

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

2006/III. lapszám

MAGYAR RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI SZÖVETSÉG



MAROVISZ

*V. Roncsolásmentes
Anyagvizsgáló Konferencia
és Kiállítás*

2007. március 6–9.

EGER
HOTEL FLÓRA****

A rendezvény mottója:

*„Roncsolásmentes vizsgálat a biztonság, megbízhatóság és
kockázat értékelésének a szolgálatában”*

A jövőben a MAROVISZ kiadásában megjelenő

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

válogatást fog közölni a konferenciánkon elhangzottakból

BESZÁMOLÓK - REPORTS

- LEHOFER Kornél** 74
3. AGY - Anyagvizsgálat a Gyakorlatban szeminárium
3rd AGY - Seminar about the material testing in practice

ANYAGSZERKEZET-VIZSGÁLATOK - TESTING OF MATERIAL STRUCTURE

- SZABÓ Péter János** 82
A visszaszórt elektron-diffrakció alkalmazása az anyagvizsgálatban
Application of the electron backscatter diffraction in material testing

RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLAT - NON-DESTRUCTIVE MATERIAL TESTING

- RITTINGER János** 90
A roncsolásmentes anyagvizsgálat helye és szerepe a termék-megfelelőség tanúsításában és a hegesztett szerkezetek üzemeltetésre való alkalmasságának megítélésében
Place and role of the NDT in certification of the product-suitability and in assessment to the fitness for service of the welded structures

- SZÚCS Pál** 95
Az akusztikus emissziós vizsgálat megbízható végrehajtásának szempontjai
Reliable performance's standpoints of the acoustic emission testing

- BÁNKI Attila** 98
Pipe Scan ultrahangos csővizsgáló berendezés alkalmazása a Paksi Atomerőműben
Application of the Pipe Scan ultrasonic pipe-tester in Paks NPP

BIOMECHANIKA - BIOMECHANICS

- Brigitta K. TÓTH, Imre BOJTÁR, Gábor RAFFAI** 104
Humán agyi aneurysmák biomechanikai tulajdonságainak és szilárdságtani paramétereinek meghatározása
Biomechanical properties and analysis of the mechanical parameters of human cerebral aneurysms

MŰSZERES ANALITIKA - ANALYSIS WITH INSTRUMENT

- BERLINGER Balázs, NÁRAY Miklós, PALLÓSI József, ZÁRAY Gyula** 111
Hegesztési füstök kémiai analízise
Chemical analysis of welding fumes

SZABVÁNYOSÍTÁS - STANDARDISATION

- Új, hazai és nemzetközi szabványok** 119

3. AGY – Anyagvizsgálat a Gyakorlatban szeminárium

Előzmények

A szakmai szeminárium már műszaki közéletünk hagyományos rendezvényének tekinthető. Szervezői a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanika Technológia és Anyagszerkezeti Tanszékén egykor végzett anyagvizsgáló szakmérnökök által 2002-ben alapított civil szervezte, az Anyagvizsgáló Szakmérnöki Kör, rövid nevén AVI-SZAK. A szervezők nevében *Somogyi György* köszöntötte az immár harmadízben, ez alkalommal Tengelicen, 2006. június 1. és 2. között megrendezett szeminárium több mint 100 résztvevőjét. Rövid visszatekintésében felidézte a kezdeteket. Az AVI-SZAK alapításának évében, az 1982-ben végzetek 20. éves évfolyam-találkozója alkalmából megszervezett első, győri rendezvényük résztvevői határoztak a folytatásról, felismerve a szakmai tapasztalatcsere, a kapcsolattartás és az anyagvizsgálathoz kötődő (és, örömeinkre, AGY-ról AGY-ra növekvő számban résztvevő) fiatalok bemutatkozásának a jelentőségét. A 2. AGY helyszíne Dobogókő volt 2004-ben. A helyszínválasztást a szemináriumok záróeseménye, az üzemlátogatás is motiválja. A szeminárium résztvevői Győrben az Audi üzemében, legutóbb a Suzuki esztergomi gyárában ismerhették meg a magas színvonalú minőségbiztosítási rendszert, idén pedig a Paksi Atomerőműbe látogatva a korszerű vizsgálóeszközökkel jól felszerelt állapotellenőrzési rendszerről tájékozódhattak, kiegészítve az előadásokon hallottakat. A szemináriumon elhangzottakról a CD-kiadványt is felhasználva számolunk be.

(Az előadások megtekinthetők a www.avi-szak.hu weblapon).

Az alapcélok szem előtt tartásával, a 3. AGY tematikája (a mintegy 20–20 orális és poszter előadás) hangsúlyozottan foglalkozott az erőművek biztonságos üzemeltetéséhez, a járműgyártás acéljaihoz és műanyagbázisú kompozit-anyagaihoz kapcsolódó anyagvizsgálatokkal. De, a hagyományoknak megfelelően, a nyitóelőadás témája az anyagszerkezet megismerését segítő, de ma még leginkább az alaputatást szolgáló módszerek és technikák ismertetése volt.

1. ábra. A CoO rekonstruált 3D képe

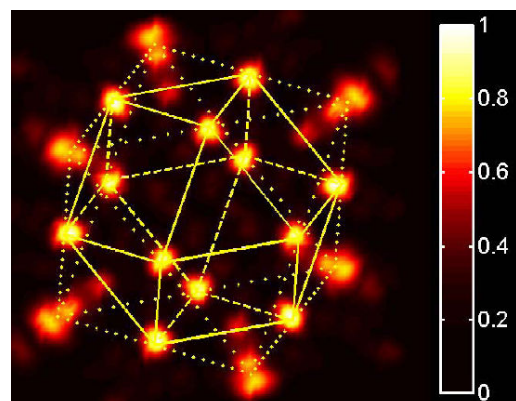
Fig. 1: Reconstructed 3D picture of the CoO

(M. Tegze, G. Faigel, S. Marchesini, M. Belakhovsky, and A. I. Chumakov: *Phys. Rev. Lett.* 82 (1999) 4847)

Anyagszerkezet-vizsgálatok

Ez alkalommal a felkért előadó, *Faigel Gyula*, az MTA levelező tagja (MTA SZKFI), ismertette a röntgensugárzás alkalmazásának új módszereit és szerepüket az atomi szintű anyagszerkezet megismerésében. Ismert, hogy magáért a sugárzás felfedezéséért és az atomokból, szerves és szervetlen molekulákból felépülő különféle kristályos anyagok szerkezetének meghatározásáért eddig 11 Nobel-díjat ítéltek oda! Ám a ma már jól ismert, külső sugárforrást használó röntgen-diffrakciós módszerek alkalmazásakor „csak” a sugárzás hullámhosszára visszavezethető információ hasznosul és elvész annak a fázisváltozásból nyerhető része. Ezért indirekt módszereket dolgoztak ki, amelyek a valószínűségi kristályszerkezetet szimuláló modellekkel nyert diffrakciós képeket hasonlítják össze a valóssal. Mindazonáltal ezekkel a módszerekkel jelentős eredményeket értek és érnek el!

Az anyagszerkezet megismeréséhez új lehetőségeket kínáló röntgen szerkezetvizsgáló módszerekhez a technika fejlesztésére is szükség van. A nagy értékű berendezés, a szinkrotron, mint új röntgen sugárforrás, a hagyományos röntgen generátorhoz képest lényegesen előnyösebb jellemzői révén (1. táblázat) – igaz helyhez kötve (pl. a CERN-ben) – új módszerek bevezetését teszi lehetővé, hazánk kutatói számára is – hangsúlyozta az előadó. Többek között a kutatótársaival együtt kifejlesztett *atomi felbontású röntgen holográfia* alkalmazását. (A megoldásig vezető gondolatokról és az eljárás eredményeiről lapunkban is beszámoltak: 2001/1., pp. 3–5.) Eljárásuk lényege: valamely kristályos anyagban lévő és leképezni kívánt minőségű atomokat külső forrásból (szinkrotronból) kibocsátott röntgensugárral gerjesztik és az általuk (belső, atomi méretű forrásból!) kibocsátott fluoreszcens röntgensugárzást használják a holografikus leképezéshez. Ez egy összetett ábra, hiszen valamennyi forrásatom, egyébként azonos hologramjának az összessége, de amelyből a 3D atomi rend rekonstruálható. Erre mutat példát az 1. ábra, amelyen a CoO rekonstruált 3D képe látható.



1. táblázat. Sugárforrások összehasonlítása

Table 1: Comparison of the synchrotron- and X-ray

Jellemzők	Szinkrotronsugárzás	Hagyományos röntgen generátor
Időben	impulzusszerű (100 ns, 1 ns)	folytonos
Térben	irányított	mindenfelé sugároz
Polarizáció	lineáris (szabályozható)	polarizálatlan
Intenzitás	nagy	kicsi
Fényesség	nagyon nagy: 10^{12} - 10^{18}	kicsi: 10^8

A szinkrotronsugárzással – természetesen – számos eddig nem, vagy csak nagyon körülményesen vizsgálható feladat is megoldható. Köszönhetően a nagyon rövid időtartamú és nagy intenzitású röntgensugárzásnak, többek között vizsgálható a kristályos anyagok szerkezete az állapottényezők (nyomás- és hőmérsékletváltozás) függvényében (pl. a fázisátalakulás folyamata), vagy a légekört szennyező szilárd aeroszol szemcsék, a kvázi kristályok és a kristályos hordozóra (szubsztrátumra) növesztett különböző, ultravékony rétegek szerkezete. Például az üreszközök korrózióvédelmében, de a memória chipek alkotójaként, illetve aktív katalitikus anyagként is ismert, a NiAl (110) síkjára növesztett, ultravékony Al_2O_3 réteg szerkezete.

Idén kezdik építeni, a Stanford-i, 50 GeV-os lineáris gyorsítóra telepítve, azt a szabad elektron lézert (LCLS – Linac Coherent Light Source), amelynek, mint röntgen sugárforrásnak, a még fényesebb ($\sim 10^{25}$), intenzívebb és 100 fs röntgenimpulzusaival tovább bővíthető lesz a röntgensugaras anyagszerkezet-vizsgálatok köre. Az első kísérletekre, várhatóan, 2008-ban kerülhet sor. Vizsgálhatók lesznek az atomi, illetve molekuláris szintű folyamatok részletei a ps – fs időskálán; az egyedi atomfürtök szerkezete 1000 atomos nagyságrendben, Végezhetőek lesznek különféle, a kvantummechanika alapjait érintő mérések, és még sok olyasmi, amit előre nem is tudunk.

Az anyagszerkezet-vizsgálati témakörbe még további előadások sorolhatók. A BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék munkatársai közül Szabó Péter János a visszaszórt elektron-diffrakció viszonylag nagy vizsgálati sebességgel elvégezhető és kvantitativ kristály- és fázisjellemzőket szolgáltató módszerét ismertette. Előadását önálló cikként közöljük. Mészáros István pedig poszterén mutatta be az ún. rezgőmérés magnetométer (VSM – Vibrating Sample Magnetometer) mérési elvét, és alkalmazásának lehetőségeit a telítési mágnesezettség mérésére (a ferromágneses fázisarány meghatározására, fer-

rit etalonok készítésére, ill. hitelesítésére); a lágy, ill. kemény mágnesek mágnesezési görbéjének felvételére; a paramágneses anyagok szuszceptibilitásának, valamint az indukált anizotrópia mérésére.

Ugyancsak kvantitativ értékelhető a vas- és fémötvözetek szövetszerkezete, ha a színes metallográfiai maratási módszereket kombináljuk a korszerű képelemzőkkel. Erre hívták fel a figyelmet Kardos Ibo-ly (Dunaferr Zrt.) és Gácsi Zoltán (Miskolci Egyetem) közös előadásukkal, amelyet gazdagon illusztráltak a lemez- és gömbsztráfos öntöttvasak, a Duplex- és Hadfield-acélok, az Al-Si-Mg, az Al-bronz és a sárgaréz (Cu-Zn) ötvözetek színesre maratott szöveteikkel. Csali Kovács Krisztina pedig a metallográfiai módszerrel meghatározott szemnagyság értékét befolyásoló tényezőket elemezve bemutatta előadásában, hogy az eredményt leginkább a mintavétel helye, a maratás időtartama és a vizsgáló személy gyakorlottsága befolyásolja.

Az acélok nemfémes zárványtartalmának csökkentése elsőrendű minőségi követelmény. Ez leghatásosabban a folyékony acél üstmetallurgiai kezelésével érhető el, melynek gyors és hatékony ellenőrzésére, az acéolvadék tisztaságának vizsgálatára módszert, validálásához vizsgálati rendszert dolgoztak ki a lemezgyártásban érdekelt Dunaferr munkatársai, melyről Takácsné Szabó Andrea és Pallósi József számoltak be előadásukban.

Az ún. PDA-OES – optikai emissziós spektrometria impulzus magasságválogató gorselemzési módszer kidolgozásához és validálásához a konverterből üstbe csapolt kezeletlen és kezelt folyékony acélból vett mintákon elvégezték hagyományos metallográfiai módszerekkel is a zárványvizsgálatokat, nevezetesen a radiográfiai felvétellel előzetesen ellenőrzött minták makroszkópos (az esetlegesen előforduló durva zárványokra), a számítógépes képelemzéssel kiegészített fémmikroszkópos és a pásztázó elektronmikroszkópos (esetenként mikroszondás

elemzéssel kiegészítve) vizsgálatokat. Az ARL 4460 spektrométerre kidolgozott és gyorslemezésként bevezetett PDA-OES módszer abban különbözik a hagyományos szikragerjesztéses módszertől, hogy 400 Hz frekvenciával végezve a szikráztatást minden egyes szikra után a gerjesztett atomokból válaszként érkező jeleket méri és az elemek közötti korrelációt felhasználva értékeli a speciális SparkDAT szoftverrel. A módszer gyorsasága lehetőséget ad az üstmetallurgiai kezelés befejezése előtt a szükség szerinti módosításra és ezáltal a tisztább acél gyártásának esélye jelentősen megnő.

Járműipar – Anyagvizsgálat

A járműgyártási környezetben működő győri Széchenyi István Egyetem Anyagismeret és Járműgyártási Osztály anyagvizsgáló laboratóriuma a járműkarosszériák finomlemez anyagainak minősítő vizsgálataira rendezkedett be. *Czinege Imre* és *Kardos Ká-*

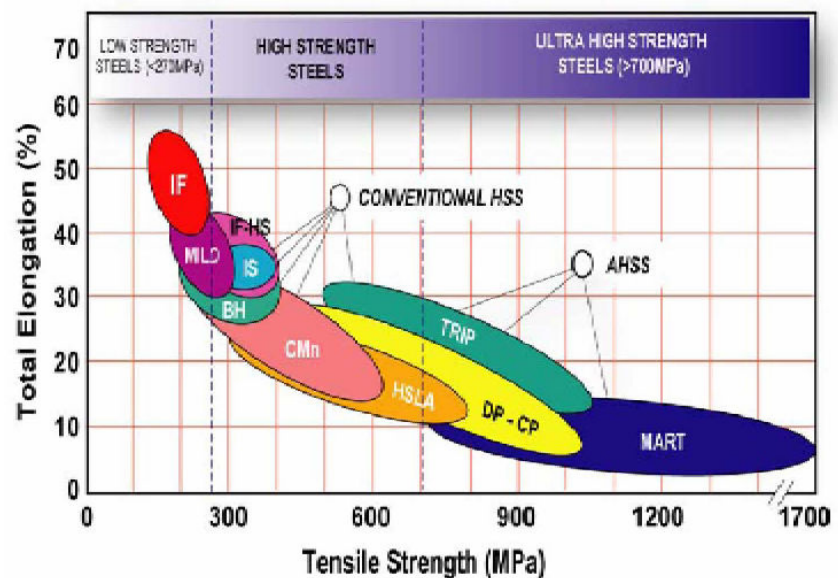
roly: Autókarosszéria lemezek anyagai és minősítésük című előadásából áttekintést kaptunk (az ún. banán-diagram révén, 2. ábra) a járműszerkezeti elemek igénybevételének és gyárthatóságának egyaránt legjobban megfelelő acéllemez minőségekről: a kis szilárdságú, jól alakítható, szénszegény, gyakorlatilag ötvözetlen, Al-mal és Ti-nál mikroötvözött, öregedés-álló IF minőségjelűtől, az ún. sütvé keményedő BH minőségen és a különböző dual fázisú (DP), illetve háromfázisú (ferrit, bénit, maradék ausztenit szövet-szerkezetű), TRIP jelű minőségeken át a nagy szilárdságú, martenzites MART jelű acélokig. A karosszériagyártásban alkalmazott anyagoknál a megmunkálhatósági jellemzők mérése egyenértékűvé vált az anyagtulajdonságok mérésével, amelyhez magas szintű szakmai ismeretekkel alkalmazott új, korszerű anyagvizsgálat-technika szükséges.

2. ábra. A speciális technológiával gyártott finomlemez-minőségek nyúlás–szilárdság diagramja

Fig. 2: Strain–strength diagram of the precision sheets produced by special technology

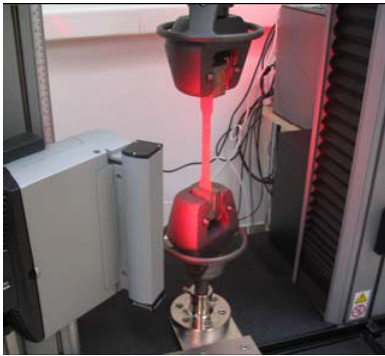
Forrás/source:

AHSS GuidelinesV23



Ezt bizonyította *Kirchfeld Mária* és *Böröcz Ágnes*: Bevonatolt karosszéria lemezek komplex minősítése című poszterük is. A 0,6 – 1,6 mm vastag, kis szilárdságú, jól alakítható, tűzi vagy galvanikus úton korrózióvédő cink, alumínium vagy Zn–Al bevonattal előkezelt finomlemez mechanikai jellemzőit: a folyáshatárt ($R_{p0,2}$, R_{eH}), a szakítószilárdságot (R_m), az egyenletes (A_g) és a szakadási (A_{80}) nyúlást az MSZ EN 10002, míg a felkeményedési kitevőt (n) az ISO 10275-2, illetve az anizotrópia (r) tényezőt az ISO 10113-3 szabványok előírásai szerint vizsgálják a korszerű Instron 5582 típusú, video-extenzométerrel és 100 kN-os erőmérőcellával szerelt vizsgálógéppel (3. ábra). A lemezanyag szövetszerkezetét, szem nagyságát hosszirányú csiszolaton, az ASTM szerinti összehasonlító vizsgálattal minősítik.

A határ-alakváltozási diagramot (FLC) Nakazima-módszerrel (ISO 10113-3) veszik fel és az ISO/WD 12004 szerint értékelik. A próbatesteket $d = 100$ mm-es átmérőjű, félgömb alakú húzóbéllyeggel az Intézet saját fejlesztésű, univerzális lemezvizsgálógépén alakítják. Az alakváltozási mezőt alakítás közben folyamatosan rögzíti és értékeli a lemezvizsgálóhoz csatolt mérőrendszer. Az ARAMIS felvevő és kiértékelő egység a német GOM cég gyártmánya. Az optikai rész, a fotogrammetria elvén működő két CCD-kamerás mérőfej. A képkiértékelő rendszer szoftverje meghatározza az alakváltozott felület pontjainak 3D-s koordinátáit. A mérési eredményeket kiértékelő programcsomag a számított főalakváltozás értékek alapján felrajzolja a határ-alakváltozási diagramot (4. ábra).



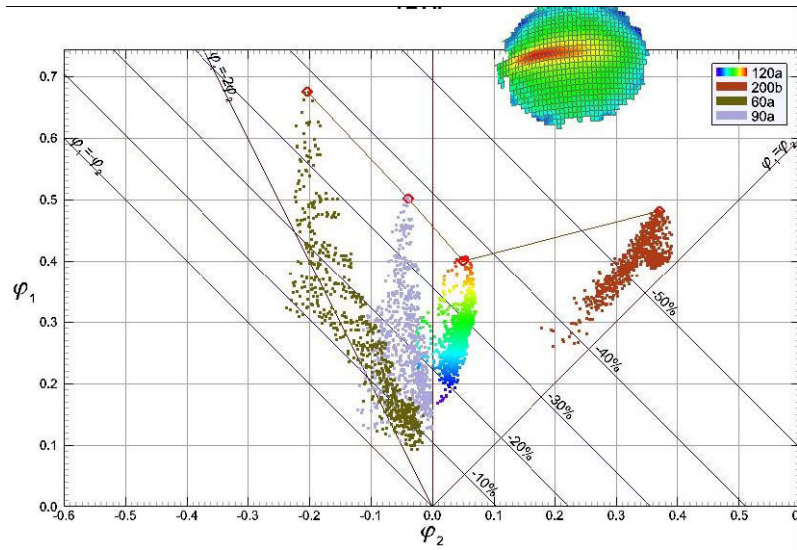
3. ábra. Finomlemez szakítóvizsgálata a video-extenzométerrel felszerelt Instron géppel

Fig. 3: Tensile test of a precision sheet by an Instron machine used video extensometer

A nagy szilárdságú TRIP acél Ar, (Ar+N) védőgázos TIG ívpontpont-hegesztéssel és ellenállás ponthegeztéssel készített kötéseit vizsgálták a hegesztési paraméterek függvényében a BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék és az AEF Anyagvizsgáló Laboratórium Kft. munkatársai. A hibamentes, megfelelő mechanikai tulajdonságú kötés technológiai feltételeinek megállapítására irányuló kísérleteiknek eddigi eredményeit Orosz Csaba mutatta be poszteren.

