

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS • ÁLLAPOTELLENŐRZÉS



14. évfolyam
2. szám
2004.



INSTRON CENTER

Gépeivel szakszerűen elvégezheti az általános és speciális követelményeket is kielégítő mechanikai vizsgálatokat



törésmechanikai vizsgálatok

- a tengelyirányú erő – 8871 és 8872 modell –

- a tengelyirányú erő és a csavaró nyomaték – 8874 modell – működtetésével

különböző hőmérsékleten, normál és korróziós környezetben.

Ezt szolgálják

- a Dynacell, dinamikusan kiegyensúlyozott erőmérőcellák

- a befogók széles választéka

- a speciális tartozékok

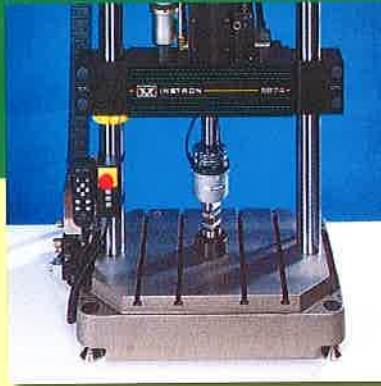
- a FastTrack 8800 vezérlő elektronika és értékelő szoftverei



vizsgálat
hőkamrában



csomagolások
vizsgálata



szerkezetvizsgálat
biaxiális terheléssel



négypontos hajlítás
sóoldatban

Forgalmazza:  **TESTOR**

www.testor.hu

06 (1) 319 1 319
06 (30)

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Szerkesztőség:

a kiadó **TESTOR Kft.** címén
Budapest XII., Meredek u. 33.

1538 Budapest, Pf. 528.

Telefon: 319-1-319

Telefax: 319-2284

E-mail: info@anyagvizsgaloklapja.hu
info@testor.hu

Internet: www.testor.hu

Lapunk az interneten is olvasható:

www.anyagvizsgaloklapja.hu

Felelős szerkesztő:

dr. Lehofer Kornél

A szerkesztőbizottság tagjai:

dr. Borbás Lajos

Eur. Ing. Fücsök Ferenc

dr. Havas István

dr. Koczor Zoltán

dr. Pólos László

dr. Tóth László

Kiadja:

TESTOR Kft.

Felelős kiadó:

Szapannos György

ügyvezető igazgató

Előfizetési díj a 2004. évre

(1–4. szám): 2.240,- Ft

Előfizethető közvetlenül a kiadónál
a mellékelt, vagy az internetről letölthető
űrlap felhasználásával.

Hirdetések felvétele és kéziratok
leadása a TESTOR Kft. címén.

Nyomda:

PRINT-HOUSE KFT

Felelős vezető: Fodor Imre

Előkészítés:

PC-Print Bt.

Tel.: 205-6399, 204-3688

E-mail: pcprint@chello.hu

FIGYELEM!

**Le ne maradjon!
Idejében fizessen elő!**

ISSN 1215-8410

Bay-Logi Tudományos Hét

A tudományos hét programja, amelyet a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet munkatársai, az akadémiai és a szakmai civil szervezetek közreműködésével állították össze, jól sikerült, tartalmas és témaköreivel egymásra épülő rendezvénysorozat volt, amelynek a Bay-Logi miskolc-tapolcai tanácsterme és laboratóriuma adott otthont. A rendezvényekről, röviden:

– A VIII. Törésmechanikai Szeminárium (április 26–27.) egymást követő szekcióiban a szerkezetek üzemeltethetősége, a törésmechanika numerikus és kísérleti módszerei, a csővezetékek épsége (integritása), az anyagok és vizsgálatok címszavakkal jellemezhető témakörökben 21 előadás hangzott el. A szakmai program kietlen folytatásaként – a hagyományoknak megfelelően – megmártózhattunk a Barlangfürdő gyógyvizében és hangulatos, borkóstolással egybekötött vacsorán baráti beszélgetést folytathattunk. Eközben elhatároztuk, hogy az alakváltozással vezérelt kisciklusú fárasztás témakörben a most és korábban is már elhangzottakat összefoglalva lapunkban is megjelentetjük.

– Az Instron-nap (április 28.) aktualitását az adta, hogy a Bay-Logi mechanikai laboratóriumában egy korszerű, szervohidraulikus vizsgálóberendezést helyeztek üzembe, amellyel biaxiális: húzó-csavaró fárasztó igénybevétellel lehet törésmechanikai és biomechanikai vizsgálatokat végezni. Az elhangzott előadások és bemutatók a korszerű mechanikai vizsgálórendszerek nyújtotta lehetőségeiről tájékoztatták az érdeklődőket, többek között arról is, hogy az Instron gépekkel kielégíthetők olyan egyedi követelmények is, mint amelyeket, például a szénszálok vagy a szilikon elasztomerek mechanikai vizsgálata támaszt.

– A RIMAP szeminárium (április 29.) a kockázatalapú felülvizsgálati és karbantartási eljárások fejlesztését célul kitűző európai uniós projektben, a Bay-Logi koordinációjában részvevő hazai intézmények és vállalatok képviselői tekintették át eddigi eredményeiket. Részletesen megtárgyalták a RIMAP stratégia elveinek alkalmazását a Mol Rt. statikus készülékek állapot-felügyeleti rendszerének kialakításában.

Lapunk, a felkért előadóktól beérkező kéziratoktól függően, beszámol olvasóinknak a tudományos héten elhangzottokról.

Jelen számunkban ismertetjük a hegesztett hidak acélszerkezetekkel szemben támasztott és a törésmechanikai szempontokat is érvényesítő követelményeket; a heterogén, ferrit-ausztenites szövetszerkezetű hegesztett csövek épsége (integritása) törésmechanikai értékelésének eredményeit; a szerkezetek állapotellenőrzéséhez alkalmazott, hazai fejlesztésű akusztikus emissziós készülékek összehasonlító vizsgálatának eredményeit. Beszámolunk az Instron-napon megismert vizsgálattechnikai újdonságokról, és a mérési hibák előfordulását csökkentő vagy elkerülő hardveres és szoftveres megoldásokról.

Szerkesztőbizottságunk továbbra is várja szakmai közösségünk határainkon innen és túl tevékenykedő szakértőitől az eredményeiket bemutató közleményeiket.

Szerkesszük továbbra is együtt az Anyagvizsgálók Lapját!

*Lehofer Kornél
felelős szerkesztő*

Lapunk nyomdai és elektronikus megjelenését
az Ipar Műszaki Fejlesztéséért Alapítvány támogatja.

Köszönjük!

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK – Törésmechanika – TESTING METHODS – Fracture mechanics – PRÜFMETHODEN – Bruchmechanik

SZÁVAI Szabolcs, LENKEYNÉ BIRÓ Gyöngyvér, TÓTH László:

Heterogén hegesztett kötések épségének értékelése a törésmechanika kísérleti és numerikus módszereinek alkalmazásával

Assessment of dissimilar metal weld integrity by means of experimental and numerical methods of fracture mechanics

Integritätsbewertung der heterogene Schweißverbindungen mit Anwendung der Versuchs- und numerische Methoden von Bruchmechanik 39

Karol KÁLNA:

Követelmények a mederhíd acélanyagával és hegesztett kötéseivel szemben

Required properties of steels and welded joints for bridge structure

Anforderungen gegen der Stähle und Schweißverbindungen der Flußbettbrücke 44

BESZÁMOLÓK – ACCOUNTS – BERICHTE

LEHOFER Kornél:

Instron-nap – Instron's day – Instron Tagung 47

KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK – INSTRUMENTS, EQUIPMENTS – GERÄTE, ANLAGEN

RÓZSAHEGYI Péter:

Az Instron 8850 típusú szervohidraulikus, biaxiális vizsgáló-berendezés

The Instron 8850 servohydraulic biaxial test equipment

Die Instron 8850 servohydraulische biaxial Prüfgerät 49

TÓTH Péter:

A szakítóvizsgálat során elkövethető mérési hibák és kiküszöbölésük

Hidden errors of the tensile test and theirs elimination

Verborgensfehler der Zerreißprüfung und ihre Beseitigungen 51

SZÚCS Pál, KENYERES Dénes, NAGY Zsolt:

Összehasonlító mérések Defektophone és Sensophone akusztikus emissziós mérőkészülékkel

Comparative measuring between acoustic emission equipment of Defectophone and Sensophone

Vergleichsmessungen der Schallemissionsgeräte Defectophone und Sensophone 53

Rácz Zsolt, SIMON Zoltán László, VAS László Mihály:

Komplex mérőrendszer és alkalmazási lehetősége szálerősítésű kompozitok vizsgálatára

Complex measuring system for investigation of fibre reinforced composites

Komplex Meßsystem für Prüfung der Fadenvärsterkerungs-Kompositen 57

ANYAGOK – MATERIALS – MATERIALEN

CZIGÁNY Tibor:

Hibrid szálerősítésű polimer kompozitok

Hybrid fibre reinforced polymer composites

Polymer Kompositen mit hybrid Fadenvärsterkerung 59

OLÁH László:

Az implantátumok anyagainak polymertechnikai vonatkozásai

The implantable materials and the biopolymers

Die Implant-Materialien und die Biopolymer 63

KÖNYVISMERTETÉS – BOOK REVIEW – BUCHBESPRECHUNG 66

SZABVÁNYOSÍTÁS – STANDARDISATION – NORMEN

Új, nemzeti és nemzetközi szabványok – New national and international Standards – Neue National- und Internationalnormen 67

ESEMÉNYNAPTÁR – CALENDAR OF EVENTS – AKTUALITÄTKALENDER 68

Heterogén hegesztett kötések épségének értékelése a törésmechanika kísérleti és numerikus módszereinek alkalmazásával

Szávai Szabolcs – Lenkeyné Biró Gyöngyvér – Tóth László*

Abstract

Assessment of dissimilar metal weld integrity by means of experimental and numerical methods of fracture mechanics. Our institute participated in the European ADIMEW project and investigated the effect of notch's place and radius to integrity of the dissimilar metal weld by numerical finite element method at the CT specimen (Fig. 6) and the original special specimen (Fig. 2 and 9). Our calculated and the measured results are presented in this paper.

Bevezetés

A nukleáris erőművek üzemeltetési tapasztalatai azt mutatják, hogy az erőműi szerkezetekben előforduló heterogén hegesztett kötések érzékenyek lehetnek a felületi repedésekre illetve repedésszerű hibákra. Amikor ilyen repedést detektálnak – tipikusan roncsolásmentes vizsgálati módszerekkel – az üzemeltetőnek értékelni kell a repedés veszélyességét az üzemeltetés biztonságára. Az értékelést nehezíti, illetve igen bonyolultá teszi az összetett terhelési állapotnak, az anyagjellemzők változásának és a hegesztés környezetében fellépő maradó feszültségek hatásának a figyelembe vétele. A szokásos mérnöki módszerek általában ezeket nem veszik figyelembe, és túlságosan konzervatív becslést jelentenek. Jelenleg nincs olyan validált (igazolt) analitikus és vizsgálati módszer, amely a heterogén hegesztett kötésekben előforduló repedések értékelésére alkalmazható lenne.

A heterogén hegesztett kötések épsége (integritása) a VVER típusú reaktoroknál (mint a paksi atomerőmű) is fontos kérdés. Számos olyan szerkezet, szerkezeti elem van ezeknél a reaktoroknál is, ahol heterogén hegesztett kötések találhatók (pl. gőzgenerátorok, ferrites acélcsőhöz csatlakozó ausztenites acélból készült csőcsomók, a primer és szekunder kör közötti csatlakozások, a reaktortartály és a vészűtő rendszer csatlakozása). A paksi atomerőműben szintén aktuális probléma a ferrites acél csőszakaszok cseréje ausztenites acél csővekre.

Az EU5 ADIMEW projekt

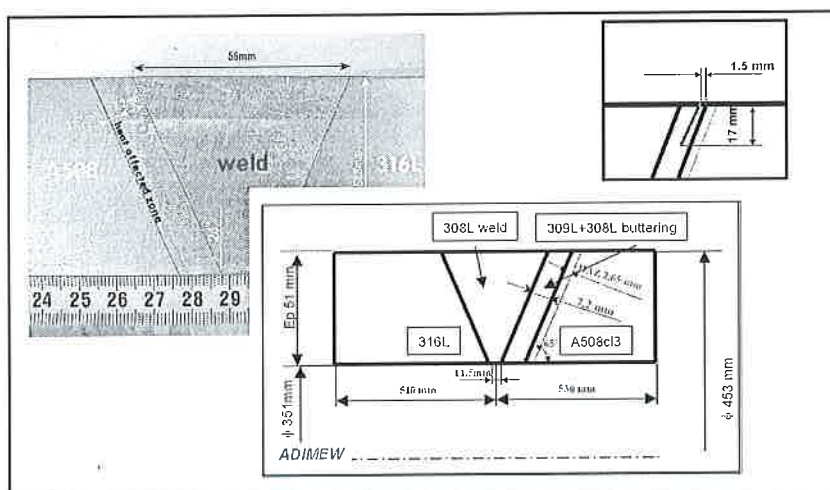
A heterogén hegesztett kötések épségének (integritásának) próbatesteken illetve valós méretű szerkezeten végzett numerikus modellezési és kísérleti módszerek, vizsgálatok alapján történő értékelésére 2000-ben, az FP5 Euratom programon belül, ADIMEW (*Assessment of Aged Piping Dissimilar Metal Weld Integrity*) címmel 3 éves EU projekt indult. A projekt koordinátora dr. Claude Faigy volt az Electricité De France részéről. A projektben résztvevő partnereket az 1. táblázat mutatja.

Az ADIMEW projekt célkitűzése:

Az európai nukleáris iparban használatos, a szerkezetek épségét (szerkezet-integritást) értékelő eljárások pontosságának és konzervativizmusának értékelése; a heterogén hegesztett kötésekben előforduló

felületi, kerület menti repedés viselkedésének és veszélyességének értékelése (1. ábra).

Egy unikális, négy pontos hajlítóvizsgálat végrehajtása a repedést tartalmazó, valós méretű hegesztett szerkezeten, a valós üzemeltetési körülményeknek megfelelően. Ehhez egy speciális, 453 mm külső átmérőjű, vizsgálati darab készült ferrites és ausztenites acélcső darabok összehegesztésével, amelyeket nagy szilárdságú acélcsővekkel töltöttek meg. A heterogén hegesztett kötésbe egy felületi, kerület menti repedésszerű hibát helyeztek el mesterségesen (2. és 3. ábra). A hajlítóvizsgálat elrendezését a 4. ábra szemlélteti.



1. ábra. Heterogén hegesztett kötés mesterséges felületi repedésszerű hibával

A kutatási eredmények gyors elterjesztése az üzemeltetők, üzemeltetést felügyelő hatóságok és kutatóintézmények között egész Európában, a NES (Network for Evaluating Structural Components) hálózattal együttműködve. A NES hálózat, az eredmények terjesztésén túlmenően, a projekt kutatási feladataiban is aktívan részt vett, mind a kísérleti, mind a modellezési feladatok terén.

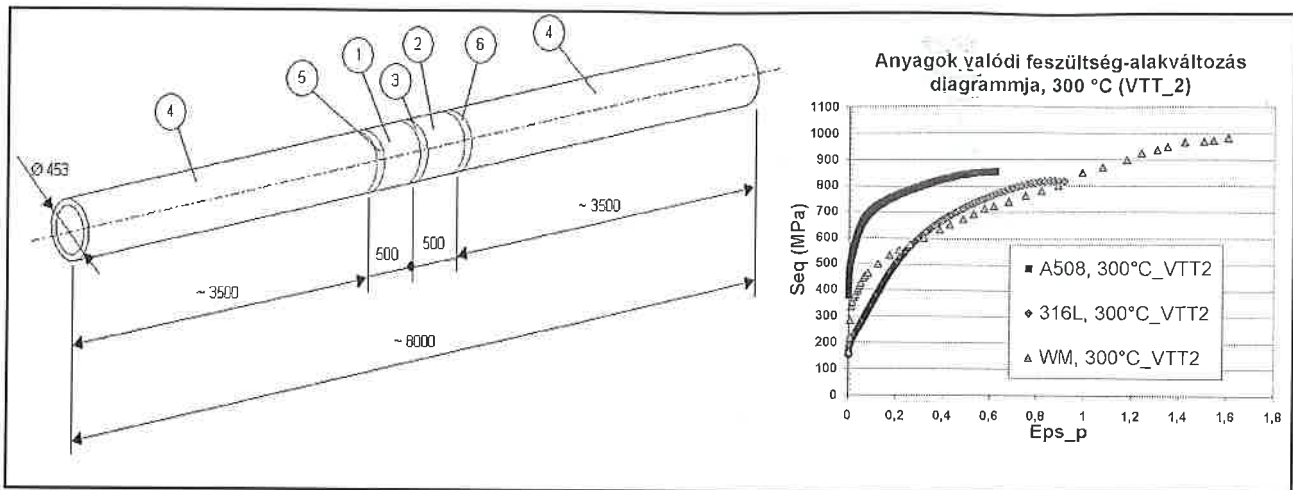
1. táblázat. Az ADIMEW projektben résztvevő partnerek

Rövid név	Ország	Intézmény típusa
EDF	F	Francia Villamos Művek projekt koordinátor: Dr. Claude Faigy
FRA	F	Atomerőmű berendezéseket gyártó vállalat
CEA	F	Atomerőmű mellett működő kutatóintézet
TWI	UK	Hegesztési Kutatóintézet
AEAT	UK	Szakmai konzultációs levélenység
VTT	Fin	Finn Technológiai Kutatóintézet
JRC	EU	EU Kutatóintézet, Petten

A Bay-Logi Szerkezetintegritás Osztály szerepvállalása

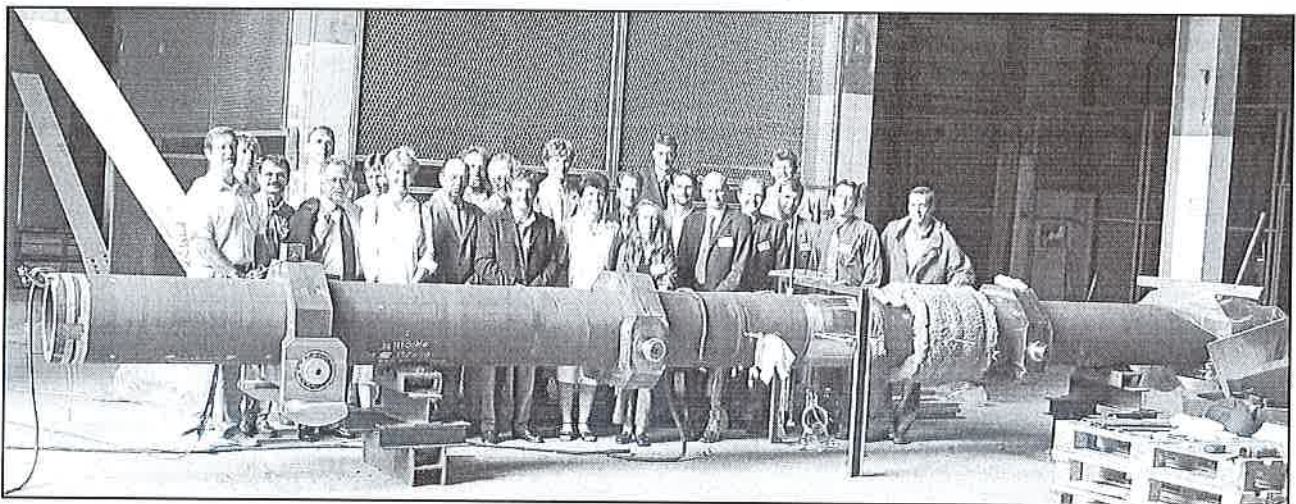
A NAS-országok számára 2002-ben meghirdetett speciális felhívás keretében, amely a futó EU projektekhez való csatlakozást tette lehetővé a NAS országok kutatóhelyei számára, a Bay-Logi Szerkezet-

* Szerzők a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet munkatársai

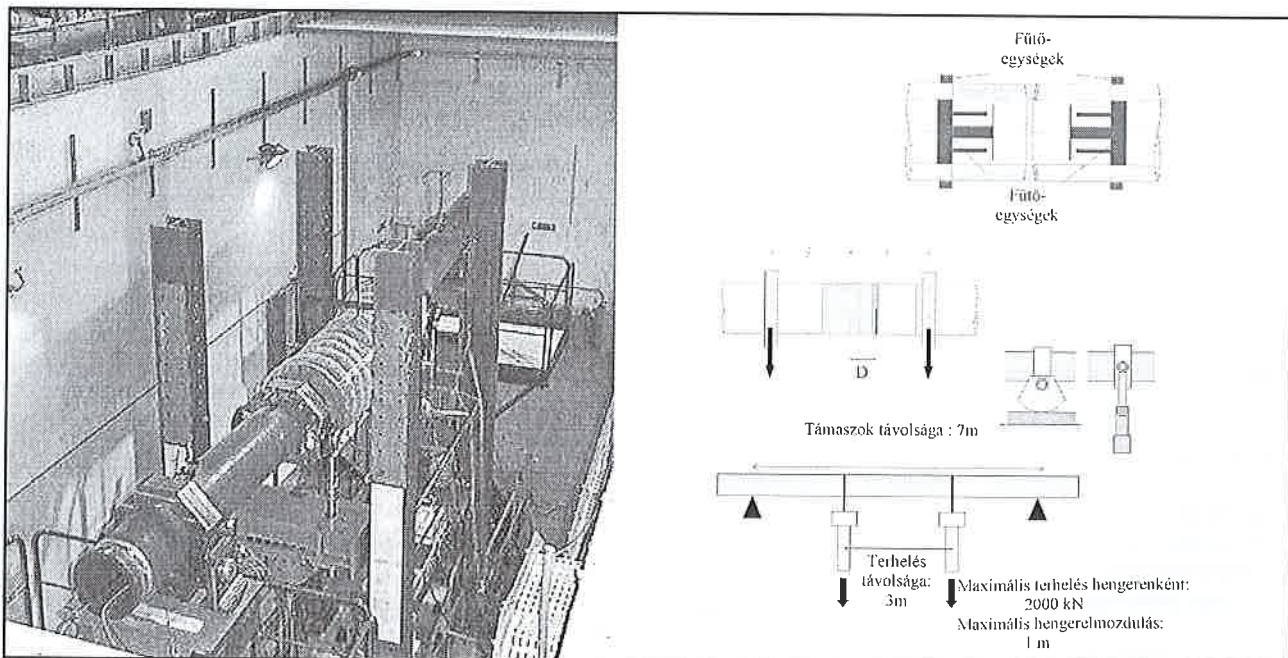


2. ábra. A vizsgált szerkezet felépítése és anyagai

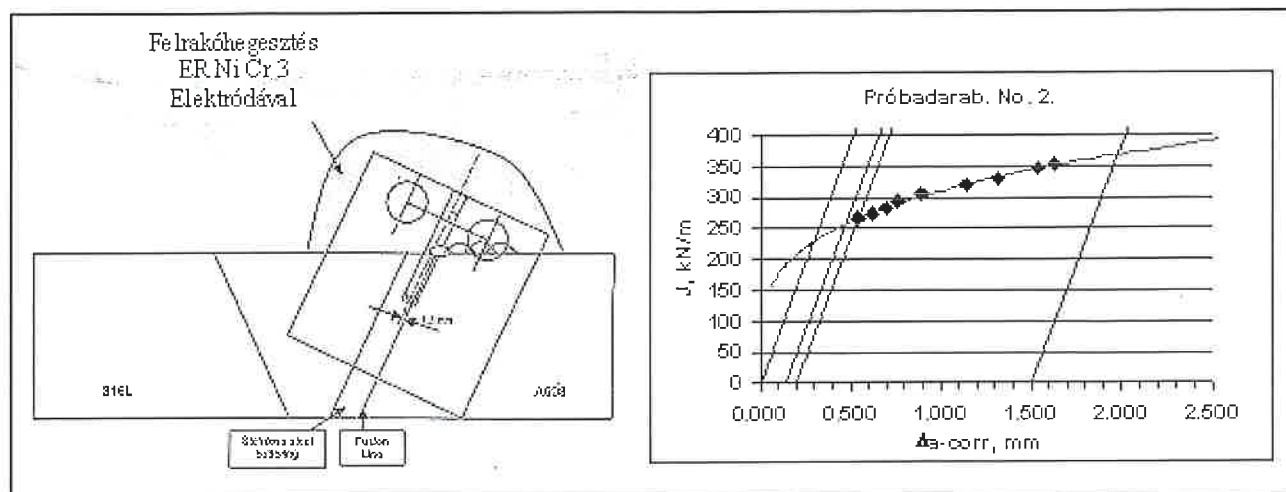
1 – 316 L ausztenites csőszakasz, 2 – A 508 ferrites csőszakasz, 3 – 308 L WM heterogén hegesztett kötés, 4 – toldalék csőszakaszok mint hajlító karok ($E = 206 \text{ GPa}$, $\nu=0.3$), 5 – a toldalék és az ausztenites szakasz közti hegesztés ($E = 206 \text{ GPa}$, $\nu = 0.3$), 6 – a toldalék és a ferrites szakasz közti hegesztés ($E = 206 \text{ GPa}$, $\nu=0.3$)



3. ábra. A vizsgált szerkezet és a projektben résztvevő kutatók



4. ábra. A szerkezetvizsgálat elrendezése



5. ábra. A CT JE 25 próbatest kivétele a csőből, és tipikus J–R görbék 300°C-on

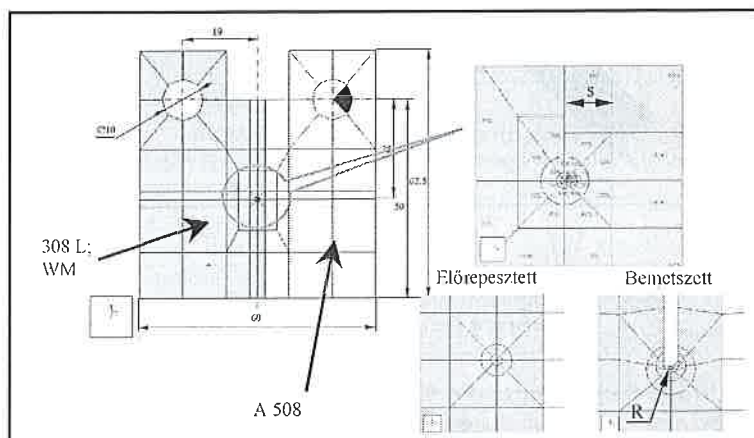
integritási Osztálya részt vállalt a projektben. Osztályunk feladata volt megvizsgálni:

- a hibátó lekerekítési sugarának és a bemetszés elhelyezkedésének hatását a szerkezetvizsgálat eredményére, elsősorban a repedésindulás körülményire. A próbadarabba a mesterséges hibát szikraforgácsolással készítik, amellyel kb. 0,2 mm legkisebb lekerekítési sugarat lehet elérni a hiba tövében. A vizsgálandó valós szerkezet nagy mérete miatt (8 m hosszú) nincs lehetőség előfárasztással valósgos repedés kialakítására. Ezért fontos ismerni a hiba élességének hatását. A kapott eredmények javíthatják a numerikus modellezés pontosságát és a hibaértékelés eredményének megbízhatóságát.

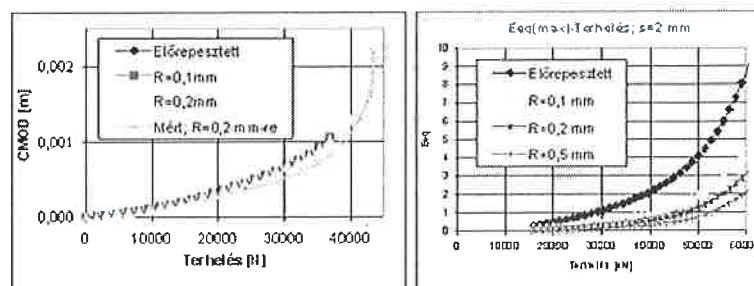
- a heterogén hegesztett kötések különböző anyagi paraméterei (mint pl. folyáshatár, keményedési kitévő, J_{IC} stb.) befolyásának mértékét a törési folyamatra. Ezen paraméterek változásának hatását a törésmechanikai vizsgálatokhoz használt geometriájú próbatestre illetve a valós vizsgálandó szerkezet geometriájával elvégzett végelem-számításokkal elemeztük. A számítások során összehasonlítottuk az ADIMEW és a VVER anyagok alkalmazásának hatását a vizsgált szerkezetre.

