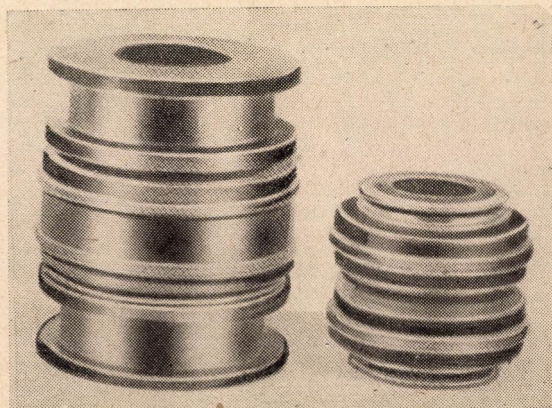
A mérési módszerek elemzése és a gyakorlati tapasztalat ahhoz a következtetéshez vezetett, hogy szerkezetek és gépek vizsgálatára olyan módszer



4a ábra



4b ábra



4c ábra

a legalkalmasabb, amelyik keretében mérőbéllyeg alkalmazásával alakítunk át mechanikai mennyiségeket villamos mennyiségekké. Ez a módszer a legtöbb mechanikai mennyiség mérésére felhasználható.

Kiegészítésképpen használnak energetikai mérőátalakítókat (állandó mágneses és impulzus-generátoros mérőátalakítókat), főképpen lineáris sebességek és szögsebességek mérésére. Továbbá piezoelektromos mérőátalakítókat a folyamatok minőségi, nem pedig mennyiségi jellemzőinek meghatározására. Ilyenek pl. a frekvencia, az egyenetlenség stb. Ezeket a mérőátalakítókat kiegészítik az impulzusméréseknél és a forgatónyomatékméréseknél (csúszógyűrű alkalmazása nélkül) felhasználható fényelektromos mérőátalakítók.

Az egyes mechanikai mennyiségek mérésekor szem előtt kell tartani, hogy a mérőátalakító az adott paraméter mérésére mindenkor alkalmas legyen. A mérőfej szerkezetét a gép vagy szerkezet üzemi és munkafeltételeivel kell összehangolni. Ezért egyetemes mérőátalakítók alig fordulnak elő.

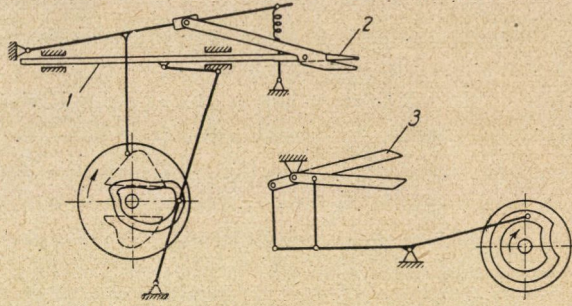
Elég egyszerűen mérhetők a nagy, lineáris elmozdulások (3. ábra). A hídba kapcsolt csúszóellenállásos mérőátalakító jelleggörbéje lineáris; erősítő alkalmazása nélkül működik, 15—20 m/sec sebességek épp úgy mérhetők, mint néhány milliméteres sebességek.

Tengelyek szögelfordulását úgy mérjük, hogy a csúszóellenállást a tengelyre szereljük, míg a berendezés többi része változatlan marad (4. ábra). Az oszcillogramon egy elektromotor tengelyének szögelfordulása látható, a motor megindításánál. A megtört görbe a tengely gyorsuló mozgását, az egyenes vonalak az egyenletes forgást ábrázolják.

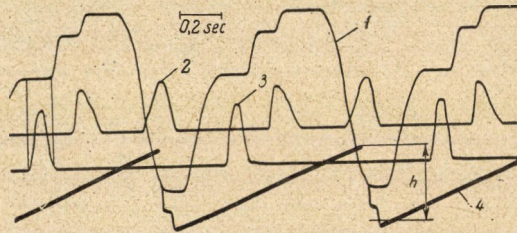
Ezen két mérőátalakító segítségével valamilyen automata ciklogramját lehet mérni. Így pl. az 5. ábrán csomagoló automata egyes alkatrészei mozgásának oszcillogramját mutatjuk be. Az egyes szerkezeti részek mozgásainak összefüggése az oszcillogram alapján tanulmányozható.

Kis elmozdulások mérése bonyolultabb. Ez esetben mérőbéllyeget és erősítőberendezést kell alkalmazni. Tizedmilliméteres elmozdulásokat legjobb konzolos tartók lehajlásán mérni, úgy, hogy a szóban forgó konzolos tartó tövére kétoldalt két mérőbéllyeget ragasztanak fel. Ilyen mérés vázolata látható a 6a ábrán, amelyen ennek a mérőátalakítóknak hitelesítési görbéje is fel van tüntetve.

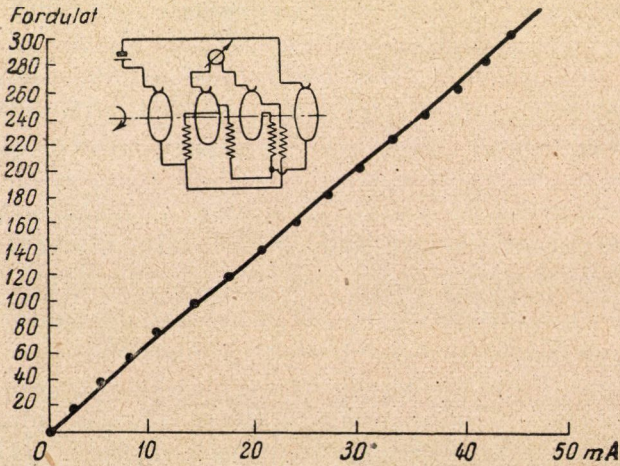
Századmilliméterek mérésére — pl. rezgések amplitudójának, vagy csuklóhézagokban történő elmozdulások mérésére — ugyancsak mérőbéllyeeggel ellátott tartók hosszirányú kihajlását használjuk fel. A tartó végének elmozdulása és deformációja közti összefüggés általában nem lineáris, (6b ábra), de a 0,01-től—0,05—0,06 mm-ig terjedő tartományban az elmozdulások görbéje eléggé egyenes jellegű és felhasználható igen kicsiny elmozdulások ábrázolására. A sebesség mérésére szolgáló összes mérőátalakítók az elektromágneses indukció jelenségén alapszanak. Igen kicsiny sebességek mérésére azonban érzékenységük nem kielégítő.



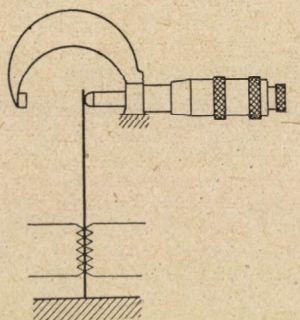
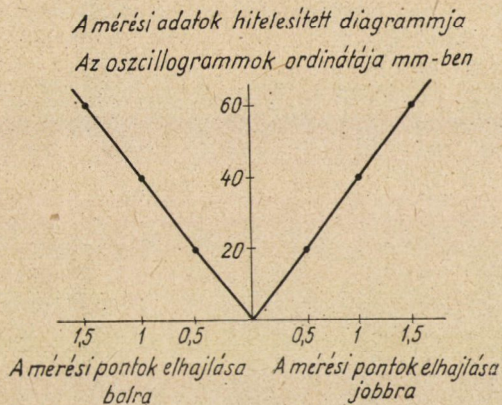
5a ábra



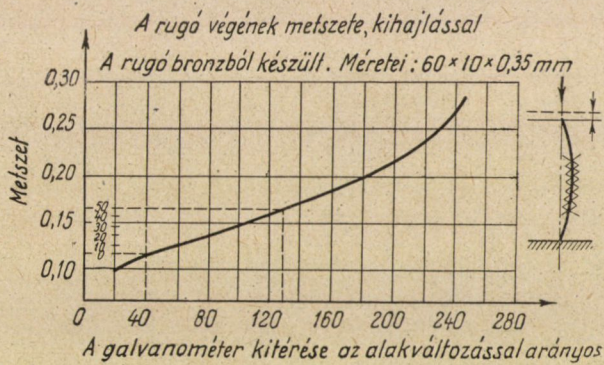
5b ábra



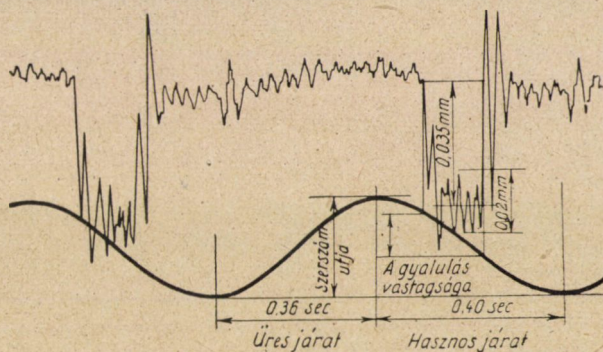
5c ábra



6a ábra



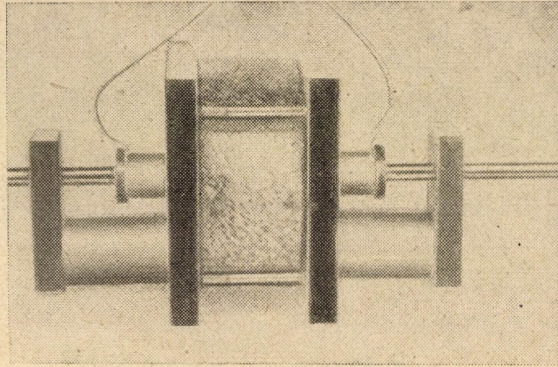
6b ábra



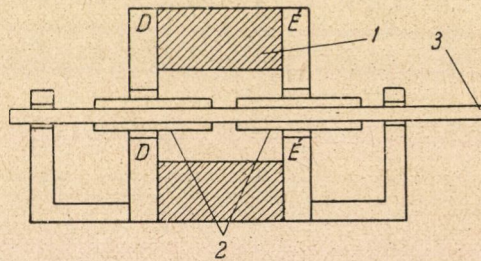
6c ábra

Kis elmozdulások mérése a 7a vázlaton látható egyszerű mérőátalakítóval történik.

A gyűrűalakú mágnes méretei határozzák meg annak az elmozdulásnak értékét, amelynek sebessége mérhető. Ez a mérőátalakító 1 cm/sec-től kezdve képes sebességet mérni. A tekercsek közvetlenül az oszcillográfra vannak kapcsolva.



7a ábra



7b ábra

Nagy elmozdulások lineáris sebességeinek mérésére a 7b ábrán feltüntetett mérőátalakító alkalmas. Ez a mérőátalakító kevésbé érzékeny, de nem korlátozza az elmozdulás nagyságát. A hitelesítési görbét később ismertetjük. A mérési körülményektől függően vagy a tekercs, vagy pedig a mágnes rögzített. A tekercs ugyancsak közvetlenül kapcsolható az oszcillográfra.

Az oszcillogrammon rögzített sebesség értéke a sebesség-görbéből számított lépték alapján határozható meg, ha a sebességgel egyidejűleg az elmozdulást is mérjük. Ekkor

$$K_v = \frac{S}{K_t F_v},$$

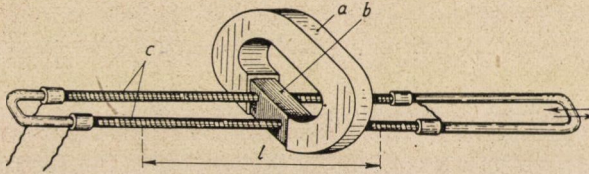
ahol K_v és K_t = a sebesség és az idő léptékei;

S = elmozdulás ;

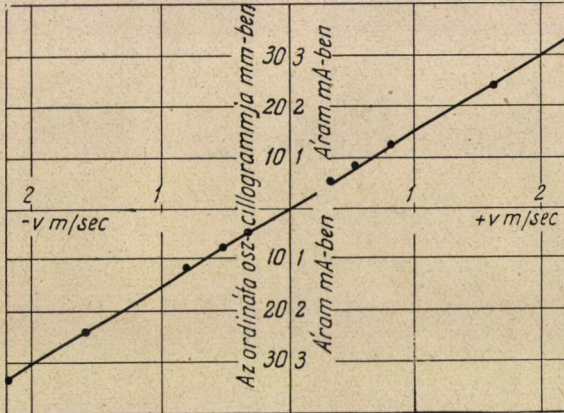
F_v = a sebesség-görbe területe.

A 8a ábrán látható oszcillogram a korábban említett csomagoló automata egyik szerkezeti részének diagramját ábrázolja.

Szögsebességeket általában egytetemes mérőátalakítóval (tachometer-dinamo) mérik, amely rendszerint egyenáramú kollektoros generátor. Néha ugyanerre a célra alkalmasabb kisméretű, egypólusú gép (8b ábra).



7c ábra



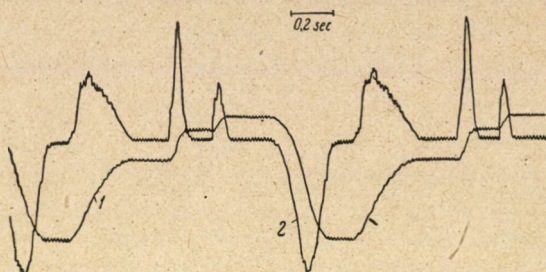
7d ábra

Ezeknek a mérőátalakítóknak alkalmazásánál a főnehézséget az a lüktetés idézi elő, amelyet a csúszókontaktusok okoznak. A sebességváltozások meghatározására, különösen amikor ezek a változások nagy percnkénti fordulatszám esetén a tengely egy fordulata alatt történnek, elektromágneses és fényelektromos impulzus-adókat (mérőátalakítókat) alkalmaznak. Ezek lehetővé teszik olyan rövid időközök mérését, amely alatt a vizsgált tengely egy fordulatának csak bizonyos (1/24–1/36) hányadát teszi meg.

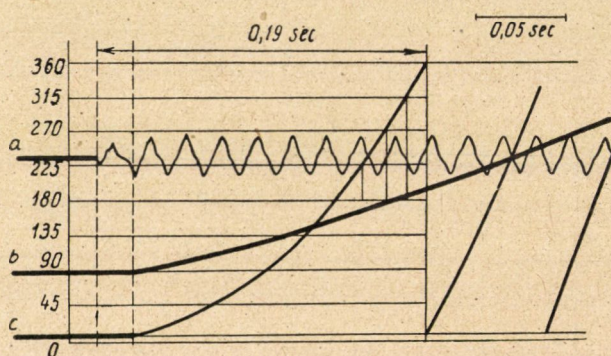
Differenciáló, vagy integráló elektroncsöves kapcsolásokat csak akkor alkalmaznak, ha a mérést más eljárással nem lehet megoldani.