A győri egyetem Anyagismeret és Járműgyártási Osztálya eredményesen nyújt szolgáltatást a járműalkatrész-gyártóknak a minőségbiztosítási rendszerükkel kiszűrt hibás termékek vizsgálatával, a hibák okainak feltárással. Példaként Csizmazia Ferencné számolt be a SAPU BT. munkatársával, Ódor Zoltánnal közös poszterükben a Schefenacker cégcsoport mosonszolnoki üzemében fröccsöntött és festett műanyag alkatrészek (pl.: visszapillantó tükrök) 100%-os vizuális vizsgálattal kiszűrt darabjain végzett makro- és mikroszkópos vizsgálatokkal azonosított felületi hibák eredetéről (pl.: lakkhiány, ill. túlfolyás, gázhólyag, kráter, porszemcse- vagy egyéb szennyeződés-bezáródás). Vizsgálataik visszacsatolt eredménye nyomán hozott intézkedésekkel a selejt mértéke csökkenthető volt.

Járműalkatrészek anyagául növekvő mértékben választanak műanyag bázisú kompozitokat. A BME Polimer-technika Tanszéken folyó ez irányú kutatás-fejlesztés eredményeiről lapunk rendszeresen beszámol. Egyik törekvésük a drágább szén- és üvegszál erősítőanyagok helyettesítése bazaltszállal. A vulkáni eredetű kőzetből gyártott szál geometriáját és mechanikai tulajdonságait a szálgyártás technoló-



4. ábra. A DX56D + ZF 100 anyagminőség határ-alkváltozási diagramja (FLC)

Fig. 4: The FLC diagram of the DX56D + ZF 100 sheet quality

giája jelentősen befolyásolja. Az erre irányuló vizsgálatok eredményeit Deák Tamás mutatta be a Czigány Tibor tanszékvezetővel közösen összeállított poszteren. A textillel (pl. üvegpaplannal) erősített műanyag kompozit mechanikai tulajdonságát a textil pórusméretei is befolyásolják. Ezért a tanszék munkatársa Vas László Mihály és Gombos Zoltán doktorandusz, az Analysis képfeldolgozó rendszert felhasználva módszert dolgoztak ki az erősítő textíliák pórusméretének meghatározására. Eredményeiket ugyancsak poszteren mutatták be.

Állapotellenőrzés – Szerkezetek üzemeltetésre alkalmassága

Fémszerkezetek, például a nyomástartó rendszerek, az erőművek egyes elemei, üzemeltetésre alkalmassága szempontjából már a szilárdsági méretezésük fázisában szükség lehet anyaguk **kisciklusú fáradásbírásának** ellenőrzésére. Lapunk az erre irányuló hazai kutatások és vizsgálatok eredményeit, így a szemináriumon a BayLogi munkatársa, Rózsahegyi Péter által, Tóth László intézeti igazgatóval közös előadásban összefoglaltakat is már korábban közölte. De kísérleteik vizsgálattechnikai tanulságát ezúttal is kiemeljük, nevezetesen: mivel a kisciklusú fáradásvizsgálat során a törésig elnyelt energia függ a próbatest ún. referencia térfogatától, ezért vizsgálattechnikailag az átmérváltozással vezérelt, tóruszos próbatestek használata ajánlott.

Szerkezetek üzemeltetésre alkalmassága szempontjából ugyancsak fontos ismerni a szerkezet anyagának törésmechanikai jellemzőit, például a repedés terjedését a hőmérséklet és az igénybevétel

sebessége függvényében. Az anyag szívós–rideg átmeneti hőmérsékletének meghatározásához általánosan használt Charpy-féle ütve hajlító vizsgálat mellett – a nagy falvastagságú szerkezetekre tekintettel – célszerű az anyag viselkedését tanulmányozni nagyméretű (az MSZ EN 10274 szerint: 76×305 mm), éles (0,01 – 0,04 mm sugarú), V bemetszésű próbatestek ütve hajlító vizsgálatával. Ehhez, a célnak megfelelően tervezett és kivitelezett, számítógépes vezérlő, mérő és értékelő rendszerrel felszerelt, **ejtősúlyos vizsgálóberendezés** (DWTT – drop weight tear tester) szükséges. Egy ilyen vizsgálóberendezés létesítéséről, vizsgálati kapacitásáról és alkalmazásának első eredményeiről számolt be *Fodor István*, a Dunaferri Qualitest Lab Kft. munkatársa. Berendezésük ejtősúlya 25 mm-es sugarú csúcsban végződik, tömege: 145 kg, és az indítomagasságtól függően a végsebessége: 5–10 m/s. A vizsgálat hőmérséklete, a berendezés hűtőjét használva, környezetire és annál kisebb értékekre választható. A próbatest töretfelületéről digitális fénykép készül, melyet egy területmérő szoftverrel értékelnek megállapítva a szívós töret-résznek a teljes töretfelülethez viszonyított arányát.

A roncsolásmentes vizsgálati módszerek rendszerbe szervezett alkalmazása nélkülözhetetlen a szerkezetek üzemeltetésre alkalmasságának megítéléséhez. Erről és a hazai helyzetről adott, a vonatkozó szabványok figyelembevételével, átfogó képet *Rittinger János*: A roncsolásmentes vizsgálat helye és szerepe a termék-megfelelőség tanúsításában és a hegesztett szerkezetek üzemeltetésre való alkalmasságának megítélésében című előadásában, melyet önálló cikként közlünk lapunkban.

Az atomerőművek reaktortartályainak biztonságos üzemeltetésre alkalmasságának eljárásrendjét világszerte kitüntetett figyelem kíséri. Ez a témakör a szemináriumon is hangsúlyt kapott.

Trampus Péter előadásában a gyártási eredetű folytonossági hiányok szerepét elemezte a reaktortartályok biztonsága szempontjából.

A reaktortartály biztonsága alapvetően a rideg töréssel szembeni biztonság, amelyet befolyásolnak az átmeneti üzemmódok (a nyomás alatti hő sokk [PTS – pressurized thermal shock], az indítás és a leállítás), a szerkezeti acél sugárkárosodása, ridegedése (a szívós–rideg átmeneti hőmérséklet pozitív irányú eltolódása) és egyéb mechanikai tulajdonságváltozásai, a repedés(jellegű) hibák jelenléte és mindezekkel az igénybevétel okozta hőmérséklet- és feszültségmezők. A tartály biztonsága megítélésének összetettségét jól szemlélteti az 5. ábra.

A tartály épségének (integritásának) elemzéséhez általában a **determinisztikus módszert** alkalmazzák, azaz a tartályban feltételezett vagy vizsgálati kimutatott valamennyi folytonossági hiányra fenn

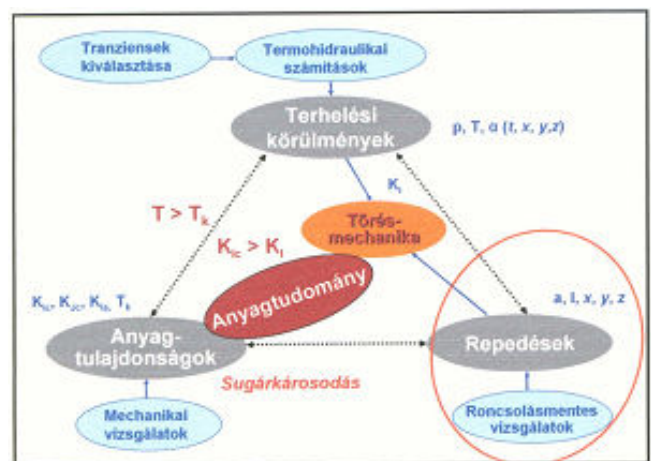
kell álljon a tartály anyagának K_{Ic} kritikus feszültségintenzitási tényezőjéhez viszonyított egyenlőtlenség:

$$n_K K_I \{a_{felt}, \sigma(T)\} \leq K_{Ic} \{T_k, T\}$$

Ahhoz, hogy a tartály épségét a **valószínűségi módszerrel** elemezhesük, hogy a valószínűségi törésmechanikai számításokat elvégezhesük, ismernünk kell az üzemviteli események (pl.: PTS, indulás, leállítás) gyakoriságát és a gyártási eredetű anyaghiányok eloszlását, továbbá egy feltételes (a zóna károsodásával egyenértékű) tartály-meghibásodás (átmenő repedés) gyakoriságát (a CCDF értékét). Ennek elfogadható értéke: $CCDF < 5 \cdot 10^{-6}$

Tapasztalatok szerint a legnagyobb bizonytalanságot a gyártási eredetű anyaghiányok előfordulásának, nagyságának és helyzetének a gyakorisága okozza, ezért a korábban csak feltételezett eloszlásokat kísérletekkel ellenőrizték úgy, hogy néhány tartálygyártó különböző típusú, körvarrattal, illetve kör- és hosszvarrattal hegesztett, években kifejezve eltérő időpontban gyártott termékeiből kiválasztott tartályokat alapos roncsolásmentes, majd roncsolásos hibavizsgálatnak vetettek alá kitüntetett figyelemmel a hegesztett kötésekre. A kiterjedt vizsgálat eredménye így összegezhető:

A több mint 7000 ultrahangos, repedés jellegű hibaindikáció 97%-ának falvastagság irányú mérete (a) kisebb volt 3,5 mm-nél, és a nagy többségük a hegesztésnél, az összeolvadási felület környezetében beágyazottan (a feltételezéssel ellentétben nem a felületre nyitottan) fordult elő. A legnagyobb, $a > 7$ mm, méretű hibákat a javítási helyeken találták. A hibák előfordulási sűrűsége a korábban feltételezethetnél nagyobb, de a különböző gyártók termékei hasonlítottak egymásra, kivéve a nagyon eltérő időpontban gyártott tartályokat.

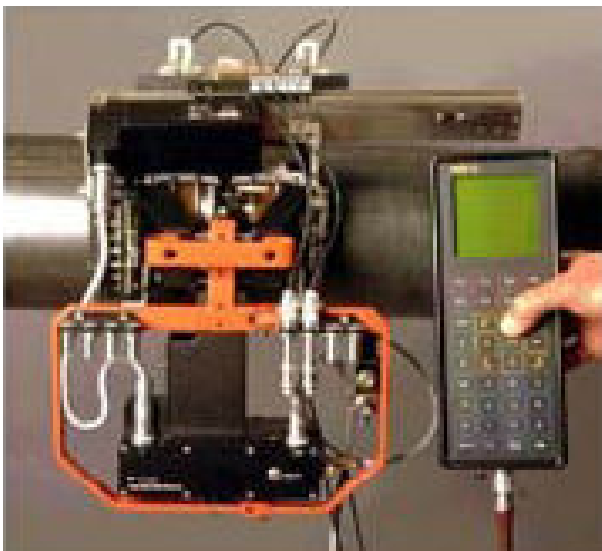


5. ábra. A reaktortartály biztonsága megítélésének tényezői, módszerei

Fig. 5: Factors and methods for assessment of the reactor vessel's safety

A hazai atomerőmű, nemzetközileg is ellenőrzött, biztonságos működtetése érdekében a korszerű roncsolásmentes vizsgálattechnika honosítása, illetve rendszerbe állítása terén a Paksi Atomerőmű Zrt. fennállása óta élenjár. Munkatársainak a korszerű technikával szerzett tapasztalatairól szóló beszámolóit mindig érdeklődés kíséri rendezvényeinken.

A Pipe Scan-4 csővizsgáló ultrahangberendezést ez év januárjában vásárolták. A távműködtetésű vizsgáloberendezést (6. ábra) korszerű, PS4 adatgyűjtő és értékelő rendszer egészíti ki. A berendezéssel, a próbavizsgálatokat követően, először a reaktortartályok NA 500 mm-es csonkjainak tranzienst és első szerelési varratainak esedékes állapotellenőrzését végezték el. Az új technika jellemzőit és a vele szerzett tapasztalatokat *Bánki Attila* mutatta be poszterén (lásd lapunkban cikként is).



6. ábra. A távműködtetésű ultrahang-szkenner

Fig. 6: The remote controlled ultrasonic scanner

Az SZBV csonkok állapotellenőrzése: A reaktortartályt lezáró kupolába behegesztett, összetett szerkezetű (behegesztett bélésűcsővel és kivehető betétűcsővel szerelt), a szabályozó rudak bevezetésére szolgáló, ún. SZBV csonkok hegesztési varratainak ultrahangos vizsgálati módszerrel kiegészített állapotellenőrzési rendszerét ismertette előadásában *Dóczi Miklós*.

A kiegészített fűtőelemek átmeneti tárolójának felépítéséről, üzemben tartásának ellenőrzéséről, a technológiai rendszer sugárvédelmi ellenőrzéséről és tömörségének vizsgálatáról (a mobil héliumos tömörségvizsgálóról) adott, fényképekkel gazdagon illusztrált áttekintést *Barta Elek* előadása.

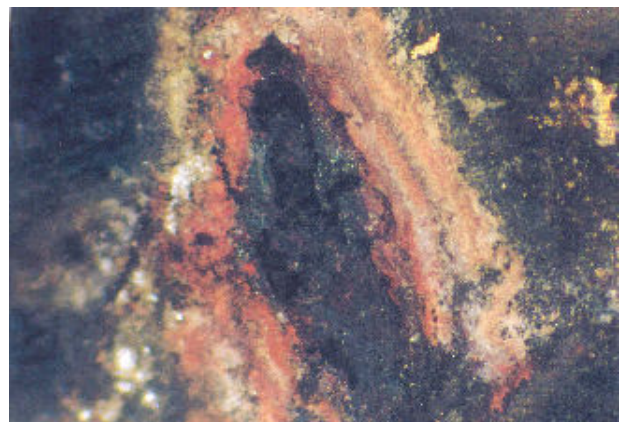
Az atomerőműi gőzfejlesztők korróziós károsodásának ellenőrzése kiemelt feladat. A VVER-440 blokkok mindegyikének 6 db, PGV-213 típusú gőzfejlesztője van. Ez fekvő hengeres tartály, függőleges meleg- és hidegági kollektorokkal, két, egyen-

ként 2768 db, összesen 5536 db hőátadó csőből álló csőköteggel. A csövek mérete: $\varnothing 16 \times 1,4$ mm, hossza: 9-14 m, anyaga: 08H18N10T jelű, titánnal stabilizált, ausztenites acél. A gőzfejlesztő csövek teljes hőátadó felülete $2576,6 \text{ m}^2$, a hőátadó felület tartaléka 10%. A primerköri hőhordozó belépő hőmérséklete $297 \text{ }^\circ\text{C}$, kilépő hőmérséklete $268 \text{ }^\circ\text{C}$, nyomása 123 bar. A szekunder oldali nyomás 46 bar, a gőz hőmérséklete $259 \text{ }^\circ\text{C}$.

Korróziós károsodást először 1997 szeptemberében észleltek az egyik hőcserélő szekunder oldali csövének külső felületén, a távtartó környezetében, mégpedig, az elsődleges vizsgálatok szerint, rész- és feszültségi korróziót. Mindkettőnek megvannak a feltételei – mondta e káreset kivizsgálásával megbízott Corweld Kft. vezetője, *Bödök Károly* előadásában. A réskorrózióból feszültségi korróziós repedések indulnak ki és a kristályhatárok mentén terjednek (7. ábra). A káreset okán részletes kutatási programot indítottak. Elsődlegesen a hőátadó csövek külső felületein képződő, magnetit és egyéb oxidokból, illetve szulfidokból álló lerakódásokat (8. ábra) vizsgálták meghatározva azok összetételét és fázisait.



7. ábra. Feszültségi korróziós repedés, maratott
Fig. 7: Stress corrosion crack; etched, N = 500x



8. ábra. Korróziótermék és lerakódás a hőátadó cső külső felületén a távtartó környezetben, N = 60x
Fig. 8: Corrosion product and deposition on inside surface of a heat changer tube around of its spreader

A lerakódásokban a korrózió kiváltása szempontjából fontos elemek közül a Cl 0,1 % nagyságrendben, a S 1–10 %-ban és a Cu egy, esetenként néhány százalékban dúsul. De elemezték a feszültségi korróziós repedés felülete mentén is e korróziós ágensek koncentráció-változást. Mindezt azzal a céllal, hogy megállapíthassák a valóságot modellező laboratóriumi korróziós vizsgálatok kémiai feltételeit. A kritikus réskorróziós oldat összetételét már meghatározták. Végső céljuk meghatározni a korróziós repedések terjedési sebességét leíró törésmechanikai összefüggést annak érdekében, hogy az időszakos vizsgálatok során észlelt ilyen repedésekkel már károsodott csövek várható élettartama becsülhető legyen, és dönteni lehessen azok kizárásáról. Az eddigi örvényáramos hibavizsgálatok tapasztalatai szerint ugyanis a korróziós repedések a falvastagság 60%-nak megfelelő mélységben megállnak. És míg irodalmi források szerint az ilyen mélységű repedések jelenléte még eltűrhető lenne, de a hazai előírás 50%-ban maximálja a repedésmélységet. És bár az eddig dugózással kizárt csövek számaránya mintegy 1% (a hőátadási tartalék 10%), de ezt a helyzetet mielőbb tisztázni kell. Ezért is folytatják a kísérleteket.

Az ilyen és ehhez hasonló cső-csőfal kötésekkel szerelt erőműi, vegyipari készülékek minőségbiztosítása megkívánja – a tömörség ellenőrzése mellett – a gyártás során alkalmazott technológiával létesített kötés szilárdságának a vizsgálatát is. Az Alstrom Power Hungária Kft. igényére a Qualitest Lab Kft. erre dolgozott ki vizsgálati módszert, melyet az alkalmazási tapasztalatokkal együtt megismerhettünk *Gillemot László* és *Narancsik Zsolt* közös előadásából.

A roncsolásmentes vizsgálatok eredményeit bemutató előadások és poszterek között tallózva megemlítem *Balaskó Márton* és *Tóth Péter* (KFKI AEKI) *radiográfiai* modell-kísérleteit. Ezek arra irányultak, hogy az AEKI-ben rendelkezésre álló korszerű, neutron- és gamma-radiográfia vizsgálatokra alkalmas, de helyhez kötött technikával ellenőrzöttén kimutassák, hogy milyen pontosan határozható meg a nagy átmérőjű ($\varnothing 10''$ és $13''$), szigetelt és esetleg lerakódással is szennyezett csövek helyi falvékonyodással járó korróziója a két falon át ^{60}Co , illetve ^{192}Ir hordozható sugárforrásokkal készített radiogramokróli feketedés-különbség méréssel.

Az eredmény: az ajánlott radiográfias eljárással a mérések teljes szórási sávja a tényleges anyagvastagságra vonatkoztatott $\pm 5\%$.

Viszont *Csizinszky Péter* (RTD-Corrocont Kft.) előadásában meggyőzően szemléltette, hogy a hosszú és hozzáférhetően vezetett, szigetelt vagy szigetetlen csővezetékek, külső vagy belső helyi falvékonyodással járó korróziós károsodásai, illetve ezek legmélyebb hibahelye *kisfrekvenciás örvényáramos vizsgálatkészülékkel* (LFET) gyorsan, gazdaságosan és megbízhatóan kimutatható. A csővezeték szigete-

lést legfeljebb a kritikus hibahelyeken szükséges a további kiegészítő vizsgálatok céljából lebontani.

Tanulságos *Berta László* poszter-előadása is, melyben arról számolt be, hogy digitális technikával (igaz, hazai nem lévén, ezért a Kodak NDT laboratórium filmdigitalizálóját igénybe véve) megmenthető a rontott (alul vagy túlexponált, $S < 5$), de meg nem ismételtető röntgenfelvételek.

Az *ultrahangos vizsgálat*tal kimutatott anyaghiányok méretét – előírástól függően – vagy körtárcsa reflektorokkal (KTF), vagy keresztirányú hengeres furat (KHF) reflektorokkal felvett értékelő görbékkel minősítik. Különböző okok miatt szükség lehet a kétféle értékelés összevetésére, amihez fizikai alapokon levezetett, átszámítási képleteket ajánlanak. Az átszámítás megbízhatóságát, KTF és KHF acél etalonok összehasonlító ultrahangos vizsgálatával ellenőrizték a R.U.M. Testing Kft. munkatársai: *Nagy Zsolt* és *Szalay Ferenc*. Kísérleteik eredményeit Nagy Zsolt ismertette. Megállapításaik lényege: mivel az elvi képletekhez rendelt peremfeltételek a vizsgálatok során nem mindig teljesülnek, de egyéb vizsgálattechnikai okok miatt is az átszámított és a mért értékek különbözhetnek, ezért a kétféle (KTF, illetve KHT) előírást célszerű az azonos mérettartományra, két különböző módszerrel felvett és azonos erősítésre konvertált értékelő görbék összevetésével értékelni.

A korszerű fáziseltolódásos technikával működő Omni-Scan ultrahangos készüléket és alkalmazási tapasztalataikat ismertette poszterén *Szabó Gergely* (Mátra-Diagnosztika Kft.). A készülékhez csatlakoztatható, több, elektronikusan vezérelt rezgőelemből álló vizsgálófejjel, a fej mozgatása nélkül *lineáris* (a fej elemeiből fázisban eltolt hangimpulzusokkal) vagy *szektoros* (fázisban eltolt hangimpulzusok besugárzási szögének változtatásával) *pásztázással* (szkenneléssel) az összetett geometriájú alkatrészek (pl.: lépcsős tengelyek, turbinalapát-gyök) és hegesztett kötések egyszerűen vizsgálhatók.