A hibátó lekerekítési sugara hatásának vizsgálata

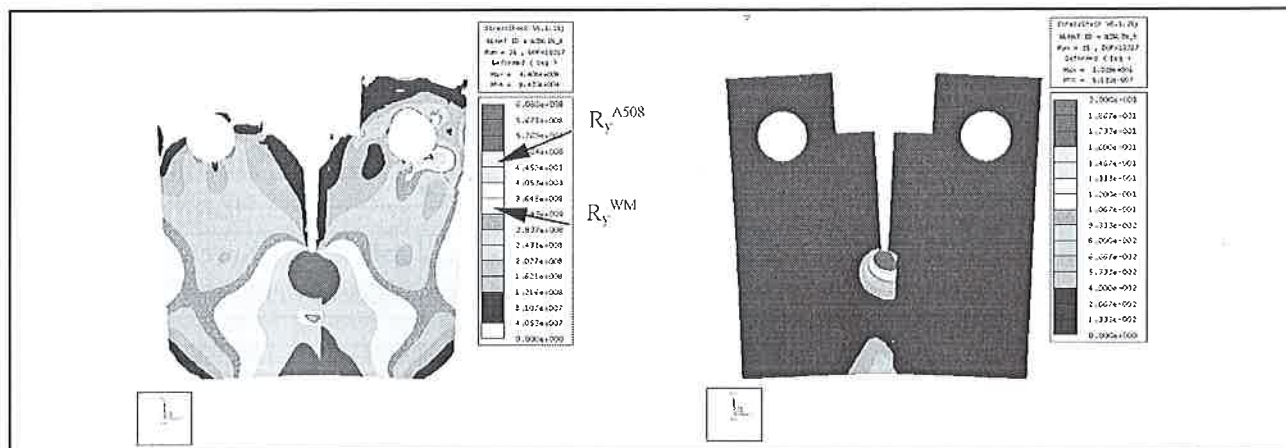
A törésmechanikai vizsgálatokat a hegesztés anyagából kimunkált szabványos próbatesteken végeztük el a



6. ábra. A P-végelem felosztás előrepesztett és bemetszett CT próbatestre



7. ábra. A hibátó geometriájának hatása a CMOD-ra és töben lévő alakváltozásra

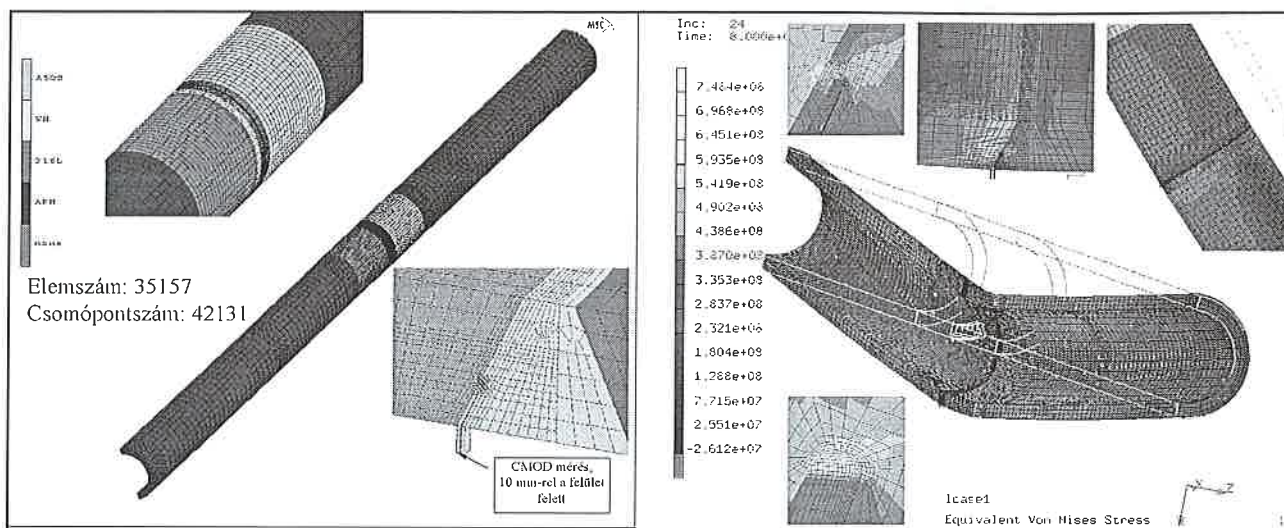


8. ábra. A próbatestben ébredő feszültségek és alakváltozások (60 kN)

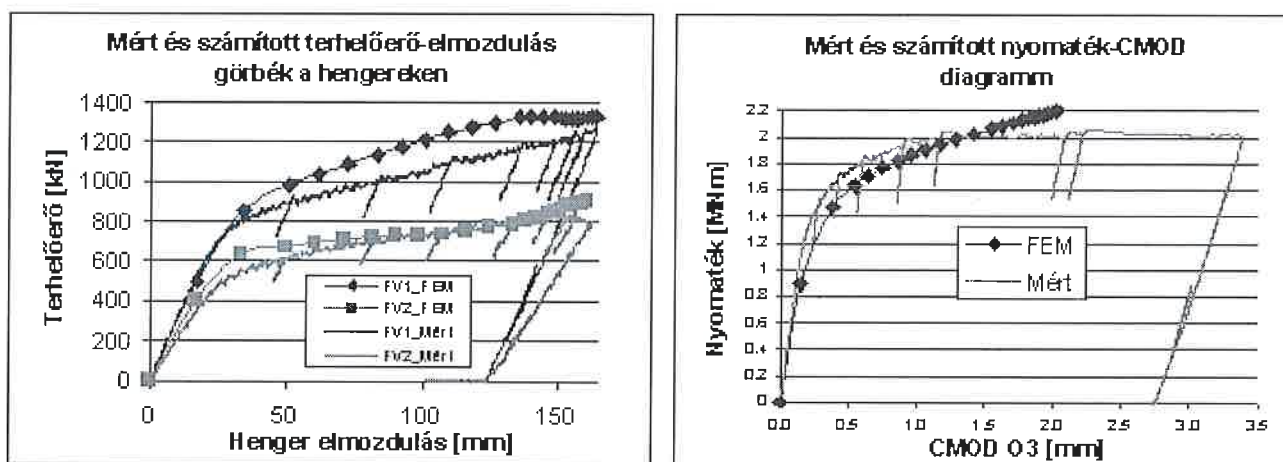
repedésindulással szembeni ellenállás meghatározására. Ezeket a vizsgálatokat élesen bemetszett próbatesteken végeztük, és eredményeinket összehasonlítottuk az éles bemetszést, illetve előfárasztott repedést tartalmazó próbatesteken a Framatome által elvégzett vizsgálatok eredményeivel. A vizsgálatokat szobahőmérsékleten és növelt hőmérsékleten is elvégeztük. A vizsgálatok eredményeként J-R görbék (5. ábra)

és repedésindulási szívósságot határoztunk meg, és összehasonlítottuk a különböző élességű bemetszésekre vonatkozó eredményeket.

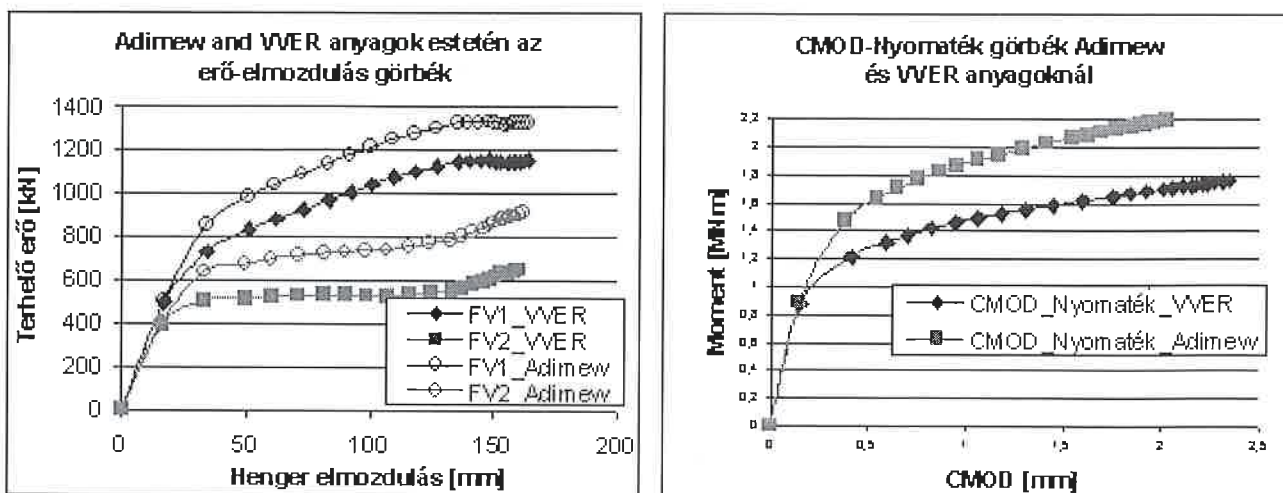
Elvégeztük a törésmechanikai próbatestek végelem-modellezését (6. ábra), és ehhez kapcsolódva érzékenység-analízist végeztünk, hogy megállapítsuk a bemetszés sugarának, valamint az anyagi paraméterek változásának a hatását. A számításokhoz a StressCheck p verziós



9. ábra. A végelem-háló és a számított egyenértékű feszültségek



10. ábra. Mért és számított terhelőerő-elmozdulás illetve nyomaték-CMOD görbék



11. ábra. Az ADIMEW és a VVER anyagok terhelőerő-elmozdulás illetve nyomaték-CMOD görbéi

2. táblázat. VVER típusú reaktorban található heterogén hegesztett kötés anyagaadatai

08KH18N12T ausztenites acél							
Hőmérséklet 20 °C				Hőmérséklet 350 °C			
R_m (MPa)	$R_{p0.2}$ (MPa)	A_5 %	Z %	KCU 2 J/cm ²	Keménység HB	R_m (MPa)	$R_{p0.2}$ (MPa)
509	196	40	55				167
15H2MFA ferrites acél							
539–735	431	14	50	78		490	392
EA400/10T hegesztési varrat anyag							
539	343	25	30	88		441	245

végelem-programot használtuk, így nem volt szükség finom hálós létrehozására és a különböző paramétereket is könnyen tudtuk változtatni. Az eredményeket a 7. ill. a 8. ábra szemlélteti.

A valós szerkezet végelem-vizsgálata

Az EU projekt 4. feladatcsoportjához kapcsolódva elvégeztük a valós, heterogén hegesztett kötést tartalmazó szerkezet vizsgálat közbeni viselkedésének végelem-modellezését (VEM), és ennek eredményeit összehasonlítottuk a tényleges vizsgálat eredményeivel.

Mint ahogy azt a 4. ábra mutatja, a cső vizsgált szakaszát 300°C-ra hevítve vizsgálták. A hőtani körülmények miatt, a toldalék karok közelítőleg szobahőmérsékleten maradtak. Mivel a terhelő hengerek terhelőerőre történő vezérlése nem volt megoldható, a bemetszést nem a szimmetriáskiban, hanem attól $D = 285$ mm-re, a ferrites oldal irányába eltolva helyezték el, hogy a vizsgált szakaszon minél inkább megközelítsék a tiszta hajlítási állapotát.

Modellezéskor a támaszokat merevként vettük figyelembe, míg a terhelő hengerek alakváltozását rugómodellként építettük be a számításba. A szerkezet és a terhelési viszonyok hosszanti szimmetriája miatt elegendő a cső felét modellezni (9. és 10. ábra).

Az előzőhöz hasonló számítást elvégeztük egy VVER típusú reaktorban található heterogén hegesztett kötés anyagaadataival is, melynek

főbb jellemzőit mutatja a 2. táblázat táblázat. A kisebb folyáshatár és szakítószilárdság hatása jól látható a 11. ábrán.

Összefoglalás

Az egyéves projekt keretében elvégzett munkának – a kitűzött célok-nak megfelelően – a következő legfontosabb eredményei emelhetők ki:

– A Bay-Logi sikeresen teljesítette az EU projekt keretében vállalt feladatokat, amellyel szakmai szempontból hozzájárult annak sikeréhez, a projekt és a gyakorlat szempontjából fontos kiegészítő eredményeket produkálva.

– A projekt keretében a többi partnerrel végzett közös munka jelentősen elősegítette a Bay-Logi további integrálódását az Európai Kutatási Térségbe. Ezt erősítette egy általunk Miskolcon szervezett projekt-értekezlet is.

– Véleményünk szerint a jelen projekt keretében végzett együttműködés jelentősen hozzájárult ahhoz, hogy partnerek lehetünk egy másik sikeres európai projektben (PERFECT), amelyet a 6. kutatási keretprogram – a nukleáris tematikus prioritásán belül – támogat, és 2004 januárjában indult.

Végezetül szeretnénk megköszönni azt a jelentős pénzügyi támogatást, amelyet az Oktatási Minisztérium Kutatás-fejlesztési Helyettes Államtitkársága nyújtott az elvégzett munkához.

SZEMLE

Tekergő szén nanocsövek

Mi történik, ha egy csipetnyi szén nanocsövet nyakon öntünk vízzel? Tsukruk és társai (Iowa State University, Ames) meglepő választ tapasztaltak: A száraz szén nanocsövekkel szemben a nedves nanocsövek nagyon hajlékonyá válnak és spontán érdekes alakzatokat vesznek fel. Ha pedig a nedvesítést–száritást ciklikusan ismétlik, akkor a szén nanocsövek hurok, kampó, tekercs vagy más alakúak lesznek; továbbá – ami különösen érdekes – hajlításra a szén nanocsöveknek megváltoznak az optikai tulajdonságai, azaz potenciális szenzor-jelöltek! (V. V. Tsuruk, H. Ko, S. Peleshanko: Phys. Rev. Lett. 2004, 92, 065502)

Mi keményebb a gyémátnál?

Természetesen, a gyémánt! – állítják a washingtoni Carnegie Institute munkatársai –, ha megfelelő technológiával állítják elő. Az intézetben drágakő-méretű gyémánt egykristályt növesztettek a szokásosnál százszor nagyobb sebességgel egy speciális mikrohullámú plazma vegyszergőz lecsapatási technikával. Az így előállított gyémánt is már nagyon kemény, de keménysége még növelhető, ha nagy nyomáson (5–7 GPa) és hőmérsékleten (2000°C) kezelik. A folyamat mechanizmusa még nem ismert, de egyfajta alakítási

keményedésnek tűnik. Az így kezelt gyémánt keménysége mintegy 50%-kal nagyobb, mint az eddig ismert szintetikus technológiákkal előállított gyémántoké. (CS Yan et al., Physica Status Solidi/a/, 2004, 201, R25)

Nikkel nanoréteggel jobb telepek gyárthatók

A járművekhez vagy a laptopokhoz használt tölthető telepek gyártástechnológiáival csak csekély kapacitás-növekedés érhető el. De, úgy látszik, az eszes vegyészek mindent forradalmasítanak. A bostoni Massachusetts Egyetem Stuart Licht Intézetben és a haifai Ran Tel-Vered Technion Intézetben kimutatták, hogy a hordozható elektronikákhoz használt nikkel–fém-hidrid telepekben a nikkel ionokat vas-szuperoxiddal helyettesítve a tárolható töltés megkétszerezhető. A vas-szuperoxid alkalmazásának ötlete, miszerint ionokként három elektron befogható (ezért nagyobb a töltési kapacitása), nem új, de az elektrokémiai folyamat megfordíthatósága gondot okozott. A két intézet kutatói kimutatták, hogy ha a nikkelt nanofilmmé alakítva alkalmazzák, akkor a telep 200-szor tölthetővé válik. Mindehhez járul még az is, hogy az eljárás nemcsak olcsóbb, de nem is mérgező (idézi a CERN Courier May, 2004 az S Licht and Tel-Vered 2004 Chemical Communications 6, 628-at).

Követelmények a mederhíd acélanyagával és hegesztett kötéseivel szemben

Karol Kálna*

Abstract

Required properties of steels and welded joints for bridge structure. The fatigue failure and the brittle fracture are the most important limit states of bridge steel structures. Resistance against the fatigue failure can be achieved by a selection of the suitable form of structure details and by a guarantee of the suitable quality of production, above all of the welding (minimization of not admissible defects-discontinuities as well as geometric imperfections). Resistance against the brittle fracture may be achieved by a selection of sufficiently tough materials, steels and weld metals. To determine requirements for the structural and weld material properties and the quality assurance respectively (see tables 4–8) there were taken into consideration the recommendations of adequate IIW documents, EN standards and our research and practical experiences.

Bevezetés

A híd acélszerkezetének tönkremeneteli határállapotát alapvetően a fáradásos károsodás és az ezt követő rideg törés jellemzi. A híd szerkezet fáradással szembeni ellenállása a szerkezet megfelelő kialakításával és gyártásának minőségbiztosításával érhető el. Vonatkozik ez főleg a hegesztési műveletekre (a meg nem engedett hibák minimalizálásával, a folytonossági hiányok és az alakhibák kiküszöbölésével). A rideg töréssel szemben megkívánt ellenállás az elegendően szívós acél és a hegesztő anyagok tulajdonságaival szembeni követelmények meghatározásánál fontosak a gazdasági szempontok, amelyek az acél és a hegesztő anyagok árán kívül magukban foglalják a munkagigényes gyártás költségeit is (pl. a hegesztett kötés elkészítése és az ehhez szükséges előmelegítés, a varrat megmunkálása és javítása stb.).

A szerkezeti anyagok tulajdonságaival szembeni követelmények meghatározásánál fontosak a gazdasági szempontok, amelyek az acél és a hegesztő anyagok árán kívül magukban foglalják a munkagigényes gyártás költségeit is (pl. a hegesztett kötés elkészítése és az ehhez szükséges előmelegítés, a varrat megmunkálása és javítása stb.).

Méretezés kifáradásra

Az acélszerkezet és részegységeinek tervezésekor az IIW Doc. XIII-1539-96/XV-845-96 [1] szerint kell kifáradásra méretezni. Ha a szerkezet valamely részegysége nem felel meg az előírásnak, akkor:

- a fáradás szempontjából előnyösebb alakra kell áttérni,
- magasabb minőségfokozatú hegesztett kötésekkel kell előírni, pl. az EN 25 817, EN 1712, EN 12 517 szerint,
- elő kell írni a fáradási repedések keltkezése szempontjából veszélyeztetett varratok és átmenetek köszörléssel történő megmunkálását, vagy a hegesztési varrat átmenetének TIG - átolvasztását.

Méretezés rideg törésre

Acélszerkezetek tervezését és méretezését rideg törésre a különféle szabványok (API, ASME, BS, EN stb.) szigorú eljárásai szerint végzik. Lényeges eltérés a *fiktív repedés* a_F nagyságában van, amelynek mérete a megkövetelt *törési szívósság* – K_{IR} (MPa·√m) meghatározásához használt összefüggésben jelenik meg. A fiktív repedés egy hipotetikus meghibásodás, amely nem fordulhat elő a szerkezetben. Az a_F mérete függ a szerkezet gyártásának minőségétől, beleértve a hegesztés módját és a varratok roncsolásmentes vizsgálatának terjedelmét.

Az acélok és a hegesztett kötések K_{IR} törési szívósságának meghatározása

A törési szívósság meghatározására a módosított Landes-féle

összefüggést használtuk [2]. Az igénybevétel szintje – S2, a károsodás következményei – C2 és az igénybevétel módja főleg statikus az EN 1993-1-1 eljárása szerint. A fiktív repedés a_F méretét az IIW Doc. X-1248-92 [3] javaslata szerint választottuk meg.

A szükséges (a megkövetelt) törési szívósság K_{IR} értékét a következő összefüggéssel lehet meghatározni:

$$K_{IR} = f_{yt} \sqrt{\pi \cdot a_F \cdot k_c \cdot k_F \cdot (2k_s - 1)} \quad (1)$$

amelyhez esetünkben $a_F = \{5 \text{ mm}; 0,2 \cdot t; 20 \text{ mm}\}$; $k_c = 1,5$; $k_F = 1,0$; $k_s = 2,0$ értékek tartoznak.

A $k_s = 2,0$ tényező használata jogos a nem hőkezelt varratokkal készült szerkezeti részegységeknél. Felvéve az anyag megbízhatósági tényezőjét $\gamma_M = 1,2$ értékre és a tompa varratok feszültség-gyűjtési tényezőjét $k = 1,2$ értékre, a hegesztett kötésekben a maradék feszültség: $\sigma_r = R_e = f_{yt}$ és így az eredő fiktív feszültség: $\sigma_T = 2 \cdot f_{yt}$.

Az acélhidakra érvényes BS 5400 brit szabványban [4] az UMIST-1997 javaslata alapján a statikusan és a fáradásra igénybe vett szerkezeteknél egyaránt azonos méretű fiktív repedéssel számoltak, mégpedig: $a_F = \{3 \text{ mm}; 0,15 \cdot t; 12 \text{ mm}\}$. A brit szakemberek ezt az UK-ban alkalmazott gyártási eljárás magasabb minőségével magyarázzák.

Az acélok és a hegesztett kötések megkövetelt K_{IR} ütőmunkájának meghatározása

A K_{IC} törési szívósság és a KV ütőmunka között nincs jó korreláció. A törési szívósság vizsgálatánál valós vastagságú, hosszú, éles, fáradásos repedéssel bemetszett próbatestet használnak; a terhelés lassú. Az ütőmunka vizsgálatához pedig kisméretű, 10x10 mm méretű, sekély, $a = 2 \text{ mm}$ mély és $r = 0,25 \text{ mm}$ lekerekítésű sugarú próbatestet. A szívósság-hőmérséklet: $K_{IC}(T)$ és $KV(T)$ összefüggések egymással szemben eltolódtak. A megfelelő KV (J) ütőmunka előzetes meghatározására a Sailors-Corten-féle összefüggés [5] használható:

$$K_{IC} = 14,5 \cdot \sqrt{KV} = C \sqrt{KV} \Rightarrow KV = (K_{IC} / V_1)^2 \quad (2)$$

A VÚZ – Hegesztési Kutatóintézet (Bratislava) szerint [6] az állandó értéke nagyobb lehet: $C_2 = 18$.

Az (1) összefüggéssel meghatározott K_{IR} törési szívósság és a (2) szerinti KV_{IR} ütőmunka értékeit az 1. táblázatban tüntettük fel.

1. táblázat: Az anyagok megkövetelt törési szívóssága és ütőmunkája

Vastagság t (mm)	≤25	32	40	50	60
S355 – f_y (MPa)	345	345	345	335	335
K_{IR} (MPa·√m)	92	104	116	126	138
KV_{IR} (J)	26÷40	33÷51	42÷64	49÷76	59÷91
S420 – f_y (MPa)	400	400	400	390	390
K_{IR} (MPa·√m)	106	120	134	147	161
KV_{IR} (J)	35÷53	44÷68	55÷85	66÷102	80÷123
S460 – f_y (MPa)	440	440	440	430	430
K_{IR} (MPa·√m)	117	132	148	162	177
KV_{IR} (J)	42÷65	54÷83	68÷104	81÷125	97÷149

Az EN szerinti szavatolt tulajdonságok

Szükséges, hogy az acélok jó hegeszthetők legyenek csekély előmelegítés mellett is és kellően szívósságúak. Az adott feltételek mellett a legelőnyösebbek a finomszemcsés hegeszthető acélok az EN 10113-2 szerint normalizált állapotban: az S355NL és S420NL vagy az EN 10113-3 termomechanikusan hengerelt: S355ML és S420ML minőségjelűek.

* Doc. Ing. Karol Kálna, DrSc., Welding Research Institute - Industrial Institute SR, Bratislava, 832 59 Bratislava, Račianska 71

2. táblázat: Az acélok vegyi összetétele (kiválasztott elemek, öntési analízis, tömeg%) EN 10113-2 és 3 szerint

Acél	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ni	CEV
S355NL	0,18	0,50	0,90–1,65	0,030	0,025	0,05	0,12	0,50	0,43
S420NL	0,20	0,60	1,00–1,70	0,030	0,025	0,05	0,20	0,80	0,48
S460NL	0,20	0,60	1,00–1,70	0,030	0,025	0,05	0,20	0,80	–
S355ML	0,14	0,50	1,60	0,030	0,025	0,05	0,10	0,30	0,39
S420ML	0,16	0,50	1,70	0,030	0,025	0,05	0,12	0,30	0,45
S460ML	0,16	0,60	1,70	0,030	0,025	0,05	0,12	0,45	0,46

3. táblázat: Az acélok szilárdsági, alakváltozási és szívóssági tulajdonságai az EN 10113-2 és 3 szerint

Acél	R _m (MPa)	Re (MPa) l (mm) vastagság szerinti			A5 %	KV (J) (hosszirányban)		KV (J) (keresztirányban)	
		≤16	→ 40	→ 63		-30 °C	-40 °C	-30 °C	-40 °C
S355NL	470-630	355	345	335	22	40	31	23	20
S420NL	520-680	420	400	390	19	40	31	23	20
S460NL	550-720	460	440	430	17	40	31	23	20
S355ML	450-610	355	345	335	22	40	31	23	20
S420ML	500-660	420	400	390	19	40	31	23	20
S460ML	530-720	460	440	430	17	40	31	23	20

Az acél EN 10113 szerint szavatolt szívóssága nem kielégítő. Némi elem mennyisége, amelyek a hegeszthetőséget befolyásolják, nagyon sok, úgyszintén a CEV szén ekvivalens is.

Az elismert acélművek szállítanak acéllemezeket és egyéb gyártmányokat előnyösebb vegyi összetétellel és szilárdsági tulajdonságokkal is. Az acélokkal szembeni előírt követelményeket tapasztalataink alapján határozzuk meg, konkrétan a vegyi összetételt és a szilárdsági tulajdonságokat, főleg az ütőszívósság értékéről kell az acélgyártó céggel meg egyezni.

Az acél megkövetelt tulajdonságai

A jó hegeszthetőség és a szükséges szívósság biztonságos eléréséhez az EN 10113 szerinti vegyi összetétel előírását kell betartani a 4. táblázati értéktárolók mellett:

4. táblázat: Az acél vegyi összetételére előírt értéktárolók (tömeg%)

Acél	EN	C %	Nb %	Nb+V+Ti %	CEV l ≤ 25 mm	CEV l=26-50 mm
S355NL	EN 10113-2	0,17	0,05	0,12	0,41	0,43
S420NL	EN 10113-2	0,19	0,05	0,12	0,43	0,45
S460NL	EN 10113-2	0,19	0,05	0,12	0,44	0,46
S355ML	EN 10113-3	0,14	0,05	0,12	0,38	0,41
S420ML	EN 10113-3	0,16	0,05	0,12	0,41	0,43
S460ML	EN 10113-3	0,16	0,05	0,12	0,42	0,44

Kéntartalom S < 0,010 %, foszfortartalom P < 0,020 %.

A szerkezeti acélok alapvető szilárdsági jellemzői felelnek meg az EN 10113-2 és -3 követelményeinek az alábbiak szerint:

a) A tényleges adatok (nem a szabvány) szerinti folyáshatár/szakítószilárdság arány: $R_{\sigma}/R_m < 0,85$;

b) A heg-acéltanyag megkövetelt szívóssága, a K_{CV} (MPa $\sqrt{m}$) törési szívósság és a KV (J) ütőmunka értékeit a T_S vizsgálati hőmérsékleten (átlagos érték / egy minimum) az 5. táblázatban foglaltuk össze.

5. táblázat: A KV (J) ütőmunka és a K_{CV} (MPa $\sqrt{m}$) törési szívósság megkövetelt értékei

Acél	A lemez mm vastagsága, mm	T_S °C	Acél: KV (J)		Heganyag*	
			Hossz- irányban	Kereszt- irányban	KV (J)	K_{CV} : (MPa $\sqrt{m}$) $T_S = -30$ °C-on
S355	l ≤ 25	-30	40/30	27/21	40/30	100
	26 – 50	-40	60/45	45/34	55/40	125
S420	l ≤ 25	-30	50/38	40/30	47/35	110
	26 – 50	-40	60/45	45/34	55/40	140
S460	l ≤ 25	-30	60/45	45/34	50/35	120
	26 – 50	-40	75/50	50/35	70/50	150

*) K_{CV} vagy $K_{0,2}$ a T_S hőmérsékleten a nemzeti szabvány vagy az ASTM E 813-89, ASTM E 1820-96 szerint. Legalább 6 db próbatestet kell vizsgálni, a számított értéket az adatok 90%-os valószínűségéhez rendelve kell meghatározni.

c) A vastagság irányában igénybevett lemezekre (fennáll a lamelláris károsodás veszélye):

– A szakadási kontrakció előírt értéke az EN 10 164 szerint: $Z_z > 35$ % és emellett

– az ütőmunkájuk az EN 10045-1 szerint:

$$KV_Z \geq 40/30 \text{ J } T_S = -20 \text{ °C-on} \quad (5)$$

Az acélgymármányok vizsgálatáról szóló dokumentumok tartalmát az Euronorm 168 (1998) írja elő.

Az előmelegítés hőmérsékletének megállapítása a hegesztésnél

Az előmelegítés hőmérséklete a hegesztésnél az EN 1011-2, C3. Melléklete szerint finomszemcsés, gyengén ötvöztött acélokra lett meghatározva. A kiszámított T_p értékek ellenőrzöttek.

A szén-ekvivalensek CE (megegyeznek a CEV-vel) és a CET a következő összefüggésekkel adóttak:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (6)$$

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (7)$$

A CE és CET szén-ekvivalensek különböznek egymástól, nem lehet őket átszámítani (szükséges ismerni az acél valódi vegyi összetételét).

Az előmelegítés hőmérséklete a következő összefüggéssel határozható meg:

$$T_p = 697 \cdot (CET) + 160 \cdot t_{gh} (t/35) + 62 \cdot (HD)^{0,35} + [53 \cdot (CET) - 32] \cdot Q - 328 \quad (8)$$

ahol t (mm) a hegesztett részek vastagsága

Q (kJ/mm) a hegesztés hőbevétele

HD a heganyag hidrogéntartalma (ml/100 g heganyag)

6. táblázat: Az előmelegítés hőmérsékletének kiszámított értékei, T_p (°C) hegesztésnél

Q KJ/mm	CET %	Karakterisztikus vastagság, t_g (mm)			
		20	30	40	50
1,20	0,25	45	74	93	105
	0,30	83	112	131	143
	0,34	113	142	161	173
2,0	0,25	30	59	78	90
	0,30	70	99	118	130
	0,34	102	131	150	162
2,05	0,25	21	49	69	81
	0,30	62	91	110	122
	0,34	95	124	143	155

Követelmények a hegesztéssel szemben

Heganyagok

A heganyagot a megkövetelt folyáshatára, szívóssága és diffúzió képes hidrogéntartalma alapján kell kiválasztani.

A heganyag folyáshatára és szakítószilárdsága nem lehet az acélénál számottevően nagyobb.

A heganyag R_{σ} folyáshatára az acéltanyagénál (R_{σ}^*) legfeljebb 100 MPa-lal lehet nagyobb:

$$R_{\sigma}^* = R_{\sigma} + (1 \sim 100) \text{ MPa} \quad (9)$$

$$R_{\sigma}^* = (0,9 \sim 1,2) R_{\sigma}^*$$

ahol R_{σ}^* , R_{σ}^* , R_{σ}^* , R_{σ}^* az anyagok tényleges jellemzői, nem pedig a szavatolt értékek.

A heganyag megkövetelt szívósságának megállapításánál a 5. táblázatban lévő adatok a mérvadók.

ságait valamint az előmelegítés hőmérsékletét a hegesztésnél. Ezért a hegesztéshez csak olyan hegyanyagok használhatók, amelyeknek a diffúzió képes hidrogéntartalma garantált.

7. táblázat: Az S355 és S420 acélokhoz javasolt hegyanyagok típusai

A hegesztés módja	Szabvány	$l < 25 \text{ mm}$	$t = 25 - 50 \text{ mm}$
MAW – 111	EN 499	E42 3B H10	E 42 5B H10
SAW – 121	EN 756	S42 3A B S2	S42 5AB S2
MAG – 135	EN 440	G42 3M G3 Si1	G42 5M G3 Si1
MAGT – 136	EN 758	T42 3 1Ni PM1	T42 5 1Ni PM1

A hegesztésre vonatkozó követelmények

a) Az acélszerkezet gyártója meg kell feleljen az EN 729-2 követelményeinek, jogosítvánnyal kell rendelkeznie a megfelelő nemzeti hatóságtól és teljesítenie kell az EN 719 követelményeit. Hegesztési az adott hegesztési eljárással csak az EN 287-1 szerint érvényes vizsgákkal bíró szakembereknek szabad. Az EN 288-2 és az EN ISO 15609-1 szerint megadott hegesztési eljárásokat (WPS) vizsgálatokkal kell ellenőrizni, minősíteni és jegyzőkönyvezni (WPQR) az EN 288-3 és az EN ISO 15614-1 szerint.

b) A mederhíd acélszerkezet gyártóinak be kell tartaniuk a meghatározott hegesztési hőreztimét: előmelegítés, hőbevitel, varratközi hőmérséklet, utóhőkezelés. A gyártóknak garantálni kell a hegyanyag megkövetelt tulajdonságait: a relatív folyáshatárt a (9) szerint, szívósságot: $KV (J)$ és $K_{IC} (MPa\sqrt{m})$ az 5. táblázat szerint. Vitatott esetekben a K_{IC} törési szívósság dönt.

c) A hegesztés elkezdése előtt a gyártóknak el kell végezniük minden alkalmazott hegesztési eljárással és jellemző anyagvastagsággal (pl. $t = 16 - 28 - 50 \text{ mm}$). készített hegesztett kötések próbatesztjét (MAW 111, SAW – 121, MAG – 135, MAGT – 136). A következő vizsgálatokat és elemzéseket kell elvégezni:

- Az acél és a hegyanyag vegyi elemzése,
- A hegesztett kötés makrostruktúrájának vizsgálata,
- A hegesztett kötés keménységének vizsgálata, HV 10,
- A hegesztett kötés szakítóvizsgálata az EN 895 és a hegyanyag vizsgálata az EN 876 szerint,
- Az acél, a hegyanyag és hegesztés átmeneti zónájának üto-hajlító vizsgálata, a KV meghatározása az E 875 szerint -30°C-on ,
- Törési szívósság, K_{IC} vagy $K_{0.2}$ meghatározása a teljes anyagvastagságú mintákkal -30°C-on .

