

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS • ÁLLAPOTELLENŐRZÉS

4. évfolyam
3. szám
1994.



**NEMZETKÖZI
SZAKKIÁLLÍTÁS
ÉS SZEMINÁRIUM**

1995. február 14–17.

**BUDAPEST
SPORTCSARNOK**



MAGYARMEDICA



MAGYARPHARMA



MAGYARDENT



MAGYAROPTICA



MAGYARREGULA

Kiállítói jelentkezési határidő: 1994. október 20.

További részletes információ: CONGRESS Kft.

1012 Budapest, Lovas út 19.

Telefon: 202-3128, 175-1872 • Fax: 155-4171

A kiállítással egyidőben rangos szakmai kísérő-rendezvényekre kerül sor a Budapest Sportcsarnokban.

Az Anyagvizsgálók Lapja 1995. február 14-én ankétot rendez, melynek témája:
Üzem- és vegyianyagokat tároló tartályok anyagvizsgálata, állapotellenőrzése, figyelése

1995. február 16–17-én kerül sor az **Anyagvizsgálók Lapja Fórumára**, melyen előadásokra, termékbemutatókra, a lap hagyományos rovatainak élő bemutatkozásaira lesz lehetőség.

(További részletes információ: Dr. Lehofer Kornél, Szappanos György – Tel.: 155-9886)

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Szerkesztőség:

a kiadó **TESTOR BT.** címén
Budapest XII., Törpe u. 8.
1538 Budapest, Pf. 528.

Telefon: 155-9886

Telefax: 155-2618

Felelős szerkesztő:

dr. Lehofer Kornél

A szerkesztőbizottság tagjai:

dr. Borbás Lajos

Fücsök Ferenc

dr. Havas István

Koczor Zoltán

dr. Pólos László

Szabó Sándor

dr. Tóth László

Szerkesztő:

Nagy Éva

Kiadja:

TESTOR BT.

Felelős kiadó:

Szappanos György

ügyvezető igazgató

Előfizetési díj 1994-re

(1-4 szám): 1.320,- Ft

Előfizethető közvetlenül a kiadónál, ill. posta-
utalványon, vagy átutalással, az OKHB Rt.
214-88883/2149-9467 számon. Az előfi-
zető csekken a KÖZLEMÉNY rovatban kérjük
írják be az előfizetésre vonatkozó időszakot.

Hirdetések felvétele és kéziratok leadása a
TESTOR BT címén, Nagy Éva szerkesztőnél.

Nyomda:



Felelős vezető: Szabó Lajos

Szedés-tördelés: PC-Print Bt.

**Ha Ön az újságban megjelenő
cikkekről bővebben kíván
érdeklődni – akár
visszamenőleg is – kérjük a
hivatkozási kódszám jelölésével
szerkesztőségünket megkeresni.**

FIGYELEM!
Le ne maradjon!
Idejében
fizessen elő!

ISSN 1215-8410

Új rovatunk:

RmV-helyzetkép

Örömkre szolgál, hogy lapunk 1994/2. számában közölt, *A biztonságunkért!* című felhívásunkat szakértő olvasóink kedvezően és megértéssel fogadták. Többen jelezték: tapasztalataik, ismereteik közreadásával szívesen hozzájárulnak a roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek és eszközök hibakimutatási képességéről egy valós helyzet- és jövőkép kialakításához. Előre is köszönjük segítő közreműködésüket!

A teljesített ígéretnek köszönhetően jelen számunkban **RmV-helyzetkép rovatcím alatt megkezdjük** e kép kisebb-nagyobb mozaikelemeit bemutató **cikkek, tanulmányok közlését.**

Kérjük szakértő olvasóinkat, hogy a közölteket kritikus szemmel olvassák és vessék össze saját tapasztalataikkal. Észrevételeiket, kiegészítéseiket, konkrét vizsgálati feladatok kapcsán az egyes eljárásokkal és a birtokukban lévő készülékekkel szerzett tapasztalataikat, a kimutatott anyaghiányok veszélyességének megítélésében követett gyakorlatukat írják meg lapunk számára. **A valós helyzetképhez minden érdemi észrevételre, a néhány mondatostól a néhány oldalas tanulmányig, szükségünk van.**

Szerkesztőbizottságunk időről-időre ankétokat fog kezdeményezni, illetve szervezni azért, hogy az ily módon összegyűjtött és közzétett véleményeket megvitathassuk.

Így, az előzetesen már jelzetteknek megfelelően, **a festékbehatolásos repedésvizsgálat érzékenysége és ellenőrzésének módszerei** témában – a GTE Roncsolásmentes Anyagvizsgálók Társaságával együttműködve –, **1994. szeptember 22-én 10 órai kezdettel ankétot tartunk** Budapesten az MTESZ Fő utcai székházában. (A visszajelentkezett érdeklődőknek külön meghívót küldünk.)

1995 februárjában, a Magyar Regula kiállítás időtartama alatt – a GTE-vel, a Tartálytechnikai Szövetséggel együttműködve –, a borító belsőn körvonalazott témákban szándékozunk, elsősorban a korszerű készülékek, műszerek bemutatójával összekapcsolt előadói üléseket szervezni és előadókként a jobbra külföldi gyártó cégek szakértőit is megnyerni, mintegy megelevenítve lapunk 1995/1. számát.

Úgy gondoljuk, hogy 1995 májusában a 9. Roncsolásmentes anyagvizsgáló szeminárium is jó alkalom lesz az addig remélhetőleg már képpé formálódott RmV-helyzetkép bemutatására, megvitatására.

Mindezekhez az időszerű, de társadalmi összefogást is igénylő témafeldolgozásokhoz várjuk szakértő olvasóink aktív közreműködését és támogatását.

Cselekedjünk összehangoltan társadalmunk biztonságáért!

Dr. Lehofer Kornél
felelős szerkesztő

RmV-HELYZETKÉP – NDT-REVIEW – ZfP-RUNDSCHAU

Dr. Tóth László:

Szerkezetek megbízhatósága; Törésmechanika – roncsolásmentes vizsgálat

Reliability of the structure; Fracture mechanic – NDT

Zuverlässigkeit der Strukturen; Bruchmechanik – ZfP 67

Tóth Ferenc:

Roncsolásmentes anyagvizsgálatok

Non-destructive testings

Zerstörungsfreie Prüfungen 71

Harnisch József:

Felületi és felület közeli repedések kimutathatósága roncsolásmentes módszerekkel

Detectability of the surface and near the surface cracks by means of NDT

Nachweisbarkeit der Oberflächenrisse und nahe oberflächliche Risse mit ZfP 73

Dr. Balikó Sándor:

Föld alatti tárolótartályok tömörségi vizsgálata

Leak detection of underground storage tanks

Leckageprüfung der unterirdische Behälter 76

HÍREK – NEWS – NACHRICHTEN 70, 77**VIZSGÁLATI MÓDSZEREK – TESTING METHODS – PRÜFMETHODEN**

Kovácsné Dr. Stahl Ágnes:

A gyorsított időjárásállósági vizsgálatok összehasonlítása

Comparison of the accelerated weather stay testing methods

Vergleich der beschleunigte Wetterbeständigkeitsprüfungen 78

Dr. Bacsó József:

A röntgenemissziós analitika

X-ray emission analysis

Röntgenemissionsanalyse 81

Dr. Bertalan Éva:

Az ICP-MS technika és néhány alkalmazása

The ICP-MS technique and its some application

Die ICP-MS Technik und ihre einige Anwendungen 84

SZÁMÍTÁSTECHNIKA – COMPUTERTECHNICS – COMPUTERTECHNIK

Rózsahegy Péter:

Átmérővezérelt kisciklusú fázisvizsgálat

Low cycle fatigue test controlled by diameter of the specimen

Durchmessergesteuerte kleinzyklische Ermüdungsprüfungen 87

SZEMLE – REVIEW – RUNDSCHAU

Mohácsi Gábor:

World Coat '94 90

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS – QUALITY ASSURANCE – QUALITÄTSSICHERUNG

Bagyinszki Gyula:

Minőség és környezete

Quality and its environment

Qualität und ihre Umgebung 91

Magyar Minőség Díj '94

Hungarian Quality Prize '94

Ungarische Qualität Preis '94 95

ESEMÉNYNAPTÁR – CALENDER OF EVENTS – AKTUALITÄTKALENDER 96

Szerkezetek megbízhatósága

Törésmechanika – roncsolásmentes vizsgálat

Dr. Tóth László*

Bevezetés

A mikroelektronika robbanásszerű fejlődésének természetes következménye, hogy a roncsolásmentes vizsgálatok területén egyre újabb és újabb készülékek, berendezések jelennek meg egyre olcsóbban és olcsóbban. A gyártó cégek alapvető érke az, hogy minél részletesebb tájékoztatást adjanak a készülékek alkalmazhatósági területeiről, azok korlátairól, hisz ezen információk megbízhatósága nagymértékben hozzájárul a piaci részesedésük alakításához. A relatíve olcsó ár, a megfelelő információ, reklám velejárója az is, hogy napjainkban a kis- és közepes vállalatok is megengedhetik maguknak azt, hogy a roncsolásmentes vizsgálatok végzésére egy-egy területen berendezkedjenek. Ez azonban nem csupán belső elhatározás kérdése, hanem a piac kényszere is, hisz a termékfelelősség biztosítása megkívánja az előírt, avagy szerződésben rögzített feltételek maradéktalan teljesítését. Nem csupán a szerkezeteket gyártó cégeknek növekszik a roncsolásmentes vizsgálatok aránya, hanem azok üzemeltetőinél is. Ennek kettős oka van. Egyrészt a már említett mellett az a tény is, hogy az üzemelő nagy értékű szerkezeteinek (nyomástartó rendszerek, tartályok, hidak, vegyipari, erőművi berendezések stb.) rohamosan és tömegesen öregsznek, másrészt a közelmúlt történelmében igen jól körülhatárolt periódusban közel egy időben realizált nagyberuházások szerkezeteinek üzemén kívül helyezésére, azok cseréjére nincs lehetőség, és nem is biztos, hogy ezt meg kell tenni.

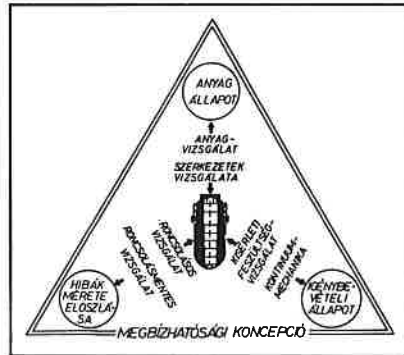
Törésmechanika – roncsolásmentes vizsgálat

A szerkezetek méretezésénél minden esetben feltételezzük azt, hogy azok anyagai folytonossági hiányokat nem tartalmaznak. Ennek ellenére a leg gondosabb gyártás esetén sem jelenthetjük ki, hogy a méretezésnél hallgatólagosan elfogadott kritériumot – anyagfolytonossági hiány nincs a szerkezetben – maradéktalanul betartottuk. E jogos kételyünket csak erősítik a roncsolásmentes vizsgálatok eredményei, hisz a bevezetőben említett korszerűbb és korszerűbb készülékekkel egyre kisebb és kisebb folytonossági hiányok mutathatók ki, egyre és egyre nagyobb reprodukálhatósággal. Ha viszont bármilyen hibát észlelünk, a szerkezet megbízhatóságáról, az üzemeltethetőség feltételeiről nyilatkozni kell. Ahhoz, hogy ezt megtehessük figyelembe kell venni:

— a hibák méretét, elhelyezkedését, eloszlását,

- a hibák környezetében ébredő lokális terheléseket, valamint
- az anyagnak a repedés terjedésével szembeni ellenállását az adott helyen.

Ezek együttesen, egyidejűleg határozzák meg a szerkezetek megbízhatóságát, mint ahogy azt az 1. ábra szemlélteti.



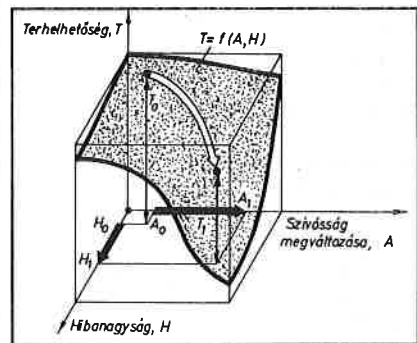
1. ábra Az anyagfolytonossági hiányokat tartalmazó szerkezetek megbízhatóságát meghatározó tényezők

Az 1. ábrát tekintve nyilvánvaló az, hogy az anyagfolytonossági hiányokat tartalmazó szerkezetek megbízhatóságáról érdemben csak az képes nyilatkozni, aki kellő jártassággal rendelkezik, mind a roncsolásmentes, mint az anyagok repedés terjedéssel szembeni ellenállásának meghatározásánál alkalmazott (törés)mechanikai vizsgálatok, mind pedig a kísérleti feszültséganalízis területén. Ezt igyekszik szemléltetni a 2. ábra.



2. ábra Az anyagfolytonossági hiányokat tartalmazó szerkezetek megbízhatóságának becsléséhez szükséges ismeretek

Tekintettel arra, hogy mind az anyagjellemzők, mind pedig a hibák kimutatásánál számolnunk kell egy természetes szórással, bizonytalansággal, az üzemeltethetőség feltételeinek kijelölésekor e bizonytalanságokat figyelembe kell venni. Ezt kívánja érzékeltetni a 3. ábra, ahol egy eredeti, abszolút biztos információra alapozott döntéstől való eltérést tüntettük fel a két meghatározó paraméter, az anyagtulajdonság és hibaméret bizonytalansága függvényében.



3. ábra Az anyag tulajdonságának és a hiba méretének meghatározásánál fellépő bizonytalanságok hatása a terhelhetőségre

A 3. ábrán egyértelműen látható, hogy amennyiben egy szerkezeti elem H_0 méretű hibát tartalmaz és az anyag repedés terjedéssel szembeni ellenállását A_0 -val jelöljük akkor a terhelhetőség T_0 . Abban az esetben viszont, ha a hibaméret meghatározásánál H_1 hibát mérünk és az anyagjellemző – annak szórása vagy a mérési bizonytalanság miatt –, A_1 , akkor a terhelhetőség T_1 -re változik. A $T_0 - T_1$ értéke nem más, mint a terhelhetőségre vonatkozó biztonsági tényező bizonytalansága. Az ábra szemléletesen illusztrálja azt a tényt, hogy e bizonytalanság, vagy ennek ellentéte, a **biztonsági tényező megbízhatósága a hibaméret (H) és anyagjellemző (A) meghatározásának bizonyosságától, reprodukálhatóságától függ**, azaz a terhelhetőség felülete $T = f(H, A)$.

Természetesen igényként merül fel, hogy a folytonossági hiányokat tartalmazó azonos veszélyességű szerkezeti elemek biztonsági tényezőinek becslésénél azok azonos mértékű, nagyságú bizonytalanságára törekedjünk, azaz pl. $n = 1,5 \pm 0,2$. A kérdés „csupán” az, hogy milyen elvekkel garantálható ez, és ennek biztosításához, milyen reprodukálhatóságú roncsolásmentes és mechanikai vizsgálatokat kell feltételezni, esetleg előírni? Ez egy újabb kérdéssorozatot indít el, nevezetesen azt, hogy mennyiben függnek ezek a követelmények a szerkezeti elem típusától, terhelésének jellegétől (statikus vagy ismétlődő) és nagyságától, a hiba helyétől és méretétől? Újabb kérdéskör az, ha sikerült e követelményeket egyértelműen megfogalmazni, akkor létezik-e olyan vizsgálati módszer, és az adott objektív és szubjektív feltételekkel végrehajtható-e úgy, hogy e feltételek kielégíthetők?

Az előbbi okfejtésből egyértelműen következik, hogy a folytonossági hiányokat tartalmazó szerkezeti elemek megbízhatóságának megítélésénél

— a törésmechanikát művelő szakember feladata a szerkezeti elem biztonsági tényezőjét meghatározó paraméterek egyértelmű összekapcsolása,

— a roncsolásmentes és törésmechanikai anyagvizsgálatokkal foglalkozó szakember

* Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

rek feladata az adott vizsgálati módszerek, eljárások alkalmazhatósági korlátainak, az eredmények reprodukálhatóságának megismerése.

Amennyiben e területek bármelyikén is bizonytalanság lép fel, úgy a repedésszerű hibát tartalmazó szerkezeti elem megbízhatóságára tett kijelentésünk nem egyéb mint „jóslás, ráolvasás”, aminek a műszaki életben helye nincs!

E közleményben arra szeretnénk rámutatni, hogy a törésmechanikát művelő szakember szemszögéből a szerkezetek biztonsági tényezőjének és a roncsolásmentes vizsgálatok eredményeinek megbízhatósága egyértelműen összekapcsolható a szerkezetek repedés terjedési érzékenységének, indexének definiálásával. E koncepció alapjai a világon először 1985-ben Gyulán lettek ismertelve [1], majd az alapgondolat megtartásával, azt kibővíve hazánkban és külföldön több publikációban és előadásban ismertettük, pl. [2–5]. Úgy tűnik, hogy a törésmechanika gyakorlati alkalmazásával foglalkozó egyetemi előadások is számos országban átvették a koncepciót. A továbbiakban **a szerkezetek repedés terjedési érzékenységének, indexének definiálása**, valamint ezen index nagyságát befolyásoló paraméterek kerülnek röviden összefoglalásra.

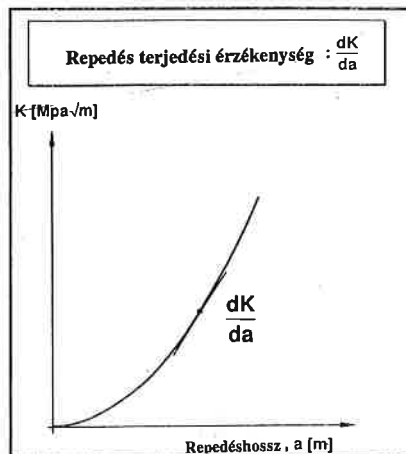
Szerkezetek repedés terjedési érzékenysége

Amennyiben két különböző folytonossági hiánynak a szerkezeti elem biztonsági tényezőjének változására gyakorolt hatását szeretnénk mérlegelni, ezt csak úgy tehetjük meg egyértelműen, ha a hiba veszélyességét számszerűsíteni tudjuk. Ekkor ugyanis nem kell más tenni mint két pusztán számot összehasonlítani. De ugyanezt kell tennünk akkor is, ha egyugyanazon szerkezeti elembe, pl. hegesztett kötésben levő belső és felületi hiba veszélyességét kívánjuk összehasonlítani. A kérdés az, hogy ezt mily módon tehetjük meg, és ez a pusztán szám miképpen függ a szerkezeti elemről, annak terhelésétől, a hiba méretétől, elhelyezkedésétől és az anyag repedés terjedéssel szembeni ellenállásától.

Repedés terjedési érzékenység kvázistatikus terhelésű szerkezeteknél

A repedésszerű hiba környezetében kialakuló viszonyok jól jellemezhetők azon törésmechanikai mennyiségekkel, amelyek magukba foglalják a szerkezet terhelését, geometriáját, a hiba alakját, méretét és elhelyezkedését valamint az anyag viselkedését. Ha az anyag rideg, azaz a repedés csúcs környezetében is jó közelítéssel érvényes a rugalmas anyagegyenlet, akkor **feszültségintenzitási tényező** ez a mennyiség; amennyiben az anyag nem teljesen rideg, úgy pl. a **J-integrál** alkalmas a kialakuló viszonyok jellemzésére. Tekintettel arra, hogy a feszültségintenzitási tényező mint anyagjellemző csak az anyagok rugalmassági modulusát tartalmazza, a legkülönbözőbb kialakítású és terhelésű szerkezeti elemekben levő repedések környezetében kialakuló feszültségintenzitási tényező számítható, és ezen összefüggéseket kézikönyvek tartalmazzák [6–8]. Egy

adott geometriájú és terhelésű szerkezeti elem, egy adott helyen levő repedés csúcsának környezetében a feszültségintenzitási tényező és a repedés hossza közötti kapcsolatot kifejező függvény számszerűen megrajzolható. Ennek jellege pl. a 4. ábrának megfelelő.



4. ábra A feszültségintenzitási tényező jellege a repedéshossz függvényében egy adott geometriájú és terhelésű szerkezeti elemnél.

A görbe bármely pontjában húzott érintő, a görbe deriváltja azt fejezi ki, hogy a repedéshossz egységnyi megváltozásával milyen mértékben változik meg a feszültségintenzitási tényező értéke. Abban az esetben ha e változás nagy, akkor a repedés veszélyes, hisz kismértékű repedésnövekedés a biztonság nagymértékű csökkenésével jár. Ha e változás csekély, akkor az adott hosszúságú repedés nem annyira veszélyes. A derivált maga, tehát alkalmas az adott repedés veszélyességének mérlegelésére és a repedések különböző feltételek közötti veszélyességének összehasonlítására. Abban az esetben ugyanis, ha a két különböző feltétel között (pl. két szerkezeti elembe, vagy adott elem két különböző helyén levő eltérő hosszúságú repedések) a repedések környezetében kialakuló feszültségintenzitási tényezők deriváltjai azonosak, akkor a két repedés veszélyessége teljesen azonos. Az előzők alapján tehát definíciószerűen megfogalmazható, hogy **a kvázistatikus terhelésű szerkezetek repedés terjedési érzékenységének indexe = a feszültségintenzitási tényező, vagy egyéb törésmechanikai mennyiség repedéshossz szerinti deriváltja**.

A szerkezeti elemek repedés terjedési érzékenységét és a feszültségintenzitási tényező nagyságát ugyanazon paraméterek befolyásolják. Ezek közül

- a terheléssel, a feszültség nagyságával egyenesen arányos mind a feszültségintenzitási tényező, mind pedig a repedés terjedési érzékenység, azaz kétszeres terheléshez tartozó repedés terjedési érzékenysége is kétszeres,
- a repedéshossz növekedésével a repedés terjedési érzékenysége növekszik, (kivéve a peremen befogott, állandó elmozdulású elemeknél, amelynél ez csökken).

Repedés terjedési érzékenység ismétlődő terhelésű szerkezeteknél

Tekintettel, hogy az üzemelő szerkezetek, gépelemek döntő többségének terhelése időben változik, igen lényeges az, hogy a repedés terjedési érzékenységük hogyan definiálható és ezzel hogyan hasonlítható össze a legkülönbözőbb szerkezeti elemekben levő repedésszerű hibák veszélyessége. Tekintettel arra, hogy a repedés csúcs környezetében definiálható törésmechanikai jellemzők nagysága (feszültségintenzitási tényező, J-integrál stb.) adott aszimmetria tényezőjű ($R = \text{const}$) terhelési cikluson belül változik, a terhelés szerepe ezzel definiálható. Az anyag erre úgy „válaszol”, hogy a repedés hossza megváltozik, azaz a repedés terjed. E két mennyiség, a

$$da/dN = f(\Delta K, R, \text{anyagjellemző}) \quad (1)$$

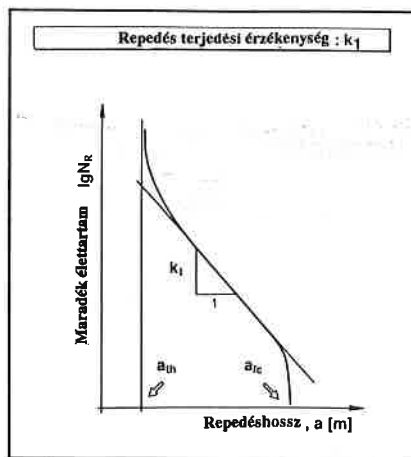
közötti kapcsolat leírására számos összefüggést javasoltak. Az egyik ilyen, mintegy 15 éve összeállított gyűjtemény [9], 65 kifejezést tartalmaz. Az elmúlt időben ezen összefüggések száma csak gyarapodott. Amennyiben az anyagjellemző ismert, és a roncsolásmentes vizsgálattal repedésszerű anyagfolytonossági hiányt detektáltak, számos kérdés merül fel. A legfontosabbak a következők:

- a repedés terjedőképes-e,
- mennyire veszélyes a repedés, azaz közel van-e a kritikus, törést okozó értékhez,
- mennyi a maradék élettartam,
- milyen a becsült élettartamra gyakorolt hatása a roncsolásmentes vizsgálat megbízhatóságának,
- milyen hatása van egy esetleges terhelés csökkentésnek az élettartamra? stb.

A gyakorlati indítatású kérdések még sorolhatók lennének, de úgy hiszem már ezek is érzékeltetik a lényegét. A fázadós repedés terjedéssel szembeni ellenállást tükröző anyagjellemzők ismeretében egy-egy adott szerkezeti elemnél az előzőekben felvetett kérdések egyértelműen megválaszolhatók. Létezik ugyanis egy olyan anyagjellemző, a ΔK_{Ih} , amely a repedés megindulását jelöli ki (a hozzátartozó repedés hosszát jelölje a_{Ih}), egy olyan, a ΔK_{Ic} , amely végső törés feltételeit, a repedés kritikus hosszát (a_{Ic}) adja, és olyan, amely a repedés stabil terjedésével szembeni ellenállást tükrözi. Az adott geometriájú, terhelésű szerkezeti elem maradék élettartama bármely a_1 hosszúságú repedés esetén az

$$N_R = \int_{a_1}^{a_c} \frac{da}{f(\Delta K, R, \text{anyagjellemző})} \quad (2)$$

összefüggéssel számítható. Természetes az, hogy amennyiben $a_1 \leq a_{Ih}$, a maradék élettartam elvileg végtelen, illetve $a_1 = a_{Ic}$ esetén a maradék élettartam mindössze egyetlen olyan ciklus, amelyben a terhelés a minimumról a maximumra növekszik. Egy adott terhelésű és geometriájú, adott anyagból készült szerkezeti elemnél a maradék élettartam logaritmusát a repedés-hossz függvényében az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra A maradék élettartam logaritmusának a repedéshossz függvényében ismétlődő terhelésű szerkezeti elemeknél

Az ábrán látható, hogy a görbe érintője, repedéshossz szerinti deriváltja pontlól-pontlára változik, azonban létezik egy olyan szakasz, amelynek meredeksége (k_1) közel állandó. Ezen mennyiség alkalmas az ismétlődő terhelésű szerkezeti elem repedés terjedési érzékenységének általános jellemzésére, mivel azt tükrözi, hogy repedéshossz egységnyi megváltozása, milyen élettartam változást idéz elő. Az előzők alapján definíciószerűen az fogalmazható meg, hogy **az ismétlődő terhelésű szerkezetek repedés terjedési érzékenységének indexe = a maradék élettartam logaritmusának és a repedéshossz közötti kapcsolat repedéshossz szerinti deriváltja.**

Az 5. ábrán látható görbe alakja a (2) összefüggésből adódóan függ a

- szerkezeti elem alakjától és terhelésétől,
- a repedés geometriájától, helyétől és hosszától (egy adott tartományban ez konstans, k_1) és
- az anyag fáradásos repedés terjedésével szembeni ellenállásától.

Egy gyakorlati példa

Az előzőekben vázolt koncepció gyakorlati alkalmazhatóságára nézve ismétlődő terhelésű szerkezetekkel kapcsolatban tegyük fel a következő kérdéseket:

- A felületi vagy a belső hibák veszélyesebbek-e?
- Milyen hatása van az anyagok szilárdságának a szerkezetek repedés terjedési érzékenységére?
- Húzott vagy hajlított szerkezeti elemekben levő repedés a veszélyesebb?

Mindhárom kérdésre természetesen szám-szerű választ kell adni, és a válaszok impliciten már magukban hordozzák a roncsolásmentes vizsgálatok eredményeinek reprodukálhatóságával szemben támasztandó követelményeket.

Válasszunk három 20 mm szélességű, egységnyi vastagságú lemezt, amely vagy középen, vagy szélén tartalmaz repedést. Ezeket készítsük különböző minőségű acélok-ból (1. táblázat).

A különböző minőségű acélok folyási határai és a fáradásos repedés terjedésével szembeni ellenállást tükröző anyagjellemzői

Acél típusa	Folyási határ (MPa)	ΔK_{Ih} (MPa $\sqrt{m}$)	ΔK_{Ic} (MPa $\sqrt{m}$)	c	b	n
St 38	281	5,3	40,0	101,8	0,459	0,575
St 52	334	5,9	46,0	122,9	0,458	0,524
H 60	379	5,4	44,8	202,4	0,523	0,608
H 75/3	673	5,8	63,2	316,8	0,586	0,486
NAXTRA	801	5,4	71,0	144,6	0,506	0,523
NK	1150	4,5	97,9	73,4	0,502	0,612
K 13	1480	4,5	62,0	110,9	0,521	0,611

Az St. 38 – K13 típusú acélok folyási határa 281–1480 MPa tartományba esnek. A fáradásos repedés terjedési körülményeit a

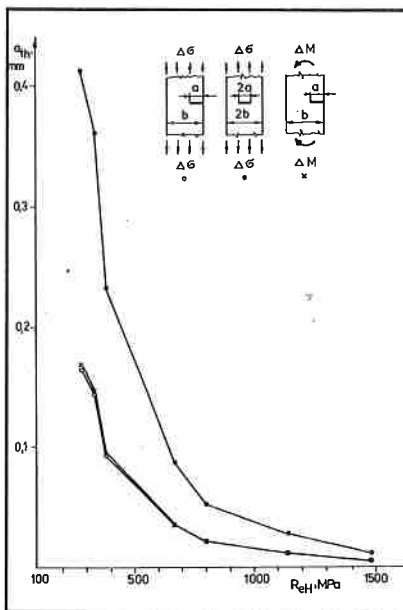
$$\frac{da}{dN} = \left\{ -\frac{1}{c} \ln \left[1 - \left(\frac{\Delta K - \Delta K_{Ih}}{\Delta K_{Ic} - \Delta K_{Ih}} \right)^n \right] \right\}^{\frac{1}{b}} \quad (3)$$

alakú, Tóth-féle összefüggéssel [10] leírva, a ΔK_{Ih} , ΔK_{Ic} az n , b és c anyagjellemzők kísérileg meghatározott értékeit az 1. táblázat tartalmazza. A szerkezeti elemek ismétlődő terhelése minden esetben a folyási határ 75%-a ($\Delta \sigma = 0,75 R_{eH}$), azaz a folyási határra számított biztonsági tényező minden esetben azonos.

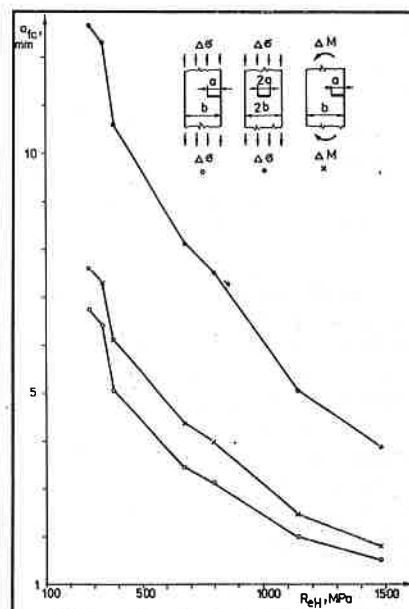
A három szerkezeti elemben a terjedőképes, a ΔK_{Ih} -ból számított repedéshosszakot a 6. ábra, a kritikus, a ΔK_{Ic} -ből számított repedéshosszakot pedig a 7. ábra szemlélteti.

A 8. ábrán a szerkezeti elemekre általánosan jellemző k_1 repedés terjedési indexek értékei láthatók a folyási határ függvényében.

A 6–8. ábrák jellege, az azokon szereplő számszerű értékek önmagukért beszélnek.



6. ábra A terjedőképes repedéshosszak azonos méretű, de különböző helyeken repedést tartalmazó húzott vagy hajlított, eltérő minőségű acélból készült lemezeknél



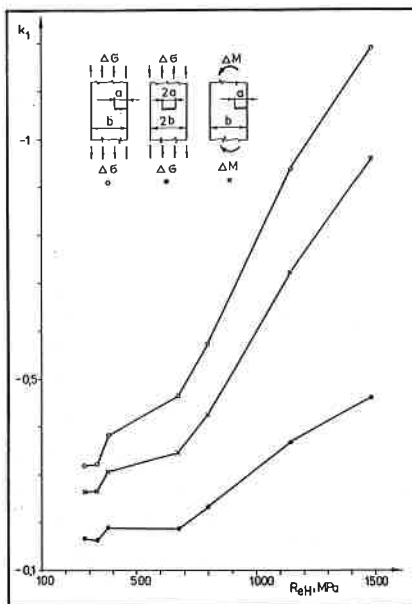
7. ábra A kritikus repedéshosszak azonos méretű, de különböző helyeken repedést tartalmazó húzott vagy hajlított, eltérő minőségű acélból készült lemezeknél

Ha a példa kapcsán felvetett kérdésekre kívánunk csupán válaszolni, akkor a következőket mondhatjuk:

- a felületi hibák lényegesen, (2–2,5)-szer veszélyesebbek, mint a belsők,
- az anyagok szilárdságának növekedésével a repedés terjedési érzékenység erőteljesen növekszik,
- a húzott szerkezeti elemekben a felületi repedés veszélyesebb, mint a hajlítottban.