Az *akusztikus emissziós vizsgálat* megbízható végrehajtásának szempontjait foglalta össze *Szűcs Pál* (ORSZAK Bt.) poszter-előadásában, melyet önálló cikként olvashatnak lapunkban. *Pál Csaba*, az MKEH Műszaki Felügyeleti Igazgatóság munkatársa pedig a nyomástartó edények akusztikus emissziós vizsgálatnál kombinált időszakos szilárdsági nyomáspróbás ellenőrzésének kedvező tapasztalatait foglalta össze poszter-előadásában. Ezt a módszert 1998-tól kezdve vezették be és ma már országos lefedettséget étek el. Ezzel a módszerrel ellenőrzik – többek között – a PB gömbtartályokat is. Kedvező tapasztalataik megerősítik Szűcs Pál korábbi (lapunkban közölt) javaslatát, miszerint a nyomáspróbával kombinált akusztikus emissziós vizsgálatok általános bevezetése indokolt.

A *termovízióval*, a tömegközlekedési eszközök állapotvizsgálatában, szerzett tapasztalatait *Fara-*

Beszámolók

Accounts

gő Mária, a BKV Zrt. munkatársa foglalta össze poszter-előadásában. Aktuális példaként a tüzesetet okozó autóbuzsmotor típusok üzemi hőmérsékleten elvégzett termovíziós vizsgálatát emelte ki.

A technológiai rendszerek beruházásának minőségbiztosításáért felelős szakemberek számára különösen hasznosak azok a tapasztalatok, amelyekről Gyarmati István, a Bosodchem Rt. munkatársa számolt be: Diagnosztikai vizsgálatok a beruházások folyamatában, című előadásában. A nagy értékű beruházások – mint amilyen a BC Rt. 100 Mrd Ft. értékű, kapacitásbővítő beruházása volt az elmúlt két évben – leghosszabb és legkritikusabb szakasza a helyszíni szerelés. A műszaki felügyeleti tevékenység célja pedig végigkísérni a gyártmány, (termék), létesítmény útját, a szerződés előkészítésétől a végátvételig.

A beépítendő anyagok minőségének és összetételének ellenőrzése elsődlegesen fontos. Ehhez, szükség esetén, a hordozható spektrométer igen jó szolgálatot tesz. A bemutatott káresetek részletes anyagvizsgálata is bizonyította, hogy a meg nem felelő minőségű anyagú szerkezeti elem beépítése – különösen a korrózióknak is kitett rendszerben, és párosulva egyéb szerelési hiányosságokkal – előbb-utóbb kárt okoz. De, például a rendszerbe szerelt forgógépek járását rezgésméréssel ellenőrizve a tengelyek

idő előtti kisciklusú kifáradását, törését előzhetjük meg. A szerelési hibák gyakorisága az átadási határidő közeledtével növekszik!

A minőségbiztosításért felelős – és különösen a széles körű kapcsolatokat tartó – szakemberek hasznos eszmefuttatást hallhattak Kovács Károly igazgatótól (Metalcontrol Kft.), a Miskolci Egyetem Minőségügyi Kihelyezett Tanszékének vezetőjétől, aki átfogó képet adott az anyagvizsgálat napjainkban módosuló szolgáltató szerepének általános jellemzőiről, valamint az ember–ember kapcsolatok és a közöttük kialakuló információfolyam gyenge pontjai elemzésnek jelentőségéről. A résztvevőket tájékoztatta a Nemzeti Akkreditálási Testület, a NAT képviselője, Proksa Ferenc az akkreditálásról szóló új, MSZ EN ISO/IEC 17011, valamint a vizsgáló és kalibráló laboratóriumok felkészültségére vonatkozó EN ISO/IEC 17025 szabvány előírásai nyomán az akkreditálási rend módosulásairól.

Végül, ezúttal is a céljainak színvonalasan megfelelő, jó hangulatú szakmai rendezvény részesei lehettünk. Köszönet illeti az előadókat és a szervezőket egyaránt!

Lehofer Kornél



Az előadói pillanatok: Faigel Gyula (középen) a szinkrotronsugárzás, míg Bödök Károly a réskorrózió rejtjelmeit ismerteti; elnököl Somogyi György



A poszter szekció pillanatai:

Rózsahegyi Péter (balra) az érdeklődők gyűréjében;

Becker István és Lehoczky György a látottakról-hallottakról (jobbra)

A visszaszórt elektron-diffrakció alkalmazása az anyagvizsgálatban*

Szabó Péter János**

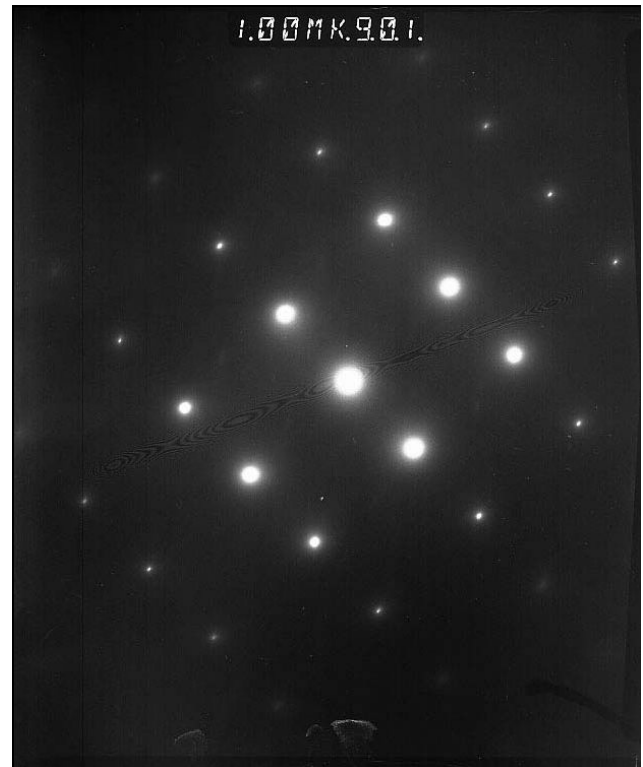
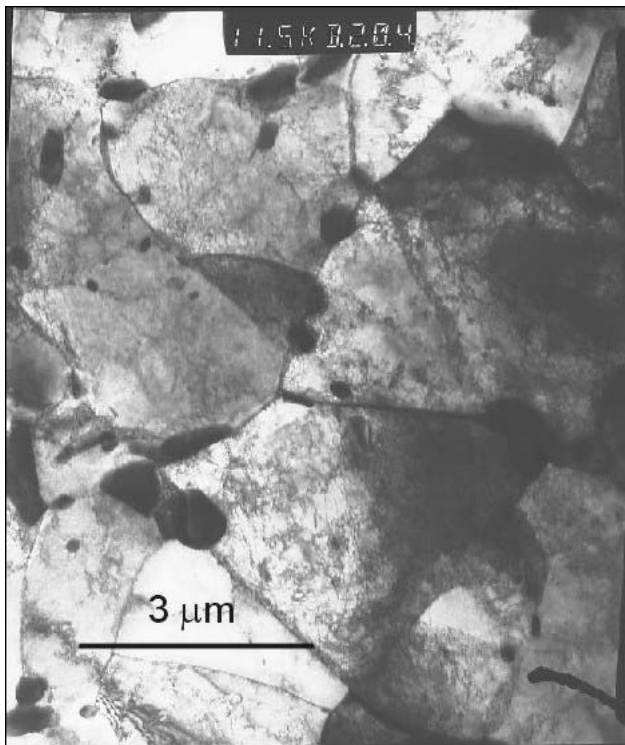
Kulcsszavak: Kikuchi-vonalak, kristályorientáció, szemcsehatár, fázistérkép, képminőség-térkép,
Keywords: Kikuchi lines, grain orientation, grain boundary, phase map, image quality map

Bevezetés

Hagyományos technikai anyagaink nagy része polikristályos fém, azaz olyan térfogatrészek (szemcsék) építik fel, melyeken belül a kristálytani szerkezet (a kristályhibáktól eltekintve) azonos. Ezek mérete a néhány mikrométertől a néhány száz mikrométerig terjed, emiatt bizonyos tulajdonságaik mikroszkópos, illetve elektronmikroszkópos technikákkal vizsgálhatók. A szemcsét felépítő kristálytani rend és a test makroszkopikus kiterjedése közti geometriai kapcsolatot szemcseorientációnak hívjuk. Hosszú ideje tudjuk, hogy az anyag makroszkopikus mechanikai (szilárdsági, alakváltozási, keménységi) tulajdonságai és a szemcseorientáció között szoros kapcsolat áll fenn. Az utóbbi évek kutatási eredményei alapján az is világossá vált, hogy a két szemcsét elválasztó szemcsehatár minősége döntő hatással van (elsősor

ban) a korróziós, kúszási és precipitációs tulajdonságokra [1]. Noha a szemcsehatár közvetlenül csak nagyon nehezen vizsgálható (pl. atomerő-mikroszkóp segítségével), tulajdonságaira mégis következtethetünk, ha az általa elválasztott két szemcse egymáshoz képesti orientációját ismerjük. Ezt a mennyiséget elorientáltságnak (misorientation) nevezzük, és többféleképpen meghatározhatjuk.

A szemcseorientáció meghatározásának legelterjedtebb módja a transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) vizsgálat. Ennek során egy kiválasztott területről (kihasználva a TEM kettős működését, hogy ti. egyidejűleg képes nagy nagyítású képek előállítására, és az adott terület elektron-diffrakciós vizsgálatára) elektron-diffrakciós felvételt készítünk, és azt kiértékeljük [2]. Az 1. ábrán egy 15Mo3 típusú ferrites melegszilárd acél TEM-képe (1.a. ábra) és az egyik szemcséjéről készült elektron-diffrakciós fotó (1.b. ábra) látható.



1.ábra. 15Mo3 típusú acél TEM-képe (a.), és a világos szemcse elektron-diffrakciós ábrája (b.)

Fig. 1: TEM-picture of the 15CrMo3 steel (a) and the electron diffraction pattern of the bright grain (b)

* A 3. AGY – Anyagvizsgálat a Gyakorlatban szemináriumon elhangzott előadás, Tengelic, 2006. június 2.

**BME Anyagtudomány és Technológia Tanszék 1111 Budapest, Goldmann tér 3., V2/153. szpj@eik.bme.hu

Anyagszerkezet-vizsgálatok

Testing of material structure

A transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatok legnagyobb hátránya a bonyolult minta-előkészítés. Fémek anyagainkat legalább 200 nm-re el kell vékonyítani [3], ráadásul nem lehetünk abban biztosak, hogy ez az elvékonyítás a minta mely részén valósul meg (pl. a jet vagy a double-jet módszer esetén). Jellemző adat, hogy a minta kimunkálásától a megfelelően vékony minta előállításáig esetleg fél napos idő- és munkabefektetés is szükséges lehet. Ezzel együtt mind a mai napig a TEM a legütőképesebb módszer a kristályos anyagok mikroszerkezeti vizsgálatára.

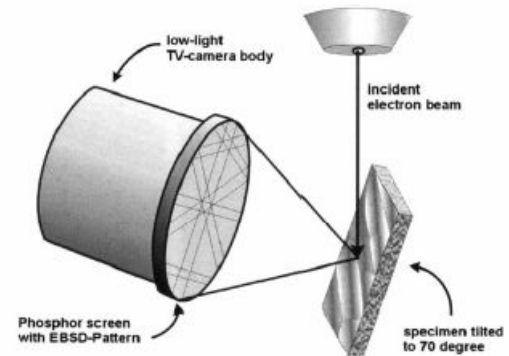
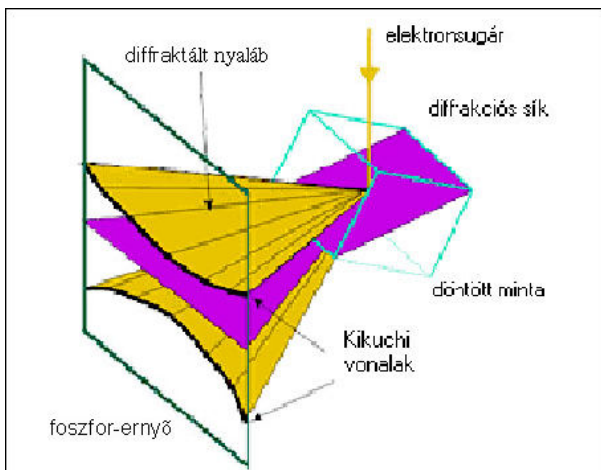
A visszaszórt elektron-diffrakció (EBSD) működése

Az egyedi szemcseorientáció meghatározása a pásztázó elektronmikroszkópban (Scanning Electron Microscope, SEM) 1973-ban sikerült először [4]. 1987-ben alkalmazták először az on-line indexelési technikát [5], amelynek segítségével a pásztázó elekt-

ronnyaláb által besugárzott térfogat orientációját a pásztázás sebességével összemérhető gyorsasággal tudták meghatározni.

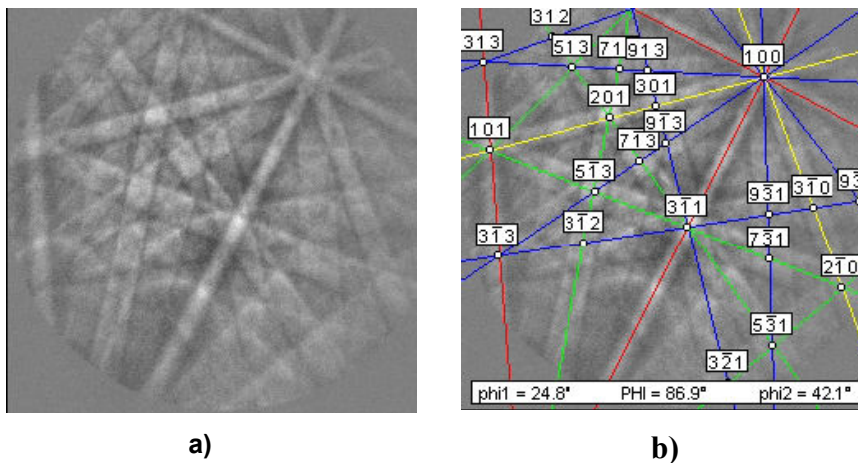
A vizsgálat a visszaszórt elektron-diffrakción (Electron Back Scattering Diffraction, EBSD) alapul. A primer elektronnyaláb útjában elhelyezett mintában a primer elektronok rugalmatlan szóródást szenvednek, majd ezek a rugalmatlanul szórt elektronok az egyes kristálytani síkokon rugalmasan, a Bragg-feltételnek megfelelően, ismét szóródnak. Ez utóbbi diffrakció eredményeképpen az elektronok a kristálytani síkról egy kúppalást mentén szóródnak (2. ábra), és ennek a kúppalástnak, valamint egy alkalmas helyen elhelyezett felfogó ernyőnek a metszés-síkjában egy jellegzetes vonalas rajzolat, az ún. Kikuchi-ábra alakul ki (2. a. ábra) [6].

A vonalak elhelyezkedéséből a vizsgált pont (illetve annak környezetének) kristálytani szerkezete és orientációja meghatározható, azaz a Kikuchi-ábra azonosítható és indexelhető (3. b. ábra).



2. ábra. A Kikuchi-vonalak keletkezése (a.) ill. a mérési elrendezés (b.)

Fig. 2: Formation of the Kikuchi lines (a), arranging of the measuring (b)



3. ábra. Kikuchi-vonalak (a) és indexelésük (b)

Fig. 3: The Kikuchi lines (a) and their indexation (b)

Anyagszerkezet-vizsgálatok

Testing of material structure

Az EBSD-vizsgálat laterális felbontóképessége kb. 0.5 μm . A mérés sebességére jellemző, hogy egy mérési pontról a Kikuchi-ábra felvétele, a vonalak azonosítása, majd az orientáció meghatározása (optimálisan előkészített minta esetén) kb. 0.1 másodperc alatt megtörténik.

Az orientáció meghatározása

A minta egy pontjának orientációját többféleképpen is megadhatjuk, de minden esetben azt az információt kell meghatároznunk, hogy a test makroszkopikus kiterjedéséhez képest a kristályrács hogyan helyezkedik el. Egy 30 000 pontból álló orientációs térkép (melynek elkészítése nagyjából 50 percet vesz igénybe) látható a 4. ábrán. Az egyes mérési pontok orientáció-megadása az inverz pólusábra egységháromszögének szinkódolásával történik. Az inverz pólusábra azt mutatja meg, hogy a próbatest makroszkopikus felületének normálisa milyen kristálytani iránynak felel meg.

Érdekes megfigyelni az ábrán, hogy egy szemcsén belül is tapasztalhatunk színárnyalat-eltérést, azaz lokális orientáció-változást. Ennek az az oka, hogy az adott szemcsé deformált, vagyis pl. szubszemcsé-szerkezet alakult ki benne.

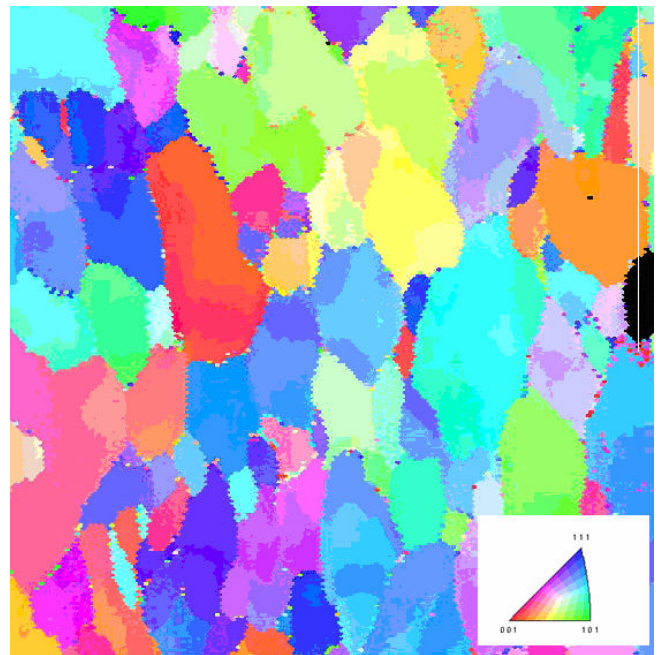
A fázisok azonosítása

Ha ismerjük a mintában előforduló lehetséges fázisokat, akkor azokat azonosíthatjuk is EBSD-vel a kristályszerkezetük alapján. Az 5. ábrán egy duplex acél fázistérképét láthatjuk, ahol az egyes pontokhoz tartozó fázisokat ugyancsak szinkódokkal adhatjuk meg.

Érdekes lehetőség az egyes fázisok közötti orientációs kapcsolat meghatározása. Példaként említsük meg az 5. ábrán látható, felületen középpontos köbös rácsú ausztenit és a tetragonális σ -fázis közötti összefüggést. Ideális esetben az említett fázisok közötti kapcsolatot a legkisebb rácstorzulással járó Nanno-féle összefüggés írja le:

$$(111)_\gamma \parallel (001)_\sigma \text{ és } [\bar{1}01]_\gamma \parallel [110]_\sigma$$

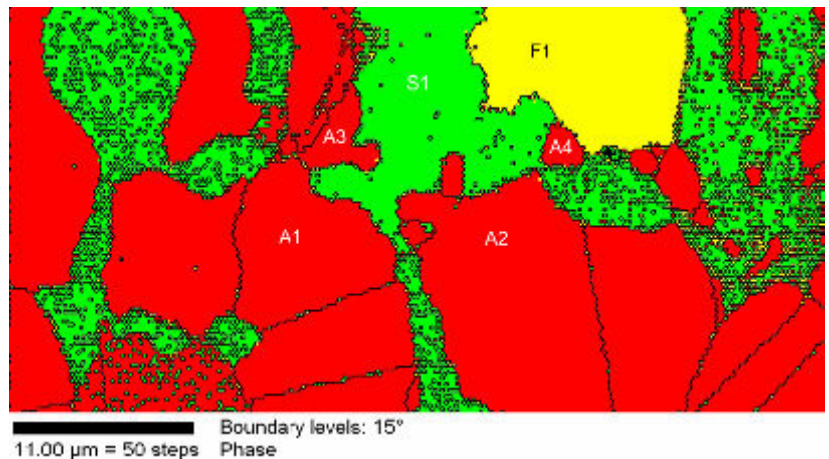
A duplex acélokban végbemenő ferritbomlás ($\delta \rightarrow \gamma + \sigma$) során azonban az egyre növekvő méretű σ kiválások és a keletkező ausztenit közötti orientációs viszony egyre jobban eltér az ideálistól [7].



4.80 μm = 30 steps

4. ábra. Ferrites acél minta orientációs térképe és az inverz pólusábra egységháromszögének szinkódolása

Fig. 4: Orientation picture of a ferritic steel sample and colour cod of the inverse pole pattern of unit triangle



5. ábra. Duplex acél fázistérképe. A – ausztenit, F – ferrit, S – tetragonális σ -fázis

Fig. 5: Phase map of a duplex steel. The marked areas are: A – austenite, F – ferrite and S – tetragonal σ -phase

A deformációs állapot vizsgálata

Az EBSD-vizsgálat alkalmas arra is, hogy egy szemcsén belül a deformációs állapotról felvilágosítást kapjunk. Ha a vizsgált kristályrács deformált, akkor az elektron-diffrakció nem egy meghatározott szögön, hanem egy szögtartományon belül történik,

Anyagszerkezet-vizsgálatok

Testing of material structure

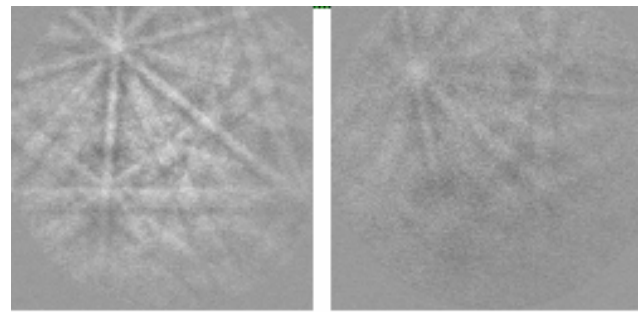
aminek eredményeképpen a Kikuchi-vonalak elmosódottabbak lesznek.