A hegesztett kötések megállapított jellemzőit archiválják, hogy felhasználhatók legyenek a szerkezet kezdeti és időszakos vizsgálatok feltárt anyaghiányok veszélyességének a megítélésére a „megfelelőség az üzemben tartásra” módszerrel a híd élettartalma folyamán.

d) Az acélszerkezet gyártóinak lehetővé kell tenni a beruházónak vagy az általa megbízott szervezetnek a hegesztés minőségének ellenőrzését a gyártás és a szerelés minden szakaszában. Az ellenőrök kérésére a hegesztett kötésből próbatestet kell készíteniük az NDT és mechanikai vizsgálatokhoz.

e) A hibás hegesztések kijavítására külön hegesztési technológiát – WPS – kell kidolgozni.

Roncsolásmentes varratvizsgálat

A hegesztett kötések megkövetelt minőségét az EN 25817, B minőségi fokozata szerint ellenőrzik. A vizsgálat terjedelmét és módját a tervező határozza meg a statikus és fáradási igénybevétel figyelembevételével. A roncsolásmentes vizsgálatokat (NDT) a megfelelő EN szabványok szerint kell elvégezni (lásd a 8. táblázatot).

8. táblázat. A varratok roncsolásmentes vizsgálata és a megkövetelt minőség szintje

A vizsgálat módszere	A vizsgálat módja	Jellemző	A minőség szintje
Szemrevételezés (VT)	EN 970	–	EN 25817-B
Rádiográfiai (RT)	EN 1435 tr. B	EN 12517	EN 12517-ú.2
Ultraszónus (UT)	EN 1714 tr. B	EN 1713	EN 1712-ú.2
Penetrációs (PT)	EN 571-1	EN 1289	EN 1289-ú.1
Mágneses felületi poros (MT)	EN 1290	EN 1291	EN 1291-ú.1

Különös figyelmet kell szentelni a hegesztett kötés alakhibáinak: a túl magas varratdomborulatra (az ISO 6520 502 és 503 sz.), amelynek a meredeksége (505) $\alpha \geq 120^\circ$ kell legyen.

A roncsolásmentes vizsgálatokat csak a megfelelő vizsgálatra érvényes vizsgákkal rendelkező szakemberek végezhetik.

A hegesztett kötések vizsgálata a mederhíd gyártásakor

Tekintettel a hegesztési munkák nagy terjedelmére és a mederhíd acélszerkezet gyártásának időigényére, a szerkezet gyártása közben is szükséges a hegesztés minőségét és a hegesztett kötések megkövetelt tulajdonságait ellenőrizni és igazolni. A gyártás közbeni vizsgálatok terjedelme kötődik a gyártás előtti vizsgálat programjához, a híd tender dokumentációjához.

A varratok próbáminintait a szerkezet tényleges varratainak a folytatásából kellene kivenni. Ha ez nem lehetséges, akkor a próbahegesztés lemezei legyenek kellően nagyok, hogy modellezzék a hegesztés valós hőelvezetési viszonyait.

A gyártásközi vizsgálatok terjedelménél figyelembe kell venni az időtényezőt (pl. 3 hónaponként), úgyszintén az elkészített varratok hosszát (pl. 1000 m). Javasolható a szerkezeti acél lemezanyag vastagság irányú tulajdonságainak a vizsgálata is.

Általános követelmények a szerkezet részegységeinek tervezéséhez

A fáradásos károsodás és ezt követően a rideg törés veszélyének csökkentése érdekében különös figyelmet kell fordítani az alapvető szerkezeti részek megtervezésére. A fő alapelvek a következők:

- Előnybe kell részesíteni a kétoldali tompavarratok használatát a más típusú kötésekkel szemben.
- Az egyoldali kötés alkalmazásának szüksége esetén ne használjunk acél alátétes kötések; alátét nélküli kötést kell alkalmazni, a varrat gyökét ki kell köszörülni és varrattal feltölteni.
- T kötés esetében az áthegesztett gyökkel készült K varratot kell előnybe részesíteni a sarokvarratok helyett. A sarokvarratokat a merevítőbordák hozzáhegesztéséhez használjuk.
- A tompa varratokat a gernicektől és merevítőbordáktól megfelelő távolságban úgy kell elhelyezni, hogy a roncsolásmentes vizsgálatokat el lehessen végezni (beleértve az ultrahangos vizsgálatot is).
- Keresztkötések esetében a jobban igénybevett lemezek maradjanak egyben, a kevésbé terhelteket kell hozzáhegesztetni.
- Kerülni kell a merev csomópontokat, mert kedveznek a varratrepedések és a lamelláris felszakadások keletkezésének.
- Három, egymásra merőleges lemez kapcsolatánál a merevítő sarkait ki kell vágni, a lekerekítés sugara $r \geq (25 \text{ mm} + \text{lemezvastagság})$, lásd az EN 1708-2 „Hegesztés. Alapvető kötési módok az acélok hegesztésénél 2. rész: Acélszerkezetek”.

A mederhíd próbaterhelése

A mederhíd acélszerkezetének próbaterhelésekor az acélelemek hőmérséklete nem lehet $+10^\circ\text{C}$ -nál kisebb hőmérsékletű.

Hivatkozások

- Hobbacher, A. (1996): Recommendation for fatigue design of welded joints and components. IIW Doc. XIII-1539-96/XV-845-96.
- Begley, J. A. – Landes, J. D. (1972): The J-integral as a fracture criterion, ASTM STP 514, 1-20.
- Burdekin, F. M. (1992): Proposal for collaborative programme for material selection for welded structural steelwork. IIW Doc. X-1248-92.
- BS 5400-6 Steel, concrete and composite bridges. Specification for materials and workmanship. Steel.
- Sailors, R. H. – Corten, H. T. (1973): Relationship between material fracture toughness using fracture mechanics and transition temperature tests, ASTM STP 514, 164.
- Kálna, K. – Hamák, I. (1999): A S420 és S460 acélok hegesztett kötéseinek ridegtörés jellemzői (szlovákul) Zváranie – Svačovní, 48, 3, 56.

Instron-nap

Az Instron-nap a Tudományos Hét keretében, április 28-án volt abból az alkalomból, hogy a BayLogi laboratóriumában üzembe helyezték az Instron 8850 típusú, biaxiális (húzó-csavaró), szervohidraulikus, univerzális vizsgáló-berendezést. Az esemény nemcsak szakmai közösségünk, hanem a sajtó érdeklődését is felkeltette.

A nagyszámú érdeklődőt az intézet igazgatója, dr. Tóth László köszöntötte. A korszerű vizsgáló-berendezés új lehetőséget teremt hazánkban mind a szerkezetek biztonságos működtetésének megítéléséhez nélkülözhetetlen törésmechanikai, mind a sérült emberek rehabilitációját segítő biomechanikai kutatásokhoz. Célunk – mondta az igazgató –, hogy az Európai Unió kutatási hálózatába kapcsolódva regionális központként segítségük a hazai és a környező országok kutatóinak munkáját. Bejelentette, hogy ennek érdekében Instron felhasználói klubot alapítottak.

A klubalapítási szerződést a megnyitón írta alá a BayLogi igazgatója, az Instron cég regionális kereskedelmi vezetője, David Ewing és a hazai forgalmazó, a Testor Kft. ügyvezetője, Szappanos György. A klub célja, hogy az Instron vizsgálógépeket használók számára biztosítsa a rendszeres tapasztalatcsere.

Az új vizsgáló-berendezés üzemeltetője a BayLogi szerkezetintegritási osztálya, amelynek tevékenységéről a vezető, Lenkeyné dr. Biró Gyöngyvér számolt be. Az 1996-ban alakult osztályon ma nyolc főállású munkatárs és két alapítványi ösztöndíjas doktorandusz végzi az európai pályázati rendszerbe illesztve a saját és megbízók által kezdeményezett kutatásokat, amelyeknek témái – a szerkezetek integritásának fogalmát kiterjesztve – a gyártmány- és gyártásterveztől az állapot-felmérésen és értékelésen át az élettartam-menedzselésig terjed. Az európai uniós projektek közül részt vesznek a RIMAP – a kockázatalapú felülvizsgálati és karbantartási eljárások fejlesztését; a FITNET – az üzemelésre alkalmaság módszertanának kidolgozását; a CREEPNET – az erőművi szerkezeti anyagok élettartamának meghatározását, illetve az ELIXER – az erőművek élettartam-növelő gyártási és javítási technológiák kidolgozását, továbbá az ADIMEW – a növelt hőmérsékleten üzemelő csövek heterogén hegesztett kötéseinek integritásának kutatását célul kitűző projekteken. Ennek megfelelően alkalmazzák a számítógéppel segített tervezési (CAD), a különböző numerikus és végeselemes-módszereket, a különböző roncsolásmentes, mechanikai és törésmechanikai vizsgálatokat és eljárásokat, valamint a károsodási mechanizmusok vizsgálati és modellezési módszereit. Laboratóriumuk eszközfejlesztési programját is elkötelezettségünk határozza meg – hangsúlyozta az osztály vezetője, amelynek nagy jelentőségű állomása az új, korszerű, biaxiális terhelést megvalósító Instron vizsgáló-berendezés üzembe helyezése. A beruházás költségének 75%-át az Oktatási Minisztérium biztosította. Az új vizsgáló-berendezés jelentősen kiterjeszti mechanikai laboratóriumunk kezdeti gépparkjának: a 1000 kN kapacitású, MTS vezérlésű hidraulikus és az 500 kN kapacitású Instron szervohidraulikus, de egytengelyű igénybevétel közvetítésére alkalmas gépeinek vizsgálati képességét. Az Instron 8850 típusú, biaxiális (húzó-csavaró), szervohidraulikus, univerzális berendezést és vizsgálati lehetőségeit az osztály tudományos munkatársa, Rózsahegy Péter ismertette.

David Ewing, az Instron cég regionális kereskedelmi vezetője, előadásában röviden összefoglalta az 1946-ban két fővel, ejtőernyő fejlesztésre alakult vállalkozás világgéggé fejlődésének történetét. Az Instron, a 17 országban működő kereskedelmi lerakata és szervize közvetítésével, ma már 250 millió dollár éves forgalmat ér el. Anyag-, majd szerkezetvizsgáló berendezéseinek mai széles és a szükséges tartozékokat (befogók, erőmérő cellák, nyúlásmérők, klímakamrák, kemencék stb.) is magába foglaló választéka fokozatosan alakult ki: 1950-ben az elektromechanikus szakítógépek gyártásával kezdődött, majd 1970-ben a hidraulikus vizsgáló-berendezésekkel bővült, míg az 1990-es években kiteljesedett, miután egyesültek számos ismert és elismert céggel, mint a SATEC, a Wolpert, a Shore, az SFL, a

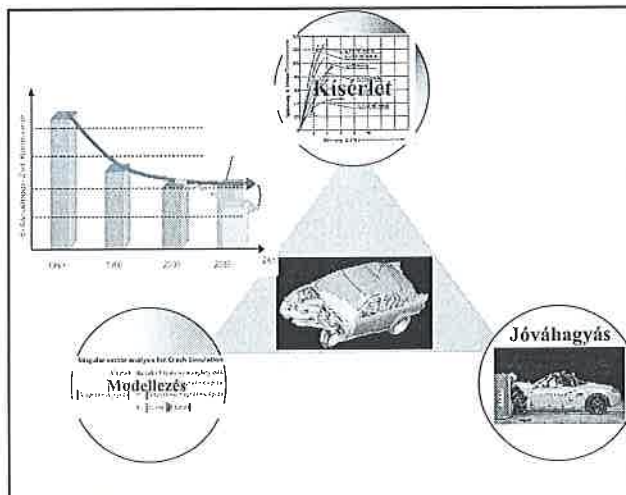
Dynatup, a Wilson Instruments. A széles, a legkülönbözőbb anyagok (a fémektől a műanyagokon át az élelmiszerekig) és szerkezetek (a járművektől a részegységeken át a mikroelektronikai panelekig) vizsgálati igényeit szem előtt tartó termékpalettát magas színvonalú szolgáltatás: alkalmazást támogató tanácsadás, szoftverek, tanfolyamok, és a szerviz teszi teljessé. Üzleti filozófiájuk középpontjában a minőség és a vevők igényei állnak.

Andy Smith, az Instron cég fejlesztését felelős mérnöke, előadásában a közelmúlt fejlesztési eredményeiről adott áttekintést. A fejlesztés főirányát a felhasználói igények mentén határozták meg, mégpedig:

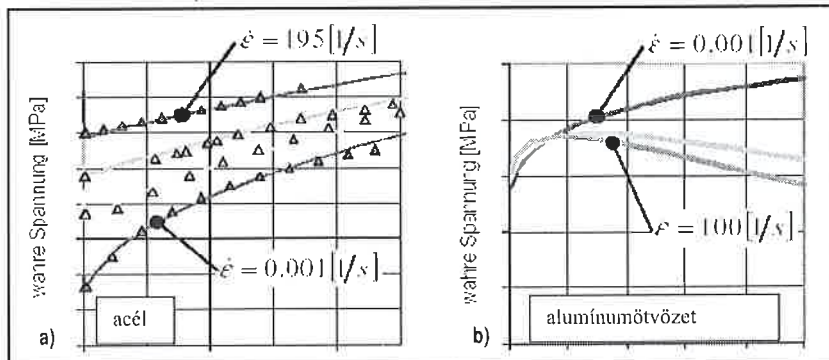
- az anyagtulajdonságok vizsgálata nagy alakváltozási sebességgel;
- biomechanikai vizsgálatok,
- mechanikai vizsgálatok többtengelyű igénybevétellel.

A vizsgálatok nagy alakváltozási sebességgel témakör kapcsolódik az EuroNCAP projekthez, amelynek keretében – a járművek passzív biztonságának növelése érdekében – módszereket dolgoznak ki a károsodások ütközéssel szemben ellenállóbb kialakítására és méretezésére. Az utóbbi években a kísérleti és a modellezési módszerek fejlesztésével jelentős mértékben csökkenteni lehetett az új járműszerkezeti modell szériagyártásra alkalmas változatának a költséges ütközésvizsgálattal történő jóváhagyásának költségeit és időtartamát (1. ábra). Ehhez azonban ismerni kell a szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságait a nagy alakváltozási sebesség tartományában (2. ábra) azért, hogy ezeket felhasználhassák a különböző kialakítású járműszerkezetek ütközésvizsgálatainak számítógépes modellezéséhez jelentősen csökkentve a fejlesztés időtartamát és költségeit.

Az Instron az ehhez szükséges vizsgálógépet fejlesztette ki. A szervohidraulikus VHS8800 vizsgálógéppel (1. kép), amelynek legfeljebb 100 kN a terhelhetősége, akár 20 m/s sebességgel is végezhető szatívizsgálat, mégpedig -150 és 600 °C hőmérséklet határok között. Az



1. ábra. A járműfejlesztés kísérleti és modellezési módszereivel a fejlesztés átfutási ideje és költségei jelentősen csökkenthetők

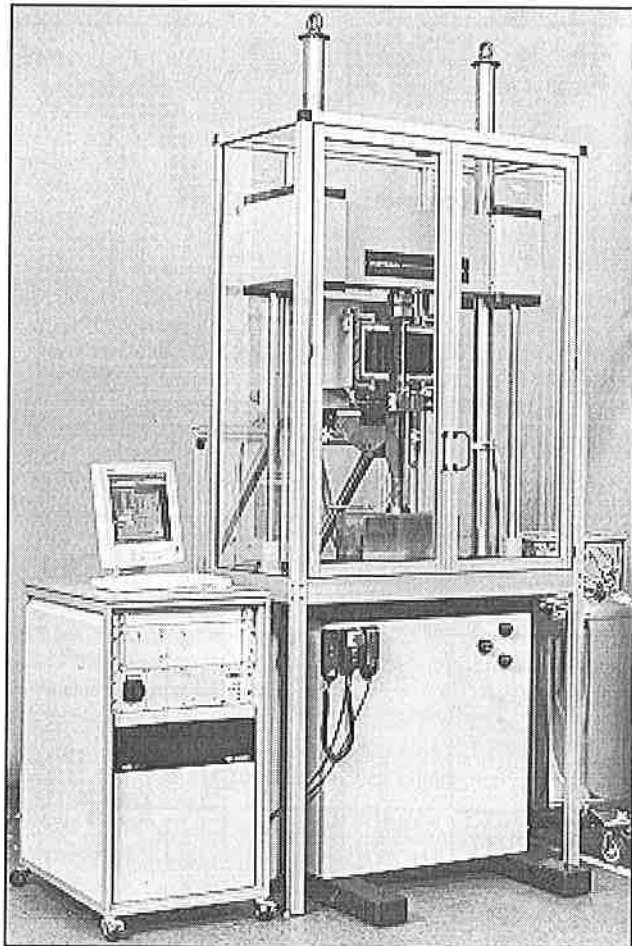


2. ábra. Az alakítási sebesség hatása az acél (a) és az alumíniumötvözet (b) valódi feszültség-valódi nyúlás diagramjaira

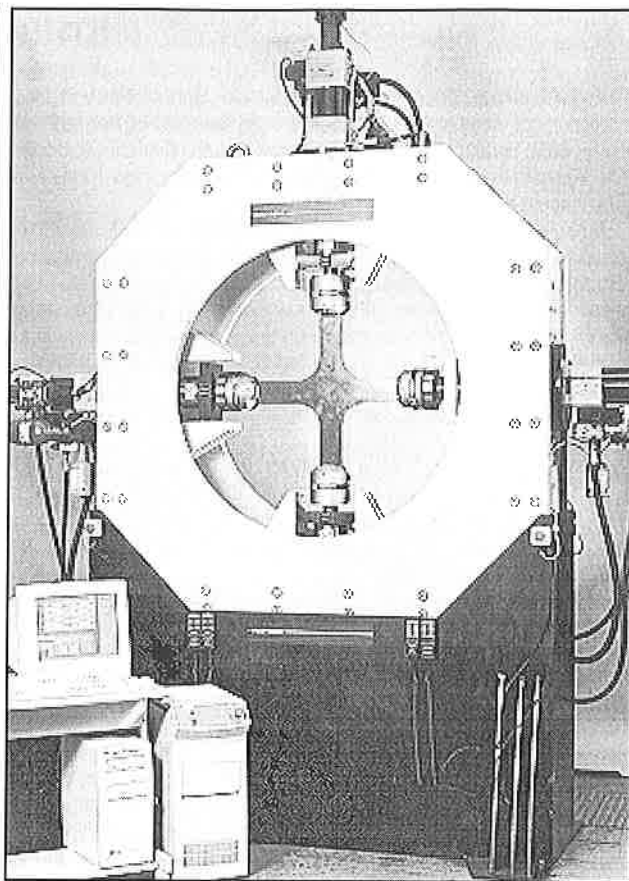
ilyen vizsgálat időtartama mintegy 50 ms. Futás közben a rendszer nyitott hurok-vezérléssel, nagy áramlásarányos szelepekkel működik, és a vizsgálatvezérlő szoftver jelentősen csökkenti a gyorsítás időszükségletét és ezzel a működési lökethosszt. A szoftver 5 MHz mintavételi sebességgel gyűjti és értékeli az adatokat. Végül is, az Instron által kifejlesztett, teljesen integrált, nagy sebességű vizsgálógép széleskörűen alkalmazható az ütés-szimulációtól a gépelemek vizsgálatán át az ütközés-szimulációig kielégítve a nagy húzó, nyomó vagy hajlító alakváltozási sebességhez rendelt anyag- és szerkezetjellemzők iránti növekvő igényt.

A *biomechanikai vizsgálatok* iránti igény az emberiség átlagos élettartamának növekedésével növekszik. A teherviselő térd, csípő és gerinc implantátumok, de a lágy mesterséges szövetek fejlesztése is igényli a megoldásváltozatok mechanikai vizsgálatát. Az erre vonatkozó új ISO/ASTM szabványelőírások kielégítése a vizsgálógéppel szemben is különleges igényeket támaszt. Az Instron új, 8870 szervohidraulikus vizsgálórendszer gépeihez illeszthető tartozékokkal in vivo feltételeket szimuláló környezetben végezhetünk biomechanikai vizsgálatokat. A BIII. oldalon látunk néhány megoldott vizsgálati példát. A térdizületek kopás-vizsgálatához az Instron a Stanmore simulator célgépet fejlesztette ki (Anyagvizsgálók Lapja 2003/4.) Különleges igény a mesterséges szívbillentyű anyagában a fáradásos repedésterjedés vizsgálata is, mivel az alkalmazott erő: 0,1 – 1,5 N, a frekvencia 13 Hz, az amplitúdó: 1 mm. Erre a feladatra is alkalmassá tehető a 8871 szervohidraulikus gép.

A *biaxiális (húzó-csavaró) fásasztó igénybevétel* megvalósítható az Instron szervohidraulikus vizsgálógépeivel. A 8874 típusú gépek (lásd a BII. oldalon) húzó/csavaró terhelhetősége: 10 kN/100 N.m és 25 kN/100 N.m, míg a 8850 típusúaké átfogja a 100 kN/500 N.m – 1 MN/10 kN.m tartományt. Lemezek biaxiális terheléses törésmechanikai és fásasztó-vizsgálatára a *kereszt alakú vizsgálórendszereket* fejlesztették ki. Egyik típusa látható a 2. képen. A terhelést az egymással szemben elhelyezett hidraulikus hengerek fejtik ki. Előnye ennek a vizsgálati rendszernek az, hogy az igénybevétellel az alakváltozás mező széles tartománya lefed-



1. kép



2. kép

hető, és a legjobban megfelel sík lemezek biaxiális törési vizsgálatához. A terjedő repedés optikai eszközzel jól megfigyelhető. A vizsgálat rádiófrekvenciás hevítést alkalmazva növelt hőmérsékleten is elvégezhető. A kereszt alakú vizsgálórendszer legkisebb változata a Planar-Biaxial System, amelyet lágy, természetes és mesterséges testszövetek vizsgálatához fejlesztettek ki (Anyagvizsgálók Lapja 2003/4), míg a darmstadti műegyetemen üzemelő 8800 típusú vizsgálórendszer kapacitása 250 kN.

Az Instron nagy kapacitású (250 kN, illetve 1 GN), *triaxiális vizsgálórendszereket* is kifejlesztett nagyméretű próbatestek vizsgálatához.

A program, a déli szünetet követően, bemutatóval folytatódott. *Rózsashegyi Péter* az új Instron 8850 típusú biaxiális, szervohidraulikus gép, míg *Tóth Péter* (Testor) az Instron elektromechanikus szakítógépek közül az 5543 típusú, 1 kN-os, egyoszlopos, és az 5865 típusú, 5 kN-os, illetve a 3367 típusú, 30 kN-os, kétoszlopos szakítógépek vizsgálati lehetőségeit mutatta be.

A bemutatót követően az Instron vizsgálógépek speciális alkalmazását is példázó előadások következtek.

Varga Zsolt, a BME Fizikai Kémia Tanszék vezetőjével, *dr. Zrínyi Miklóssal* közös munkájuk eredményeit ismertette bemutatóval a különleges tulajdonságú szilikon elasztomerek mechanikai tulajdonságait és vizsgálati módszereit. Ezt követően *dr. Lázár Attila*, a Zoltek Rt. (Nyergesújfalu) munkatársa A szénszál a XXI. század szerkezeti anyaga című előadásában a szénszál mechanikai tulajdonságainak vizsgálati módszereit is ismertette.

Az Instron-nap programját *Tóth Péter* (Testor Kft.) előadása zárta, amelyben jól rendszerezetten bemutatta a szakítóvizsgálat során elkövethető mérési hibákat, azok felismerhetőségét és okait, valamint azokat, az Instron gépeken alkalmazott hardver és szoftver megoldásokat, amelyekkel elkerülhetők ezek a mérési hibák.

Zárszavában *Lenkeyné dr. Bíró Gyöngyvér*, a BayLogi igazgatóhelyettese kifejezte reményét, hogy az Instron felhasználók klubja az együttműködés és a hasznos tapasztalatcsere fóruma lesz. Végezetül ismételt felajánlotta az új vizsgálati lehetőségeiket a hazai kutatási-fejlesztési programok támogatásához.

Lehofer Kornél

Az Instron 8850 típusú szervohidraulikus, biaxiális vizsgáló-berendezés

Rózschegyi Péter*

A közelmúltban helyezték üzembe a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézete szerkezetintegritási osztályának mechanikai laboratóriumában – az Oktatási Minisztérium jelentős anyagi támogatásával beszerzett – Instron 8850 típusú, szervohidraulikus, univerzális anyagvizsgáló berendezést, amellyel biaxiális: húzó-csavaró statikus és fásasztó igénybevétellel törésmechanikai és biomechanikai vizsgálatok végezhetők. Röviden összefoglaljuk a gép jellemzőit és a vizsgálati lehetőségeket.

A gép alapjellemzői

- A megvalósítható legnagyobb statikus/dinamikus húzó-nyomó terhelés: 300/250 kN, és statikus/dinamikus csavaró nyomaték: 2400 N.m
- A legnagyobb tengelyirányú elmozdulás: 100 mm, és tengely körüli elfordulás: $\pm 50^\circ$
- A 4292 mm magas, 1600x900 mm munkaterületű gép munkahengerei felül helyezkednek el, így alul a T hornyos, 900x800 mm méretű munkaasztalra szerkezeti elemek is felfoghatók. A gép tömege: 4,2 t.

A vizsgálórendszer felépítése az 1. ábrán látható. A vezérlő

A vizsgálórendszer felszereltsége

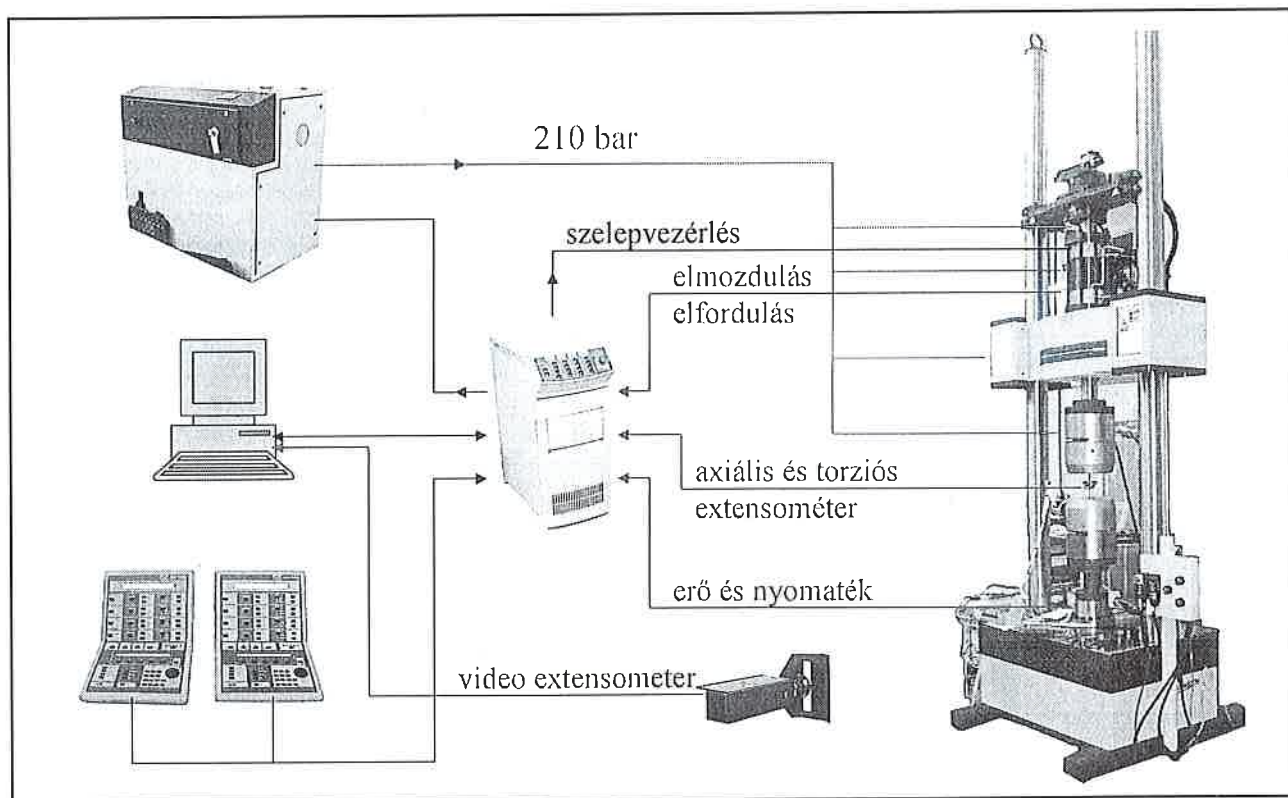
Erőmérő cellák: Dynacell típusúak, azaz dinamikusan kompenzáltak. A legnagyobb statikus és dinamikus erő- és nyomatékmérésre alkalmas cella 77°C-ig hőmérsékletre is kompenzált. A kis, ± 5 kN tengelyirányú statikus/dinamikus erőmérésre alkalmas cella 50°C-ig hőmérsékletre is kompenzált.

A klímakamra használatával -150 és +600°C hőmérséklet-tartományban (stabilitás: $\pm 2^\circ\text{C}$) végezhetünk vizsgálatokat. A hűtéshez szükséges folyékony nitrogén egy 120 literes edényben tárolható.

A kemence (két fűtött zónás, a zóna magassága: 85 mm) használatával 100 – 1400°C (stabilitás: $\pm 1^\circ\text{C}$) tartományban végezhetünk vizsgálatokat. A befogók a kemencén kívül vannak.

Nyúlásmérők: cserélhetők a vizsgálati feladattól függően, mégpedig:

- Axiális-torziós nyúlásmérő (2. ábra): hengeres, 10–30 mm átmérőjű próbatestekre helyezhető, mérőhossza: 25 mm, a legnagyobb tengelyirányú elmozdulás/elfordulás: 2,5 mm / 10° ; Alkalmazható legfeljebb 3 Hz vizsgálati frekvencián és -40 – +150°C hőmérsékleteken.