Ezen egyszerű, és az ábrák alapján nyilvánvaló következtetéseknek igen lényeges következményei vannak a roncsolásmentes vizsgálatok követelményrendszerére. Ezek közül mindenképpen kiemelendők a következők:

- a felületi vizsgálatok szerepe jóval nagyobb, mint amelyet jelenleg hazánkban annak tulajdonítanak,
- elengedhetetlen a roncsolásmentes vizsgálati eredmények reprodukálhatóságának ismerete,
- a roncsolásmentes vizsgálati módszerekkel, azok eredményeinek reprodukálha-



8. ábra A repedés terjedési érzékenységet általánosan tükröző k_1 értékek az azonos méretű, de különböző helyeken repedést tartalmazó húzott vagy hajlított, eltérő minőségű acélból készült lemezekre

tóságával szemben támasztott követelményeknek egyedieknek kell lenniük, következésképpen az látszik célszerűnek, hogy egy-egy szerkezet típusra (csoportra) egyedileg dolgozzanak ki követelményrendszer.

Az objektívnek tartott radiológiai vizsgálat, és ezen belül is a radiológiai felvételek hazai értékelésének összehasonlítása [11] csak megerősíti azt a törekvést, hogy a közeljövőben nem csupán célszerű, hanem indokolt is a roncsolásmentes vizsgálati eredmények reprodukálhatóságának megismerésére összefogni e terület szakembereinek.

Összefoglalás

A közleményben tett megfontolások, bemutatott példák alapján a következő megállapítások tehetők:

1. A mikoelektronika fejlődéséből adódóan a roncsolásmentes vizsgálatok színvonala törvényszerűen emelkedik, következésképpen a repedésszerű hibák, folytonossági hiányok egyre nagyobb megbízhatósággal detektálhatók mind az új, mind pedig a már üzemelő szerkezetekben.
2. Ezen anyagfolytonossági hiányokat tartalmazó gép- és szerkezeti elemek megbízhatósága a törésmechanikai elvek és a roncsolásmentes vizsgálati eredmények együttes felhasználásával megítélhetők.
3. A különböző hibák veszélyessége szám szerint becsülhető a repedés terjedés érzékenységi fogalmának bevezetésével mind kvázistatikus, mind pedig ismétlődő terhelésű elemeknél.
4. A repedés terjedési érzékenység index egyértelműen összekapcsolja a roncsolásmentes vizsgálatok követelményrendszerét és a szerkezetek megbízhatóságát.
5. A felületi hibák veszélyesebbek; következésképpen a felületi roncsolásmentes vizsgálatokra, azok oktatására, a vizsgálati eredmények megbízhatóságának elemzésére különös gondot kell fordítani a jövőben.
6. Az anyagok szilárdságának növekedésével a repedésszerű hibák veszélyessége növekszik.
7. Műszakilag nem lehetséges a roncsolásmentes vizsgálatokkal szemben támasztott követelményrendszer egységbe foglalása, azt minden esetben a szerkezeti elem típusának, terhelésének, a hiba jellegének és nagyságának, valamint az anyag tulajdonságának figye-

lembevételével kell egyedileg, vagy szerkezet típusonként megfogalmazni.

Irodalom

- [1] Romvári P., Tóth L., Lukács J.: Repedésszerű hibák kimutatására alkalmas módszerek reprodukálhatósága és a törésmechanikai méretezés, ellenőrzés megbízhatósága. V. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Szeminárium, Gyula, 1985. máj. 30-jún. 1. GTE 1985. p. 11-22.
- [2] Romvári P., Tóth L.: Repedéssel rendelkező szerkezetek megbízhatóságának becslési lehetőségei. Gép 1987/7. p. 247-250.
- [3] Tóth L., Lukács J.: Számítógépes rendszer az ismétlődő terhelésű, repedésszerű hibákat tartalmazó gépelemek és szerkezeti elemek megbízhatóságának becslésére. Gép 1989/12. p. 451-457.
- [4] Tóth L.: Bemetszésérzékenység-Repedésérzékenység. IV. Országos Törésmechanikai Szeminárium. Lillafüred. 1991. április 10-12.
- [5] Tóth L.: Notch Sensitivity-Crack Sensitivity. International Conference on Fracture. ICF8 Kiev. 1993. Jún. 8-13. Part II. p. 640.
- [6] Tada H., Paris P. C., Irwin G. R.: The Stress Analysis of Cracks Handbook. Del Resesarch Corporation, Hellertown, Pennsylvania, 1973.
- [7] Rooke, D. P., Cartwright D. J.: Compendium of Stress Intensity Factors. Her Majesty's Stationery Office, London, 1976.
- [8] Stress Intensity Factors Handbook. Ed.: Marukami Y. Pergamon Press. 1987.
- [9] Romvári P., Tóth L., Nagy Gy.: Adalékok a fátadt repedés terjedési sebességét leíró összefüggésekhez. Gép 1980/9. p. 325-333.
- [10] Tóth L.: A fátadt repedés terjedési sebességének leírása a károsodási folyamat jellemzésével. Gép 1981/7. p. 257-262.
- [11] Romvári P., Tóth L., Lizák J.: A radiológiai felvételek értékelésének reprodukálhatósága. VII. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Szeminárium, Gyula. 1989. máj. 24-27. GTE p. 147-154.

943 067 023

Beszámoló az EUROMAT'94 konferenciáról

Május 30. és június 1. között Balatonszéplakon rendezte meg az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület és a Gépipari Tudományos Egyesület az EUROMAT'94 Topical elnevezésű nemzetközi konferenciát, amely egyben a XV. Kohászati Anyagvizsgáló Napok és a XI. Anyagvizsgáló Kongresszus együttes megrendezését jelentette.

26 országból (még az USA-ból, Kanadából, Indiából és Japánból is) összesen 213 résztvevő érkezett a rendezvényre, amelyen három párhuzamos szekcióban több mint 150 orális, illetve poszter előadás került bemutatásra. A legtöbb előadás a fizikai metallurgia és az anyagkifáradás témájához kapcsolódott, előbbinél főleg a mikroszerkezet és az új, korszerű anyagok, utóbbinál a fáradásos repedés kialakulásának és terjedésének problémáival foglalkoztak az előadók.

Érdekes külön szólni a plenáris ülésről. Ezen R. E. Smallman professzor az Egyesült Királyságból a mikroszerkezet szerepéről beszélt a korszerű anyagok tulajdonságainak kialakításában. E. D. Hondros professzor Hollandiából a 21. század anyagairól, dr. Tardy Pál pedig a 18-19. századból magyarországi anyagtudományról tartott nagy sikerű előadást.

Az egyes szekciókban elhangzott további beszámolók más témaköröket is érintettek. Így a fémek mechanikai vizsgálata, a törés és kúszás vizsgálati módszerei, roncsolásmentes anyagvizsgálat és különleges vizsgálatok egy-egy ülés programját adták. Ugyanígy szerepeltek napirenden technológiai eljárások – hegesztés, képlékeny alakítás, felületi

kezelések – és ma már természetesen önálló szekcióban a kompozitok és kerámiák is.

A konferencia programjába illesztve megrendezésre került egy rendkívül nívós és sikeres kiállítás, amelynek során 21 műszergyártó és forgalmazó mutatta be termékeit és találkozott a felhasználókkal.

A kiállítással párhuzamosan egyes cégek az érdeklődők részére külön kerekasztal beszélgetéseket is szerveztek, ezek lehetőséget teremtettek az igények és a kínálat jobb megismerésére a partneri kapcsolatokban.

A három napon keresztül tartó kemény szakmai munka fáradalmait a vendégek hangulatos társasági rendezvényeken pihenték ki (hangversenyek, csárdavacsora).

Az EUROMAT'94 az Európai Anyagtudományi Egyesületek Szövetsége (FEMS) támogatásával került megrendezésre, mint az idei hivatalos, tematikus EUROMAT-konferencia.

A konferencia idején és színhelyén tartotta ülését a FEMS Végrehajtó Bizottsága, amely ezen az ülésén dr. Tardy Pál, aki a konferencia szervezőbizottságának elnöke volt, tagjai sorába választotta.

Mind a FEMS jelenvolt tisztségviselői, mind pedig más vendégek a konferencia végén igen elégedetten nyilatkoztak és jókívánságukat, elismerésüket fejezték ki a magyar szervezőknek.

Befejezésül még annyit, hogy az EUROMAT'94 négykötetes angol nyelvű kiadványa megvásárolható az OMBKE-tilikárságán (1027 Budapest, Fő u. 68., Tel.: 201-7337, Fax: 156-1215).

Dr. Havas István

Roncsolásmentes anyagvizsgálatok

Tóth Ferenc*

Bevezetés

A közös piaci országok közötti vámhatárok eltörlésével 1993-tól kezdve egységes gazdasági, pénzügyi és jogi feltételek váltak kötelezővé az egyes tagországok között. Ez természetesen azonos szabványok és biztonságtechnikai előírások bevezetését is jelenti, amely többek között azt is előírja, hogy meghibásodott alkatrész okozta balesetnél a gyártó köteles kártérítést fizetni, kivéve ha hitelesen igazolni tudja, hogy a szóban forgó alkatrészt beépítés előtt megfelelően ellenőrizték, illetve az kifogástalan minőségű volt. Már emiatt is nyilvánvaló, hogy ma már csak kellően megvizsgált, szigorú minőségi előírásoknak megfelelő termékek lehet forgalomba hozni.

A gépipar egyik legnagyobb problémája: fokozódó versenyfeltételek mellett, a folytonosan szigorodó minőségi követelményeknek megfelelő mechanikai tulajdonságú gyártmányok nagy mennyiségű és gazdaságos előállítását, [1].

E feladat teljesítésének egyik legfontosabb feltétele olyan megbízható minőségvizsgáló mérőeszközök használata, amelyek a kívánt tulajdonságokat gyártás közben, roncsolásmentesen ellenőrizni képesek, [2].

Ma már számos ilyen jellegű eljárás és mérőberendezés létezik, ennek ellenére a legtöbb mechanikai tulajdonságot sok helyütt még mindig a hosszadalmas és költséges roncsolásos módon ellenőrzik, amely egyrészt késlelteti a kiszállítást, másrészt nyilvánvalóan csak szűrőpróba-szerű lehet.

A roncsolásmentes anyagvizsgálat hagyományos szerepe repedések, zárványok és más olyan anyaghibák kimutatása, amelyek a berendezés vagy szerkezet használhatóságát és biztonságát veszélyeztethetik. Többnyire a termékek bemérésére alkalmazzák, de a jelenlegi irányzatoknak megfelelően, ma már roncsolásmentes módszereket a gyártási folyamat mind korábbi szakaszában kezdik használni, illetve mind több munkafázisban, hogy a gyártástechnológia optimalizálható legyen, [3].

Új gyártmányok bevezetése előtt az egyes alkatrészeket végzett vizsgálatokkal a konstruktor betekintést kaphat a megmunkálási folyamatok hatásmechanizmusába, ellenőrizheti a működés során előálló igénybevétel következményeit, így még időben javíthat azok minőségén és csökkentheti ezáltal a fejlesztési és szerviz költségeket.

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

A roncsolásmentes anyagvizsgálat emiatt ma már nemcsak a minőségbiztosítás eszköze, hanem a fejlesztési tevékenység segítője; hibabehatároló eljárásból kvantitatív tudományos eljárásá fejlődött az anyag tulajdonságainak meghatározása, az alkatrészek folytonossági hiányainak felderítése terén (evaluation).

A roncsolásmentes anyagvizsgálat több hasonló értelmű fogalmat takar; a szemmel látható hibás munkadarabok kiszűrését (test), valamilyen fontos fizikai tulajdonság – pl. méret, keménység – mérését (inspekció), vagy a kérdéses tárgyban lévő rendellenességek, folytonossági hiányok, repedések, zárványok kimutatását, kvantitatív méretmeghatározását, a textúra, esetleg a feszültség, vagy az anyagfáradás kontrollját.

Különböző iparágak – kohászat, gépipar, repülőgép-építés, petrokémiai és nukleáris ipar – a folytonossági hiányokat, repedéseket, rendellenességeket hasonló értelemben használják, de többnyire eltérő specifikációkat, szabványokat, helyi előírásokat alkalmaznak, amelyek alapján a kérdéses alkatrészt, gépelemet elfogadhatónak vagy selejtnak nyilvánítják.

Hibadetektálásra több különböző vizsgálati eljárás létezik, amelyek teljesítőképesége egyrészt eltérő, másrészt alkalmazhatóságuk nagymértékben függ a vizsgálandó tárgy méretétől, jellegzetességeitől, a rendelkezésre álló mérési időtől, a kalibrációs lehetőségektől, ezért azok teljesítőképeségének összehasonlítása nem lehet teljes mértékben egzak.

Meghatározott feladatra a legjobban megfelelő roncsolásmentes vizsgálati eljárás vagy ezek kombinációjának megválasztásakor mindig a megoldandó feladat tisztázásából kell kiindulni, ezek lényegében a következők szerint csoportosíthatók:

- hibakeresés, hibaméret meghatározása, lokalizálása,
- szivárgások kimutatása,
- méretellenőrzés,
- struktúra, mikroszerkezet meghatározása,
- mechanikai és fizikai tulajdonságok jellemzése,
- mechanikai feszültségállapot, dinamikus tulajdonságok mérése,
- fáradás vizsgálata.

Hibavizsgálat

Repedések, felületi károsodások kimutatását tekintik általában a roncsolásmentes anyagvizsgálatok legfontosabb területének. Erre szolgáló metodika használhatóságát a következő tényezők határozzák meg:

- a repedések, hibák fajtái,
- a hibák mérete, iránya, kritikus pozíciók hozzáférhetősége,
- a munkadarab mérete, geometriája,
- az alapanyag fizikai jellemzői,
- a hibakeresés célja.

A hibavizsgálatok legfontosabb felhasználási körei:

- alapanyagok, félkész termékek, alkatrészek gyártásközbéli minőségellenőrzése,
- kiszállításra vagy beépítésre kerülő késztermékek végellenőrzése,
- üzemelő gépelemek, tartószerkezetek, nyomástartó tartályok és vezetékek időszakos biztonsági felülvizsgálata, korrózió, túlterhelés okozta fáradások előrejelzése.

A roncsolásmentes anyagvizsgálati metodika nagymértékben függ a vizsgálati tárgyban várható hibaféleségek típusától, azok méretétől, irányítottaságától, a keresett repedés pozíciójától, felületi, mélységi helyzetétől, a még megengedhető méretű hibák felületegységre eső számától.

Tömegtermékeknek általában nem törekszenek teljesen hibátlan alkatrészek kiválogatására, minthogy az gazdaságatlan és szinte csaknem lehetetlen lenne.

A törésmechanika ismeretek fejlődésével ma már lehetővé vált bizonyos pontossággal megadni egy adott gépelem várható élettartamát az abban lévő hiba méretétől függően. Az *elfogadható méretű hiba és várható élettartam* koncepciójának bevezetése jelenősen megváltoztatta a roncsolásmentes anyagvizsgálattal szemben támasztott követelményeket: pontos, kvantitatív hibaméret meghatározásra van szükség, olyan mérőberendezésekre, amelyek ezt teljesíteni tudják, [4].

Ha megbízható feszültséganalízis és/vagy törésmechanikai mérések és számítások nem vihetők keresztül, a késztermékre vonatkozó még megengedhető hiba típusára, méretére, irányítottaságára vonatkozóan becsléseket kell végezni és azok hatását megfelelő biztonsági tényezővel figyelembe kell venni.

Az olyan nagy biztonságinényű iparágakban, mint a légiközlekedés vagy az atomipar, a roncsolásmentes anyagvizsgálat abban az irányban változik, hogy nem fogadják el azt a nézetet, ha a kérdéses gépelemet megfelelően megvizsgálják, akkor az hibamentes, hanem *hibatoleráns méretezési koncepció* szerint terveznek. A kritikus elemeket úgy méretezik és azok várható élettartamát aszerint számítják, hogy a hibamérő berendezések detektálási küszöbszintje alatti hibák ténylegesen benne is vannak a kérdéses gépelemben. Emiatt a roncsolásmentes mérőberendezéseknek nagyon megbízhatóan és igen pontosan kell megadniuk a tényleges hibaméreteket, [5].

Az anyaghiányok, hibák lehetnek kétdimenziósak, felületszerűek és háromdimenziósak, térfogatiak. Mindkét hibaféleség lehet felületi vagy felület alatti, belső hiba.

Kétdimenziós hibatípusok:

- **a repedések**, mégpedig gyártási eredetűek, pl.: megmunkálási (öntési, köszörülési stb.), hőkezelési, hegesztési repedések, és a használati igénybevételtől eredőek, pl.: korróziós, fáradásos repedések;
- **a rétegesedések**: át- és rálapolások, hideghegedések és -forradások, a bevonatok kötőhíbai, a nemfémek, illetve idegen anyagrétegek.

Háromdimenziós hibatípusok:

- a szivódási üregek, pórusok, az összeolvadási hiányok,
- a gáz- és idegenanyag-zárványok,
- a korróziós, eróziós és kopási gödrösödések.

* MTA KFKI Szilárdleltízkai Kutató Intézet, Budapest

A két- és háromdimenziós hibák detektálására alkalmas roncsolásmentes vizsgálati eljárások az 1. táblázatban találhatók. Zárójelben a módszer alapvető alkalmazási korlátja szerepel.

1. táblázat.

A roncsolásmentes módszerek alkalmazhatósága

Roncsolásmentes módszerek	Hibatípusok			
	kétdimenziós		háromdimenziós	
	felületi	belső	felületi	belső
Vizuális ellenőrzés Folyadékbehatolási vizsgálat	nyitott hibák	–	nyitott hibák	–
Mágnesporos vizsgálat Mágneses szórt fluxus mérésével (Mindkettő ferromágneses anyagon)	+	+	+	+
Örvényáramos vizsgálat (Villamosan vezető anyagon)	+	+	+	+
Mikrohullámok alkalmazásával (Villamosan nem vezető anyagon)	+	+	+	+
Röntgen- és gammadiagnosztika Röntgentomográfia	korlátozottan		+	+
Neutronradiográfia	–	–	+	+
Feszültségperturbációs vizsgálat Optikai holográfia Akusztikus emissziós vizsgálat (Csak terhelésváltozás hatására)	– – +	– – +	– – +	– – +

Az egyes vizsgálati módszerek időigénye, a kiértékelés gyorsasága (pl. a gyártósorba illeszthető-e), az elérhető érzékenység, azaz a meghatározott valószínűséggel detektálható legkisebb hiba mérete, a munkadarab hőmérséklete, a kiértékelés automatizáltsága, a mérési adatok tárolhatósága, a berendezés használatának elsajátításához szükséges ismeretek mértéke és nem utolsósorban a berendezés beszerzési és üzemeltetési költségei mind olyan tényező, amely nem hagyható figyelmen kívül a roncsolásmentes anyagvizsgálatok tervezésénél, [6].

Anyagjellemzők vizsgálata

A hibadetektáláson kívül a roncsolásmentes vizsgálati eljárások lehetőséget nyújtanak alapanyagok, félkésztermékek fizikai tulajdonságainak – in situ – módon történő ellenőrzésére is. Leggyakoribb ilyen jellegű feladat összekeveredett alapanyagok, ötvözetek szétválogatása, amely – mágneses tulajdonságok vagy örvényáram változás elvén működő – egyszerű, hordozható kéziműszerrel is nagyon gyorsan elvégezhető, megfelelő etalon minták segítségével. Ezekkel történő anyagminősítés természetesen sohasem ad az anyag összetételére vonatkozóan kvantitatív összefüggéseket, mint pl. a kémiai analízis vagy a spektroszkópia, minthogy indirekt eljárásról van szó, amelyeknél a kérdéses fizikai tulajdonság és az adott mérőberendezéssel indikálható elektromos, mágneses mennyiség, hangterjedési sebesség változása, energiaelnyelés stb. között – kísérleti úton szerzett – korreláció felhasználásáról van szó. A mérés azonban egyszerű, gyors és meghatározott körülmények között – kifogástalan referencia etalonok birtokában – az esetek túlnyomó többségében kielégítő eredmények kaphatók.

Az anyagtulajdonságok vizsgálatára használt módszerek felsorolása a 2. táblázatban található.

2. táblázat

Anyagjellemzők roncsolásmentes ellenőrzése

Anyagjellemző	Mérési elv
Alapanyagazonosítása	Örvényáramos Mágneses paraméterek Elektromos ellenállás Termofeszültség
Anyagszerkezet: – szemcseméret – grafityszerkezet (vasöntvényekben)	Ultraszhang Mágneses mérés Sonikus rezonancia Ultraszhang Mágneses mérések
Keményiség	Örvényáramos Mágneses paraméterek
Mechanikai feszültség	Röntgen-diffrakció Ultraszhang Mágneses paraméterek
Anyagfáradás	Mágneses paraméterek

A megadott fontosabb jellemzőkön kívül egyes módszerek más esetekben is használhatók, pl. örvényáram segítségével detektálható fázisátalakulás, mérhető a bugák belső hőmérséklete, mágneses paraméterek felvilágosítást adhatnak a rekrisztalizáció vagy a sugárkárosodás mértékéről, a vasöntvények grafityszerkezetéről, [7].

Az öntvényekkel szemben támasztott mind magasabb minőségi követelmények miatt fontossá vált azok grafitstruktúrájának pontos ellenőrzése. Ez az ultrahang szóródásának, vagy a mágneses tulajdonságok mérésével általában keresztülvihető, de sokszor a felület durvasága, a bonyolult geometria alakzat, kisebb-nagyobb külső és belső hibák következtében pontatlan lehet. Az öntvény rugalmasságát a benne lévő grafitstruktúra – a gömbszálak százalékos aránya – jelentősen befolyásolja, a rugalmasság viszont – amely azonos geometriai méretnél, alaknál és sűrűségénél – szintén azonos, kevésbé felület- és hibafüggő, ezért a munkadarab saját rezonanciájával egyszerűen mérhető, megfelelő etalonok segítségével az öntvények gyorsan és automatikusan ellenőrizhetők.

A 2. táblázatban felsorolt anyagjellemzők rutinellenőrzésére alkalmas mérőberendezések ma már többé-kevésbé széles körben elterjedtek. Kivétel ez alól az anyagfáradás előrejelzésére szolgáló módszer, amely lényegében még részben fejlesztés alatt áll. A fáradás előrejelzésének fontosságát aligha kell hangsúlyozni; bevezetésükkel a nagy biztonságigényű iparágakban (légiközlekedés, kémiai, petrokémiai és nukleáris ipar) katasztrófák előzhetők meg. A vizsgálati módszer lényege, hogy ferromágneses anyagoknál egyes mechanikai jellemzők: a keménység, a belső feszültség, a plasztikus deformáció, a kúszás, a fáradás szoros összefüggésben van különböző mágneses paraméterekkel, amelyeknek értékváltozásai előre jelzik a mechanikai tulajdonságokban bekövetkező fokozatos vagy váratlan változásokat. A multiparaméteres mikromágneses mérőrendszer különböző adatait megfelelően kombinálva, az anyagösszetételtől többé-kevésbé független, a fáradásra utaló mérőszámok képezhetők.

A roncsolásmentes anyagvizsgálatok legáltalánosabban nagyvállalatoknál (pl. a kohászatban), valamint a nagy biztonságigényű iparágakban (repülőgépipárt és légiközlekedés, petrokémiai és nukleáris ipar) terjedtek el, ahol a különböző – nem olcsó – mérőrendszerek beszerzése, megfelelő képzésű kezelőszemélyzet biztosítása nem jelent problémát, [8].

Nyilvánvaló, hogy a kisvállalatok szintén profitálhatnának a roncsolásmentes vizsgálatok igénybevételéből, ezt azonban megnehezíti, hogy ritkán tájékozottak a lehetőségekről, egyes metodikák alkalmazási köréről, azok teljesítőképességéről, illetve korlátaikról. Ahol mégis használnak valamilyen módszert, többnyire annak köszönhető, hogy az alkalmazó az eljárással másutt, pl. előző munkahelyén került kapcsolatba.

A következőkben az egyes roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárások külön-külön kerülnek részletes ismertetésre, kiemelve előnyeiket és korlátaikat, a hozzávetőleges költségeket, a kezelésük elsajátításához szükséges időt, a lehetséges hazai képzési formát, a beszerzési forrásokat.

Irodalom

- [1] Dr. Karsai István: Roncsolásmentes vizsgálatok és az ipar. Gép, XL(9), 322–323 (1989)
- [2] J. Boogaard, G. M. van Dijk: NDT reliability and product quality, NDT & Internat 26 (3), 149 (1993)
- [3] P. J. Mudge, S. J. Granwood: Non-destructive testing and the significance of flaws. Welding & Metal Fabrication. 1990. Oct., 437.
- [4] Non Destructive Testing. Innovation 128, TechTrends. 1988 Paris
- [5] George Darcy: Economic Motivation and Potencial Impact of NDE in Dod, Proc. of the Interdisciplinary Workshop for Quantitative Flaw Definition, Thousand Oaks, Calif. Nov. 1974
- [6] P. J. Rickards: Progress in Guaranteeing Quality through Non-Destructive Methods of Evaluation, 54th International Foundry Congress, New Delhi, Nov. 22–26. 1987
- [7] NDT – A Tool for Quality Control in the Foundry Mat. Eval. 36, 24 (1978)
- [8] Donald Hagmaier: Cost Benefits of Nondestructive Testing in Aircraft Maintenance. ASNT Spring Conference, Orlando, Florida Apr. 11–15: (1988)

943 071 139

Felületi és felület közeli repedések kimutathatósága roncsolásmentes módszerekkel

Harnisch József

A fejlődő ipar egyre szélesebb körben alkalmaz nagy szilárdságú, különleges szerkezeti anyagokat. A tervező törekszik az egyre megbízhatóbb módszerekkel számított szerkezetek tervezésére. A törésmechanika terjedő alkalmazása bizonyos helyeken megengedi a szerkezetekben a repedés jelenlétét, pontosan meghatározva annak megengedhető méreteit. Az így méretezett szerkezetek kisebb tartalékokat igényelnek, karcsúbbak, vagy pl. hosszabb üzemeltetési idő engedélyezhető.

Azonban felvetődik egy fontos kérdés, hogy a méretezés oldaláról meghatározott követelményeket, a törésmechanika által meghatározott repedésméretet, a roncsolásmentes anyagvizsgálat módszereivel megfelelő biztonsággal lehet-e vizsgálni, kimutatható-e az adott nagyságú hiba?

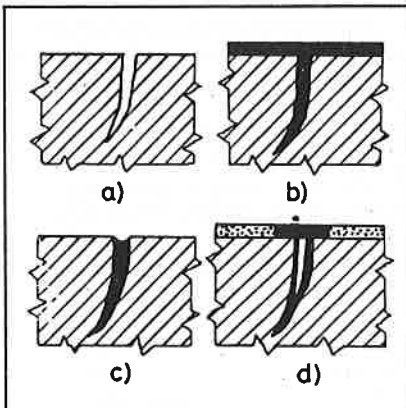
E rövid értékezés csak gondolatébresztő és keresi a választ arra a kérdésre, hogy a tervező, a törésmechanikus és a roncsolásmentes anyagvizsgáló szakember valóban ismeri-e egymás lehetőségét a repedések valóságos méreteinek meghatározásában.

Az alábbiakban a legfontosabb vizsgálati eljárások repedéskimutatói lehetőségei kerülnek elemzésre.

Általánosan alkalmazott repedésvizsgálati eljárások

Penetrációs repedésvizsgálat:

Ez a módszer a repedéskimutató legelterjedtebb eljárása. Majd minden, a műszaki gyakorlatban használt anyagnál alkalmazható. A repedéskimutathatóság feltétele a felületre nyitott repedés és a szennyeződésektől (beleértve a festéket, vagy más zárórétet) mentes, tiszta, zsírmentes felület.



1. ábra. A penetrációs vizsgálat elve és műveletei: a) repedés a megtisztított felületen, b) a jelzőfolyadék felvitele, c) a közbenső tisztítás és d) az előhívás után

Az eljárás elve (1. ábra): a felületre egy jól nedvesítő (kapilláraktív) jelzőfolyadékot viszünk fel, és hagyjuk a felületre nyitott üregbe (pl. repedés, porozitás) beszívódni, majd a felesleget eltávolítva, egy jó nedvszívó anyaggal az üregből a felületre kiszívjuk (felitatjuk) a beszívott folyadékot. A két anyag között a kiértékeléshez megfelelő színkontrasztot létesítünk. Ez a szín általában piros-fehér, vagy fehér-fluoreszkáló-színes (zöld, narancssárga).

A módszer alkalmazása nagyon egyszerű, vizsgálati műveletei könnyen elsajátíthatók, de megbízható alkalmazásához kellő gyakorlat szükséges. A vizsgálati technológia meghatározása, a penetrációs anyagok helyes megválasztása szakértelmet igényel.

A kereskedelmi forgalomban egymástól jelentősen eltérő érzékenységre vizsgálóanyagok kaphatók. Az adott feladatra megfelelő anyagot a szakembernek kell kiválasztania. A penetráló anyagok jellemzőit az MSZ 7879-74 szabvány tartalmazza, amely többnyire a nemzetközi szabványok ajánlásait követi. Ennek alapján az anyagok jellemző tulajdonságai meghatározhatók és besorolhatók.

Az 1. táblázat – gyártótól függetlenül – a penetráló anyagok főbb csoportjainak minimális repedéskimutatói érzékenysége ad felvilágosítást. A táblázatban szereplő repedésmélység értékek csak elméleti kimutathatósági határokat jelentenek és nem jelentik azt, hogy a módszer repedésmélységmérésre alkalmas lenne.

1. táblázat

A penetrációs anyagok érzékenysége

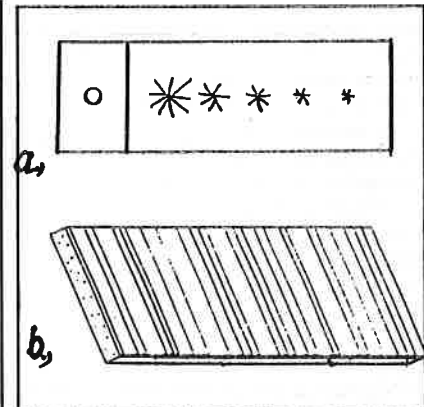
Eljárás	A legkisebb kimutatható repedés	
	szélessége, μm	mélysége, μm
Piros-fehér normál	0,5	30
Piros-fehér finom	0,4	20
Fluoreszkáló normál	0,2	10
Fluoreszkáló finom	0,1	5

Az alkalmazás előtt – függetlenül a gyártó által megadott értékektől – meg kell győződni a vizsgálórendszer érzékenységéről, mert a tárolás ideje és körülményei erősen befolyásolhatják az eredeti termékminőséget.

Az ellenőrzést szabványos etalonokkal ajánlott végezni. Általánosan elfogadott és alkalmazott etalonokat mutat be a 2. ábra. A két etalon közül a JIS etalon a mélységi érzékenységre vonatkozó konkrét számadat megadását is lehetővé teszi.

Mágneporos repedésvizsgálat

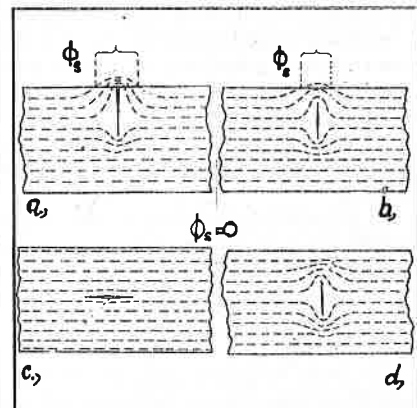
A mágnesezhető anyagoknál, így pl. az acél-szerkezeteknél leggyakrabban használt vizsgálati módszer. A repedéskimutató előzetes feltétele a tiszta, zsírmentes felület, de a vizsgálat elvéből adódóan, eltérően a penetrációtól, nem



2. ábra. Ellenőrző test a penetrációs vizsgálat érzékenységének méréséhez: a) ASTM szerint, öt különböző nagyságú csillagrepedéssel és b) JIS szerint, 10/20/30/50 μm mély repedésekkel

feltétlenül szükséges a repedésnek felületre nyitottnak lennie, azaz pl. egy vékonyabb felületi festékréteg nem zavarja a vizsgálatot.

A vizsgálat elvét a 3. ábra mutatja. Lényege a felületre kilépő mágneses erővonalak detektálása. Ez a mágnesporos repedésvizsgálatnál azt jelenti, hogy a felületre felvitt mágnesezhető részecske (vas-, vagy vasoxid por) a felületre kilépő erővonalaknál felgyülemlik és ez megfelelő színkontrasztal láthatóvá tehető. Ezt a színkontrasztot ma már többségében fluoreszkáló



3. ábra. A mágneses repedésvizsgálat elve. A kimutatható szőrt fluxus a felületi (a) és a felület alatti (b) repedésnél. A nem kimutatható, a térrővel párhuzamos felületi repedés (c) és a mély belső repedés (d).

jelzőfestékekkel hozzák létre, melynek kimutatói érzékenysége lényegesen jobb, mint a korábban alkalmazott fekete-fehér színkontrasztú eljárásé. A fekete-fehér eljárást csak abban az esetben alkalmazzák, ha az ultraviola fényben történő kiértékelés feltételei nem megvalósíthatók (pl. szabadláti hídstruktúra gyártás).