Egy 0-tól 255-ig terjedő skálán értékelve a Kikuchi-ábra minőségét az ún. képminőség-értékhez jutunk (*image quality, IQ, 6. ábra*), amelyekből ugyancsak térkép szerkeszthető, ha a megfelelő képpontok helyére a képminőségnek megfelelő szűrkeségi fokú pixel kerül (6.a. ábra).

A képminőség-térkép nagyon hasonlít egy elektronmikroszkópos felvételhez, de felépítése teljesen más. Az egyes képpontok szűrkeségi fokát ugyanis az abban a pontban detektálható Kikuchi-ábra minősége adja meg. Ezzel a módszerrel a gyengébben és az erősebben deformált részek akár egy szemcsén belül is jól elkülöníthetők (7. ábra).

A képminőség-térkép alapján meghatározhatjuk a vizsgált tartomány szűrkeségi histogramját (7.b. ábra), amelynek segítségével a minta előzetes deformációjának minőségére következtethetünk. Sajnos egyelőre ebből az adathalmazból kvantitatív eredmény nem számítható, de mindenesetre érdekes megfigyelni a szűrkeségi histogram változását az alakítás függvényében. A 8. ábrán egy ferrites acél minta alakítás utáni szűrkeségi histogramjai láthatók (a-tól f-ig az alakváltozás rendre: 0, 5, 10, 20, 30 és 40%-os volt) [8]. Megfigyelhető, hogy a histogramok középértékei csökkennek (hiszen a növekvő deformáció következtében a pixelek egyre nagyobb hányadából kapunk gyenge minőségű Kikuchi-ábrát), a histogram-görbék ellaposodnak, valamint az, hogy közepes deformációk esetén (8.b. és 8.c. ábra) a histogramok a középérték körül erős fluktuációt mutatnak, ami arra utal, hogy egyes szemcsék csak kevésbé, mások erősebben deformálódtak, a Schmidt-faktornak megfelelően. Kristálydeformációs információ származtatható két olyan mennyiségből, amelyet EBSD térképezéssel határozhatunk meg. Fontos megemlíteni, hogy az EBSD-vizsgálatok során a szemcse fogalma egy kissé eltér a hagyományos metallográfiában elfogadottól. A visszaszórt elektron-diffrakciós vizsgálat során a szemcsét a következőképpen határozhatjuk meg. Egy adott $n \times m$ pixeles térképezés során egy kiválasztott pixel orientációját a Kikuchi-ábrából meghatározzuk. Ezt követően a pixel szomszédjainak orientációját is kiszámítjuk, és amennyiben ezek orientációja és az előző pixel orientációja jobban eltér egymástól, mint az általunk megadott „grain tolerance angle”, vagyis az a maximális szögeltérés, amelynél nagyobb eltérés esetén már új szemcse részeként tekintjük a szomszédos pixelt, akkor a két pixel között szemcsehatárt tételezünk fel [9].

Az ilyen módon definiált szemcséken belül értelmezhető a *grain average misorientation* és a *grain orientation spread* mennyiség is. A grain average misorientation (átlagos szemcse-irányítottság eltérés) értéket úgy kapjuk meg, hogy a szemcsén belül meghatározzuk minden egyes szomszédos pixel közti

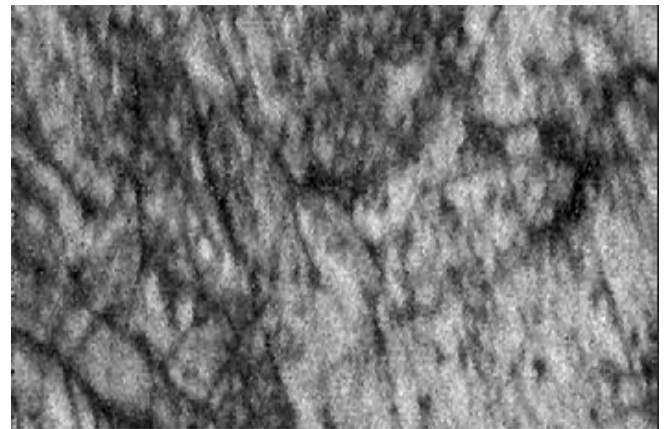


a) IQ = 113

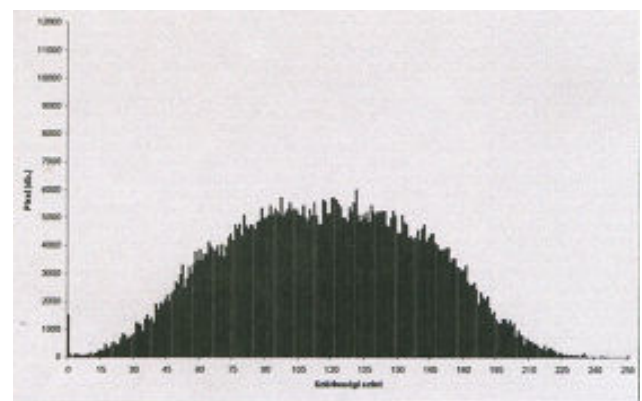
b) IQ = 47

6. ábra. A Kikuchi-ábra minősége a deformáció függvényében

Fig. 6: Quality of the Kikuchi figure depended from the deformation



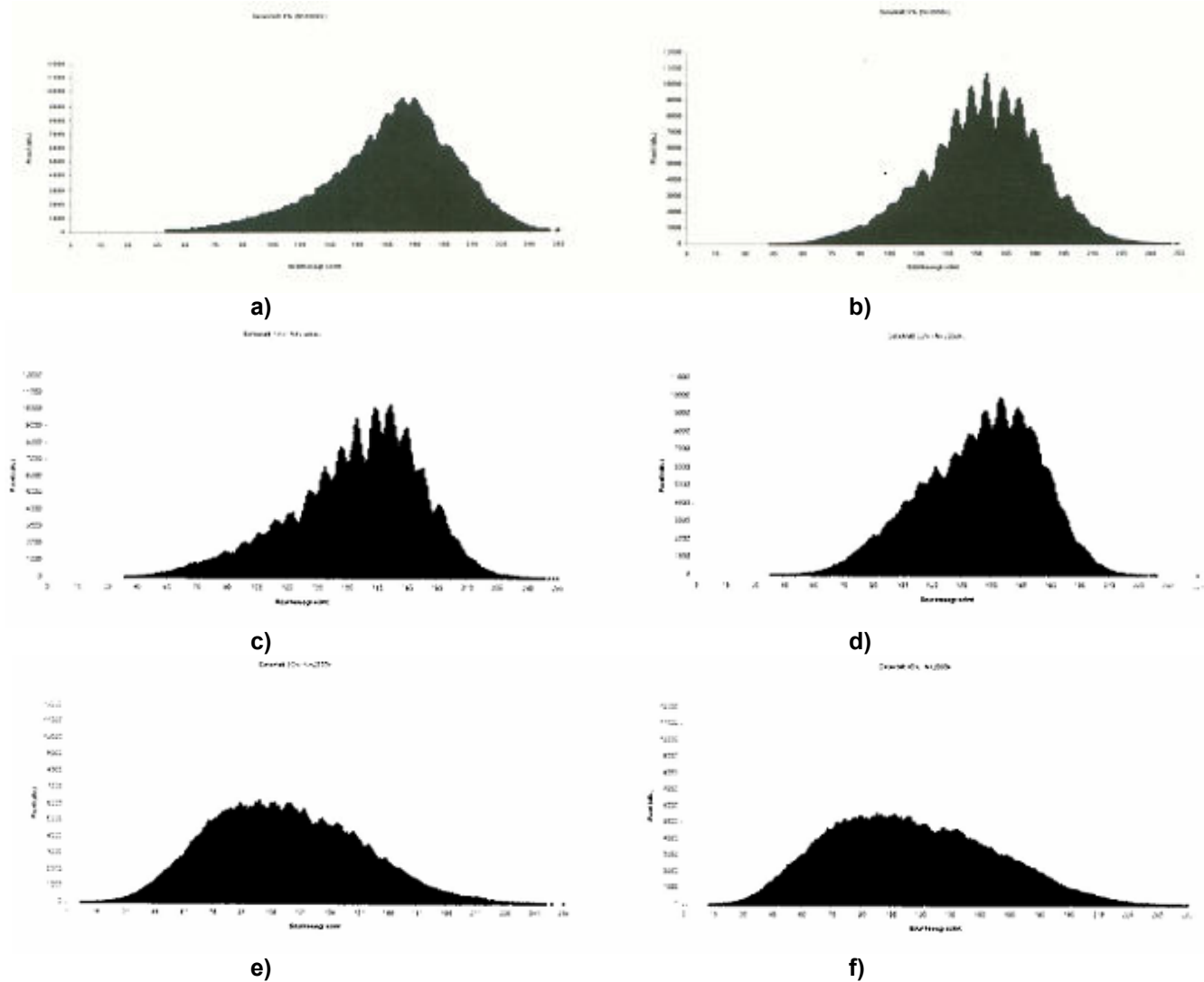
a)



b)

7. ábra. A 40%-os húzásnak kitett ferrites acél IQ-térképe (a), és a térkép alapján meghatározható szűrkeségi histogram (b)

Fig. 7: IQ map of a ferritic steel strained with 40% (a) and its greyness histogram based on this map (b)

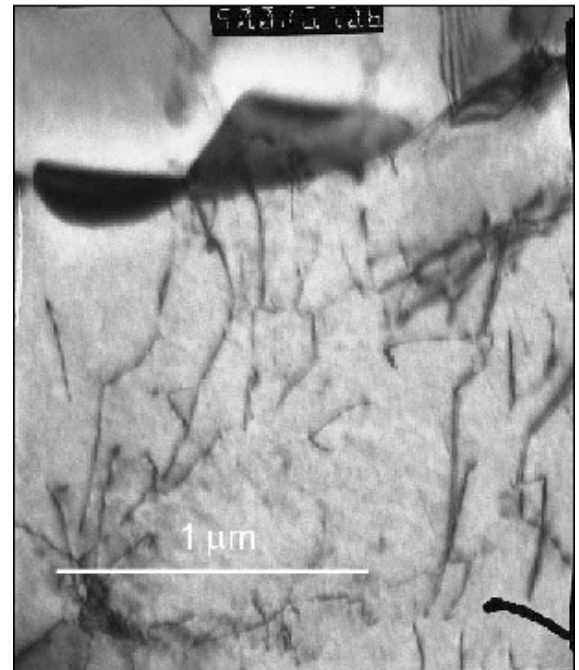
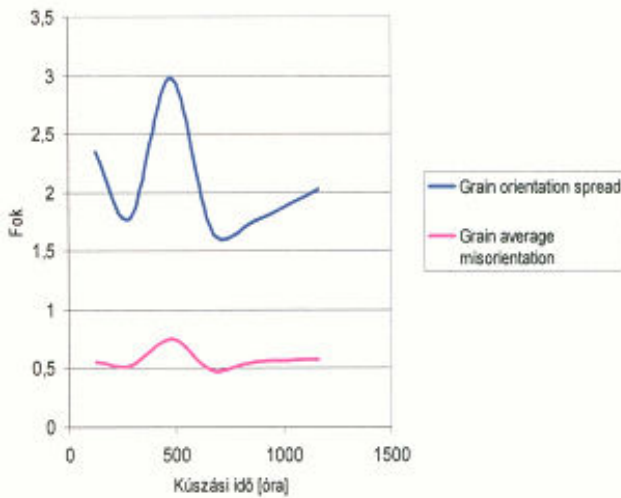


8. ábra. Ferrites acél deformációja során a szürkeségi hisztogram változása. a.) eredeti állapot; b.) 5%; c.) 10%; d.) 20%; e.) 30%; f.) 40% alakváltozás után.
Fig. 8: Changing of the greyness histogram of a ferritic steel: a) in original condition, and after 5% (b), 10% (c), 20% (d), 30% (e), 40% (f) strain

orientációs szögeltérést, és ezeket az értékeket a szemcsén belül kiátlagoljuk. A grain orientation spread (szemcse irányítottság terjedeleme) ehhez nagyon hasonló mennyiség, azzal a különbséggel, hogy nemcsak a szomszédos pixelek, hanem valamennyi pixel egymáshoz képesti orientáció-eltérést átlagoljuk ki. Vegyük észre, hogy az előbbi mennyiség kevésbé, az utóbbi erősebben függ a szemcse méretétől, de mindkettő a szemcsén belüli rácsterhelést mutatja.

A 9. a. ábrán kúsztatott, 15Mo3 típusú acél minták grain average misorientation és grain orientation spread értéke látható a kúszási idő függvényében [10]. Megfigyelhető, hogy kb. 500 óra után a

szemcséken belül mindkét mennyiség maximális-értéket ér el, majd ismét csökkenni kezd. A 9. b. ábra azt mutatja, hogy az előbbi szemcsében a diszlokációk fennakadnak egy szemcsehatár-menti karbidkiválásban, így erős rácsterhelést okoznak. A jelenség egyik lehetséges magyarázata az, hogy a kúszás során a diszlokációk mozgása akadályokba (pl. karbidkiválásokba) ütközik. Ezek az akadályok fennakadva a diszlokációk feltorlódnak (pile-up), így növelve a szemcsén belüli rácsterhelést. Az ezzel egyidejűleg megnövekedő belső feszültség hatására aztán a diszlokációk tovább haladnak: vagy megkerülik, vagy átvágják az akadályokat. Ekkor a szemcsén belüli rácsterhelés is csökken.



a)

b)

9. ábra. Deformációs paraméterek (a) és diszlokációk fennakadása szemcsehatár-menti karbidon (b)

Fig. 9: Deformation parameters (a) and dislocation pile-up on a grain boundary carbide particle (b)

Szemcsehatárok vizsgálata

A legtöbb esetben a szemcsehatárok inkoherensek, azaz az őket felépítő atomok gyakorlatilag egyik szemcséhez sem tartoznak. Ezek az atomok ennél fogva magasabb energiaszinten vannak, a szemcsehatár maga pedig kristályhibaként fogható fel. Egy ilyen határról kapott Kikuchi-vonalak annyira szétszórtak, diffúzak, hogy kiértékelésük gyakorlatilag lehetetlen. Emiatt az EBSD-technika a szemcsehatárok közvetlen megfigyelését nem teszi lehetővé. Egy térképezés során a szemcsehatárok „feketék” lesznek, azaz a szemcsehatár pixeleinek orientációja nem határozható meg. Ez már önmagában információ, hiszen „fekete” vonalakkal határolt tartományokat láthatunk a mérés eredményeképpen, így a szemcseméret, szemcseméret-eloszlás ill. a szemcsék alakja meghatározható.

Többlet-információ abból származik, hogy a szemcsehatár által elválasztott két térfogatrész (a két szemcse) orientációját az EBSD segítségével nagy pontossággal meghatározhatjuk, és így a köztük lévő határ geometriai tulajdonságait kiszámíthatjuk.

Ha két, egymással szomszédos kristályrácsot képzeletben úgy folytatunk, hogy egymásba érjenek, akkor előfordulhat, hogy egyes atomok mindkét rács részei lesznek. Ha ezeket az atomokat egy új kristályrácsnak tekintjük, akkor az ún. Coincide Site Lattice-hoz, CSL-hez (egybevágó rács helyhez) jutunk [11]. A

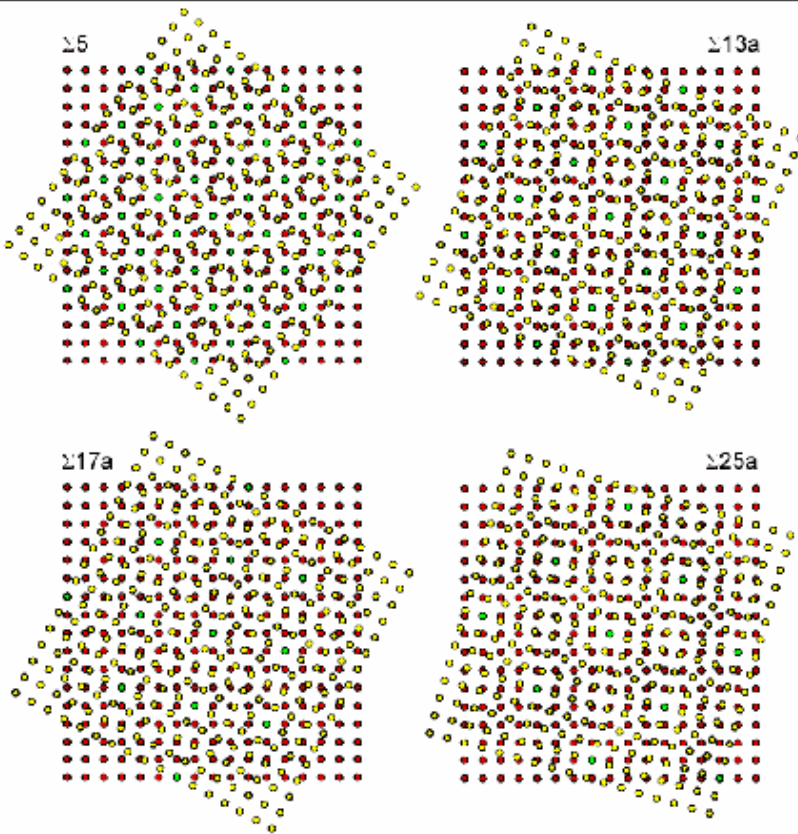
két szemcsét ebben az esetben ennek a CSL-nek egy adott kristálytani síkja választja el egymástól.

A CSL-eket az ún. Σ -értékkel jellemezhetjük, amely azt mutatja, hogy az eredeti kristályrács atomjainak hányadrésze vesz részt a CSL felépítésében (más szóval „minden hányadik” atom közös a két rácsban). A 10. ábrán különböző CSL-ek sematikus ábrázolása látható.

Érdeemes megjegyezni, hogy a felületen középpontos köbös (FKK) fémeknél létrejövő ikerhatárok $\Sigma 3$ típusú CSL-határnak felelnek meg.

Kutatási eredmények azt igazolják, hogy a CSL-határok speciális tulajdonságokkal rendelkeznek. Szemi-koherens jellegüknél fogva ellenállóbbak a korróziós folyamatokkal szemben, kúszásállóbbak, és itt a diffúziós folyamatok is lassabbak. Mennyiségük (vagyis az összes szemcsehatár hosszának arányában kifejezett hosszúságuk) különböző termo-mechanikus kezelésekkel növelhető.

A 11. ábrán nikkel-alapú ötvözet kúszási görbéi láthatók. Az „SA” jelű ötvözetet lágyították, a „CSLE” ötvözeteket speciális, a CSL-ek számát növelő termo-mechanikus kezelésnek vetették alá. Jól megfigyelhető, hogy a nagyobb mennyiségű CSL-határt tartalmazó ötvözet kúszásállósága sokkal jobb, mint a zömében véletlenszerű, inkoherens szemcsehatárokat tartalmazó anyagé [12].

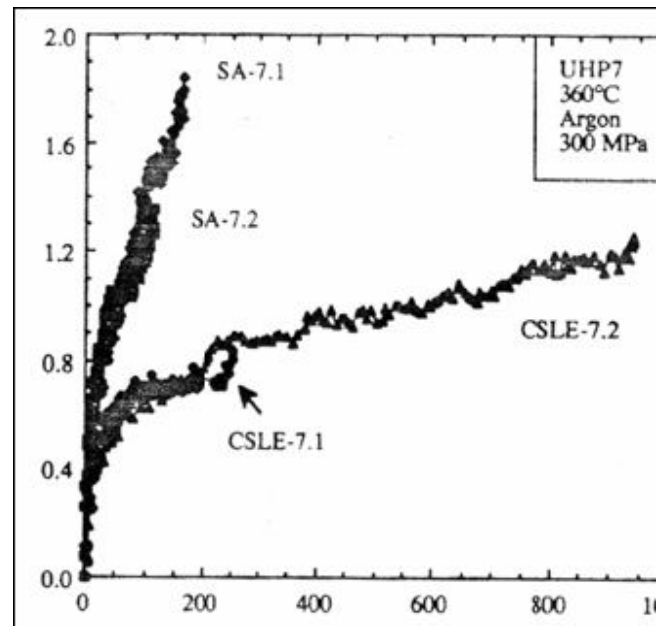


10. ábra. CSL-ek sematikus ábrázolása. A két rács közötti közös pontok hányada rendre: 1/5, 1/13, 1/17 és 1/25

Fig. 10: Scheme of CSLs. The ratio of the common lattice points are following: 1/5, 1/13, 1/17 and 1/25

Összefoglalás

Az EBSD lehetővé teszi, hogy egy mérési pont (pontosabban annak véges térfogatú környezetének) kristályszerkezetét, rácsállandóját és kristálytani orientációját meghatározzuk. A mérés sebessége olyan nagy, hogy több tízezer pontban ezek az adatokat véges idő alatt (kb. 50 perc) meghatározzuk, és ezekből grafikusán ábrázolható térképeket készítsünk. Ezekből a mérési adatokból következtethetünk a minta szemcséinek orientációjára, a szemcsék közti elorientáltságra, a szemcsehatárok tulajdonságaira, a fázisok milyenségére, ill. az egyes szemcséken belüli deformációra. A mérési adathalmazból pólusábra, illetve inverz pólusábra szerkeszthető. Az így nyert információt felhasználhatjuk a tudatos anyagtervezés során, hiszen, pl. megfelelő termo-mechanikus kezelés után az anyagban megjelenő speciális szemcsehatárok aránya megnövekedhet, ami különleges tulajdonságokat (pl. kúszás-, ill. korrózióállóság) eredményezhet.