A lineáris- és szöggyorsulások mérésére a tehetetlenség elvén alapuló mérőátalakítókat alkalmazzák, ezekben a mérőátalakítóknak bizonyos állandó

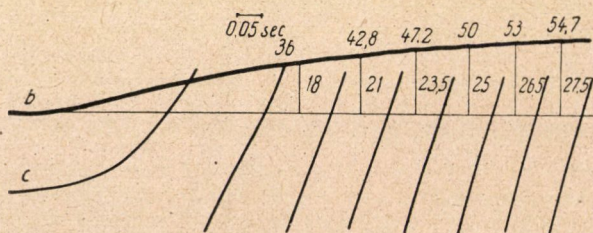
tömeg tehetetlensége a mérőátalakító valamely rugalmas alkatrészét a gyorsulással arányosan deformálja. Az alkatrész deformációja a mérőfej rugalmas alkatrészére ragasztott mérőbéllyeggel mérhető.



8a ábra



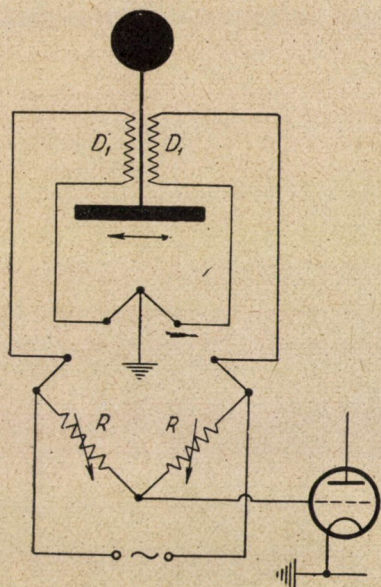
8b ábra



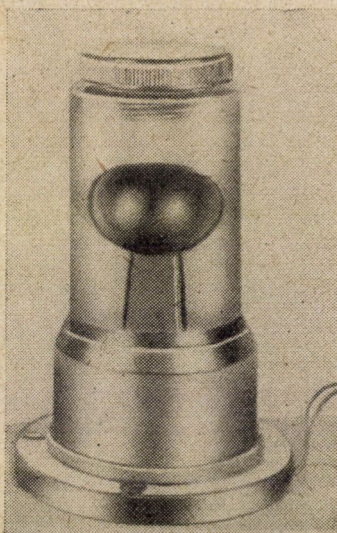
8c ábra

A tehetetlenség elméletéből — amely közismert — következik, hogy az ilyen mérőátalakítóknak nagy fázis- és amplitúdó-pontatlanságuk lehet, ha nem ügyelünk a mérőfej önlengése és a mérendő folyamat frekvenciája közötti összefüggésre, azaz, ha a mérőátalakító rugalmas részének csillapítása, vagy fékezése nincs a megkívánt határok között.

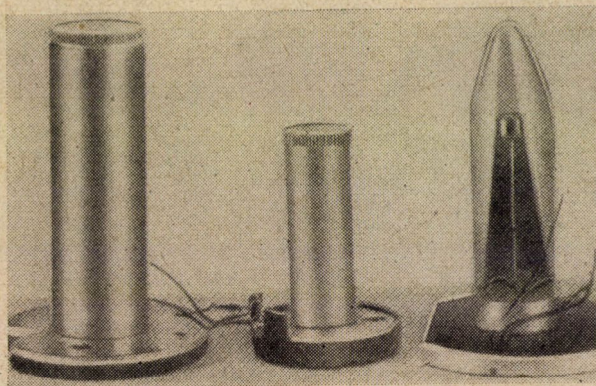
A tapasztalat azt mutatta, hogy ha a mérendő rezgés felharmonikus összetevője háromszor kisebb, mint a mérőátalakító önlengési frekvenciája és a ξ csillapítási tényező a kritikus érték 0,6–0,7%-a, a gyorsulásmérés pontat-



9a ábra



9b ábra

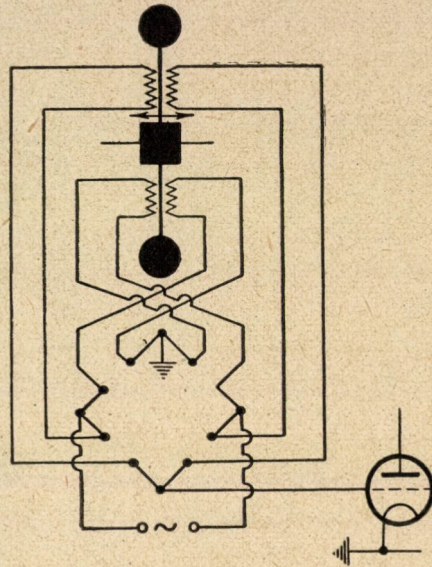


9c ábra

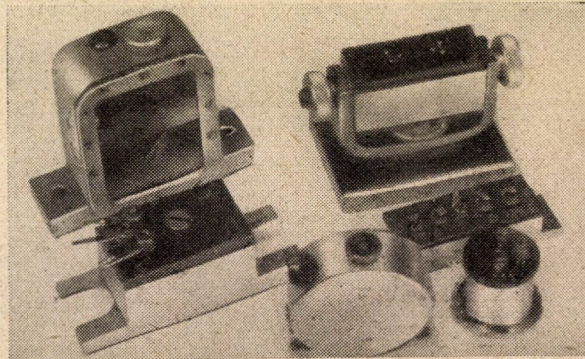
lansága nem haladja meg az 1%-ot. Ha a folyamat frekvenciája az önlengési frekvencia értékének felére növekszik, a mérési hiba 2%-ra növekedik.

A fázispontatlanság adott csillapítási tényező mellett a görbe időtengelymenti eltolódását idézi elő, a görbe alaktorzulása nélkül. A szinuszos folyamat periódusához viszonyított eltolódás értéke 5–6%-on belül van. Lineáris gyorsulásmérés pontatlansága nem haladja meg az 1%-ot. Ha a folyamat frekvenciája az önlengési frekvencia értékének felére növekszik, a mérési hiba 2%-ra növekedik.

sulások mérésére alkalmas mérőátalakítók néhány megoldása látható a 9. ábrán. Független konzolos mérőátalakítók önrezgése 30 Hz körül van. Az ilyenfajta mérőátalakítókat célszerű 200 Hz-et meg nem haladó frekvenciával készíteni. A frekvencia növekedésével a mérőátalakító érzékenysége a szögfrekvencia-



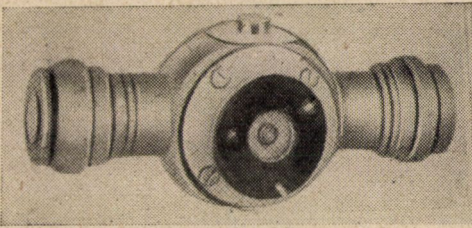
10a ábra



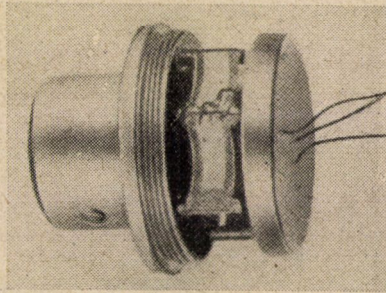
10b ábra

négzetével arányosan csökken, miért is a frekvencia további növelése csak úgy lehetséges, ha az érzékenységet is egyidejűleg növeljük. Ez elérhető a mérőhídban dolgozó mérőátalakítók számának növelésével, vékonyabb és érzékenyebb huzalból készült ellenállások alkalmazásával, felragasztatlan ellenállások alkalmazásával (10. ábra).

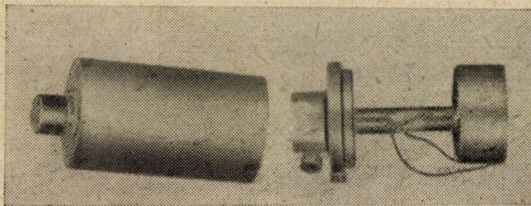
Fentiek figyelembevételével lehetséges mintegy 1500 Hz önrezgésű mérőátalakítókat is alkalmazni, azaz lehetséges a rezgések felharmonikus összetevőit 750 Hz-ig mérni. Az ilyen jelleggörbéjű mérőátalakítók az esetek túlnyomó többségében alkalmazhatók, az ütések következtében keletkező gyorsulások mérésének kivételével, amikor a mérési határt 10–20 kHz-ig kell növelni. Ezekben az esetekben más típusú mérőátalakítókat kell alkalmazni, vagy meg kell elégednünk az ütésnél keletkező gyorsulások csúcsértékének mérésével. Ezeknél a méréseknél más erősítő és regisztráló berendezésre van szükség.



11a ábra



11b ábra



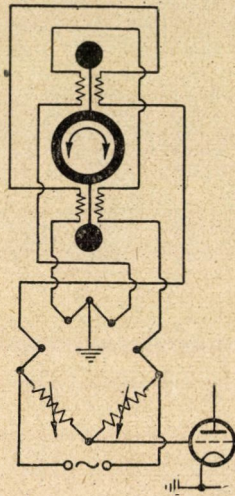
11c ábra

Szöggyorsulás mérésére az irodalom differenciáláson alapuló eljárásokat említ, a sebesség-átalakító által szolgáltatott elektromos erő transzformálása, vagy akumulálása (kondenzátorral) segítségével. A sebesség-átalakító (mérőátalakító) általában tachometer-dinamo. Ezek a módszerek azonban csak akkor alkalmazhatók, ha a gyorsulások igen lassan növekednek.

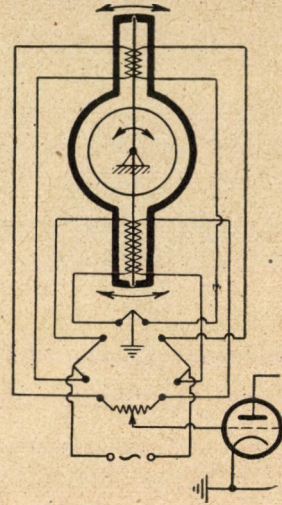
Gépek vizsgálatához ezek nem igen alkalmasak. Mi általában a tehetetlenség elvén működő mérőátalakítókat használunk, amelyek ugyanazon az elven alapulnak, mint a lineáris gyorsulások mérőátalakítói. A szöggyorsulások mérőátalakítóinak néhány kivitelezési módja látható a 11. ábrán.

Kis gyorsulások mérésére alkalmas és kis önlengésű lineáris gyorsulás-átalakító hitelesítése egyszerűen a mérőátalakító $\pm \frac{\pi}{2}$ szöggel való elfordításával végezhető el, ami $\pm 1 g$ mért értéknek felel meg.

A nagy önlengésszámú mérőátalakítókat 20–30 Hz frekvenciájú szinuszos mozgást végző mechanikai berendezések segítségével hitelesítik, állandó amplitudó mellett. A nagy önlengésű többszáz g értéket mérő mérőátalakítók hitelesítése nehézségekbe ütközik, mert különleges berendezések szükségesek. Leg-



11d ábra



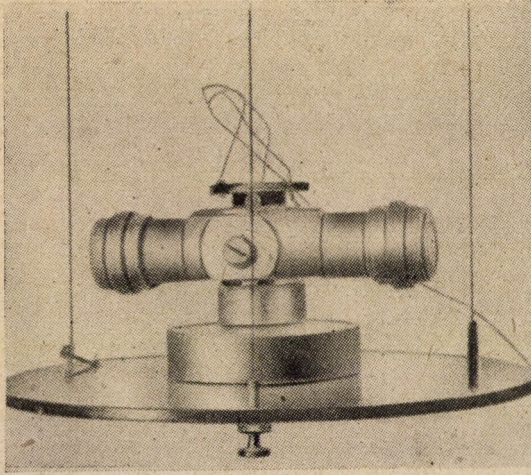
11e ábra

nehezebb a nagy frekvenciával változó kis gyorsulások mérésére szolgáló gyorsulás-átalakítók hitelesítése.

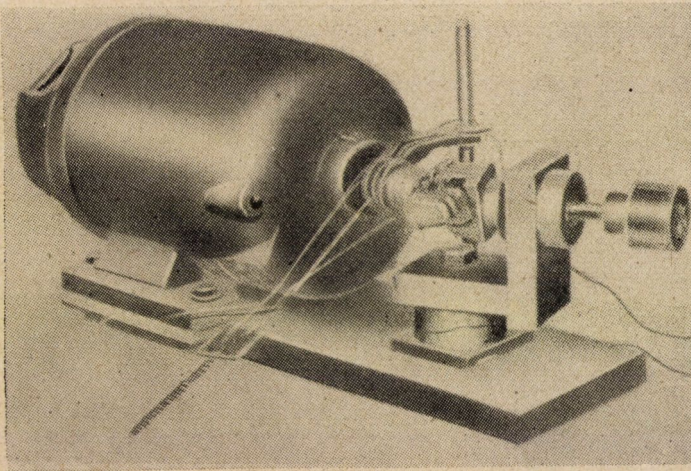
A szöggyorsulások mérőátalakítóinak hitelesítése vagy ingával, vagy pedig egyszálas (monofiláris) felfüggesztés útján történik, olyképpen, ahogyan a laboratóriumokban alkatrészek tehetlenségi nyomatékainak meghatározását végzik. A nagy szöggyorsulások mérésére szolgáló mérőátalakítók egyetemes csuklóval ellátott különleges berendezéssel hitelesíthetők (12. ábra).

Míg az előbbieken ismertetett műszerek különleges kivitelűek, addig az erő- és nyomatékmérésnél erre legtöbbször nincsen szükség, mivel a mérendő erővel vagy nyomatékkal terhelt alkatrész gyakran önmaga alkalmazható, mint mérőátalakító. Ez különösen a forgatónyomaték mérésénél fordul elő, amikor a mérőbéllyeget közvetlenül a mérendő forgatónyomatékot átadó tengelyre ragasztják.