Az eljárás elvéből adódóan lehetséges a felület alatt, néhány milliméterre fekvő hibák kimutatása is, de ennek bizonytalansága a gyakorlat szerint igen nagy. Az ilyen hibák kimutatására más módszer javasolt.

A mágnesporos repedésvizsgálat jól gépesíthető, magas automatizáltsági fok is elérhető, de a kiértékelés minden esetben vizuális marad. (Egy másik eljárás a kilépő erővonalakat műszeresen detektálja. Ez az ún. szórt fluxusú mágneses repedésvizsgálat, de ez egy lényegesen költségesebb eljárás, alkalmazása csak speciális esetekben, nagysorozatu vizsgálatokhoz, a gyártósorba beépítve terjedt el.)

A módszer alkalmazásának sarkallatos pontja a létrehozott mágneses térerősség iránya és nagysága. Csak a várható repedésirányra merőlegesen létrehozott, elegendően nagy mágneses erőterrel lehetséges a megfelelő vizsgálati érzékenységet elérni. Ezért a vizsgálati technológia kidolgozását szakemberre kell bízni.

A kimutatható legkisebb repedésméret – a megfelelő mágneses erőter megléte mellett – elsősorban a vizsgálószemcseméretétől függ. Az általában alkalmazott szemcsemérettel elérhető kimutatási érzékenységet a II. táblázat tartalmazza.

II. táblázat

A mágneses repedésvizsgáló anyagok érzékenysége fluoreszkáló nedves eljárásnál

Szemcseméret, μm	A legkisebb kimutatható repedés	
	szélessége μm	mélysége μm
2,5–4,0	0,1	10
4,0–6,3	0,3	20
6,5–9,0	0,5	30

A vizsgálatok előtt mindenképpen meg kell győződni a megfelelő erőter meglétéről illetve a vizsgálószemcseméret érzékenységről. Erre a célra megfelelő szabványos etalonok (4. ábra) használata ajánlott.

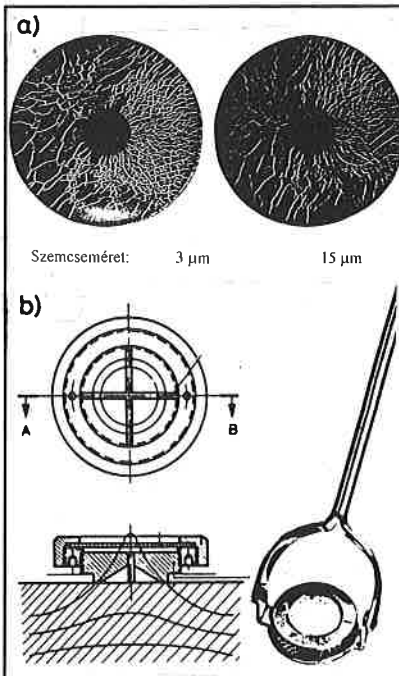
A két általánosan alkalmazott repedésvizsgálati eljárásról a repedéskimutatás szempontjából a következő megállapítások tehetők:

1. Mindkét vizsgálati eljárás megfelelő körülmények között alkalmazás esetén, az általános műszaki követelményeknek megfelel. Pontosságuk, érzékenységük elegendő az előírásokban általában meghatározott minimális hibaméreteket megbízható felderítéséhez.

2. Ezek a módszerek csak a felületre kijövő repedések kiterjedésének (hosszának) mérésére alkalmasak, a repedés mélység meghatározására nem megfelelők.

3. A vizsgálatok kiértékelése – néhány nagysorozatu automatizált vizsgálatotól eltekintve – minden esetben vizuális. Ebből adódik, hogy

- a vizsgáló személy látása, figyelme, felkészültsége szubjektíven befolyásolhatja a vizsgálatot;
- a tagolt felületű, éles sarokkal kialakított, vagy az egyenetlen felületű munkadarabok (pl. hornyok, menetek, hegesztési varratok) vizsgálata sok látszólagos indikációt adhat, amely akár meg is hiusíthatja a kiértékelést;



4. ábra. Etalonok a mágneses repedésvizsgálathoz:

a) MTU-tárcsa az érzékenység ellenőrzéséhez; pl.: a mágnespor szemcseméretének hatása;
b) Berthold-tárcsa a térerő, a kimutatható repedés ellenőrzéséhez

- a vizuálisan nem „hozzáférhető” belső felületek (pl. furatok, csövek, hegesztési gyökörök) ezekkel a módszerekkel nem vizsgálhatók;
- kis méretű – 1–2 mm hosszúságnál kisebb – repedések vizuálisan nem vehetők észre, még igen jól előkészített sima felületen sem. Ebben a repedésméret tartományban már más eljárás választása ajánlott (pl. örvényáram).

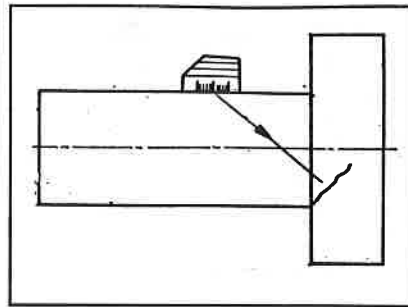
Ultrahangos repedésvizsgálat

Ez a szövegrészlet a roncsolásmentes anyagvizsgálóknak gyakran okoz gondot, mert egyrészt az eljárás alapvetően nem a felületi repedések vizsgálatára irányul, másrészt a felmerülő vizsgálati igények nagy része nem ultrahangos vizsgálatot, hanem általános felületi repedésvizsgálati eljárást igényel. Ez pedig ezzel a vizsgálati eljárással nem megoldható. Fontos megjegyezni, hogy az általános ultrahangvizsgálati technológiák, bár esetleg detektálnak vizsgálat közben repedéseket, nem helyettesítik a felületi repedésvizsgálatot. Jó példa erre az ultrahangos lemezvizsgálat, amely a legtöbb országban hasonló elvekkel szabványosított, de egyáltalán nem irányul repedésfelderítésre, csak a lemez belső hibáinak, elsősorban a rétegességnek a vizsgálatára. Ha a lemez felületi repedésmentességét kell ellenőrizni további vizsgálatok előírása szükséges.

A speciálisan kidolgozott technológiák viszont igen jó pontossággal képesek repedések kimutatására, esetleg a repedések mélységirányú méreteinek meghatározására is.

Az ultrahangvizsgálattal, mint repedésvizsgálati eljárással lehetséges:

- geometriailag meghatározott irányú felületi repedések vizsgálata,
- alakos munkadarabok, pl. tengelyváltak, öntvények kritikus pontjainak, tartószerkezetek kritikus pontjainak, repedésérzékeny helyeknek vizsgálata,
- hegesztési varratok repedéseinek, illetve bemetszés jellegű hibáinak detektálása.



5. ábra. Repedésvizsgálat ultrahanggal

A vizsgálat elve a felületről visszaverődő hanghullámok regisztrálásán alapszik, (5. ábra). Elvégzéséhez pontos geometriai számítások szükségesek, ezért az ultrahangos repedésvizsgálatnak nagyon szigorú geometriai kialakítási feltételei vannak, melyet már a tervezéskor figyelembe kell venni. Tudatosan e célra kialakított vizsgálati pontok ellenőrzése abszolút probléma mentes és alkalmas a repedés mélységi méretének meghatározására is. A jól tervezett munkadaraboknál általában standard kialakítású vizsgálófejek alkalmazása is elegendő, de szükség esetén megfelelő célorientált vizsgálófejek tervezése is lehetséges. Régóta alkalmaznak ilyen technológiát és vizsgálófejeket például turbinák vizsgálatánál, ahol összeszerelt állapotban is elvégezhetőnek kell lennie a vizsgálatnak, mert a költségek nagysága, és a rendelkezésre álló rövid előkészítési idő miatt nem lehet más megoldást találni.

Abban az esetben, ha a vizsgálatot előzetesen nem tervezték be, sajnos egyáltalán nem biztos, hogy a vizsgálatot megbízható adatokhoz lehet jutni. Ha a feltételezett repedés csak részlegesen támadható, a geometriai hozzáférhetőség miatt, akkor a vizsgálati eredmény is csak korlátozott értékelésre ad lehetőséget, például nem ad felvilágosítást a repedés kiterjedésére.

A módszer alkalmazása a vizsgálati darabkal azonos geometriájú etalon elkészítését igényli. Ez sok esetben bonyolult, költséges eljárás, de nagy értékű berendezéseknél általában még mindig csak töredéke egy darab elkészítésének.

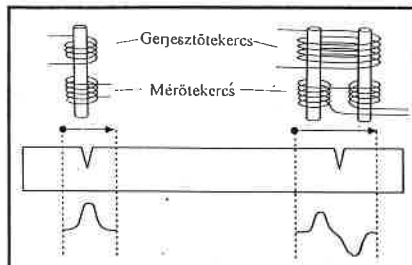
A módszer kimutatási érzékenysége a repedéshosszra vonatkozóan milliméteres nagyságrendbe esik és megfelelő etalonok létrehozásával $\pm 0,5$ mm pontossággal a repedés mélysége is meghatározható.

Az elektronika fejlődésével az utóbbi évtizedben az ultrahangos műszerépítés is óriási fejlődésen ment keresztül, és ez a hibák regisztrációs módszerére is igen nagy hatással van. Ma már a korábban oly nagy hátrányt jelentő szubjektív regisztrálás egyre jobban kiküszöbölhető, lehetséges a mérési adatok számítógéppel történő kiértékelése, de a vizsgálat az igen jó kva-

lífikált, állandó gyakorlatban lévő vizsgáló személyt továbbra sem nélkülözheti.

Örvényáramos repedésvizsgálat

A repedésvizsgálatok egy igen fontos területe az örvényáramos technika. Alapelve a vizsgálati darabban gerjesztett mágneses erőter változásának mérése, melyet az anyagban lévő inhomogenitások – jelen esetben a feltételezett repedések – hoznak létre (6. ábra). Az eljárás nemcsak a mágneses anyagok, hanem minden fém anyag vizsgálatához alkalmazható.



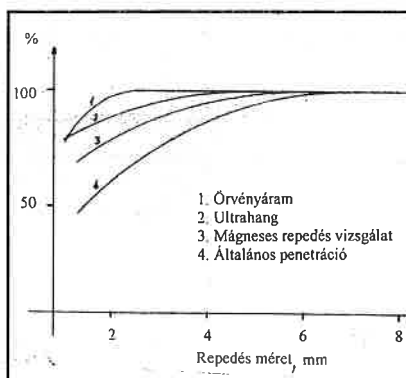
6. ábra. Repedés kimutatása örvényárammal: a) abszolút és b) differenciál tapintó szondával

Az elektronika fejlődésével ma már – a gyártótól függően kisebb nagyobb eltérésekkel – kialakult egy alapkészülék típus, amely képes támogatni a különböző méretű, alakú és gerjesztésű szonda alkalmazását. A módszer olyan kiértékelési lehetőségekkel rendelkezik, amellyel a regisztrált jelek könnyen és általában automatikusan feldolgozhatók, számszerűsíthetők, azaz hozzárendelhetők pl. egy repedés méretéhez is.

Lényeges eltérés az eddigi eljárásokhoz képest, hogy a vizsgálati technológia kidolgozása elválhat a közvetlen alkalmazástól, ugyanis a széleskörűen alkalmazható alpműszer csak egy-egy egyedileg kidolgozott technológiával speciálisan tervezett szondával válik képessé az adott konkrét feladat megoldására. Egy-egy szonda és a hozzá tartozó technológia elkészítését több szakemberről álló tervezőcsoport végzi és az alkalmazás csak erre a speciális feladatra lehetséges.

A módszer előnye, hogy a vizsgálati frekvencia változásával változtatható a behatolási mélység és ennek segítségével lehetővé válik a repedésmélységmérés. A mérés pontosságának, illetve az örvényáram behatolási mélységének anyagtól függő korlátai vannak. Hátránya, hogy nagyon sok paraméter (pl. anyagszerkezet, anyagösszetétel, méret) lehet hatással a regisztrált jelekre és ez bonyolulttá teszi a vizsgálati technológia megtervezését.

A módszer bonyolultsága és hátrányai ellenére is nagyon fontos eljárás, ugyanis a repedés



7. ábra. A különböző repedésvizsgálati eljárások észlelési hatásfoka

kimutatásának, beleértve a mélységmérést is, a legpontosabb módja. Ezt mutatja be a 7. ábra, amelyen a különböző vizsgálati módszerek érzékenysége van összehasonlítva.

A vizsgálat fontos előnye, hogy a különböző helyen jelentkező hibák különböző frekvenciákon érzékelhetők és többcsatornás készüléken egyidőben külön-külön erősítve is feldolgozhatók, szétválaszthatók.

A jelek vizuális megfigyelés nélkül kerülnek kiértékelésre és megfelelő számítógépes háttérrel további feldolgozásuk is lehetséges, amely már nem kötődik feltétlenül a vizsgálat helyszínéhez. Ilyen feldolgozás, kiértékelés lehet például:

- a detektált jelek pontos hely szerinti azonosítása,
- a regisztrált jelek hibatípusonkénti válogatása,
- összehasonlítás korábbi hibaállapottal.

Fontos jellemzője a vizsgálatoknak, hogy nem igényel csatlakozást a felülethez, a szondát a felület felett végigvezetve is megfelelő eredményt ad. Természetesen, ha a felületi egyenetlenségek a vizsgálati érzékenység nagyságrendjébe esnek, akkor ez a pontos értékelést meggátolja.

Akusztkus emisszió

E vizsgálati módszer előnye és hátránya egyaránt abban rejlik, hogy a szerkezeteket terhelés alatt vizsgálja. Amikor a szerkezeteket megterhelik, a helyi feszültségcsúcsok által létrehozott deformációk hangforrásokká válnak. Helyi feszültségcsúcsot létrehozhat falvékonyodás, hibás geometriai kialakítás, belső anyaghiba vagy felületi repedés. Ezek a hibák viszont csak akkor szólnak meg, amikor az adott igénybevételi szinten élővé válnak. Az ún. passzív hibát a módszer nem érzékeli.

Visszont, szemben a többi eljárással, az akusztkus emisszió az egész szerkezeten „re-

gisztrál” és meghatározza a hibák helyzetét, és kijelölheti a hagyományos repedésvizsgálatok számára a potenciális vizsgálati helyeket.

Ipari előnye akkor jelentkezik a módszernek, ha a null-állapottól kezdődően rendszeres akusztkus emissziós megfigyelésre kerül a szerkezet, és a már megismert és feltérképezett helyeket folyamatosan figyelemmel kísérjük. A repedés méretére közvetlen információt a módszer nem ad, ugyanakkor, szemben a többi módszerrel – folyamatos megfigyeléssel – lehetséges a repedésterjedés regisztrálása.

Potenciálszondás repedésmélység-mérés

Ez a módszer kizárólag a repedés mélységi méretének mérésére alkalmas. Elve, hogy a fémtest két pontjára áramot vezetve, az azok közötti felületrészen – további két elektróda segítségével – feszültségkülönbség mérhető.

A jelváltozás arányos a repedés felületének nagyságával. Ha a repedéshossz a mélységhez viszonyítva elegendően nagy (minimum 10-szerese), a mért értékek arányosak a repedés mélységével.

Sajnos ez a módszer nem ad csak közelítő értékeket. A pontosság függ a mérés körülményeitől, az anyagminőség változásától. A méréshez készíthetők ugyan mérő etalonok, de a tapasztalat azt mutatja, hogy a valóságos repedés jellemzői igen erősen eltérnek a műhibától, így a mérés pontatlan lesz.

A mérés pontatlanságát jelzi, hogy az utóbbi időben a műszergyártók nem is fejlesztettek ki ilyen elven működő új konstrukciót.

Összefoglalás

A repedésvizsgálati módszereket áttekintve a következőket állapíthatjuk meg:

A repedés helyének és hosszának meghatározása az ismert vizsgálati eljárásokkal, szükség esetén azok kombinált alkalmazásával, megfelelő pontossággal lehetséges.

A hibák mélységi méretének meghatározására általánosan alkalmazható vizsgálati technológia nincs. Lehetőség van viszont az adott konkrét feladathoz kidolgozott, egyedi technológiával, esetleg egyedi mérőfejekkel, a repedésmélység pontos mérésére is.

A repedésmélység mérési pontossága általában a milliméter, tízedmilliméter nagyságrendjébe esik, de a tényleges értéket mindig az adott vizsgálatához készült etalonokon végzett kísérleti mérések után lehet megadni.

943 073 140

VÁSÁROLNÉK

USK-7S és USL-32 típusú, esetleg ezekkel egyenértékű Krautkrämer gyártmányú, megkímélt állapotú ultrahangvizsgáló készüléket.

Ajánlatokat – ár és állapot megjelöléssel – vár:

István Zoltán, 3510 Miskolc, Pf. 625

Föld alatti tárolótartályok tömörségi vizsgálata

Dr. Balikó Sándor*

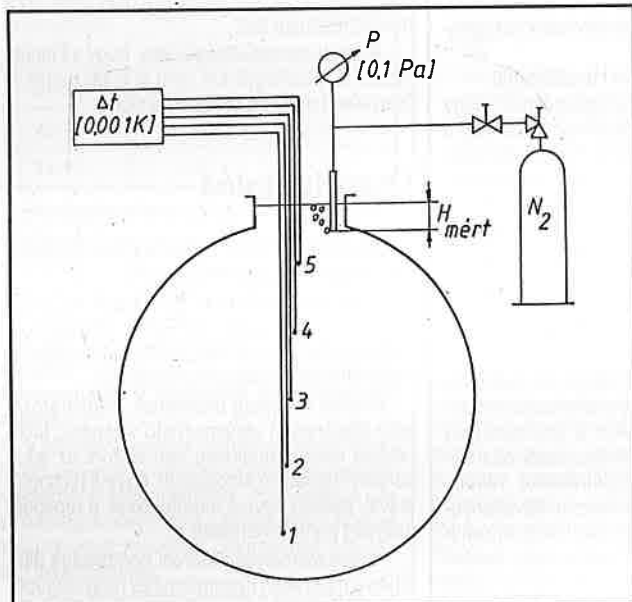
Az éghető folyadékokat tároló tartályok tömörségi vizsgálatát ez év márciusától a 11/1994. (III. 25.) IKM rendelet írja elő. Mivel e rendelettel egyidőben megjelent 42/1994. (III. 25.) Korm. sz. kormányrendelet hatálybalépése előtt az MSZ 9909 szabvány kötelező érvénnyel a gázzal és/vagy folyadékkal végzett nyomáspróbát írta elő, Magyarországon gyakorlatilag ezt az egyetlen módszert alkalmazzák a föld alatti tárolótartályok tömörségének ellenőrzésére.

Közben, a '70-es évek végétől, a nyugati világban rohamosan kezdtek szigorodni a környezetvédelmi előírások, megjelentek az újabb és újabb vizsgálati technikák, és már a '80-as években olyan pontossági követelményeket írtak elő, amelyeket a nyomáspróbával gyakorlatilag nem lehet elérni.

Ennek az irányzatnak a követésére a '80-as évek végén néhány lelkes szakember kollégával egy alapelvben új, a jelenlegi 0,2 US gal/h (0,756 l/h) amerikai pontossági előírásnak is megfelelő szivárgásmérési módszert dolgoztunk ki. A módszert – szabvány alóli felmentés birtokában – a gyakorlatban is alkalmazzuk, így mára már nemcsak rutint szerztünk a vizsgálati technikában, de számos mérési eredménnyel a módszer helyességét is bizonyítani tudjuk.

A mérési módszer

A módszer lényegében nagy pontosságú szintmérésen alapul (1. ábra). Az elszivárgó folyadék mennyisége annál nagyobb szintváltozást okoz, minél kisebb a szint szabad felszíne, ezért a mérés idején a tartályt a dómnyakig fel kell tölteni.



1. ábra Nagy pontosságú szintmérés elve

A mérés idején a tartály csatlakozásait ki kell szakaszolni, és a felszint szabadabbá kell tenni. Ekkor – izotermikus esetben – a szintváltozásból számítható térfogatváltozás az elszivárgó folyadék térfogatával egyenlő. A szint mérésére ún. buborékolatós szintmérőt [11] használunk, amely a gázzal töltött mérőszonda benyúlásának megfelelő hidrosztatikai nyomást érzékeli.

A mérés időtartama alatt a folyadék átlaghőmérséklete megváltozhat, ami – a hőtágulás mértékének megfelelően – megalapozhatja a mérési eredményeket. Melegedés esetén csökkenti, vagy éppen ellenkező irányúra is változtathatja a szintváltozásból számított szivárgás mértékét.

* energiagazdálkodási és lüzeléstechnikai szakértő

Hűlés esetén pedig szivárgást mutathat a tömör tartály esetén is. Ezért a folyadék átlaghőmérsékletének változását nagy pontosságú hőmérővel mérjük. A jelenleg alkalmazott módszernél öt pontban mérjük a hőmérsékletváltozást és az átlagot numerikus integrálással határozzuk meg.

Mivel a folyadék szabad felszínének mérése a benyúló csónkok és szondák miatt nehezen határozható meg, ezért a szintváltozás és térfogatváltozás közötti összefüggést mindig a helyszínen, kalibrálással állapítjuk meg. Így a mérési eredményekből meghatározható szivárgás:

$$q_{sz} = \frac{\Delta V}{T} = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\alpha} \Delta h - \beta V_0 \Delta T \right]$$

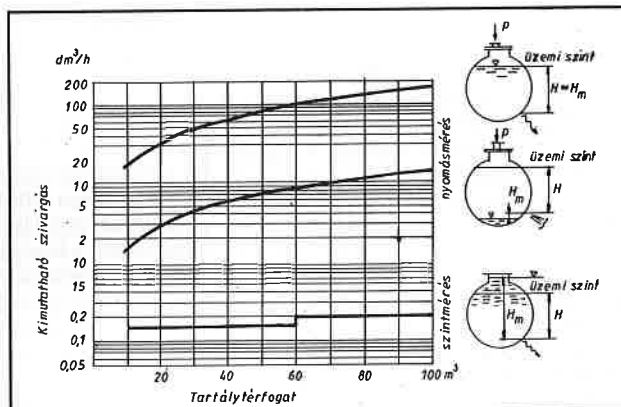
ahol ΔV a T mérési időtartam alatt elszivárgott folyadék térfogata, Δh a mért szintváltozás, β a hőtágulási együttható, V_0 a tartályban lévő folyadék térfogata, ΔT az átlaghőmérséklet megváltozása a mérés időtartama alatt és α az egységnyi térfogatváltozáshoz tartozó szintváltozás (kalibrációs állandó).

A mérés pontossága

A vizsgálat alkalmazhatóságának a kritériuma az a legkisebb szivárgási intenzitás, amelyet a módszerrel biztonságosan ki lehet mutatni. A pontosság meghatározására először számításokat végeztünk [3], majd ismert, tömör tartályokon végzett mérésekkel a pontosságot a gyakorlatban is igazoltuk úgy, hogy ismert térfogatú folyadékot vettünk el a tartályból.

A számítás is, és a gyakorlat is azt mutatta, hogy – attól függően, hogy a tartály egy vagy két dómnal rendelkezik –, 150–200 cm³/h az a szivárgási intenzitás, amit már biztonsággal ki tudunk mutatni.

Összehasonlításként számításokat végeztünk a gázzal történő nyomáspróba pontosságának a meghatározására is. Megállapítottuk, hogy a nyomáspróba pontossága legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint a szintmérésen alapuló mérésé, de abban az esetben, ha a tartály lyukadása a folyadéktérben van a vizsgálat alatt, a pontosság további egy nagyságrenddel csökken, [9] [10]. A kétféle módszer pontosságára mutat nagyságrendi összehasonlítást a 2. ábra és az 1. táblázat.



2. ábra. A gáznomás- és szintváltozás mérési módszerrel kimutatható szivárgás

Mérési módszer	Pontosság, dm ³ /h	
	10 m ³ -es	100 m ³ -es
tartálytérfogat esetén		
1. Tömítettségpróba		
a) lyukadás a gáztérben	1,0	20,0
b) lyukadás a folyadéktérben	10,0	200,0
2. Szintméréses szivárgásmérés	0,15	0,20

A kétféle módszer pontosságának mérésről történő összehasonlítására egy alkalom adódott [8], így a számítások helyességét mérési eredmények is megerősítik.

Mérési tapasztalatok

Az eddigiek folyamán mintegy 100 vizsgálatot végeztünk kísérleti jelleggel, majd nagyságrendben 50-et „élesben”.

A kísérleti mérések tapasztalatait [2]-ben összegeztük. Itt három tényező, a feltöltés, a buborékkoltatási sebesség, és a mérőszonda kialakítása mutatkozott lényegesnek.

Legnehezebb feladatot a tartály légszákmentes feltöltése jelenti. Légszák keletkezhet, ha a tartály megsüllyedt, és az egyik vége magasabban van, mint a dómnyak csatlakozása; ha a merevítő bordák a felső alkotó mentén tömören zárnak, ha a dómnyak benyúlik a hengerpalástba és nincs légzőfurat stb.

A légszák azért jelent problémát, mert egy bizonytalan méretű szabad felszín hoz létre, aminek következtében a szintváltozás nagyságrenddel is csökkenhet. Ráadásul a szint felszínének változásával a kalibrációs állandó is változik.

A buborékkoltatós szintmérés akkor ad pontos eredményt, ha a csatlakozó csőszakaszok hidraulikai ellenállása kicsi, és a buborékkoltatási sebessége egyenletes. A hazai reduktorokkal az egyenletes buborékkoltatási sebességet nehezen tudtuk biztosítani, ezért arra törekedtünk, hogy minél kisebb buborékkoltatási sebességet hozzunk létre, aminek következtében a csővezeték és a szonda ellenállása elhanyagolhatóvá válik. A sebesség túlzott csökkentése esetén viszont a buborékképzés szakaszos jellege miatt a gázoszlop pulzálni kezd, perces nagyságrendű lengések keletkeznek, és a mikromanométeren leolvasott értékek bizonytalanabbá válnak.

A két jelenség kölcsönhatása miatt a buborékkoltatás sebességét két korlát között kell tartani. Tüzelőolajnál a legkedvezőbb a 80–120 buborék/perc körüli érték.

A fenti lengés kialakulását segítheti, vagy csökkentheti a szonda végének kialakítása is. Legkedvezőbbnek a ferde levágású, sima szonda mutatkozott.

Elvileg a vizsgálatot úgy lehetne végezni, hogy a mérési időszak elején és végén mért értékek különbségéből számítjuk ki a szivárgást. A nagy pontosságú hőmérő azonban kimutatta, hogy a tartályban mindig

vannak mikroáramlások, amelyek a hőmérsékletek néhány ezred K nagyságrendű ingadozását okozzák. Emiatt a gyakorlatban 10 percenként olvassuk le a műszereket, és a kétórás mérési időtartam alatti leolvasott értékek trendjéből határozzuk meg az eredményt.

A gyakorlati alkalmazások során szintén a tartály feltöltése okozta a legtöbb problémát. Olyan helyeken, ahol csak egy tartály van, nemcsak a feltöltésről, hanem a mérés után, az üzemi maximális szintig történő leszivásról is gondoskodni kell. Olyan eset is előfordult, hogy a tartály feltöltése a megrendelőnek anyagi problémát jelentett.

Összességében elmondhatjuk, hogy az új vizsgálati módszer a gyakorlatban bevált, és a legtöbb helyen alkalmazható. Az esetleges nehézségeket inkább szervezési és anyagi problémák okozzák és csak ritkán, különleges esetekben adódnak technikai akadályok.

Irodalom

- [1] Bálint I. – Balikó S.: Föld alatti folyadéktároló tartályok szivárgásának ellenőrzése és mérése, Energiagazdálkodás, XXX. évf. 12. sz. (1989. dec.) pp. 534–538.
- [2] Balikó S.: Föld alatti tartályok szivárgásmérésének próbázemai tapasztalatai, Energiagazdálkodás, XXXI. évf. 5. sz. (1990. máj.) pp. 201–204.
- [3] Balikó S.: Föld alatti tárolótartályok szivárgásának mérési módszerei és a mérések megbízhatósága, Tanulmány a Környezetvédelmi és Rendszerfejlesztési Kft. megbízásából, Bp. 1989. nov.
- [4] Az Ipari és Kereskedelmi Minisztérium 11/1994 (III. 25.) IKM sz. rendelete.
- [5] MSZ 9909–1988 sz. magyar szabvány.
- [6] Olajkár a talajban. Kézikönyv a talaj, talajvíz szénhidrogén szennyezésének elhárítására. (Kézirat) – Környezetgazdálkodási Intézet, Bp. 1992.
- [7] Pribek P.: Olajtűzelés tervezése, kivitelezése, karbantartása, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1974.
- [8] Harmatpont Kft. 1993. nov. 10-i szivárgásmérési jegyzőkönyve.
- [9] Bögi L.: Szakdolgozat, Veszprémi Egyetem Géptan Tanszék, Veszprém, 1994. május.
- [10] Balikó S.: Folyadéktároló tartályok szivárgásvizsgálatának pontossága, Energiagazdálkodás (megjelenés alatt).
- [11] Ipari folyamatok műszerezése. Szerk.: Helm L., Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1966. 943 076 141

HÍREK

NATO a környezetünkért

A NATO Tudományos Tanácsa június 20-án Budapesten, az OMFB Székházában – először nem NATO-tagországban – tartotta környezetvédelemmel foglalkozó panel ülését. Ezt tudományos konferencia követte június 21–23. között Visegrádon, amelyet a Budapesti Műszaki Egyetem és a Floridai Állami Egyetem közös CHAERSE kutatóközpontja szervezett.

A NATO-tagországok és kilenc meghívott ország szakértői megvitaták a kelet-közép-európai volt szovjet katonai létesítmények környezet-rehabilitációjának technológiáját, és javaslatot készítettek egy magyarországi közös technológiai bemutató bázis létesítésére, amely lehetővé tenné a régió szakértőinek és döntéshozóinak mind a hagyományos, mind az új, összetett technológiák működés közbeni tanulmányozását.

A NATO-val való együttműködésünk egyéb regionális környezetvédelmi problémák megoldására is kiterjed, – tudtuk meg a sajtótájékoztatón –, mint például az erodált folyómedrek helyreállítása, az árvízvédelem és ártéri szabályozás, a tisztább technológiák és termékek a fenntartható fejlődéshez.

Műanyagbevonat és tűzvédelem

Ezzel a címmel közölt Farkas István beszámolót a Gépipar 1994. 7–8. számában arról a szakmai konzultációról, amelyet a GTE Korrozíós és Tűzvédelmi Központ Szakosztályai szerveztek ez év május 5-én, és amely az éghető, kiemelten a tűz- és robbanásveszélyes folyadékok tárolótartályainak belső, korrózióvédő műanyagbevonat-rendszereinek alkalmazási feltételeit tekintette át.

A konzultáción részt vettek a norvég-svéd Juton cég képviselői is, akik beszámoltak a szélsőséges időjárási viszonyok között is kiváló védelmet nyújtó poliészter és vinilészter bázisú bevonatrendszereikkel elért eredményeiről.

A tűz- és robbanásveszélyes folyadékok elektrosztatikus feltöltődési hajlamukból adódó veszélyek ismertek – mutatott rá Tóth Géza (Oilprojekt Kft.) –, amelyeknek elkerülésére – a bevonat alkalmazásától függetlenül – előírások találhatók a tárolásukat szabályzó szabványokban, például az MSZ 9909-1, 9910-1, 9920-ban. Ezért az illetékes hazai hatóságok, az Állami Energia- és Energiabiztonsági Felügyelet, a Tűzoltóság Országos Parancsnoksága, a Bányamérnöki Felügyelőség, esetenként a létesítési engedélyben kikötötték a belső műanyagbevonatok villamos vezetőképeségét az MSZ 16040/1–4 lapjaiban foglaltakhoz illeszkedve. Példa erre, hogy már 1984-ben a budapesti Mészáros utcai Schell benzintöltő állomás tartályainak belső festéséhez villamosan vezető anyagot használtak.

Bár a szabvány előírását a bevonat átvonó rétegébe ágyazott fémháló is kielégíti, mégis – mutatott rá nemzetközi szakértői tapasztalatai alapján dr. Berta István professzor (BME Nagyfeszültségű Tanszék) – nem felesleges a festékbevonat teljes keresztmetszetében a megfelelő villamos vezetőképeség mérésekkel ellenőrzött előírása. Ez tükröződik az elektrosztatikus veszélyek elhárítására vonatkozó nemzetközi szabványtervezetben is.

A hazai fejlesztésű – a Müki Kft., a Mol Rt. és a Systec Kft. által készített – antisztatikusnak minősíthető bevonattal szerzett kedvező tapasztalatokról számolt be Olasz Lajos. Véleménye szerint, ha a bevonat villamos ellenállása megfelel az érvényben lévő MSZ 16040/4 szabvány előírásának, azaz legfeljebb 10^6 ohm, akkor a benzinfélek tárolása, mozgatása során keletkező feltöltődést a bevonat elvezeti.

A szakmai konzultáció alapján kimondható, hogy a szigetelőanyagként viselkedő éghető és/vagy robbanásveszélyes anyagok (porok is) tároló tartályai belső bevonatainak villamos vezetőképeségét elő kell írni és a használatba vétel előtt – a felület nagyságától függően – kellő számú ponton ellenállásméréssel ellenőrizni kell.