1. ábra. Anyagvizsgáló rendszer felépítése

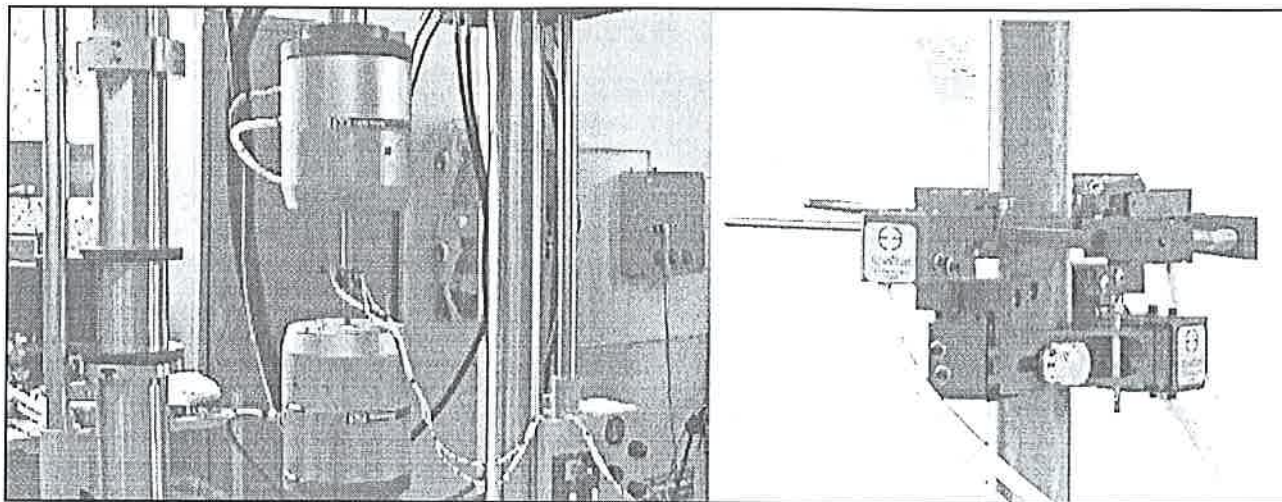
toronyban van a Fast Track 8800 elektronika. Az axiális és a torziós munkahengerhez egy-egy vezérlő panel tartozik (max. 8 db panel helyezhető be). A 32 db mérőcsatornából jelenleg elegendő csak 8 db, amelyek mérik a tengelyirányú erőt, elmozdulást és nyúlást, a csavaró nyomatékot, szögelfordulást és torziós nyúlást. A mérés felbontása 19 bit, ami a 250 kN erőmérő cellánál 1 N felbontást jelent. A digitális I/O csatornák száma: 16, az analóg I/O csatornáké pedig 10 db. Beépített amplitúdó és adaptív kontroll, valamint próbatest védelem (load protection). A vizsgálatokat az MMI és a számítógép vezérli.

*tudományos munkatárs, Bay-Logi, Szerkezetintegritási Osztály

– Nyúlásmérő magas hőmérsékletű (max. 1200°C) vizsgálathoz (3. ábra): mérőhossza 25 mm, legnagyobb tengelyirányú elmozdulása 5 mm, vizsgálati frekvenciája max. 2 Hz.

– Nyúlásmérő nagy alakváltozás méréséhez hengeres vagy lapos próbatesteken, mérőhossza 25 mm, a tengelyirányú elmozdulás-tartománya: -5 – +25 mm, és hőmérséklet-tartománya: -100 – +200°C

– Nyúlásmérő változtatható mérési hosszal hengeres vagy lapos próbatestekhez, mérőhossz-tartománya: 10 – 50 mm, tengelyirányú elmozdulás-tartománya: -5 – +5 mm, a vizsgálati frekvencia legfeljebb 50 Hz, míg a hőmérséklet: -80 – +200°C lehet. A növelt hőmérsékleten, 500°C-



2. ábra

ig használható, vízűtéses változat mérőhossza: 25 vagy 50 mm, tengelyirányú elmozdulás-tartománya: -5 – +5 mm.

– *Szétnyílás mérők* törésmechanikai vizsgálatokhoz és felületi alakváltozás méréséhez. A COD/I mérőhossza: 5 mm, elmozdulás legfeljebb: ± 2 mm, vizsgálati frekvencia max. 50 Hz, vizsgálati hőmérséklet: $\pm 200^\circ\text{C}$. A COD/II mérőhossza: 12 mm, elmozdulás legfeljebb: ± 3 mm, vizsgálati frekvencia max. 50 Hz, vizsgálati hőmérséklet: max. 500°C . (4. ábra).

– *Átmérőmérő* a legfeljebb 15 mm átmérőjű vagy vastagságú próbatestet legfeljebb 2,5 mm átmérő- vagy vastagságváltozásának, keresztirányú alakváltozásának méréséhez a $0 - 175^\circ\text{C}$ hőmérsékleteken legfeljebb 1 Hz vizsgálati frekvencián.

– *Videoextensometer* cserélhető objektívval a 2–25, ill. az 5 – 125 mm széles próbatestek nyúlásának méréséhez a legfeljebb 250, ill. 1000 mm/min sebességű statikus vizsgálatok közben. A klímakamrás vizsgálatokhoz is használható.

Befogók:

– *Hidraulikus, vízűtéses befogó lapos* (max. 18 mm vastag) és hengeres (6 – 20 mm átmérőjű) próbatestek axiális-torziós, környezeti és magas hőmérsékletű vizsgálatához. A szorító erő szabályozható. Terhelhetősége legfeljebb 300 kN/2400 N.m.

– *Befogó, kis terhelésű* (max. 30 kN) *szakítóvizsgálathoz*. Lapos (max. 13 mm vastag) és hengeres (3,2 – 12,5 mm átmérőjű) próbatestek vizsgálatához $-70 - +350^\circ\text{C}$ hőmérséklet-tartományban.

– *CT próbatest-befogó* (4. ábra) a 25 mm vastag CT próbatestek

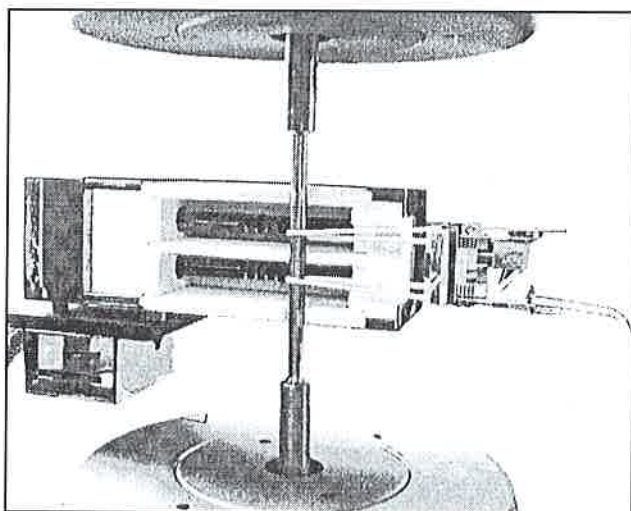
legfeljebb 100 kN terheléssel, $-140 - +177^\circ\text{C}$ hőmérsékleten végzett vizsgálatához.

– *Befogó három és négy pontos hajlításhoz*. Maximális terhelés: 100 kN. Állítható alátámasztás 30 és 250 mm között. Görgőátmérők: 5, 10, 15, 20, 25 mm. Vizsgálati hőmérséklet: $-130 - +350^\circ\text{C}$.

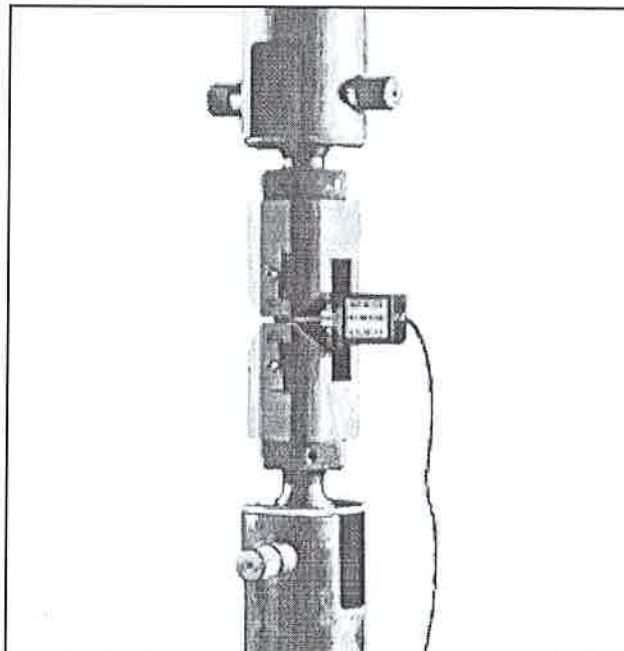
Nyomólap, 150 mm átmérőjű, önbeállós. Maximális terhelés: 500 kN. Maximális nyomófeszültség: 690 MPa. Vizsgálati hőmérséklet: $-130 - +315^\circ\text{C}$.

Vizsgálatvezérlő szoftverek:

- Fast Track 2 (Instron 8800 vezérlő szoftver)
- Törésmechanikai szoftvercsomag (K_{IC} , J_{IC})
- Fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálat (da-dN)
- Kisciklusú fárasztóvizsgálat (LCF)
- Single Axis Max (SAX) – egytengelyű fárasztóvizsgálatok
- Multi Axis Max (MAX) – többtengelyű fárasztóvizsgálatok
- Data Aquisition (DAX) – vizsgálatok közbeni adatgyűjtés
- Random fárasztás
- MERLIN szoftvercsomag (szakító-, nyomó-, hajlító- stb. vizsgálatok)
- LabWiev



3. ábra



4. ábra

A szakítóvizsgálat során elkövethető mérési hibák és kiküszöbölésük

Tóth Péter*

Abstract

Hidden errors of the tensile test and their elimination. There are summarised the hidden errors caused by grip slippage, specimen alignment, load string, slack, data rate and their recognition and elimination proposed by Instron Co.

A szakítóvizsgálatot megtervező vagy végrehajtó kezelő által elkövethető, a mérés eredményét terhelő hibát okozhat a próbatest megcsúszása, vagy helytelen behelyezése a befogóba, a terhelőlánc illesztési hézagai vagy az előfeszítés korrekciójának elmulasztása és az adatgyűjtés frekvenciájának helytelen megválasztása.

A következőkben röviden áttekintjük ezeket a hibákat, bekövetkezésük felismerhető következményeit, illetve a hibák kiküszöbölésére az Instron vizsgáló-berendezéseit fejlesztők megoldásait.

A próbatest megcsúszása a befogóban azért következik be, mert a terhelő erővel szemben a befogópofák nem tudják rögzített helyzetben tartani azt.

A megcsúszás ténye felismerhető:

- a szakítódigramon az erő–alakváltozás normális menetétől eltérő, az erőnek a növekvő alakváltozás ellenére viszonylag csekély, de szaporán ingadozásából (1. ábra);

- a befogópofa fogazata mintázatának a próbatest fejen szakítás után megfigyelhető, csúszás okozta torzulásaiból (2. ábra); vagy

- a vizsgálat kezdete előtt a befogófej alatta a próbatestre jelölőttel húzott vonalak szakítás közbeni elmozdulásaiból.

Megelőzhetjük a próbatest megcsúszását:

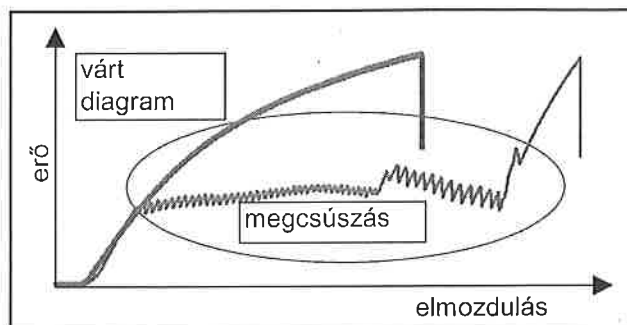
- ha a vizsgálati feladatra előírt vagy alkalmas próbatesthez, a várt erőhatásokat figyelembe véve, a megfelelő befogót használjuk, mégpedig úgy, hogy a befogópofák szorító felületeinek legalább 75%-a működhessen (ezért, egyes típusoknál, a befogópofák 90°-kal elforgathatók, ha szükséges). Az Instron vaskos katalógusából (az Instron Accessory Catalogue-ból) kiválasztható a megfelelő: menetes, ékes, elasztomer-bevonatú, pneumatikus, hidraulikus, bilincses és még számos kivételű befogó.

- ha növeljük a helyesen megválasztott (pl. pneumatikus, hidraulikus) befogó szorító erejét ügyelve arra, hogy ez ne vezessen a próbatest fejen szakadásához;

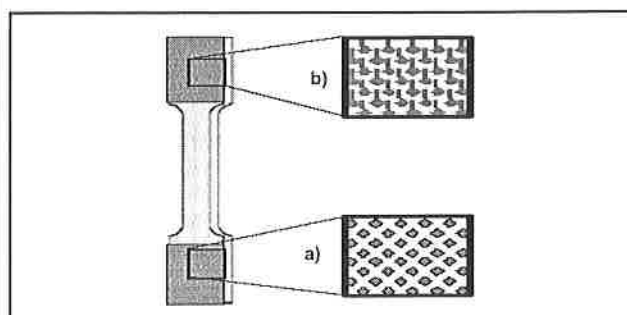
- ha növeljük a befogott felületen a súrlódást, mégpedig a befogási felület növelésével, a befogópofa szorító felületének különböző mintázatával, vagy gumirozásával, esetleg súrlódást növelő anyag (pl. csiszolóvászon) közbeiktatásával; illetve minden vizsgálat előtt ellenőrizzük, hogy nem tömődött-e el a szorítófelület fogazata (ha szükséges, tisztítsuk meg), vagy nem kopott-e a fogazat (ha szükséges, cseréljük ki a pofákat).

- ha előzetesen – tapasztalat hiányában tanácsot kérünk, és/vagy – próbaszakításokkal ellenőrizzük a vizsgálati feladathoz választott befogást.

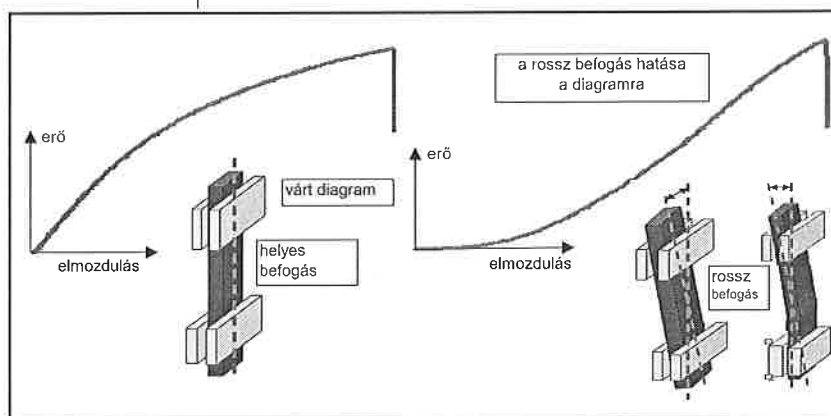
A próbatest nem egytengelyű a befogáskor, ha görbe, vagy ha ferdén fogják be. A hiba következménye a szakítódigram kezdetben meredek, kvázi rugalmas menetétől eltérő megjelenésével szembeütköző (3. ábra). Rideg anyagok vizsgálata esetén ez a hiba fejben szakadást eredményezhet. Lapos próbatestek esetén ez a hiba a próbatestet előkészítő, illetve a gépet kezelő személy hibája. És bár a befogók egytengelyűsége gyárilag biztosított, az ilyen hiba elkerülése érdekében az Instron, a felső befogóba helyezhető, önbeállító közbetét (4. ábra), illetve a próbatest központosítását biztosító ékpályás szorítású, vagy



1. ábra. A megcsúszás jelei a szakítódigramon



2. ábra. A befogópofa fogazatának lenyomata a próbatest fejen: a) nincs csúszás, ép mintázat; b) csúszáskor



3. ábra. A próbatest befogásának a hatása a szakítódigramra



4. ábra. Az Instron önbeállító közbetétje

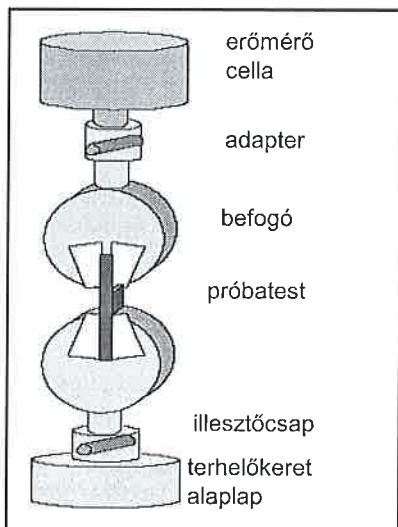
*Testor Kft.

pneumatikus befogó alkalmazását javasolja. A csavarmentes szorítású befogó használatok pedig a csavarok szimmetrikus meghúzására kell törekednünk.

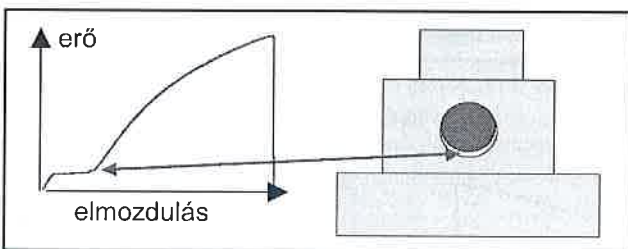
A terhelőlánc okozta mérési hiba akkor lép fel, ha annak egymáshoz kapcsolódó elemei (erőmérő cella, közbetétek, befogók, csapok, alaplap – lásd az 5. ábrán) között az illesztési hézag nincs kiegyenlítve, vagy elszennyeződött.

A hiba felismerhető a szakítódiagramon, mivel amíg az illesztési hézag el nem tűnik, addig az alakváltozás gyakorlatilag a terhelés növekedése nélkül megy végbe, azaz a görbe közel vízszintes szakasszal indul. Ezt szemlélteti a 6. ábra.

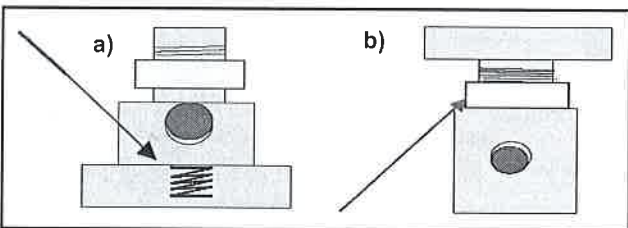
A hiba megelőzhető, azaz az illesztési hézag kiegyenlíthető: húzóterhelés esetén a terhelőláncba, az alaplapba beépített rugóval, vagy a befogóra szerelt ellenanyával. Az Instron ez utóbbit alkalmazza, mivel ezzel húzáskor és nyomáskor is kiegyenlíthető a terhelőlánc eredő illesztési hézaga (7. ábra).



5. ábra. A terhelőlánc elemei



6. ábra. A terhelőlánc illesztési hézagjának a hatása a szakítódiagramra

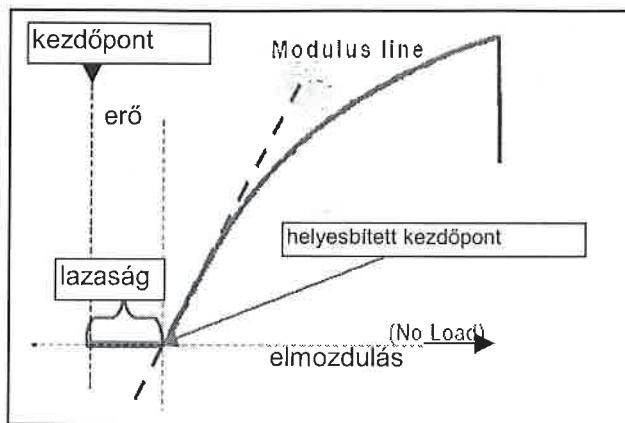


7. ábra. A terhelőlánc illesztési hézaga kiegyenlítésének technikája:
a) húzáskor: rugó, vagy ellenanya a befogón;
b) nyomáskor: ellenanya a befogón

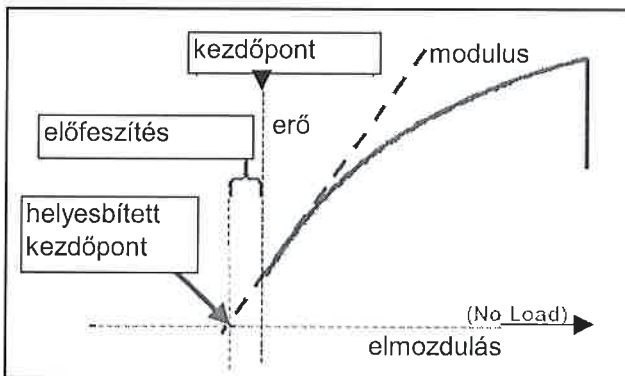
A befogott próbatest lazasága elsősorban vékony fém- vagy műanyag fóliák vagy textíliák és hasonló anyagok vizsgálatakor okozhat, a szakítódiagramon a 6. ábrához hasonló hibát.

A lazaság okozta hiba helyesbítendő számítással. Ennek lényege, hogy a próbatest tényleges terhelésének megfelelő diagramponttól értelmezzük a keresztíj mozgásának kezdetét. Ezt a pontot a rugalmassági modulus egyenese metszi ki az alakváltozás (x) tengelyen. A helyesbítést előterhelés nélkül végzett szakítóvizsgálat esetén a 8. ábra, míg az előválasztás szerinti előterheléssel végzett vizsgálatra a 9. ábra szemlélteti. Az Instron gépeknél ezt a helyesbítést – előzetes parancsra – az értékelő szoftver automatikusan elvégzi.

Az adatgyűjtés frekvenciája akkor okozhat hibát, ha a vizsgálat sebessége miatt az erő-alakváltozás diagram leírásához az előválasztott adatgyűjtési frekvencia nem szolgáltat elegendő, összetartozó adat-

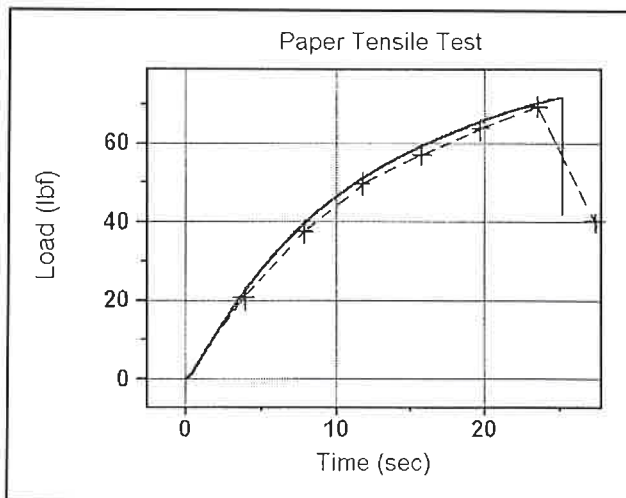


8. ábra. A lazaság okozta hiba kiegyenlítése az előterhelés nélküli esetben



9. ábra. A lazaság okozta hiba kiegyenlítése előterhelés alkalmazásakor párt, illetve ha a hardver nem tudja a szükséges sebességgel mérni az adatokat.

A hiba bekövetkezése felismerhető, mivel ilyenkor – a helyes adatgyűjtési frekvenciához viszonyítva – az erő-alakváltozás diagram nem folytonos (egyenes szakaszokból összetett), az értékeléshez szükséges csúcsok nem ismerhetők fel, illetve a rugalmassági modulus sem határozható meg egyértelműen. Erre mutat példát a 10. ábra, amelyen a papír szakítódiagramja látható.



10. ábra. Az adatgyűjtés frekvenciájának hatása a papír szakítódiagramjára.
— 50 Hz, illetve ---- 0,3 Hz frekvencia

Az Instron vizsgáló-berendezéseknél ez a hiba nem fordulhat elő, mert hardver és szoftver oldalon egyaránt biztosítják a gépekkel végezhető vizsgálatoknak megfelelő adatgyűjtési frekvenciát.

Összehasonlító mérések Defectophone és Sensophone akusztikus emissziós mérőkészülékkel

Szűcs Pál*– Kenyeres Dénes*– Nagy Zsolt*

A nyolcvanas évek elejétől hazánkban rendszeresen folynak nyomástartó edényeken (gömbtartályokon, kazánodobokon, vegyipari nyomástartó edényeken, atomerőműi reaktortartályon, ...) akusztikus emissziós vizsgálatok. Sokáig egyeduralgódó készüléktípus volt hazánkban a KFKI által gyártott Defectophone, de az elmúlt időszakban egymás után jelentek meg más módon szervezett műszerek: az ugyan-csak hazai gyártású Sensophone mellett a német Vallen és az amerikai-francia P.A.C. gyártmányai. Elkerülhetetlen, hogy előbb-utóbb egyazon nyomástartó edényen különböző típusú akusztikus emissziós műszerekkel végzett vizsgálatok eredményeit kelljen összevetni, belőlük az edényekben beállott változásokra vonatkozó következtetéseket levonni. Ezt korrekciót és felelősséggel csak akkor tudjuk majd elvégezni, ha kellő számú modellkísérlettel és edényeken párhuzamosan elvégzett méréssel rendelkezünk.

Az akusztikus emissziós mérőkészülékek alapításai

A Defectophone NEZ-220 készülék

A Defectophone mérőkészülék (1. ábra) különböző változataiból hazánkban mintegy 20 készülék van forgalomban. A műszer 4–16 akusztikus emissziós és 1–16 analóg (technológiai paraméter) csatorna kezelésére alkalmas, és a kiértékelő szoftver képes két műszer egyidejű kiszolgálására is. A vizsgálandó edényre feltelepített akusztikus emissziós érzékelők a mérés megkezdése előtt legfeljebb négy érzékelő csoportba (array) oszthatók, ezek geometriája lehet eltérő, de érzékelő száma azonos kell hogy legyen (4x4, vagy 4x3, vagy 4x2 érzékelőből álló array-ek). A készülék az elsőként akusztikus emissziós aktivitást észlelő, azaz elsőként megszólaló csatornán megméri a beütés bekövetkezési idejét (Elapse Time), csúcsamplitúdóját (Amplitude), felfutási idejét (Rise Time), hosszát (Width vagy Duration) és az oszcilláció számát (counts), valamint a csatorna „zaját” (Average). További legfeljebb három csatornán (amelyek az elsőként megszólaló csatornával azonos csoportba tartoznak) a beütés észlelésétől számított késleltetési idő (Delay Time)



1. ábra. Defectophone NEZ-220 típusú mérőkészülék négy csatornás kiépítésben

kerül megmérésre. Ha az előre beprogramozandó maximális késleltetési idő elteltéig nem szólaltatja meg a beütés a csoport valamennyi érzékelőjét, a műszer befejezettnek tekinti adott beütés mérését, és a visszhangok kiszűrését szolgáló holtidő (Dead Time) eltelte után ismét valamennyi csatornáját készenléti állapotba helyezi: valahol bekövetkezhet egy újabb beütés.

A küszöbszint (Threshold), a maximális késleltetési idő és holtidő megválasztásával a mérést végző aktívan befolyásolja az időegység alatt észlelhető beütések (hit) számát. Ha egy érzékelő csoportban (array) legalább három érzékelő megfogta a beütést (hit) és az így megmért késleltetési idő kielégíti a lokalizáló algoritmust, a műszer eseményként (event) regisztrálja a történetet.

A Sensophone AED-40 készülék

A Sensophone mérőkészülék (2. ábra) jelenleg öt helyen alkalmazták hazánkban. A műszer 4–32 akusztikus emissziós és 1–16 analóg (technológiai paraméter) csatorna kezelésére alkalmas. Az előzőleg ismertetett műszerrel ellentétben itt nem kell előre összerendelni az érzékelőket csoportokba. Ez akár utólag, az értékelés során is megváltoztatható, sőt egy mérésen belül meg is változtatható.



2. ábra. Sensophone AED-40 típusú mérőkészülék 12 csatornás kiépítésben

Minden egyes bekapcsolt akusztikus emissziós csatorna az észlelt beütések valamennyi paraméterét megméri. Tehát csatornánként megmérésre kerül a beütés (hit) bekövetkezési ideje (Elapse Time), a jel felfutási ideje (Rise Time), a jel szélessége (Hit Duration), az oszcilláció szám (Counts), a csúcsamplitúdó (Peak Amplitude) és az átlagos „zajszint” (Average Level).

A küszöbszint (Threshold) megválasztásával aktívan befolyásolhatjuk a regisztrált beütések számát. Hogy az érzékelők által felügyelt térben, egy időintervallumban egyszerre jelenlévő beütések közül miként választódnak ki az egy forráshoz tartozó jelek, azaz a beütések közül miként lesznek események, azt a szoftver védett részében lévő paraméterekkel lehetne befolyásolni, de ezen paraméterek „elbárárlását” a gyártó nem javasolja a felhasználónak.

Már az elmondottakból is látható, hogy, még ha azonos típusú akusztikus emissziós érzékelőket (sávszélesség, rezonancia frekvencia, érzékenység) is használunk, és a műszereket azonosra állítjuk be, akkor is eltérést fogunk tapasztalni az aktivitásban, az egységnyi vizsgálati idő

*R.U.M. Testing Kft. e-mail címünk: rumtesting@rumtesting.axelero.net

KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK

alatt észlelt beütések számában, vagy az egységnyi nyomásváltozás során bekövetkezett beütések számában. Tehát ha össze akarjuk hasonlítani a két különböző módon szervezett műszer mérési eredményeit, kellő számú összehasonlító mérés birtokában kell lennünk!

Fűtetlen nyomástartó edényeken végzett vizsgálatok

A R.U.M. Testing Kft. rendelkezik Sensophone és Defektophone típusú akusztikus emissziós mérőműszerrel. Az eltérő felépítésű mérőrendszerekkel végzett vizsgálatok összehasonlíthatósága érdekében eddig tizenegy fűtetlen nyomástartó edényen végeztünk a hatósági szilárdsági nyomáspróbaához kapcsolódó akusztikus emissziós integritás vizsgálatot, oly módon, hogy legalább az egyik érzékelő csoportot megdupláztuk, azaz a Sensophone által kezelt akusztikus emissziós érzékelők mellett ott voltak a Defektophone érzékelői is (3. ábra).