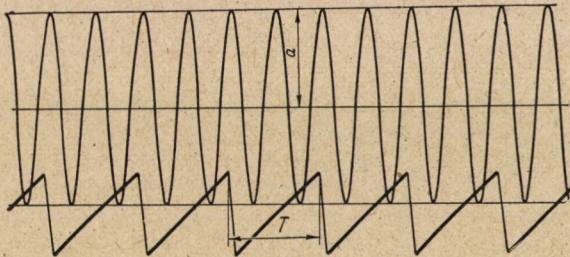
Ha a mérési körülmények miatt különleges erőmérő elkészítésére van szükség, akkor — amint a tapasztalat mutatja — olyan szerkezeteket kell előnyben



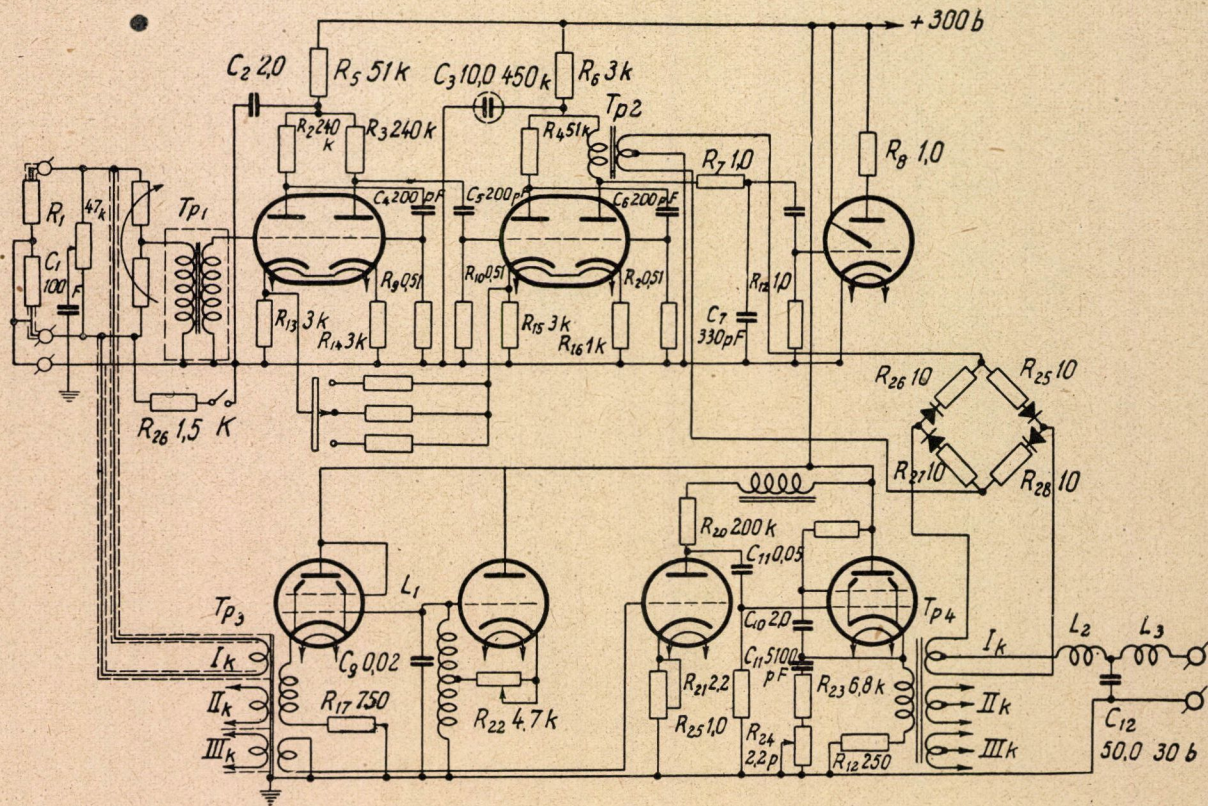
12a ábra



12b ábra



12c ábra

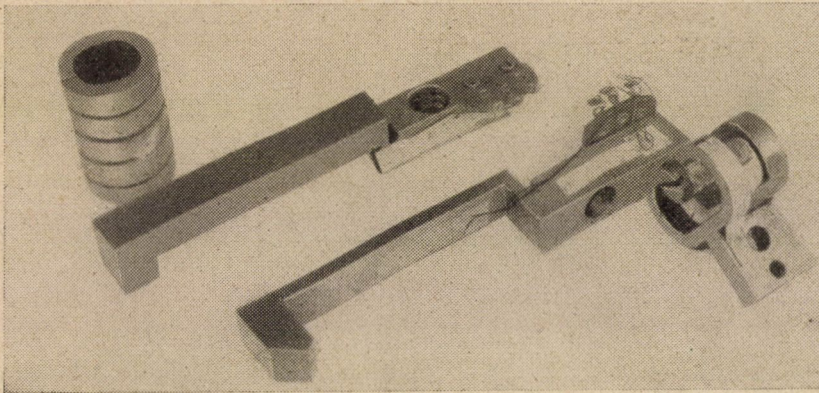


13a ábra

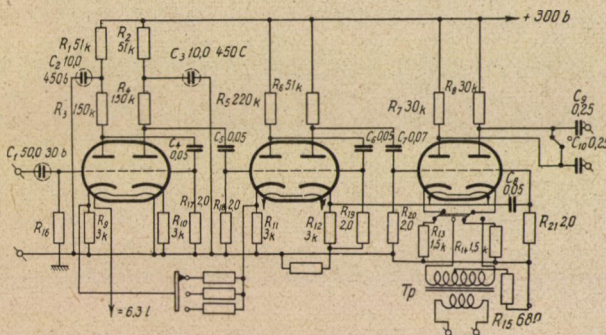
részesíteni, amelyeknél a mérendő erő a mérőalkatrészben hajlító, nem pedig húzó-, vagy nyomó-alakváltozást idéz elő.

Az ilyenfajta erőmérők sokkal érzékenyebbek és stabilisabbak. Az erőmérők néhány típusa a 13. ábrán látható.

Az erőmérésre és forgatónyomatékmérésre szolgáló mérőátalakítók hitelesítése sztatikusan történik a terhelés folyamatos változtatásával. Az erő



13b ábra



13c ábra

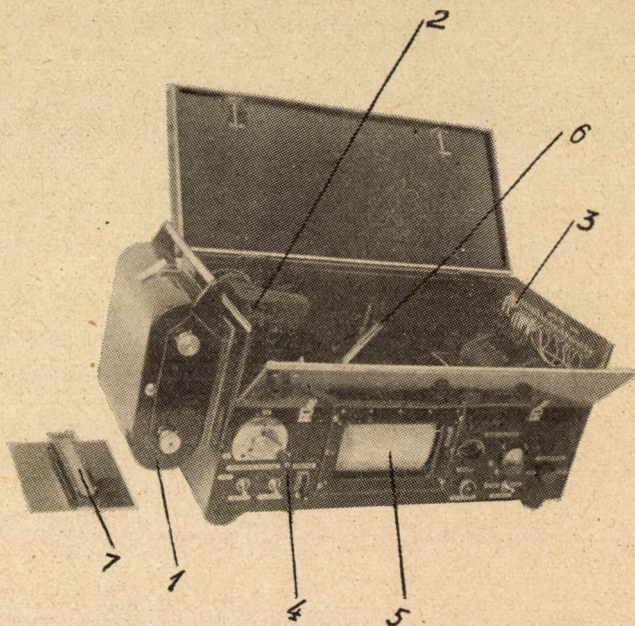
vagy nyomaték értéke az oszcillogram alapján a hitelesítési görbe szerint határozható meg.

Az előbbieken tárgyalt méréseknél többnyire mérőbéllyeget használnak fel mechanikai paraméterek villamos paraméterekké történő átalakítására. A mérőbéllyeg érzékenysége csekély, és ezért a legtöbb esetben erősítőt kell alkalmazni.

Az összes mérésekhez egytetemes erősítőül egyenáramú erősítő szolgálhatna, azonban eddig még nincs olyan egyszerű erősítő, amely a pontos mérések-

hez alkalmas lenne. Ennek folytán a mérőbéliyeges mérésekhez kétféle típusú váltakozó áramú erősítőt alkalmaznak kombinálva, amelyeket speciálisan a mérőbéliyegekhez dolgoztak ki. (13a és 13b ábra) Az első erősítő sztatikus és igen alacsony frekvenciáktól egészen 1000 Hz-ig terjedő rezgések erősítésére alkalmas.

Az ilyen erősítővel felszerelt berendezés áll a mérőhídból, amelynek két ágába mérőbéliyegek vannak kapcsolva, a hidat 5000 Hz frekvenciával tápláló generátorból, 4 erősítő csatornából, szelén egyenirányítós fázisérzékeny detek-



14. ábra

torból és a vivőfrekvenciát leválasztó szűrőből. A kimenőkapcsokon 100–120 mA erősségű áram mérhető.

Az ilyenfajta erősítők méréshatárai elég szélesek és igen sok kísérleti vizsgálatra alkalmasak a gépgyártás minden ágában, miért is ezen típusú erősítőberendezések igen elterjedtek. Előnyük az, hogy sztatikusan lehet a berendezéseket hitelesíteni.

A második típusú erősítőberendezés nem hitelesíthető sztatikusan. Egyen-áramú táplálásúak, 25 Hz–10kHz közötti határookban frekvencia jelleggörbájük lineáris, hangfrekvenciás erősítésűek.

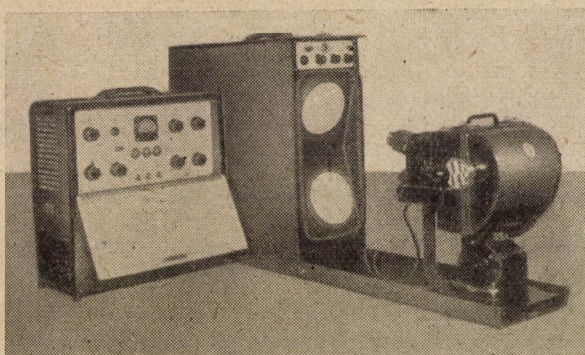
Ez a berendezés ütési folyamatok és igen gyors mozgások mérésére alkalmas.

Regisztráló műszerként szovjet gyártmányú, állandómágneses oszcillográfokat használunk. Az MPO—2 típusú oszcillográf nyolchurkos és filmszalagra jegyzi a folyamatokat.

A POB—14 típusú oszcillográf 14 hurkos, a POB—12 típusú oszcillográf 12 hurkos és 120 mm széles papírszalagra ír (14. ábra). A felsorolt oszcillográfok hordozható kivitelűek és nehézség nélkül szállíthatók a mérés helyére. Laboratóriumi viszonyok között helyhez kötött oszcillográfokat alkalmazunk.

Gyors folyamatok rögzítésére katódsugár-oszcillográfot alkalmazhatunk. Ilyen kétsugaras oszcillográf látható a 15. ábrán.

Ez az oszcillográf 30 m/sec-ig terjedő papírsebességgel képes rögzíteni a folyamatokat és 1000 Hz frekvenciájú időjelet is fel tud venni.



15. ábra

Az előbbieken ismertetett műszerek alkalmazásával a gépek dinamikájával foglalkozó laboratórium igen sok kísérleti vizsgálatot végzett, amelyek közül a következőket említem meg:

1. Ponthegesztő-automata elektro-pneumatikus szerkezetének vizsgálata, az automata teljesítőképességének fokozása és az ilyenfajta szerkezetek mérnöki számításának kidolgozása céljából.

2. Cölöpverő vizsgálata, a cölöpverés munkakörülményeinek meghatározása és számítás kidolgozása végett.

3. Üveggyári automata-csiszológépsor hajtótengelyeinél keletkező csavaró-lengések vizsgálata, az asztalmozgás stabilizálása céljából.

4. A vízáramlás lüktetésének vizsgálata vízerőmű-kismintákon.

5. Tejfőlözőgép orsóján keletkező rezgések vizsgálata.

6. Sajtó- (nyomdagép) szerkezetének vizsgálata.

7. Szövőszékszerkezetek vizsgálata.

8. Mozdonyoknál használatos szabványos kapcsoló- és vonórúd szerkezetének vizsgálata stb.

HOZZÁSZÓLÁSOK

STRICKER GYÖRGY

A szöggyorsulások mérésének keresztülvitele, illetve az adatok levétele hogyan történik?

N. P. RAJEVSZKIJ

Mind azon méréseknél, amelyek az előadás keretében szóba kerültek, a csúszókontaktusok kérdése igen nagy fontosságú. Néhány esetben, pl. forgatónyomaték mérésénél lehet fényelektromos mérőátalakítót alkalmazni, de nagyobb fordulatszámok esetében ez elkerülhetetlen.

Kétféle típusú csúszóérintkező kerül alkalmazásra: ha az érintkezési csúszósebesség nem halad meg 1 m-t másodpercenként, akkor sárgarézgyűrűt alkalmaznak rézszalagból készült érintkezővel. Ha a sebesség egy és három méter között van másodpercenként, akkor ezüstből készült kefékkel veszik le az áramot. Ez a módszer az előadó intézetében használatos. Természetesen más helyen különböző megoldásokat használnak.

PALESCH ANTAL

A mérések alkalmával a rezgések térbeli, — tehát háromdimenziós — és időbeli regisztrálását milyen pontossággal tudják végezni?

N. P. RAJEVSZKIJ

Arezgésekből három jellemzőt vesznek fel: elmozdulást, sebességet és gyorsulást. Ha két összetevőről van szó, tehát ha kördiagramnak megfelelően zajlanak le a rezgések, és ezeknek vetületét akarjuk mérni, akkor huzalos mérőátalakítókat alkalmaznak.

Ha három összetevőt kell mérni, akkor megfelelő korrekciót alkalmaznak.

ÉBNER LÁSZLÓ

3 m/sec feletti sebességeknél milyen anyagból készült csúszógyűrűket és keféket alkalmaztak és milyen jelenségeket figyeltek meg a melegedéssel kapcsolatban?

N. P. RAJEVSZKIJ

3 m/sec feletti sebességek esetén legelőnyösebb a higanyérintkezők használata, amely 20 m/sec sebesség esetén is megbízhatóan működik.

MAGAI ANDRÁS

Mi a felső határa azoknak a rezgéseknek, amelyeket az előadásban ismertett műszerrel még mérni lehet? Ha csak a regisztráló szerkezet okoz nehézséget, használtak-e magnetofon közbeiktatásával működő regisztráló berendezést? Milyen tapasztalatokra tettek szert?

N. P. RAJEVSZKIJ

Gépek és szerkezetek vizsgálatakor a szóban forgó mérőátalakítók szerkezete nem korlátozza a mérések felső határát. Azonban az erősítőberendezések nehézséget támasztanak, különösen nagy frekvenciák átérésztését illetően.