– ferko–

A gyorsított időjárásállósági vizsgálatok összehasonlítása

Kovácsné Dr. Stahl Ágnes*

Bevezetés

Noha évtizedek óta számos kutató foglalkozik a festékbevonatok gyorsított időjárásállósági vizsgálatával és azok értékelésével, a mai napig is számos alapvető kérdés tisztázatlan mind a szakirodalomban, mind a nemzetközi szabványokban. Érthető tehát, hogy a különböző készülékeket alkalmazó kutatók és minősítő intézetek eredményei nincsenek összhangban.

A gyorsított vizsgálatok szükségességét ma már nem kell különösebben indokolni, hiszen az eltérő klímaviszonyú kitéti állomások, a soha nem ismétlődő időjárási viszonyok, valamint ezen vizsgálatok időigénye egyértelműen indokolják a gyorsított vizsgálatok alkalmazását.

Attérintve a jelenleg érvényes nemzetköz szabványokat [1] látjuk, hogy milyen sok, eltérő megoldást kínáló lehetőség szerepel közöttük. Csak a legfontosabb károsító tényezőre vonatkozóan léteznek szén-ívlámpás és xenonlámpás készülékek, különböző szűrőkombinációkkal, valamint fénycsöves berendezések, többféle ultraibolya sugárzással. Ezen kívül eltérő megoldású nedves ciklusok léteznek, és a ciklusidőre vonatkozóan is bőséges a variációk száma.

Annak igazolására, hogy ez a kérdéskör milyen intenzíven foglalkoztatja a kutatókat megjegyzem, hogy csak egy évet és egy folyóiratot (Farbe und Lack) tekintve a következő cikkek foglalkoznak a gyorsított időjárásállóság kérdéskörével.

B. Flacke közöl egy összeállítást [2] elsősorban a német nyelvterületen manapság kapható készülékekről, amelyben szemléletesen összefoglalja a gyorsított időjárásállósági vizsgálat eszközök paramétereit.

Ismert tény, hogy a szokásos gyorsított vizsgálatok során az időjárás károsító tényezői közül csak néhányat: a napfény, a hőmérséklet és a nedvesség hatását szimuláljuk. Egy különleges effektus, a savas eső imitálásáról számol be U. Schulz és P. Trubiroha [3].

Egy rendkívül széleskörű vizsgálatról olvashattunk T. Helmen és Y. Fakhoury [4] cikksorozatában. 12 festékbevonatot vizsgáltak 9 kitéti állomáson és 9 féle gyorsított vizsgálati berendezésben. Ilyen nagyszámú vizsgálat esetén az eredmények diszkutálása igen nehéz feladat.

Nagyon fontos ismernünk a gyorsított időjárásállósági vizsgálatok korlátait, amellyel kapcsolatos D. Kockott összefoglaló cikke [5].

Intézetünkben igen régóta foglalkozunk az öregítési vizsgálatok kérdésével, és az előző FATIPEC konferencián is ennek egyik aspektusával kapcsolatos eredményeinkről számoltunk be [6]. A fény-sugárzás fontosságát és napfényhez történő illesztését – főként az ultraibolya tartományban – régóta tanulmányozzuk. Már korábban megállapítottuk [7], hogy helytelen eredményekre vezet a xenonlámpás készüléket kiegészítő szűrő nélkül használni, illetve UV-B fénycsövel öregíteni a festékbevonatot. Mindkét esetben olyan nagy energiájú sugárzás éri a polimerfilmet, ami a természetben nem fordul elő.

Ekkor találkozunk azzal a meglepő eredménnyel, hogy noha a xenonlámpás készülékben nagyságrenddel nagyobb a felületegységre eső energia, mint a fénycsöves készülékben, összemérhető időtartam alatt következik be azonos színváltozás és mattulás mindkét készülékben.

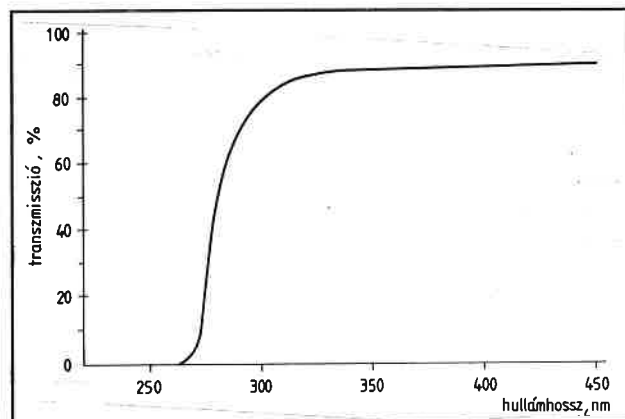
Mivel a kétféle készülékben megvalósított sugárzás spektrális energiaelosztása jelentősen különbözik egymástól, valamint a fénycsöves készülékek a látható tartományban gyakorlatilag nem sugároznak, fontosnak tartottuk annak tisztázását, hogy színes bevonatok vizsgálatakor milyen korreláció adódik. Más szóval, használható-e a színes zománcok vizsgálatára a fénycsöves készülék, vagy csak pigmentálatlan, illetve fehér rendszerek öregítésére alkalmazható?

* Festékipari Kutató Kft., Budapest

Vizsgálatok

Vizsgált rendszerek

A színes festékbevonatok vizsgálataihoz egy hidroxilakrilát bázisú, kétkomponenses rendszert választottunk. A kötőanyag UV-transzmisszióját az 1. ábrán mutatjuk be. A görbe lefutásából kitűnik, hogy ez a kötőanyag a földre érkező sugárzást gyakorlatilag teljesen átérteszti, ami azt jelenti, hogy a kötőanyag az UV-sugárzástól közvetlenül nem károsodik.



1. ábra. A vizsgált festék-kötőanyag UV-áteresztőképessége

A színes pigmenteket igyekeztünk úgy megválasztani, hogy a szintér minden irányban, lehetőleg nagy fedettséget érjünk el. Az 1. táblázatban felsorolt pigmentekből készítettük el az egypigmentes festékeket.

1. táblázat

A vizsgált zománcokhoz felhasznált pigmentek

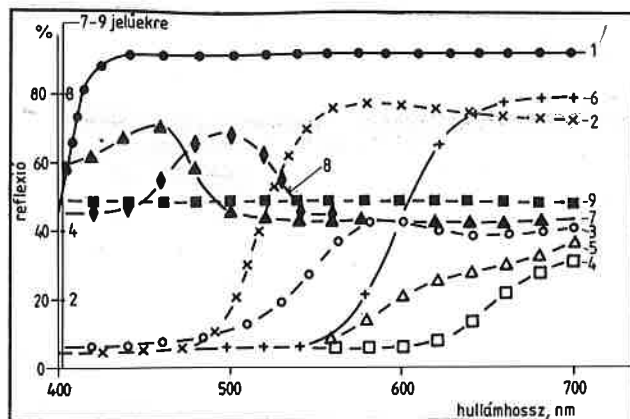
Sor-szám	Color index		Típus
	neve	sorszáma	
1.	Pigment White 6	77891	titanium dioxide
2.	Pigment Yellow 34	77603	chrome yellow
3.	Pigment Yellow 42	77492	iron oxide yellow
4.	Pigment Red 88	73312	thioindigo
5.	Pigment Red 101	77491	iron oxide red
6.	Pigment Red 104	77605	molybdate red
7.	Pigment Blue 15:2	74160	phthalocyanine blue
8.	Pigment Green 7	74260	phthalocyanine green
9.	Pigment Black 7	77266	carbon black

A 2. táblázatban megadjuk a festékbevonatok CIE színjellemzőit, 2. ábrán pedig a bevonatokon mért reflexiós görbéket.

2. táblázat

A vizsgált zománcok CIE színjellemzői

Sor-szám	Világosság L*	Telítettség C*	Színezeti szög h°
1.	97,0	1,0	166
2.	83,0	90,0	92
3.	61,5	48,5	79
4.	27,5	13,0	15
5.	39,0	34,5	37
6.	50,5	68,5	38
7.	25,0	11,0	295
8.	26,0	4,5	231
9.	26,5	0,5	196



2. ábra. A vizsgált festékbevonatok reflexiós görbéi

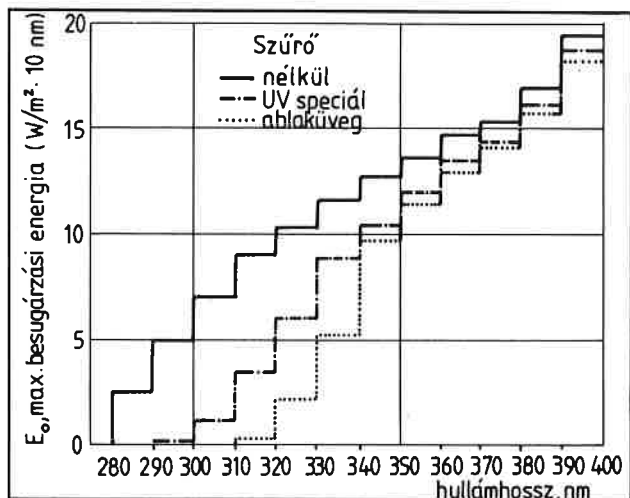
Gyorsított időjárásállósági vizsgáló berendezések

Xenonlamps készülek

Xenotest 1200 (gyártó: Original Nanau GmbH) készülékben az alábbi vizsgálati paraméterekkel végeztük a mintalemezek öregítését.

A-sorozat

Szűrő: UV-speciál-üveg, melynek spektrális átérésztése az UV-tartományban a 3. ábrán látható.



3. ábra. A Xenotest 1200 típusú készülék spektrális energiaeloszlása az UV-tartományban

A minták tengelyük körül forognak.

A „fekete tábla” hőmérséklete: 50°C.

Az esőztetési ciklus: 17 perc/3 perc.

A 17 perces száraz periódus alatt a relatív páratartalom: 60%.

A 3 db xenonlámpa összteljesítménye: 4500 W

UV-fénycső/kondenzációs berendezés

Q. U. V. Accelerated Weathering Tester-ben (gyártó: Q-Panel Co.) kétféle öregítési módszerrel végeztünk vizsgálatokat. A 8 db fénycső összteljesítménye: 320 W volt mindkét esetben.

B-sorozat

fénycső: UVA-351 (speciális energiaeloszlás a 4. ábrán)

megvilágítási időtartama: 4 óra

fekete tábla hőmérséklete: 60°C

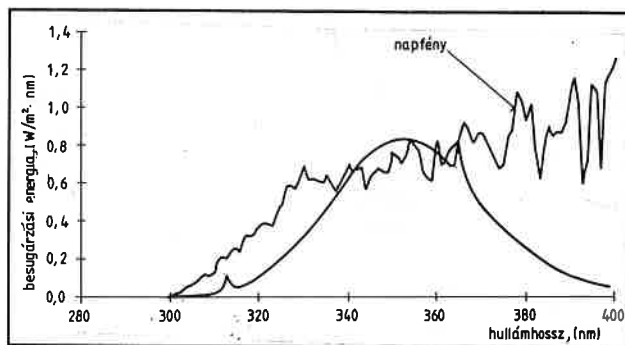
relatív páratartalom: 60%

kondenzációs periódus időtartama: 4 óra

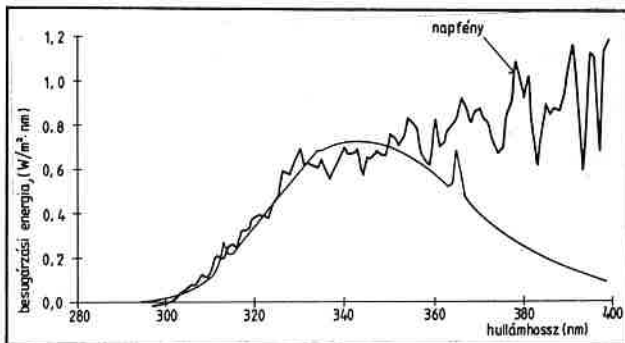
fekete tábla hőmérséklete: 40°C

C-sorozat

fénycső: UVA-340 (speciális energiaeloszlás a 5. ábrán)



4. ábra. Az UVA-351 típusú fénycső spektrális energiaeloszlása

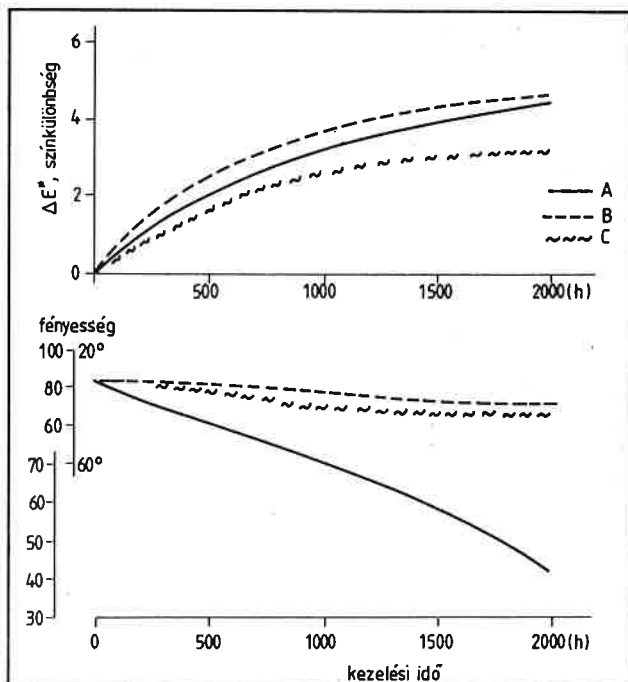


5. ábra. Az UVA-340 típusú fénycső spektrális energiaeloszlása

megvilágítás időtartama:	6 óra
fekete tábla hőmérséklete:	60°C
relatív páratartalom:	60%
kondenzációs periódus időtartama:	2 óra
fekete tábla hőmérséklete:	40°C

Öregedési folyamatok követése

A bevonatok degradációs folyamatainak követésére szín- és fényességméréseket végeztünk rendszeres időközönként. Az optikai tulajdonságokban bekövetkezett változások értékelésére az objektív mérési módszereket kellően érzékeny módszernek találtuk.



6. ábra. A fehér zománc szín- és fényességváltozása az A, a B és a C öregítési módszert alkalmazva

Vizsgálatok eredményei; értékelés

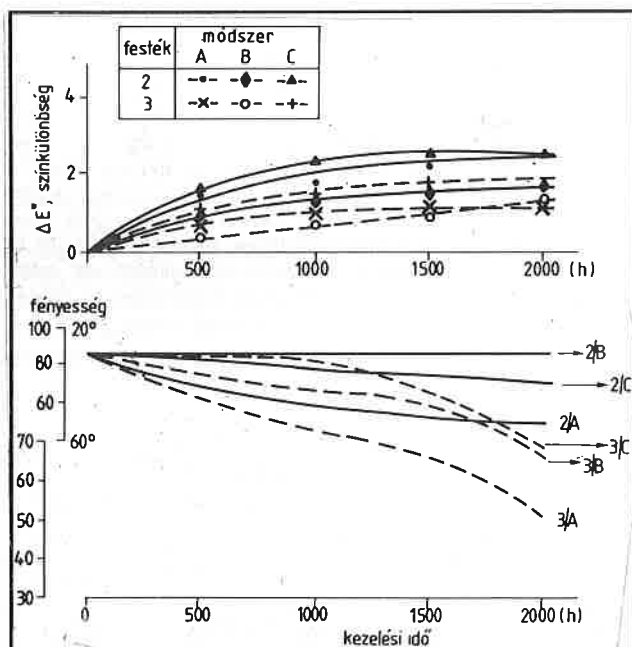
A különböző színű festékbevonatokat mindhárom módszerrel 2000 órán keresztül öregítettük. A 6. ábrán a titán-dioxiddal pigmentált, fehér festékbevonat háromféle öregítése során mért szín- és fényességváltozását tüntettük fel. A ΔE^* értékek alakulásából kitűnik, hogy a különböző öregítési módszerek okozta sárgulási folyamatok mértékében nincs lényeges eltérés. A mattulási görbéket tekintve az látszik, hogy a xenonlámpás berendezésben nagyobb a fényességszökkenés, mint a fénycsöves készülékben.

Az összes egypigmentes színes festékbevonatnál hasonló módon ábrázolva a mért változásokat azt állapíthattuk meg, hogy a sötét minták kivételével nincs lényeges eltérés a különböző készülékekben, azonos kezelési idő alatt bekövetkező színváltozások mértékében. Meglepőnek tűnik ez az eredmény, ha meggondoljuk, hogy milyen különböző a fényforrások összeteljesítménye; nagyságrenddel nagyobb a felületegységre jutó energia a xenonlámpás készülékben.

A fényességszökkenési görbék értékeléséből kitűnik, hogy a Xenotest-ben végzett öregítés mindig nagyobb mattulást eredményezett, mint a fénycsöves készülékben végzett kezelés.

Mivel a gyorsított időjárásállósági vizsgálat mindig összehasonlító jellegű, tehát annak megállapítására irányul, hogy több rendszer közül melyik a jobb az eredmények bemutatására célszerűnek találtuk az azonos színezetű, illetve világosságú bevonatok összehasonlító értékelését.

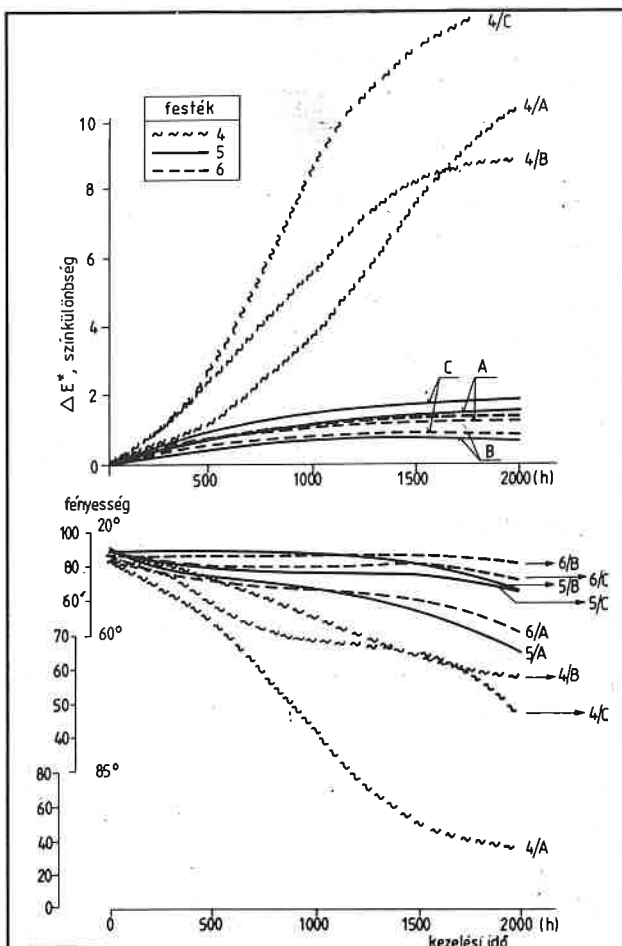
A 7. ábrán a kétféle sárga színű minta szín- és fényességváltozását tüntettük fel. A Xenotest készülékben (A-módszer) végzett 2000 órás öregítő kezelés során a 2. jelű, krómsárgával pigmentált festék színváltozása volt nagyobb, míg a 3. jelű, vasoxidal pigmentált bevonat jobban mattult. Az UVA-351-es fénycsövel végzett öregítésnél (B-módszer) a két



7. ábra. A sárga zománc szín- és fényességváltozása az A, a B és a C módszert alkalmazva

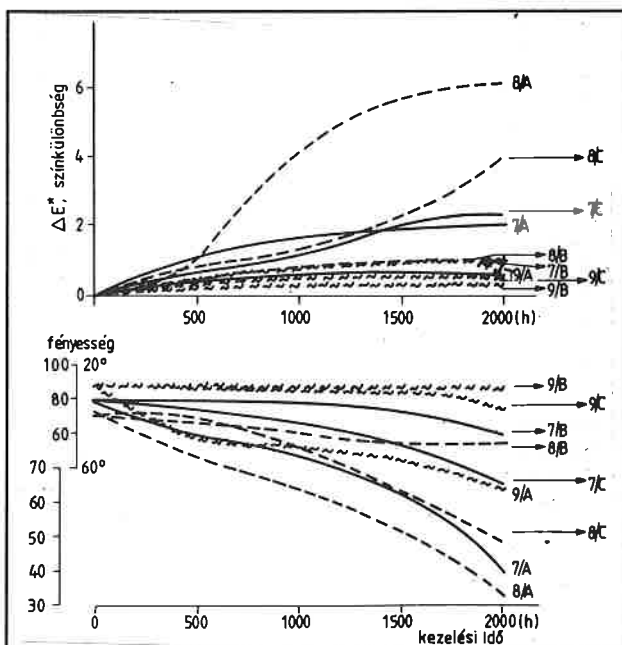
festékre azonos sorrendiség adódott, csak a változások mértéke maradt el némileg az előzőhöz képest. A C-vizsgálatsorozat (UVA-340) eredményei: a minták jósági sorrendje, a színváltozás mértéke és iránya egyező a Xenotest-es kezelés során mért értékekkel, azonban a bevonatok mattulása kissé elmaradt azoktól.

A 8. ábrán három különböző, vörös színű festékbevonat gyorsított időjárásállósági vizsgálatának eredményei láthatók. Az A-sorozat eredményeiből kitűnik, hogy a szerves pigmenttel készült bevonat (4. jelű) igen nagy színváltozást szenvedett és teljesen lemattult a Xenotest-es kezelés (A) során. A két szervetlen pigmentet tartalmazó festékek színváltozása kicsi volt és közepes mértékben mattultak a 2000 órás öregítés alatt. Minden változást, a szín- és fényességértékek különbségeit figyelembe véve, a molibdén-narancssal pigmentált bevonat (6. jelű) mutatkozott a legjobbnak.



8. ábra. A piros zománc szín- és fényességváltozása az A, a B és a C módszert alkalmazva

Az UVA-351 típusú, kisebb energiatartalmú fénycsövel végzett öregítés (B-sorozat) eredményei alig maradnak el az A-sorozatától, a sorrendiség pedig teljesen megegyezik vele.



9. ábra. A sötét zománc szín- és fényességváltozása az A, a B és a C módszert alkalmazva

A C-sorozat, az UVA-340-es fénycsővel végzett öregítésnél a kisebb színváltozást mutató, az 5. és 6. jelű bevonatok ΔE^* értékei hasonlóak; a leggyengébb, a szerves pigmenttel készített festék színváltozása pedig meghaladja a xenonlámpás öregítés (A) értékeit. A fényességcsökkenés számszerű adatai kissé elmaradtak az A-sorozaton mért mattulás értékei-től, de a minták jósági sorrendje itt is azonos.

A 9. ábrán a három legsötétebb bevonat öregítési eredményei láthatók. A Xenotest-es öregítés során (A) a legjobbnak a korommal pigmentált bevonat (9. jelű) mutatkozott: elhanyagolható színváltozás mellett közepes mértékű mattulást mértünk a 2000 órás kezelés során. A ftalocianin-kékkel készített bevonat (7. jelű) színváltozása kismértékben, mattulása pedig lényegesen nagyobb volt mint a fekete zománcé. A leggyengébbnek a ftalozöld pigmenttel készített festék (8. jelű) mutatkozott: színezete jelentősen megváltozott (kékes árnyalatú lett) és mattulása is a legnagyobb volt a kezelés során.

A B-sorozat eredményei mutatták az A-hoz képest a legnagyobb eltérést. Noha a jósági sorrend azonos, de mindhárom bevonatnál elhanyagolható színváltozást és kismértékű mattulást mértünk 2000 óra után.

A C-módszerrel szemben is a leggyengébbnek a 8. jelű festék bizonyult, bár az ΔE^* görbe jellege eltérő; csak a fekete és kék zománcra mért színváltozás hasonló, a sötétzöld bevonat színe kevésbé változik a fénycsővel készülőben. A fényességcsökkenési görbék csak kicsit maradnak el a Xenotest-es kezelés értékeitől. A színváltozások mértékén túl, azok irányát elemezve azonban azt találjuk, hogy az igen sötét színű bevonatok esetén a különböző öregítési módok különböző irányú színváltozásokat eredményeznek. Amíg a Xenotest-ben végzett kezelésnél a színes sötét bevonatok még sötétebbé válnak, addig a fénycsővel készülőben, az UVA-340-es fényforrást alkalmazva, világosodnak, fakulnak a bevonatok.

A teljes vizsgálatssorozatból összefoglalóan azt állapítottuk meg, hogy – a nagyon sötét ($L^* < 30$) bevonatok kivételével – a fénycsővel berendezésben, UVA-340-es csővel alkalmazva kb. azonos vizsgálati idő alatt jól korreláló eredmények adódnak, a Xenotest-ben, kiegészítő szűrővel, végrehajtott gyorsított időjárásállósági vizsgálatok eredményei-vel.

A kérdés jelentőségét növeli a vizsgálati költségek közti jelentős különbség. A xenonlámpás készülékek ára, a lámpák költsége és energiaigénye többszörösen meghaladja az egyszerűbben kezelhető fénycső-vel berendezés üzemeltetési költségeit.

Úgy gondoljuk, hogy jól definiálható korlátozással a fluorescent UV-condensation apparatus jól alkalmazható színes festékbevonatok gyorsított időjárásállóságának vizsgálatára.

Irodalom

- [1] ASTM G23; G26; G53; DIN 53231-91; DIN 53384-89; DIN 53387-89; ISO/DIS 4892; ISO/DIS 11341
- [2] B. Flacker: F + L, Vol. 98. 9/1992. p. 700-705.
- [3] U. Schulz, P. Trubiroha: F + L, Vol. 99. 6/1993. p. 512-516.
- [4] T. Helmen, Y. Fakhoury: F + L, Vol. 99. 4/1993. p. 332-339.; 5/1993. p. 431-435.; 6/1993. p. 517-521.
- [5] D. Kockott: F + L, Vol. 99. 8/1993. p. 718-723.
- [6] A. Kovács-Stahl, M. Övári, J. Bognár: XXI. FATIPEC Congress, Vol. 2. p. 187-206., 1992.
- [7] A. Kovács-Stahl, F. Horkay: F + L, Vol. 90. 12/1984. p. 994-1000.

943 078 142

A röntgenemissziós analitika

Dr. Bacsó József*

Bevezetés

Napjaink fejlett világában a humán aktivitás soha nem látott magas szintet ért el mind ipari, mind mezőgazdasági területen. A megnövekedett hatékonyságú tevékenység – „intenzifikált” munkavégzés – több szempontból is fokozott követelményt állít a termelés folyamán felhasznált anyagokkal szemben, amit megfelelően gyors, nagy érzékenységgű és pontoságú, nemegyszer roncsolásmentes analitikai módszerekkel lehet csak kielégíteni. Mindenek előtt a gyors és nagy volumenű automatikus termelősortok igényelnek gyors analitikai módszereket, amikor a termelési tevékenység több fázisában is kell ellenőrizni a felhasznált anyag tisztaságát, vagy egy-egy folyamat eredményét. Különösen érvényes ez a félvezető, az elektronikus, és más „high-tech”-et alkalmazó iparágakra, de egyre inkább követelmény a hagyományosabbnak tekintett fekete- és színesfém iparban is.

Az intenzifikált termelés és a nagy gépkocsi forgalom miatt a szerves és szervetlen termelési hulladékok óriási mennyisége egyre fokozottabb mértékben terheli a környezetet. A környezetidegen anyagok nagy mennyiségének a környezetbe való kibocsátásával, helyileg erősen eltolódik a természet nyomelem és szerves anyag összetétele. A toxikus szerves és szervetlen anyagok lassú vagy hirtelen felszaporodása a bioszférában (levegő, víz, talaj) nemegyszer vezetett már katasztrófához. Emlékeztetek a norvég [1] és japán [2] Hg-mérgezésekre, az indiai gáz-mérgezésre, de említhetjük a hazai halpusztulásokat és a rákos megbetegedések nagyarányú elszaporodását is.

Az intenzív nagyüzemi mezőgazdasági termelésnél alkalmazott megfontolatlan mennyiségű műtrágya (nitrogén, foszfor), a baromfi és sertés-telepek kezeletlenül kiengedett melléktermékei stb. szintén nagymértékben szennyezik az emberi környezetet.

Mindezek a jelenségek, mind a fokozott ipari termelés (megnövekedett minőségellenőrzési igény), mind a környezet összetételének az élet fenntartásához alkalmas megőrzése hathatós gyors analitikai módszereket igényelnek.

A felsorolt követelményeket többé-kevésbé kielégítő és hazánkban is hozzáférhető analitikai eljárást, a röntgenemissziós analitikai (REA) módszert, (angol néven X-Ray Fluorescence Analysis = XRF), [használatos

még az energia diszperzív rtg. – fluoreszcens (EDXRF) elnevezés is], illetve ennek egy továbbfejlesztett változatát a totálreflexiós röntgen-emissziós analitikai módszert, a TRXRF-t szeretném itt bemutatni. A módszer(ek) gyakorlati alkalmazási lehetőségeit hazai laboratóriumokban végzett vizsgálatokkal, kutatási eredményekkel – illetve a TRXRF esetében – irodalmi példákkal szeretném egy következő közleményben demonstrálni.

A röntgenemissziós analitikai (REA) módszer alapja

Míg az optikai szinképelemzés alapjait képező átmenetek szereplői a vegyérték elektronok, (az atomi kötélekből legkisebb munkával szabaddá tehető elektronok), addig a karakterisztikus röntgensugarak keltésénél a legbelső (a legnagyobb energiával kötött) elektronok a főszereplők. Ha a K- vagy L-héjakban valamilyen módon vakanciák jönnek létre, a megüresedett helyeket alacsonyabb energiájú elektronok kb. 10^{-15} s alatt elfoglalják, karakterisztikus röntgensugárzás, vagy Auger-elektronok kibocsátása kíséretében. A folyamatot kísérő karakterisztikus röntgensugarak jellemzőek az őket kibocsátó elemre. Ezért, ha bármely tetszőleges mintában lévő elemek röntgensugárzását keltjük és azok energiáját és intenzitását pontosan megmérjük, meg lehet mondani, hogy milyen elemek, milyen arányban alkotják a szóban forgó mintát. A különböző analitikai megoldásokról, beleértve a matematikai összefüggéseket is az olvasó részletes információt szerezhet a szakirodalomból [3-8]. Hevessy György ezzel a módszerrel bizonyította a Hf létezését 1923-ban, ami addig hiányzott a periódusos rendszerből.

A mérések kivitelezése

A karakterisztikus sugárzás keltése

Attól függően, hogy a mintában lévő elemek karakterisztikus sugárzásának keltésére milyen módszert választunk (ezt részben célszerűségi okok részben az adottságok határozzák meg) beszélünk XRF, PIXE (Proton Induced X-ray Emission), SRXRF (Sincrotron Radiation X-ray

* MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen

Fluorescence) vagy TRXRF (Total Reflexion X-ray Fluorescence) módszerrel.

Az XRF módszerrel a gerjesztés vagy izotóp eredetű röntgen-, vagy gammasugárzással, vagy röntgensugárból származó sugárzással történik. Radioaktív forrással történő gerjesztéshez az optimális geometria elérése érdekében, az esetek többségében, gyűrű alakú forrást használunk. Ez a minta esetleges felületi inhomogenitásából eredő analitikai hibákat is mérsékli. A leggyakrabban használt radioaktív források fontosabb adatait az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

Leggyakrabban használt gerjesztő radioaktív források

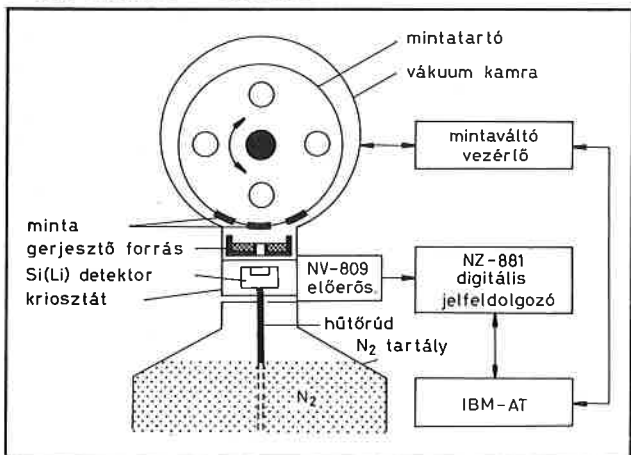
Radio-izotóp	Bomlás-típus	T _{1/2}	Hasznos sugárzás fajtája, energiája (keV)		Tipikus aktivitás GB _q	Gerjeszthető elemek
³ H-Ti	β ⁻	12,3 a	folytonos Ti, <i>Kxsug.</i>	3–10 4–5	185	Na–Cu, <i>K</i>
³ H-Zr	β ⁻	12,3 a	folytonos	2–12	185	– Zn, <i>K</i>
⁵⁵ Fe	EC	2,7 a	Mn, <i>Kxsug.</i>	5,9	7	Al – Cr, <i>K</i>
⁵⁷ Co	EC	270 d	Fe, <i>Kxsug.</i> γ γ γ	6,4 14 122 126	20	– Cf, <i>K</i>
¹⁰⁹ Cd	EC	1,3 a	Ag, <i>Kxsug.</i>	22 88	3,7	Ca–Tc, <i>K</i> W – U, <i>L</i>
¹²⁵ I	EC	60 d	Te, <i>Kxsug.</i> γ	27,4 35	0,5–1	– Xe, <i>K</i> – U, <i>L</i>
²¹⁰ Pb	β	22 a	Bi, <i>Lxsug.</i> γ	11 47	3	– Sm, <i>K</i>
²³⁸ Pu	α	89,6 a	U, <i>Lxsug.</i>	15–17	1	Ca – Br, <i>K</i> W – Pb, <i>L</i>
²⁴¹ Am	α	470 a	Np, <i>Lxsug.</i> γ γ	11–22 26,3 59,6	2	Sn – Tm, <i>K</i>

A PIXE rövidítés a proton indukált röntgenemisszió alapuló analitikai módszert jelöli, de a „Particle Induced X-Ray Emission” kifejezés rövidítésére is használt. Ezen módszer művelése legalább Van de Graaf gyorsító vagy ciklotron üzemeltetését tételezi fel. A gerjesztő nyaláb geometriai mérete a gyorsító ion-optikai rendszerétől függően lehet tetszőleges nagyságú; makro- (normál méret kb. 1 cm²), mikro- (néhány μm²) méretű. A módszer megválasztása feladat, illetve adottság függ.