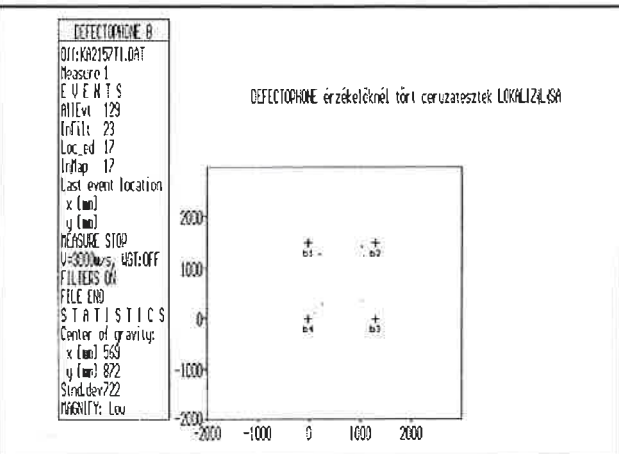
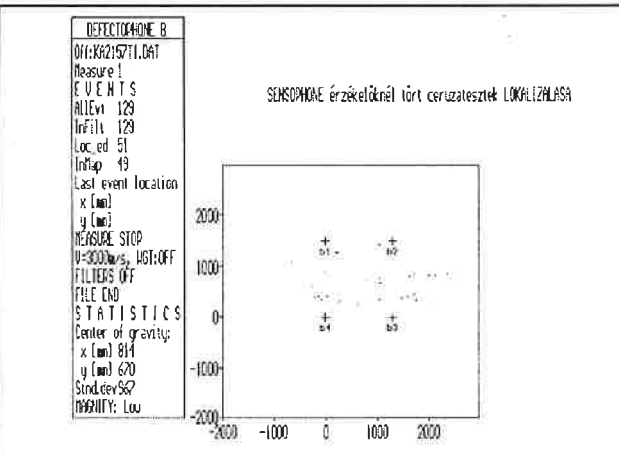
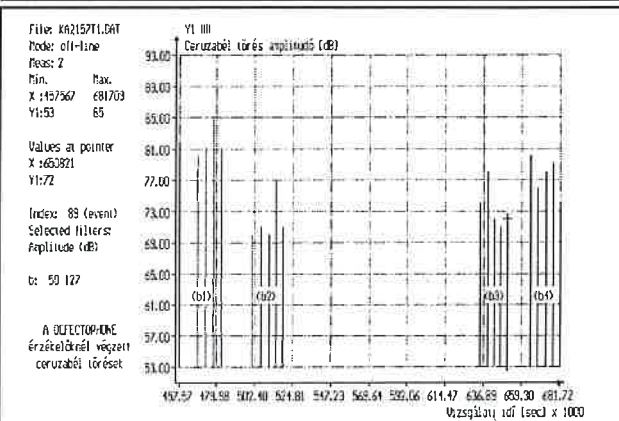
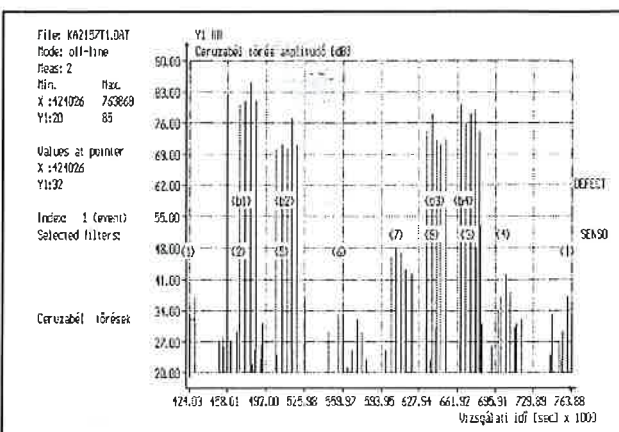
3. ábra. A két akusztikus emissziós mérőműszer egymás mellé telepített érzékelője

A 7,4 m³-es, Ø 1400x12-4500 mm méretű, KL2DN acéltartály vizsgálata

A lecsupaszított fekvő hengeres acéltartályt 14,3 bar próbanyomáson vizsgáltuk. A tartály hengeres részének közepén – ahol gyakorlatilag minden zavaró effektustól mentes hengeres palást található – megdupláztuk az érzékelőket (4. ábra). Jelen előadásban a kalibráló mérésről alkalmazott ceruzateszt eredményét ismertetjük. A teljes nyomáspróba elsősorban az ilyen műszereket alkalmazó kollégák számára hasznos és érthető.



4. ábra. Érzékelők a 7,4 m³-es ammónia edényen

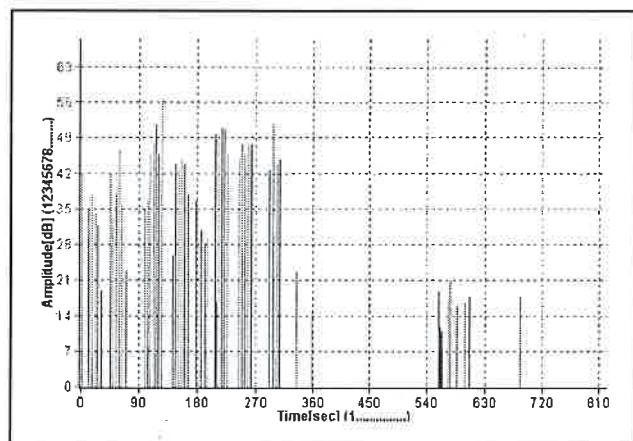


5. – 8. ábrák Ceruzateszt amplitúdói, illetve lokalizációi a Defektophone érzékelővel mérve

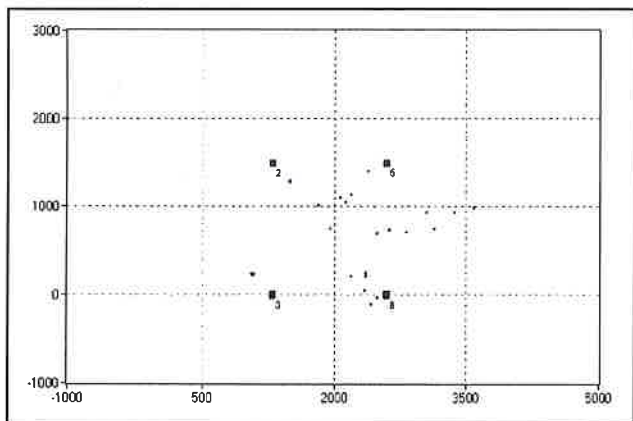
A telepített 8 érzékelő (a belső négy lett megduplázva) tövében végzett ceruzatesztek (3 mm hosszú, $\varnothing$ 0,5 mm-es, 2H keménységű grafitrud elpattintása) a távolság függvényében más-más amplitúdóval jelentkeztek a b1...b4 jelű Defektophone érzékelőkön (5-6. ábrák). A csak saját érzékelők tövében tört jeleket a program pontosan lokalizálta (8. ábra). Az összes jelből a négy saját érzékelő által közrezárt területen kívülről érkezőket a lokalizáló program a szimmetria tengely mentén helyezte el (7. ábra).

A Sensophone hasonló diagramjai az előzőekkel azonos eredményt mutatnak (9-11. ábrák).

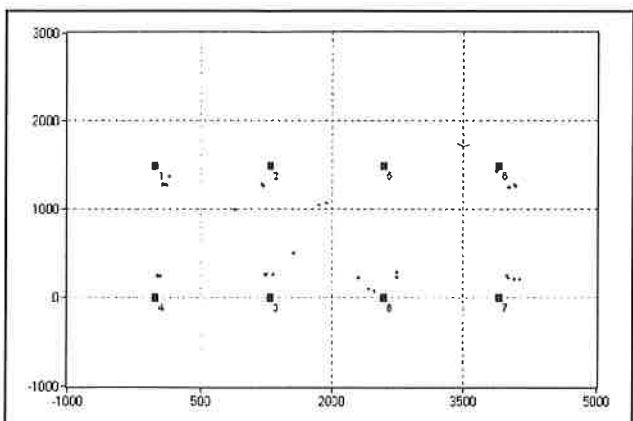
Ha nem az események (event) lokalizációját hasonlítjuk össze, hanem a beütések (hit) amplitúdó/energia eloszlását (12-13. ábrák), akkor korántsem ilyen jó az egyezés:



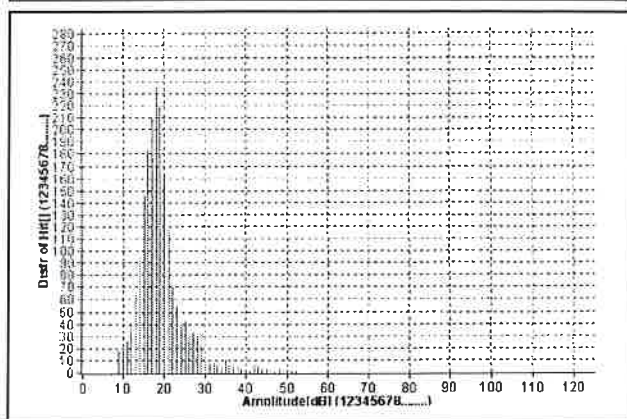
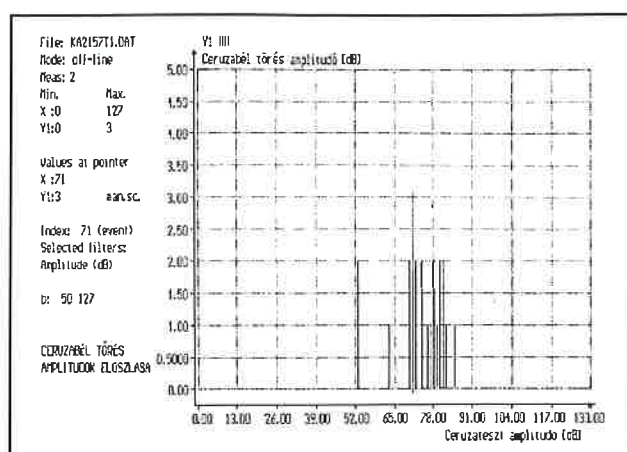
9. ábra. Ceruzatesztek amplitúdói a Sensophone érzékelőkkel mérve



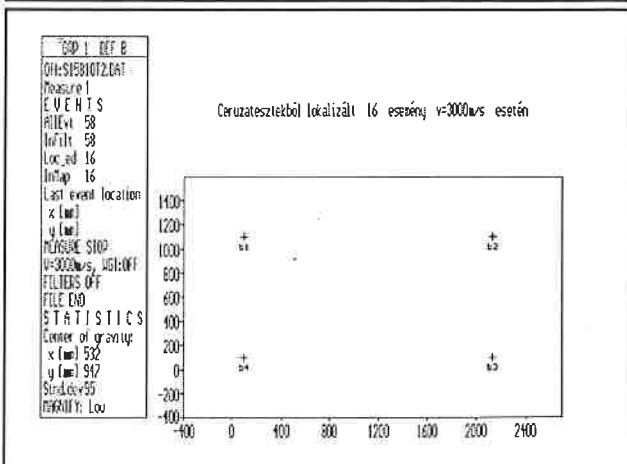
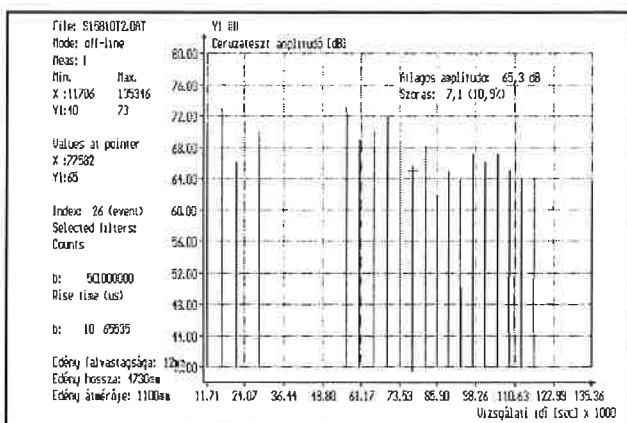
10. ábra. A duplázott, 2-5-8-3 jelű érzékelők tövében végzett ceruzatesztek lokalizációja



11. ábra. Az 1...8 érzékelők tövében végzett ceruzatesztek lokalizációja a középső (duplázott) érzékelő csoporttal



12. - 13. ábrák

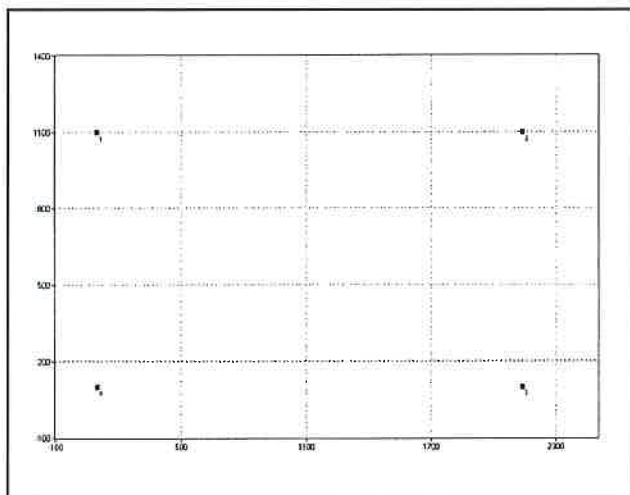
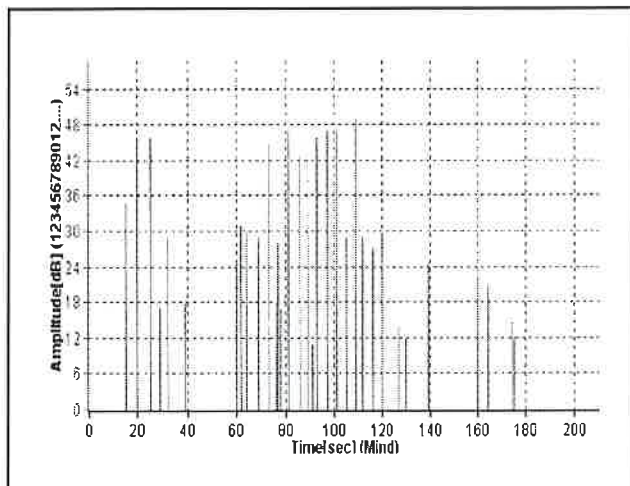


14. - 15. ábrák

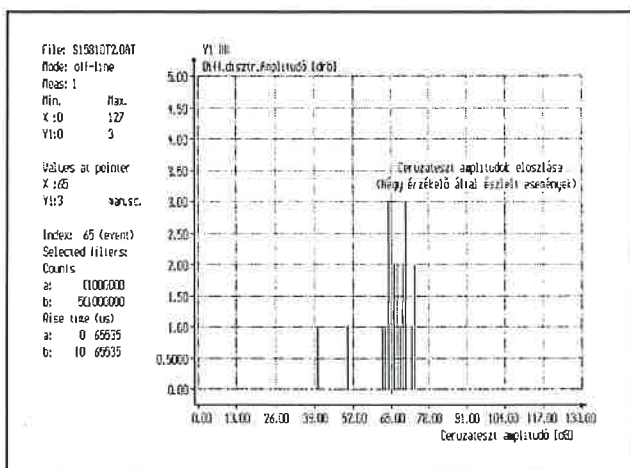
A 4,8 m³-es, Ø1100x12-4730 mm méretű, KL2DN tartály vizsgálata

A szigetelt, fekvő hengeres tartályra szerelt 12 érzékelőből az első négyet dupláztuk meg. A szilárdsági nyomáspróba befejeztével az 1. jelű érzékelővel ceruzateszteket végeztünk (14. ábra), amelyeket a lokalizáló program egy csoportba, az érzékelő mellé helyezett el (15. ábra).

A Sensophone hasonlóan értelmezte és ábrázolta a teszt eseményeit (16-17. ábrák).

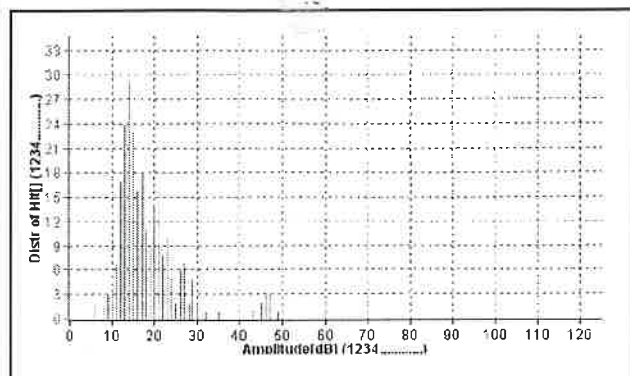


16. – 17. ábrák



18. ábra. A ceruzateszt amplitúdó eloszlása: átlagos amplitúdó 65,3 dB, szórás 7,1 dB

A beütések (hit) darabszámával és energiájával most is gond volt (18. és 19. ábra).



19. ábra. A ceruzateszt amplitúdó eloszlása a SENSOPHONE műszerrel mérve

Tapasztalatok, javaslatok

A különböző felépítésű műszerekkel végzett akusztikus emissziós integritás vizsgálatok összevetése érdekében a vizsgálatot végzőknek összehangolt lépéseket kell tenniük. Elég, ha az MSZ EN 13445-5:2002 szabvány E (informatív) mellékletére utalunk!

Az akusztikus emisszióknak érvényes szabványi vannak, amelyeket a vizsgálat tervezésénél és végrehajtásánál valamint a jegyzőkönyvek formai és tartalmi elemeinél alkalmazni kell. Ezek a következő szabványok:

- MSZ EN 473:2001; A roncsolásmentes vizsgálatokat végző személyzetről
- MSZ EN 1330-9; Non-destructive testing. Terminology. Part 9: terms used in A.E. testing
- MSZ EN 13554; Non-destructive testing. Acoustic Emission. General principles
- MSZ EN 13477-1,2; Non-destructive testing. Acoustic Emission. Equipment characterisation. Part 1: equipment description. Part 2: verification of operating characteristics
- CEN/WI 00138076; Non destructive testing. Acoustic Emission. Acoustic emission during Proof testing
- MSZ EN 13445-5 „E” melléklete

Az akusztikus emissziós vizsgálatok értékelésénél egyrészt az a.e. tevékenység aktivitását és intenzitását, másrészt a lokalizációs eljárás során meghatározott forráshelyek halmozódását elemezzük. Amint azt láthattuk, a kétféle műszernél a beütések (hit) száma szükségszerűen eltér egymástól, más felől, ha a referencia feszültségeket nem határozzuk meg egyértelműen, akkor az intenzitás értékek sem lesznek összehasonlíthatók.

Mi a teendő?

A szabványokat (és saját felszerelésünket!) ismerni és alkalmazni kell. A különböző műszereket alkalmazó vizsgáló laboratóriumoknak összehasonlítható méréseket kell szervezniük. Ebben természetesen számíthatnak a NAT segítségére (körvizsgálatok), esetleg a szakmai szervezetek (GTE, Marovisz) támogatására, de az érintett laboratóriumok aktivitását és kezdeményező készségét senki és semmi sem fogja pótolni.

Hivatkozások

- [1] Szűcs Pál: Az akusztikus emisszió története. Anyagvizsgálók Lapja 3.(1993.) 4. 132-133. oldal.
- [2] Nondestructive Testing Handbook, Vol. 5.: Acoustic Emission Testing (Eds: Miller, R.K. and Intire, P. Mc, American Society for Nondestructive Testing (1987.)

Komplex mérőrendszer és alkalmazási lehetősége szálerősítésű kompozitok vizsgálatára

Rácz Zsolt – Simon Zoltán László – Vas László Mihály*

Bevezetés

A közismerten inhomogén és anizotrop mechanikai tulajdonságokkal rendelkező szálerősített anyagok meghibásodási mechanizmusának mind részletesebb leírása, pontosabb modellezése, valamint a szilárdsági jellemzők előrejelzése már évtizedek óta kutatások tárgya. Számos mérési és kiértékelési eljárást dolgoztak ki [1, 2] annak érdekében, hogy a tönkremeneteli folyamatot, a mechanikai tulajdonságokat leíró modellekhez valóságos adatokat szolgáltasson.

A BME Polimertechnika Tanszéken folyó OTKA kutatás célja egy olyan, a szálfolyam és kompozitköteg elméletekre, valamint képfeldolgozással és akusztikus emissziós megfigyeléssel is segített kísérleti vizsgálatokra alapozott vizsgálati és modellezési módszer kidolgozása, amely alkalmas az impregnált szén-száloving próbatestek geometriai-szerkezeti és hajlítószilárdsági tulajdonságainak, tönkremeneteli folyamatának becslésére és statisztikai jellemzésére. E kutatás keretében kifejlesztettünk egy olyan mérőrendszert, amellyel tanulmányozható, elemezhető és modellezhető a karbonszál-as kompozit próbatestek statisztikus viselkedése, tönkremeneteli folyamata.

Cikkünkben bemutatjuk a polimer kompozitok tönkremeneteli folyamatának újszerű, több szempontú elemzésére alkalmas mérőrendszert, illetve az általunk kidolgozott mérési és értékelési eljárást és az ezzel végzett vizsgálatainkat, amelyeknek eredményei igazolták a mérőrendszer alkalmazhatóságát.

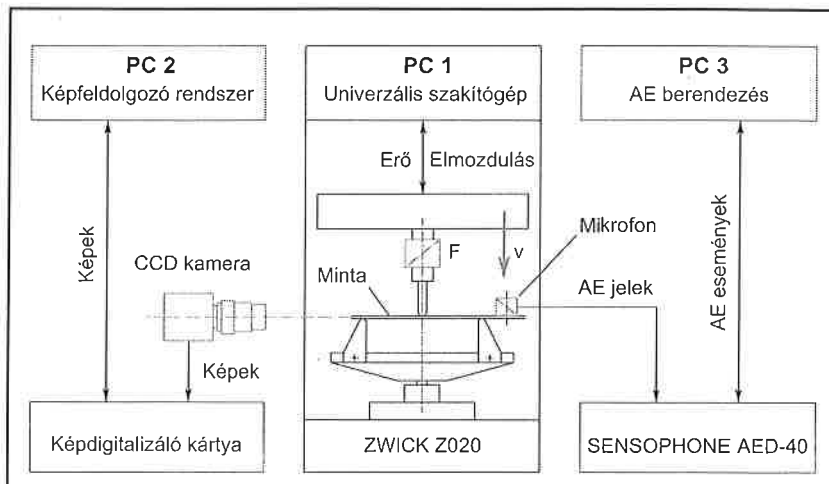
A mérőrendszer

Az általunk összeállított mérőrendszer egy számítógép vezérlésű Zwick Z20 típusú univerzális szakítógépet, egy CCD videokamerás képfeldolgozó rendszert, valamint egy Sensophone AED40/4 típusú akusztikus emissziós berendezést tartalmaz. A mérőrendszer blokkvázlatát az 1. ábra szemlélteti. A mérőrendszer az alapvető mechanikai vizsgálatok elvégzése és az eredmények bemutatása (erő–elmozdulás diagram) valamint archiválása mellett, a folyamat során, beállítható időközönként, felvett készíti a deformálódott próbatestről és eltárolja a képeket, valamint nyomon követi az anyag mechanikai igénybevétel hatására bekövetkező akusztikus aktivitását.

A mérőrendszer alapját képező Zwick Z20/TN2S típusú univerzális szakítógép, amelynek vezérléséről a testXpert® kiértékelő szoftver gondoskodik, a megfelelő szabványos befogók alkalmazásával széles sebességtartományban ($v = 0,01 \dots 750$ mm/min) képes az alapvető húzó-, nyomó-, hajlító- és nyíróvizsgálatok elvégzésére. A szakítógép 20 kN mérőhatárú.

A valós idejű (real-time) megfigyeléshez használt CCD kamera és képfeldolgozó rendszer (MORF99) segítségével felvett képek elemzése alapján – az alkalmazott nagyítástól, megvilágítástól függően – jól tanulmányozható a teljes tönkremeneteli folyamat, mint pl.: a szálak szakadása, a mátrix repedése és az erősítőanyag rétegek közti hasadás (delamináció).

A képfeldolgozó rendszer egy 600-800 képpont felbontású Philips monokróm CCD mobil kamerából, egy valós idejű monitorból (a vizsgált objektumról készített kép megjelenítésére szolgál), valamint egy képfel-



1. ábra A mérőrendszer blokkvázlata

dolgozó szoftverrel és hardverrel felszerelt számítógépből áll össze. A KFKI Anyagtudományi Intézet által kifejlesztett képdigitalizáló kártya és szoftver képes a vizsgálatok közben beállított számú és ütemezésű képminta-vételezésre, a képek folyamatos eltárolására, illetve a felvett képek utólagos, képtranszformációs műveleteken alapuló kiértékelésére [3].

Az akusztikus emisszió (AE) a szilárd testben felhalmozódott energia felszabadulásakor keletkező nyomáshullám. A mérés elve: az akusztikus forrásból kiinduló, hullámszerűen terjedő anyagmozgást a piezokristály érzékeli és a villamos jeleket a mérőrendszer átalakítja, felerősíti, demodulálja, feldolgozza, és a kapott jellemzőket tárolja, illetve értékeli. Az AE méréseink alapvető célja az volt, hogy tanulmányozzuk, illetve nyomon kövessük a kompozit terhelés hatására meginduló károsodását, a repedésterjedés során lejátszódó különböző tönkremeneteli folyamatokat [4]. A vizsgálat során regisztrált fizikai mennyiségekből (frekvencia, amplitúdó, energia stb.) meglehetősen nagy biztonsággal megállapítható, hogy mikor milyen károsodási folyamat játszódik le az anyagban [5].

Mérési körülmények

Közismert, hogy a hajlítóvizsgálat egy különösen sokoldalú módszer a kompozit anyagok tönkremenetelének teszteléséhez, mivel a húzó, nyomó és nyíró igénybevételek egyszerre jelentkeznek a vizsgálat során. Egy irányba rendezett (unidirekcionális – UD) karbonszál erősítésű epoxi mátrixú kompozit próbatest hárompontos hajlítóvizsgálata során bekövetkező különböző károsodási folyamatok megfigyelésén keresztül tártuk fel az általunk összeépített mérőrendszer alkalmazási lehetőségeit. A hajlítóvizsgálatokat az ASTM D790 szabvány előírásait szem előtt tartva hajtottuk végre. A hajlító készülék geometriai méretei: alkalmazott támaszköz $L = 40$ mm ($L/h = 10$, ahol h a próbatest vastagsága), az alsó támaszok lekerekítési sugara $R_2 = 2$ mm, a nyomófej lekerekítési sugara $R_1 = 5$ mm. A méréseket $v = 1$ mm/min sebességgel, $T = 23^\circ\text{C}$ -on végeztük. A hajlítóvizsgálatok közben, az univerzális mechanikai anyavizsgáló berendezés testXpert® szoftverjének segítségével folyamatosan regisztráltuk az összetartozó elmozdulás [mm] és nyomóerő [N] értékpárokat (hajlító karakterisztika).

Egyidejűleg a képfeldolgozó rendszer segítségével felvételsorozatot készítettünk a próbatest nyomófej alatti részéről, a tönkremenetel várható helyéről. Az előre beállított időközönként (1 kép/s) felvett képkockákat és a hozzájuk tartozó erő–elmozdulás értékpárokat ez után összerendeltük.

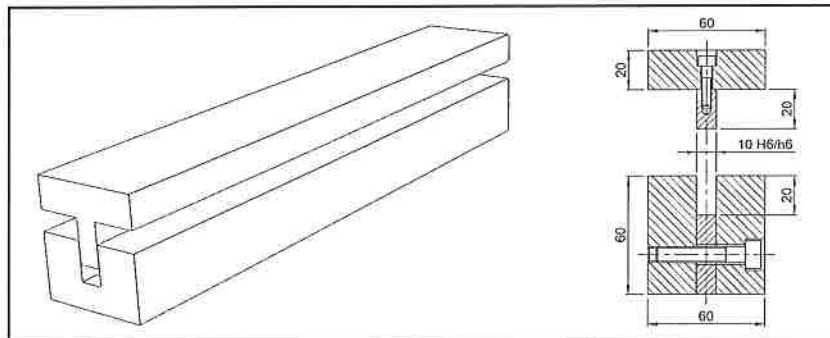
*Szerzők a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék munkatársai; 1111. Budapest, Műegyetem rkp. 9.

A hajlító igénybevétellel terhelt anyag által kibocsátott hanghullámokat (feszültség-hullámok) a vizsgált anyagra erősített mikrofonnal fogtuk fel. A detektáláshoz használt A-11 típusú piezoelektromos érzékelő és a próbatest közötti zavarmentes kapcsolatot csatlóanyag (méhviasz) biztosította. Méréseinket Sensophone AED-40/4 típusú készülékkel végeztük.

A próbatestek előállítás

A hajlítóvizsgálatainkhoz szükséges négyzetű keresztmetszetű UD-kompozit próbatesteket epoxi gyantával (Araldite LY556, Aradur 2954 hárter; 100:30) átitatott (impregnált) szénszál rovingok (Zoltek – Panex 35) felhasználásával készítettük el.

Az UD mintákat egy korábbi kutatás keretében kidolgozott, állandó próbatest minőséget (geometriai méretek, száltartalom stb.) biztosító gyártástechnológia alkalmazásával készítettük el [6]. A nyíltvégű sajtoló szerszámban (2. ábra) legyártott kompozit próbatestek geometriai és fizikai jellemzőit az 1. táblázatban foglaltuk össze.



2. ábra. A nyílt végű sajtoló szerszám vázlata

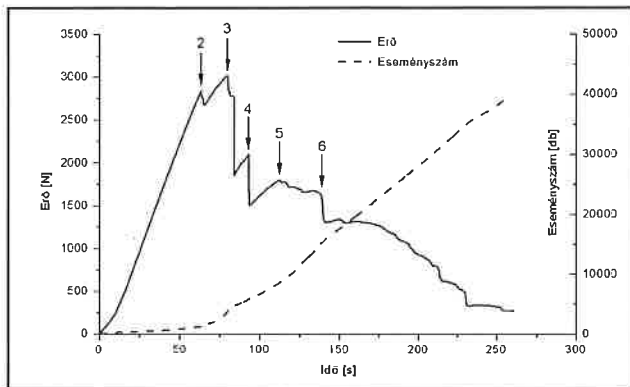
1. táblázat Az UD kompozit jellemzői

A próbatest vastagsága, h [mm]	4 ± 0.05
A próbatest szélessége, b [mm]	10 ± 0.1
A kompozit sűrűsége, ρ [g/cm³]	1.53
Térfogatra vonatkoztatott száltartalom, φ [%]	63.5 ± 1

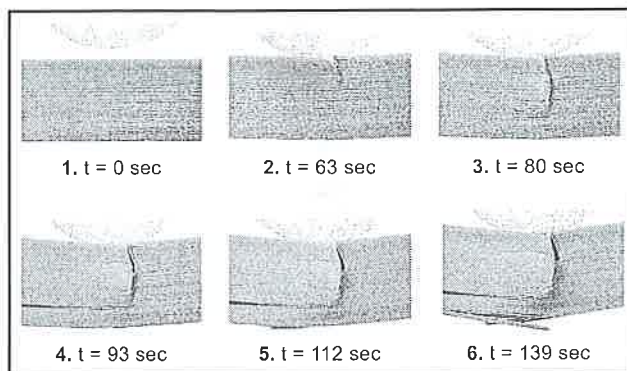
Mérési eredmények kiértékelése

A rendszer működését a hárompontos hajlítóvizsgálat során regisztrált erő–elmozdulás diagrammal, a folyamatos akusztikus megfigyelés eredményeivel, valamint a mérés során felvett néhány képpel szemléltetjük (3. és 4. ábra). A 3. ábra az egyik mérés során regisztrált erő – idő – AE eseményszám diagramot mutatja. A diagramon számozás jelöli a CCD kamerás felvételekkel azonosított tönkremeneteli állapotokat (2...6).

A 4. ábra képei a törési folyamat különböző fázisait szemléltetik a kiinduló terheletlen állapottól (1) a teljes tönkremenetelig (6). Jól látható, hogy a károsodási folyamat a próbatest nyomott oldalán, közvetlenül a



3. ábra. Az UD minta erő – idő – eseményszám görbéi (h = 4 mm, L/h = 10)



4. ábra. A hárompontos hajlítóvizsgálat során felvett képek

terhelőfeje alatt indul meg (2). Ezen időpontig az anyag akusztikus aktivitása elhanyagolható, maradó károsodás nem lép fel.

A terhelés további növekedésének hatására a kialakult repedés tovaterjed (3), majd bekövetkezik az első rétegelválás (4). A folyamat jelentős mennyiségű akusztikus esemény lezajlásával párosul. A jelenséget az eseményszám görbe meredekségének növekedése szemlélteti.

A húzott oldali tönkremenetel jól láthatóan csak ez után következik be, a szélső szálkötegek szakadásának megkezdődésével (5). A teljes tönkremenetelt (6) rétegelválás (delamináció) és szálszakadás együtt váltja ki. Ebben a tartományban a repedések terjedése, és szakadások bekövetkezése nyomán felszabaduló energia (eseményszám növekedési sebessége) már állandósul.

Összefoglalás

Az OTKA kutatás keretében előállított unidirekcionális kompozit minták hajlító igénybevétel hatására bekövetkező törési folyamatát vizsgáltuk. A hárompontos hajlítás során bekövetkező tönkremeneteli formák (nyomott oldali kihajlás, delamináció, szálszakadás) a többszempontú megfigyelésnek – optikai, mechanikai és fizikai – köszönhetően jól azonosíthatók. A mérőrendszer által szolgáltatott eredmények a kutatás céljait kitűzött statisztikus modellezés kiindulópontját képezik [7].