11. ábra. Nikkel alapú ötvözetek kúszási (nyúlás, % – idő, h) diagramjai

Fig. 11: Creep curve (strain, % – time, h) of the nickel base alloys

Irodalomjegyzék

- [1] *M. Shimada, H. Kokawa, Z. J. Wang, Y. S. Sato, I. Karibe: Acta Materialia* **50** (2002) 2331-2341
- [2] *J. W. Edington: Practical Electron Microscopy in materials Science, MacMillan-Philips Technican Library, 1974.*
- [3] *B. Fultz, J. M. Howe: Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials, Springer, 2002.*
- [4] *Venables and Harland: Phil. Mag.* **2**, 1193-1200.
- [5] *Dingley et. al., Scanning Electron Microscopy*, **11**, 451-456.
- [6] *V. Randle: Microtexture Determination and Its Applications., Bourne Press, Bournemouth, United Kingdom, 1992., 174 p.*
- [7] *T. Berecz, P. J. Szabó, Mat. Sci. Forum*, **473-474** (2005) 177-182
- [8] *P. J. Szabó, I. Szalai: Mat. Sci. Forum*, **473-474** (2005) 267-272
- [9] *A. J. Schwartz, M. Kumar, B. L. Adams: Electron Backscatter Diffraction in Materials Science, ed., Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000.*
- [10] *T. Bíró, P. J. Szabó: Mat. Sci. Forum*, **473-474** (2005) 183-188
- [11] *H. K. D. Bhadesia: Worked Examples in the Geometry of Crystals, The Institute of Metals, London, 1987.*
- [12] *Was, G. S., V. Thaveepriingsriporn, et al.: (1998). JOM* **50** (2), 44-49.

A roncsolásmentes anyagvizsgálat helye és szerepe a termék-megfelelőség tanúsításában és a hegesztett szerkezetek üzemeltetésre való alkalmasságának megítélésében*

Ritinger János**

Kulcsszavak: hegesztett szerkezetek, roncsolásmentes vizsgálatok, termék-megfelelőség, üzemeltetésre alkalmasság

Keywords: welded structures, NDT, product-suitability, fitness for service

Summary

Place and role of the NDT in certification of the product-suitability and in assessment to the fitness for service of the welded structures. After the short review of development and state of the domestic NDT and standpoints of the methods used in system organised, the characteristics of the investigations made previously, for certification of the product-suitable and in service, for assessment of the fitness for service respectively on the projects and their welded structures are discussed with a prominent differentiation.

Bevezetés

A roncsolásmentes anyagvizsgálat hazai története szépen dekorált fejezetekből tevődik össze. A teljességre törekvő áttekintés meghaladja ennek a közleménynek a célját és valószínű, hogy a szerző sem illetékes ennek a feladatnak az elvégzésére. A jelenlegi helyzet és az elvárások közötti kapcsolat, vagy annak hiányának megértése céljából szükség van néhány részlet felvillantására.

A roncsolásmentes anyagvizsgálat nem öncélú tevékenység. A tevékenység értékelésekor három kérdést kell feltenni és a helyes választ rá megtalálni:

- MIT vizsgálunk?
- MIVEL vizsgálunk? és
- HOL vizsgálunk?

A **mit** kérdésre adott válasz a termékterületet [hegesztett kötést (w), az öntvényt (c), a kovácsolt darabot (f) stb.], illetve a termékek anyagát foglalja magába. Ezen a területen jelentős változás érzékelhető. Több nemzetközi felmérés eredménye szerint a termékterületek szerinti megosztásban a hegesztett kötés (w) teszi ki ma már az esetek 85...90%-át tekintettel a nagyszámú kötéstehnológiákra (beleértve a for-

asztást, a ragasztást, a diffúziós kapcsolatokat stb.). A hegesztett kötések magukban foglalnak egy vagy két terméket. Ezért a hegesztett kötés vizsgálatának megkezdése előtt a vizsgáló elvégzi a kapcsolatba kerülő termékek vizsgálatát azért, hogy egy kovácsolási, vagy öntési hiba a hegesztett kötés vizsgálatát ne zavarja. Nem beszélve arról, hogy az öntvények, a kovácsolt darabok hibáit, meghatározott feltételek mellett hegesztéssel javítják és a javítás helyét roncsolásmentes vizsgálatokkal ellenőrzik.

A probléma megoldását nehezíti, hogy a jelenlegi minősítés és minősítés tanúsítás – a kapcsolódó szabványnak megfelelően – szigorúan szétválasztja a tanúsítványok érvényességét termékterületenként. A hazai ipar szerkezetének állandó változása miatt a merev elválasztás a vizsgáló személynek sem kedvez. A minősítések költsége érthető okokból folyamatosan nő, az indokolatlan minősítések a vizsgáló laboratóriumokra, vagy a vizsgálókra nehezen elviselhető anyagi terhet ró.

Az oktatás módszertant tartalmazó új, még ISO szinten el nem fogadott (ISO/TR 25107:2005) műszaki ajánlás, az ISO 9712 szabvány ajánláshoz kapcsolódó oktatási módszertanhoz hasonlóan már mellőzi a termékterületek megnevezését, helyette hibákra (eltérésekre), azok csoportosítására helyezi a hangsúlyt, amelyek kapcsán említi a termékeket, a termékek előállítási technológiáját. A **mit** kérdés megválaszolása szempontjából valószínű jobb megközelítés lenne: anyag, eltérés (hiba) és termék (gyártástechnológiájának, vizsgálat szempontjából fontos elemei).

A **mit** kérdés tárgyalásába az anyag- és kapcsolódó szabványok lexikális ismerete is beletartozik. Az anyagok szabványos jelölésének ismerete nélkül nem lehet hitelt érdemlő vizsgálati jegyzőkönyvet készíteni. A jegyzőkönyvben foglaltakért a vizsgálatot végző személy felelőséget vállal és ezt aláírásával igazolja.

* A 3. AGY – Anyagvizsgálat a Gyakorlatban szemináriumon elhangzott előadás, Tengelic, 2006. június 1.

**Dr., okl. gépészmérnök; EWE/IWE; VT3, PT3, MT3, RT3; Ritinger Engineering

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

A **mivel** kérdés az adott vizsgálati eljárásra vonatkozik. Az ismereteknek, az eljárás fizikai alapjából kiindulva, a berendezéseken, a berendezések kalibrálásán keresztül, a berendezések vizsgálatra kész állapotának meghatározásáig terjedő ismereteket, a vizsgálat végrehajtásának módját, az eljárás segédanyagainak és eszközeinek használatát kell felölelnie. A teljességre törekvés mellőzésével meghatározott témakörökön túl a vizsgáló személynek ismernie kell az adott eljárás munka- és környezetvédelmi előírásait és azok betartásának jelentőségét. A tanúsított minősítés szintjétől függően tisztában kell lenni a vizsgáló személy magatartásával szembeni etikai elvárásokkal. Ismerni kell a humán tényezők (ellenőrzés, tréning, mentális állapot stb.) hatását a vizsgálat jóságra. Módszerekkel kell rendelkeznie a képességek fejlesztéséhez és a negatív hatások kezeléséhez.

A több évtizedes múltra visszatekintő hazai roncsolásmentes anyagvizsgáló képzés gerincét a felvázolt témakörök közül az eljárás fizikai alapjainak, a készülékeknek és a vizsgálat végrehajtásának ismertetése képezte. Az oktatás nyomán követte a vizsgáló eljárások fejlődését. A vizsgálati szabványokban a törésmechanika gyakorlati alkalmazásának bevezetése és a fáradásbírásra vonatkozó új előírások megjelenése jelentős hatással volt. Ez az MSZ 4310-1...9 szabványsorozat 1985-1988 között végrehajtott korszerűsítésében tükröződött vissza. Néhány kivételtől eltekintve, az EN szabványok megjelenése ellenére, még ma is ez a szemlélet tekinthető általánosnak.

A **hol** kerül sor a roncsolásmentes anyagvizsgálat végzésére kérdés megválaszolása, az előadás szorosán vett célkitűzése, amelynek részletes kifejtésére a következőkben kerül sor.

Az ipari szakterületek

Jelentős eltérés származik abból, hogy **hol**, milyen ipari szakterületen végezzük a roncsolásmentes anyagvizsgálatot. Az MSZ EN 473 szabvány több ipari szakterületet jelöl meg. A következőkben a fémtermékek gyártása (MM) és a készülékek, berendezések, létesítmények előzetes (nulla állapot) és az üzemi közbeni (ISI) vizsgálatát (EM) ipari szakterületeket tekintjük át.

A **fémtermékeket** szűkítsük hegesztett berendezésekre és korlátozzuk elemzésünket a 97/23 EC Direktívának megfelelő, többször módosított 9/2001.(IV.5.) GM rendelet, „a nyomástartó berendezések és rendszerek biztonsági követelményeiről és megfelelés tanúsításáról” jogszabályt támogató MSZ EN szabványok (pl.: MSZ EN 13445, MSZ EN 13480, MSZ EN 12952, MSZ EN 12953) szerinti berendezésekre. A berendezéseket I – IV kategóriába sorolják a töltet veszélyessége, a töltet jellege, a nyomás, a térfogat stb. figyelembe vételével. Az egyes kategóriákhoz megfelelés-értékelési (93/465

EK szerinti) modulokat rendelnek a következők szerint:

Kategória	Modulok
I	A
II	A1, D1, E1
III	B1+D, B1+F, B+E, B+C1, H
IV	B+D, B+F, G, H1

A modulok tartalmának leírását többek között a 9/2001.(IV.5.) GM rendelet 8. számú melléklete tartalmazza.

A modulokhoz hozzá rendelhetők az MSZ EN ISO 9001 szerinti minőségirányítási rendszeren belül megengedhető kizárások:

Megengedett kizárások	Modul
7.1. A termék előállítás megtervezése	E
7.2.3. Kapcsolattartás a vevővel	E
7.3. Tervezés-fejlesztés	E és D
7.4. Beszerzés	E
7.5.1. Előállítás, szolgáltatás szabályozása	E
Nincs megengedett kizárás	H

Fontos előírni a hegesztési eljárások minőségirányítási követelményeit, mert ezeknek az eljárásoknak a minőségét nem lehet teljes körűen igazolni. Ezeket az eljárásokat az MSZ EN ISO 9001 is különleges eljárásoknak tekinti. A különleges eljárások kezelését segíti az MSZ EN ISO 3834-1...5:2006 szabványsorozat, amely természetesen nem helyettesíti az MSZ EN ISO 9001 szabványt. Az MSZ EN ISO 3834 szabványsorozat önállóan is használható például a következő esetekben:

- a hegesztés minőségirányítási rendszerének kialakításakor,
- ha azt a szerződés előírja,
- ha azt a termékszabvány előírja,
- az adott cég hegesztés minőségirányításának ellenőrzésekor, vagy megítélésekor.

A szabványsorozat világosan kifejezésre juttatja azt a bölcsességet, hogy a minőséget nem lehet a (hegesztett) termékbe belevizsgálni, azt bele kell építeni. Teljes körű szabályozást kell megvalósítani a tervezéstől (a dokumentáció átvizsgálásától), az anyag kiválasztáson, a gyártástechnológián keresztül

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

az ellenőrzésig bezárólag. Fel kell tárnai a gyártás során a veszélyforrásokat (hazard, hazard azonosítás) és el kell végezni a termék megfelelés kockázatelemzését [1].

Az MSZ EN ISO 9001 szerint és hegesztett szerkezetek esetén az MSZ EN ISO 3834 szerint is működő minőségirányítási rendszert feltételezve a szerkezetek létesítésére vonatkozó szabványok (pl.: az MSZ EN 13445, MSZ EN 13480) a termék megfelelés tanúsításához a roncsolásmentes vizsgálatok terjedelmét igen korlátozottan írják elő joggal.

A vizsgálatok terjedelme általában:

- 100% VT (minden esetben),
 - 0...25% térfogat vizsgálat (pl. RT, vagy UT),
 - 0...25% felületi vizsgálat (pl. PT, vagy MT).
- 100% terjedelmű térfogat, illetve felületi vizsgálat a hegesztési (hőkezelési) repedésképződésre hajlamos anyagcsoportokból gyártott, IV kategóriába sorolt esetekben fordul elő.

A globalizáció, az Európai Közösségen belül az árúk szabad mozgása miatt nem csak a roncsolásmentes anyagvizsgálók minősítését és a minősítés tanúsítását, hanem a hegesztett kötésekkel (termékekkel) szemben támasztott követelmények ellenőrzésére szolgáló vizsgálati technológiákat, illetve adott vizsgálati eljárásokra lebontott követelményeket is szabályozni kell. Ezért megjelentek a vizsgálati technológiák (utasítások) szabványai (a szabványos vizsgálati utasítások) [MSZ EN 970, MSZ EN 571-1, MSZ EN 1290, MSZ EN 1435, MSZ EN 1714 stb.]; a vizsgálati eljárások eredményével szemben támasztott követelményeket tartalmazó szabványok:

(MSZ EN ISO 5817, MSZ EN 1289, MSZ EN 1291, MSZ EN 12517, MSZ EN 1712 stb.), és a felvázolt szabályozási környezet megértését segítő MSZ EN 12062 szabvány.

Az MSZ EN 473 5.3.2 szakasza, a 2. szinten tanúsított személlyel kapcsolatban megállapítja, hogy a személy bizonyította, hogy elfogadott, vagy elismert technológiák szerint el tudja végezni a roncsolásmentes anyagvizsgálatot. Felhatalmazást nyer (5.3.2. c) a roncsolásmentes vizsgálati szabványok és előírások vizsgálati utasításokká való átdolgozására.

Tehát ez azt jelenti, hogy ismernie, értenie, értelmeznie, és megértetnie kell tudnia a szabványos vizsgálati technológiákat. A szabványokban szereplő alternatívák közül ki kell választania az adott feladathoz legjobban megfelelő változatot.

Feltétlenül a megszokottság miatt még ma sem tekinthető elfogadottnak a fentiekben röviden összefoglalt elvárás. Ennek hiánya elsősorban a külföldi megrendelések teljesítésekor okoz problémát!

A termék megfelelés tanúsításához kapcsolódó vizsgálatokkal szembeni elvárás az előírt követelményeknek való megfelelés, vagy meg nem felelés eldöntése. A vizsgálatok során megelégszünk az elté-

résekkel analóg jelek értékelésével, mivel a követelmények is ezekkel vannak megadva. Kivételt képez a látható felület VT vizsgálata. A VT vizsgálat esetén mód van az eltérések tényleges méretének megadására. Természetesen a követelmények az eltéréseket is a valós méretükkel adják meg.

A továbbiakban vegyük példaként az ultrahangos vizsgálatot. A követelményt egy mesterséges reflektor méretével adják meg. A vizsgálat során az eltérésről érkező jelet hasonlítják össze a mesterséges reflektorról érkező jellel. Az összehasonlítás (az analóg kapcsolat) szorossága attól függ, hogy az eltérés mint reflektáló felület minősége mennyiben különbözik a mesterséges reflektorétól. Az eltérés fajtájára a reflektált jelek lefutása (alakja) alapján lehet következtetni. Ehhez nyújt segítséget például az MSZ EN 1713 szabvány.

A termék megfelelés ellenőrzésekor adott a regisztrálási határ (a behatoló folyadék szemcsesterkeze, a mágnesezhető por szemcsemérete), ezt ellenőrizni kell, megválasztható a regisztrálási határ (a röntgenfilm érzékenysége), illetve beállítható a regisztrálási határ (ultrahangos, örvényáramos vizsgálat esetén). A termék jelentőségétől és a roncsolásmentes vizsgálati eljárástól függően adott a megengedett eltérés (átvételi szint). A két határ közötti különbséget úgy kell megválasztani, hogy ne vezessen indokolatlanul sok (zavaró) jel regisztrálásához, illetve nagy legyen ahhoz, hogy az elfogadási szinthez közel eső, esetleg azt meghaladó jelet regisztráljuk. A két határ között regisztrált jelek alapján az eltéréseket megengedett eltéréseknek nevezzük. Az átvételi szintet meghaladó jelet okozó eltéréseket hibának tekintjük és a termékre vonatkozó előírások szerint javítjuk. A két határ között lévő jeleket külön előírás alapján, a jelek helykoordinátaival hibatérképen adják meg.

A szerkezeteket meghatározott élettartamra tervezik. Sok esetben a szerkezetek nem élik meg tervezett élettartamukat, mert lebontják (pl. gyógyszeripar), vagy katasztrófák következtében (pl. földrengés, terroristámadás, háború) üzemeltetésre alkalmatlanok lesznek. Ugyanakkor számolni kell a tervezett élettartamon túli üzemeltetéssel nehezen, vagy nem megszüntethető szerkezetek esetén, illetve anyagi okok miatt. Az utóbbi ok miatt nagyon sok berendezés üzemel ma hazánkban a tervezett élettartamán túl.

A berendezések, létesítmények előzetes és üzem közbeni vizsgálata ipari szakterület

Az üzemelő szerkezetekhez felhasznált anyagok igénybevételétől függő tulajdonsága (pl. szívóssága) kedvezőtlenül változik meg (pl. ridegedig). A megengedett eltérések növekedhetnek (pl. fáradás hatására), illetve újak keletkezhetnek (pl. fáradás, feszültségkorrózió, korróziós fáradás hatására).

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

A károsodási folyamat egy lappangási idő eltelével indul meg. A lappangási idő nagysága jelentősen függ a szerkezet igénybevételétől, hatással van rá a szerkezet jósága. A lappangási idő a tervezett élettartam 30 – 70%-át teheti ki.

Az üzemelő szerkezetek állapotellenőrzésekor, a maradó élettartamuk meghatározásakor, vagy az élettartamuk menedzselése során a legfontosabb bemenő adat az értékelés pillanatában a szerkezetben található hibák befoglaló mérete.

A szerkezet anyagát tervezésekor korrelációs összefüggések használatával, vagy törésmechanikai méretezés eredménye alapján választják meg. A törésmechanikai méretezéskor feltételeznek egy hiba fajtát és méretet (általában a felületről kiinduló, a vastagság 25%-ával egyező mélységű, a kistengely háromszorosát kitevő nagytengelyű fél ellipszis alakú repedést). Ezzel egyező méretű hibát tételeznek fel az acél kiválasztási rendszerek (pl. a ma már visszavont, de évtizedeken át eredményesen használt MSZ 13802 szerinti acél kiválasztási rendszer is, azzal a feltételezéssel, hogy a szerkezet egyetlen pontján sem haladja meg a feszültségkoncentrációs tényező nagysága a 2,25 értéket). Lehet nagyobb méretű hibát is feltételezni, mint például az LBB (leak before break) kritérium is teszi. A feltételezett hiba méretének növekedése jelentősen megnöveli a szerkezet költségét.

A feltételezett hiba mérete és a regisztrálási határ közötti tartományt általában három (esetenként két) területre osztják, ezek:

– A regisztrálási tartományhoz közel eső tartomány, ahol megengedik az analóg jelek értékelését (a termék megfelelés ellenőrzéséhez hasonlóan). Ezt a hosszabb lappangási idők esetén választják (pl. kúszási károsodás esetén). Feltételezik, hogy a termék megfelelés igazolása során regisztrált eltérések nem változnak meg. Ez a tartomány nullára csökken le, ha a lappangási idő kicsi, a károsodás rövid idő elteltével megindul (pl. korróziós, gyorsan változó hőmérséklettel együtt változó mechanikai igénybevétel hatására).

– A második szakaszban a hibák befoglaló méretét kell meghatározni és összehasonlítani törésmechanikai számításokkal meghatározott hibaméret kataszterrel. A hibaméret kataszter az a/t , a/l , y (a hiba felülettel való kölcsönhatását kifejező tényező) viszonyszámokat tartalmazza. Amennyiben a roncsolásmentes anyagvizsgálatokkal meghatározott hibák mérete kisebb mint a hiba kataszterbe foglalt hibák mérete a szerkezet az ISI eredménye alapján a továbbüzemelésre megfelel (FFP, FFS).

– Amennyiben a hiba mérete meghaladja a kataszterben foglalt méreteket, a hibákat egyenként kell törésmechanikai számításokkal ellenőrizni, az igénybevételtől függő biztonsági tényezők figyelembe vételével.

A kataszterben szereplő hibaméreteket tekintik a fáradásos, korróziós-fáradásos repedésterjedés input adatainak. A számítás eredményéből következtetni lehet az élettartam kimerülés ütemére, amely a vizsgálatok időpontjának (gyakoriságának) meghatározása szempontjából jelentős.

A vizsgálatok szempontjából a következő korlátozások vezethetők be:

– A feltételezett hiba mérete nagy. Lehetőség van a csökkentésére akkor, ha a termék előállítása kellően magas műszaki színvonalon folyt (kapcsolat a 9/2001 és a 63/2004 jogszabályok között), illetve az ISI során alkalmazott roncsolásmentes anyagvizsgálati technológiák meggyőző minősítéssel rendelkeznek. A vizsgálati technológiák minősítése a Paksi Atomerőmű Rt. kezdeményezésére indult meg és folyamatban van jelenleg is [2].

– Az ISI költsége, a vizsgálati költségből (ez a kisebb és a berendezés leállításának, újraindításának költségéből, valamint a termelés kiesésből tevődik össze, ami igen jelentős. Ezért a kötött ciklusú vizsgálatok helyébe a kockázat alapú ellenőrzést (RBI) vezetnek be sok helyen.

A problémakör alapjainak igen rövid, összefoglalását követően tekintsük át a részletesebben a vizsgálatokkal összefüggő követelményeket.

Az állapotellenőrzés nem a roncsolásmentes anyagvizsgáló feladata, de fontos, a számítások során használható adatokat kell szolgáltatnia. Szükség szerint tájékoztatást kell adnia (a kommunikáció jelentősége) a vizsgálat reprodukálhatóságáról és a vizsgálati eredmények megbízhatóságáról. A vizsgáló személynek a tanúsított minősítése mellett megfelelő kondícióban (a tréning jelentősége) és a vizsgálatot nem zavaró mentális állapotban kell lennie.