Az 1. ábrán laboratóriumunkban kifejlesztett automatizált mintaváltóval ellátott radioizotóp gerjesztésű REA-berendezés sematikus metszete látható.

Az SRXFR betűszó a szinkrotron üzemeltetésénél (állandó méretű körpályán nagy sebességgel keringő, töltött részecskeáram) fellépő igen nagy intenzitású, polarizált és hangolható energiájú röntgennyaláb analitikai célú felhasználását jelöli.

Az így nyert gerjesztő sugárzás intenzitása 2-3 nagyságrenddel meghaladja a szokásos röntgensugárzó gerjesztő intenzitását.



1. ábra. Automatikus REA-berendezés elvi felépítése

Az eddig ismertetett módszerekre az a jellemző, hogy a vizsgálandó minta (rendszerint tabletta) vastagsága néhány mg/cm²-től akár a g/cm²-ig terjedhet. Sajnos ez utóbbi esetben a jelfeldolgozó rendszerben feldolgozott jelek (impulzusok) 95-98%-át a visszaszóró sugárzástól származó jelek teszik ki, ami az analitikai munka szempontjából csaknem haszontalan. Sőt, mivel az analitikai tartományban a háttér intenzitás zömét elsősorban a visszaszóró (rugalmas és rugalmatlan) csúcsból kiszóródott sugárzás adja, a detektálási küszöb alsó határát ez determinálja. A visszaszóró sugárzást csökkentendő, került kidolgozásra az ún. totál reflexiós módszer (TRXRF), [9].

Ennek az a lényege, hogy a gerjesztő sugárzás sűrűlő beeséssel (a totális visszaszórás szögénél valamivel kisebb szög alatt) esik a mintára, amit rendkívül vékony (μm-es vastagságú) rétegbe kell preparálni az igen nagy tisztaságú kvarc, Si, Ge egykristály optikailag sík felületére. A totális reflexió miatt a gerjesztő sugárzás csak a mintát járja át, de nem hatol be a mintatartóba. Így a visszaszóró sugárzás több nagyságrenddel lecsökken. A ténylegesen mért spektrum gyakorlatilag így csak a mintában lévő elemek gerjesztett karakterisztikus sugárzását tartalmazza. TRXRF módszer művelése csak röntgensugárzó vagy szinkrotron sugárzás gerjesztésével lehetséges. (A TRXRF módszerről dr. Záray Gyula írt részletesen az ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA 1993/3. számában – a szerkesztő.)

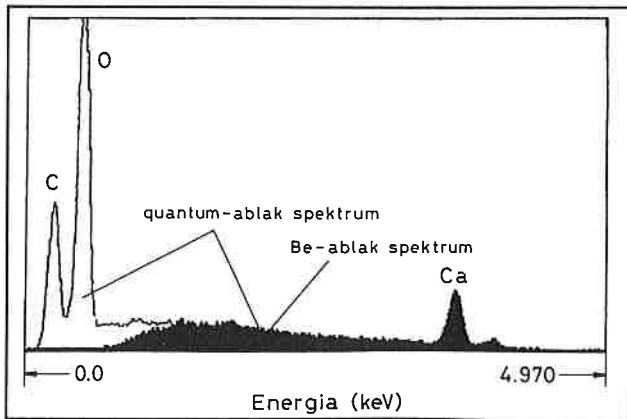
Detektálás, energiamérés

A karakterisztikus sugárzás jellemzője, hogy egy adott elem mindig ugyanolyan energiájú sugárzást bocsát ki. A különböző kémiai állapotok (eltérő vegyület forma) észrevehető energiaeltolódást csak igen ritka esetben (csak az alacsony rendszámú elemeknél: Al, Si, P, S, Cl, K, Ca) okoznak. Így az egy mintából származó karakterisztikus sugarak energiájának pontos méréséből, a kibocsátó elemek kvalitatív meghatározását nyerjük.

Ha egy mintának a röntgenspektruma hű képet ad a mintában lévő elemek minőségéről, elvárjuk, hogy a spektrum egyes vonalainak intenzitása arányos legyen a kibocsátó elem mintában lévő koncentrációjával. Bár egy tetszőleges elem mérhető röntgenhozama és mintában lévő koncentrációja között bizonyos esetekben igen bonyolult matematikai összefüggés létezik, az elem koncentrációja a mért röntgenhozamból nagy pontossággal meghatározható.

Mindebből következik, hogy minél pontosabb az energiamérés és a kvantumszámlálás, annál megbízhatóbb kvalitatív és kvantitatív analízist lehet a mintán elvégezni. Ezekhez mindenképp először nagyon alacsony zajú röntgensugár-detektorra, valamint veszteség- és jeltorzítás mentes jelfeldolgozó elektronikus rendszerre van szükség.

Detektor. Az energia diszperzív röntgenspektrometriában nagy fényerejű félvezető detektorok használatosak. A Si- és Ge-alapú félvezető detektoroknak folyékony N₂-hűtést alkalmazva, olyan alacsony zajuk van, hogy a megfelelő minőségű elektronikus jelfeldolgozó rendszerrel együtt, 140-160 eV energia felbontását (FWHM = teljes vonalszélesség a csúcs félmagasságánál) lehet elérni a Mn K-α (5.898 keV) vonalára. Az EDXRF rendszerekben használt Si-alapú félvezető detektorok érzékeny vastagsága 3-5 mm és hasznos területe 10-50 mm², ritkán nagyobb (80-100 mm²). Ilyen detektorméretek közel 100%-os abszorpciós hatásfokot biztosítanak 25 keV röntgen- és gammasugár-energiáig. Az abszorpciós hatásfokot az alacsony energiájú oldalon a Be-ablak abszorpciója csökkenti, aminek tipikus vastagsága 7 és 25 μm között változik.



2. ábra. A quantum- és Be-ablak hatása a röntgenspektrumra

1987-ben G. Aden és D. Isaacs, (KEVEX Co.) [10], adtak hírt az ún. „Quantum”-ablakról, amelynek abszorpciója kb. 0.5 µm vastagságú Be-ablak abszorpciójának felel meg. Egy kalcitmintáról Be- (8 µm) és Quantum-ablak felvett spektrum mutatja a Quantum-ablak előnyét (2. ábra). Sajnos egy ilyen készülék ára 35–50.000 USD között mozog és önmagában az ablakot természetesen nem forgalmazzák.

A jelenlegi detektorkészítési technikával HPGe-ből 5–10 mm vastagságú detektor könnyedén készíthető, aminek abszorpció határfoka még 100 keV-nél is közel 100%-os. Szépséghibája a Ge-detektoroknak, hogy az „escape”- (megszökési) csúcs már számottevő (kb. 5%), ami azt jelenti, hogy minden detektált vonalat kísér egy 11.103 keV-nél (a Ge abszorpció energiája) alacsonyabb energiájú, escape vonal. Ez nyomelemzésnél zavaró lehet.

Elektronikus rendszer. Egy spektrométer energiafelbontó képességét főleg a két legfontosabb alkatrésze a detektor és az előerősítő első fokozatában lévő FET-zaja határozza meg. A detektorhoz csatlakozó elektronikus mérőrendszer szerepe a kis amplitúdójú detektorjelek erősítése, a detektortól és az előerősítőtől származó zajok szűrése, valamint az így kapott kimeneti jelek sokcsatornás amplitúdó szelektálása a spektrum előállítás érdekében. A fenti folyamatok időigényesek, (10–100 µs) ezért a detektált jelek egy része a feldolgozás során elvesz. Minél nagyobb a mérendő intenzitás (cps), annál nagyobb a veszteség százaléka. A veszteségek csökkentése csak különleges eljárások segítségével lehetséges. Ilyen módszereket alkalmaznak az ún. időben változó paraméterű [10], vagy digitális jelfeldolgozó rendszerekben [11]. Ez utóbbiak automatikusan elvégzik az amplitúdó szerinti szelektálást is. Ez a készülék IBM vagy kompatibilis PC-hez illesztett. Így ezekkel kombinálva komplett spektrométert kapunk.

Mintaelőkészítés.

Az XRF-en alapuló analitikai technikák (kivéve a TRXRF-et) általános jellemzője, hogy a minta előkészítése nagyon egyszerű folyamat, roncsolásmentes. Azt mindenek előtt meg kell mondani, hogy lehetőség szerint szilárd minták elemzésére törekedjünk, mert az alacsony rendszámú elemek (így pl. vizes oldat nem alkalmas, ha nyomelemeket akarunk vizsgálni) Compton visszaszórása igen intenzív és ez rontja a detektálási küszöbértéket. Ha csak kvalitatív elemzést kell végezni, akkor a (lehetőségek szerint) szilárd mintát bárhogyan mérőhelyzetbe hozhatjuk, hiszen ilyen esetben legtöbbször csak egy áttekintésre van szükség annak megállapítására, hogy milyen elemek fordulnak elő a mintában, esetleg azok aránya, vagy nagyságrendi koncentráció érték már kielégítő. Ha pontos kvantitatív meghatározásra van szükség, akkor célszerű a mintát reprodukálható formában (pl. tabletta) előkészíteni a méréshez. Némely kőzet- és fémoxid-minta kivételével praktikus minden minta préselhető. A nehezen préselhető mintákhoz 1–5% nagy tisztaságú alkalmas kötőanyag (borsav, keményítő, PVA, MIX powder stb.) hozzáadása segít a préselési gondokon.

Itt kell szólni az XRFA azon tulajdonságáról, amit a roncsolásmentes jelzővel szokás jelölni. Annnyiban ténylegesen roncsolásmentes ez a módszer, hogy a mérés befejeztével a minta teljesen változatlan formában marad vissza. Ez lehetővé teszi pl. élő anyag: növény, állat, de akár emberi testrészt elemzését is. (A mérés folyamán kapott sugárterhelés olyan kicsi, hogy az az egészségre ártalmatlan.) Így, ha biológiai mintákon végzett mérésről van szó, annak elvégzése után a biológiai kísérlet tovább folytatható, amihez a fő- és nyomelem meghatározását XRFA-val végezték el.

Olyan értelemben viszont nem roncsolásmentes, ha – pl. inhomogén anyag korrekt koncentráció meghatározásához – a mintát homogenizálni kell, de a lényeg mégis nem ez, hanem, hogy a mérés végén a minta megmarad és a mérés bármikor, bárhányszor megismételhető, ezt kell érteni ténylegesen a roncsolásmentes tulajdonságon.

A módszer alkalmazásnak előnyei és hiányosságai

A módszer előnyei között kell felsorolni: az egyszerű mintaelőkészítést, a nagy dinamikus tartományt, sok elem egyidejű meghatározását (kémiai tulajdonságtól függetlenül), jó szelektivitását, gyorsaságát, a mérés automatizálhatóságát és a mérési eredmények automatikus termelésvezérlésre való alakíthatóságát.

A módszer hátrányaként kell elkönyvelni: a nem túlságosan jó érzékenységet, az alacsony rendszám tartományban ($1 < Z < 12$) való alkalmazhatóságának korlátait, a gerjesztő energiától függő, változó érzékenységet és a mintától függő matrixhatást. Most a teljesség igénye nélkül röviden vizsgáljuk meg ezen tulajdonságok jelentését.

A mintaelőkészítéssel már foglalkoztunk. A nagy dinamikus tartomány alatt azt értjük, hogy a minta főalkotót és nyomelemeit egy mérési folyamatban, egyidejűleg lehet vizsgálni, azaz 10^{-4} –100%-os koncentráció tartomány egyidejűleg mérhető.

Ezzel már a sokelemes jelleg is megvilágítást nyert, de azt mégis érdemes megjegyezni, hogy az alkáli, az átmeneti, a halogén elemek, a ritkaföldfémek stb. egyetlen mérésben vizsgálhatók.

A módszer szelektivitásának mértéke az alkalmazott berendezés energiafelbontó képességétől függ. A jelenleg forgalomban lévő (FWHM=140–180 eV) készülékeknek, helyes energiakalibráció mellett, elemátvezetés lehetetlen.

Egy mérés elvégzéséhez szükséges idő elsősorban a gerjesztő forrás intenzitásától és a vizsgálandó komponens koncentrációjától függ. Főkomponens vizsgálatához elegendő lehet néhány másodperc, míg nyomelem meghatározásához esetleg több órás mérési idő is szükséges lehet. Figyelembe véve az egyszerű mintaelőkészítést és a méréshez szükséges időt, a REA a gyors módszerek osztályába sorolható.

Mivel a detektor jelei további elektronikus feldolgozást igényelnek a végeredmény eléréséhez, az automatizálás feltételei eleve adottak. A REA számos ipari termelés automatizálásában nyer alkalmazást, pl.: a cementiparban, ércdúsító folyamatokban, bevont készítésénél, filmiparban, színes- és fekete-fém-ötvözetek előállításánál.

A módszer talán legsúlyosabb hiányossága, hogy az alacsony rendszámú elemek vizsgálatára nem alkalmas. Ez annak a következménye, hogy az alacsony rendszámú, de sok esetben igen fontos elemek karakterisztikus sugárzása rendkívül lágy (pl.: Li: 52 eV; C: 282 eV; O: 523 eV; Na: 1041 eV és a Mg: 1254 eV), így ezek Be-ablakon elszennvedett abszorpciója részben, vagy teljesen megakadályozza a mérőrendszerbe való bejutásukat.

A másik felróható hiányossága a nem túlságosan jó érzékenység. A módszer kezdeti fejlesztési szakaszában kétfajta érzékenységet jelöltek meg. Egyik az ún. dinamikus érzékenység, amely a módszer válaszában a mértéket jelöli egy ppm nagyságú koncentráció-változásra. A másik (a sztatikus) érzékenység, ami a detektálási küszöböt jelöli. Az utóbbi időben már csak ez használatos. Ez erősen elem- és gerjesztési energia függő mennyiség; ezért monoenergetikus izotópperjesztés esetén értéke tágabb határok között (1000–0,1 ng) mozog, mint pl. röntgensöves gerjesztésnél (100–0,01 ng). Kisebb mintatömeg alkalmazásánál jobb az érzékenység, de ez a mérési idő növelésével jár.

A matrixhatás a jelenleg forgalomban lévő analízis programok segítségével, a könnyen elérhető számítógépes háttérnek köszönhetően, első közelítésben megoldottnak tekinthető.

A fentieknek köszönhető, hogy ez a viszonylag fiatal, alig 30 éves analitikai műtra visszatekintő módszer, polgárjogot és igen széles körű alkalmazást nyert, amiről egy következő írásban olvashatunk.

Irodalom

- [1] Swedish Expert Group, 1971: Methylmercury in fish. – A toxikologic-epidemiologic evaluation of risks, Report from an expert group. Nordisk Hygienisk Tidskrift, Suppl. 4.
- [2] Minamata Report, 1968: Minamata Disease. Study group of Minamata Disease, Kusuna M. (ed.), Kumamoto University, (Kumamoto, Japan).
- [3] Ed.: Charles A. Ziegler: Applications of Low Energy X- and Gamma Rays, Gordon & Breach, Science Publisher Ltd. 1971, New York, Paris, London
- [4] Rudolf O. Müller: Spectrochemical Analysis by X-Ray Fluorescence, Adam Hilger Ltd. 1972, London.
- [5] Eugene P. Bertin: Introduction to X-Ray Spectrometric Analysis, 1978 Plenum Press, New York.
- [6] Eds.: H. K. Herglotz, L. S. Birks: X-Ray Spectrometry, 1978, Marcel Dekker Inc. New York, Basel
- [7] R. Terrian, F. Claisse: Principles of Quantitative X-Ray Fluorescence Analysis, 1982, Heyden & Son Ltd, London, Philadelphia, Rheine
- [8] K. Debertin & R. G. Helmer: Gamma- and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, 1988, North-Holland Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo
- [9] W. Michaelis, J. Knoth, A. Prange, H. Schwenke: Adv. X-Ray Anal., (1985) 28
- [10] G. Aden & D. Isaacs: Res. & Dev. 1987. p. 85.
- [11] K. Kandiah et al.: Int. Symp on Nucl. Electr., Versailles 10–13. Sept. 1968. p. 69.
- [12] T. Lakatos: Nucl. Instr. Meth. B47 (1990) p. 307.

Az ICP-MS technika és néhány alkalmazása

Dr. Bertalan Éva*

Az ICP-MS technika

Az indukzív csatolású plazma tömegspektrometria, az ICP-MS, egyike az analitikai spektrometria leggyorsabban fejlődő területeinek.

Az ICP-MS eredeti koncepciója egy, az 1970-es évek elején körvonalazott kívánalomból alakult ki. Igény mutatkozott, különösen a geológiai-geokémiai kutatás területén, a sokelemes analitikai műszerek egy újabb generációjának kifejlesztésére, amely kielégít olyan követelményeket, amelyeket az addig ismeretes módszerek nem, még az akkoriban kifejlesztett ICP-AES atomemissziós spektrometria módszer sem. A kívánalmak a következők voltak: az új módszer legyen sokelemes, nagy érzékenységgel, még a ritka nehéz elemekre is (amelyek emissziós spektruma igen komplex, és emisszióban elérhető kimutatási határaik kedvezőtlenek), legyen megfelelően gyors, a kezelése pedig egyszerű.

Legalkalmasabb potenciális lehetőségnek a szikra-ionforrás-tömegspektrometria (SSMS) tűnt. Ez a módszer azonban nem volt sem egyszerűen kivitelezhető, sem pedig elég gyors (a gyorsaság alatt egyrészt a mintaáteresztő képességet, másrészt a kapott spektrum értékelésének idejét értve). Új ionforrásként az indukzív csatolású plazmát alkalmazva, valamint a detektálási és adatfeldolgozó részt továbbfejlesztve azonban hatékony eszközhöz sikerült jutni.

Az első kereskedelmi készülékek 1983-ban jelentek meg, és azóta a technika széleskörű elfogadottságot nyert.

Magyarországra az első (VG Elemental gyártmányú) ICP-MS készülék 1992-ben érkezett, a Magyar Állami Földtani Intézetbe, az Európai Közös PHARE programjának támogatásával. A műszeregyüttes az alapkészüléken kívül flow injection és lézeres elpárolgató egységet is magában foglal. Azóta már egy másik készülék is működésbe lépett, a Vítuki Vízművesztési Intézetben, ez Finnigan-Sola rendszerű.

Az ICP-MS előnyei és hátrányai

Az ICP-MS technika megőrzi az ICP emissziós spektrometria előnyeit, mint az egyszerű mintabevitel, az analízis sebessége, a módszer sokelemessége vagy a széles lineáris dinamikus tartomány, és ehhez jönnek hozzá a saját előnyei: a lényegesen egyszerűbb spektrumok, a képesség izotópos információk gyors szolgáltatására, a kisebb mintaigény, és természetesen, a sokkal jobb kimutatási határok (általában egy vagy két nagyságrend különbséggel), főleg a nehezebb elemekre. Ez utóbbi területen az ICP-MS-sel csak a grafitekencés atomabszorpció versenyképes, de ez a módszer hatékonyságban, elemzési sebességben természetesen erősen limitált. Ugyanakkor alacsonyabb tömegű és (emisszióban) zavarásmentes elemekre, mint pl. B, Ca, Fe, Si vagy Ti, az ICP-AES nagyobb érzékenységet mutat, mint az ICP-MS.

Az ICP-MS, hasonlóan az ICP-AES-hez, elsősorban oldatos technika, de lényegesen rosszabbul tűri az oldatok magas TDS (összes oldott anyag) szintjeit. A maximális határ 0.1–0.2%, ennél nagyobb TDS-tartalom esetén a mintavető kónuszok eltömődhetnek, ezért ekkor hígítani kell. Ez azt jelenti, hogy a kedvező kimutatási határok, az eredeti szilárd mintára meghatározási határként visszaszámolva, nem mindig értelmezhetők változatlanul.

Mivel a technika elsősorban oldatos módszer, természetesen hordozza az oldatos módszerek minden hátrányát, nevezetesen, hogy a minták oldatba vitele növeli az elemzési időt, és magában rejti a minta elszennyeződésének, illetve egyes komponensek (teljes vagy részleges) elvesztésének lehetőségét (illékonyág vagy tökéletlen feltárás miatt). Ebből a szempontból az INAA vagy az XRF előnyösebb. Az ICP-MS ideális viszont vizek és szelektív kivonatok elemzésére. Ezek jelenleg mind a geokémiai kutatásban, mind a környezeti geokémiában fontos területek.

Az ICP-MS nagy érzékenysége miatt az egyes minták között hosszabb mosási időket igényel, ezért az elemzési sebesség kisebb, mint

az ICP-AES-nél, általában 5–10 minta/óra, az utóbbiban szokásos 15–20 helyett.

Az egyszerű tömegspektrumok miatt a spektrális zavarások kisebb problémát jelentenek, mint az ICP-AES-ben, míg a nem-spektrális zavarások (mátrixhatások) esetenként igen komolyak lehetnek. Jelentős a készülékdrift is (általában 5%/óra), amit feltétlenül figyelembe kell venni. Az ICP-MS reprodukálhatósága is gyengébb, mint az ICP-AES-é, tipikusan 2–5%, és a megbízhatósága is rosszabb. Jelen fejlődési fokon a két technika remekül kiegészíti egymást, az ICP-MS-t célszerűen olyan komponensek meghatározására használják, amelyek ICP-AES alkalmazásával már nem mérhetők. Ezek az ultra-nyom tartományú elemek, és főleg olyan speciális elemcsoportok, mint a ritkaföldfémek, nemesfémek, vagy egyes nehezen párolgó elemek (Mo, Zr, W, Nb, Ta, Hf), illetve természetesen egyes izotóparányok meghatározása.

Végül, egy ICP-MS készülék beszerzési költsége jóval magasabb, mint akár a legdrágább ICP-AES rendszeré, és a működési költségek is általában magasabbak. Mindemellett egy ICP-MS készülék kevésbé robusztus, könnyebben meghibásodik, és használata képzetesebb személyzetet is igényel.

A készülék felépítése

Az ICP-MS és az ICP-AES között az tekinthető lényegi különbségnek, hogy míg emisszióban passzívan figyeljük meg a fotonokat, addig az ICP-MS-nél a mintából keletkező ionokat a maguk fizikai valójában el kell szállítani a plazmából a tömegspektrométerbe, illetve a detektorba.

Az ICP-MS-készülékekben használatos indukzív csatolású plazma és mintabeviteli rendszer nem különbözik lényegében az emissziós spektrométerekben használatosaktól. A plazmában történik meg a minta elpárolgása, disszociációja, atomizációja és ionizációja. A legtöbb elem hatékonyan ionizálódik az argon ICP-ben, még a nagy ionizációs potenciálú elemek is, mint As, Se, S is jelentős számú pozitív iont adnak.

Az atmoszférikus nyomású plazmából az ionok először egy hűtött kónusz, az úgynevezett sampler (vagy mintavető) nyílásán át lépnek be egy 1 és 5 mbar közötti nyomású térbe. Az említett apertúra mögött koaxiálisan egy második kónusz, az úgynevezett skimmer (vagy merítő) van elhelyezve. Amikor a plazmából érkező gáz ebbe a kisebb nyomású zónába lép, gyorsan kiterjed, és szuperszonikus sugár képződik. Ennek az expandáló sugárnak a középső része jut át a skimmer nyílásán át a következő vákuum fokozatba. Mindez olyan gyorsan, néhány μs alatt zajlik, hogy a minta ionösszetétele csak kismértékben változik meg.

A skimmer után elhelyezett ionlencsék funkciója az, hogy a skimmer mögötti expandáló ionfelhőből a lehető legnagyobb számú iont egy tengelyirányú fókuszált sugárba gyűjtse össze, ami aztán tovább tud jutni a tömeganalizátorba.

Minden típusú ionlencse-rendszer tartalmaz egy axiálisan elhelyezett úgynevezett foton-stop lemezkét, amely megakadályozza, hogy az ICP optikai sugárzása, főleg a 120 nm alatti tartomány eljusson a detektorba, ami a háttérjelet növelné. Az ionokat az ionoptika kényszeríti a foton-stop lemez körüli görbült pályára, hogy aztán fókuszálva bejussanak a tömegspektrométerbe, majd onnan a detektorba.

A kereskedelmi készülékek túlnyomó többsége kvadrupól tömegszűrőt alkalmaz, mivel ezek az egységek viszonylag olcsók, kompaktak, és többnyire megfelelő felbontást is biztosítanak.

A kvadrupól tömeganalizátor szűrőként működik, amelynek a tengelye mentén egy stabil ionpálya létezik egyetlen tömegszám ionjai számára. A többi ion túlságosan eltérül és a rudakhoz csapódik, ott semlegesítődik, és az analízis számára elvesz. A kiválasztott tömegszám-tartomány gyorsan pásztázható akár 3000 tömegegység/sec sebességgel is. A módszer ily módon lényegében nem igazán szimultán, hanem szekvenciális.

A kvadrupólok csak korlátozott tömegfelbontást biztosítanak, amely általában elegendő két szomszédos elemi csúcs teljes felbontásához (amelyek egymástól egy atomi tömegegység távolságra vannak), de nem elegendő ahhoz, hogy egy zavaró oxidcsúcsot elválasszon egy elemi

* Magyar Állami Földtani Intézet

csúcstól. Gyakran jobb felbontás is elérhető, ha valamennyit feláldoznak az érzékenységből.

A detektor általános dinódal rendelkező csatorna elektron sokszorozó (Channeltron), amely az egyes impulzusok számlálására is képes. Mindazonáltal a multipler analóg üzemmódban is képes működni, hogy az esetleges nagy jelek ne károsítsák a detektort.

Az egyes mérési pontokon mért impulzusszámokat sokcsatornás analízator gyűjti össze, a kapott jelek feldolgozása számítógéppel történik.

Zavaró hatások:

Az előforduló zavarások nagyjából két kategóriába sorolhatók: spektrális vagy izobár zavarások, és nem-spektrális zavarások vagy mátrixhatások.

A spektrális zavarások kategóriái:

- izobár egybeesések (különböző elemek azonos tömegszámú izotópjai)
- poliatomos ionok
- kettős töltésű ionok

Ezek közül a legnagyobb problémát a poliatomos ionok okozzák, különösen azok, amelyekben a plazma vagy a mátrix alapelemei (Ar, O, H, N) vesznek részt. Ezeket nem könnyű kiküszöbölni. (Date et al., 1987.) Sokat segít a készülékek ködkamrájának 10°C-ra való hűtése, amely a keletkező vízgőz egy részét kondenzáltatja, így a plazmába kevesebb jut.

A nem-spektrális zavarások kétféleképpen:

- egyrészt az összes oldottanyag-tartalom hatása, amelyet egyszerűen 0.1–0.2% alatt kell tartani, és a zavarás kivédhető;
- másrészt egyes jeleknél, de főleg csökkentő hatások. Ezek még nem tisztázottak. Enyhe túlzással: ahány készülék, annyiféle hatás, és ahány szerző, annyiféle hipotézis. (Beauchemin et al., 1987.; Grégoire, 1987.) A minta hígításával azonban ezek a hatások is csökkenthetők.

Az ICP-MS alkalmazásai

Az ICP-MS fő alkalmazási területeinek elsősorban a geokémiai prospekciót, a környezeti monitor méréseket és az orvostudományi kutatásokat tekinthetjük. Munkám jellegéből adódóan főleg az első két terület iródmát ismerem alaposabban, ezért az alkalmazások áttekintésénél ezekre szorítkoztam. Ebben a részben nagyban támaszkodtam Hall kitűnő összefoglalójára. (Hall, 1992.)

Az ICP-MS gyorsan alkalmazást nyert a geokémiai analitikában. Egy alkalmazásokról szóló 1990-es bibliográfia 112 közleményt sorol fel, ezek közül 37 geoanalitikai tárgyú. (McLaren, 1990.)

A. Nyomelemezés

Oldatbeporlasztásos ICP-MS

Sokelemes meghatározások

Bár elég sok közlemény foglalkozik nyomelemeknek ICP-MS meghatározásával geológiai mintákban, a szélesebb nyomelem spektrumot átfogó alkalmazások elsősorban standard referencia kőzetminták elemzését illusztrálják. Sokkal nagyobb számúak és elterjedtebbek azok a munkák, amelyek egyes elemcsoportok meghatározásával foglalkoznak. A sokelemes munka többnyire kompromisszumos, ezért erre most nem kívánok részletesen kitérni.

Külön kompromisszumot kell kötni a mintaelőkészítést illetően is. Az ICP-MS technika nem engedi meg pl. bármely sav használatát, mert komoly spektrális zavarások léphetnek fel (pl. sósav vagy perklor-sav használata esetén). Jelenleg a technika egyik leggyengébb pontja talán éppen az, hogy nincsenek megfelelően kidolgozott, általánosan alkalmazható feltárási módszerek. Különösen érvényes ez arra az esetre, ha teljes elemtartalmakat akarunk meghatározni.

Külön óriási terület a vizek elemzése, amely a geokémiai kutatások, illetve a környezetvédelmi monitorálás szempontjából egyaránt kitüntetett fontosságú, és Intézetünkben is a legjelentősebb alkalmazás.

Egyes fontosabb elemcsoportok meghatározása

Azok az analitikai területek, amelyekben az ICP-MS különösen nagy fontosságra tett szert, a következők:

- ritkaföldfémek (lantánidák, Y és Sc), (savas oldás vagy lúgos ömlesztés alkalmazásával, esetenként ioncserés elválasztás és/vagy dúsítás után). (Date és Hutchison, 1987.; Lichte et al., 1987.; Jarvis et al., 1989.);
- nemesfémek (Au és platinafémek; általában tüzi eljárással történő mintaelőkészítés után), (Robert et al., 1971.; Date et al., 1987.; Juvonen et al., 1994.);
- nehezen párologó elemek (Mo, W, Zr, Nb, Hf, Ta), (Hall et al., 1987.; Hall et al., 1990.).

Alternatív mintabeviteli módszerek

A hagyományos oldatbeporlasztásos ICP-MS mellett számos próbálkozás történik alternatív mintabeviteli módszerek alkalmazására. Ezek némelyike már a kereskedelemben is hozzáférhető, de a napi rutinban a legtöbbjük még nem honosodott meg, inkább kutatási vagy speciális célokat szolgálnak. Ezek a módszerek a következők:

- Flow injection analysis (FIA-ICP-MS);
- Elektrotermikus elpárolgatás (ETV-ICP-MS);
- Közvetlen mintabehelyezés (DSI-ICP-MS);
- Laser ablation vagy lézeres elpárolgatás (LA-ICP-MS) (szilárd minták elemzésére);
- Slurry nebulisation vagy szuszpenzió beporlasztás;
- Hidridfejlesztés (HG-ICP-MS).

Mivel Intézetünk FIA és LA egységekkel rendelkezik, a továbbiakban ezeket a módszereket ismertetem.

Flow injection analysis (FIA-ICP-MS)

A „flow injection” kifejezést a 70-es években alkották egy olyan technika leírására, amelyben egy kis „mintadugót” injektálnak egy folyamatos vivő áramba. A vivőáram reagenst is tartalmazhat és még más reagens-tartalmú áramló közegekkel is egyesülhet. A reakciótermék transziens jelként mérhető egy átáramlásos detektoron, ami akár egy ICP-MS készülék is lehet.

A FIA alkalmazása akkor célszerű, ha:

- mintaelőkészítés szükséges, elválasztást és dúsítást is beleértve;
- nagy hígítási faktorok szükségesek;
- a mintatérfogat limitált;
- a minták nagy oldott anyag tartalmúak;
- standard addíció szükséges;
- az oldat tulajdonságainak (pl. viszkozitás) változása befolyásolja a folyamatos porlasztást.

A FIA előnyei között van a rövidebb analízis idő, a ml helyett inkább μ l mintatérfogat használatának lehetősége és a tömegspektrométerbe bejuttatott szilárd anyag kisebb mennyisége, ami főleg hasznos a nagy sótartalmú oldatok elemzésénél. (Vickers et al., 1989.; László et al., 1989.; Viczián et al., 1990.).

Laser ablation vagy lézeres elpárolgatás (LA-ICP-MS)

Ennek a módszernek a használata igen jelentős extra költséget jelent az alapkészüléken kívül, mivel meg kell venni hozzá a lézer ablációs egységet.