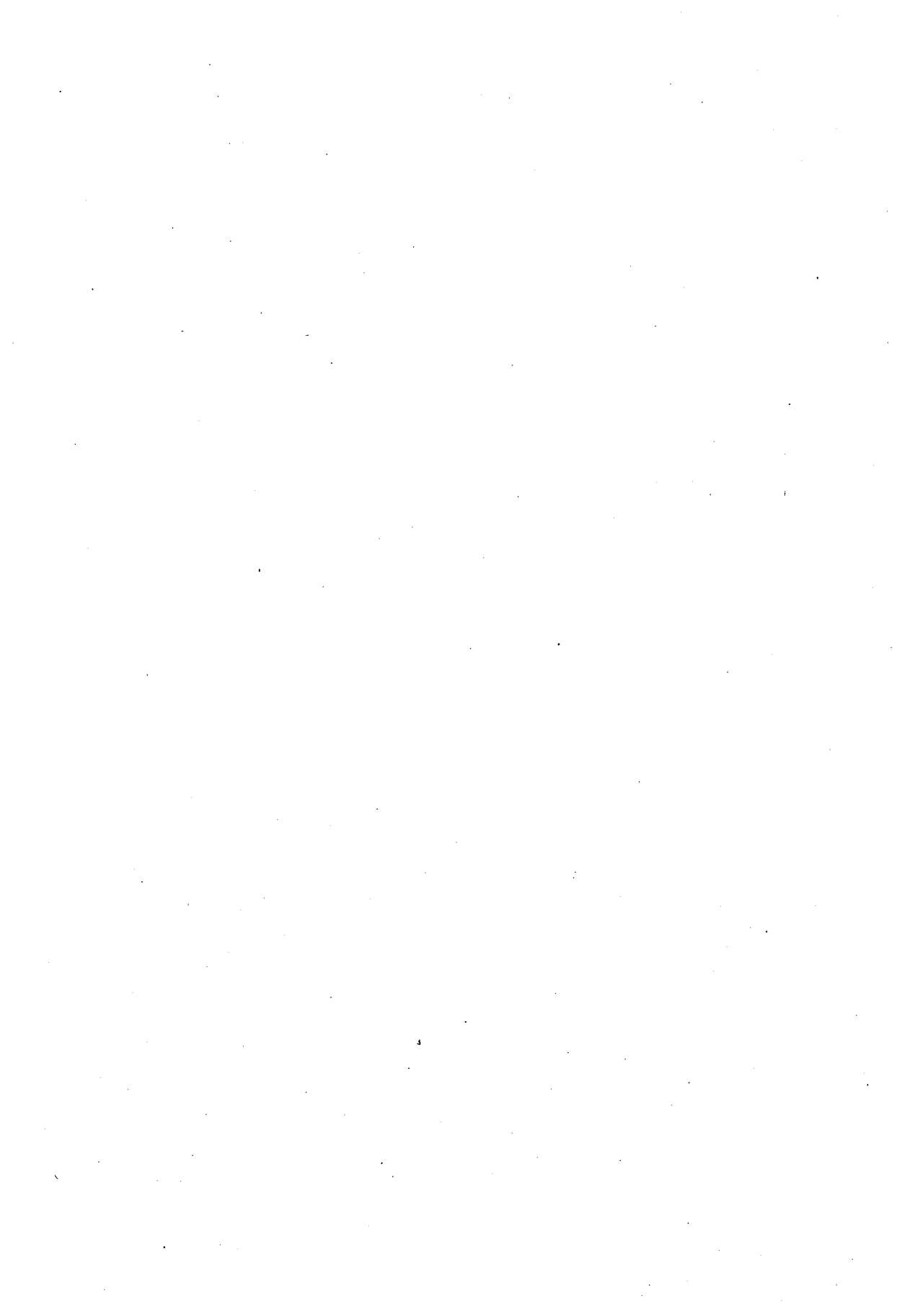
Ezt a módszert általában tengelyek vagy tárcsák forgásegyenletlenségi képének meghatározására szokták használni. Tudomása van arról, hogy az egyik szovjet laboratóriumban magnetofont regisztrálás céljára alkalmaztak. A gyors folyamatokat katódsugár-oszcilloszkópokkal regisztrálják általában.

A mérőbelyegeket sztatikus módszerrel hitelesítik, olyan különleges szerkezetekkel, amelyekben olyan tartók vannak elhelyezve, melyeknek deformációja állandó értékű.

A mérőátalakítók érzékenysége általában egy százalékos hibahatáron belül van. Nem ajánlatos a teljes érzékenységi tartomány kihasználása, mert ez a feszültség szempontjából pontatlansághoz vezet.

EBNER LÁSZLÓ

Hazai vonalon a Műszeripari Kutató Intézetben is folytak hasonló kutatások. Az itt kidolgozott és az Elektronikus Mérőkészülékek Gyárában kísérleti szériában gyártott belyegeket kívánja ismertetni. A készítés technológiája nagyjából megegyezik a szovjet készítési móddal. A belyegek mérőhossza 22 mm, és 125 Óhm névleges ellenállás értékűek.



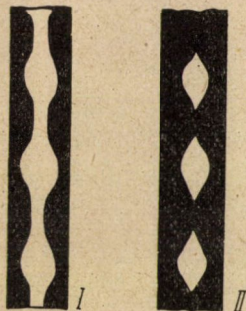
FÉNYELEKTROMOS ELJÁRÁS VASÚTI SÍN FUTÓFELÜLETÉN KELETKEZŐ HULLÁMOS KOPÁS VIZSGÁLATÁRA, MOZGÓ VONATRÓL

Dr. rer. nat. H. LAPORTE

A NÉMET DEMOKRATIKUS KÖZTÁRSASÁG ANYAG- ÉS ÁRUVIZSGÁLÓ INTÉZETE, RONCSOLÁSMENTES ANYAG-
VIZSGÁLATI OSZTÁLY, LEIPZIG

Vasúti sín futófelületén rendes körülmények között megszakítás nélküli tükrösödés keletkezik. Ezt a jelenséget az átfutó szerelvények okozta kopás idézi elő. Számos sínen azonban a tükrösfelület szakaszosan kiszélesedik, vagy megszakad. Ilyenkor fényes, tükröző részek váltakoznak sötét, elrozsdásodott részekkel. Ezt a jelenséget nevezik hullámos kopásképződésnek.

Az 1. és 2. ábra a keletkező hullámos kopás mindkét fajtáját ábrázolja.

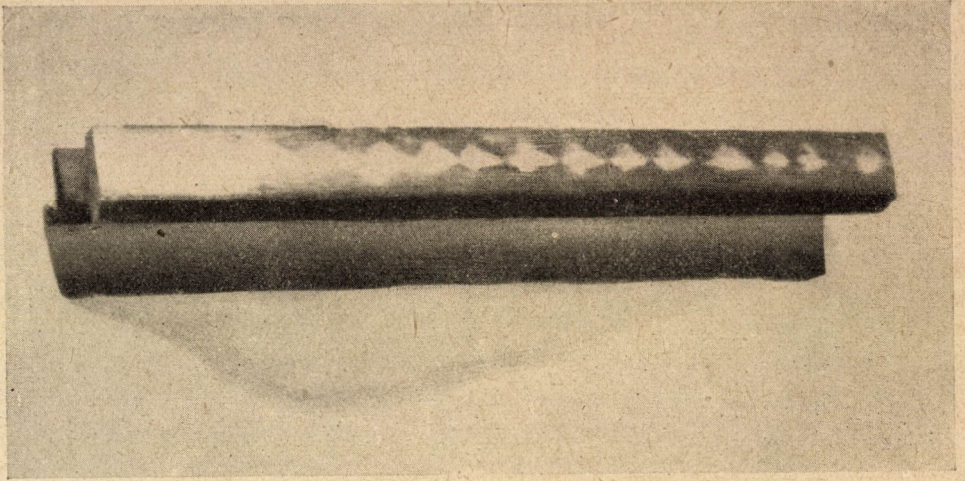


1. ábra

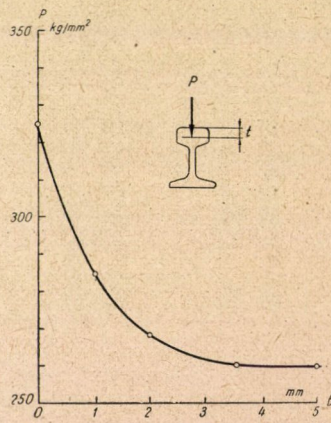
Ha keménységmérő készülékkel vizsgáljuk a sínelület keménységét, úgy megállapítható, hogy a tükröző felület középpontjában a keménység nagyobb, mint a sín futófelületének más pontjain. Ez a keménységkülönbség 127% is lehet. Ha a futófelület egyik hullámos kopású részét egymás után egyenletes rétegekben legyaluljuk és minden egyes alkalommal a keménységet megmérjük, úgy a 3. ábra szerint képet kapunk arról, hogy a hullámos kopás milyen mélységig terjed.

Az egyik ilyen mérési sorozat diagramjából pl. megállapítottuk, hogy csak 3,5 mm-rel a futófelület alatt mérhető a sín rendes keménysége.

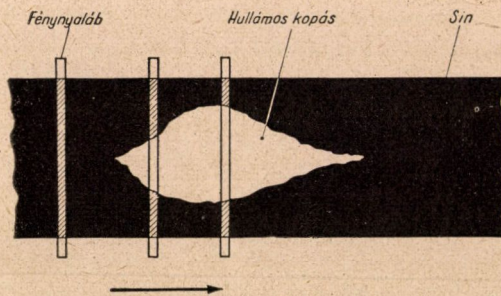
A hullámosodás következtében a sín anyaga egyenetlenül kopik. Ezen jelenség keletkezésének oka a sín, az ágyazás és a pályatest lengéseiben keresendő. Vasúthálózatunk nagy vágányhossza miatt a megfigyeléseket mozgó vonathoz kapcsolt sínellenőrző-kocsiról kell végezni. A hullámos kopású részek vizsgálata



2. ábra



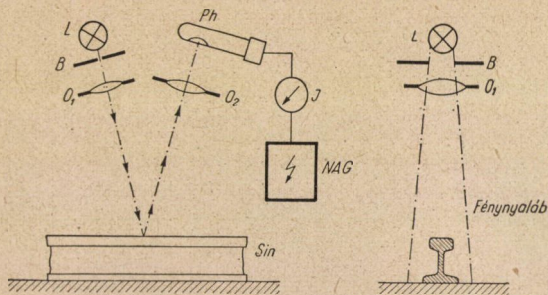
3. ábra



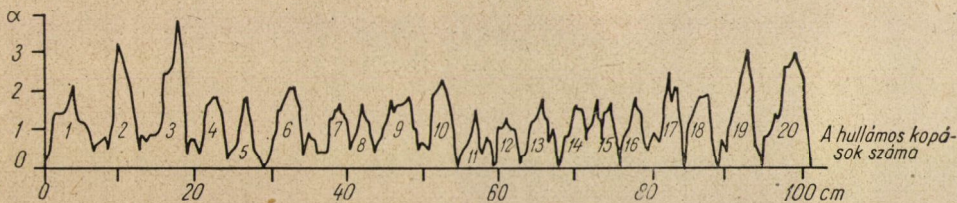
4. ábra

a vasúti vágányok egyéb ellenőrzéseivel egyidejűleg történik. A hullámos kopásfelületek helyeinek észlelésére a fényelektromos módszert választottuk. Az eljárás alapelveit a következő ábrákon mutatjuk be.

A sín futófelületére keskeny fénysávot vetítünk. Ezt a fénysávot a sín felületén, menetirányban mozgatjuk. A visszavert fény intenzitását fotoelektromos úton mérjük. Ha a fotoelektromos áramot az eltolódás függvényében felrajzoljuk, úgy a hullámos kopásfelület képét kapjuk.



5. ábra



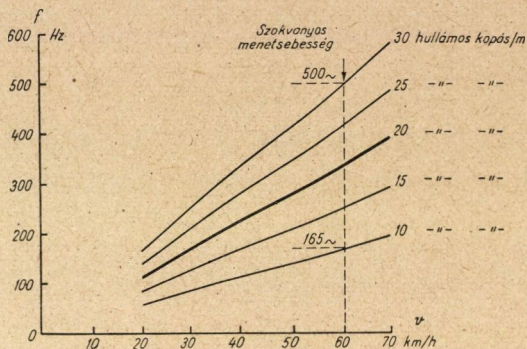
6. ábra

A bemutatott elrendezés szolgál a síndarabok laboratóriumi vizsgálatához. Az L fényforrás B résen át világít, A fénynyaláb az O_1 lencserendszer segítségével a futófelületre fényszalag alakjában vetítjük. A visszavert fény az O_2 lencsén keresztül a Ph fényelektromos cellára esik. A cellát az NAG anódpótlóról tápláljuk. A fotocella kimenő áramkörébe a J árammérő van kapcsolva. Kísérletünkönél a fotoelektromos berendezés mozdulatlan volt. A síndarabot görgőpályán a fényszalag alatt elhúztuk. A hullámos kopásról így módon fotoelektromos úton készült felvételt a 6. ábra mutatja.

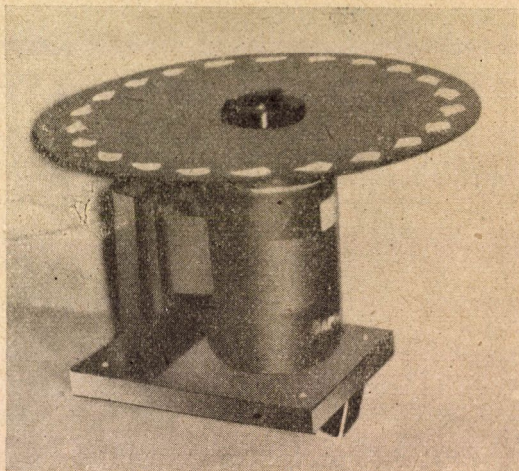
Az ellenőrzés azt mutatta, hogy a hullámos kopásfelületeket átlagosan $\pm 4,7\%$ pontossággal tudtuk ábrázolni.

A hullámosodás sűrűsége sínfolyómétereként 10 és 30 között váltakozik. A gyakoriság átlagának maximuma méterenként 20 hullámosodás. Ha a mérőszerezvény ilyenfajta hullámos szakaszon halad át, akkor a fotoelektromos indikáció folytán hangfrekvenciás rezgések keletkeznek.

A 7. ábra a mérővonal menetsebessége, a hullámosodás sűrűsége és a keletkező hangfrekvencia közötti összefüggést mutatja be. A sínmérőkocsi szabványos 60 km/óra vizsgálati sebességénél 165-től 500 Hz-ig terjedő rezgések keletkeznek.



7. ábra



8. ábra

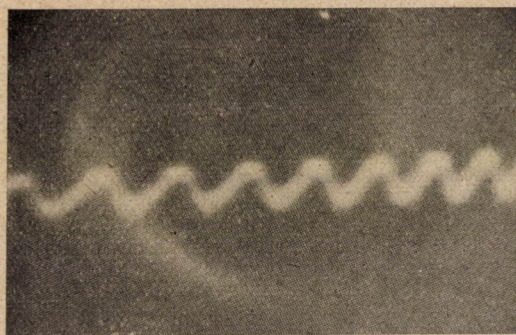
Az ábrázolás hűségének ellenőrzésére a laboratóriumban a 8. ábrán bemutatott tárcsa szolgált, mesterséges kopásutánzatokkal. A tárcsát — melynek sebességét motorral szabályoztuk — a letapogató berendezés fény-sávja alatt forgattuk el. A megfigyelést katódsugár-oszcillográffal végeztük.

A kísérleti berendezés ernyőjén kapott kép (9. ábra) megegyezett azzal, amelyet a mérőkocsi későbbi próbaútján megfigyelhettünk.

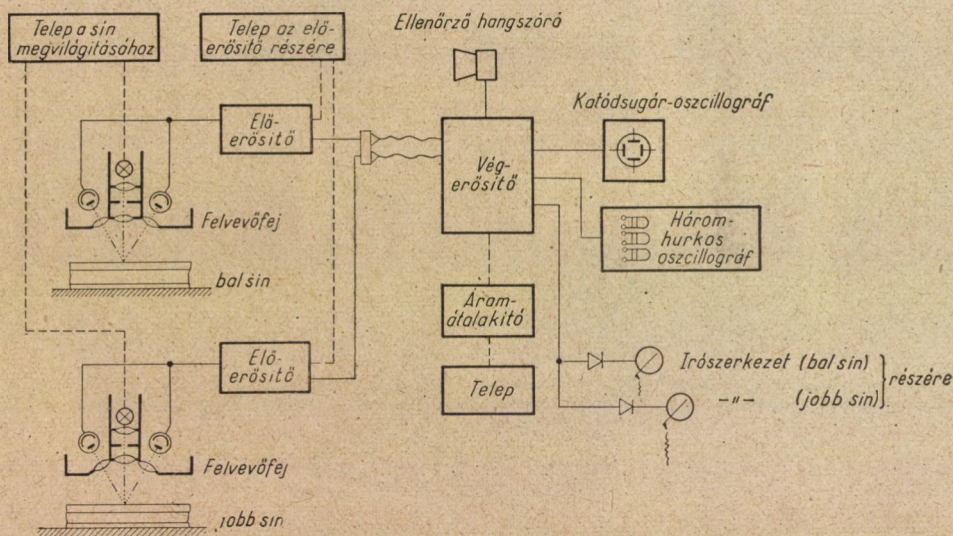
A mérőkocsiban alkalmazott fotoelektromos berendezés gyakorlati kivitelezésénél számtalan nehézséget kellett leküzdenünk. A mérőkocsiban több

egyenáramú generátor és azokhoz kapcsolt váltakozó áramú átalakító dolgozott 50 és 500 Hz frekvenciával. Ezeknek szórt feszültségét a fotoelektromos erősítők felerősítik és zavarként regisztrálják.