Az ISI során a vizsgáló személy általában a termék megfelelés ellenőrzése során alkalmazott vizsgálati módszereket használja (sok félreértés ebből származik).

A továbbiakban ismét vegyük az ultrahangos vizsgálati eljárást. A termék megfelelés ellenőrzésekor az ultrahangos vizsgálat a mesterséges reflektorral és az eltérésekről kapott jeleket hasonlítjuk össze. Az összehasonlítás eredménye alapján döntünk arról, hogy az eredmény megfelel, vagy nem felel meg.

Az ISI során a feltárt hiba szélső pontjait jelöljük ki hosszúság és mélység irányban, amelyekre ellipszist, vagy kört illesztünk. Csoportos hiba esetén a hibák közötti távolság alapján döntünk a kölcsönhatásról. Ultrahang nyalábbal jelöljük ki a szélső pontokat. A pontok közötti távolságot hossz mérő eszközzel határozzuk meg. Tehát egy klasszikus hossz mérést végzünk. A lehetőségektől függően használhatunk mérőléceket, elektromos mérőelemet (indukciós, vagy kapacitív útadót), elektromechanikus elemet (léptető

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

motoros útdát), vagy ismert terjedési sebességű hullám terjedési idejéből számíthatunk távolságot. A vizsgálat során a metrológia követelményei nem hagyhatók figyelmen kívül.

A vizsgálatokat az adott szerkezet komponenseihez kell illeszteni. Ezért is van jelentősége a szerkezetek tervezése során a komponensek kialakítására vonatkozó javaslatok figyelembe vételének (pl. MSZ EN 1708 szabványsorozat).

Az ISI vizsgálat során alkalmazott ultrahangos vizsgálati technológiák elkészítéséhez szabványos ajánlások vannak (pl. az MSZ EN 583-1-6 szabványsorozat).

Végül fel kell tenni a kérdést, hogy miben egyezik és miben tér el a termék megfelelés ellenőrzésekor (MM) és az üzemelő szerkezetek ismétlődő ellenőrzésekor (EM) végzett roncsolásmentes vizsgálat? A két terület csak az alkalmazott vizsgálati eljárásokban egyezik meg! A gondolkodásmódban, felkészültségben, adatszolgáltatásban (nem dönt megfelelt/nem felelt meg, hanem méretet ad meg), kommunikációs készségben, jelentős eltérés van a két területen tevékenykedő vizsgáló személyek között, amely a tanúsított minősítésben is kifejezésre jut (MM, EM).

A termék megfelelés ellenőrzéséhez szükséges és elégséges szabványos vizsgálati technológiák állnak rendelkezésre, a vizsgálat eredményével szemben támasztott követelményeket termék szabványok (szerződések) tartalmazzák.

Az ISI számára inkább módszertani segítséget adó szabványos útmutatókat találunk (pl. ultrahangos vizsgálat esetén az MSZ EN 583 szabványsorozat, akusztikus emissziós vizsgálat esetén az ASTM szabványok). A vizsgálati technológia kidolgozásakor figyelembe kell venni a károsodási mechanizmusokat, a potenciális hibahelyeket, a reprodukálhatóságot és az eredmények megbízhatóságát. Nem fogadhatók el az ISI területén azok a vizsgálati eredmények, amelyeket a termék megfelelés ellenőrzésére vonatkozó vizsgálati technológiával kaptak. Hibás az a gyakorlat, amikor a vizsgálati eredményeket a termék megfelelésre vonatkozó követelményekkel hasonlítják össze.

A berendezéseket üzemeltető, amennyiben nincs saját roncsolásmentes vizsgáló laboratóriuma, nem rendelkezik vizsgálatokhoz kellően értő szakemberekkel. Az ISI vizsgálatokat laboratóriumoktól, vizsgáló személyektől rendelik meg. A vállalkozó (beszállító) kiválasztásakor a felkészültség megítélésében segítséget nyújtanak a laboratórium akkreditált státusza, vagy a vizsgáló személy jártasságát igazoló referenciái. Az utóbbiak döntően a vállalkozó és az akkreditáló, valamint a tanúsító szervezet felelősére hívják fel a figyelmet.

Összefoglalás

Az előadás megkísérelte röviden bemutatni mindenképp előtt a hazai roncsolásmentes anyagvizsgálat fejlődését és a jelenlegi elvárásokat.

El kell ismerni, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálat területén nemzetközi mércével mérve is jelentős eredmények születtek, születnek az egyes alkalmazások területén. Ezt igazolják a szeminárium programjában szereplő kitűnő előadások.

Ennek ellenére a roncsolásmentes anyagvizsgálók gondolkodás módját még ma is egy túlhatalmított állapot határozza meg. Ennek oka a megszokottságon túl valószínűleg abban keresendő, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálatok fejlődéséhez, a tevékenység csoportos jellege miatt iskolát, műhelyt teremtő laboratóriumokra van szükség. Sajnálatos módon az iskolát teremtő laboratóriumok száma az elmúlt időben jelentősen csökkent. Megjelentek az egyéni vállalkozó roncsolásmentes anyagvizsgálók, ami önmagában nem lenne baj, ha volna lehetőség számukra az ismereteik megújítására és szinten tartására.

Sajnálatos módon a roncsolásmentes anyagvizsgálat nem szerepel kellő súllyal a főiskolai és egyetemi képzés tananyagában!

Nehézséget jelent, hogy a roncsolásmentes anyagvizsgálat magyarnyelvű szakirodalmi rendkívül hiányos. A roncsolásmentes anyagvizsgálók néhány esettől eltekintve nem vesznek részt a nemzetközi szakmai életben, ami igen káros elszigetelődéshez, önmagunk által előidézett kirekesztéshez vezet.

Az iparilag fejlett országokban a termék megfelelés ellenőrzését végző anyagvizsgálók (MM) és az ISI területén tevékenykedő anyagvizsgálók (EM) külön csoportot alkotnak. Ezzel elkerülhető az, hogy az anyagvizsgáló a szakmai szempontból jelentősen eltérő két terület elvárásait és követelményeit összekeverje. Sajnos ennek bevezetésére ma Magyarországon nagyon kis esély van.

Hivatkozások

- [1] *Rittinger, J.*: A hegesztett szerkezetek létesítésének kockázatelemzése. XII. Országos Hegesztési Tanácskozás. Budapest 2006.
- [2] Roncsolásmentes vizsgálati technológiák minősítése. Folyamatban lévő projekt. A projekt irányítója: dr. Somogyi György.

Az akusztikus emissziós vizsgálat megbízható végrehajtásának szempontjai*

Szűcs Pál**

Kulcsszavak: szerkezet-geometria, akusztikus anyagjellemzők, érzékelők elhelyezése
Keywords: structure's geometry, acoustic material characters, detector distribution

Summary

Reliable performance's standpoints of the acoustic emission testing. The aim of acoustic emission testing is to determine the material defects influencing integrity of the structure. Therefore the reliable performance's standpoints – over the standard's prescriptions – of acoustic emission testing are shortly summarized, namely: knowledge of the geometry and the acoustic material characters of structure and its effect to rate and damping of the a.e. signals as well the planning of the detector distribution

Bevezetés

Az akusztikus-emisszióról köztudottá vált, hogy olyan roncsolásmentes vizsgálat, amely a terhelési vagy nyomáspróba alatt végezve kiválogatja azokat a folytonossági hiányokat, amelyek környezetében az igénybevétel hatására képlékeny zóna alakul ki vagy a képlékeny zóna növekedik. De miként kell végrehajtani az akusztikus-emissziós vizsgálatot, hogy ennek az elvárásnak megbízhatóan eleget tegyen?

Az akusztikus-emissziós vizsgálat szabványrendszerre teljesnek mondható. Az MSZ EN 1330-9 szabvány az akusztikus-emisszió fogalmait tartalmazza. Az MSZ EN 13477-1 és -2 szabványok a berendezés (műszer, előerősítők, érzékelők, kábelek) műszaki követelményeit és azok ellenőrzését tartalmazza. Az MSZ EN 13554 szabvány a vizsgálat általános alapelveiről, az MSZ EN 14584 szabvány a nyomástartó berendezések akusztikus-emissziós vizsgálatáról szól. Tehát szabályozás oldalról minden összeállt, hogy reprodukálható, összehasonlítható méréseket lehessen végezni!

Szempontok

Az akusztikus-emissziós (a.e.) vizsgálat vizsgálati utasítását csak a vizsgálandó szerkezet alapos ismeretében lehet elkészíteni! Ismerni kell az anyagminőséget, annak a.e. viselkedését (1. ábra), a főbb méreteket (falvastagság, átmérő, hossz), a geometriai kialakítást.

* A 3. AGY – Anyagvizsgálat a Gyakorlatban szemináriumon bemutatott előadás, Tengelic, 2006. június 1.

**okl. fizikus, ORSZAK BT. – Oktatás és Rendezvény Szervező, Adatszolgáltató és Kiadványgondozó BT., 1752 Budapest, Pf. 101
Tel.: 402-4098, Fax: 402-4099, Mobil: 06-20-958-2659, E-mail: orszak@t-online.hu

A szerkezeten csillapodás- és sebességméréseket kell végezni. Az MSZ EN 14584 szabvány egységesíti a csillapodásmérést, amikor azt javasolja, hogy a jól ismert ceruzabél-töréseket az érzékelőtől 20 mm-re és a falvastagság tízszeresének megfelelő távolságra, valamint a jellemző érzékelő távolságnak megfelelő távolságra végezzék el (2. ábra). Ez a módszer a különböző (falvastagság, méret, anyag) edényeken végzett mérések érzékenységet összehasonlíthatóvá teszi.



1. ábra. Szakítóvizsgálat a feszültség és az akusztikus-emissziós jellemzők (aktivitás, intenzitás) közti kapcsolat feltérképezésére

Fig. 1: Determination the relations among the stress and the acoustic emission characters (activity, intensity) by tensile test

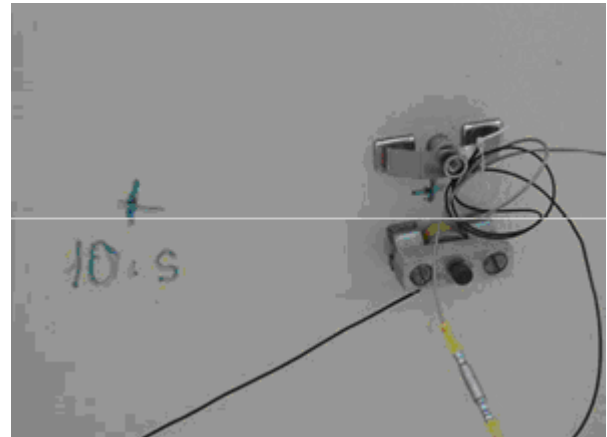
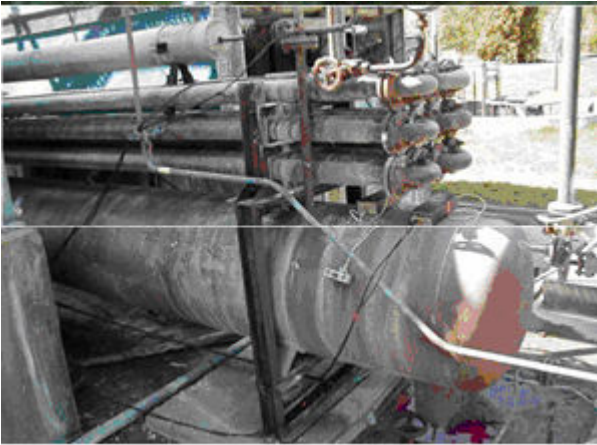
Fontos felhívni a figyelmet arra, hogy ha az edény részben van folyadékkal feltöltve, akkor a folyadékkal érintkező paláston és a gáz/gőz fázissal érintkező paláston is el kell végezni a csillapodásmérést. Az előző helyen erősebb csillapodást fogunk tapasztalni.

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

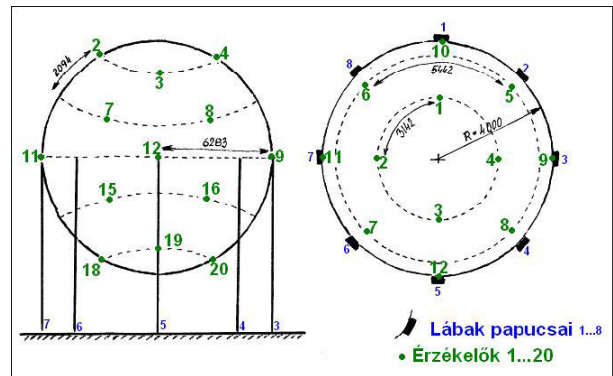
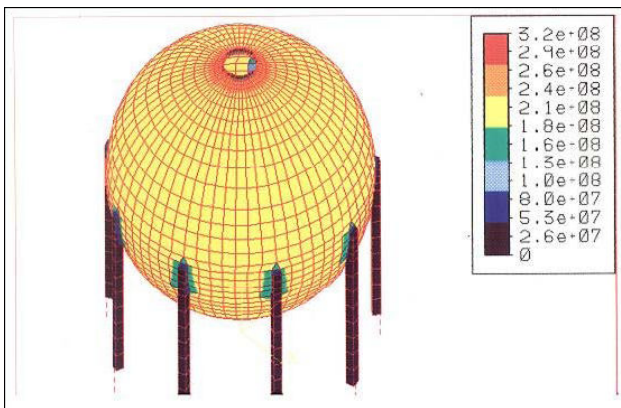
Az érzékelők kiosztásának megtervezésénél figyelembe kell venni a várható feszültségeloszlást (3.

ábra). A megvalósult telepítést a mérés előtt és után (a berendezés stabilitása!) tesztekkel ellenőrizni kell.



2. ábra. Sebesség- és csillapodás-mérés a vizsgált edényen az MSZ EN 14584 szabvány szerint

Fig. 2: Rate and damping measuring on the tested vessel by the standard of EN 14584



3. ábra. Példa az érzékelők kiosztásának tervezéséhez

Fig. 3: An exemplar for planning of the detector's distribution

Az ultrahangos vizsgálatoknál már természetes, hogy a szakvélemény nyilatkozatot tartalmaz arról, hogy a vizsgáló berendezés megfelel-e a szabványkövetelményeknek. Ennek a megfelelőségi nyilatkozatnak az akusztikus-emissziós vizsgálati jegyzőkönyvekben is meg kell jelenniük! A Megbízó és a Vizsgáló közti megbeszélések egyik sarkalatos pontja szokott lenni, hogy a nyomáspróba közben elvégzett akusztikus-emissziós vizsgálatról milyen típusú és milyen méretű folytonossági hiányok kimutatása várható. Ezen kérdés megválaszolására a szokásos feszültségbecslés, amely membránfeszültség feltételezésen alapul, nem alkalmas. Abból kell kiindulni, hogy az adott folytonossági hiánynak mekkora a feszültségkoncentráció, feszültségnövelő hatása (pl.: Ed. Y. Murakami: Stress intensity factors handbook). Ehhez az **anyagjellemzőn** kívül a folytonossági hiány **méreteit** kell ismerni. Tehát nem kell meglepődni azon, hogy az egyenletes korróziós falfogyások, a korábban

feltárt és átmenettel kiköszörült repedések területe akusztikus-emissziós szempontból inaktív lesz.

Hol várható tehát akusztikus-emissziós aktivitás?

- A kivitelezés során elkövetett illesztési hibák környezetében.
- Repedések, kötésihibák, szélbeégések környezetében.
- Járulékos feszültséggel (hőfeszültséggel, saját súlyból és/vagy javító hegesztésekből származó feszültséggel, ...) terhelt szerkezeteknél.

Itt jön az igénybevétel: a nyomásfluktuációk, a hőmérséklet-változások, a töltet korrózió hatása. Mert ezek hatására alakulnak ki, növekednek a sík jellegű hibák.

Egy biztos: Ha a megfelelő mérőműszer érzékelőit kellő sűrűen telepítjük és a küszöbszintet jól állítjuk be, és ha a készülék nem lokalizál akusztikus-

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing

emissziós eseményt, akkor a szerkezetben nincs is a próbanyomás feszültség szintjén növekedni képes repedés.

Az akusztikus-emissziós vizsgálatoknál is felmerül a validálás igénye. Miként valósítható ez meg?

Az egyik lehetőség, hogy a vizsgálat során párhuzamosan telepítünk két, független (lehetőleg más el-

ven is működő) műszert, például Sensophone és Defectophone műszert. Ezek észleleteinek azonossága megfelelő megerősítése vizsgálatunk helyességének.

A másik lehetőség, hogy egy edény vizsgálatát több mérőcsoport párhuzamosan végzi és értékeli ki. A lakossági PB-tartályok vizsgálatánál gyakorlat ez az önellenőrzés a mérési szezon elején.

Pipe Scan ultrahangos csővizsgáló berendezés alkalmazása

a Paksi Atomerőműben*

Bánki Attila**

Kulcsszavak: reaktortartály, csőcsonk, ultrahangvizsgálat
Keywords: reactor vessel, pipe stump, ultrasonic investigation

Summary

Application of the Pipe Scan ultrasonic pipe-tester in Paks NPP. The pipe-tester was installed in this year. The characteristics of this ultrasonic pipe-tester and the first experiences are discussed in this paper. The pipe stumps of reactor vessel were investigated by the Pipe Scan and the earlier detected reflectors were determined with an adequate accuracy.

Bevezetés

A Paksi Atomerőmű Anyagvizsgáló Osztályának szakemberei végzik rendszeresen a reaktortartályok gépi ultrahangos vizsgálatát a tartály külső felülete irányából, valamint a gőzfejlesztő kollektorok gépi vizsgálatát. A vizsgálandó területek: a reaktortartály hengeres része, csonkzónája, osztósíkja, továbbá a gőzfejlesztőkön a kollektor, a ligament, kollektorvarratok.

Ezekhez a jövőben további vizsgálatok csatlakoznak: nevezetesen: az NA 500-as átmérőjű ausztenites csővezetékek a hozzá tartozó íves átmenetekkel (1. ábra), és várhatóan az NA 250-es átmérőjű ausztenites csővezetékek, a térfogat-kompenzátor 1. szerelési varrata, az NA 100-as átmérőjű vezetékek csatlakozása az NA 500-asba, továbbá a gőzfejlesztő kollektorok körvarrata (2. ábra).

A Paksi Atomerőmű 2006 januárjában megvásárolta a Pipe Scan ultrahangos csővizsgáló berendezést, melynek használatára két hetes képzésen vettünk részt. A berendezés megérkezése után a Karbantartó Gyakorló Központban próbavizsgálatokat végeztünk azon az etalonon, amely egy mesterséges reflektorokkal ellátott, 1:1 méretarányú NA 500-as átmérőjű ausztenites csőszakasz, rajta egy körvarrattal és reaktorcsonkkal, melyen egy tranzienis varrat (ausztenitesből átmenet szénacélba) is van. Így, már februárban üzembe helyeztük a berendezést az 1. blokki csonkvizsgálatnál (4, 5 és 6 jelű csonkok)

A csővizsgáló berendezést elsősorban a csonkzóna vizsgálatánál használtuk, NA 500-as átmérőjű csonk tranzienis és első szerelési varratánál,

illetve az idei év májusában a 4. blokki leállásakor az NA 250-es átmérőjű csonk varratánál is.

A jövőben bevezetésre kerülő vizsgálatok elvégzéséhez ez a rendszer alkalmas, mivel könnyen átalakítható mechanikával rendelkezik. A berendezés eredendően dán gyártmány. Dánia, köztudottan a LEGO hazája, ez a mobilitás, alakíthatóság a Pipe Scan-re is érvényes.

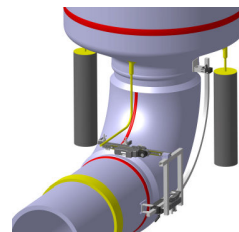


Fig. 1. ábra.

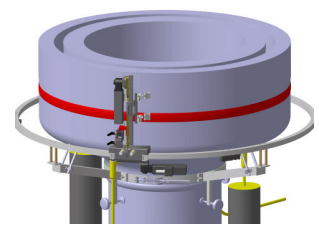


Fig. 2. ábra.

1. ábra. Az NA 500 íves átmenet
 Figure 1: Arched transition of NA 500

2. ábra. GF kollektor varrat
 Figure 2: Welding of GF collector

A Pipe Scan jellemzői

A PS 4 adatgyűjtő és kiértékelő rendszer

A PS 4 nyolccsatornás ultrahangos berendezés, amelyben hagyományos ultrahangos fejeket használunk.