A laser ablation előnyei az oldatporlasztással szemben:

1. elkerülhető a feltárás és az ezzel járó lehetséges problémák;
2. a minta gőzét egy száraz plazmába vezetjük, így minimalizáljuk az olyan szpecíeszek számát, mint az MO^+ , MOH^+ és az ArO^+ , ArOH^+ ; és
3. térben felbontott analízis valószínűsíthető meg, így az összetétel és morfológia korreláltható.

Másrészt viszont a minta homogenitása szükséges, hogy konzisztens eredményeket kapjunk, és az adatok mennyiségűvé tétele még ma is kihívásokat jelent.

A fény pulzált sugarát, amelyet mostanában többnyire egy Nd-YAG lézer állít elő (1064 nm-en) egy zárt cellában elhelyezett szilárd mintára fókuszáljuk. Egy lézer lövés kb. 0.5 J energiával a minta felszínére fókuszálva 50–100 μ g mintát tud lepusztítani. A leporlasztott elpárolgott

anyagot argonárammal a plazmába szállítjuk, ahol az atomizálódik és ionizálódik.

Végezhető egy pontos analízis, így esetleg mélységi gradienst is meghatározhatunk, vagy információkat szerezhetünk a laterális összetéti trendekről egy vonal vagy egy raszter mentén haladva. A laterális térbeli felbontás általában 20–50 µm nagyságrendben van, míg ugyanez a mélységre kb. 1–10 µm.

A mintaelőkészítés a lézeres munkánál egyszerűbb, mint oldatos módszerek esetében. Ez jelentheti egyszerűen csak sík felület kialakítását a mintán, ami történhet vágással, köszörüléssel vagy csiszolással. Más esetekben célszerűbb lehet a minta finom porrá őrlése, és a porból pasztillák préselése, kötőanyag hozzáadásával vagy anélkül.

A lézer vagy a Q-switched (vezérelt) üzemmódban működhet (egyetlen kb. 10 ns-os intenzív impulzus, amely 0,5–2 s időtartamú tranzienst jelet produkál), vagy a fixed-Q (free running, vezéreltlen) üzemmódban (kevesbé intenzív impulzus, kb. 100–150 µs időtartammal). A minta „kráter” fizikai jellemzői meglehetősen eltérőek a kétféle üzemmódban, ami különböző mintázási célokra használható. A Q-switched üzemmód széles, sekély krátereket produkál, míg a fixed-Q üzemmódban keletkezett kráter mély és szűk, így az előbbi alkalmasabb az átlagos összetétel mintázására, míg az utóbbi sokkal alkalmasabb zárványok és lokalizált tulajdonságok diszkrét mikromintázására. Azonban, a fixed-Q üzemmód érzékenyebb a meghatározandó elemek szelektív párolgására, és a nagyobb mennyiségű elpárologtatott anyag zavarásokat okozhat az ICP-MS mérésben.

Egy másik, nagyon fontos mátrix hatás onnan adódik, hogy az ablációs folyamat függ a lézersugár és a mintafelület kölcsönhatásától. Ez a hatás a kalibrációs problémák egyik fő oka, és általában a vezéreltlen üzemmódban sokkal komolyabb. A Q-switched üzemmódban a nagyon nagy energiasűrűség miatt a mintafelület fölötti gázban plazma képződik, és az abláció ennek a plazmának és a mintának a kölcsönhatásától függ. Free running üzemmódban ez a plazma nincs jelen, és a lézersugár energiaátvittele, illetve a sugár terjedése nagymértékben függ a minta felületének és belsejének termikus és optikai sajátosságaitól. Ezért a normál üzemmódban a standardok mátrixának a mintakéhoz való illesztése sokkal fontosabb.

A mennyiségi meghatározás sokkal problematikusabb a LA-ICP-MS analízisben, mint az oldatbeporlasztásosban. A kalibráció tekintetében a lézer ablációs ICP-MS legfontosabb szempontjának, és általában szilárd mintákkal történik. Geológiai minták esetében nem egyszerű a megfelelő standardok előállítása. (Williams és Jarvis, 1993.).

A kimutatási határok a gyakorlatban általában rosszabbak, mint oldatos munka esetén. Elméletileg ugyan jobbaknak kellene lenniük, mint az oldatos technikák esetében, hiszen elkerültük a minta hígulását és a spektrális zavarások is kisebb mértékűek, de az analízisek gyakorlati szempontjait is figyelembe véve a helyzet nem ilyen egyszerű.

Az IR-lézerrel elérhető térbeli felbontás nem minden esetben elégséges. Ezért több alkalmazást találunk UV-lézerek használatával is. Az UV-lézerrel kb. 5 µm átmérőjű vagy kisebb kráterek lőhetők, így pl. zonációs vizsgálatok akár egyedi ásványsejtszerűen is végezhetők. Természetesen a kisebb kráter azt is jelenti, hogy kevesebb anyag párolog el a mintából, így az érzékenység valamelyest kompromisszumos lesz. A nagy felbontású UV-lézeres ICP-MS alkalmas lehet az elektron-mikroszkóp helyettesítésére, akár annál kedvezőbb kimutatási határokkal. (Chenery és Cook, 1993.).

B. Izotóparányok mérése

A téma érdekessége dacára csak érintőlegesen emlékezek meg az izotóparányok méréséről. Tekintve, hogy az esetek többségében ICP-MS-sel az izotóparányok meghatározásában 0,1 és 2% közötti RSD-k érhetők el, ezek csak egyes speciális területek igényeit elégítik ki, ahol az izotóparányok lényegesen különböznek egymástól.

Az elsősorban vizsgált elemek az Os és a Pb. Az ozmiumnak a geokronológiában van szerepe, az ólom főleg a környezetvédelem szempontjából jelentős. Itt a cél elsősorban a természetes vagy antropogén eredet felderítése. (Lászlity et al., 1989.; Viczián et al., 1990.).

Irodalom

- A. R. Date and A. L. Gray: Applications of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry 1989, Blackie, Glasgow and London
- K. E. Jarvis, A. L. Gray and R. S. Houk: Handbook of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry 1992, Blackie, Glasgow and London
- D. Beauchemin, J. W. McLaren and S. S. Berman: Spectrochim. Acta, **42B**, 467–490 (1987)
- S. Chenery and J. M. Cook: J. Anal. At. Spectrom., **8**, 299–303 (1993)
- A. R. Date, Y. Y. Cheung and M. E. Stuart: Spectrochim. Acta. **42B**, 3–20 (1987)
- A. R. Date, A. E. Davis and Y. Y. Cheung: Analyst, **112**, 1217–1222 (1987)
- A. R. Date and A. L. Gray: Analyst, **108**, 159–165 (1983)
- A. R. Date and A. L. Gray: Spectrochim. Acta, **40B**, 115–122 (1985)
- A. R. Date and D. Hutchison: J. Anal. At. Spectrom., **2**, 269–276 (1987)
- A. L. Gray: Analyst, **10**, 551–556 (1985)
- D. C. Gregoire: Appl. Spectrosc., **41**, 897–903 (1987)
- G. E. M. Hall: J. Geochem. Explor., **44**, 201–249 (1992)
- G. E. M. Hall, C. J. Park and J. C. Pelchat: J. Anal. At. Spectrom., **2**, 189–196 (1987)
- G. E. M. Hall, J. C. Pelchat and J. Loop: J. Anal. At. Spectrom., **5**, 339–349 (1990)
- K. E. Jarvis, A. L. Gray and E. McCurdy: J. Anal. At. Spectrom., **4**, 743–747 (1989)
- R. Juvonen, E. Kallio and T. Lakomaa: Analyst, **119**, 617–621 (1994)
- A. Lászlity, M. Viczián, X. Wang and R. M. Barnes: J. Anal. At. Spectrom., **4**, 761–766 (1989)
- F. E. Lichte, A. L. Meier and J. G. Crock: Anal. Chem., **59**, 1150–1157 (1987)
- J. W. McLaren: ICP Inf. Newsl., **16**, 371–375 (1990)
- C. J. Park and G. E. M. Hall: Geol. Surv. Can., Pap. **86-1B**, 767–773 (1986)
- C. J. Park and G. E. M. Hall: J. Anal. At. Spectrom., **2**, 473–480 (1987)
- C. J. Park and G. E. M. Hall: J. Anal. At. Spectrom., **3**, 355–361 (1988)
- C. J. Park, J. C. Van Loon, P. Arrowsmith and J. B. French: Can. J. Spectrosc., **32**, 29–36 (1987)
- R. V. D. Robert, E. van Wyk and R. Palmer: Nat. Inst. Metall., Repub. S. Afr., Rpt., 1371, 15 pp.
- G. H. Vickers, B. S. Ross and G. M. Hieftje: Appl. Spectrosc., **8**, 1330–1333 (1989)
- M. Viczián, A. Lászlity, X. Wang and R. M. Barnes: J. Anal. At. Spectrom., **5**, 125–133 (1990)
- M. Viczián, A. Lászlity and R. M. Barnes: J. Anal. At. Spectrom., **5**, 293–300 (1990)
- J. G. Williams and K. E. Jarvis: J. Anal. At. Spectrom., **8**, 25–34 (1993)

943 084 144

Elemanalitikai feladatainak gyors, megbízható és gazdaságos megoldásához korszerű, számítógéppel vezérelt, egyszerűen programozható spektrométereket kínál a **TESTOR**

A mobil **ARC-MET 900 S&P** és a hordozható **ARC-MET 930 S&P** optikai emissziós spektrométerekkel egyszerű programváltással a fémötvözetek sokféle fajtáját elemezheti. **Meghatározhatja** az acélok legfontosabb ötvözőjét, a **kARBONT** és szennyezői közül a **fOSZFORT** és a **KENET** is, mégpedig laborpontossággal!

A hordozható **X-MET 880** és az **X-MET 930**, de az asztali **X-MET 820** típusú **röntgenfluoreszcens analízis** sokféle használatra alkalmas kivételűk. **Tömör minták, porok és folyadékok egyaránt elemezhetők.** Talaj- és kőzetminták elemzése. Környezetszennyezések gyors feltérképezése a helyszínen!

Kérjen ajánlatot! TESTOR – Budapest, XII., Törpe u. 8. • Telefon: 155-9886 • Fax: 155-2618

Átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálat

Rózsahegyi Péter*

Bevezetés

A gyakorlatban alkalmazott berendezéseket, gépipari alkatrészeket folyáshatárú méretezik. A számítási módszerek pontosságának növekedésével a tervezők – gazdasági megfontolások alapján – a biztonsági tényezők csökkentésére törekednek. Ez azonban azt eredményezheti, hogy a szerkezetben néhány kedvezőtlen hatás miatt (pl.: folytonossági hiányok, hegesztési varratokban és azok környezetében a maradó feszültségek, feszültséggyűjtő helyek) a folyáshatárnál nagyobb feszültség is jelentkezhet. Az egyszeri túlterhelés még kedvezően is befolyásolhatja az anyag teherbíró képességét, mivel keményedő anyagoknál a folyáshatár növekedését eredményezi és a feszültségeloszlás átrendeződését okozhatja, ami a maradó feszültségek leépülésével járhat [1][2]. A folyáshatár feletti ismétlődő terhelés azonban az anyag idő előtti károsodásához, töréséhez vezet. Ezért az olyan szerkezetek méretezésénél, amelyeknél a fent említett káros hatások nagy valószínűséggel a szerkezetben a folyáshatár feletti terhelést eredményezik, nem elég csak a folyáshatárú történő méretezést elvégezni, hanem szükséges a fáradási élettartam meghatározása. A fárasztóvizsgálatok két típusát különböztetjük meg, úgymint kisciklusú fárasztóvizsgálat, amelynél az élettartam 10^4 ciklus alatti és nagy-ciklusú fárasztóvizsgálat, amelynél az élettartam 10^4 feletti. Az előzőnél a terhelés a folyáshatárnál nagyobb, míg az utóbbinál folyáshatár alatti. Természetesen a két vizsgálati típus között nincs éles határ [1].

A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék laboratóriumában már régóta végzünk kisciklusú fárasztóvizsgálatokat az „Anyagok károsodásának mechanizmusai emelt hőmérsékleten” című, OTKA T4408 számú kutatómunka keretében. A vizsgálatokhoz hengeres kialakítású próbatesteket használtunk, ahol az axiális irányú alakváltozást mértük. A hengeres próbatest használatának azonban van egy nagy hátránya. Minthogy kisciklusú fárasztásnál, erővezérlés esetén a terhelő erő, nyúlásvezérlés esetén az alakváltozási amplitúdó úgy választjuk meg, hogy a feszültségmaximum a folyáshatár felett legyen, a nagy nyomóoldali terhelés miatt a hengeres próbatest érzékeny lesz a kihajlásra. Ebben az esetben az egytengelyű feszültségállapot már nem áll fenn, ami a próbatest idő előtti töréséhez vezet. Ezért célszerű olyan próbatestet használni, amelynél csökkenthetjük ezt a veszélyt. Ennek a problémának a kiküszöbölésére tóruszos profilú próbatestet használtunk, amelynél a radiális irányú alakváltozást mértük [3]. A tóruszos próbatest használata azonban mérés- és vizsgálattechnikai problémákat vet fel.

a) Nem használható hossznyúlásmérő, mivel az csak hengeres felületre rakható fel.

b) Az MTS által készített vezérlő szoftver csak axiális irányú nyúlásvezérlésre alkalmas.

c) Magyarországon még nincs olyan számítógéppel támogatott berendezés, amely alkalmas lenne átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálatok elvégzésére.

Ebben a tanulmányban ezen problémák megoldásával és az átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálat egy lehetséges megvalósításával foglalkozom, részletesen tárgyalva a hardver és szoftver környezetet és a rajtuk végzett változásokat.

Vizsgálóberendezés

A vizsgálatokhoz 25 tonnás MTS gyártmányú elektro-hidraulikus univerzális anyagvizsgáló berendezést használtunk, melyet egy, szintén az MTS cég által készített szoftver vezérel. A berendezés elvi felépítését a [3] tanulmányban ismertettük.

A számítógéppel vezérelt rendszer fő egységei a hidraulikus tápegység, a vezérlőszekrény, a nagy merevségű terhelőkeret és a számítógép, amely a vizsgálat vezérlését végzi, valamint egy 16 bites, 4 csatornás adatgyűjtő kártyán keresztül az adatgyűjtést. Ezenkívül az RS 232-es soros vonalon keresztül programozza a MicroProfiler-t.

A rendszer egy zárt szabályozókört alkot, ahol a vezérelt változó lehet a hidraulikus dugattyú elmozdulása, az erő, amivel a próbatestet terheljük, vagy a nyúlás, ami a próbatest valamilyen terhelés hatására létrejövő alakváltozása (esetünkben ez lehet a próbatest axiális vagy radiális irányú alakváltozása). A szabályozókör egyszerűsített vázlatát az 1. ábra mutatja.

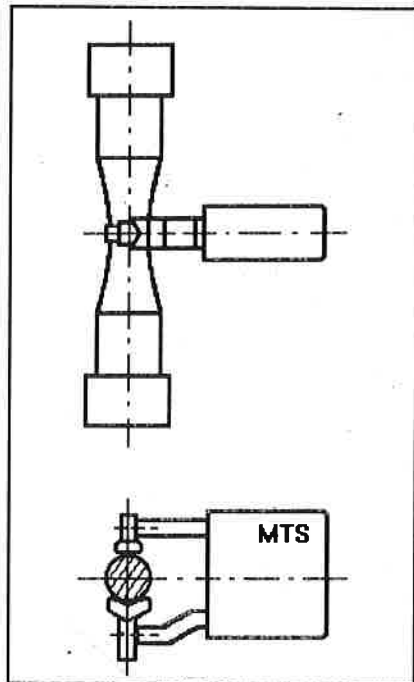
A szabályozókörnek, függetlenül attól, hogy melyik a vezérelt változó, a következő a működése.

A szoftver, a felhasználó által megadott paraméterek alapján programoz egy elektronikus függvénygenerátort, a MicroProfiler-t, amely előállítja a terhelés jellegét meghatározó alapjelet (x_a). A vezérlőjel (x_v) az alapjel és az ellenőrző jel (x_e) különbsége. Az ellenőrző jel egy mért paraméter (x_m) megfelelően felerősített jele, amely lehet az erőmérőcella (erővezérlés esetén), az útdadó (elmozdulásvezérlés esetén), vagy egy nyúlásmérő jele (nyúlásvezérlés esetén), attól függően, hogy milyen típusú vezérléssel végezzük a vizsgálatot. Egy PID szabályozó

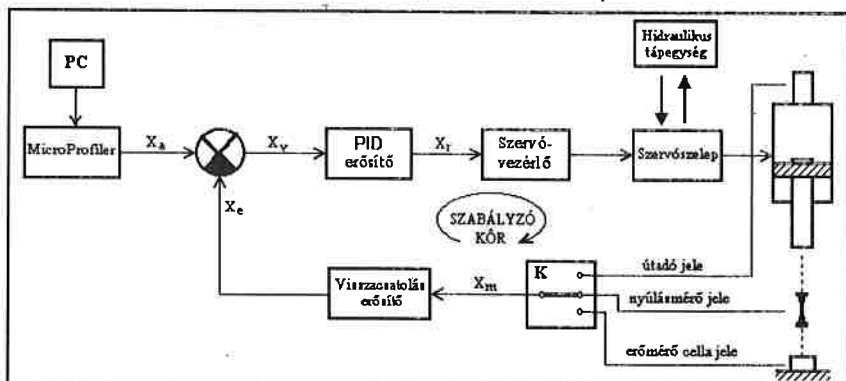
állítja elő a rendelkező jelet (x_r), amely egy szelepszorítót vezérel. A szelep a hidraulikus dugattyúba ki- és beáramló olaj mennyiségét határozza meg.

Az átmérőmérés

Hengeres próbatestet használva a képlékeny alakváltozás a próbatest teljes hosszára kiterjed. Nyúlásmérőt felszerelve a vizsgálati hossz nyúlásváltozását mérjük (ΔL). Tóruszos próbatest esetében a képlékeny alakváltozás a legkisebb átmérőre korlátozódik. Az erre szerelt hossznyúlásmérő átlagos alakváltozást mérne. Az axiális irányú alakváltozás mérése helyett valamilyen más módot kellett találnunk. Erre legalkalmasabbnak a próbatest legkisebb átmérőjén mért átmérőváltozás (Δd) mutatkozott. A mérésre egy MTS gyártmányú átmérőmérőt használtunk, amelynek mérési tartománya $\Delta d = \pm 2$ mm. Az átmérőmérő felszerelt állapotban a



2. ábra. Átmérőmérő felrakása tóruszos próbatestre



1. ábra. Zárt szabályozókör vázlat

* Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

2. ábrán látható. Gondosan ügyelni kell arra, hogy az átmérőmérő tapintói pontosan a törzses próbatest legkisebb átmérőjére kerüljenek. Ellenkező esetben nem a legnagyobb alakváltozást fogjuk mérni.

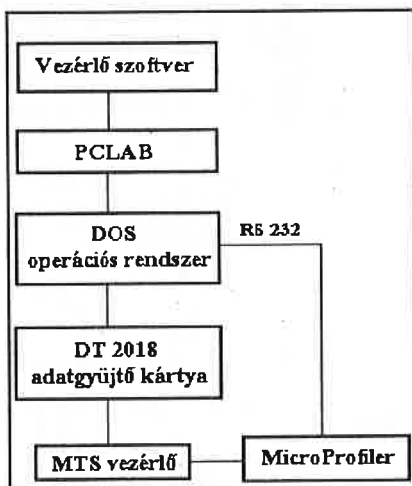
Az átmérőmérő jelét a visszacsatoló ágba lévő arányos erősítő a ± 10 V-os tartományba transzformálja. Acél anyagok kisciklusú fázastörzsvizsgálatánál azonban nem történik ekkora alakváltozás, így a mérési tartomány alsó részét használjuk, ami a pontosságot csökkenti. A berendezés lehetőséget biztosít a mérési tartomány leosztásra. Rendelkezésünkre áll 100%-os, 50%-os, 20%-os, 10%-os és 5%-os mérési határ-határoló. A vizsgálatokhoz a mérési tartomány legjobb kihasználása érdekében az 5%-osat használjuk. Ebben az esetben a maximálisan mérhető átmérőváltozás ± 0.1 mm. Ekkor az ellenőrző jel (x_0) ± 10 V-os értéke a ± 0.1 mm átmérőváltozásnak felel meg. Ezt a tartományt meghaladó alakváltozásra képes anyagok vizsgálatánál természetesen lehet nagyobb értékű mérési határ-határolót használni.

A vezérlő szoftver leírása és használata átmérővezérléshez

A TESTLINK rendszer

A vezérlési és adatgyűjtési folyamatot az MTS cég TESTLINK rendszere végzi. Ennek felépítése a 3. ábrán látható. Az alakváltozási és terhelési mennyiségek mérésére egy a Data Translation által gyártott DT 2018-as számú, 4 csatornás, 16 bites adatgyűjtő kártyát használunk. Van egy saját programozási nyelve, amely gyakorlatilag gépkód szintű és elég nehezen használható. A programozás megkönnyítésére rendelkezésünkre áll egy függvény-könyvtár (PCLAB), amelyben előre megírták azokat a szubrutinokat, amelyekkel egy-egy műveletet (A/D, D/A, I/O) végre lehet hajtani. Meghívásuk egyszerű QuickBASIC utasításokkal történik.

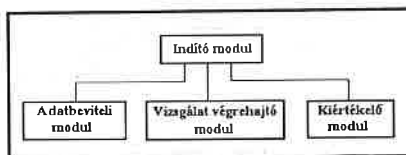
Az elektronikus függvénygenerátor (MicroProfiler) programozása az RS 232 soros vonalon keresztül valósul meg.



3. ábra. A TESTLINK rendszer felépítése

A vezérlő szoftver

A program három főmodulból áll. Ezt szemlélteti a 4. ábra.



4. ábra. A vezérlő szoftver felépítése

Adatbeviteli modul

A vizsgálatához szükséges adatok, paraméterek megadása e részben valósul meg. Ezen adatok a következők:

A vezérlés módja: A vizsgálatot erővezérlésben (LOAD) vagy nyúlásvezérlésben (STRAIN) lehet elvégezni.

A terhelési függvény: A vizsgálatához szükséges alapjel lehet szinusz- (SINE) vagy háromszögjel (RAMP). Mindkét esetben a függvény maximumát és minimumát kell megadni.

LOAD esetén az erőt (F_{max} , F_{min}) kN-ban, STRAIN esetén a fajlagos nyúlást (ϵ_{max} , ϵ_{min}) mm/mm-ben. Zárójelben jegyzem meg, hogy magas hőmérsékleten üzemelő erőművi anyagok fázastörzsvizsgálatakor a hold-time szerepének vizsgálatához trapéz alakú terhelőjel előállítására lenne szükség. Ezt a rendszer jelenleg még nem tudja. Ennek megoldása a közeljövő feladata, amelyre egy későbbi közleményben visszatérek.

Ciklusszám megadása: A vizsgálatot egy adott ciklusszámmal, vagy a próbatest töréséig lehet végezni.

Törési kritérium megadása: Ha a próbatest eltörik, akkor a vizsgálatot azonnal le kell állítani, hogy a próbatest törési felülete ne károsodjon. Hogy mikor tekintjük a próbatestet eltörtnek, erre sokféle elmélet van [1][2]. A program a következőt alkalmazza. Nyúlásvezérlés esetén, ha a próbatestben megjelenik a repedés és az terjedni kezd, akkor, mivel a nyúlásamplitúdó állandó, a húzóoldalon a terhelés csökkenni fog. Erővezérlésnél, állandó erőamplitúdó esetén, az alakváltozás fog változni, mégpedig növekedni. Ennek a csökkenésnek vagy növekedésnek a mértékét kell megadni a programnak, mint törési kritériumot. A vizsgálatokat 25%-os értékkel végeztük.

Referencia ciklus: Az előzőekben leírt törési kritériumot valamihez viszonyítani kell. A viszonyítási alap az első néhány ciklus, amelyet szintén nekünk kell megadni a programnak. Természetesen a program a referencia ciklusok átlagával számol. Esetünkben az első 10 ciklust tekintettük referenciának.

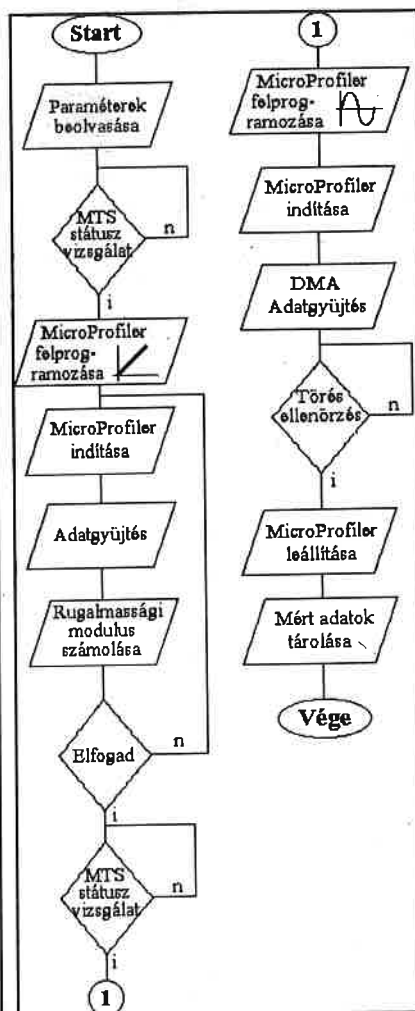
Ezek voltak azok a legfontosabb adatok, amit meg kell adni a programnak a vizsgálat végrehajtásához. Természetesen ezeken kívül még vannak bemenő adatok, de azok nem meghatározók a vizsgálat szempontjából.

A vizsgálati paramétereket a program egy adatfájlba tárolja, ahonnan a vizsgálatvégző és a kiértékelő modul be tudja olvasni.

Vizsgálat végrehajtó modul

Mint hogy az átmérővezérlés megvalósításához ebben a modulban kellett a lényeges változásokat végrehajtani, ezért ezzel részletesebben foglalkozom. A program működésének folyamatábrája a 5. ábrán látható.

Először a tárolt vizsgálati paraméterek beolvasása történik meg. Ezt követi az MTS berendezés állapotának lekérdezése elektronikus



5. ábra. A vezérlő modul működésének folyamatábrája

úton. Ha nem áll készen a vizsgálat végrehajtására, akkor a program nem engedi tovább a vizsgálatot.

Mielőtt elindulna a fázastörzsvizsgálat a program elvégzi egy rugalmassági modulusz mérést, amihez előbb a MicroProfiler-nek elküldi a terhelő függvény adatait, amely ekkor egy egyenes. A maximális érték nem haladhatja meg a folyáshatárt. A függvénygenerátor indítása a mérés indítását jelenti. Szinte ezzel egyidőben elindul az adatgyűjtés is, ami addig tart, ameddig a terhelő függvény eléri a maximumot. A mért adatokból (terhelés, alakváltozás) kiszámolja a rugalmassági moduluszt, amely, ha nem megfelelő (acél anyagoknál kb. 210.000 MPa), akkor a mérést más beállításokkal újra el kell végezni. Ebből következik, hogy a rugalmassági modulusz mérése egyben a mérési körülmények pontos beállításának ellenőrzésére is szolgál.

A rugalmassági modulusz mérése erővezérlésben, míg a fázastörzsvizsgálat erő- vagy nyúlásvezérlésben történik. Ha a vizsgálatot nyúlásvezérléssel kívánjuk végezni, akkor a vezérlési típust át kell kapcsolni az MTS kapcsolótábláján.

A vizsgálatához először el kell küldeni a MicroProfiler-nek a vezérlő függvény paramétereit (típus, amplitúdó, frekvencia), amely egy időben ismétlődő jel. Szinuszzal és háromszöggel közül választhatunk. A vizsgálat indítása a függvény-

generátor indításával történik, amivel egyidőben elindul az adatgyűjtés is. A számítógép nem lenne képes a mérendő nagy mennyiségű adatot feldolgozni, ezért a program DMA-s mérést választ meg. Ekkor az adatgyűjtő kártya a mért értékeket (erő és az alakváltozás) közvetlenül a számítógép memóriájába rakja. A feszültségből és az alakváltozásból a program megállapítja a próbatest törését és a MicroProfiler-t megállítja. Ezután a mérési eredményeket egy adatfile-ba tárolja.

Az eredeti vezérlő programban, nyúlásvezérlés esetén a maximális nyúlást kellett megadni ($\epsilon_{i\max}$). Az átmérővezérlésre alkalmassá tett szoftvernek az átmérőirányú alakváltozást ($\epsilon_{i\max}$). Ennek megfelelően radiális nyúlást fogunk mérni (ϵ_{rj}). Ahhoz, hogy a vizsgálati eredményeket össze tudjuk hasonlítani az axiális irányú nyúlásvezérléssel végzett vizsgálatokéval az ϵ_{rj} -t átalakítottuk ϵ_{ij} értékké, a szabványban található összefüggéssel, amely a hosszirányú és keresztirányú alakváltozás között teremt egy kapcsolatot a képlékeny alakváltozás tartományában:

$$\varepsilon_l = \frac{\sigma_l}{E} \cdot (1 - 2 \cdot \nu_\theta) - 2 \cdot \varepsilon_d \quad (1)$$

ahol: ε_l – axiális irányú nyúlás,
 ε_d – radiális irányú nyúlás,
 σ_l – feszültség,
 E – a mért rugalmassági modulusz,
 ν_e – Poisson-tényező, amelynek értéke
 acél anyagoknál 0,31.

Az átszámolást teljes biztonsággal csak a maximális alakváltozásnál és annak környezetében lehet egzakt módon elvégezni ennek a képletnek a segítségével. A rugalmas alakváltozás és a képlékeny alakváltozás közötti átmenetnél nem. A teljes alakváltozás tartományban történő átalakítás már egy komplexebb feladat, amelynek megvalósítása a jövő feladata.

Kiértékelő modul

Ez a programmodul a vizsgálati eredmények grafikus és számszerű megjelenítésére alkalmas. Ezek a következők:

- Feszültség-nyúlás diagram (hisztérezis görbe)
- Feszültség-idő diagram
- Nyúlás-idő diagram
- Feszültség-ciklusszám diagram
- Nyúlás-ciklusszám diagram

Az átalakított rendszer tesztelése

A következőkben egy átmérővezérléssel előfárasztott tőruszos próbatest vizsgálati eredményeit mutatom be.

Vizsgálati körülmények:

Próbatest típus: tóruszos

Próbatest átmérő: 7 mm

Próbatest anyaga: 13 CrMo 44

Vezérlési mód: átmérőirányú nyúlásvezérlés

Terhelő függvény: szinus

Nyúlásamplitúdó: 0.47%

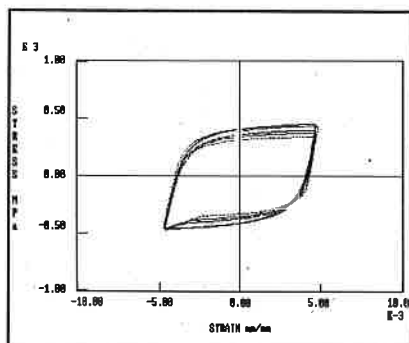
Vizsgálati frekvencia: 0.5 Hz

Hőmérséklet: szobahőmérséklet

Törési kritérium: a húzóoldali terhelés 25%-os esése

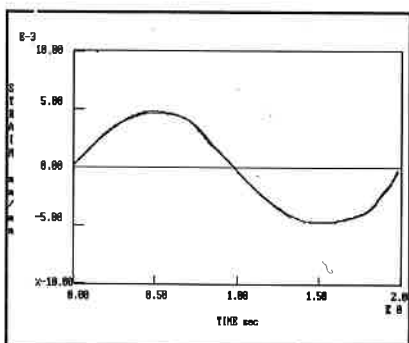
Apróbatest a 819. ciklusban eltört. A szoftver a számszerű megjelenítésen kívül lehetőséget

nyújt a következő grafikus megjelenítésekre. Minden ciklus feszültség-nyúlás diagramja (hiszterézis görbe) megjeleníthető, de egyszerre csak 5 darab. a 6. ábrán, a 2., 600., 800., 810. és 819. ciklus látható, ahol jól végigkövethető a törési folyamat.



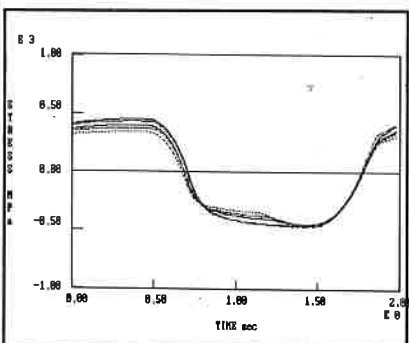
6. ábra. Feszültség-nyúlás diagram (hiszterézis görbe)

A 7. ábrán a nyúlás-idő görbe, szintén a 2., 600., 800., 810. és 819. ciklusban. A görbék szinusz alakúak és fedik egymást, a nyúlásvezérlésnek megfelelően.