A 10. ábrán látjuk a mérőkocsi berendezésének elvi vázlatát. Minden sínszálhoz egy felvevőfej tartozik. Ezekben egy-egy fényforrás, gyűjtőlencse,

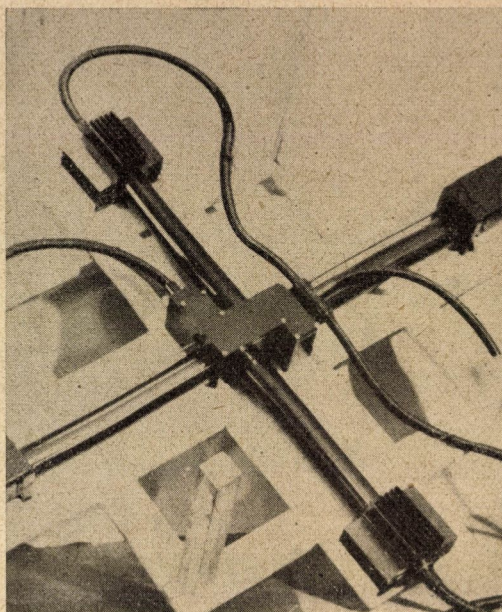


9. ábra

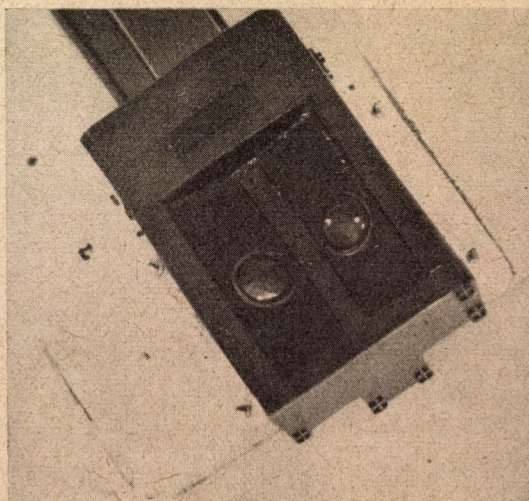


10. ábra

résalakú fényretesz és lencse, valamint két, az észlelő optikával összeszerelt fotocella van. A fotocellák után két, négyfokozatú előerősítő következik. Az előerősítők áramellátása telepről történik. A felvevőfejek és előerősítők a mérőkocsi elülső forgószámolyába vannak beszerelve. Az előerősítőkből árnyékolt vezetékek futnak a kétfokozatú végerősítőkhöz. A végerősítők a vezénlyötáblával és az üzemi feszültséget szolgáltatató áramátalakítókkal együtt, a

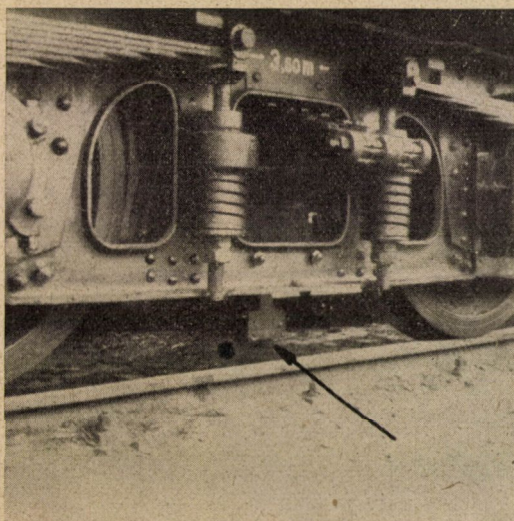


11. ábra



12. ábra

kocsi mérőhelyiségében vannak. A hullámos kopások akusztikai ellenőrzésére hangszóró és a vizuális ellenőrzés céljából katódsugár-oszcilloszkóp csatlakozik a végerősítőkhöz. Ezeket tetszés szerint a bal- vagy jobboldali sín megfigyelésére lehet használni. Azon kiválasztott hullámos szakaszok pontos regisztrálására, amelyeken a hullámosodás fokozódását kívánjuk tanulmányozni, háromhurkos oszcillográf szolgál, amelyet szükség szerint lehet bekapcsolni. Az oszcillogram előhívására a mérőkocsiban sötétkamra van berendezve. A hullámos szakaszok rögzítésére a fényelektromos felvevőberendezés végerősítőihez egyenirányítók



13. ábra

keresztül két tintairószerkezet csatlakozik, amelyek az ellenőrző berendezés regisztráló szalagján feljegyzik a hullámos szakaszokat.

A 11. ábrán a fotoelektromos felvevő berendezés a mérőkocsi forgózsámolyába történő beszerelés előtt látható. A berendezés felvevőfejekből, fényforrásokból és a sugármenet irányítására szolgáló szekrényből, valamint előerősítőkből áll.

A 12. ábrán az egyik felvevőfej látható, a kilépőablakkal a fénysáv számára és a fotocellák észlelő optikája.

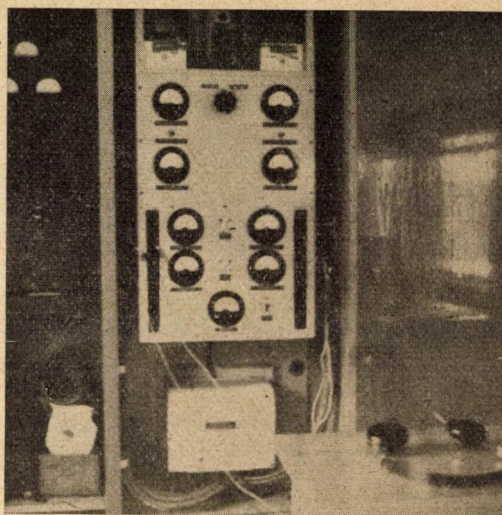
A felvevőfej beépítési módja a háromtengelyű forgóváz két kereke között a 13. ábrán látható.

A mérőfejkb. 70 mm-rel a sín futófelülete felett van elhelyezve. Tükröződő idegen fény ugyancsak befolyásolhatja a fényerőt és meghamisítja a hullámos felület leképezését. A mérést meghamisító idegen fény ellen a felvevőfejet lágy-

gumitokkal óvjuk, amely kb. 10 mm-re nyúlik a sínfelület fölé. A tok a felvétel elkészítésekor még nem volt felszerelve.

A 14. ábra a végerősítőket, valamint az azokat tápláló áramátalakítókat mutatja be, melyek a kocsi mérőszobájában vannak elhelyezve.

Az ismertetett berendezéshez gáztöltésű normál vörösérzékeny fotocellákat használunk. Különlegesen robusztus csőtípust választottunk, amelynél az anódok kétszeresen vannak kitámasztva. Így tudtuk kiküszöbölni a sínkötések ütközése következtében keletkező lengéseket. Ugyanezen okból választottunk



14. ábra

szekunder elektronsokszorozók (fotomultiplierek) helyett inkább nagy erősítő-képességű előerősítőket. Az előerősítők erősítése kb. 10^4 , a végerősítőké pedig kb. 10^2 volt. Míg a maximális erősítés ezek szerint 10^6 , ebből kb. 10^5 , tehát százezerszeres erősítés került gyakorlati alkalmazásra.

ÚJ FOGASKERÉKVIZSGÁLÓ MÓDSZEREK

M. D., GENKIN

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

A SZOVJETUNIÓ TUDOMÁNYOS AKADÉMIAJÁNAK GÉPTANI INTÉZETE, LENINGRÁD

1. §

A gyártott fogaskerekek minőségét úgy állapítják meg, hogy mérik a kapcsolóelemek eltérését a helyes geometriai alaktól, s ezeket az eltéréseket összehasonlítják a vonatkozó szabványokban előírt tűrésekkel.

Általános az a vélemény, hogy a fog méreteltéréseiből következtetni lehet nemcsak a gyártási módszer pontosságára, hanem arra is, hogy a párosított kerekek a fogaskerékhajtásba beszerelve hogyan fognak viselkedni.

A Szovjetunióban érvényben lévő 1643—46. számú szabvány, valamint a német, angol, belga és más szabványok szerint is, fogaskerekek gyártásánál a profil, az osztás és a fogvastagság méretpontosságát, valamint ezeknek a fogaskerék tengelyéhez viszonyított helyzetét kell ellenőrizni és az egyes kerekek minőségét egyedenként kell megállapítani. A komplex ellenőrzést csak hézagmentes kapcsolatban, kiegészítőképpen ajánlják.

A fogaskerekek kapcsoló elemeinek mérésére számos olyan mérőműszert dolgoztak ki és gyártanak, amelyek a kerék tényleges méreteit az elméletileg helyes mérettel hasonlítják össze, rendszerint úgy, hogy az eltérést nagyítva, grafikusán regisztrálják.

2. §

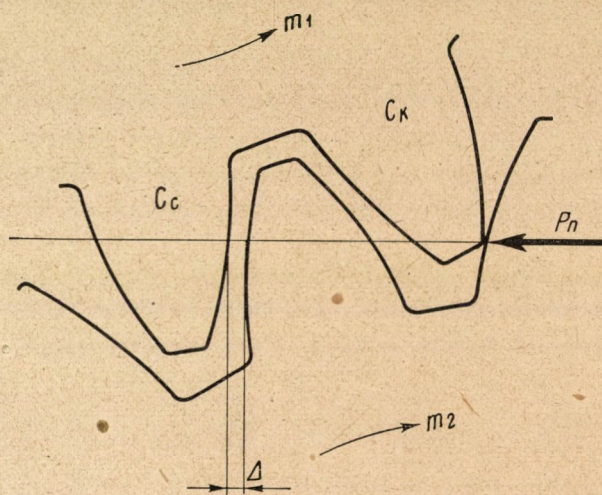
Ez a fajta sztatikus ellenőrzés csak akkor használható, ha nem támasztunk különös követelményeket a hajtással szemben és annak súlya és terjedelme korlátozva nincsen. Ha azonban a teljesítményt és a fordulatszámot növelve, a korszerű hajtástól zöreijmentes működést követelünk meg, azonnal szükséges olyan ellenőrzési módszer, amelyik a hibákat dinamikus szempontból is elemzi.

E tárgykörben az utóbbi években a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Géptani Intézete végzett kutatásokat együttműködve több gyárral.

3. §

A fogprofilok ütközési elméletének kidolgozása folyamán megállapították, hogy a gyártási hibák okozta lengések amplitudóját és egyéb más jellemzőit nem az egyedi hibák, hanem a hajtás párosított kerekeinek egymáshatása, pontosabban a kerekek viszonylagos járulékos elmozdulása határozza meg.

Az 1. ábra szerinti hajtás két fogaskerekének alaposztása eltérő, a hajtókeréké nagyobb a hajtotténál, s ezért élkapcsolás mutatkozik, azaz kilépés-



1. ábra

nél a hajtott kerék $\Delta - \delta_k$ értékkel elmarad és lelassul, a következő fogpár kapcsolásba lépésekor a profilok ütköznek, s a hajtott kerék ismét felgyorsul. A profiloknak ilyen ütközése lengéseket okoz. A keletkező lengések paraméterei: a fogaskerekek redukált tömegei (m_1 és m_2), a kapcsolódó fogak rugóállandói (C_c és C_k) és az alaposztások különbsége (Δ).

A lengések járulékos dinamikus igénybevételt okoznak, melynek nagysága a kapcsolat időtartamától és a paraméterektől függ. Nem a párt alkotó egyes kerekek hibái, hanem a kettő kölcsönhatása döntő. Ha mind a hajtó, mind a hajtott kerék alaposztása nagyobb vagy kisebb a névleges értéknél, de mindkettőnél egyértelműen, úgy az eredő hiba zérus lesz, ha viszont a kettő ellentétes, úgy összeadódnak és az eredő hiba az egyes hibák összege lesz.

A Szovjetunióban már kidolgozták olyan módszer elméleti alapjait, amellyel konkrét esetben ki lehet számítani a járulékos elmozdulás mértékét a hajtás mindkét fogaskerekének eltéréseiből. Azonban ez a módszer —

jelentős elméleti értékét nem tekintve — mégsem határozza meg pontosan a hajtás munkaviszonyait, mert nem ad lehetőséget a járulékos elmozdulások időbeli lefolyásának megállapítására. Ezért a kutatók további munkájuk során olyan módszerek kidolgozását tűzték ki célul, amelyek nemcsak a hibák értékét, hanem a hibák hatásának időbeli lefolyását is meghatározzák.

E mérési módszer alapja az egyprofilos ellenőrzés, azaz olyan rendszer, amelynél a kapcsolódó fogaskerékpár tényleges mozgását két olyan etalon-tárcsa ideális elmozdulásával hasonlítja össze, amelyek átmérője a mérendő kerekek gördülő körének átmérőjével azonos.

E műszer (2. ábra) részei: az I csapágybak, a hajtókereket forgató lassító hajtóművel és automatikus kikapcsolóval, a II csapágybak vízszintesen állítható szánon, mely fogasléccel állítható a kívánt helyzetbe, s itt rögzíthető. A mérendő kerekek a csapágybakok orsójára szerelhetők.

Az orsók szerkezetét a 3. ábrán látjuk. A 7 orsó golyóscsapágyakban, a 18 orsó siklócsapágyakban forog. A 18 orsóra van felfogva az egyik mérendő fogaskerék és a 20 tárcsa. Az orsót villamos motor hajtja.

A 7 orsóban szabadon forog a 4 túske, erre van erősítve a másik mérendő fogaskerék, melynek 9 tárcsája a 7 orsóra van felfogva.

A 7 és 8 orsók között a tengelytáv 70—350 mm határok között állítható.