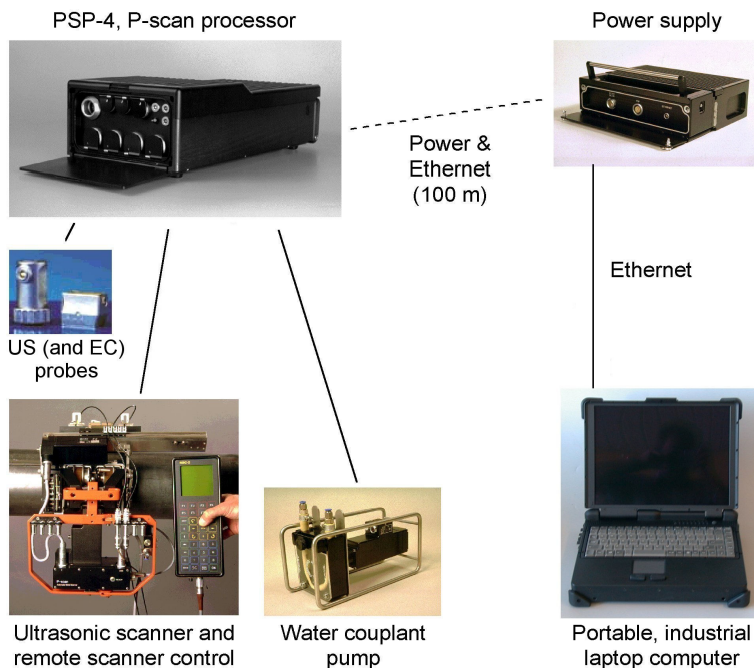
Tapasztalatok szerint az első szerelési varratoknál, 50, 60, 70°-os besugárzási szöggel lehet a legtöbb információt kapni, míg a tranzienis varratoknál 45, 60, 70° bizonyult a legjobbnak. Ezeket a besugárzási szögeket az előző rendszer (SAPHIR) fázisvezérelt ultrahangos fejei által kapott értékek alapján határoztuk meg. Jelenlegi ismereteink szerint ezek az ultrahangos fejek szükséges és elégséges feltételei a korrekt vizsgálat elvégzésének. Más besugárzási szöggel rendelkező fejek használata nem eredményezne többet információt, csupán nagyobb adatmennyiséget.

A P-scan 4 + általános felépítése

A 3. ábrán az általános rendeltetésű vizsgálórendszer elemei láthatóak (szkenner; csatolóvíz-pumpa; vezérlőegység; táp; vezérlő számítógép).

* A 3. AGY – Anyagvizsgálat a Gyakorlatban szemináriumon elhangzott előadás, Tengelic, 2006. június 2.

**Paksi Atomerőmű Rt.



3. ábra. A vizsgáló rendszer elemei
Figure 3: Elements of the testing system

A P-scan 4+ rendszerelemi

Az egyes elemek és a köztük lévő kapcsolatot a 4. ábrán látható blokkdiagram szemlélteti.

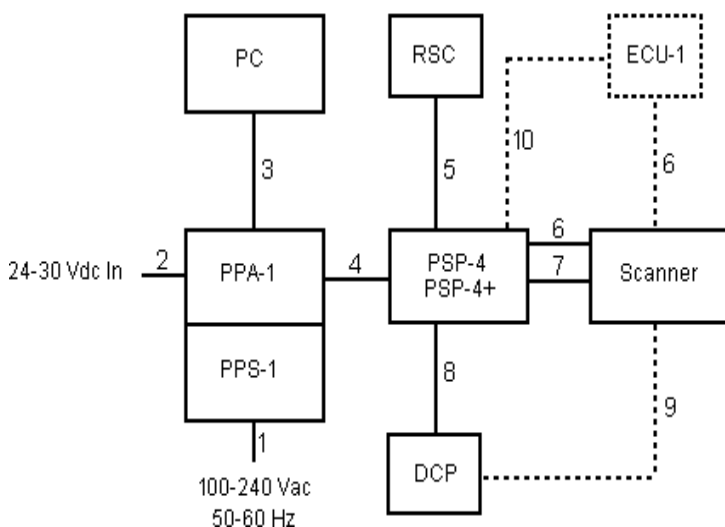
Az ábrán is látható, a PS4 alkalmas lenne örvényáramos vizsgálatok elvégzésére is, de ezen plusz opciót már nem kértük, mivel igényünk kifejezetten ultrahangos vizsgálatra vonatkozott.

Vizsgálati beállítások

A főablak (5. ábra) egyben a vizsgálati feladat beállítási adatait is tartalmazza.

A beállítási adatok beadása közben szabadon ugorhatunk fel és le a vizsgálati paraméterek és rendszeradatok, valamint a főablak között.

A vizsgálati paraméter ablakban több ultrahangos fejet állíthatunk be, akár azonos vagy más-más paraméterekkel. Megvalósítása egyszerű, a vizsgálati paraméterekhez elemeket rendelhetünk, ha azt akarjuk, hogy az egyes fejek azonos értékekkel rendelkezzenek, az elemeknek azonos szint állíthatunk be. Ezután,



A berendezés egység	
típusa	neve
PPA-1 ⁽¹⁾	P-szken adapter
PPS-1	P-szken tápegység
PC	Személyi számítógép
PSP-4+	P-szken processzor
PSC	Szkenner vezérlőegység
DCP	Csatolóvíz-pumpa
ECU-1 ⁽²⁾	Külső örvényáramos egység (8-32 csatornás)

4. ábra. A P-scan 4+ blokkdiagramja
Figure 4: Block-schema of P-scan 4+

bármelyik fejnél módosítjuk a paramétereket, mind-egyikre érvényes lesz. (Például egy NA 500 első szerelési varratának vizsgálatánál azonos geometria beállítása célszerű.)

Beállítási lehetőségek:

- Fejek tulajdonságainak csoportosítása, a már említett elemcsoport választással;
- Fejek megnevezése, azonosítók, kisebb nagyobb megjegyzések hozzáfűzése>
- A vizsgált terület geometriájának beállítása (alapvetően háromféle geometrián végrehajtható ötféle szkennelési útvonalmintát ismer a program: sík,

hengeres, csavartvonalú, longitudinális (lineáris), gömb, ugyanakkor itt kell a névleges anyagvastagságot is beállítani;

- A vizsgálati felület pontos méretének meghatározása x, y, z koordináták alapján, szkennelési érzékenység felbontásának megválasztása mm/pixel-ben;
- Kalibrálás, szükség szerint TEN (távolság-erősítésméret) beállítása;
- Hangterjedési sebesség beállítása;
- A vizsgálófej tulajdonságainak beállítása (egykristályos, ikerkristályos, kétféjes, besugárzási szög, index pont, késleltetés, frekvencia);
- A vizsgálati kapuk beállítása (µsec, %, mm, inch);

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

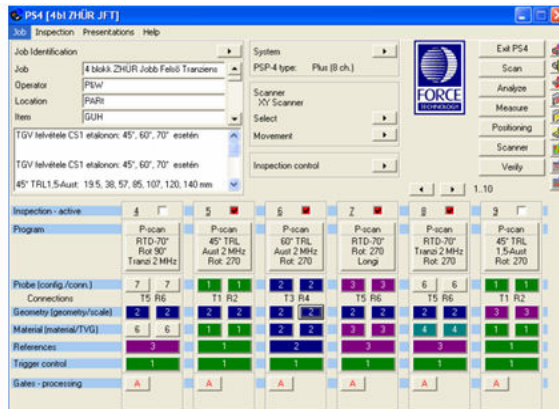
Non-destructive material testing

- A vizsgálati csatornák kiválasztása (adóvevő fej vagy több ultrahangos fej használata esetén), továbbá a fejek elhelyezkedése egymáshoz képest x, y koordináta alapján, szkennelési iránnyal (Rot 90 vagy 270)
- További lehetőség: a referencia erősítés beállítása.

Rendszerparaméter ablakban elsősorban a mechanikai mozgásokat lehet beállítani, azaz a szkenn

er mozgását. Alapértelmezetten az előre beállított mozgások közül lehet választani, de lehetőség van egyedi programok írására is.

A „scanner movement” az elsődleges beállítási terület, ahol megadható a mechanikai mozgás iránya, x, y irányú mozgások kezdő és a stop pontjai, a limitek, a léptetési sebesség stb.



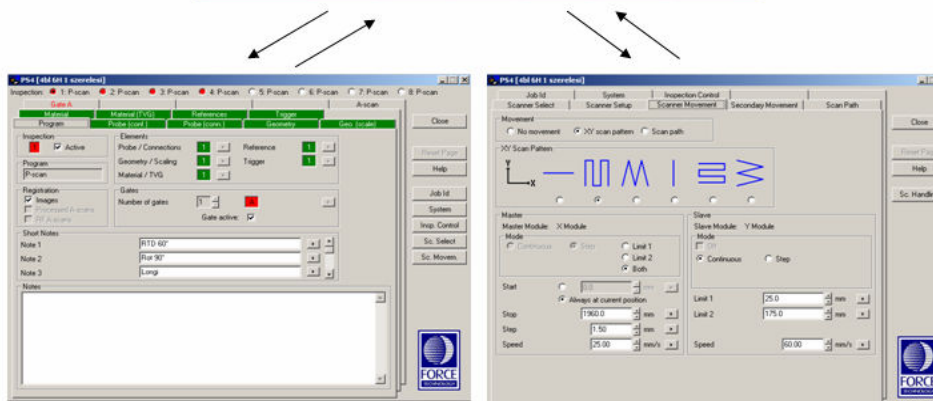
A PS4 főfunkciói

A főablak, a vizsgálati paraméterek és a rendszeradatok ablakainak mindegyikéből elérhetőek a főfunkciók (6. ábra).

A főablakból és a vizsgálati paraméterek ablakból is a mérés ablaka egyaránt elérhető. Itt lehetőség van arra, hogy a berendezést hagyományos kézi ultrahangos készülékként használjuk, bár méretét és mobilitását tekintve, nem ezt a célt szolgálja, viszont a vizsgálófejek kalibrálására kifejezetten alkalmas. A kalibráláshoz, mivel RTD fejekről van szó, az ezekhez tartozó speciális RTD etalont használjuk.

A szkennert pozicionálásról:

A szkennert konfigurálhatjuk az útvonal-vezető alkalmazásával és egy ehhez tartozó külső út jeladóval (ez a szkennervezélő ablakból is vezérelhető), vagy használhatjuk az önálló tengely szerinti mozgást (ebben az esetben x, y korrekció szükséges). Ugyanezen pontban állítható be a vízellátás is, azaz a PS4 rendszer vízpumpája – az ultrahang-csatolás vízmennyisége – is programmal szabályozható.



Vizsgálati paraméter ablak

Rendszerparaméter ablak

5. ábra: A főablak a vizsgálat beállításához
Figure 5: Chief window for setting of the testing

A szkennert vezérlése / pozicionálása

A *szkennert vezérlő* ablak minden főfunkció ablakának főmenüjéből elérhető.

Ebben az ablakban (7. ábra) a szkennert minden egységének a pozícióját és állapotát ellenőrizni tudjuk: tengelyek szerinti mozgás, kalibráció stb..

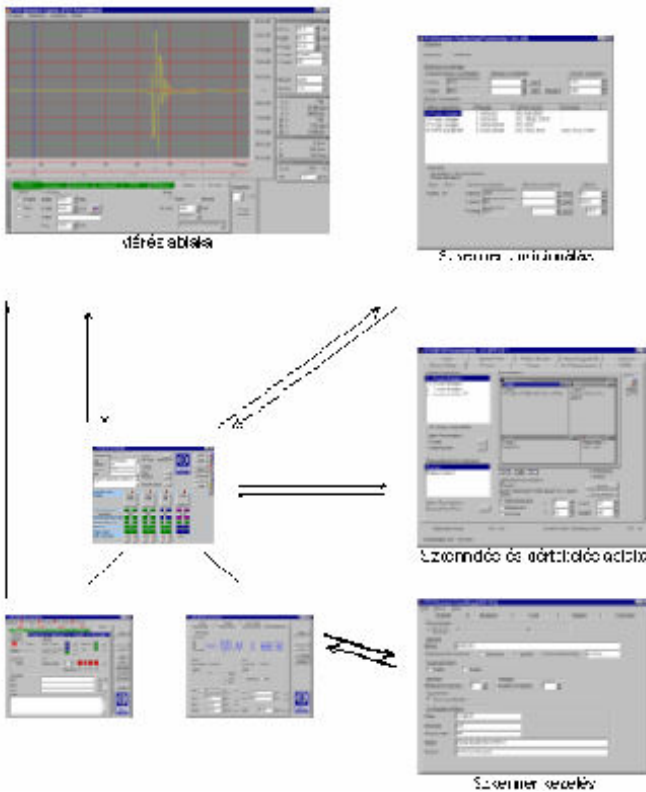
A szkennert programozható a szkennervezélő ablak valamelyikének a használatára.. Ha ez az előválasztás a szkennertben hiányzik, akkor az alapértelmezett vezérlőablak jelenik meg. A 7. ábra a szkennervezélő ablakot mutatja.

A beállítás lehetőségei itt adóttak, szinte ugyanazok, mint a rendszerparaméter ablakban, különbség az, hogy itt nemcsak (movement-ben beállított) program szerint mozoghatunk, hanem a kézi vezérlésként is használhatjuk, továbbá a mechanikai kalibrálást is itt végezhetjük el.

Lehetőség van itt is a vízpumpa szabályzására, és a külső jeladó alkalmazására is.

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing



6. ábra. Kapcsolódások a főablakhoz
Figure 6: Connections to the chief windows

Adatmegjelenítés

A vizsgálati adatok megjelenítése a szkennelési és kiértékelési funkciók használata közben lehetséges (szkennelés-on-line; kiértékelés-off-line). A megjelenítés a képernyőbeállítások szerint történik.

Szkennelés és a kiértékelés módja

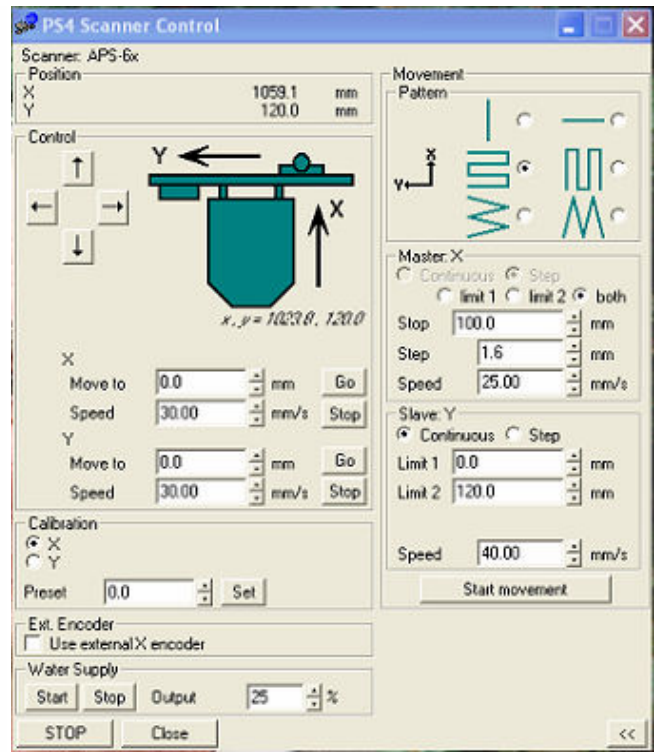
A megjelenítés ablak megnyitható a főablaktól teljesen függetlenül.

A szkennelés indítása után az összes, az adott vizsgálati feladatban definiált és aktív adatfelvétel elő lesz készítve szkenneléshez, és kiválaszthatjuk a rögzített adatok szkennelési megjelenítésének formáját is (lásd 8. ábra).

A kiértékelés indításakor a program kilistázza az aktuális vizsgálati feladat összes olyan adatfelvételét, ahol adatrögzítés is történt, ezek mindegyikéhez hozzárendelhetünk különböző megjelenítési formákat.

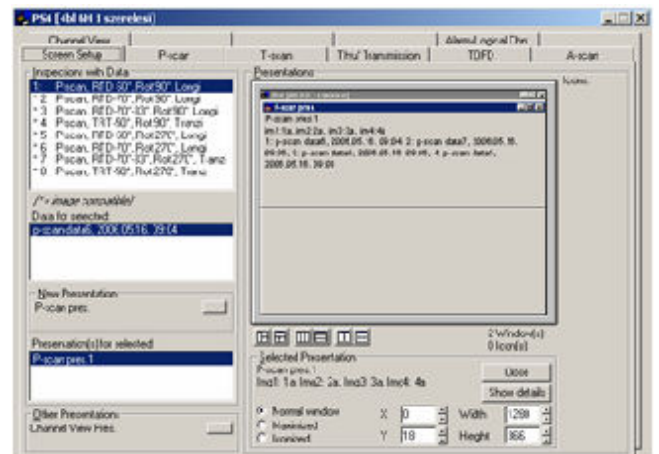
A 250 mm átmérőjű csőcsomok tranzien্স varrata vizsgálatának (besugárzási szög: 60 és 70°) példáján szemléltetjük a vizsgálat során a vizsgálati képernyőn (9. ábra), illetve a kiértékelési képernyőn (10. ábra) megjelenő információkat.

Vizsgálat alatt alap beállításként az egyes besugárzási szögek A-képet használjuk, valamint a hozzájuk tartozó felül- és oldalnézeti képeket. Ennek főbb oka az,

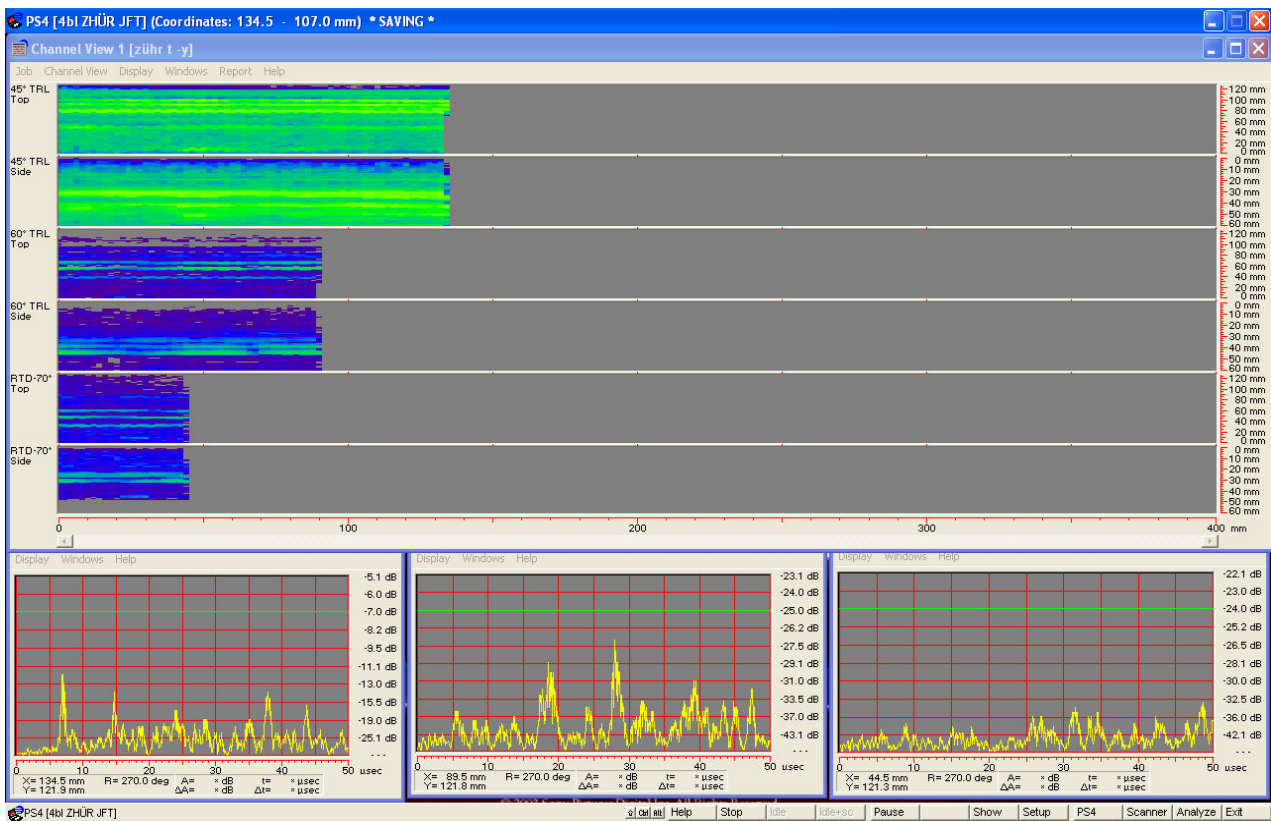


7. ábra. A szkennер vezérlőablak
Figure 7: Control window of the scanner

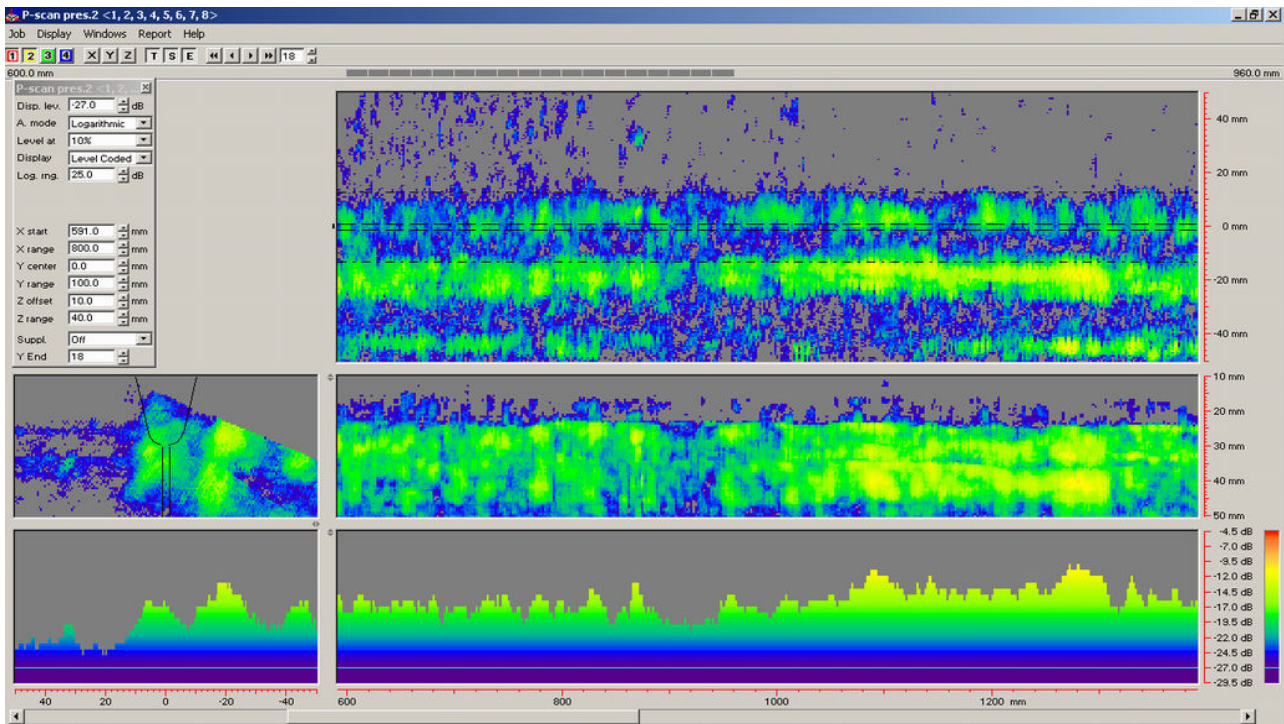
hogy a vizsgálat (felvétel) alatt folyamatos visszajelzést kapunk az ultrahangfejek állapotáról, csatlakozásáról, elhelyezkedéséről és a vizsgálat pillanatnyi állásáról. A ernyőképen (9. ábra) jól látható a 45, 60, 70°-os vizsgálo fejek pozícióbeli eltérése. (egymástól 45 mm-re). Az értékelési ablaknál az általunk meghatározott képek már pozícióitól függetlenül koordináta helyesen láthatók. A csatlakozás meglétét a szkennelési ablakban az A-képen láthatjuk. A mechanika helyes működését kamerákon keresztül folyamatosan ellenőrizzük.