Összefoglalva megállapítható, hogy az összeállított, a számítógéppel vezérelt szaktitógépre alapozott, CCD kamerás és AE mérőrendszer és mérési eljárás alkalmas az egy irányba rendezett (unidirekcionális) karbonszállal erősített kompozitok törési folyamatának vizsgálatára és elemzésére.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben közölt eredmények az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA T038220) támogatásával születtek.

Irodalom

- [1] Wisnom, M.R.: The effect of specimen size on the bending strength of unidirectional carbon fiber-epoxy. *Composite Structures* 18 (1991) 47-63
- [2] Marom, G. and Rosensaft, M.: Evaluation of bending test methods for composite materials. *Journal of Composite Technology Research* 7 1 (1986) 12
- [3] Vas L. M., Halász G., Nagy P., Eördögh I., Juhász Gy., Szász K.: Textilapok deformációjának vizsgálata számítógépes képfeldolgozó rendszer segítségével. *Anyagvizsgálók Lapja* 6 4 (1996) 111
- [4] Czigány T.: Az akusztikus emisszió szerepe a műanyag kompozitok törés-mechanikai vizsgálatánál. *Anyagvizsgálók Lapja* 8 1 (1998) 13
- [5] Czigány, T., Marosi, J., Karger-Kocsis, J.: An acoustic emission study on the temperature dependent fracture behaviour of polypropylene composites reinforced by continuous and discontinuous fiber mats. *Composites Science and Technology*, 60 (2000), 1203
- [6] Rácz Zs.: Szénszállak minősítő eljárásai. *TDK dolgozat* (1999) BME, Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszék
- [7] Vas, L. M., Rácz, Zs., Nagy, P.: Modeling and tensile the fracture process of impregnated carbon-fiber roving specimen during bending: Part II – Experimental studies. *Journal of Composites Materials*, (accepted March 1, 2004)

Hibrid szálerősítésű polimer kompozitok

Czigány Tibor*

Bevezetés

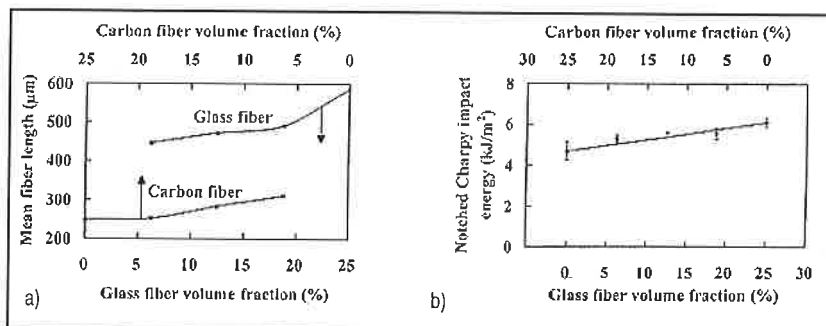
A műanyagok piacán különösen gyors a műszaki fejlődés a szálerősített polimer kompozitok területén. Ez a korábban kifejezetten haditechnikai iparág egyre "békésebb" célokat szolgál. Amíg néhány évtizede ezeket az anyagokat főleg a hadipar alkalmazta (rakéták, repülőgépek stb.), addig ma már mindenki találkozhat az üvegszálak kompozit horgászbotokkal, sporthajókkal, a szénszálak sílécekkel, teniszlabdákkal, és ma már az új autók alkatrészeinek nagy része, sőt a karosszériája is számos esetben szálerősítésű polimer kompozitból készül (pl.: Mercedes Smart, Mini Moris). Ezen szerkezeti anyag két fő alkotója a szivós mátrix és a nagy szilárdságú erősítőanyag, amelyek között kiváló adhéziós kapcsolat van [1]. A mátrix feladata a szálak befoglalása, védelme és a terhelés közvetítése, míg a szálaké a terhelés felvétele. Ez a hatékony funkciómegosztás akadályozza meg a polimer kompozitból készült termékek hirtelen tönkremenetelét. A polimer kompozitok előnye a kis sűrűség ($1-1,8 \text{ kg/m}^3$), nagy szilárdság, korrózióállóság, az elektromos és mágneses szigetelőképeség. További előnye, hogy az anyag mechanikai tulajdonságai tervezhetők, az erősítőszálak geometriájának, struktúrájának és anyagának, valamint a gyártástechnológiájának a tudatos megválasztásával a kompozit viselkedése az izotrópiától (szálszórás) a szélsőségesen anizotrópig (pultrúzió) tetőlegesen kialakítható [2]. Napjainkban az erősítőszálak anyaga döntően üvegszál, tekintettel annak jó szilárdsági tulajdonságaira és alacsony árára. Felhasználnak továbbá szén- és aramid-szálakat a különleges nagy szilárdság elérése érdekében, azonban ezek ára még nagyságrendileg nagyobb, mint az üvegszálé. A környezetvédelmi törvények szigorodásával egyre nagyobb mértékben találkozhatunk a környezetben lebomló, természetes szálak (len-, kender-, sisalszál) alkalmazásával [3, 4], azonban ezek szilárdsági tulajdonságai elmaradnak az eddig említettektől, és növényi eredetűből adódóan tulajdonságaik igen tág határok között változnak [5]. Az erősítőszálak új anyaga a bazaltszál, amelynek összetétele és szilárdsági tulajdonságai hasonlóak az üvegéhez, az előállítás költsége pedig kisebb, így várható a jövőben az elterjedése [6].

A kompozitok óriási előnye az, hogy alkalmazással olyan tulajdonságok is megvalósíthatók, amelyekkel a komponensek külön-külön nem rendelkeznek. Ilyen szerkezeti anyag például a vasbeton, az acél radíál gumiköpeny, vagy az új bazaltszál-erősítésű polimer kompozit is. Ha a kompozitot felépítő mátrix vagy erősítőanyag összetett, több alkotóból áll, akkor hibrid kompozitról beszélünk, amely a szerkezeti anyagok hierarchiájának legfelső szintje, tekintettel speciális tulajdonságaira. A görög-latin eredetű hibrid kifejezés szinte minden tudományágban megtalálható, azonban a leggyakoribb alkalmazási területe a biológia, ahol különböző állat- vagy növényfajtához tartozó egyedek keresztezéséről van szó. Ennek analógiájára a mérnöki anyagtudomány a hibrid szót igen sokrétűen használja, de abban egységes, hogy különböző anyagok keveréként értelmezi. A polimer mátrixú kompozitoknál hibrid kompozitnak nevezik többek között az olyan rendszereket, ahol különböző mátrixok keverékében (blendek) van egyféle erősítőanyag [7], vagy, egyféle mátrixban van erősítő- és töltőanyag is [8], vagy egyféle mátrixban van többféle töltőanyag [9], ill. erősítőanyag. A szakirodalomban döntően ez utóbbit tekintik hibrid kompozitnak, így jelen cikkben az egyféle mátrixú, de többféle szállal erősített rendszereket nevezem hibrid kompozitnak. A cikk elsődleges célja a hibrid szálerősítésű polimer kompozitok irodalmának áttekintése és saját kísérleti fejlesztésünkből ízelítő nyújtása.

* a BME, Polimertechnika Tanszék vezetője

A hibrid kompozitok szakirodalmi áttekintése

A különböző erősítőszálak keverékének polimer mátrixszal való társítása már régóta foglalkoztatja a kutatókat, hogy a hibrid hatás milyen mechanikai tulajdonság növekedést, illetve csökkenést, más szóval: milyen pozitív és milyen negatív tulajdonságváltozásokat okoz az új kompozitokban. Megfigyelhető, hogy a 90-es évek közepéig az igen bőséges irodalom szinte kizárólag üveg-, szén- és aramid-szálak rendszereket vizsgált. Bunsell és Harris [10], valamint Summerscales és Short [11] korai összefoglaló cikkükben rámutatnak arra, hogy a hibrid hatás hol a legerősebb az üveg- és a szénszálak kompozitokban. Megállapították, hogy üvegszál hozzáadásával a szénszálak kompozitok ára drasztikusan csökken, és emellett ütésállóságuk növekszik, míg szénszál hozzáadásával az üvegszálak kompozitok hajlítási rugalmassági modulusa növekszik jelentős mértékben. Marom és munkatársai [12, 13] szénszálak epoxy mátrixú kompozit ütésállóságát, valamint az ismétlődő hajlító feszültséget növelték aramid-szál hozzáadásával. Chaudhuri és Garala [14] megállapították, hogy a szénszálak epoxy kompozitok nyomószilárdsága optimálisan csak 15% üvegszál hozzáadásával növelhető. Ezt támasztja alá PP mátrixú hibridkompozitok esetén Fu és szerzőtársai [15] által publikált munka is. A Charpy-féle ütőmunkát vizsgálták 25 tömeg% erősítőanyag tartalmú, fröccsöntött próbatesteken az üveg/szén erősítőszál arány függvényében. Vizsgálataik elején kimutatták, hogy a hibrid kompozitokban a szálhossz függ az üveg/szén aránytól. Nagyobb üvegszáltartalom esetén nagyobb a szálhossz, míg a szénszáltartalom növekedésével a szálhossz csökken (1.a ábra), tekintettel arra, hogy kíméletlen feldolgozás (extrudálás, fröccsöntés) mellett, a törékeny szénszálak egymást és az üvegszálakat is károsítják. A Charpy-vizsgálatoknál az üvegszáltartalom növelésével párhuzamosan az ütőmunka kismértékű növekedését mutatták ki (1.b ábra).

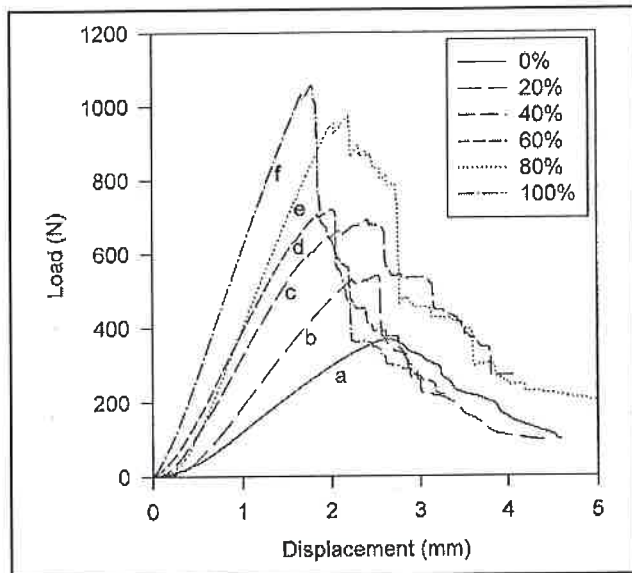


1. ábra. Az üveg/szén erősítőszál-tartalom hatása a szálhosszra (a), valamint a Charpy ütőmunkára (b) PP mátrixú kompozitban [15]

A szénszál jótékony hatását a hajlítási modulusra Jang és Lee mutatta be [16] polifenilénszulfid (PPS) mátrixú üvegszálak kompozitokban. Az üveg/szén erősítőszál tartalom arányának függvényében vizsgálták a hajlítási modulusát és a hajlító rugalmassági modulusát (2. ábra).

Kimutatták, hogy a szénszáltartalommal egyenes arányban nő mind a hajlítási modulus, mind a rugalmassági modulus. A szénszálak epoxy mátrixú kompozitok tönkremeneteli formáit Shon és Hu [17] vizsgálta. A delaminációs szilárdságot több mint 100%-al növelték 15% aramid-szál hozzáadásával, bár ezzel párhuzamosan a nyomószilárdság csökkent.

A hibrid szálerősítés pozitív hatása nemcsak a kompozitok különböző mechanikai igénybevétele esetén mutatkozik meg. Friedrich és Jacobs [18] üveg-, szén- és aramid-szálak epoxy, PEEK és PA mátrixú kompozitok súrlódási tulajdonságait vizsgálták acélfelületű súrlódó párral, keresve az optimális erősítőanyag párosítást. Kimutatták, hogy az aramid/szén hibrid szálerősítésű kompozit mutatta a legjobb kopási tulajdonságokat.



2. ábra. Az üveg/szén/PPS hibrid kompozit szénzártartalom függő erő-lehajlás diagramjai hajlítóvizsgálatkor [16]

A 90-es évek második felétől lehet az irodalomban eredményeket találni a hagyományos üveg/szén/aramid szálak kombinációtól eltérő hibrid kompozitokra, mivel a szigorú környezetvédelmi előírások miatt elkezdődött a természetes szálak alkalmazása és térhódítása. Kalaprasad és munkatársai [19] sisal/üveg hibrid szálerősítésű LDPE mátrixú kompozitokat vizsgáltak az orientáció függvényében. Kísérleteik során kimutatták, hogy az egyirányú hibrid szálerősítésű kompozitok mechanikai tulajdonságai jobbak, mint a homogén, irányítatlan szálerősítésűeké. A mechanikai tulajdonságok vizsgálata során minden esetben – a szakadási nyúlást kivéve – pozitív hibridhatást tapasztaltak. Ráműtattak [20], hogy a sisalszál lúgos kezelése további tulajdonságjavulást eredményez, valamint, hogy az üveg/sisal hibrid kompozit vízfellevő képessége kisebb, mint a sisalszálak kompozitáé. Benevolenski és munkatársai [21] len/üveg szálerősítésű polipropilén mátrixú hibrid kompozit dinamikus mechanikai tulajdonságait vizsgálta. A kompozitokat préseléses technikával állították elő tűnemeztelt prepregből. Ejtőszúlyos és Charpy-féle vizsgálatokkal tanulmányozták, hogy a hibrid kompozit átlukasztáshoz szükséges energia és a törési ellenállás hogyan változik az 50-50 tömeg%-os lenszálak kompozitához képest. Megállapították, hogy már 5% üvegszártartalom (50%PP – 45% len – 5% üveg) jelentős javulást okoz a dinamikus tulajdonságokban. Ha az üvegszártartalom 20% az eredmények közel kétszeres javulást mutatnak: a perforációs energia 3,8 J/mm-ről 6,9 J/mm-re, míg a törési ellenállás 26,1 kJ/m²-ről 43,2 kJ/m²-re növekedett. Eredményeiket pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokkal is alátámasztották (3. ábra).

A 3.a ábrán jól látszik, hogy a lenszálak egy része kötegszerűen helyezkedik el, valamint, hogy a kihúzódt szálak is rövidek, amelynek következménye a gyengébb szilárdsági tulajdonságok. Az üvegszálak hibrid kompozitnál (3.b ábra) a kihúzódt üvegszálak hosszabbak, amely a jobb mechanikai tulajdonságokban mutatkozik meg.



3. ábra. Töretfelületről készült SEM képek a) PP/len (50/50 tömeg%) b) PP/len/üveg (50/30/20 tömeg%) [21]

Elsősorban ázsiai szerzők cikkei foglalkoznak a trópusi eredetű természetes szál és az üvegszál hibrid kompozitjaival. Rozman és munkatársai [22] olajpálma gyümölcshéj-rostjával és üvegszállal erősített PP kompozitokat vizsgáltak. Kimutatták, hogy előzetesen szükséges a PP maleinsavas és a természetes szálak felületkezelése (trimethoxysilyl-propylmethacrylate) ahhoz, hogy a hibrid kompozitok mechanikai tulajdonságai javuljanak. Rout és munkatársai [Y23] kókuszdió-rost/üvegszál/polieszter gyanta (13/7/80 tömeg%) hibridkompozitokat vizsgáltak. A kókuszrost lúgos kezelésével jelentős javulást értek el a hibrid kompozit szakítószilárdságban és a kezelés nagymértékben csökkentette a kompozit vízfellevő hajlamát is. Ugyancsak a vízfellevő tulajdonság csökkenését és a mechanikai tulajdonságok kis mértékű javulását regisztrálta Thwe és Liao [24] bambusz-szál/üvegszál/PP, valamint Mishra és munkatársai [25] ananász/sisal/üveg/polieszter hibrid kompozitok esetén.

A számos kísérleti munkára alapozott mérés mellett már korán megjelentek az első átfogó elméleti megfontolások a hibridhatással kapcsolatban. A kezdeti, egyszerű keverékszabályra (1) alapozott számítások és a mérési eredmények közötti ellentmondás hamar rámutatott a hibridhatás összetett voltára:

$$P = P_F \cdot V_F + P_M \cdot V_M \quad (1)$$

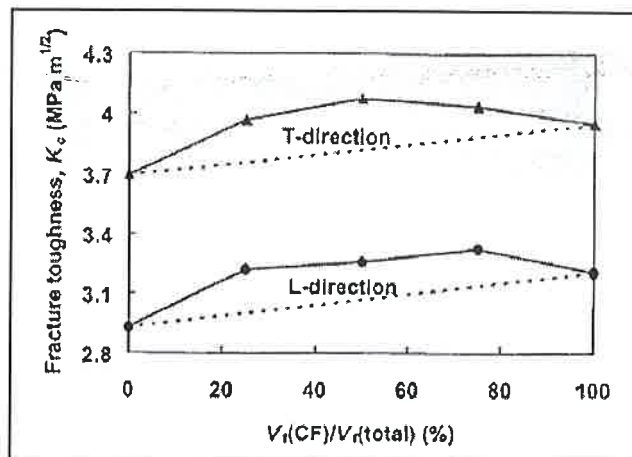
ahol: P – a kompozit tetszőleges mechanikai tulajdonsága, P_F – a szál tulajdonsága, V_F – a szál térfogatszázaléka a kompozitban, P_M – a mátrix tulajdonsága, V_M – a mátrix térfogatszázaléka ($V_F + V_M = 1$). Ezért a hibrid kompozitok mechanikai tulajdonságainak jellemzésére a hibridek keverési szabálya (2) terjedt el (RoHM - Rule of Hybrid Mixtures):

$$P_H = P_I \cdot V_I + P_{II} \cdot V_{II} \quad (2)$$

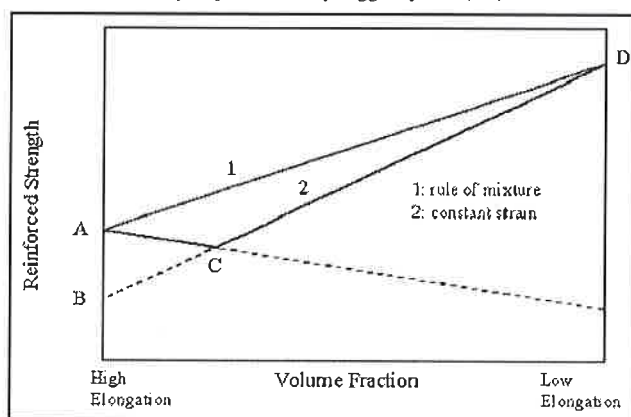
ahol: P_H – a hibridkompozit tetszőleges mechanikai tulajdonsága, P_I – az I és a II monokompozitok tulajdonsága, V_I – az I és a II erősítőszálak térfogathányada ($V_I + V_{II} = 1$). RoHM esetén, az egyes komponensek számításánál nem alkalmazható az (1), mivel az nem veszi figyelembe a szál-mátrix határfelületi adhézió erősségét, valamint a hibrid kompozitot felépítő szálak egymásra hatását, ezért a méréssel kapott eredmények alkalmazása ajánlatos. A legtöbb, ezzel a témával foglalkozó tanulmány az úgynevezett hibridhatás teljesülését vizsgálja, és azon keresztül jellemzi az erősítő anyagok együttműködését (synergistic effect). Marom és szerzőtársai [26] pozitív hibridhatásnak nevezték azt, amikor a kompozit tulajdonságai jobbak, mint a RoHM keverékszabállyal számolt jellemzők, míg negatív hibridhatásnak azt nevezték, amikor a keverékszabály alkalmazása nagyobb értékeket eredményezett a valóságosnál. Pozitív és negatív hatást számos szerző mért ki, különböző erősítő és mátrix-anyagú hibrid kompozitokon, azonban az egyik legfigyelemreméltóbb eredményre Fu és munkatársai jutottak [27], akik fröccsöntött üveg/szén/PP hibrid kompozit repedésterjedésre való hajlamát vizsgálták. A fröccsöntés irányú és arra merőleges betemetéseket tartalmazó CT próbatestek húzóvizsgálatából kritikus feszültségintenzitási tényezőt (K_{IC}) számoltak (4. ábra). Megállapították, hogy a szén/üvegszál arányától, valamint a befroccsöntés irányától függetlenül a K_{IC} mindig pozitív hibridhatást mutat és értéke nagyobb, mint akár az üveg-, akár a szénaszálak „monokompozitoké”.

A hibrid keverési szabály pontatlanságára hívta fel a figyelmet Hayashi [28], aki számos méréssel megállapította, hogy a RoHM nem alkalmazható a szakítószilárdság számítására abban az esetben, ha az erősítőanyagok szakadási nyúlásai között jelentős különbség van. Megállapítását Manders és Bader [29] igazolta üveg/szén/PP hibrid kompozitokban (5. ábra).

Az ábrán az A pont jelenti nagy nyúlású erősítőszálak monokompozit szilárdságát, míg a D pont a kis nyúlású erősítőszálak monokompozit szakítószilárdságát. Így az AD egyenes a RoHM szabályt adja. Az ábrában a BD egyenes a kis nyúlású szál, míg az AC egyenes a nagy nyúlású szál tönkremeneteléhez tartozó szilárdságot mutatja a hibrid kompozitban. Ezek alapján a C



4. ábra. Fröccsöntött GF/CF/PP hibrid kompozit feszültségintenzitási tényezője a szálarány függvényében [27]



5. ábra. A szilárdság modellezése különböző szakadási nyúlású erősítőszálak hibrid kompozitokban [29]

ponttól jobbra (CD egyenes) a kisebb nyúlású szál már domináns, így a számítást a (3) szerint kell elvégezni:

$$\sigma_H = \sigma_{LE} \cdot V_{LE} + \epsilon_{LE} \cdot E_{HE} \cdot V_{HE} \quad (3)$$

ahol σ_H – a hibrid kompozit szakítószilárdsága, σ_{LE} – a kisebb szakadási nyúlású szálak monokompozit szakítószilárdsága, ϵ_{LE} – a kisebb szakadási nyúlású szálak monokompozit szakadási nyúlása, E_{HE} – a nagyobb szakadási nyúlású szálak monokompozit rugalmassági modulusa, $V_{LE,HE}$ – a kisebb és a nagyobb szakadási nyúlású erősítőszálak térfogathányada ($V_{LE} + V_{HE} = 1$). A C ponttól balra (AC egyenes) a nagyobb nyúlású szál a meghatározó, így a számítást a (4) szerint kell elvégezni:

$$\sigma_H = \sigma_{HE} \cdot V_{HE} \quad (4)$$

Szerzők rámutattak, hogy akkor beszélhetünk hibridhatásról, ha a szakítószilárdság az ACD egyenes fölé esik. Ezt a modellt alkalmazta Shan és Liao [30] üveg/szén/epoxy hibrid kompozitok vizsgálatánál. Kimutatták, hogy vizsgálatuknál a C pont a szálerősítésre vetítve 10/90 üveg/szén %-nál található.

A hibrid kompozitok előnyös tulajdonságainak és bőséges szakirodalmának köszönhetően alkalmazásuk széles körben elterjedt. Zhu és munkatársai [31] acél csövek és tartályok helyett alkalmaztak üveg/szén/szál erősítésű epoxy mátrixú hibrid kompozit csövet és tartályt. Vizsgálataikban kimutatták, hogy ezek a kompozit elemek a korrózióállóságuk és megfelelő szilárdsági tulajdonságaik mellett a kúszási viselkedésük is kiváló. Chiu és szerzőtársai [32] összehasonlító vizsgálataik alapján fonatolt aramid/szén/szál erősítésű epoxy mátrixú hibrid kompozit csövek és profilok alkalmazását javasolják a járműiparban, tekintettel azok kiváló energiaelnyelő képességére. Szintén a fonatolt aramid/szén/epoxy hibrid kompozit alkalmazása mellett érvelnek Kostar és szerzőtársai [33], tekintettel annak nagy (896 MPa) törési szilárdságára.

Shan és Liao [34] tengeri alkalmazásokra javasolják az üveg/szén/epoxy hibrid kompozitokat, mivel vizsgálataikkal kimutatták, hogy ezek kifáradási határa vízben nagyobb, mint a csak üvegszálat tartalmazó kompozitnak. 2000-től a hibrid kompozitok a sportrepülés történetében új fejezetet nyitottak, a LAK típusjelű vitorlázó repülőgépcsalád kifejlesztésével. Az üveg/szén/kevlár erősítésű panelekből összeszerelt repülőgép tömege alig 200 kg, és maximális sebessége eléri a 270 km/órát. A hibrid kompozitok legújabb alkalmazási területe a szélenergiát hasznosító szélérőművek lapátkerekei [35]. 2003-ban az USA-ban (TPI Composites Inc.) kifejlesztettek egy 9 m átmérőjű, üveg/szén erősítésű hibrid kompozit lapátkereket, amelynek tesztelése után, várhatóan 2005-től, nagyobb méretűeket is gyártani fognak sorozatban. A hibrid kompozitok alkalmazásának egyik legnagyobb területe várhatóan az említett szélérőművek lesznek, hiszen az egyre szigorodó európai uniós környezetvédelmi előírások kötelezik a tagországokat, hogy már 2005-től az energiaszükségletük lehetőség szerint 3%-át megújuló forrásból elégítsék ki. Ennek megvalósításában Dánia az élenjáró ország, ahol már napjainkban is a villamosírási szükséglet 10%-át szélérőművek termelik. Céljuk, hogy 2030-ra ez a szám 50%-ra növekedjen. A 6. ábrán egy 20 erőműből álló tengerparti „szélfarm” látható, amelynek éves energiatermelése 89 GW.h.



6. ábra. Dániai szélfarm (Fotó: Y. Arthus-Bertrand)

Kísérleti eredmények

Vizsgálatainkhoz két különböző erősítőszálat alkalmaztunk: az EC 851 üvegszál (GF) a Sokoplast, Szlovákia, míg a PAN alapú PX 33TW szénzál (CF) a Zoltek Rt. terméke. A szálak hossza 20 mm volt, és mivel gyártásuk során különböző felületkezelést kaptak, ezért az összehasonlíthatóság érdekében a szálakon lévő színg anyagtól 400°C-os kemencében 4 órás hőntartással leégettük. A mátrix anyaga a TVK Rt. kis viszkozitású, H-116F típusú PP-je volt ($MFI_{230^\circ C/21,6N} = 25 \text{ g/10 min}$). A vizsgált kompozitok minden esetben 30 tömegszázalék (wt%) erősítőszál-tartalmúak voltak (1. táblázat).

1. táblázat. A vizsgált hibrid kompozitok tömegszázalékos PP- és erősítőszál-tartalma

Sorszám	1	2	3	4	5
PP	100	70	70	70	70
GF	–	30	20	10	–
CF	–	–	10	20	30

A keveréket ikercsigás Brabender Plasti-Corder belső keverővel készítetük el, hogy minél homogénebb anyagokat kapjunk. Először a polipropilént ömlesztettük meg 190°C-on, 50 1/perc fordulatszámon 3 percig, majd az erősítőszálakat adagoltuk a rendszerbe és folytattuk a homogenizálást kb. 5 percig. Az ömledéket, 160° 160° 4 mm-es kereteket alkalmazva, lapokká préseltük egy Collin P 200E présgéppel. A kompozit lapokból öt-öt próbatestet munkáltunk ki a statikus és a dinamikus hajlítóvizsgálatokhoz, amelyeket szobahőmérsékleten végeztünk Zwick

Z020 terhelőgépen, illetve Ceast ütőművön, mégpedig a statikus hajlítóvizsgálatokat az ASTM D 790-02, míg a Charpy ütve hajlító vizsgálatokat az ASTM D 256-02 szabványok szerint. A kompozitok vizsgált tulajdonságainak számszerűsített összehasonlítását a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A vizsgált hibrid kompozitok mechanikai tulajdonságai
(σ_{FS} – statikus hajlító feszültség,
 σ_{FD} – dinamikus hajlító feszültség, E_{FS} – statikus rugalmassági modulus, E_{FD} – dinamikus rugalmassági modulus)

Sor-szám	σ_{FS} [MPa]	σ_{FD} [MPa]	E_{FS} [GPa]	E_{FD} [GPa]
1	36,6±1,4	26,6±2,3	1,1±0,0	0,9±0,1
2	40,4±3,5	38,1±6,5	2,6±0,2	1,2±0,1
3	44,1±6,2	32,1±3,4	3,4±0,2	1,4±0,1
4	49,6±3,8	34,6±3,9	3,9±0,5	1,7±0,1
5	58,3±4,5	51,3±7,4	4,1±0,4	1,9±0,0

Ahogy az várható volt, a csak szénszállal erősített kompozit (5. sorszámu) mechanikai jellemzői a legjobbak. Viszont, a csak üvegszállal erősített (2. sorszámu) kompozithoz viszonyítva a szénszállal is erősített hibrid kompozitok (3. és 4. sorszámu) statikus és dinamikus rugalmassági modulusai, valamint a statikus hajlító feszültsége növekedett a szénszál hozzáadásával, de a dinamikus hajlító feszültség a 30%-os üvegszál-tartalomhoz képest a szénszál hozzáadásával csökkent. Ez utóbbinak az oka az lehet, hogy a szénszálak a keverékes technológiánál eltörték az üvegszálakat, és ez az ütésállóság csökkenésében mutatkozott meg.

Összefoglalás

A szálerősítésű polimer kompozitok, kedvező tulajdonság/tömeg hányadosuk következtében, a korszerű technológiák nélkülözhetetlen és egyre szélesebb körben használt nagy műszaki értékű alapanyagai. Az irodalmi adatok alapján elmondható, hogy a hibrid kompozitokat jellemzően üveg/szén vagy aramid/szén száakeverékekkel erősítik, és csak az utóbbi években kezdték a természetes szálat is alkalmazni. Kimutatták, hogy a hibridizációval elérhető szinergetikus hatás eredményeként a kompozit bizonyos mechanikai tulajdonságai javulnak, meghatározva a hibrid kompozit alkalmazási területeit. A szerzők gyakran összehasonlítják egymás eredményeit, de figyelmen kívül hagynak számos hatótényezőt. Ezek közül a legfontosabb a kompozit előállítási technológiája, amely döntő befolyással van a szálak hosszára, valamint a nedvesítésre. Az irodalom alapján elmondható, hogy a várható mechanikai tulajdonságok számításához alkalmazott hibrid keverékszabály nem veszi figyelembe a határfelületi adhézió erősségét, így szükséges annak további pontosítása, a Kelly-Tyson összefüggéssel való kapcsolat megalkotása.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben közölt eredmények megszületését az OTKA T037733, NKFP 3/001/2001, NKFP 3A/0036/2002 sz. pályázatok támogatták.