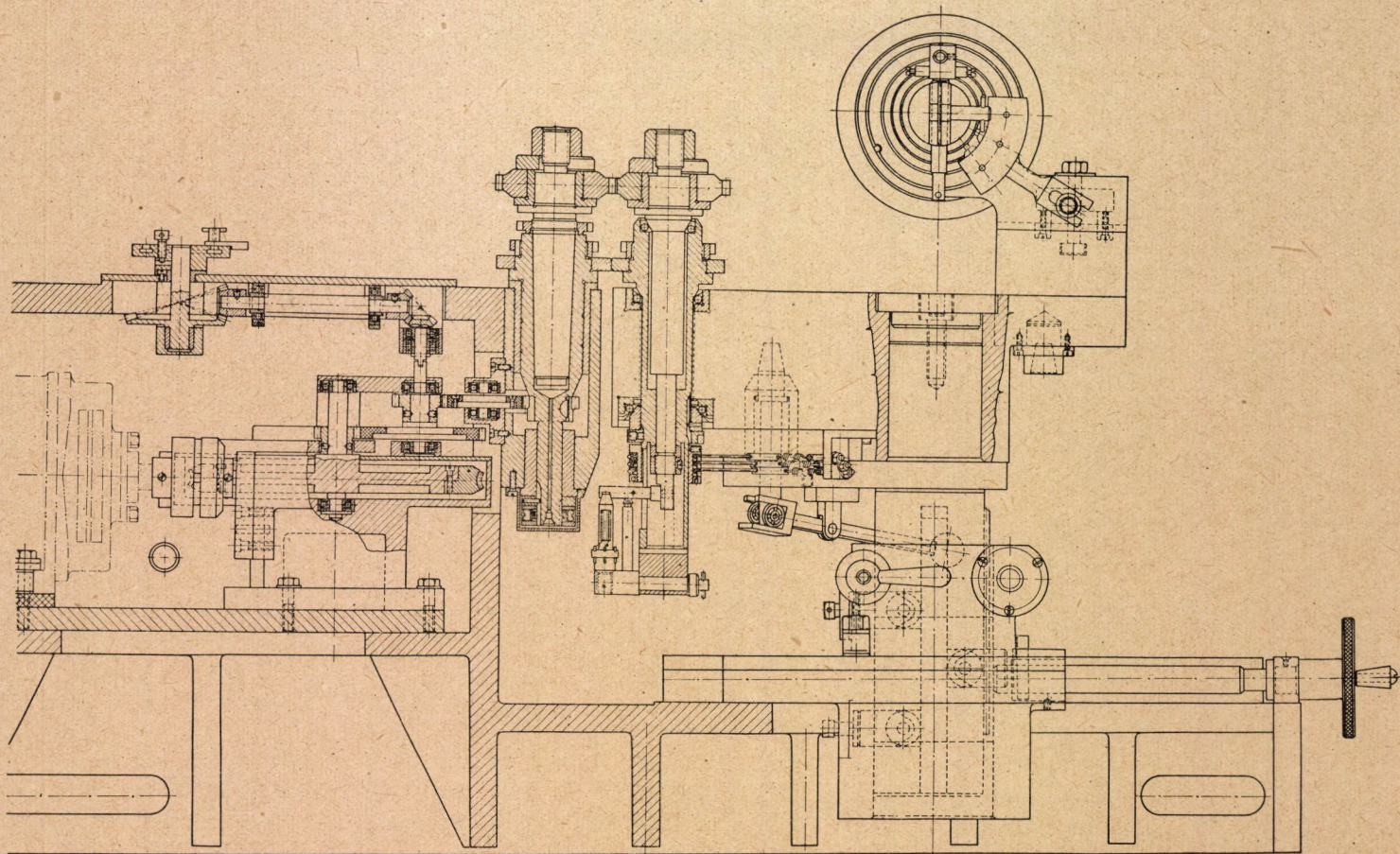
Méréskor a 9 és 20 tárcsákat annyira szorítjuk össze, hogy csúszás nélkül gördüljenek egymáson. A motort bekapcsolva a 18 orsó, a rajta levő fogaskerékkel és tárcsával, valamint a 7 orsó a 9 tárcsával állandó szögsebességgel forognak, s így a fogaskerékpár gyártási hibái a 4 túske változó szögsebességében jelentkeznek.

A 7 orsó és a 4 túske alsó részén van a mérőszerkezet. A 4 tengelyre van csavarral erősítve az 5 tartókar, amely a mérőkúpot hordja. Ennek felső része mereven össze van kötve a 12 csappal. A kötés levehető villával van megoldva, ami az ábrán nincs feltüntetve. A mérőkúpról az áramot három rézgyűrűn vesszük le, a rézgyűrűk hornyában fekszenek a gyűrűket nagy ívben átfogó többerű rézhuzalból készült érintkezők.

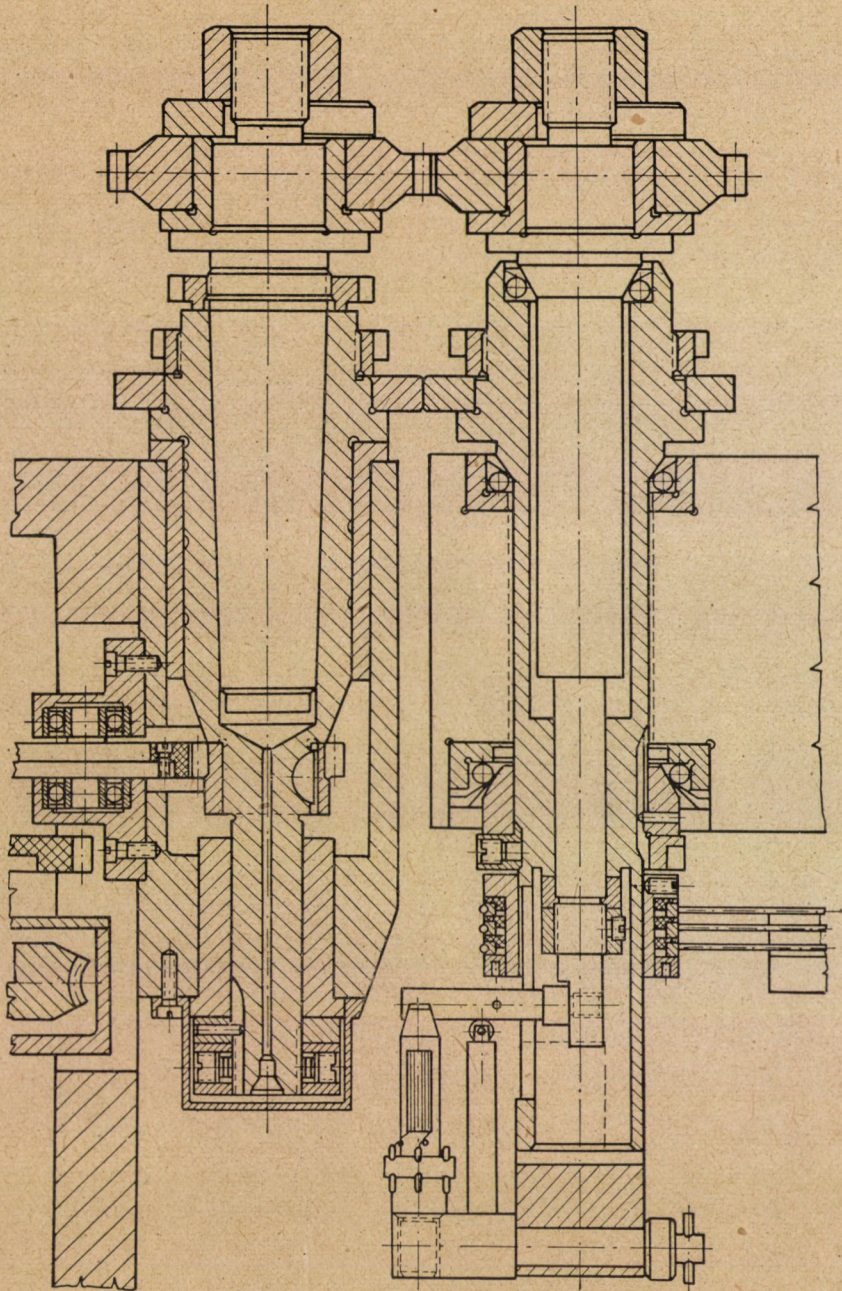
A készüléken kúpkerekpárokat is vizsgálhatunk, ehhez a szán függőleges orsóját vízszintes orsóval cseréljük ki. A tárcsák helyett gördülőkúpokot használunk.

Tekintve, hogy a műszerrel nemcsak a járulékos elmozdulásokat, hanem ezek időbeli lefolyását is fel akarjuk deríteni, nagy léptékben (1000—2000-szeres nagyítás) kell regisztrálnunk. Az emeltyűkaros regisztrálók legnagyobb nagyítása 500-szoros és nagy tehetetlenségük miatt nem használhatók. Ezért az ismert huzalos mérőátalakítókat (mérőbélyeg) használjuk, ami a műszer konstrukcióját jelentősen egyszerűsítette és nagy erősítési tényezőt tett lehetővé.

A mérőfej (4. ábra) két nyúlásmérő-bélyege az 1 gumigúlán van, amely a 2 tartóhoz van erősítve és a 3 mérőcsúcsot is hordja.



2. ábra

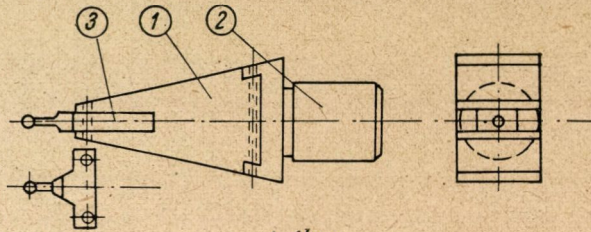


3. ábra

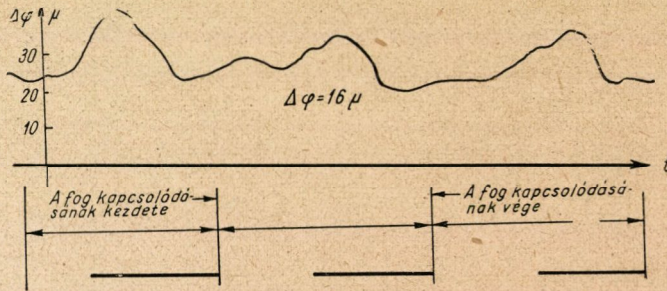
A 6P6 és 6P3 típusú csövekkel az áramot kb. 5000 Hz vivőfrekvenciával mérőhídba visszük. A négy nyúlásmérő-bélyegből kettő a hídba, kettő a mérőfejbe van szerelve. A hidat kiegyensúlyozzuk és ennek pontosságát katódsugár oszcillográfon ellenőrizzük.

A fogaskerék hibái következtében a 4 túske a 7 orsóhoz viszonyítva elmozdul, a mérőkúp deformálódik és a híd egyensúlya az ellenállásváltozás következtében megbomlik.

A keletkező — az elmozdulással arányos — elektromotoros erőt az erősítőn át egy közönséges hurkos oszcillográfra vezetjük.



4. ábra



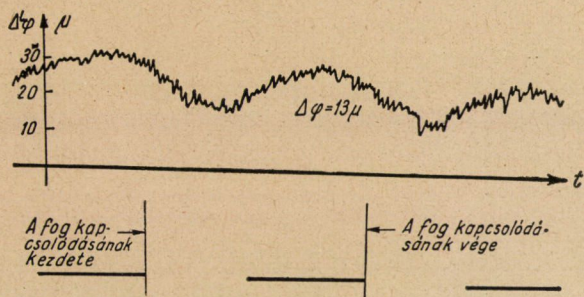
5. ábra

Regisztrálásra használhatunk nagy érzékenységű műszereket is. Ilyeneket a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Geofizikai Intézete dolgozott ki. Ilyenkor nincs szükség elektroncsöves erősítőre, de nagyobb érzékenységű nyúlásmérő-bélyegeket kell használni (1000 ohm).

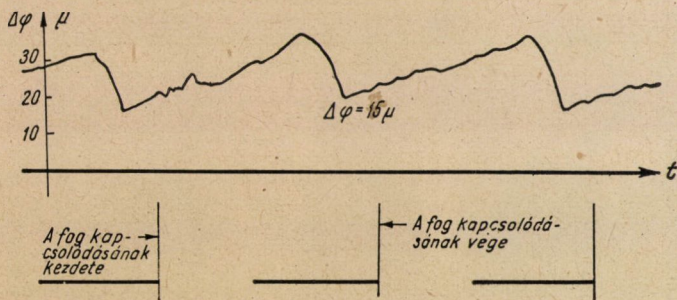
Az 5., 6. és 7. ábrák különböző fogaskerék párok ellenőrzése során kapott diagramokat ábrázolnak. Látható, hogy azonos nagyságrendű járulékos elmozdulások esetében is azok jellege és időtartama jelentősen változik a hibák előjelétől függően. Éppen ezért az egyes technológiai műveleteknél azonos feltételek elérésére eltérő követelményeket kell előírunk.

A diagramok harmonikus analízissel elemezhetők, ami lehetővé teszi az egyes görbék technológiai okainak felderítését.

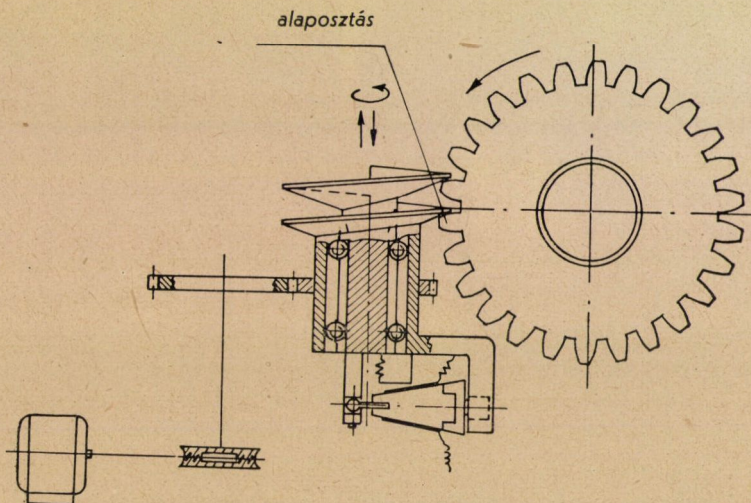
Meg kell említenünk, hogy a fent ismertetett rendszerű mérőkúpos mérés az egyes kerekekre vonatkozó geometriai eltérések regisztrálására is jól alkalmazható.



6. ábra



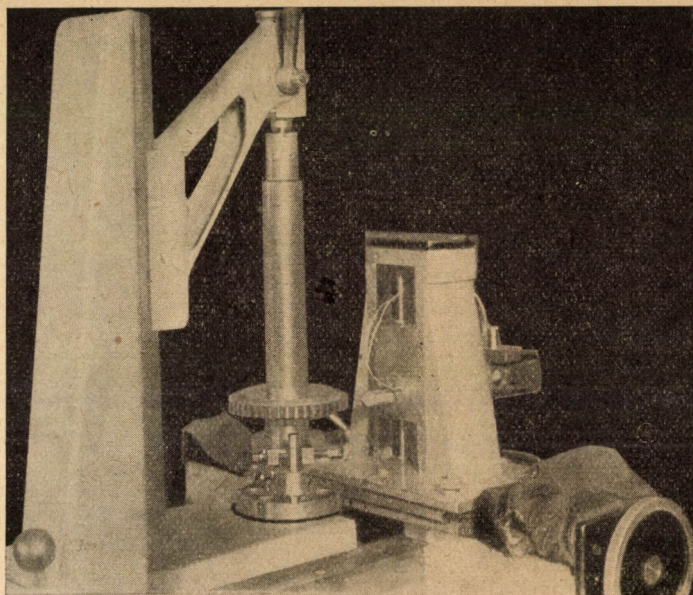
7. ábra



8. ábra

A 8. ábra regisztráló osztásmérő vázlata. Ennél a 4. ábra szerinti mérőkúp felhasználásával, etaloncsigákkal ellenőrizhetjük az alaposztások tényleges és névleges méretei közötti eltérést valamennyi fogon és a profil csaknem minden pontján.