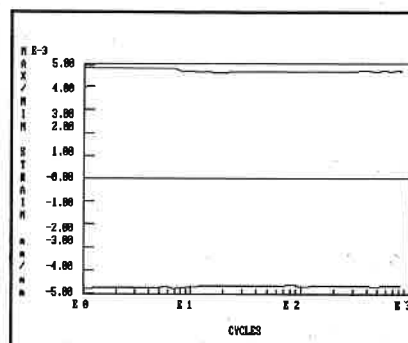
7. ábra. Nyúlás-idő diagram

A feszültség-idő diagramon már más a helyzet (8. ábra). A görbék alakja nem szinusz, hiszen a feszültség-alakváltozás kapcsolat nem lineáris a képlekeny tartományban. Jól látható a diagramon a húzó oldali terhelés csökkenése a repedés megjelenésével. A nyomó oldalon lévő ugrásszerű feszültségnövekedés oka pedig a megjelenő és növekvő repedés záródása.



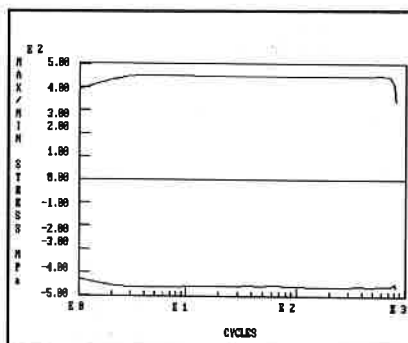
8. ábra. Feszültség-idő diagram

A nyúlás-ciklusszám diagram (9. ábra) arra ad információt, hogy a rendszer mennyire megbízhatóan tartja az előre beállított nyúlásértéket a teljes vizsgálat alatt.



9. ábra. Nyúlás-ciklusszám diagram

A feszültség-ciklusszám diagramból (10. ábra) már az anyagra jellemző tulajdonságot állapíthatunk meg, mégpedig, hogy keményedő, lágyuló, esetleg semlegesen viselkedő. A diagramon jól látható, hogy ez az anyag keményedett, és a keményedési folyamat az első 10 cikluson belül lejáródott.



10. ábra. Feszültség-ciklusszám diagram

Az elvégzett, nagyszámú vizsgálat és tesztelés eredményeképpen megállapítható, hogy a rendszer minden tekintetben eleget tesz az átmérővezérelt kisciklusú fűrésztűvívzsalak feltételeinek, megbízhatósága jobb a szabványbeli értéknél, de rosszabb a nyúlászvezérlésnél [3][5].

Köszönetnyilvánítás

A vizsgálati metodika terveinek előkészítésében és kidolgozásában hasznos segítséget nyújtottak: dr. Nagy Gyula, dr. Tóth László és Major Zoltán, amelyért ezúton is szeretnék köszönetet mondani.

Irodalom

- [1] Nagy Gy.: A próbatest alakjának hatása a törés helyére kisciklusú fárasztáskor. Kandidátusi értekezés, 1988.
- [2] Dr. Czoboly E., dr. Ginszetter J., dr. Havas I.: Ismeretek a kisciklusú és a termikus fáradásról. Gép XXXVI. évfolyam. 1984. 7. szám. Július
- [3] Rózsahegyi P.: Az átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálat megbízhatósága, Anyagvizsgálók Lapja, 1994. 4. évfolyam, 2. szám. 41–44. old.
- [4] Gy. Nagy, L. Tóth, R. Rózsahegyi: LCP Properties of 1Cr0.5Mo Type Steel at Different Temperature, XIIIth International Colloquium on Mechanical Fatigue of Metals, Miskolc-Tapolca, 1994. III. 10–12.
- [5] MSZ 4363: Kisciklusú fárasztóvizsgálat

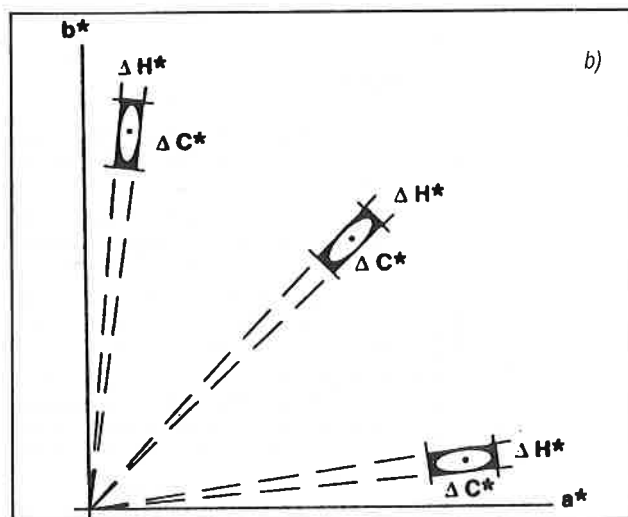
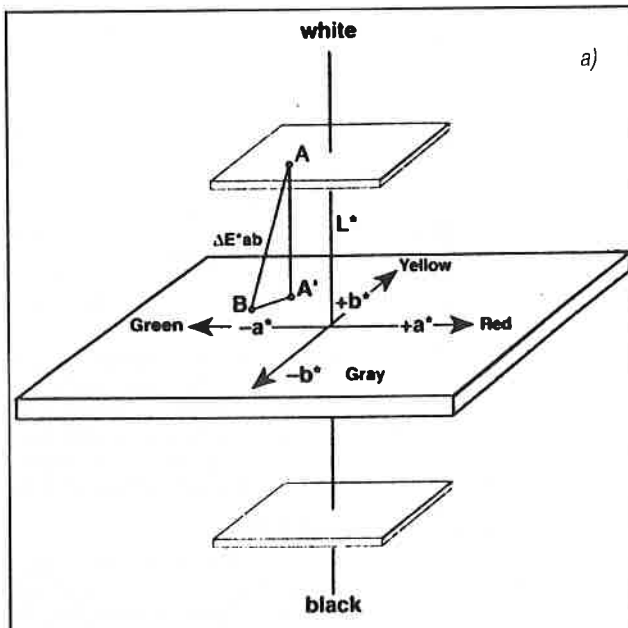
WORLD COAT '94

A Budapesti Kongresszusi Központ adott otthont 1994. május 16. és 19. között a francia–magyar együttműködés keretében létrejött WORLD COAT '94 kiállításnak és a hozzá kapcsolódó XII. FATIPEC kongresszusnak. A festékipar eme fóruma találkozási alkalmat adott az Európa mindkét feléről érkező többszáz szakember számára mind a kutatás–fejlesztés, mint pedig a marketing területén, és lehetőséget teremtett a régi kapcsolatok elmélyítésére, az új üzleti lehetőségek feltárására.

A helyszín, a rendezés színvonala, az izléseken kialakított – ugyanakkor nem nyomasztóan zsúfolt – standok és nem utolsósorban a kiállítók száma és sokszínűsége optimális körülményeket adott a hatékony szakmai munkához.

A kiállított termékek közül kiemelném azokat, amelyek festékbevonatok és bevonatrendszerek vizsgálatára szolgálnak. Az egyszerűbb, ugyanakkor vizsgálati szempontból a legfontosabb és legelterjedtebb vizsgálóeszközök – úgymint hajlítógépek, nedves- és szárazbevonatvastagság-mérő, rácsos tapadásvizsgálók, viszkoziméterek... – éppúgy megtalálhatók voltak, mint a legmodernebb spektrofotométerek, koloriméterek.

Ez utóbbiak közül kiemelném a BYK-Gardner handy-color (fotónk) és az X-Rite CDM típusú hordozható szín- illetve színkülönbségmérő készülékeket.



Ezen mérőeszközök az üzemi minőségbiztosítás alapeszközei lehetnek. Maga a vizsgált felület lehet festék, papír, műanyag, kerámia vagy akár textília. Elsősorban a sorozatgyártás során készült termékek – így gépjárművek, háztartási gépek... – színmérésére és ellenőrzésére szolgálnak. A tervezők által elképzelt színparaméterek, illetve ezek türései a készülék memóriájában tárolhatók akár a derékszögű koordináta-rendszerben definiált (a. ábra), CIELAB szerinti L^* , a^* , b^* paraméterekkel – ahol L^* a világosság, a^* a vörös/zöld, b^* a sárga/kék színszámok –, akár a polár koordináta-rendszerben értelmezett (b. ábra) CIELCH szerinti L^* , C^* , H^* paraméterekkel – ahol L^* a világosság, C^* a színerő/szintiztaság, H^* a színárnyalat paraméterek. Természetesen ezen paraméterek egy adott mintadarabról méréssel is meghatározhatók.

A szalagtermékek vizsgálata során a készülékek mének, összehasonlítanak, értékelnek és döntenek affelől, hogy az adott termék színeltérése a megengedett tűrési határon belül van-e vagy sem. A készülék kijelzőjén megjeleníthetők az ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* paraméterek – ahol $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]$ – illetve a ΔL^* , ΔC^* , ΔH^* színeltérésre jellemző paraméterek. A CDM típusú készüléknél lehetőség van a színeltérés megjelenítésére ΔE_{CMC} -ben is. (Ehhez természetesen a világosság/szintiztaság arány beállítható az adott felhasználási területnek megfelelően.) Amennyiben az áru nem felel meg a kívánt minőségi követelményeknek, úgy a koloriméter ezt feltűnő, jól érzékelhető lény és/vagy hangjelzéssel jelzi, a numerikus eltérés mellett leolvasható a színeltérés tendenciája. (Például a minta túl világos, erőteljesen zöld és nagyon intenzív színi.)

A készülékek kezelését menürendszer könnyíti meg. A mért értékek táblázatos, grafikus és statisztikus – mely minősített gyártóknál elemi szükséglet – feldolgozására programcsomag áll rendelkezésre.

Színmérésre alkalmas az X-Rite két, egymástól optikai elrendezésében különböző hordozható, robusztus kivitelű spektrofotométere az MA 68, illetve az SP 68 típusú. Mindkét készülékkel mérhetők a színszámok CIELAB és CIELCH szerint, valamint az ezen paraméterekhez tartozó színkülönbségek. Az utóbbi készülék opciója a hagyományos CIE szerinti színszámok X , Y , Z , illetve ezek differenciájának ΔX^* , ΔY^* , ΔZ^* valamint a fehérség és sárgaság index kijelzési lehetősége. Mindkét készülék spektrumtartománya 400–700 nm. Az eszközök RS 232 kimenettel rendelkeznek, a mért adatok feldolgozására a gyártó WINDOWS alatt futó programcsomagot állított össze (QA-Master, Paint-Master).

Mohácsi Gábor

Minőség és környezete

Bagyinszki Gyula*

Ha példának okáért megnézzünk néhány korábban (még a tervgazdálkodás időszakában) készített diplomatervet, értekezést, folyóiratcikket, vagy konferenciaelőadást, könnyen találhatunk bennük „gazdaságossági elemzést”, „termelékenység kimutatást”, illetve más, ezekkel rokonértelmű igazol(gat)ást a téma létjogosultságáról.

Manapság a hasonló írásművek valamit is magukra adó szerzői nem hagyják ki a minőségbiztosítás ilyen vagy olyan megközelítését, de legalább is említést tesznek róla. Míg régebben a gazdaságossági mutatók firtatása egy kötelességszerű szertartást jelentett, addig napjainkban a minőségbiztosításról való megemlékezés egyfajta divattá nőtte ki magát, akár csak az informatika, az ergonómia, vagy a logisztika gondolatvilágának bizonyos mértékű beillesztése a kutatási-fejlesztési témákba, remélve a még kedvezőbb fogadtatást. Már a környezetvédelem és az energiatakarékosság is nagyobb hangsúlyt kap az utóbbi években, bár jellemzően csak az illetékes fülek mellett elszálló szóban és az aktakötegekben tornyosuló papírokon (meg)maradó írásban.

Minőség és kultúra

Félreértés ne essék, nem szeretnék ironizálni, hiszen az voltaképpen jó, hogy már gyakrabban felelmelegtük ezeket a dolgokat. Az viszont már kevésbé, hogy nem igyekszünk minél széleskörűbben és hatékonyabban – elsősorban az oktatáson keresztül – beilleszteni a köztudatba, az amúgy is hosszú időt igénylő szemléletváltás mielőbbi elérése érdekében. Természetesen mindezt a különböző iskolatípusoknak megfelelő szinten és mélységben akár a jelenlegi tantárgyakba beépítve, egyes – az adott oktatási fokon feleslegesen részletekbe menő – tananyagrészek redukálása, elhagyása révén felszabaduló órákban. A jobb hatások érdekében már az általános iskolában kell elkezdni a szemléletvált(oz)ást és nem a rossz beidéződések káros szenvedélyeszerű kialakulása után, illetve nem csak a viszonylag keveseket érintő felsőoktatás graduális és posztgraduális képzési formáiban.

Például a sokak által sohasem látható élőlények sejtszerkezetének, életmódjának, genetikai problémáinak,... elemzése helyett hasznosabb lenne a mindennapi élet realitáit tükröző humánökológiai, egészségvédelmi, ergonómiai ismereteket beépíteni a biológia legszélesebb rétegeket érintő alap- és középfokú oktatásába is. A földrajzban helyet kaphatna a környezetvédelem, az energiatakarékosság, a minőségbiztosítás globális szemlélete, hazai és nemzetközi helyzete, valamint ipari, mezőgazdasági, közlekedési, települési vonatkozásai. Valószínűleg többet jelentene, mint a magukat Európának, minket balkáninak kikiáltó, tőlünk alig nyugatabbra lévő, a második világháború előtt

semmit sem különb (csak utána a nagy Szovjetunió „testvérbaráti szeretetében” nem részesült), minket magunkra hagyó és velünk szemben propagandisztikus előítéletekkel viselkedő kontinensársaink nyersanyag-kitermelési, éghajlati, demográfiai,... adatainak bírlása. A cél persze az volna, hogy a tantervekben önálló tantárgy(ak) formájában is megjelenjenek ezek a tématerületek.

A legkevésbé üdvözlendő viszont az, hogy ritka az igazán előrevívó és hatékony vállalati, regionális vagy országos szintű gyakorlati lépés. Talán a kényelmesség, a patológiai beállítottság, vagy a társadalmi kultúra alacsony nívója az ok?

Aprópó, társadalmi kultúra! Ez (lehet) a táptalaja annak a kifejlődő igény szintnek, mely a sokféle jelzővel illethető piacot megcélözva ugyanúgy nem fogadja el a gyanúsán olcsó, silány minőségű, rövid életű, egészségkárosító keleti tömegcikkeket, mint a drágább, jónak minősített, rövid határidőre szállított, de környezetszennyező volta miatt hazájából már kiűzött nyugati produktumot. Nálunk még jellemző, hogy az árnak van prioritása a környezetbarát minőséggel szemben, holott ennek fordítva kell lennie. Tudjuk, sokszor a pusztá jószándék kevés – akár az egyes egyén, akár a nemzetgazdaság vonatkozásában – ha nincs elegendő pénz, pénz és pénz. De akkor sem szabad elfogadni, engedélyezni a rövid távú haszon érdekében a hosszú távon súlyos károkat okozó termékeket, szolgáltatásokat, technológiákat!

Meghatározó tényezők

A minőség „definíciószerűen” a termék vagy a szolgáltatás tulajdonságainak és jellemzőinek összessége, amelyek adott követelmények (vevői igények) kielégítésének alkalmasságára vonatkoznak. Magyarul: minőség az, amit a vevő önszántából hajlandó megfizetni. A minőségbiztosítás pedig azon műszaki és gazdasági tevékenységek összessége, melyek a tervezés és kivitelezés lehető legjobb (a vevő átvétele nélkül) eredményességét szolgálják.

Egy termék minőségét alapvetően három tényező határozza meg: a tervezés során kiválasztott anyag(ok), illetve megszerkesztett konstrukció és a kivitelezés során alkalmazott technológiák(k).

Az anyagkiválasztáshoz támpontot adhatnak a ma már nagy számban rendelkezésre álló, sokféle funkcióval ellátott számítógépi adatbázisok. De a kémiai összetétel, a szemcse- vagy szövetszerkezet, a fizikai jellemzők, a mechanikai tulajdonságok mellett gyakran szükség van a technológiai tulajdonságok ismeretére is a megmunkálhatóság megítéléséhez. Így például a túlhevítés és felületi ötvöztetés iránti érzékenység, a meleg- és hidegalakíthatóság, a hegeszthetőség (hidegsajtoló, melegsajtoló, ömlesztő), a hőkezelhetőség (edzhetőség, átedzhetőség, megeresztésállóság), a forgácsolhatóság, a köszörülhetőség, a polírozhatóság, az alak- és méretállóság sokszor csak

az eljárásvizsgálatok elvégzése után véleményezhető. Ugyanis az ilyen célra „forgalomban lévő” képletek, diagramok nem mindenhatók, az általuk nyert információ olykor félrevezető lehet. Különösen annak, aki nem avatott szakértője az adott területnek és nem fogadja kellő szakmai kritikával a kapott adatokat.

A konstrukció fogalomkörébe beleértendő: az összes lehetséges igénybevétel figyelembe vevő méretezés, a formatervezés (design), a funkcionális alkalmasság, a működési paraméterek, a megbízhatóság, valamint a speciális vásárlói kívánságok kielégítése. Egyébként a tervezésnél (az írástáblánál és a rajztáblánál) lehet legtöbbet megtakarítani, hiszen itt a legkisebb a szükségesnek ítélt változtatások költségvonzata. A gyártás során felmerülő változtatás már aránytalanul sokba kerül. Mennyi – zömében állami költségvetésből származó – pénzt fizettek ki az „újítási mozgásban” olyan alapvető változtatásokért, amelyek a gondosabb tervezéskor eleve adódtak volna. Nem beszélve arról, hogy hány protekciós újítás rontott a vállalat helyzetén vagy csak a botcsinálta „felhalál” pénztárcáját vastagította. A konstrukciós és a technológiai tervezésben is jól – de nem kizárólagosan – alkalmazhatók a korszerű számítógépes tervező- és szakértői rendszerek, illetve méretezési és optimalizáló módszerek.

A különféle anyagelőállítás, öntő, képlékeny alakító, hegesztő, hőkezelő, felületkezelő, forgácsoló vagy szerelő technológiák közötti választást gyakran a helyi adottságok korlátai kényszerítik ki és nem a szükségszerű műszaki, gazdasági szempontok vezérlik. Nem feltétlenül jó megoldás mindent cégen belül megcsinálni, hiszen egyes feladatok kiadhatók bémunkába az adott területen nagyobb gyakorlattal és korszerűbb felszereléssel rendelkező üzemeknek. Sőt a minőségellenőrző vizsgálatokat is meg lehet rendelni akkreditált szakszolgáltató laboroktól.

A technológiák előkészítése sem ragadhat le a korábbi gyakorlatnál, azaz minél olcsóbb, nem bizonyított (ismeretlen előéletű, esetenként gyengébbre „cserélődött”) anyagok beszerzésénél és gyárudvaron történő gondatlan tárolásánál, hanem igazodva a tervezési előírásokhoz és a szerződési feltételekhez, gondoskodni kell a megfelelő kezelésről és a gyártási nyomomonkövethetőségről. A gyártás megkezdése előtt felül kell vizsgálni az alkalmazandó anyagokat, eljárásokat és részleteket, egyértelmű, a dolgozó szakképzettségéhez mérten megfogalmazott, több szakember által jóváhagyott műveleti utasításokat kell kidolgozni. Nem biztos, hogy a nagykalapácsos „Jósi bácsikra” célszerű bízni a gyártási és ellenőrzési utasítások felülbírálatát, akik „mit tudják ezek ott főt” felkiáltással, laza csuklómozdulattal lesöprik azt a munkapadról, majd nagy önbizalmukkal – hivatkozva a józan paraszti eszükre és a brigádmozgásban szerzett tapasztalataikra – neki-vágnak a számukra ismeretlen, sőt olykor érthetetlen korszerű minőségi követelmények ki-

* Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Intézet

elégítésének. A várható eredmény véleményezését az olvasóra bízom.

A minőségkorszak hajnala

A gyártást jó szervezéssel, a technológiai fegyver betartásával, baleset- és környezetvédelmi szempontok érvényesítésével, mennyiségi és határidő ütemezéssel, csak az éppen szükséges terjedelmű (statistikai mintavétellel támogatott) minőségellenőrzéssel és természetesen pontos dokumentációkkal lehet és kell közben tartani. Nem szabad megelégedni a célszerű (a szállítás műszaki követelményeinek megfelelő) és esztétikus csomagolással, a termékek és dokumentációk biztonságos raktározásáról sem. A minőség javítása, a szubjektív hibalehetőségek szűkítése, a termelékeny sorozatgyártás ésszerű, de nem mindenáron erőltetett és gazdaságilag megalapozott gépesítésével, robotosítással vagy automatizálással (gyártócellák, rugalmas gyártórendszer kialakításával) és a számítástechnika lehetőségeinek széleskörű kihasználásával elősegíthető. De ezen beruházások gyors megtérülését – a versenyben maradás érdekében – nem ajánlatos teljes egészében áremelésektől remélni, sokkal inkább a még meglévő veszteségforrások kiiktatásától.

A gyártásközi és végellenőrzés feladata az esetleges hibák feltárása. A használhatóságot befolyásoló, azaz költségnövelő hibák (funkcionális alkalmatlanság, alak- és működési pontatlanság, balesetveszélyesség, tervezettnél rövidebb várható élettartam), és a használhatóságot nem befolyásoló, de kényeszerű árengedményre vezető hibák (kisebb fogyatékoság, szépséghiba, gyengébb csomagolás, hiányos dokumentáció) mellett vannak más veszteségforrások is. A gyártási és vizsgálati problémákon kívül veszteséget okozó hibának számítanak a kihasználatlan hagyott előnyös lehetőségek, a rosszul megfogalmazott szerződések, a hibás döntések, a felesleges tevékenységek (pl. a hatalmas adminisztrációs papírmunka), a nagy raktárkészletek, az ügyfelek és a munkatársak elégedetlensége... Nem kell messzire mennünk, hiszen ezekre bőven akad hazai példa. Az is nyilvánvaló, hogy nem a beosztott dolgozók az ilyen hibák elkövetésének fő részesei, hanem a következők, korrupt, képzetlen, sőt feladatukra teljesen alkalmatlan vezetők, névjegykártya-menedzserek.

Olcsóbb a hibát elkerülni, megelőzni, mint hibát csinálni, keresni, megtalálni, kijavítani és újraellenőrizni. Rögtön jól kell csinálni (a vevőkör megtartása és bővítése érdekében), illetve törekedni kell a 0-hiba elérésére (a selejtszázalék és a költségek csökkentése érdekében)! Ne feledjük, a hiba keletkezésének oka, helye, időpontja és felelőse van! A bűnbak-keresés kora lejárt. (A bűnbak ma már ritka védett jószág, tilos vadászni rá!)

A minőséget nem lehet bevizsgálni a termékekbe, azt bele kell tervezni és gyártani jól képzett és folyamatosan továbbképzett szakemberekkel. Ekkor az ellenőrzés feladata csak annyi, hogy megállapítsa és dokumentálja azt a jó minőséget, amit a kiszállítás, az esetleges helyszíni szerelés és próbaüzem után, karban tarthatóan, szervizgaranciával (hulladékkezelés

megoldásával), határidőre, mennyiségileg is hiánytalanul lehet átadni. A rendelés műszakilag tökéletes kielégítése esetén is előfordulhat reklamáció, ami a vevő bizalmának megtartás érdekében a lehető legkészségesebben intézendő el.

Nem elég egyszer „kiszenvetni” a jó minőséget, hanem folyamatosan és nyereségesen kell tudni produkálni, sőt javítani. A minőségjavítás még munkahelyeket is teremthet. Ugyanis ha javul a minőség, csökkenthetők a termelési költségek és ezáltal – a piaci részesedés növelése érdekében – az eladási ár is. Ez megerősítheti a gyártó, a forgalmazó pozícióját, új befektetésekre, munkahelyek teremtésére ösztönözheti. Sajnos arra már nincs garancia, hogy egy nálunk céghez jutott külföldi ezt az új befektetéseket is itt realizálja.

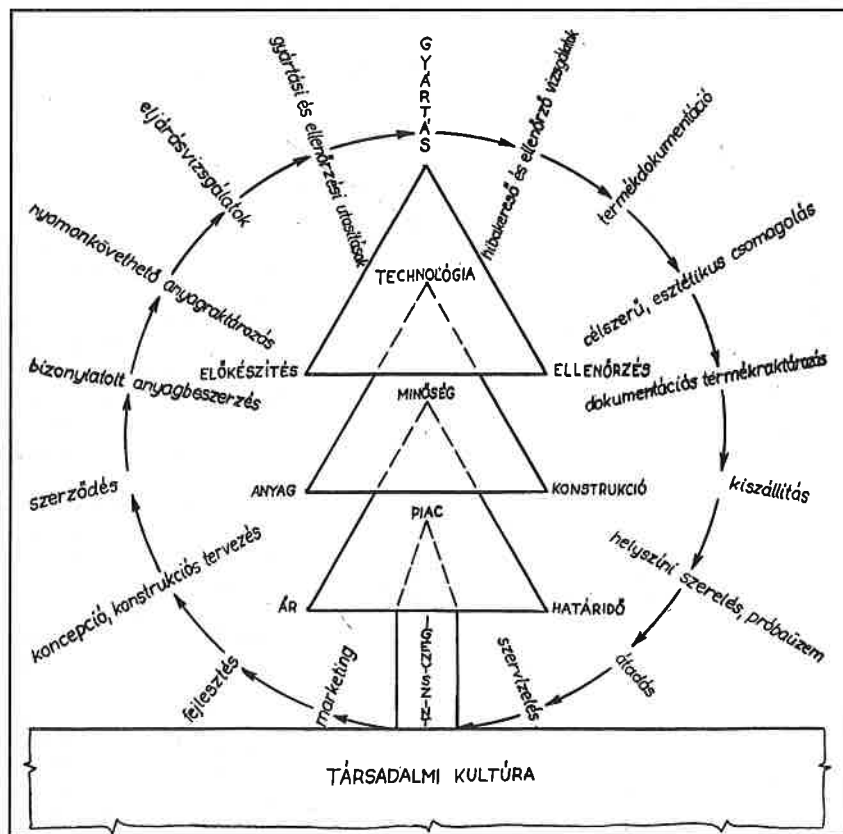
A piac, a minőség és a technológia előzőekben felvázolt tényező-háromszögéből egy szervesen összefüggő fenyőfa-struktúra „fejlődik ki” (1. ábra). E fa háttérben „ragyog fel” az új minőségkorszak hajnalát szimbolizáló nap körvonala, kisugározva a minőségbiztosítás szükségsszerű feladatait. Egy jól működött minőségbiztosítási rendszerben az egyre újabb és újabb termékeknel – a tudományos és a technikai fejlődéssel együttjáróan – ez a minőségkörnyezeti forma változatlan, de a mögöttes tartalom egyre magasabb és magasabb rendszerminőséget jelent. Ennek feltétele az oktatással, képzéssel, motivációval (nem manipulálással) kialakított minőség tudat, a megszervezett minőségbiztosítási rendszer (tárgyi, személyi és szervezeti feltételek) meglétének, illetve működésének dokumentálása

(minőségpolitika és a minőségmenedzsment rendszerét leíró minőségbiztosítási kézikönyv elkészítése), időszakos felülvizsgálata (audit) és tanúsítása (certifikálás). Ez már a közeljövőben számos – jelentősebb nyereséggel kecsegtető – üzlet megszerezhetőségének alapfeltételévé válik.

Nincsenek szabványosított, lemásolható minőségbiztosítási rendszerek, illetve kézikönyvek. A vállalatnak magának kell a saját adottságai, lehetőségei és a gyártani kívánt termék szerződésben rögzített előírásai szerinti rendszert kialakítania. A szabályok, szabványsorozatok csak követelményeket határoznak meg, amelyeket a létrehozott minőségbiztosítási rendszernek ki kell elégítenie, illetve amelyek alapján a rendszer tanúsítását el lehet végez(tet)ni.

Minőség és az üzemeltetés

A minőségkör négyeszesítésével, a rendezőelvek két nagy csoportja szerint sorolhatjuk be a termék fontosabb minőségbiztosítási, illetve minőségmegítélési szempontjait (2. ábra). A termék vállalatban belüli gondozása, illetve vállalatban kívüli (elfogadása részben műszaki, technikai, ipari, technológiai, részben gazdasági, piaci, kereskedelmi, üzleti kérdés. Ennek megfelelően a mérnökök, szakértők, technikusok által történik a termék-minőségbiztosítás, melyhez a menedzserek, szervezők, vállalatvezetők tevékenysége hozzájárulva létrehozza a rendszer-minőségbiztosítást. A piacgazdaságokban érvényesülő szabadverseny általában elősegíti a minőség prioritását az árral szemben. De nem csak a társadalmi, vásárlói elis-



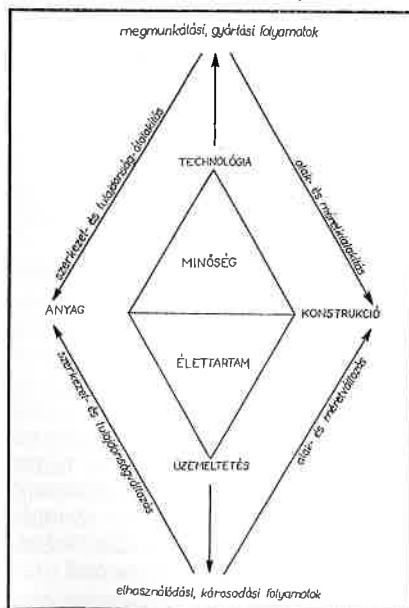
1. ábra. Minőségkörnyezet

A termék		minőségbiztosítási szempontjai		A termék	
		műszaki, technikai	gazdasági, piaci		
minőségmegítélési szempontjai	ipari, technológiai	gyárthatóság	költségesség	szakmai, versenytársi	vállalaton kívüli fogadása
		- előkészítés: - infrastruktúra, koncepció - fejlesztés, tervezés - bonyolultság: - alak - méretek - megmunkálhatóság: - anyagok - eljárások - ellenőrzés: - gyártásközi vizsgálatok - gyártásvégi vizsgálatok	- anyag-, energia- és eszközigény: - beszerzés és raktározás - környezetvédelem - Időszükséglet: - főidő - mellékidők - kézi- és gépi munka aránya: - termelékenység - balesetvédelem - ergonomiai és esztétikai jellemzők: - formatervezés - csomagolás		
	kereskedelmi, üzleti	használhatóság	eladhatóság	társadalmi, vásárlói	
		- funkcionális alkalmasság: - helyigény, tömeg - teljesítmény, hatások - működési paraméterek: - beállíthatóság - pontosság - üzemképesség: - kiszállítás, helyszíni szerelés - próbaüzem, műszaki átadás - megbízhatóság: - korszerűség - biztonságosság	- marketing: - piacutazás - reklám - szerződés: - átadási határidő és ár - minőségi és jogi kikötések - dokumentáció: - minőségi tanúsítvány - használati utasítás - garancia: - szervizellátás - termékelelősség		
A termék		mérnöki, szakértői	menedzseri, szervezői	A termék	
		vállalaton belüli gondozása			

2. ábra. A termék minőségbiztosítási és -megítélési szempontjai

mertségért kell küzdeni, hanem a szakmai, versenytársi kritikának is meg kell felelni.

A tudomány és a technika pillanatnyi állásának megfelelő anyagokkal, konstrukcióval és technológiával a gyártó által létrehozott minőség önmagában nem tudja biztosítani a tervezett élettartamot. Tekintetbe kell venni egy negyedik tényezőt is, a felhasználó általi üzemeltetést (3. ábra). A technológiában alkalmazott megmunkálási, gyártási folyamatokkal a



3. ábra. Termékminőség- és élettartam-tényezők

konstrukció alakját és méreteit alakítjuk ki, illetve a felhasználandó anyagok szerkezetét és

tulajdonságait átalakítjuk a minőségi követelményeknek megfelelően. Az üzemeltetés során pedig olyan elhasználódási, károsodási folyamatok indulnak meg, melyek a termék élettartamát befolyásoló alak-, méret-, illetve szerkezet- és tulajdonságváltozásokat eredményeznek. Az üzemeltetés személyi és tárgyi feltételeitől nagy mértékben függ, hogy ezek a változások mikor (a tervezett élettartamon belül vagy kívül) érik el a kritikus (használhatóságot megkérdőjelező) értéket. Nyilvánvaló, hogy a sikeres próbaüzem, tesztelés után a használati, üzemeltetési utasításban foglaltak betartása, illetve bizonyíthatóan gyártói vagy forgalmazói hiba esetén van garancia és termékfelelősség. Egyébként a felhasználót terhelik a szervíz és a működési idő kiesés, valamint az egyéb károk költségei.

Az üzemelés során a terméket vagy annak egyes alkatrészeit érő mechanikai, termikus, vegyi, elektromos, mágneses és fényhatások, igénybevételek által kiváltott elhasználódási, károsodási folyamatok sokfélék (4. ábra). A rövid üzemelés során fellépő károsodási folyamatok nem lehetnek meghatározók egyetlen termék esetében sem, ezek megelőzése alapvető tervezési, ellenőrzési feladat. A hosszabb üzemelés (tartós használat) során fellépő károsodás-felhalmozódási folyamatok érinthetik a termék egészét (nem lokalizáltak) vagy egy kisebb résztartományát (lokalizáltak).