Irodalom

- [1] T. Czvikovszky, P. Nagy, J. Gaál: A polimertechnika alapjai. Műegyetemi Könyvkiadó, Budapest, 2000
- [2] L. P. Kollár, G. S. Springer: Mechanics of composites structures. Cambridge University Press, Cambridge, 2003
- [3] A. K. Mohanty, M. Misra, G. Hinrichsen: Biofibers, biodegradable polymers and biocomposites. *Macromolecular Material Engineering*. 276/277 (2000), 1-24
- [4] G. Romhány, J. Karger-Kocsis, T. Czigány: Tensile fracture and failure behavior of thermoplastic starch with unidirectional and cross-ply flax fiber reinforcements. *Macromolecular Materials Engineering*. 288 (2003), 699-707
- [5] L. M. Vas, F. Császai: Use of composite-bundle theory to predict tensile properties of yarns. *Journal of the Textile Institute*. 84 (1993), 448-463
- [6] Czigány T., Marosi Gy., Macskási L., Holczbauer T., Somos B., Szabó E., Zubonyai F.: Bazaltszál-erősítésű polimer kompozit szerkezeti anyag kifejlesztése. *Műanyag és Gumi*. 40 (2003), 139-144
- [7] J. Karger-Kocsis: Reinforced polymer blends in "Polymer Blends", Ed.: D.R. Paul, C.B. Bucknall. John Wiley & Sons. New York. 2000

- [8] S. Y. Fu, G. Xu, Y. W. Mai: On the elastic modulus of hybrid particle/short-fiber/polymer composites. *Composites Part B*. 33 (2002), 291-299
- [9] B. Pukánszky: Particulate filled polypropylene: structure and properties in "Polypropylene. Structure, blends and composites". Ed.: J. Karger-Kocsis. Chapman & Hall. London. 1995
- [10] A. R. Bunsell, B. Harris: Hybrid carbon and glass fiber composites. *Composites*. 4 (1974), 157-164
- [11] J. Summerscales, D. Short: Carbon fibre and glass fibre hybrid reinforced plastics. *Composites*. 9 (1978), 157-166
- [12] G. Marom, E. Drukker, A. Weinberg, J. Banbaji: Impact behaviour of carbon/Kevlar hybrid composites. *Composites*. 17 (1986), 150-153
- [13] G. Marom, H. Harel, S. Neumann, K. Friedrich, K. Schulte, H. D. Wagner: Fatigue behaviour and rate-dependent properties of aramid fibre/carbon fibre hybrid composites. *Composites*. 20 (1989), 537-544
- [14] R. A. Chaudhuri, H. J. Garala: Analytical experimental evaluation of hybrid commingled carbon glass epoxy thick-section composites under compression. *Journal of Composite Materials*. 29 (1995), 1695-1718
- [15] S. Y. Fu, B. Lauke, E. Mäder, X. Hu, C. Y. Yue: Fracture resistance of short-glass-fiber-reinforced and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene under Charpy impact load and its dependence on processing. *Journal of Materials Processing Technology*. 89-90 (1999), 501-507
- [16] J. Jang, C. Lee: Performance improvement of GF/CF functionally gradient hybrid composite. *Polymer Testing*. 17 (1998), 383-394
- [17] M. Sohn, X. Hu: Processing of carbon-fibre epoxy composites with cost-effective interlaminar reinforcement. *Composites Science and Technology*. 58 (1998), 211-220
- [18] K. Friedrich, O. Jacobs: On wear synergism in hybrid composites. *Composites Science and Technology*. 43 (1992), 71-84
- [19] G. Kalaprasad, S. Thomas, C. Pavithran, N. R. Neelakantan, S. Balakrishnan: Hybrid effect in the mechanical properties of short sisal/glass hybrid fiber reinforced low density polyethylene composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 15 (1996), 48-73
- [20] G. Kalaprasad, K. Joseph, S. Thomas: Influence of short glass fiber addition on the mechanical properties of sisal reinforced low density polyethylene composites. *Journal of Composite Materials*. 31 (1997), 509-527
- [21] O. I. Benevolenski, J. Karger-Kocsis, K.P. Mieck, T. Reussmann: Instrumented perforation impact response of polypropylene composites with hybrid reinforcement flax/glass and flax/cellulose fibers. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 13 (2000), 481-496
- [22] H. D. Rozman, G. S. Tay, R. N. Kumar, A. Abusamah, H. Ismail, Z. A. Mohd. Ishak: Polypropylene-oil palm empty fruit bunch-glass fibre hybrid composites: a preliminary study on the flexural and tensile properties. *European Polymer Journal*. 37 (2001), 1283-1291
- [23] J. Rout, M. Misra, S. S. Tripathy, S. K. Nayak, A. K. Mohanty: The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites. *Composites Science and Technology*. 61 (2001), 1303-1310
- [24] M. M. Thwe, K. Liao: Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *Composites Part A*. 33 (2002), 43-52
- [25] S. Mishra, A. K. Mohanty, L. T. Drzal, M. Misra, S. Paria, S. K. Nayak, S. S. Tripathy: Studies on mechanical performance of biofibre/glass reinforced polyester hybrid composites. *Composites Science and Technology*. 63 (2003), 1377-1385
- [26] G. Marom, S. Fisher, F. R. Tuler, H. D. Wagner: Hybrid effects in composites: conditions for positive or negative effects versus rule of mixture behaviour. *Journal of Material Science*. 13 (1978), 1419-1426
- [27] S. Fu, Y. Mai, B. Lauke, C. Yue: Synergistic effect on the fracture toughness of hybrid short glass fiber and short carbon fiber reinforced polypropylene composites. *Materials Science and Engineering A*. 323 (2002), 326-335
- [28] T. Hayashi: Development of new material properties by hybrid composition. *Composite Materials*. 1 (1972), 18-20
- [29] P. W. Manders, M. G. Bader: The strength of hybrid glass/carbon fibre composites: part 1: failure strain enhancement and failure mode. *Journal of Materials Science*. 16 (1981), 2233-2245
- [30] Y. Shan, K. Liao: Environmental fatigue behaviour and life prediction of unidirectional glass-carbon/epoxy hybrid composites. *International Journal of Fatigue*. 24 (2002), 847-859
- [31] X. Zhu, Z. Li, Y. Jin: Creep behaviour of a hybrid fibre (glass/carbon)-reinforced composite and its application. *Composites Science and Technology*. 50 (1994), 431-439
- [32] C. H. Chiu, K.-H. Tsai, W. J. Huang: Crush-failure modes of 2D triaxially braided hybrid composite tube. *Composites Science and Technology*. 59 (1999), 1713-1723
- [33] T. D. Kostar, T. W. Chou, P. Popper: Characterization and comparative study of three-dimensional braided hybrid composites. *Journal of Materials Science*. 35 (2000), 2175-2183
- [34] Y. Shan, K. Liao: Environmental fatigue of unidirectional glass-carbon fiber reinforced hybrid composite. *Composites Part B*. 32 (2001), 355-363
- [35] J. R. Hazen: Carbon/fiberglass wind blades planned. *High-Performance Composites*. 11 (2003), 13

Az implantátumok anyagainak polimertechikai vonatkozásai

Oláh László*

Bevezetés

Az orvostudomány mindig is az emberek érdeklődésének középpontjában állt, s a neves orvosok életműve szinte az ókortól nyomon követhető. Az orvostechnika napjainkban is robbanásszerű fejlődésen megy keresztül, újabb és újabb anyagokat és technológiákat kísérleteznek ki a kutatók, hogy a páciensek számára a lehető legkisebb behatás mellett a legjobb életminőséget tudják biztosítani. Az orvostechikában minden olyan terméket, tárgyat, amelyet egy vagy több anyagból a testbe ültetés céljára készítenek, úgy hogy azt teljesen vagy részlegesen kötőszövet réteg fogja fedni, implantátumnak neveznek. Az implantátumokat csoportosíthatjuk anyaguk (fém, kerámia, polimer), vagy funkciójuk szerint (csontörögztetési, ortopédiai implantátumok, protézisek). Amennyiben a test valamely végtagjának, szervének vagy szövetének kiváltására szolgál a beültetett eszköz, abban az esetben protézisekről beszélünk.

Az orvosi és fogászati gyakorlatban alkalmazott, az élőszervezet szöveteivel hosszabb-rövidebb ideig kapcsolatba kerülő anyagok speciális és meghatározott szerepet töltenek be. Az anyagokkal szemben támasztott követelményeket célszerű két kategóriába sorolni; ezek a biofunktionalitás és biokompatibilitás.

Biofunktionalitás az adott anyag azon tulajdonsága, hogy képes-e betölteni a neki szánt funkciót, azaz rendelkezik-e megfelelő mechanikai, mágneses vagy egyéb tulajdonságokkal.

A biokompatibilitás fémek, nem felszívódó kerámiák és polimerek esetén, azt fejezi ki, hogy a szervezetbe épített anyag képes-e hosszú időn keresztül ellátni a funkcióját, azaz megőrzi-e és milyen mértékben az eredeti tulajdonságait a használat során és eközben milyen hatást gyakorol a szervezet szöveteire. A felszívódó anyagok mechanikai tulajdonságai a beültetés után meghatározott idővel csökkennek, majd az anyagok elveszítik teljes mértékben szilárdságukat, s az anyagok a szervezetben felszívódnak. Ezért ebben az esetben a biokompatibilitás alatt az anyag azon képességét értjük, hogy az adott biológiai alkalmazásban megfelelő befogadási reakciókat váltson ki. A biofunktionalitás és a biokompatibilitás együttesen határozzák meg az orvosi és fogászati gyakorlat anyagaira vonatkozó kiválasztási kritériumokat.

A cikk elsődleges célja rövid irodalmi áttekintést adni napjaink főbb orvostechikai, lebomló polimerjeiről, valamint alkalmazásuk főbb területeiről, továbbá betekintést adni az implantátumok nem felszívódó, és nem polimer anyagairól.

Az implantátumok általánosan használt anyagai

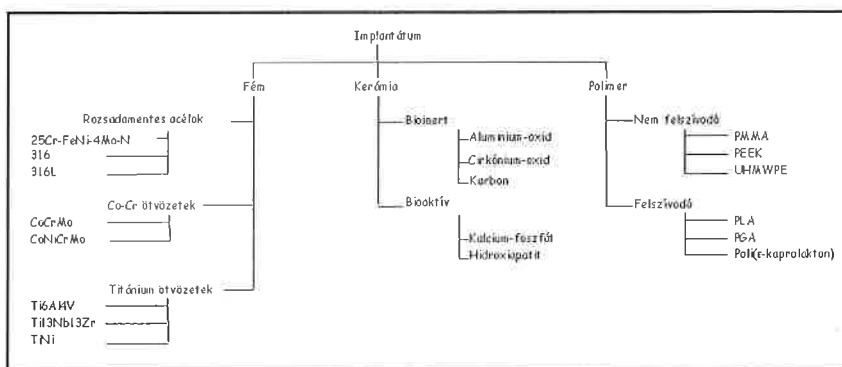
Tekintsük át röviden az általánosan alkalmazott fontosabb fém és kerámia implantátumok anyagait, tulajdonságait.

A kezdetben az implantátumok túlnyomó többsége fémből készült. Fém implantátumok alkalmazása során különböző előnyöket, illetve hátrányokat kell figyelembe vennie a tervező mérnöknek. Fémötvözetek legfontosabb hátrányai, hogy korrodálódnak; kopnak, így törmelék képződik, s ezek metallózhishoz, illetve lokális és távoli biológiai reakciókat válthatnak ki. További hátrányuk, hogy érzékenyek az elektrokémiai kor-

rózióra, valamint nagy a rugalmassági modulusuk (mivel a környezettel azonos lenne az ideális). A fém implantátumok hátrányos tulajdonságaik mellett olyan jelentős előnyökkel (nagy szilárdság, nagy szívósság és jó alakíthatóság) rendelkeznek, amelyek sok esetben indokolják további alkalmazásukat.

A fém implantátumokat három csoportba sorolhatjuk (1. táblázat): rozsdamentes vagy saválló acélok, kobalt-króm ötvözetek, és titán-ötvözetek, azonban minden esetben rendkívül fontos, hogy passzív oxid réteg legyen az implantátum felületén.

Az implantátumok területén a leggyakrabban alkalmazott saválló acél a 316L ausztenites acél (Biolan), amely ötvözőként nikkel (10-14%), krómot (17-20%), molibdént (2-4%) tartalmaz, de széntartalma



1. táblázat. Az implantátumok alapanyagai

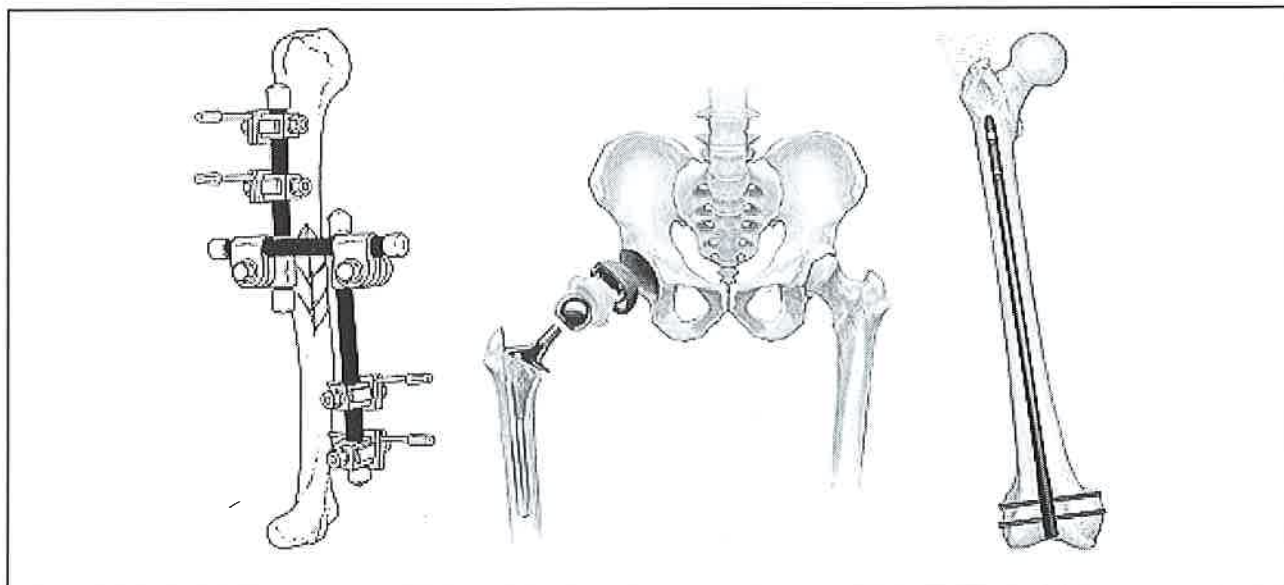
kevesebb, mint 0,03%. A króm-oxid réteg kritikus elektrokémiai potenciálja közel azonos az in vivo környezetben kialakuló potenciálkülönbséggel, amely a króm-oxid réteg részleges elbomlását eredményezi. Tehát korrodálódik a termék, s Ni^{2+} , Cr^{3+} fémionok kerülhetnek a környező szövetekbe (metallózis), valamint távolabbi testrészekben felhalmozódhatnak. A korrózió következtében az implantátum-csont kötés meglazul, ezzel magyarázható, hogy alkalmazásuk időtartama 6-12 hónap. Ezeket az anyagokat tipikusan csonttörések esetén csontörögztetésekhez szokták alkalmazni, például rudak, lemezek, csavarok, szögek, fixátorok (1. ábra).

A fém implantátumok második nagy csoportja a kobalt-króm ötvözetek, amelyekből elsősorban ortopédiai implantátumokat állítanak elő, például lemezeket, csavarokat. A két legfontosabb kobalt-króm ötvözet az öntött Co-Cr-Mo (ASTM F 75), amely durvaszemcsés, inhomogén anyag, illetve a Co-Ni-Cr-Mo (ASTM F 562), amely finomszemcsés, ausztenites szerkezetű.

Fémek között utolsóként a titán alapú ötvözeteket tárgyaljuk. Ezen implantátumok felületén titán-oxid réteg képződik, amely tökéletesen szövetbarát (inaktív) teszi őket. Meglehetősen nagy a szilárdságuk, jó a korrózióállóságuk, valamint kicsi a rugalmassági modulusuk. Ezeknek a tulajdonságainak köszönhetően vált egyik meghatározó alapanyagává az implantátumok gyártásának. A leggyakrabban alkalmazott titánötvözet a Ti-6Al-4V (ASTM F 136). A termékeket kovácsolással 700-950°C-on állítják elő. A titánötvözetekből gyakran készítenek csipőprotéziseket (2. ábra), az oszteosztézishez velőrszégeket (3. ábra).

A második nagy csoport a kerámiákat foglalja magába. A kerámiákat is régóta használják az orvostechikában implantátumok anyagaként, elsősorban bioinert tulajdonságaik, kopásállóságuk és keménységük miatt. Az utóbbi években azonban egyre inkább előtérbe kerültek az ún.

*Szigorló gépészmérnök hallgató, BME, Polimertechika Tanszék



1. ábra. Fixátor

2. ábra. Csípőprotézis

3. ábra. Velőűrszeg

bioaktív kerámiák is, amelyek kémiai kötéseket képesek létrehozni az implantátum és a környező élő szövet között. A kerámiák reaktivitásának nincs definiált mérőszáma, de általában a pH értéket, a szövetekkel való reakciókészséget és az ionos oldóképességet szokták figyelembe venni. Általánosságban azt mondhatjuk, hogy az a kerámia, amely a szomszédos szövetekkel csak minimálisan lép kölcsönhatásba, bioaktív; az, amelyik részben oldható, és a felületén keresztül lehetséges bizonyos fokú ionáramlás, végül oldódó az a kerámia, amelyik egy meghatározott idő eltelte után beleolvad az őt körülvevő szövetbe.

A bioinert kerámiák legfőbb jellemzője a merevség, szilárdság és a szívósság. A merevség az implantátum és a környező szövet mechanikai kölcsönhatását jellemzi. Meghatározó a csontban és az implantátumban ébredő feszültség szempontjából is, és hatással van a feszültséggyűjtő helyek kialakulására, a feszültségeloszlásra és a feszültségek hatékonyságára is. Fontos, hogy a bioinert kerámiák tartósan őrizzék meg a szerkezeti egységüket olyan terhelések esetén is, amelyek jóval meghaladják a használatuk során fellépő legnagyobb feszültséget.

Egy implantátum biokompatibilitása akkor optimális, ha az anyag felületén bekövetkezik a környező szövetek normális fejlődése, növekedése, valamint az implantátum és a szövetek között folytonos átmenet biztosítja az ott fellépő terhelések átadását. Ennek a követelménynek tesznek eleget a bioaktív anyagok. Fontos tudni, hogy milyen állandó terhelésnek van kitéve a beültetett implantátum, ugyanis alkalmazásuknak korlátot szab kis mechanikai szilárdságuk. Tömbanyagként olyan helyeken lehet alkalmazni, ahol nyomó-igénybevételnek vannak kitéve az anyagok. Egyéb helyeken ezzel a kerámiával bevont nagyobb szilárdságú fémeket alkalmaznak.

Felszívódó polimer alapanyagok

Az első felszívódó polimereket időszámításunk szerint már 150 körül Galen alkalmazta, aki hírnevét a gladiátorok ápolásával alapozta meg. Akkoriban macskabélt használt, azonban az enzimátikus degradációja idegentest hatást válthatott ki, amely különböző fertőzéseket okozhatott a betegnél.

A felszívódó, lebomló polimerek eredetük szerint lehetnek természetesek vagy szintetikusak. Általánosan, a szintetikus polimerek több, rendkívül fontos előnnyel rendelkeznek a természetes polimerekhez képest. A mechanikai tulajdonságaik, a gyártási paraméterek változtatásával, széles tartományban változtathatók. Az előállított szintetikus polimerek homogenitása jobb, mint a természetes polimereké. A szintetikus polimerek előrelátható, megjósolható szövettani reakciókat vál-

tanak ki, ellenben a természetes polimerek különböző, intenzívebb és egyes esetekben előre nem látható gyulladásokat okozhatnak.

Ezen újszerű implantátumok emberi szervezetben való alkalmazásának igen szigorú és hosszadalmas engedélyezési eljárása van, amely során a legkülönbözőbb előírásoknak kell megfeleljenek, valamint kísérletekkel, mérésekkel kell igazolni használhatóságukat. A következőkben négy általánosan alkalmazott felszívódó, szintetikus polimer ismertetek.

A 20. század első felében, glikolsavból, valamint más α -hidroxisavakból próbálták a kutatók különböző polimereket előállítani, azonban felhagytak ezekkel a kísérletekkel, mivel a keletkezett polimerek hosszú idejű ipari alkalmazásra alkalmatlanok voltak. Azonban éppen ez az instabilitás okozza a polimerek biodegradációját, s ez tette rendkívül fontos orvostechikai anyaggá őket az utolsó három évtizedben. Kezdetekben a tejsavból és glikolsavból előállított polimereket vizsgálták, hogy megfelelnek-e az orvosi alkalmazásukhoz szükséges feltételeknek [2]. A biodegradális polimereket a gyógyászatban elsősorban a sebészetben [3], valamint a gyógyszerhordozó rendszereknél [4] alkalmazzák.

Egyik legrégebben bemutatott, és egyik legtöbbet vizsgált, teljesen szintetikus, felszívódó polimer a **poliglikolsav (PGA)**. PGA a legegyszerűbb lineáris alifás poliészter. PGA volt az első teljesen felszívódó szintetikus polimer, amelyet Dexon márkanéven már a 60-as években forgalmaztak. A glikol monomer gyűrűfelfnyitós polimerizációja nagy molekulásúlyú anyagot eredményez. PGA polimer kristályossága nagy (45–55%) és magas olvadáspontja (220–225°C). A poliglikolsavból készített szálaknak nagy a szilárdsága és a modulusa, azonban túl merevek ahhoz, hogy varratanyagként alkalmazhassák, kivéve a fonatolt formációt. PGA varrat már 2 hét után elveszíti a szilárdsága 50 százalékát, 4 hét után már közel 100 százalékát, majd 4–6 hónap alatt teljesen felszívódik. A glikol más monomerekkel történő kopolimerizációja csökkentett merevségű szálakat eredményez.

A **politejsav (PLA)** tejsavból állítható elő polimerizációval, vagy polikondenzációval. A tejsavnak kétféle isomere lehet: d- illetve l-laktid, amely a természetben is megtalálható, valamint szintetikus úton előállítható a d- és l-laktid keveréke is. A poli(l-laktid) homopolimerje (LPLA) részben kristályos polimer, nagy a húzószilárdsága, kicsi a nyúlása és nagy a modulusa. Ezek a tulajdonságai teszik alkalmassá a gyógyászatban teherviselő elemek, mint például ortopédiai rögzítők, vagy varratfonal készítésére. LPLA közel két év alatt bomlik le teljesen az emberi szervezetben. A poli(dl-laktid) amorf szerkezetű anyag, a tejsav két izomere véletlen eloszlással van jelen a polimerben; kicsi a húzószilárdsága, nagyobb mértékű a nyúlása és jelentősen rövidebb idő

alatt lebomlik, mint LPLA. Az előbb említett tulajdonságai miatt előszeretettel alkalmazzák felszívódó, gyógyszerhordozó és adagoló rendszerekben: Gyakran kopolimerizálják a két polimert, hogy javítsák a mechanikai tulajdonságokat, valamint gyorsítsák a felszívódás folyamatát.

A **poli-ε-kaprolaktont** (PCL) az ε-kaprolakton gyűrűfelynyitások polimerizációjával állítják elő, általában részben kristályos szerkezetű. Elismert biokompatibilitási tulajdonságai miatt Európában előszeretettel alkalmazzák biológiai lebomló varratanyagként. Mivel a poli-ε-kaprolakton mintegy két év alatt bomlik le, ezért a bioabszorpció gyorsítása érdekében más monomerekkel szották kopolimerizálni. Például, ε-kaprolakton és dl-laktid kopolimereket gyártanak a gyorsabb felszívódás érdekében. A glikol és az ε-kaprolakton blokk-kopolimerjének kisebb a merevsége, mint a tiszta PGA, így egyágú fonat varrat készíthető belőle.

A **poli(laktid-glikolid) kopolimer** a tejsav és a glikolsav dimerjének kopolimerizációját során keletkezik. Legkülönböztetőbb célra alkalmazzák ezt a polimert az orvostechikában, mivel rendkívül széles tartományon belül változtathatók a mechanikai és degradációs tulajdonságai. Az első klinikailag alkalmazott felszívódó PGA/PLA kopolimer a 90/10 PGA/PLA kopolimer volt, amely a PGA-ból készült fonatolt varrathoz hasonlított leginkább. A beültetés után 90–120 nap alatt felszívódott, a szilárdságát hosszabb ideig megtartotta, mint a PGA, azonban gyorsabban felszívódott. A kopolimer tipikusan random elrendezésű, amorfi szerkezetű, amennyiben a kopolimer 25-70 mol százalék között tartalmaz poliglikolsavat. Tiszta PGA kristályossága körülbelül 50%, míg a PLLA kristályossága 37%-os.

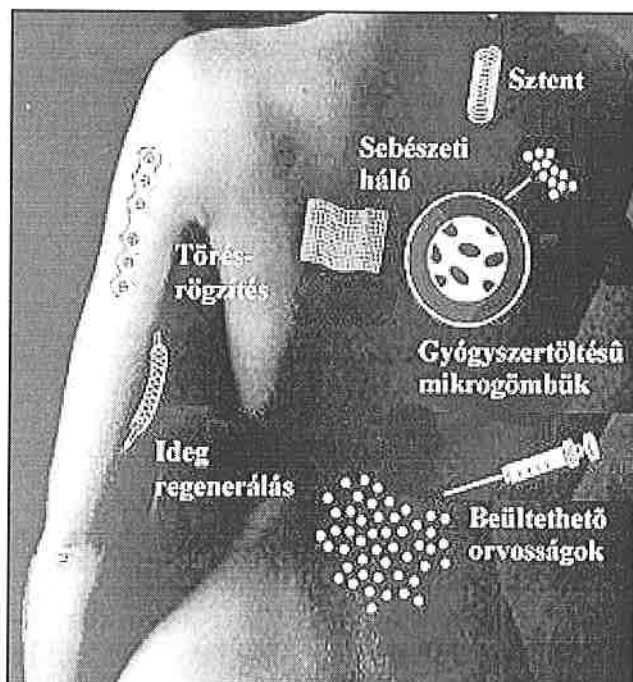
A felszívódó polimerek orvosi alkalmazásai

A felszívódó polimerek orvostechikail alkalmazása egyre szélesebb körű, mivel az ellátottak életminőségének jelentős javulása várható, hiszen a későbbi beavatkozások elkerülhetők, ezáltal minimalizálható a szervezetben okozott trauma. Használatának több indoka lehet, de az egyik legfontosabb, hogy a beültetett implantátum eltávolításához nincs szükség második műtetre, ezáltal leegyszerűsödik az operáció utáni kezelés. Ha a törött csonthoz merev, nem lebomló, rozsdamentes acél implantátumot ültetnek be, akkor fennáll az újratörés esélye az implantátum eltávolítása után, mivel a merev rozsdamentes acél implantátum viseli a terhelést, ezért a törött részeknél nincs elegendő terhelés a

csontregenerálódáshoz. Azonban a lebomló implantátumok lebomlási időtartama tervezhető, így elérhető, hogy a terhelés lassan, fokozatosan adódjon át a kezelésre szorult csont. Másik egyre gyakrabban alkalmazott felhasználás a gyógyszeradagoló rendszerek, amelyek még rendkívül sok lehetőséget rejtenek magukban. Az 4. ábrán néhány alkalmazási példát mutatunk be.

Irodalom

- [1] Ed. Joseph D. Bronzino: The Biomedical Engineering Handbook CRCPress, Boca Raton, 2000
- [2] J.C. Middleton – A.J. Tipton: Synthetic Biodegradable Polymers as Medical Devices Medical Device & Diagnostic Industry Magazine, January, 2001
- [3] T. Czvikovszky – P. Nagy: Polimerek az orvostechikában Műegyetem Kiadó, Budapest, 2003
- [4] <http://www.drugdeliverytech.com/cgi-bin/articles.cgi?idArticle=152> (2004. április 28.)
- [5] <http://www.courses.ahc.umh.edu/medical-school/BME/5001/notes/bioabs.html> (2004. április 28.)
- [6] <http://www.bionimplants.com/PDF%20files/SourceJune03.pdf> (2004. április 28.)
- [7] http://biomed.brown.edu/Medicine_Departments/ORTHOPAE-DICS/Media/IMAST.pdf (2004. április 28.)
- [8] S.W. Shalaby, K.J.L. Burg: Absorbable and Biodegradable Polymers CRCPress, Boca Raton, 2003
- [9] Antti Helminen: Branched and crosslinked resorbable polymers based on lactic acid, lactide and ε-caprolactone, Doktori disszertáció, Helsinki University of Technology, 2003
- [10] <http://www.deviceink.com/mpb/archive/97/11/003.html> (2004. április 28.)
- [11] <http://www.orthobiojournal.com/supp/1002/Vaccaro/> (2004. április 28.)
- [12] <http://www.orthobiojournal.com/supp/1002/Wuisman/> (2004. április 28.)
- [13] <http://www.orthobiojournal.com/supp/1002/DiAngelo/> (2004. április 28.)
- [14] <http://www.bme.utexas.edu/faculty/schmidt/Courses/BME314/Notes/Notes-Biomaterials.pdf> (2004. április 28.)
- [15] <http://www.bpi-sbs.com/> (2004. április 28.)
- [16] <http://www.deviceink.com/mddi/archive/01/01/003.html> (2004. április 28.)
- [17] <http://www.absorbables.com/> (2004. április 28.)
- [18] <http://www.ics.trieste.it/documents/chemistry/plastics/activities/egm-Sept2002/Kim1.pdf> (2004. április 28.)



4. ábra

VIZSGÁLÓBERENDEZÉSEK

a műanyagok mechanikai és fizikai jellemzőinek a meghatározásához:

– minta-előkészítő kiségek

– ingás és ejtő súlyos ütőművek (igény szerint felszerszámozva és műszerezve)

– folyásindex-mérők, reométerek

– HDT- és Vicat-hőmérsékletmérők

– berendezések a villamos, a tűz- és hőállósági jellemzők méréséhez

a TESTOR Kft.-től

Dr. Tóth Tamás:

Anyagtan – A műszaki anyagtudomány alapjai

A Dunaújvárosi Főiskolán az 1994/95-ös tanévben indult meg az anyagmérnök képzés. Ehhez kapcsolódva jelentek meg a tárgy előadójának tollából a korábbi jegyzeteit kiegészítő, felváltó tankönyvek: A kompozit anyagok (1996), a Mechanikai anyagjellemzők és vizsgálatuk módszerei (2001), az Alumínium és ötvözetek (2001), a Vasötvözetek (2002) és legújabban, 2003 szeptemberében, az anyagmérnök képzést megalapozó *Anyagtan – A műszaki anyagtudomány alapjai* című kötet a Dunaújvárosi Főiskola Kiadói Hivatalának gondozásában.

A B5 formátumú, 289 oldalas jegyzetbe közérthető tömörséggel összefoglalt, a lényegét tipográfiával is kiemelt, alapvető ismeretek megértését 221 ábra, 31, az anyagokra jellemző tulajdonságokat összefoglaló táblázat és 68 megoldott feladat segíti.

A *Bevezetés az anyagtanba* (30 oldalas) fejezet nagy ívű áttekintést ad – a jellemző tulajdonságok és meghatározások összehasonlításával – a műszaki anyagokról (fémek, kerámiák, polimerek, félvezetők és kompozitok), a felhasználásukat befolyásoló technológiai, környezeti hatásokról és gazdasági szempontokról.