Felhasználható a mérőkúp a 9. ábra szerinti elrendezésben, a fogprofil hibák regisztrálására is.



9. ábra

4. §

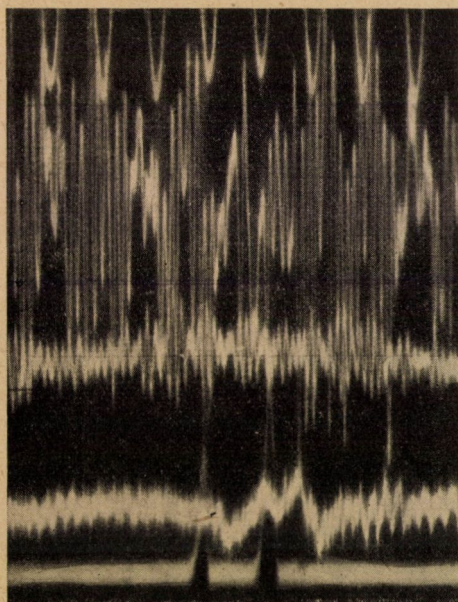
Azoknál a fogaskerekeknél, amelyekkel szemben csak szilárdsági és kopásállósági igényeket támasztunk, általában elegendő a fent ismertetett ellenőrzési mód.

A fogaskerekek nagy csoportjánál azonban a többi között lényeges minőségi jellemző az üzem közben keltett zaj is. Ilyenek pl. a gépkocsik, traktorok, szerszámgépek, szállítógépek, háztartási gépek stb. fogaskerekei.

A Szovjet Tudományos Akadémia Géptani Intézetében vizsgálatokat folytattak a fogaskerék hajtásokkal keltett zajokra vonatkozóan. Ismeretes volt, hogy a fogaskerék hajtásokkal keltett zaj a különböző alkatrészek lengéseinek következménye. A vizsgálatok során megállapították, hogy a keltett zaj erősségét általános esetben a fogaskerekek csavarólagjai, a tárcsa gerjesztett kényszerrezgése és a ház, illetve mérőasztal önlengései határozzák meg. Ezt a 10. és 11. ábrán bemutatott felvételek is alátámasztják.

A 10. ábrán látható, jellegre megegyező görbék a hangnyomás (1) és a keréktest torziós (2), illetve normál (3) rezgései, az idő függvényében.

A 11. ábrán a fogaskerék zaj jellegzetes frekvenciaspektrumában jól megfigyelhető csúcsok mutatkoznak a fogfrekvencián (f_z), ennek felharmonikusainál és a tárcsa, illetve ház rezonáló saját frekvenciáin. A spektrumba bejelölt $L_1 = 78$ dB- (decibel) szintérték a létrejött össz zajszintnek felel meg. Az a -val jelölt érték valamely kiválasztott komponens intenzitásának időbeli ingadozására jellemző érték.



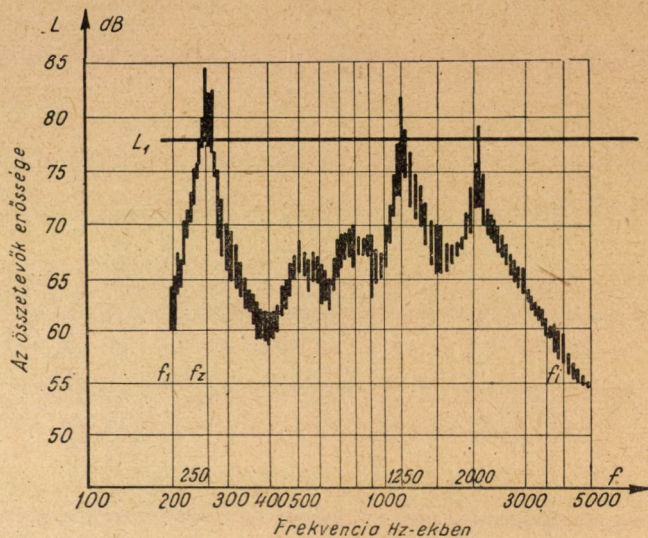
10. ábra

A zajt okozó rezgések intenzitását, több más tényezővel együtt a profilok dinamikus kölcsönhatásának erőssége, ezt pedig főként a kapcsolódás komplex hibája határozza meg.

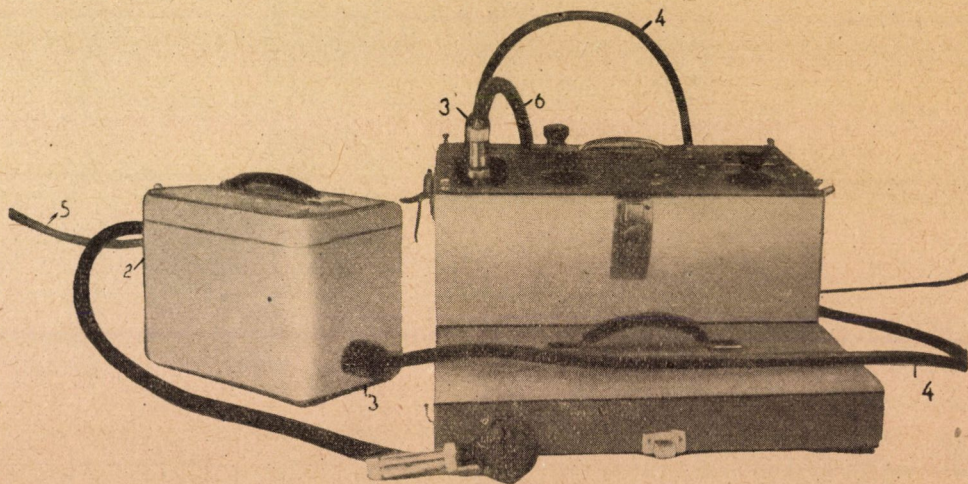
A hangsugárzási folyamatnak azonban több jellegzetes sajátossága van, melyek közül legjelentősebbek a rezonanciajelenségek. Ezért helytelen lenne minden esetben feltételezni, hogy a gyártási hibákat egyértelműen határozzák meg a kerékpár zaj-viszonyai.

Eddig csak meghatározott vizsgálati körülmények között és meghatározott típusú fogaskerék-áttételekre vonatkozóan sikerült korrelációs kapcsolatot megállapítani a zajszint és a gyártás pontossága között. Igaz viszont, hogy a vizsgált típusok közé tartozik a Szovjetunióban gyártott fogaskerekek legnagyobb része (50–60%-a).

A fogaskerekek gyártási minőségének zaj szerinti ellenőrzésénél a kerekeket etalon-kerekekkel párosítva járatják, a hajtóműházakhoz hasonló vizsgáló padokon (bejárató gépeken), a legördítés üzemi fordulatszámmal történik, a



11. ábra



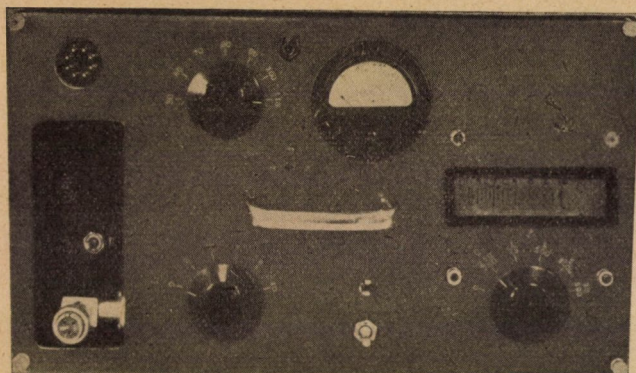
12. ábra

kerék névleges terhelésének megfelelő, vagy annál kisebb mértékű fékezéssel. A zajszint mérését kristálymikrofonnal kapcsolt, különleges műszerekkel végzik.

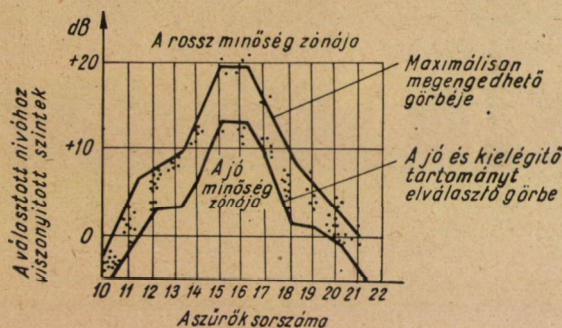
Tekintve, hogy a zajt keltő rendszert a profilok minden egyes, de nem mindig azonos mértékű ütközése gerjeszti, és hogy az eredő hangjelenség a különböző rezgőfelületekről sugárzott hangrezgések összegeződésének eredmé-

nye; a hangnyomás időbeli lefolyásának nincs stabil jellege (lásd 10. ábra); Ebből következik, hogy az általános rendeltetésű zajszintmérőkkel meghatározható négyzetes középérték nem elegendő a fogaskerekek zaj szerinti megítéléséhez.

Ennek megfelelően a fent említett különleges zajmérőt úgy tervezték, hogy az a közepes zajszint mérése mellett a szint csúcsertékének és egyenetlenségeinek meghatározására is alkalmas legyen.



13. ábra



14. ábra

A műszerbe ezenkívül hangfrekvenciás szűrősorozatot is szereltek, amelynek segítségével meghatározott frekvencia-sávokban jelentkező összetevők intenzitása külön is mérhető.

A 12. és 13. ábrán a műszer és kezelőlapja látható, a 14. ábrán pedig a fogaskerekek zaj szerinti minősítéséhez használt alakmást mutatjuk be. Az ábra alsó görbéje a jó és kielégítő minőségek tartományát, a felső pedig a kielégítő és rossz minőségek zónáját választja el. Az értékelés során a vízszintes tengelyen sorszámokkal jellemzett sávokban végzik el a szintmérést és amennyiben egyik frekvencia-tartományban sincs a határgörbék fölé eső mérési adat: a kereket zaj szerint átvehetőnek minősítik.

5. §.

A fogaskerek minőségének fent ismertetett két új értékelési módszerét, a kapcsolódási komplex-hiba és a zajosság szerinti minősítést a Szovjetunióban a gégyártás több ágában alkalmazzák.

Példaképpen megemlítjük, hogy a gépkocsi ipar fogaskerekeire vonatkozóan részletesen kidolgozott normáliák vannak érvényben.

Meg kell jegyeznünk azt is, hogy az ismertetett tételeket és módszereket a gyártási tűrésekre vonatkozó GOSZT-szabvány tervezetének átdolgozásánál is figyelembe vették.

Az egyes kapcsolódási hibák és a keltett zaj közötti kapcsolatok tisztázására a kutatás a Szovjet Tudományos Akadémia Géptani Intézetében tovább folyik.

HOZZÁSZÓLÁSOK

MAGYARI ENDRE

Igen érdekesnek találja az elhangzott előadást, mert televíziós munkákkal kapcsolatban kísérletek folytak Magyarországon impulzus idők mérésére és a kidolgozott berendezés hasonló ahhoz, mint amilyent Genkin professzor ismertetett.

SZENTGYÖRGYVÁRI ÖDÖN

A statikus terhelés elhanyagolása a komplex kapcsolódási hiba felvételénél nem okoz-e nagymértékű hibát a zörejdiagrammal való összehasonlításnál? Mi ennek a hibának a mértéke? Továbbá a kapcsolódási komplex hiba megállapítása és az ütésemélet szolgált-e összefüggést a dinamikus terhelések meghatározására?

M. D. GENKIN viszontválasza

A rugalmas alakváltozásokat előidéző terhelés megváltoztatja a görbe alakját. Azonban a kidolgozott elmélet, valamint az idevágó vizsgálatok alapján kiderült, hogy a sztatikai terhelés igenis befolyást gyakorol a dinamikai terhelés viszonyaira. Éppen ezért az bizonyult célszerűnek, hogy nem érdemes figyelembevenni a rugalmas deformációkat ilyen értelemben, hanem csak a hibaeltéréseket. A lefolytatott vizsgálatok alapján elsősorban a hiba értékéből és annak lefolyásából lehet következtetni a dinamikai körülményekre, valamint a működés közben mutatkozó akusztikai hatásokra.

GILLEMOT LÁSZLÓ LEV. TAG ÖSSZEFOGLALÓJA

Rendkívül nehéz feladat a négynapos, magas színvonalú nemzetközi kongresszus eredményeit néhány mondatban összefoglalni. Éppen ezért elnézést kérek, hogy nem foglalkozom az egyes előadások tartalmi részleteivel, csupán a kongresszusból levonható — mondjuk — nemzetközi elvi következtetésekkel, valamint a mi különleges magyar problémáinkkal.

A kongresszus színvonalát — azt hiszem — az a körülmény szabja meg, hogy a bemutatott számos előadás majdnem kivétel nélkül első ízben ismertet kutatási eredményeket és így a kongresszus anyaga legnagyobb részében világirodalmi elsőbbségre igényt tartó dolgozat volt.

A kongresszus előadásainak jelentős részét a Magyar Tudományos Akadémia idegen nyelvű folyóiratában, az Acta Technicában szeretné közzétenni, hogy ezzel még szélesebb körű nyilvánosságot biztosítson azoknak.

Ha az egyes előadásokat hazai szempontjaink szerint vizsgáljuk, akkor meg kell állapítanunk, hogy egyes tudományterületeken a magyar eredmények is figyelemre méltók, de nincs mindenhol az eredmények mögött a széleskörű ipari alkalmazás lehetősége.

Engedjék meg, hogy itt csak kiragadott példákra utaljak. A kongresszuson magyar részről nem hangzott el előadás pl. az ultrasonikus anyagvizsgálat területéről. Ez talán kisebb baj lenne, mint az a tény, hogy az ultrasonikus anyagvizsgálat a magyar iparban nem terjedt el olyan széles körben, mint amennyire szükséges.

Azt hiszem, az ultrasonikus anyagvizsgálat területén legelső és legfontosabb teendőnk a már meglévő nemzetközi eredmények széleskörű bevezetése. Javaslom, hogy a Magyar Tudományos Akadémia terjesszen a kormány elé ilyen irányú javaslatot.

A röntgen durvaszerkezet-vizsgálatok területén feltétlenül szükség lenne — amint már bevezető előadásomban rámutattam — olyan könnyű és hordozható új készüléktípusok kifejlesztésére, amelyek az ipari vizsgálatokat gyorsabbá és könnyebbé tehetik.

Ugyanakkor ezzel párhuzamosan meg kell honosítani Magyarországon a rádióizotóp anyagokkal történő anyagvizsgáló módszereket is.