A termikus vagy termomechanikai hatások által aktivált alak- és struktúrávalózási folyamatok lehetősége esetén fontos az állapotfelügyelet megléte és működtetése.

rövid üzemelés során fellépő makroszkópiusan lokalizált károsodási folyamatok				hosszabb üzemelés során fellépő makroszkópiusan	
				nem lokalizált károsodás-felhalmozódási folyamatok	lokalizált károsodási folyamatok
tervezési hibával vagy nem várt túlterheléssel összefüggő folyamatok				fizikai változásokkal és/vagy kémiai átalakulásokkal összefüggő folyamatok	folytonossági hiányok keletkezésével és/vagy folytonossági hiányok növekedésével összefüggő folyamatok
rugalmas nagy deformáció	képlékeny instabilitás	nagy deformáció	instabilitás	alakváltozás: - megeresztődés - egyenletes kúszás struktúrávalózás: - ötvözőkiégés - sugárzási károsodás	törés: - ridegtörés - képlékeny törés fáradás: - mechanikai fáradás - termikus fáradás
beszorulás	kihajlás	megfolyás	kontrakció	- adhéziós: - hideghegedés - meleghegedés - tribokémiai: - illesztési korrózió - kenéstechnikai korrózió - felületi: - passzíváló korrózió - egyenletes korrózió - foltkorrózió - anyagban belüli: - általános korrózió - szelektív korrózió	kopás - abrazív: - abrazív erózió - abrazív forgácsolás - fázadással: - passzív réteg-felbomlás - pittingképződés korrózió - behatoló: - feszültségkorrózió - lyukkorrózió - kristályközi korrózió anyagok közötti: - kontaktkorrózió - réskorrózió kavitáció

4. ábra. Az élettartamot befolyásoló károsodási folyamatok

A törés és fáradás vizsgálatával, méretezési és ellenőrzési anyagjellemzők, illetve összefüggések kreálásával a törésmechanika sok tervezési információt ad a konstruktőröknek, korszerű mérési, diagnosztikai módszereket kínál az anyagvizsgálóknak a töréssel és a fáradással szembeni biztonság megítéléséhez.

A kopáscsökkentés, illetve a kopásállóság-növelés érdekében a tribológia és a surface engineering (nincs igazán jó magyar elnevezése) számos, eredményes alkalmazható kenőanyagot, anyagkombinációt, kenéstechnikai és felületkezelési eljárást, valamint szerkesztési módszert fejlesztett ki.

Minőség és korrózió

Talán a korrózió érinti a gyártók és felhasználók legnagyobb körét, mégis a kevésbé komolyan kezelt problémák közé tartozik. Pedig jól tudjuk, hogy feltételei hamar létrejönnek, folyamatai könnyen megindulnak, hatalmas anyagi és természeti károkat, sőt baleseteket is okozva.

Magyarországon 1991. évi korróziós veszteségét több mint 240 milliárd forintra becsülik, ami másodpercenként is legalább 7 és fél ezer forint kárt jelent! Pedig e hatalmas összeg nagy része megtakarítható lenne helyes anyagmegválasztással, konstrukciós szerkesztéssel, gyártással, ellenőrzéssel, üzemeltetéssel és felügyelettel. Ha belegondolunk, ez valójában nem jelent többletkiadást, hiszen a tevékenységek szervezete megvan, csak a szerényen fogalmazva – kissé rosszul működik.

A korróziós károk közel 90%-a konstrukciós, azaz anyagválasztási és szerkesztési hibákra vezethető vissza. Nagy szükség lenne mélyebb korróziós-kémiai, elektrokémiai ismeretekre, illetve a korróziós káresetek alapos elemzésére a konstruktőrök (szerkesztők, formatervezők) graduális és/vagy posztgraduális képzésében is.

Ami a gyártást illeti, gyakori hibák a következők:

- anyagválasztás és konstrukciós kialakítás bírálatának hiánya,
- rosszul kivitelezett hegesztés, forrasztás,
- helytelenül alkalmazott hőkezelés,
- mechanikai sérülések,
- nem megfelelő tárolás, raktározás,
- nem körültekintő szállítás, szerelés,
- gondatlan felületelőkészítés,
- nem jól megválasztott festék-, illetve bevonatrendszer,
- szakszerűtlenül végrehajtott felületvédelem,
- következtelen ellenőrzés.

Üzemeltetés (használat) közben előforduló jellegzetes hibák:

- elégtelen hűtés, szellőzés,
- nem megfelelő üzemanyag, adalékanyag,
- helytelenül megválasztott kenőanyag,
- káros vibrációk, rezgések,
- üzemnél magasabb nyomás,
- megengedettnél nagyobb áramlási sebesség,
- engedélyezettnél magasabb hőmérséklet,
- üzemeltetési előírások hiánya,
- üzemeltető személyzet képzetlensége,
- laza fegyelmű felügyelet.

Ha a korróziós probléma már felmerült, még akkor is van lehetőség bizonyos mértékű beavatkozásra. Ha ehhez nincs megfelelő szakember a vállalatnál, külső szakértőhöz lehet fordulni. A lényeg a gyors korrózió-diagnosztikában és a mielőbbi egyszerű, olcsó, de szakszerű korrózió-terápiában van. Ezáltal az élet-tartam gyors csökkenése megfékezhető, a kár-költségek egy része megtakarítható.

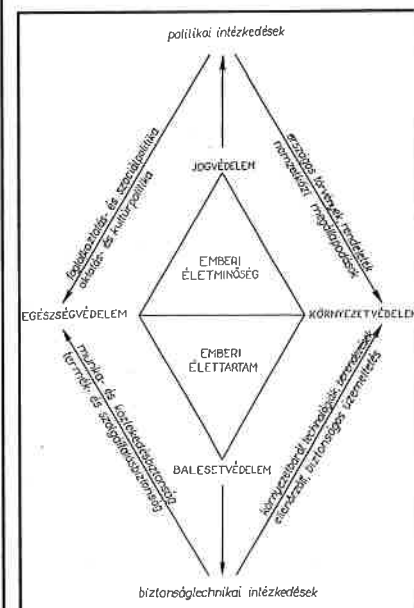
A környezetvédelem szerepe

A környezetvédelem fontosságára is jó lenne már a tervezéskor tekintettel lenni, hiszen nem minden technikai vívmány természetbarát konstrukció. Ahol mód és lehetőség kínálkozik, keresni kell az öko-design megoldásokat, melyek természeti (növényi vagy állati) modellek alapján szerkesztett konstrukciók és alkalmazásokban is illeszkednek az ökológiai rendszerbe, azaz nem okoznak környezeti, természeti károkat.

Ha nem is vagyunk biológusok, geológusok, ökológusok, azért a jövőnk érdekében tartsuk szem előtt a természeti alapelveket:

- A természetben minden mindennel összefügg.
- A természetben harmonikus körforgalom uralkodik.
- A természetben nincs szeretetvendégség. (Azaz nemcsak fogyasztani, hanem pótolni is kell!)
- A természet mindent jobban tud. (Tehát érdemes tanulni tőle!)

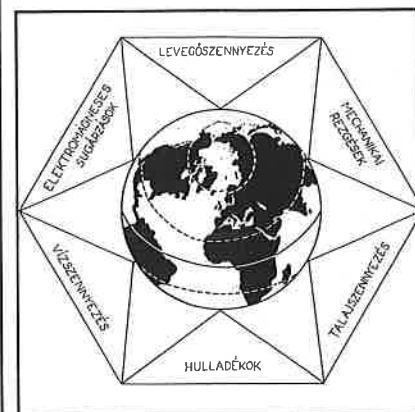
Egy termék vagy szolgáltatás minőségjavításának, élettartam-növelésének, technológiai fejlesztésének addig van értelme, amíg nem válik egészség- és környezetkárosítóvá. Legyünk tekintettel a saját életminőségünkre és élettartamunkra, illetve az ezeket meghatározó társadalmi méretű tevékenységekre is (5. ábra)!



5. ábra. Az emberi életminőség- és élettartam-tényezők

Ezek közül talán a környezetvédelem az, amely a legnagyobb összefogást igényli, hiszen a környezetszennyezés (6. ábra) nem ismer üzem-, település- vagy országhatárokat és nem

csak levegőbe történő károsanyag-kibocsátást jelent. Néhány gáz- és szerves anyag nagyvárosok kerületeire érvényes pillanatnyi légszennyezési adatainak ismerete vajmi keveset árul el környezetünk tényleges állapotáról, hiszen sokféle szennyező füst, por, szemcse, kőd, illetve vírus formájában kerül a levegőbe.



6. ábra. A környezetszennyezés összetevői

Szennyeződnek felszíni és felszín alatti vízünk szerves és szerves lebegő anyagokkal, oldott gázokkal, vegyszerekkel, mérgekkel, radioaktív részecskével, mikroorganizmusokkal, valamint a természetesnél jóval magasabb hőmérséklettel is.

A talajszennyezésben dominálnak a vegyszerek, műtrágyák, mosószerek, szénhidrogén-származékok, radioaktív hulladékok, személtre-rakatok, illetve az ipari és közlekedési nehézfém-kibocsátás, az erózió, sőt az öntözéses gazdálkodás következtében fellépő másodlagos szikesedés is.

Egyre növekvő problémát jelent a települési és termelési (ipari, mezőgazdasági) hulladékok, melléktermékek, a kiselejtezett gépjárműroncsok kezeletlenül növekvő mennyisége.

Nem hagyhatók figyelmen kívül az ipar, a közlekedés, az épületgépészet, a távközlés okozta mechanikai rezgések zaj- és vibrációs ártalmai, a füllel nem érzékelhető infra- és ultrahangok egészségkárosító hatásai.

Az elektromágneses sugárzások spektrumának összetevői a frekvencia növekedésével arányosan egyre nagyobb veszélyt jelentenek az élővilágra. Ilyenek a rádió- és mikrohullámok, az ultrabolya- és röntgensugárak, valamint a radioaktív gamma-sugárzás.

Nagyon jó lenne, ha a különböző gyártó, feldolgozó, szolgáltató és energiatermelő vállalatok bírságfizetés helyett ellátnák a következő környezetvédelemmel összefüggő feladatokat:

- Környezetvédelmi érdekek érvényesítése a vállalati politikában. (Környezetkonform irányba kell fejleszteni a termékeket, szolgáltatásokat és az alkalmazott technológiákat! Tisztított és veszélyes alkotóelemtől megszabadított levegőt illetve vizet szabad visszaengedni a környezetbe! A gépjárműparkot korszerűbbre, kevésbé környezetszennyezőre kellene cserélni!)

- Vállalati tevékenység folyamatos ellenőrzése. (A pontosan mérendő káros emissziók ne lépjenek túl a megengedett értékeket!)

– Vállalati környezetvédelmi image kialakítása. (Segíteni és támogatni kell a hiteles környezetvédő mozgalmakat és a helyi önkormányzatokat az adott régió környezeti problémáinak megoldásában!)

– Jogszabályok, önkormányzati döntések következtében a vállalat számára előírt kötelezettségek teljesítése. (Biztosítani kell a folyamatos és pontos adatszolgáltatást, lehetővé kell tenni a hatósági ellenőrzéseket, gondoskodni kell a rendeletek betartásáról és betartatásáról!)

– Környezetvédelem vállalati szervezetének kialakítása és beillesztése az irányító, végrehajtó és ellenőrző rendszerbe. (Haladó szellemű, az ügyért tenni akaró, jól képzett, következetes és megfelelő intézkedési jogkörrel felruházott szakembereket kell alkalmazni!)

Sokan elviccelődnek, a sajnos még kisebb-ségben lévő – valóban jószándékú – környezetvédők fáradozásain, és ahol csak lehet, akadályozzák tevékenységüket. Az ilyen emberek legyintenek egyet és közlik, hogy nincs itt semmi baj, sőt nem értik miért „pattognak” itt egyesek annyira. Talán akkor akarnak észbe kapni, amikor – kicsit sarkítottan fogalmazva – csak gáz-larcban lehet közlekedni, a vegyszereiknél drágább tiszta ivóvízért kell sorbaállni, zöltségek és gyümölcsök helyett már csak szintetikus tabletákkal lehet táplálkozni, vagy rendellenességekkel született gyerekekkel és rákos családtagokkal kórházról-kórházra kell járni...?

Nem biztos, hogy a mai helyzetben azzal kellene érvelni: „hol tartan a világ civilizációs fejlődése, ha a környezetvédelmet komolyan

vették volna?” Régebben adottak voltak olyan problémák, amelyeket a technikai fejlődés megoldott, most adott a környezetszennyezés problémája, tehát ezt is meg kell oldani!

Hosszú távon eredményt nem a kormányok ultrabaltól – „közép”-en át – szélsőjobb terjedhető politikai hovatartozásának hangoztatásától, számon nem kérhető ígéreteitől, komolytalan zöldpártok megnyilatkozásaitól lehet remélni, hanem a felelősségteljes szakmai érvek és tettek érvényre jutásától. Ebben nagy szerep hárul az oktatásra, a kutatásra, a minőségügyet komolyan vevő vállalatokra, a törvényeket előkészítő és végrehajtó szakmai szervekre.

Hallhatunk olyan véleményeket is, miszerint hazánkban az utóbbi időben csökkent az ipari környezetszennyezés mértéke. Az igaz, hogy csödbe jutás vagy a külföldi konkurencia általi megvásárlás és bezárás miatt nem működő vállalatok károsanyag-kibocsátása mérséklődött, de a gazdaság nagyon várt fellendülése ezen változtatni fog. Hogy milyen mértékben, az az utódvállalatok vezetésétől és a meghonosítandó technológiáktól függ. Aligha várható, hogy a legkorszerűbb, környezetbarát csúcstechnológiákat adják át nyugati partnereink, hiszen arra saját országuk ipar- és foglalkoztatás-politikája igényt tart. Ezért és a hazai-nemzetközi piacképességért van szükség határozott környezetvédelmi politikára, környezetbarát termékek, szolgáltatások, technológiák hazai fejlesztésére illetve alkalmazására, szakmai és társadalmi szemléletváltásra.

Végezetül – még mielőtt bárki feltételezné – szeretném megjegyezni, hogy nem vagyok ún. minőségügyi szakember, sem top-menedzser, sem valamelyik zöldpárt tagja, sőt nyugatimádó sem. Írásommal – tekintettel a hazai viszonyokra – rövid, és teljesség igénye nélküli figyelemfelhívó összefoglalót próbáltam adni azokról a területekről, melyek szerintem a minőség, a minőségbiztosítás fogalomkörével összefüggnek, a minőség „környezetét” jelentik. Didaktikusan felépített rendszerező ábráimmal – a cikk szemléletesebbé tételén túlmenően – példát kívánok mutatni arra, hogy az említett témákban a rendszerszemléletű oktatás, képzés, továbbképzés anyagát miként lehetne illusztrálni, a fontosabb összefüggések megvilágítását hogyan lehetne elősegíteni.

Felhasznált irodalom

- Bedker István: Minőségbiztosítás, Hegesztő szakmérnöki előadás, BME MTAI, 1992. április 1.
 Lovász Szabó Tamás: A minőségbiztosítás fejlődése, Hegesztéstechnika, 1991. 4. szám, 8–10. o.
 Pickard, A. C.: Component lifing, Materials Science and Technology, 1987. szeptember, 743–749. o.
 Valasek István: Sűrűlőds és kopás, Gép, 1988. november, 427–440. o.
 Bartha István: Konstruktív és korrózió, Hegesztő szakmérnöki előadás, BME MTAI, 1992. október 7.
 Moser Miklós–Pálmai György: A környezetvédelem alapjai, Tankönyvkiadó, Budapest, 1992.
 Barótfi István szerk.: Környezettechnika kézikönyv, Környezet–Technika Szolgáltató Kft., Budapest, 1991. 943 091 145

Magyar Minőség Díj '94

A magyar gazdaság európai integrálódásának és nehézségei leküzdésének alapvető feltétele a minőségügy fejlesztése, a fejlett minőségi szabványok és minőségvezetés széles körű elterjesztése. Az Európai Unióhoz történő csatlakozásunk alapvető eleme a **nemzetközi piaci verseny új dimenziója, a minőség**. Ez biztosítja a termékek, az iparágak, azaz a nemzetgazdaság versenyképességét, nemzetközi elismertségét.

A minőségügy, a minőségbiztosítás nem lehet csak vállalati kategória. Segíteni kell a gazdasági szereplők minőségfejlesztési törekvéseit. Ezért a minőségbiztosítás terén a legjobb vállalatok elismerésének kifejezésére a fejlett ipari országok többségében nemzeti minőségi díjat alapítottak. (Így például: Japánban 1957-től Deming-díj; USA-ban 1987-től Malcolm Baldrige-díj; Finn Minőségi Díj 1991-től; Egyesült Királyság Minőségi Díj 1993-tól.)

Az Európai Minőségi Díj – melyet 1992-ben alapítottak – a legsikeresebb nyugat-európai vállalat elismerésére szolgál. Követelményrendszerét az egyes nyugat-európai nemzeti minőségi díjak is alkalmazzák, természetesen a nemzeti sajátosságok figyelembevételével. A díjra való felkészülés lehetővé teszi a vállalatok önértékelését, eredményeik összehasonlítását a versenytársak eredményeivel, a vállalat erőnyeinek és gyengéinek feltárását és a fejlesztendő területek kijelölését is. A díj elnyerésével megnő a vállalatok nemzetközi hírneve és versenyképessége is.

A PHARE HU 9011 nemzeti programja már 1990-től támogatja a hazai szabványügyi, metrológiai, tanúsítási és akkreditálási rendszer illesztését az EU-követelményeihez. E programja keretében a PHARE 1994-ben 125 ezer ECU-t biztosít az **EU/EFTA-PHARE Magyar Minőség Díjra, azzal a céllal, hogy a teljeskörű minőségirányítást**

(Total Quality Management, TQM) szemléletét és módszereit bevezető magyar ipari és szolgáltató vállalatokat elismerje.

A **Díjat pályázat útján lehet elnyerni**, mégpedig négy kategóriában. Díjaznak a legjobb kis, közepes (250–1000 fős) és nagy ipari vállalatot, valamint a legjobb szolgáltató vállalatot.

Pályázhat valamennyi Magyarországon bejegyzett, ipari terméket előállító, vagy szolgáltató vállalat, amely a teljeskörű minőségirányítás bevezetésében kimutatható eredményt ért el.

Pályázni a vállalat minőségirányítási rendszerét bemutató, **önértékelő tanulmánnyal** lehet.

A **beadás határideje**: 1994. szeptember 16.

A Pályázati útmutató és a Jelentkezési lap térítésmentesen szerezhető be az OMFB Segélyeket Koordináló Osztályán, 1052 Budapest, Szervita tér 8. IV. em. 424. szoba.

A Magyar Minőség Díj pályázatait **független zsűri bírálja el**, melynek tagjai, a hazai minőségügyi szakemberek javaslata alapján, az érintett főhatóságok képviselői, a civil szakmai szervezetek és a gazdasági élet minőségügyi szakértői. A zsűri elnöke: dr. Csanády Andrásné, az OMFB elnökhelyettese.

Erdeménnyhirdetés: 1994. december elején.

A nyertes pályázók a díjak összegét – szerződés keretében – minőségirányítási rendszerük továbbfejlesztésére fordíthatják.

Az EU/EFTA-PHARE Magyar Minőség Díj előfutára a későbbi Magyar Nemzeti Minőség Díjnak, mivel segíti annak szakmai előkészítését. Követelményrendszere hasonlít az Európai Minőségi Díj követelményeihez, elősegítve ezzel is a hazai vállalatok európai színvonalú megmérettetését.

Az OMFB sajtóközleménye nyomán

Tanfolyamok 1994-ben

GTE-TÜV

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI TANFOLYAMOK

A tanfolyamok vizsgakötelesek. A sikeresen vizsgázók Németországban regisztrált TÜV-bizonyítványt kapnak.

– MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI ALAPTANFOLYAM

Időtartam: 5 nap

Időpont: folyamatosan

– MINŐSÉGÜGYI MUNKATÁRS – QS-Fachkraft – TANFOLYAM

Időtartam: 10 nap (80 óra)

Időpontok: havonta

– VÁLLALATI MINŐSÉGÜGYI SZAKÉRTŐ TANFOLYAM

Időtartam: 10 nap

Időpont: januártól folyamatosan

Jelentkezés: folyamatosan

RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLÓ TANFOLYAMOK

A nemzetközi (ICNDT) irányelveknek és a 12/1992. IV. 4. IKM sz. rendelet alapján képzést nyújtó középfokú (1), felsőfokú (2 és 3) és továbbképző (T), radiológiai (R), ultrahangos (U), mágneses, penetrációs, vizuális (MPV), örvényáramos (Ö) vizsgálati tanfolyamok a jelentkezéstől függően, folyamatosan indulnak és időtartamuk (napi 8 órában): R1 – 18 nap, R2 – 18 nap, R3 – 21 nap, R2T – 5 nap, U1 – 16 nap, U2 – 20 nap, U3 – 15 nap, U2T – 5 nap, Ö1 – 8 nap, Ö2 – 8 nap, MPV1 – 11 nap, MPV2 – 15 nap

Jelentkezés: folyamatosan

SPEKTROSKÓPOS ANYAGVIZSGÁLÓ TANFOLYAMOK

I. alaptanfolyam: acélok elemzése.

II. haldóknak: acélok, réz- és alumíniumötvözetek elemzése.

Időtartam: 44–44 óra, intenzív. Jelentkezés: folyamatosan.

Időpontok: a jelentkezéstől függően.

Színképelemző képzést adó tanfolyam.

ÁLLASTALAN MÉRŐKÖK ÉS KÖZÉPFOKÚ VÉGZETTSÉGŰ MŰSZAKIAK KÉPZÉSE

Részletes ismertetés az Anyagvizsgálók Lapja 1993/1 száma 36–37. oldalán.

Jelentkezés és érdeklődés: folyamatosan

REZGÉSMÉRŐ ÉS ANALIZÁLÓ SZAKTANFOLYAM I-II.

Időtartam: 44–44 óra

Időpontok: folyamatosan, jelentkezésfüggő

MINŐSÉGELENŐR KÖZÉPFOKÚ – MEO II. – SZAKTANFOLYAM

Időtartam: 130 óra

Időpont: folyamatosan

JELENTKEZÉS ÉS FELVILÁGOSÍTÁS

GTE Oktatási Iroda, 1027 Budapest, Fő utca 68. III. em. 344.

Tel.: 202–1382 vagy 201–2011/422, 626

Fax: 201–7180

Hazai rendezvények 1994-ben

Vekor korróziós továbbképzése; (talajkorrózió, hőszigetelés alatti korrózió, vegyszerálló falfestékek, korrózióvédő csomagolás), Balatonfüred, UNI Hotel, október 4–6. Jelentkezés: Vekor Kft. tel./fax: 88–328-514

IX. Hegesztési Szeminárium, Siófok, Hotel Azur, október 6–8. Jelentkezés: GTE, tel.: 201–2011/189, fax: 202–0252

Kohászat – kémia – korrózió, Miskolc, október 25–26. Jelentkezés: Miskolci Egyetem, dr. Szita Lajos, tel.: 46–366–111

Nemzetközi rendezvények 1994-ben

5th Int. Symp. on Equipment for Structural Analysis, Mechanical Testing and Technology Transfer, Brno, Cseh Köztársaság, 1994. szeptember 12–15. Az ipari vásárral egyidőben.

Cím: VUT-FS, UMI, Jana Černá, Technická 2., 61669 Brno.

Tel.: 05 4114 3196, fax: 05 4114 3198

10th European Conf. on Fracture – ECF 10, Berlin, Németország, 1994. szeptember 20–23. Cím: DVM, Unter den Eichen 87. 1000 Berlin 45, Germany, Mrs. I. Maslinski. Tel.: (30) 8113066, Fax: (30) 8119359

8th Int. Conf. on Surface Modification Technologies, Nizza, Franciaország, szeptember 26–28.

Lessons from Structural Failures, Prága, Cseh Köztársaság, szeptember 27–29. Cím: Ing. Drdacky, Czech Academy of Sciences, Pod vodarenskou vezí 4. 182 00 Prague 2.

11th Danubia-Adria Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics, 1994. szeptember 29–október 1., Baden, Ausztria.

4th Int. Cong. on Non-Destructive Testing of Artistic and Cultural Objects, Berlin, Németország, 1994. október 4–6. Kapcsolat: DGZIP, Unter den Eichen 87. Berlin 45.

IUTAM Symp. on Size-Scale Effects in the Failure Mechanism of Materials and Structures, 1994. október 3–7. Torinó, Olaszország. Cím: Prof. A. Carpinteri, Politecnico di Torino, I-10129 Torino.

4th Int. Cong. on NDT of Artistic and Cultural Objects, 1994. október 3–7. Berlin, Németország. Cím: DGZIP, Unter den Eichen 87. D-1000 Berlin 45.

The Recycling of Metals, 1994. október 19–21. Amsterdam, Hollandia.

Cím: ASM European Office, rue de l'Orme 75, Olmstraat, B-1040 Brussels.

5th Int. DAAAM Symposium: Automation and Metrology, Challenge and Chance; Maribor, Szlovénia, 1994. október 20–22.

6th ECNDT, 1994. október 24–28. Nizza, Franciaország. Cím: COFREND, 1 rue Gaston Boissier, F-75015 Paris.

SZAKVÁSÁROK

Környezetvédelem, hulladéktárolás, újrahasznosítás:

– Security, Essen, Németország, 1994. október 11–14.

Adatfeldolgozás, informatika:

– SICOB, Párizs, Franciaország, 1994. október 5–7.

– Systec, München, Németország, 1994. október 25–28.

– Electronica, München, Németország, 1994. november 8–12.

Műanyag, fa, üveg, kerámia:

– Europlast, Párizs, Franciaország, 1994. október 3–7.

– Ceramitec, München, Németország, 1994. október 11–15.

– Glastec, Düsseldorf, Németország, 1994. november 1–5.

Nemzetközi rendezvények 1995-ben

Int. Conf. on Cumulative Damage under Variable Amplitude Loading, Sheffield, UK. 1995. április 3–7. Cím: SIRIUS, Univ. of Sheffield, Mappin Street, Sheffield S1 3JD, UK.

2nd Int. Conf. on Solidification and Gravity, Miskolc, 1995. április 25–28.

Jelentkezés: 1994. szeptember 30-ig, dr. Roósz András, Miskolci Egyetem Fémtechnológiai Tanszék, 3515 Miskolc, Egyetemváros.

9. Roncsolásmentes anyagvizsgálat, szeminárium és kiállítás, 1995. május 9–11. a Balaton mellett.

XIV-th Int. Sc. Conf. on Advanced Materials and Technologies, Zakopane, Lengyelország, 1995. május 17–21. Jelentkezés előadással: azonnali Cím: The Silesian Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, ul. Konarskiego 18a/277, 44–100 Gliwice, Poland.

7th Int. Conf. on Mechanical Behaviour of Metals, 1995. május 28–június 2. Hága, Hollandia. Cím: ICM7 Secretariat c/o Congress Office ASD, Asvest 22, POB 40, NL-2600 AA Delft, Tel.: (+31) 15–120234, fax: (+31) 15–120250

Ultrasonic International '95, Edinburgh, UK. 1995. július 5–8. Cím: Ultrasonics, alt. L. Clayton, Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX28DP-UK.

AECM-5 Conf. Applications and Acoustic Emission Techniques, Sundsvall, Svédország, 1995. július 10–14. Cím: ASNT 1711 Arlingate Lane P.O. Box 28518, Columbus OH-43228-USA, fax: +1 614 276899

SPT-5 Int. Conf. Structural Failure, Product Liability and Technical Insurance, Bécs, 1995. július 10–14. Előzetes jelentkezés az előadás kivonatával 1994. október 31. Cím: Dr. H. P. Rossmann, Inst. of Mechanics, TU Vienna, Wiedner Hauptstrasse 8–10/325, A-1040 Vienna, Austria.

TEFF-4, Teaching and Education in Fatigue and Fracture, Failure Analysis and Safety Engineering, Bécs, Ausztria, 1995. július 14–15. Jelentkezés előadáskivonattal 1994. december 31-ig. Cím: Dr. H. P. Rossmann, Institute of Mechanics, Technical University Vienna, Wiedner Hauptstrasse 8–10/325, A-1040 Vienna, Austria.

6th Int. Symp. on Fracture Mechanics of Ceramics, Karlsruhe, Németország, 1995. július 18–20. Jelentkezés előadáskivonattal 1994. szeptember 30-ig. Cím: Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institut für Materialforschung II, Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe, Germany.

Fatigue Design, Helsinki, Finnország, 1995. szeptember 5–8. Jelentkezés 1994. szeptember 30-ig. Cím: Gary Marquis, FD'95 Office, VTT Manufacturing Technology, P. O. Box 1704, FIN-02044 VTT, Finland, Tel.: (+358) 0–456 6866, fax: (+358) 0–456 7002

Int. Symp. on Materials Ageing and Component Life Extension, Milánó, Olaszország, 1995. október 10–13. Jelentkezés 1994. november 15-ig. Cím: Mrs. A. Oriani, CISE SpA – Segrate P. O. Box 12081, Milano 20134, Italy, Tel.: (+39) 2 21672648, fax: (+39) 221672620

mitsubishi ELECTRONIC VISUAL SYSTEMS

A képernyőről közvetlenül a papírra egy gombnyomással, fotóminőségben. Egyszerű, olcsó, gyors, gazdaságos. Ez a MITSUBISHI

VIDEOPRINTER



A magyarországi forgalmazó és szerviz készséggel szolgál bővebb felvilágosítással.

Auro-Science Consulting Kft.
1300 Budapest, Pf. 234

Telefon: 173-0166, 180-3850
Telefax: 173-0166



DUNAFERR QUALITEST
MINŐSÉGÜGYI KFT.

A következő anyagvizsgálati szolgáltatásokkal állunk vevőink rendelkezésére:

- KÉMIAI ANYAGVIZSGÁLATOK
- MECHANIKAI ANYAGVIZSGÁLATOK
- RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATOK

Telefon/Fax: (25) 310-036

Telefon : (25) 382-283

Dunaújváros, Vasmű tér 1-3.
2401 Pf. 110.

A FERROETALON Kft.

az atomspektrometria legtöbb alkalmazási területére mintegy 8000 különféle hiteles anyagmintát, beállítómintát, ellenőrzőmintát kínál mint a Breitländer GmbH magyarországi képviselője.

Címünk:

2400 Dunaújváros, Sport u. 5. • Tel./Fax: 25 382-815

PHILIPS – FUJIFILM – SONATEST – MAGNAFLUX – ROHMANN – WIRTZ – PENTEL – FIBEROPTIC – KOWOTEST

REPEDÉSVIZSGÁLAT

INSPEC penetrációs anyagok:

CR 105 Lemosó, gyors	799,- Ft
CR 120 Lemosó	779,- Ft
PR 200 Penetráló	988,- Ft
DR 320 Előhívó	899,- Ft

Extra érzékenységgel **SPOTCHECK**
vizsgálóanyagok.

Az árak ÁFA nélkül értendők!

Az
Ön partnere
az

ANYAGVIZSGÁLATBAN

a

GRIMAS Kft.

1214 Budapest Erdősor u. 167.
 Tel.: 277 4470 Fax: 276 0557

Ultraszhang, Röntgen, Örvényáram,
Mágneses vizsgálatok, Endoszkópok,
Metallográfia stb.

FALVASTAGSÁGMÉRÉS

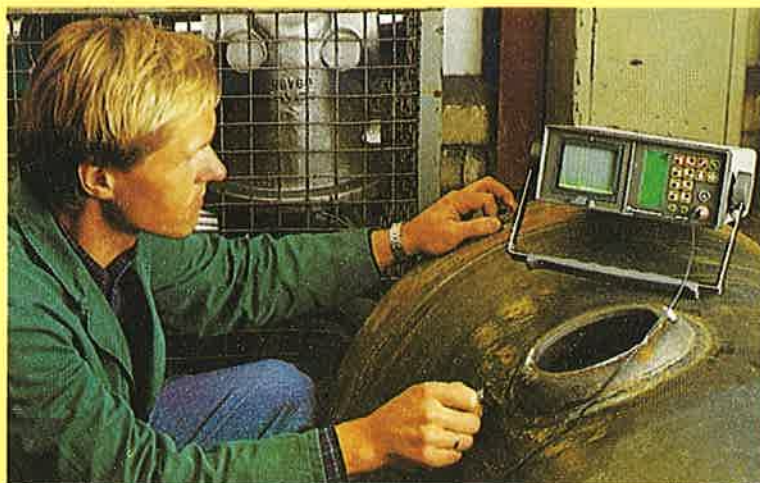
SONATEST falvastagságmérők:

Sonagage I	159.950,- Ft
Sonagage II	219.900,- Ft
T Gage III (festékrétegen át)	399.900,- Ft
T Log + (programtárolóval)	499.975,- Ft

Az árak tartalmazzák a töltőt, a standard vizsgálófejet, vizsgálókábellet

További különleges vizsgálófejek.

PHILIPS – FUJIFILM – SONATEST – MAGNAFLUX – ROHMANN – WIRTZ – PENTEL – FIBEROPTIC – KOWOTEST



**KORSZERŐ, HORDOZHATÓ, RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLÓ ÉS ELLENŐRZŐ KÉSZÜLÉKEK
SZÉLES VÁLASZTÉKÁT KÍNÁLJA A**

TESTOR

ANYAGVIZSGÁLAT-MÉRÉSTECHNIKA

Budapest, Törpe u. 8. 1538 Bp. Pf. 528. • ☎ 155-9886 • Fax: 155-2618