Az *Anyagszerkezeti alapismeretek* (80 oldalas) fejezet röviden áttekinti az elemek atomos szerkezetét, a részecskék anyagtulajdonságát befolyásoló kötéstípusait, majd részletesebben a kristályszerkezet típusait, jellemzőit és azok leírását, illetve a röntgensugaras szerkezetvizsgálattal történő meghatározását tárgyalja.

A *Kristályrács hibái* (50 oldalas) fejezet jól megválasztott ábrákkal és feladatokkal ad áttekintést a kristályos anyag tulajdonságait alapvetően befolyásoló rácshibákról, a fázis- és szemcsehatárok szerkezetéről.

Az *atomok mozgása az anyagban, diffúzió* című (34 oldalas) fejezet jó áttekintést ad a diffúzió típusairól, mechanizmusairól, törvényeiről, valamint a diffúzió anyagtechnológiában betöltött szerepéről. Rövid jellemzést olvashatunk az ionvegyületekben és a polimerekben végbe-
menő diffúzió mechanizmusairól is.

A *fémek fázisai, szövetelemei* jellemzőinek rövid összefoglalását külön fejezetben tárgyalja a szerző.

Az *Egyensúlyi fázisdiagramok* című fejezet, ábraigénye miatt is, a legterjedelmesebb (150 oldalas). A fázisdiagramok meghatározása módszereinek és olvasási szabályainak áttekintését követően megismerhetjük a kétalkotós egyensúlyi fázisdiagramok alaptípusait, mégpedig jellemző ötvözetpéldák ismertetésével, majd részletesebben az Fe–C ötvözetrendszerét és az ötvözőelemek módosító hatásait, valamint az Al és a Cu legfontosabb kétalkotós ötvözetek, továbbá az Al_2O_3 – Cr_2O_3 , a SiO_2 – Na_2O és a SiO_2 – Al_2O_3 kétkomponensű kerámiák fázisdiagramjait. A fejezetet a ternár rendszerek egyensúlyi fázisdiagramjainak felépítésére és használatára vonatkozó ismeretek zárják bemutatva az Fe–C–Ni, Fe–Cr–Ni, Fe–C–Mn, Al–Mg–Si, illetve a CaO– Al_2O_3 – SiO_2 és Na_2O – SiO_2 –CaO rendszereket.

A *Függelék* táblázataiban a kémia elemek jellemző adatait (atomtömeg, sűrűség, olvadáspont, rács szerkezet és paraméterei, vegyérték, atom- és ionsugár) találhatjuk.

A műszaki anyagtudomány alapjait – elsősorban a fémekre vonatkozóan – tömören és közérthetően, kézikönyvszerűen összefoglaló tankönyvet a gyakorló mérnökök és technikusok is hasznosan forgathatják mindennapi munkájukhoz.

Lehofer Kornél

„Én látok valamit amit Te nem látsz”...



A hidegfényforrás feltalálása és a HOPKINS rúdlenccsés optika bevezetése KARL STORZ azon eredményei, amelyek az endoszkópia diadalmenetét együttesen meghatározták. Ezekén túl is számos úttörő fejlesztés viseli a mi nevünket.

A műszaki endoszkópia bevezetése fontos része lett az innovatív minőségügynek. A nem belátható tartományok kiértékelhető képei lehetővé teszik a célirányos és gazdaságos minőségbiztosítást. A tökéletes, esetenként mobil dokumentációs rendszerek fontos elemei a KARL STORZ endoszkópos eljárásoknak.

Az alkalmazási területek olyan sokrétűek, mint az endoszkópos rendszereink funkciói.

Szeretne többet látni?

STORZ
KARL STORZ – ENDOSKOPE
Industrial Group

KARL STORZ GmbH & Co. KG
Mittelstraße 9, D-78532 Tuttlingen
Telefon: +49 / 7461 / 703 225
Telefax: + 49 / 7641 / 78912
industrialgroup@keristore.de
Internet: <http://www.karlstorz.de>

Új, érvényes nemzeti szabványok

A Magyar Szabványügyi Testület által, a Szabványügyi Közlöny 2004/3.-5. számaiban közzétett és szakterületünket érintő érvényes szabványok a következők:

17 Metrológia és mérés technika

- MSZ EN ISO 2360:2004; Nemvezető bevonatok nem mágneses, áramvezető alapfémeken. A rétegvastagság mérése. Amplitúdó-érzékeny örvényáramos módszer.

19 Vizsgálatok

- MSZ EN 583-1:1998/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Ultrahangos vizsgálat. 1. rész: Általános alapelvek.
- MSZ EN 583-4:2002/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Ultrahangos vizsgálat. 4. rész: A felületre merőleges folytonossági hiányok vizsgálata.
- MSZ EN 583-5:2000/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Ultrahangos vizsgálat. 5. rész: A folytonossági hiányok jellemzése és méretének meghatározása.
- MSZ EN 1593:1999/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Tömörségvizsgálat. Buborékemissziós módszerek.
- MSZ EN 1779:1999/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Tömörségvizsgálat. Az eljárás és a módszer kiválasztásának feltételei.
- MSZ EN 12084:2001/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Örvényáramos vizsgálat. Általános irány- és alapelvek.
- MSZ EN 13018:2001/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Szemrevételezéses vizsgálat. Általános alapelvek.
- MSZ EN 13184:2001/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Szívárgásvizsgálat. Nyomásváltozásos eljárás.
- MSZ EN 13185:2001/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Szívárgásvizsgálat. Jelzőgázos eljárás.
- MSZ EN 13554:2002/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Akusztikus emisszió. Általános alapelvek.
- MSZ EN 13860-3:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Örvényáramos vizsgálat. A vizsgálo-berendezés jellemzői és igazoló ellenőrzése. 3. rész: A rendszer jellemzői és igazoló ellenőrzés.
- MSZ EN ISO 9934-1:2001/A1:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Mágnesezhető poros vizsgálat. 1. rész: Általános alapelvek.

25 Gyártástechnika

- MSZ EN 1711:2000/A1:2004; Hegesztett kötések roncsolásmentes vizsgálata. Örvényáramos vizsgálat vektorelemzéssel.
- MSZ EN ISO 9018:2004; Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálata. Kereszt- és átlapolat kötések szakítóvizsgálata.

77 Kohászat

- MSZ EN ISO 18265:2004; Fémek. A keménységi értékek átszámítása.

83 Gumi- és műanyagipar

- MSZ EN ISO 2580-2:2004; Műanyagok. Akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) fröccs- és extrúziós anyagok. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 2897-2:2004; Műanyagok. Ütésálló polisztirol (PS-1) fröccs- és extrúziós anyagok. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 6402-2:2004; Műanyagok. Akrilnitril-sztirol-akrilát (ASA), akrilnitril-(etilén-propilén-dién)-sztirol (AEPDS) és akrilnitril-(klórozott polietilén)-sztirol (ACS) fröccs- és extrúziós anyagok. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 10366-2:2004; Műanyagok. Metil-metakrilát-akrilnitril-butadién-sztirol (MABS) fröccs- és extrúziós anyagok. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.

81 Üveg- és kerámiapár

- MSZ EN 1159-2:2004; Nagy teljesítményű műszaki kerámiák. Kerámiakompozitok. Termofizikai tulajdonságok. 2. rész: A hővezetési együttható meghatározása.
- MSZ EN 1389:2004; Nagy teljesítményű műszaki kerámiák. Kerámiakompozitok. Fizikai tulajdonságok. A testsűrűség és a nyitott porozitás meghatározása.

Új CEN-szabványok (szerkesztőségünk címfordításai)

- EN 13192:2001/AC:2003; Roncsolásmentes vizsgálat. Szívárgás vizsgálat. Referencia szívárgási helyek kalibrálása gázokra.
- CEN/TS 820-5:2004; Korszerű műszaki kerámiák. Monolitikus kerámiák vizsgálati módszerei. 5. rész: A rugalmassági modulus meghatározása növelt hőmérsékleteken.
- CEN/TS 1071-9:2004; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámia bevonatok vizsgálati módszerei. 9. rész: A szakadási nyúlás meghatározása.
- EN ISO 20847:2004; Kőolajtermékek. Gépjármű üzemanyagok kén-tartalmának meghatározása. Energia-diszperzív röntgenfluoreszcens spektrometria.
- EN ISO 20884:2004; Kőolajtermékek. Gépjármű üzemanyagok kén-tartalmának meghatározása. Hullámhossz-diszperzív röntgenfluoreszcens spektrometria.

Új ISO-szabványok, amelyek 2003. április 16-a és 2004. február 20-a között jelentek meg. (Az ISO Bulletin alapján készül tájékoztató címfordítások.)

- ISO 3882:2003; Fémek és más szerves bevonatok. A bevonatvastagság mérési módszereinek áttekintése.
- ISO 3543:2000/Cor 1:2003; Fémek és más szerves bevonatok. A vastagság mérése. Béta-sugár visszaszórás módszer.
- ISO 12353-2:2003; Közúti járművek. Közlekedési baleset elemzése. 2. rész: Irányelvek az ütközéspontossági mértékek használatához.
- ISO 17359:2003; Gépek állapotfigyelése és diagnosztizálása. Általános irányelvek.
- ISO 7800:2003; Fémek anyagok. Drótok. Egyszerű torziós vizsgálat.
- ISO 17853:2003/Cor 1:2004; A beültetett implantátum anyagának kopása. Polimer- és fémkopadék. Izoláció, jellemzés és mennyiségi meghatározás.
- ISO 7206-10:2003; Sebészeti implantátumok. Részleges és teljes csípőizület-protézisek. 10. rész: A moduláris combcsonti fejek statikus terheléssel szembeni ellenállásának meghatározása.
- ISO 16701:2003; Fémek és ötvözetek korróziója. Korrózió mester-séges környezetben. Gyorsított korróziós vizsgálat beleértve az olyan ellenőrzött feltételeket, ahol a vizsgált anyag a nedvesség körforgásának és a sóoldat időszakos szórásának van kitéve.
- ISO 4628-1-5, -7 és -10:2003; Festékek és lakkok. A bevonatok károsodásának értékelése. A hibák mennyiségének és méretének, valamint a megjelenésbeli egységes változás intenzitásának jelölése. 1. rész: Általános bevezetés és megjelölési rendszer. A hólyagosodás (2. rész), a rozsdásodás (3. rész), a repedésképződés (4. Rész) és a lepattogzás (5. Rész) mértékének becslése. 7. rész: A krétásodás mértékének becslése bárszondamódszerrel. 10. rész: A fonalas korrózió mértékének becslése.
- ISO 16805:2003; Festékek és lakkok kötőanyagai. Az üvegátmenet hőmérsékletének meghatározása.
- ISO 3597-1-4:2003; Üvegszövet-erősítésű műanyagok. A mechanikai tulajdonságok meghatározása előfónással erősített gyantából készült rudakon. 1. rész: Általános szempontok és a rudak elkészítése. A hajlítási szilárdság (2. rész), a nyomószilárdság (3. rész) és a látszólagos, rétegek közötti nyírószilárdság (4. rész) meghatározása.
- ISO 13003:2003; Szálerősítésű műanyagok. A fázadási tulajdonságok meghatározása ciklikus terheléses feltételek mellett.
- ISO 295:2004; Műanyagok. Hőre keményedő anyagok vizsgálati mintáinak fröccsöntése.
- ISO 1183-1:2004; Műanyagok. Nem habosított műanyagok sűrűségének meghatározási módszerei. 1. rész: Merítéses, folyadék-piknométeres és titrálós módszerek.
- ISO 16770:2004; Műanyagok. Polietilén környezeti igénybevételi törésének (ESC) meghatározása. A tartós folyáshatár vizsgálata bemetszett próbatesten (FNCT).
- ISO 9018:2003; Fémek anyagok hegesztésének roncsolásos vizsgálata. Kereszt alakú és hurkos illesztések szakítóvizsgálata.
- ISO 15611:2003; Fémek anyagok hegesztési eljárásainak előírásai és minősítése. Korábbi hegesztési tapasztalatokon alapuló minősítés.
- ISO 20807:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. A személyzet képzettsége roncsolásmentes vizsgálatok korlátozott alkalmazásához.

 AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt. Oktatásszervezési Osztály agmi 1211 Budapest, Gyepor u. 1. Tel.: 278-0755, Fax: 278-0756		
ANYAGVIZSGÁLÓ SZAKKÉPESÍTŐ ÉS MINŐSÍTŐ TANFOLYAMOK 2004-ben, OKJ 53 5401 01		
Tanfolyam típusa	1. szint/ időtartam, nap	2. szint/ időtartam, nap
Tömörsegi anyagvizsgáló (LT1 és 2)	A 10 napos tanfolyamokat 15 jelentkező esetén indítjuk.	
Rezgéselemző anyagvizsgáló (VAT1 és 2)		
EURÓPAI HEGESZTÉS FELÜGYELŐ (ewip) KÉPZÉSEK 2004-ben		
Európai hegesztés felügyelő mérnök (EWI-E), 33 napos	A tanfolyamokat 15 jelentkező esetén indítjuk.	
Európai hegesztés felügyelő - technológus (EWI-T), 33 napos		
Európai hegesztés felügyelő - specialista (EWI-S), 21 napos		
Európai kiemelt hegesztés - felügyelő (EWI-P), 15 napos		
BIZTONSÁGTECHNIKAI TANFOLYAMOK 2004-ben		
Alapfokú sugárvédelmi, 2 napos	A tanfolyamokat jún. 7-én indítjuk.	
Bővíthető fokozott sugárvédelmi, 3 napos		
Sugárvédelmi továbbképző: alap (2 napos), ill. bővíthető (3 napos)		
NYOMÁSTARTÓ- ÉS TARTÁLYTECHNIKAI TANFOLYAMOK 2004-ben		
Nyomástartóedény-gépész, OKJ 32 5252 04; 28 napos	15 jelentkező esetén	
EGYÉB TANFOLYAMOK 2004-ben		
Környezetvédelmi szakelőadó, OKJ 53 5470 03; 40 napos	15 jelentkező esetén	
Emelőgép-üzemeltető, OKJ 53 5483 01; 10 napos		
Értékesítési menedzser, 10 napos		
AKTUÁLIS ÚJDONSÁGAINK 2004-ben		
Anyagvizsgáló továbbképzés: Digitális analízis a metalográfiában, 1 napos, 10 jelentkező esetén		
HŐKEZELÉSI ISMERETEK		
Továbbképzés	Fémfizikai alapok ("A modul") 3 napos	10 jelentkező esetén
	Hőkezelés-technológia ("B modul") 4 napos	
	Minőség-ellenőrzés, -irányítás ("C modul") 3napos	
	A+B+C modul együtt 10 napos	
Korszerű hőkezelési technológiák		
Hőkezelés a gyártástechnológiában ("A modul") 3 napos		
Korszerű hőkezelés-technológiák ("B modul") 4 napos		
EU csatlakozás és a hőkezelés ("C modul") 1 napos		
A+B+C modul együtt 8 napos		
SPECIÁLIS KÉPZÉS cégek részére, kihelyezett formában: Autóipari mérések s minősítéses vizsgálatok		
Aktuális rendezvényeinkről tájékozódhat honlapunkról is: http://www.agmi.hu		
RENDEZVÉNYEK		
Leírásműfűgű		
Képzéseinket megfelelő létszám esetén indítjuk. Amennyiben egy képzésre a jelentkezők száma a minimális (10 fő) vagy a megjelölt létszámot meghaladja a tanfolyam díjából minden megrendelőnk részére árengedményt adunk.		
A tanfolyamok helye: AGMI Rt. Anyagvizsgáló Épület (1211 Budapest, Gyepor u. 1.)		
Szállás és étkezés: igény szerinti biztosítunk		
Szakmai előadások: Képzéseink az OKÉV által nyilvántartásba kerültek, így a tanfolyami költség elszámolása kérelmezhető a szakképzési hozzájárulás terhére.		
KIHELYEZETT TANFOLYAMOK, KÉPZÉSEK, RENDEZVÉNYEK SZERVEZÉSE.		
Részletes tájékoztatás: AGMI Rt. Oktatásszervezési Osztály (1751 Budapest, Pf. 14.)		
Tel.: (06-1) 425-0761, (06-1) 278-0755 Fax: (06-1) 278-0756 Honlap: http://www.agmi.hu		
E-mail: agmin@axelero.hu Czudarné Mikos Erzsébet osztályvezető		

Hazai rendezvények 2004-ben

Június 23-25., Országos karbantartási és munkabiztonsági konferencia szakmai bemutatóval (OKAMBIK), Nyíregyháza. Témakörök: karbantartás, stratégia, kockázatalapú, minőségirányítás, megbízhatóság, líbrológia, kenés-technika, korrózió- és környezetvédelem, termelésbiztonság, gazdálkodás, logisztika, munkavédelem, munkabiztonság, integráció, jogharmonizáció. Részletes tájékoztatás olvasható a www.szmge.freeweb.hu honlapon. Szervezők: a GTE Karbantartási Szakosztálya és a Magyar Karbantartók Szövetsége. Felvilágosítás adnak: dr. Solyomvári Károly, tel.: (1)-463-1931; e-posta: solyom@kgit.bme.hu; és Szabó Jenő tel./fax: (42)-406-925, e-posta: szmgle@freemail.hu.

Augusztus 23-26., XI. Nemzetközi hegesztési konferencia, – a néhai Prof. Dr. Konkoly Tibor emlékére –, Budapest. **Mottó:** „Hegesztés az európai csatlakozás után”. A GTE Hegesztési és Anyagvizsgáló Szakosztályai, a Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgáló Egyesülés (MHTE), a Deutscher Verband (DVS), a Schweizer und Verwandte Verfahren (DVS) és a Budapesti Műszaki Főiskola (BMF) közös rendezvénye. **Témakörök:** új szemlélet a hegesztett szerkezetek gyártása terén, az EU előírásai alkalmazásának tapasztalatai; anyagok és vizsgálatok; a hegesztés és a roncsolásmentes anyagvizsgáló személyzet képzése, képzése, minősítése, a hegesztés munkavédelme, ergonómia és harmonizációja; nemzetközi workshop a harmonizált tanúsítási rendszerekről. **Részvételi díj** teljes/GTE és MHTE tagoknak/diákoknak: 65 000 / 60 000 / 40 000 Ft + áfa. **Részletes információk** a www.bmf.hu/hegkonf honlapon olvasható. A szervezőbizottság címe: BMF Rektori Hivatal, 1034 Budapest, Doberdó út 6. Tel.: (1) 453-4143, fax: (1) 453-4149, e-mail: gati@bmf.hu.

Nemzetközi rendezvények 2004-ben

Int. Conf. on Experimental Mechanics, ICEM 12., augusztus 29. – szeptember 4., Bari, Olaszország. Jelenkezés a <http://www.icem12.poliba.it> honlapon keresztül, vagy dr. Borbás Lajosnál: borb@kgqe.bme.hu.

7th ICBMFF – 7th Int. Conf. on Biaxial/Multiaxial Fatigue & Fracture, 2004. június 28-30., Berlin, a BAM intézet kongresszusi központjában. Szervezők: ESIS és DVM. Témakörök: terhelés, törésmechanika, anyagok és vizsgálatok, alkalmazások. Kiállítás is szervezőknek. Az angol nyelvű előadáskivonatokat a szervezőkhöz küldjék: DVM Mrs. Ingrid Maslinski, Unter den Eichen 87, D-12205 Berlin, Tel.: +49-30-811 30 66, Fax: +49-30-811 93 59, e-mail: office@dvm-berlin.de vagy icbmff@bam.de; home page: www.dvm-berlin.de.

16th World Conf. on Non-Destructive Testing, 2004. augusztus 30. – szeptember 3., Montréal, Kanada. A konferencia ilkörsága: Events International Meeting Planners Inc., 759 Square Victoria, Suite 300, Montréal, Québec, Canada H2Y 217., tel.: +1(514)286-0855; fax: +1(514)286-0866; e-mail: info@eventsintl.com; website: www.wcndt2004.com.



OKTATÁS ÉS RENDEZVÉNY SZERVEZŐ, ADATSZOLGÁLTATÓ ÉS KIADVÁNYGONDOZÓ BT.

Kamarai azonosító: 345597; Regisztrációs szám: 07-0290-02
1752 Budapest, Pf.101 • Tel.: 402-4098 • Fax: 402-4099
Mobil: 06-20-958-2659 • E-mail: orszak@axelero.hu

Az ÉMI-TÜV Bayern Kft. által MS 00124-056 számon MSZ EN ISO 9001:2001 szerinti tanúsított képző intézmény.

Az ORSZAK BT. a 2004. évi, 2005. tavaszi időszakban roncsolásmentes anyagvizsgáló (RmAv) tanfolyamokat szervez az eljárások széles skáláján, és egyszerre nyújtja mind az 50/1999. (IX.10.) GM. rendeletben előírt OKJ-s bizonyítványt, mind az EU-ban elismert MSZ EN 473 szabvány szerinti tanúsítványt. Az RmAv tanfolyamok alapozó tárgyai – anyagvizsgáló, anyag- és gyártásmérnök – előzetesen kell elsajátítani az alapozó tanfolyamokon, illetve a mentességet adó szakirányú felsőfokú végzettséget, vagy az érvényes anyagvizsgáló képesítést a bizonyítvány fénymásolatával igazolni kell. Tanfolyamaink hallgatói nyomtatott jegyzeteket, az érvényes szabványok listáját, valamint ebédet kapnak a szorgalmi időszakban. Kérésre szállást is biztosítunk félpanzióval (kétágyas, fürdőszobás szoba, reggeli, vacsora).

Segítségét adunk az MSZ EN 473:2001 szabvány szerinti csoportosításban a termék szektorok (c, f, w, wp, t...) és a belőlük lelépülő ipari szektorok megválasztásához, tájékoztatunk az 1. és 2. szintű roncsolásmentes anyagvizsgáló tanfolyamra való jelentkezés feltételeiről (alapozó tanfolyam, orvosi alkalmaság, alapképzéssel, gyakorlati idő, felmentések). Kivánságra jelenléti lapot és a tanfolyamok részletes programját elküldjük faxon vagy e-mailben.

Lehetőséget adunk a 9/2001. (IV. 5.) GM rendelet (27/92/EK direktíva) 6. melléklet 3.1.3 pontja szerinti kiemelt szakképzés megszerzésére. Ezek az ún. PED-tanfolyamok az MPV-tanfolyamok második hetében végezhetők el!

Célunk, hogy tanfolyamaink hallgatói jól elsajátítsák az adott eljárás elméletét és gyakorlati fortélyait. Ennek érdekében tanfolyamainkon 3. vagy 2. szintű képesítéssel és nagy gyakorlati rendelkező előadók oktatnak, a gyakorlati foglalkozások MSZ EN ISO/IEC 17025 szerinti akkreditált vizsgáló laboratóriumokban folynak. A tanfolyamok legeredményesebb hallgatóit hasznos anyagvizsgáló eszközöket tartalmazó csomaggal ajándékozunk meg.

AZ Rm ANYAGVIZSGÁLÓ TANFOLYAMAINK PROGRAMJA

A tanfolyam- és vizsgaköltség a szakképzési hozzájárulás terhére elszámolható!

Alapozó tanfolyam az 1. szinthez: szept. 6-7. és jan. 10-11.

Alapozó tanfolyam a 2. szinthez: okt. 25-26. és febr. 21-22.

Tömörsegvizsgáló LT-1: okt. 11-22., vizsga: okt. 21-22. és febr. 21. – márc. 3., gyakorlati vizsga márc. 3.

Tömörsegvizsgáló LT-2: okt. 11-22., vizsga: okt. 21-22.

Tömörsegvizsgáló kondicionáló tanfolyam: febr. 1-4.

Rezgéselemző VAT-1, az SKF Rt-vel közösen okt. 11-22., vizsga okt. 21-22.; és jan. 24-26., gyakorlati vizsga jan. 27.

Rezgéselemző VAT-2, az SKF Rt-vel közösen okt. 11-22., vizsga: nov. 18-19.; és ápr. 11-21., gyakorlati vizsga: ápr. 21.

Mágnesezhető poros MT-1: szept. 8-10., gyakorlati vizsga: szept. 23.; és jan. 12-14., gyakorlati vizsga jan. 27.

Folyadékbehatolásos PT-1: szept. 13-15., gyakorlati vizsga szept. 23.; és jan. 17-19., gyakorlati vizsga jan. 27.

Vizuális VT-1: szept. 20-22., gyakorlati vizsga szept. 23., és jan. 24-26., gyakorlati vizsga jan. 27.

Ultraszagos UT-1 (Kraukrämer, Sonatest, Panametrics): szept. 27 – okt. 14., gyakorlati vizsga okt. 14.; és jan. 31. – febr. 17., gyakorlati vizsga febr. 17.

Mágnesezhető poros MT-2: okt. 27-29., gyakorlati vizsga nov. 12.; és febr. 23-25., gyakorlati vizsga márc. 10.

Folyadékbehatolásos PT-2: nov. 2-4., gyakorlati vizsga nov. 12.; és febr. 28. – márc. 2., gyakorlati vizsga márc. 10.

Vizuális VT-2: nov. 9-11., gyakorlati vizsga nov. 12.; és márc. 7-9., gyakorlati vizsga: márc. 10.

PED-tanfolyam + vizsga: szept. 17., nov. 5. és dec. 29.; ill. jan. 21., márc. 4., és ápr. 18.

Ultraszagos UT-2 (Kraukrämer, Sonatest, Panametrics): nov. 15-25., gyakorlati vizsga nov. 25.; és márc. 16-25., gyakorlati vizsga: márc. 25.

Akusztikus emissziós AET-2 újraindító: ápr. 4-16., vizsga ápr. 15-16.

Kondicionáló tanfolyamok: MT-2, PT-2, VT-2 nov. 30-dec. 3. (jelenkezés nov. 11-ig), UT-2 dec. 7-10. (jelenkezés nov. 21-ig) és RT-2 bővíthető sugárvédelmi ismerettel jan. 10-14. (jelenkezés dec. 19-ig). A 16/2000. (VI.8.) EüM rendelet szerinti bővíthető sugárvédelmi tanfolyam és vizsga magában is teljesíthető!

A tanfolyamok helyszíne: Dunaföldvár, Hídőrző Panzió (panzió, káfé, zuhanyzó, kádfelújítás elhelyezése). A kondicionáló tanfolyamokat az 1999-ben 2. szintű vizsgát tett kollégáknak ajánljuk. A foglalkozásokon felrészlünk a szakma alapjait, ismerjük az elmúlt években megjelent szabványokat, (MSZ EN, MSZ EN ISO...) és az új vizsgálati eljárásokat, vizsgáldányokat, -eszközöket és -készülékeket. Segítségét nyújtunk a tanúsítványaink meghosszabbításához.

Legalább 6 fő jelentkezése esetén induló tanfolyamok: Színképelemző SPT-1, SPT-2 (acél, színeslém); Akusztikus emissziós AET-1, AET-2 és Orvénváramos ET-1, ET2 szakokon.

Vállalatok, társaságok részére kihelyezett tanfolyamokat, speciális igényeket kielégítő képzési formákat is szervezünk – nemcsak anyagvizsgálóknak! – hanem: tartályvizsgáló, nyomástartó berendezést vizsgáló, minőségellenőrző, minőségbiztosítási felülvizsgáló és tanúsító, kisgép-, könnyűgép- és nehézgép-kezelő szakokon.

Tanfolyamainkál évről-évre azonos időszakkban szervezzük, kurzusaink már 5-6 jelentkező esetén is elindulnak, ezért velünk évekre előre tervezhet!

Küldjön egy névjegykártyát, és kérje részletes ismertető füzetünket!

Forduljon hozzánk bizalommal!

Szűcs Pál

Dénes Gábor

26th European Conf. on Acoustic Emission, 2004. szept. 15 – 17., Berlin, Németország. Részletek a www.dgplp.de honlapon olvashatók.

21. Danubia-Adria Symposium – kísérleti mechanika, szeptember 29. – október 2., Brilon/Pula, Horvátország.

Az előadás leadási határideje a www.studiohrg.hr/21danubia-adria honlapon megadott követelmények szerint: 2004. április 15. Jelenkezés: dr. Thamm Frigyes: thamm@mm.bme.hu, vagy dr. Borbás Lajos: borb@kgqe.bme.hu.

21th symposium on experimental mechanics of solids, október 13-16., Jachranka (Varsóhoz közel), Lengyelország. Előzetes jelentkezés előadással és/vagy kiállítással 2004. január 31-ig a szervezőbizottság címen: Pawel Pyranowski, Ph.D., Institute of Aeronautics and Applied Mechanics Warszawa University of Technology, Nowowiejska 24, 00-665 Warszawa, Poland

Az **INSTRON**



új, 8870 szervohidraulikus vizsgálórendszere



Gépeivel szakszerűen végezhet
biomechanikai vizsgálatokat
in vivo feltételeket szimuláló
környezetben

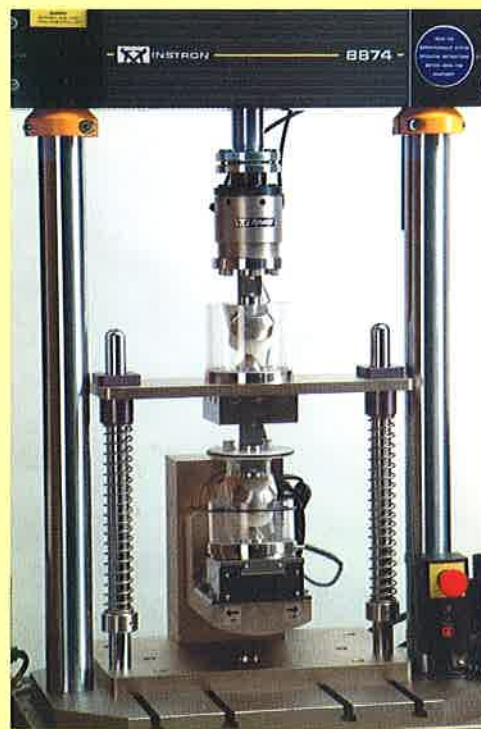
esély a teljes életre

bőrszövet vizsgálata
sóoldatban



térdprotézis
vizsgálata
háromtengelyű
igénybevétellel

két vizsgálóhelyes
kopásvizsgálat
csípőprotézisen



Forgalmazza:

TESTOR

www.testor.hu

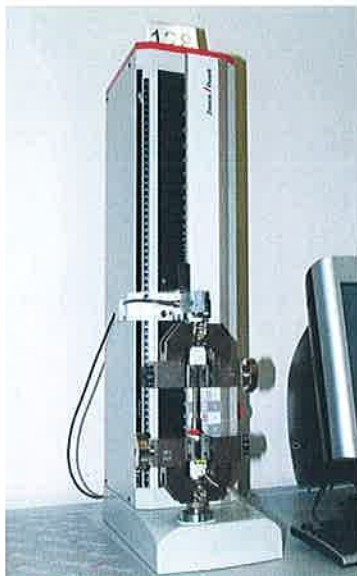
06 (1)
06 (30)

319 1 319



Zwick / Roell

Van egyszerû...



Van olcsó...



Van professzionális...



Van teljesen egyedi...



*Anyagvizsgálat, ahogy
Ön szereti...*

Forgalmazás, márkaszerviz, szaktanácsadás:

Senselektro Kft.

1064 Budapest,
Vörösmarty u. 33.

Tel. (36-1) 351-43-17; Tel./fax: (36-1) 342-79-82;

Email: senselektro@interware.hu

Honlap: www.nexus.hu/senselektro

Senselektro Kft.