A kristályszerkezetek röntgenvizsgálata területén a magyar tudománynak jelentős múltja van már, különösen ásványtani vizsgálatokban. Nagyon kevésbé használtuk fel azonban még mai napig is a röntgenfinomszerkezet vizsgálat nyújtotta lehetőségeket az iparban.

Azt hiszem, ezen a területen a legcélszerűbb lenne, ha a Magyar Tudományos Akadémia lehetővé tenné, hogy néhány fiatal magyar kutató ennek a tudománynak legújabb eredményeit külföldön a gyakorlatban is elsajátítsa és ezzel a magyar tudományos kutatást és ipari fejlődést előre vigye.

Rendkívül érdekes és öröndetes körülményre kell felhívnom a kongresszus résztvevőinek figyelmét. Az elhangzott magyar előadások túlnyomó többsége fiatal kutatóktól származott, ami Akadémiánk életében is újdonságot jelent. Ez egyúttal a biztató fejlődés előjeleit is jelenti, hogy fiatal kutatóink a maguk értékes, kisebb-nagyobb eredményeivel már megérettnek nemzetközi vitára, valamint hogy már van olyan fiatal kutatógárdánk, amely a tudomány széleskörű művelését és elterjesztését teszi lehetővé.

A másik igen fontos tanulság azonban már kevésbé pozitív. Ha megvizsgáljuk a magyar részről elhangzott előadásokat, akkor azt látjuk, hogy azok túlnyomó többségükben három intézetből származtak: a Magyar Tudományos Akadémia Méréstechnikai és Műszerügyi Intézetéből, a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai-Technológiai Intézetéből, valamint a Magyar Tudományos Akadémia Központi Fizikai Kutató Intézetéből. Kétségtelenül az is eredmény, hogy ma már három vagy négy intézetünk foglalkozik a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek fejlesztésével. Hiánynak látszik azonban az, hogy az ipar részéről csak egy-két előadó vett részt a kongresszuson, ami világosan mutatja azt a tényt, hogy tudományos területen, a tudományos kutatómunkában előbbre vagyunk, mint az elért eredmények ipari hasznosításában.

Azt hiszem, helyes lett volna, ha ipari kutatóink az ipar széleskörű tapasztalatairól és ezen keresztül elért tudományos eredményekről számoltak volna be. Éppen ezért javaslom, hogy a Tudományos Akadémia a kongresszus tanulságai alapján kidolgozandó javaslatában a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereknek minél szélesebb körben való elterjesztésére fektesse a fősúlyt, mert kétségtelenül a roncsolásmentes anyagvizsgálat az iparban nemcsak az egyik, hanem — nyugodtan állíthatom — legdöntőbb fegyvere a minőség javításának.

A kongresszus eredményeit mérlegre téve, ahhoz a végkövetkeztetéshez kell jutnunk, hogy ilyen és hasonló kongresszusokat gyakrabban kell rendezni. Ez különösen számunkra, magyarokra nézve fontos, mert azt hiszem, hogy szűk nyelvterületen élve, tudományos vitáinkat egymás között folytatni csak nagyon kevésbé tudjuk, s a magyar tudományos élet fejlődésének alapját a nemzetközi kritikában látom. Ezért javaslom hasonló roncsolásmentes anyagvizsgálati kongresszusoknak bizonyos időközönként, esetleg évenkénti megrendezését.

Magyar viszonylatban, tehát az ország határain belül — mint erre a bevezetőben rámutattam — a roncsolásmentes anyagvizsgálat továbbfejlesztése végett szükségesnek látszik a mérnökök és fizikusok rendkívül szoros együttműködése és ennek az együttműködésnek megszervezésére a legilletékesebb fórum a Magyar Tudományos Akadémia.

Végül engedjék meg, hogy személyes élményemről is beszéljek, éppen a kongresszus jelentőségének hangsúlyozásával. Régen, mintegy húsz évvel ezelőtt kezdtem foglalkozni ezzel a tudományterülettel, a roncsolásmentes anyagvizsgálattal. Már az akkori tudományos irodalomban találkoztam a röntgenográfia területén *Schiebold* professzor nevével, az ultraszonikus kutatás területén pedig *Szokolov* professzor nevével, hogy más neveket itt ne is említsek.

Engedjék meg, hogy örömömet külön is kifejezhessem afelett, hogy a tudomány ilyen nemzetközi nagyságaival húsz év után végre sikerült személyesen is megismerkednem.



ZÁRÓSZÓ

HEVESI GY. lev. tag,

AZ MTA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK TITKÁRA

Engedjék meg, hogy a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának nevében meleg köszönetemet fejezzem ki mindazoknak, akik részvételükkel, előadásaikkal, valamint a kongresszus előkészítésével kapcsolatos munkájukkal elősegítették összejövételünknek és tárgyalásainknak jelentős sikerét.

A kongresszus hozzájárult ahhoz, hogy ezen a rendkívül fontos tudományos szakterületen — amelynek kétségen kívül elsőrendű jelentősége van egész szocialista iparunk tudományos színvonalának emelése tekintetében, s amelynek nagy jelentősége van mind a minőségi termelés, mind a munka termelékenységének fokozása terén — jelentősen előbbre jussunk. A kongresszuson sok ösztönzést kaptunk arra, hogy munkánkat ezen a téren kiterjesszük és sokkal nagyobb mértékben vezessük be ipari gyakorlatunkba is. Köszönetet mondok mind igen tisztelt vendégeinknek, mind a hazai előadóknak jelentős eredeti elgondolásaikért, melyek nagyban emelték a kongresszus színvonalát. Köszönetet kívánok mondani a Méréstechnikai és Műszerügyi Főbizottságnak a kongresszus előkészítéséért, valamint azoknak a munkatársainknak, akik ebben az előkészítésben közvetlenül részt vettek.

A magam részéről is külön alá szeretném húzni ennek az összejövételnek nagymértékben nemzetközi jellegét. Sok országot képviseltek itt elsőrendű tudósok, s ez a nemzetközi tapasztalatcsere az, amely tulajdonképpen ennek a kongresszusnak hazánk határain túlmenő jelentőségét is megadta. Nemcsak a szocializmust építő országok tudósaival találkoztunk itt, nemcsak ők vettek részt a vitákban, de a haladó nyugati tudomány is képviselést kapott. Igaz ugyan, hogy csak egy személyben, de ez az egy személy hatalmas nemzetközi szervezetet is reprezentált nálunk: a Tudományos Dolgozók Világszövetségét, amely a világ összes országaiban a haladó emberiség élén járó legkiválóbb tudósok százait és ezreit egyesíti. Nemcsak nálunk folyt ez a találkozó, hanem a legutóbbi hónapokban hazai tudósaink a világ legkülönbözőbb pontjain vettek részt nemzetközi összejöveteleken; Olaszországban, Franciaországban, Argentínában, Braziliában és a népi demokratikus országok, valamint a Szovjetunió különböző kongresszusain.

A nemzetközi kulturális jellegű kapcsolatoknak ilyen élénkülése rendkívül örvendetes, figyelemre méltó jelenség; arra mutat, hogy a tudományos világ élenjárói, akiket kétségkívül joggal tekintünk az emberiség élenjáróinak, nem akarnak beletörődni azokba a mesterséges akadályokba, melyeket a nemzetek békés együttműködése elé akarnak egyes országok bizonyos rétegei állítani.

Ez a kongresszus is előbbrevitte az ilyen nemzetközi együttműködés ügyét, és a kongresszus egyik konkrét eredményeként szeretném kiemelni azt a javaslatot, amelyet az egyes külföldi delegációk képviselői, köztük a Szovjetunió részéről Szokolov elvtárs is előterjesztett, amely kimondja, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálat tárgykörében a különböző országok akadémiái évenként felváltva egy-egy konferenciát vagy kongresszust rendezzenek, és hozzanak létre olyan tudományos sajtóorgánumot, amelyben ezen a területen együttműködő országok tudósai saját eredményeiket publikálhatják.

Azt hiszem, a kongresszus résztvevői csak egyhangú helyesléssel fogadják ezt a javaslatot és felkérjük a Magyar Tudományos Akadémia elnökségét, tegye meg a szükséges kezdeményező lépéseket.

Meleg köszönetemet fejezem ki a Szovjetunió delegációja vezetőjének, Szokolov elvtársnak azért a javaslatáért, hogy a Szovjetunióban meginduló folyóiratban, amely akusztikai és ultrahang vizsgálati kérdésekkel fog foglalkozni, mód nyílik arra, hogy a népi demokráciák kutatói és tudósai publikálhassák eredményeiket.

A magunk részéről mi is készséggel felajánljuk, hogy az Acta Technicában, amely a világ minden részének legkülönbözőbb tudományos intézeteibe és könyvtáraiba eljut, közreadjuk azokat a dolgozatokat, amelyeket a velünk együttműködő tudósok a nemzetközi nyilvánosság elé kívánnak hozni.

Befejezésül a kongresszus egyhangú határozataként mondjuk ki azt a kívánságunkat, hogy a Magyar Tudományos Akadémia Elnöksége, egyetértésben más akadémiákkal, tegye meg a szükséges lépéseket ahhoz, hogy ilyen természetű nemzetközi tapasztalatcserét ezen a téren a jövőben rendszerezésünk.

T A R T A L O M J E G Y Z É K

<i>Osztrouzszi György</i> lev. tag: Megnyitó	169
<i>Gillemot László</i> : Roncsolásmentes anyagvizsgálat a vas- és fémiparban	173
<i>Ing. Dr. M. Baimler</i> : Anyagok durvaszerkezetének roncsolásmentes vizsgálati módszerei. A módszerek jelenlegi fejlettsége és azok alkalmazása Csehszlovákiában	185
<i>Prof. Dr. W. A. Wooster</i> : A retigráf, vagyis a reciprok rács torzítatlan ábrázolását biztosító röntgengeométer	195
<i>Prof. Dr. W. A. Wooster</i> : Automatikus regisztráló mikrodenzitométer	205
<i>Sasvári Kálmán</i> : Hátsóreflexiós röntgenkamra fémdrótok rugalmas belső feszültségének méréséhez	215
H o z z á s z ó l á s :	
<i>Szántó István</i>	230
<i>Sasvári Kálmán válasza</i>	231
<i>Szántó István</i> : Precíziós rácsparaméter-meghatározás problémái α -títán vizsgálata kapcsán	233
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Pócza Jenő</i>	245
<i>Dr. W. A. Wooster</i>	245
<i>Müllner Tivadar</i>	246
<i>Szántó István válasza</i>	248
<i>Dr. Á. Kochanovská</i> : Grafit és kobalt finomszerkezetének változásai	249
<i>Konkoly Tibor</i> : Adatok röntgen- és gamma-sugarakkal való durvaszerkezeti vizsgálatok felvét elkészítési eljárásához	257
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Réti Pál</i>	274
<i>Scari Ottó</i>	274
<i>Dr. F. Schiebold</i>	275
<i>Konkoly Tibor válasza</i>	275
<i>Prof. Dr. E. Schiebold</i> : Beszámoló természetes és mesterséges azbesztfajták röntgenográfiai finomszerkezet vizsgálatáról	277
<i>Vorsatz Brunó</i> : Nagytisztaságú réz szennyezőinek vizsgálata színképelemzéssel	279
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Török Tibor</i>	286
<i>Koncz István</i>	286
<i>Török Tibor</i> , a kém. tud. doktora és <i>Szikora Gizella</i> : Acél szénttartalmának meghatározása színképelemzéssel	287
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Vorsatz Brunó</i>	304
<i>Kovács K. Pál</i>	304
<i>Török Tibor válasza</i>	304
<i>J. K. Szokolov</i> , a Sz. U. Tud. Akadémiájának tagja: Ultrahanghullámok terjedése folyékony és szilárd testekben	305
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Tarnóczy Tamás</i>	307
<i>J. K. Szokolov</i>	307
<i>E. Schiebold</i>	307
<i>J. K. Szokolov</i>	307
<i>Emőd Gyula</i>	307
<i>J. K. Szokolov</i>	307
<i>Prof. Dr. Ing. I. Malecki</i> , a Lengyel Tud. Akad. lev. tagja: A bányászatban és a geológiában alkalmazható ultrahang-kutatási módszer tudományos alapjai	309

<i>Csokán Pál</i> : Acél-szövetszerkezet elektronmikroszkópos vizsgálata	319
Prof. <i>A. Eckardt</i> : Látszat és valóság az elektronmikroszkópos képben	337
H o z z á s z ó l á s :	
<i>Guba Ferenc</i>	346
<i>Guba Ferenc</i> : Beszámoló az MTA Méréstechnikai és Műszerügyi Intézetének Elektronmikroszkóp osztályán folytatott fémvizsgálatokról	347
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Csokán Pál</i>	352
<i>Tarnóczy Tamás</i>	352
<i>Guba Ferenc válasza</i>	352
Prof. <i>R. Ritschl</i> a Német Tud. Akad. tagja: Az atomspektroszkópia időszerű kérdései ..	353
<i>László György</i> : Roncsolásmentes anyagvizsgálatra alkalmas permeaméter	365
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Karsa Béla</i>	375
<i>Zoltán István</i>	375
<i>Ing. K. Hormuth</i> : A keménységmérés módszereinek helyzete és az NDK Mérésügyi Hivatal pontos Rockwell-keménységmérő műszerének fejlődése	377
H o z z á s z ó l á s :	
<i>Lukács Gyula</i>	382
<i>Alkér Tibor és Schalk Ervin</i> : Fémek felületi rétegvastagságának roncsolásmentes mérése	383
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Réti Pál</i>	405
<i>Koncz István</i>	405
<i>Szabó György</i>	405
<i>Kovács K. Pál</i>	406
<i>Alkér Tibor válasza</i>	446
<i>Schalk Ervin válasza</i>	406
<i>Préda Zoltán</i> : Rezgésmérő műszerek és mérési módszerek továbbfejlesztése	407
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Magyari Endre</i>	417
<i>Szőke Béla</i>	417
<i>Prof. E. Schiebold</i>	417
<i>N. P. Rajevszkij</i> , a műsz. tud. doktora: Nyúlásmérők használatának új módszerei gépek vizsgálatánál	419
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Striker György</i>	440
<i>N. P. Rajevszkij</i>	440
<i>Palesch Antal</i>	440
<i>N. P. Rajevszkij</i>	440
<i>Ébner László</i>	440
<i>N. P. Rajevszkij</i>	440
<i>Magai András</i>	440
<i>N. P. Rajevszkij</i>	441
<i>Ébner László</i>	441
<i>Dr. rer. nat. H. Laporte</i> : Fényelektromos eljárás vasúti sín futófelületén keletkező hullámos kopás vizsgálatára, mozgó vonatról	443
<i>M. D. Genkin</i> , a műsz. tud. kandidátusa: Új fogaskerékvizsgáló módszerek	451
H o z z á s z ó l á s o k :	
<i>Magyari Endre</i>	462
<i>Szentgyörgyvári Ödön</i>	462
<i>N. D. Genkin válasza</i>	462
<i>Gillemot László</i> lev. tag összefoglalója	463
<i>Hevesi Gyula</i> lev. tag, az MTA Műszaki Tudományok Oszt. titkárnak záróbeszéde	467