8. ábra. A szkennelési és kiértékelési ablak
Figure 8: Window for the scanner and evaluation



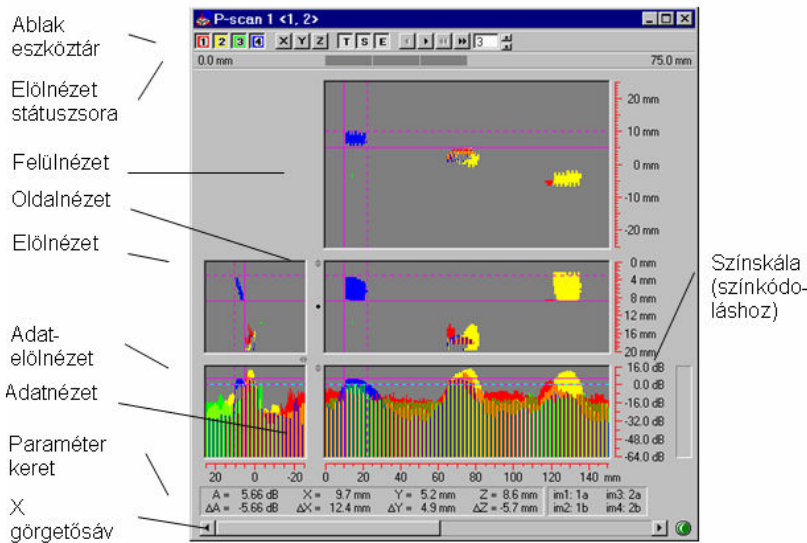
9. ábra. Vizsgálati képernyő – Figure 9: Screen of investigation



10. ábra. Kiértékelési képernyő – Figure 10: Screen of evaluation

Roncsolásmentes anyagvizsgálat

Non-destructive material testing



11. ábra. A P-szken megjelenítő képernyője
Figure 11: Screen of P-scann

További beállítási lehetőségek

a nézetek méretezésére és a képernyő-mód beállítására:

- **Display level.** Csak az itt megadott szint feletti indikációk lesznek láthatóak a felül-, oldal- és előlnézetekben.
- **Amplitude mode.** Logaritmusos vagy lineáris skálázás.
- **Level at.** Az adatnézetek rácsozásának igazítását adja meg az alapszinthez képest.
- **Display mode.** A képkódolás vagy (amplitúdó)színskódlás (színskódlás) közti választási lehetőség
- **Logarithmic range.** A logaritmusos (dB) skála tartomány.
- **Base level x.** A színskála alapszínéhez tartozó dB érték megadása
- **Default base level.** Kijelölt állapotban az általános beállítások szerinti alapszint lesz az érvényes.
- **Colors:** színskódok beállítása
- **X, Y, and Z:** Nézetek elhelyezkedésének beállítása.

A kiértékelés során négy P-szken képet tudunk egymás mellé rendelni, amit külön-külön is megtekinthetünk, illetve egymásra is illeszthetjük őket (11. ábra). Vizsgálatainknál a szint-kódolású képernyőt használjuk, mert jobban elkülöníthető képet ad, és több információt nyújt számunkra. A SAPHIR rendszerrel is ehhez hasonlókat használtunk, így az értékelési módszerek nem sokban változtak. A következő képen egy hagyományos P-szken képet látunk, és a hozzá tartozó lehetséges nézeteket.

A P-szken ablakának 5 nézete lehetséges – 3 nézet a feldolgozott adatoknak (felül/oldal/előlnézetek), és 2 nézet a visszhangjelek (amplitúdók) megjelenítésére (adatnézet és adat-előlnézet).

Összefoglalás

Az eddigi vizsgálatok bizonyítják, hogy a csonkvizsgálatok során regisztrált reflektorokat megfelelő pontossággal ismételtelen regisztrálni tudjuk a Pipe Scan ultrahangos csővizsgáló berendezéssel. A regisztrált reflektorok koordinátái és méretei jó egyezést mutatnak. Jelenleg a csonkok vizsgálatára használjuk az új rendszert, de a közel jövőben a már a felsorolt vizsgálati feladatokra is alkalmazni fogjuk. Ehhez folyamatos tréningeket végzünk a Karbantartó Gyakorló Központban kialakított laboratóriumunkban.

Az ultrahangos technológiánk továbbfejlesztésének iránya az, hogy a reflektorok jellegéről és méretéről a valóságot minél jobban megközelítő képet tudjunk adni.

Biomechanical properties and analysis of the mechanical parameters of human cerebral aneurysms

Brigitta K. Tóth* – Imre Bojtár* – Gábor Raffai**

Keywords: arterial tissue, cerebral saccular aneurysm, material model, vascular biomechanical properties, viscoelasticity

Kulcsszavak: artériás szövet, agyi zsákszerű aneurysma, anyagmodell, ér biomechanikai tulajdonságai, viszkoelasztikus jellemző

Abstract

Cardiovascular disease is one of the most frequent reasons of mortality in the western world. Nowadays the mechanical properties of biological soft tissues were treated from a continuum mechanical perspective. The aim of this article is to investigate the mechanical response of arterial tissue. The arterial wall is composed mainly of an isotropic matrix material (elastin) and two families of collagen fibers which are arranged in symmetrical spirals. These fibers induce the anisotropy in the material response. So the constitutive law of an artery is orthotropic. We make a comparative study of some material model used in the literature to describe the mechanical response of arteries. These are the following models: 1. linearly elastic model, 2. Neo-Hookean model for incompressible materials, 3. Mooney-Rivlin model for incompressible materials. For this reason we make uniaxial and biaxial measurements to have appropriate parameters for the underlying material models.

Biaxial biomechanical characterization of living tissues and biocompatible materials provides important information about their in vivo behavior. To better qualify the anisotropy of miniature soft tissues (5x5mm total size with 2x2mm test region) we developed a planar biaxial (X-Y) test equipment driven by four step motors. Computer aided simulation experiments did not reveal significant differences either in stress development or in distribution when tissue samples inserted and fixed in truncated cone holders either sideways or cornerwise were stretched. The accuracy of the setup was tested using biocompatible isotropic silicone rubber samples and ramp (10 μ m/sec), as well as step-like (100 μ m in every 30sec) stretch protocols. Both protocols resulted in a linear 1:1 X-Y force relationship. The latter protocol can be used to estimate also Poisson's ratios and incremental viscoelastic properties of the material tested. This method and the protocols proved to be eligible to determine quantitatively the biomechanical behavior of anisotropic soft tissues.

We investigate the biomechanical properties of strips from human cerebral aneurysms from surgery and cadavers. (An aneurysm is a bulge along a blood vessel.) Meridional and circumferential, thick and thin parts were distinguished respectively.

Összefoglalás

Humán agyi aneurysmák biomechanikai tulajdonságainak és szilárdságtani paramétereinek meghatározása. Munkánk célja az embereknél diagnosztizált agyi aneurysmák (az érfal kóros tágulatai) biofizikai tulajdonságainak analízise.

Laboratóriumi méréseket végeztünk, hogy az aneurysmafal mechanikai paramétereit vizsgálhassuk. Jelenleg a terápiás döntés a még nem rupturált aneurysmák esetében csupán a méreten és a kóros elváltozás elhelyezkedésén múlik, abban a hitben, hogy csupán ezektől a tényezőktől függ az érfal későbbi repedése. Sajnos azonban minden páciensnél a paraméterek számos variációja fordulhat elő, ezért nehéz általános következtetéseket levonni, továbbá különösen nehéz in vivo mérésekkel tesztelni az elemleteket és a szimulációkat. A kutatási program végső célja, hogy minél kedvezőbb módszert találjunk az aneurysmák diagnosztizáshoz, valamint a különböző jellegű és mértékű orvosi beavatkozás szükségességének megállapításához.

Az aneurysmafal anyagi paramétereinek meghatározása munkánk első lépése. Ehhez összehasonlítottuk az irodalomból ismert mechanikai modelleket, nevezetesen: 1. a lineárisan rugalmas modellt; 2. a Neo-Hookean-modellt; 3. Mooney-Rivlin-modellt. Az agyi aneurysmák szférikus inhomogén viselkedésének megismeréséhez az aneurysma szövetének mechanikai tulajdonságait mértük az alakváltozás függvényében, különböző helyeken (vékony és vastag régiókban) és különböző irányokban (hosszanti és körkörös). Az aneurysma csíkok jellegzetes hiperelasztikus-plasztikus viselkedést mutatnak a feszültségrelaxációs teszteknel. A meridionális vékony csíkok húzószilárdsága nagyobb, mint a meridionális vastagoké. A laboratóriumi teszteket alapul véve végelem-módszerrel feszültség-alakváltozás görbét számoltunk.

Az érfal anyagi viselkedésének mélyebb megértéséhez az egytengelyű húzóvizsgálatok mellett biaxiális méréseket is végeztünk, ezek segítették a nemlineáris viselkedés egyes szakaszain bekövetkező jelenségek pontosabb értelmezését.

*Budapest University of Technology and Economics (BME), Department of Structural Mechanics

**Semmelweis University (SE), Institute of Human Physiology

This paper focuses on the analysis of the haemodynamic pattern and biophysical properties of cerebral aneurysms, diagnosed and delineated in living human individuals. The aim of this research is to estimate stresses at critical points of the aneurysm wall and its parent artery, and to estimate the likelihood of a later aneurysm rupture. Despite the 5% occurrence of intracranial aneurysms in the population and the severity of their rupture (50% mortality rate) the pathomechanism of aneurysm formation and rupture remains still to be elucidated. Consequently, we carried out a comparative study on biomechanical properties of in vivo ruptured and unruptured aneurysms.

Introduction

Brain arterial aneurysms are common forms of arterial deformation occurring in about 5% of the adult population. The aneurysm is a bulge along the artery hanging there embedded in the surrounding tissue. In most situations it usually appears around a joining of two arteries. This bifurcation is the part of the supplier of the brain vascular bed system so if its blow-out (rupture) cause incalculable chain reaction, there is no safe solution without any side-effect to assure the patient against unpleasant consequences, see for instance [2],[6],[9]. In the majority of the cases the patient does not notice anything from the presence of the aneurysm, in some cases, however, the aneurysm bursts leading to stroke and immediate death.

At present, the therapeutic decision for non-ruptured aneurysms is made purely on the basis of the size and location of the lesion in a belief that those are the only factors influencing the likelihood of rupture.

The literature results providing basis for this practice have been seriously criticized by many and clinical decision is frequently made on the personal experience and judgment of the doctor. Our work will provide the physicians - and the patients - with a much more accurate prognosis of the disease that will allow for a more appropriate decision regarding treatment. We note that besides of its scientific merit, the potential of providing information about the prognosis of the disease and about the optimal technique for its treatment would greatly enhance the value of the modern angiography systems.

Nevertheless the importance of this area cannot be overestimated – the most important causes of death in developed countries are arterial deceases. Research budgets and public interest for this subject grows continuously.

Methods

1. Research strategy

The geometrical and morphological data as well as physiological parameters of the patients collected at the National Institute of Neurosurgery are combined with physiological information of the vessel wall and aneurysm wall provided by the Dep. of Human Physiology (Semmelweis Medical University, Budapest). The determination of the material parameters of the aneurysm wall is the first step of our work.

Strength calculations are done on these models in order to predict their mechanical strength (allowable blood pressure, etc.), and to compare the effects of different possible medical treatments. This is the second step of the research activity.

The final goal of this research program is to work out non-intrusive diagnostic tools detecting the presence of aneurysms and to assess the necessity of medical intervention.

Specific aim of this study was to characterize quantitatively the behavior of strips from human cerebral aneurysm.

2. Material parameters

One of the problems is that the different constitutive models in the literature are based on data from different types of arteries [5],[1],[3]. Moreover, cardiovascular disease like human cerebral aneurysm can only be studied in detail if a reliable constitutive model of the arterial wall is available. In order to get acquainted with the sterically inhomogeneous behavior of cerebral aneurysms first we measured in uniaxial tests the in vivo mechanical properties of the aneurysm tissue as a function of strain in different regions (thin and thick) and in different directions (meridional and circumferential). Saccular aneurysm specimens from 51 patients were obtained and 3 mm width strips (n=110) were cut. The strips were incubated in Krebs-Ringer solution at 37 °C and were stretched in a uniaxial biomechanical apparatus by 200 μm in every 2 min until till their tear. Force was computer recorded, wall stress (σ) and strain (ϵ) were calculated. Biomechanical properties were cross checked with clinical data and histological results. The strips from aneurysms showed typical hyperelastic-plastic behavior at the stress-relaxation tests. Meridional thin strips exhibited larger tensile strengths than the meridional thick ones, see [7].

An artery can practically be treated as a thick-walled circular cylinder which is appropriate for the analysis of bending, extension, inflation and torsion of the tube. In the literature some models are able to provide a full three-dimensional description of the state of stress in the artery, but the large number of material constants may lead to parameter identifica-

tion problems. Several models use geometrical simplifications too.

After this we present the uniaxial and biaxial clinical studies and on basis of this we quantify material properties such as the Young's modulus.

3. Typical mechanical behavior of arterial walls

By *in vivo* tests the artery is observed under real life conditions, while *in vitro* tests mimic real loading conditions in a physiological environment. The complex anisotropic material response can only be measured in an *in vitro* experiment, though the exact physiological circumstances can be rather difficult to simulate. Arteries do not change their volume in the physiological range of the deformation, for this reason they can be regarded as incompressible – rubber like – materials. Therefore we have set ourselves the task to determine the mechanical properties from biaxial tests: uniaxial extension tests are certainly insufficient to completely quantify the mechanical behavior of arterial walls. The mechanical behavior of arteries depends on physiological and chemical environmental factors, therefore they were tested in appropriate oxygenated, temperature controlled salt solutions. Whereas the composition of arterial walls varies along the arterial tree so the shape of the stress-strain curve for blood vessels depends on the anatomical site, the general mechanical characteristics are the same. The artery is a heterogeneous system and it can be regarded as a fiber-reinforced composite biomaterial. The layers of the arterial walls are composed mainly of an isotropic matrix material (associated with the elastin) and two families of fibers (associated with the collagen) which are arranged in symmetrical spirals.

4. Continuum-mechanical framework

Fundamental equations are essential to characterize kinematics, stresses and balance principles, and hold for any continuum body [4]. Generally we use a functional relationship as a constitutive equation, which determines the state of stress at any point \mathbf{x} of a continuum body. Our main goal is to study various constitutive equations within the field of solid mechanics appropriate for approximation techniques. We follow the so-called phenomenological approach which describes the macroscopic behavior of living tissues as continua. Numerous materials can sustain finite strains without noticeable volume changes. Such materials can be regarded as incompressible, according to a common idealization in continuum mechanics. Materials which keep the volume constant throughout a motion are characterized by the incompressibility constraint $J = 1$, where J means the determinant of the gradient tensor. In general, these materials are referred to as constrained materials. The stress response of hyperelastic materials is derived from the given strain-energy function Ψ :

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial \Psi(\boldsymbol{\varepsilon})}{\partial \varepsilon_{ij}}.$$

In the next section we summarize the most important energy functions frequently used in biomechanics.

4.1. Ogden model for incompressible rubber-like materials

The postulated strain-energy function Ψ describes the changes of principal stretches $\lambda_a, a = 1, 2, 3$ from the reference configuration to the current configuration:

$$\Psi = \Psi(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{p=1}^N \frac{\mu_p}{\alpha_p} (\lambda_1^{\alpha_p} + \lambda_2^{\alpha_p} + \lambda_3^{\alpha_p} - 3),$$

where N is a positive integer which determines the number of terms in the strain-energy function, μ_p are constant shear module and α_p are dimensionless constants, $p = 1, \dots, N$. Only three pairs of constants are required to give an excellent correlation with experimental stress-deformation data.

We find after differentiation that the three principal values σ_a of the Cauchy stresses have the form:

$$\sigma_a = -p + \sum_{p=1}^N \mu_p \lambda_a^{\alpha_p}, \quad a = 1, 2, 3,$$

where p is a scalar not specified by a constitutive equation. It is determined from a boundary condition of the examined problem.

4.2. Mooney-Rivlin model for incompressible rubber-like materials

The Mooney-Rivlin model uses the setting $N = 2, \alpha_1 = 2, \alpha_2 = -2$. Using the strain invariants I_1, I_2 with the constraint condition $I_3 = \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 = 1$ we obtain that:

$$\begin{aligned} \psi &= c_{10} (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3) + c_{01} (\lambda_1^{-2} + \lambda_2^{-2} + \lambda_3^{-2} - 3) \\ &= c_{10} (I_1 - 3) + c_{01} (I_2 - 3) \end{aligned}$$

with the constant $c_{10} = \mu_1 / 2$ and $c_{01} = -\mu_2 / 2$.

Derivates of the strain-energy function of the Mooney-Rivlin model with respect to the invariants I_1 and I_2 give the simple associated stress relations:

$$\boldsymbol{\sigma} = -p \mathbf{I} + 2c_{10} \mathbf{b} - 2c_{01} \mathbf{b}^{-1},$$

where the strain tensor \mathbf{b}^{-1} is the inverse of the left Cauchy-Green tensor \mathbf{b} , which is defined by the help of the \mathbf{F} gradient tensor: $\mathbf{b} = \mathbf{F}\mathbf{F}^T$ (\mathbf{F} is on the left). It

Biomechanika

Biomechanics

is an important strain measure in terms of spatial coordinates. \mathbf{I} denotes the second-order unit tensor.

4.3. Neo-Hookean model for incompressible rubber-like materials

The neo-Hookean model applies the setting $N = 1, \alpha_1 = 2$. Using the first principal strain invariant I_1 , we find that:

$$\psi = c_{10}(\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 - 3) = c_{10}(I_1 - 3)$$

with the constant $c_{10} = \mu_1 / 2$. The strain-energy function involves a single parameter only and relies on phenomenological considerations.

Derivates of the strain-energy function of neo-Hookean model with respect to the invariants I_1 give the simple associated stress relations:

$$\sigma = -p\mathbf{I} + 2c_{10}\mathbf{b},$$

where the strain tensor \mathbf{b} is the left Cauchy-Green tensor, and \mathbf{I} is the unit tensor.

5. Our laboratory tests and results

In our program – based on our laboratory tests – we applied the most common strain-energy functions. In *Figure 1* our uniaxial and biaxial (see *Fig. 2* too) test machines can be seen, both of them are connected to the computer.

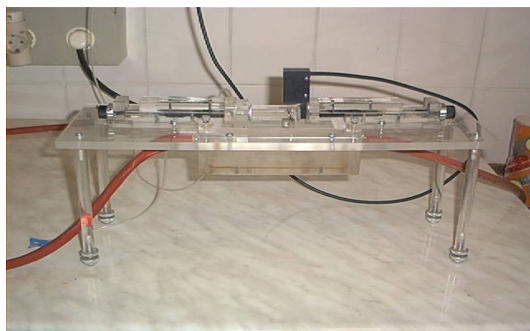


Figure 1: The uniaxial and biaxial laboratory test machines. The strain gauges were pasted on material of spring steel, the jaws were made of eloxed aluminium and the gripped points were fixed on thread slides.

1. ábra. Egy- illetve kéttengelyű nyúlást mérő műszerek. A nyúlásmérők rugóacélra lettek rögzítve, a befogó pófák eloxált alumíniumból készültek, a befogási pontok a csavarmenet csúszkáján rögzítettek

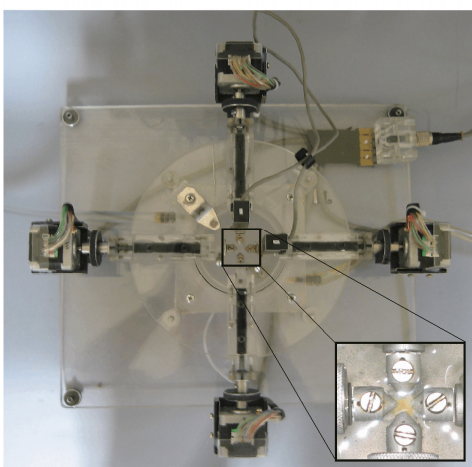
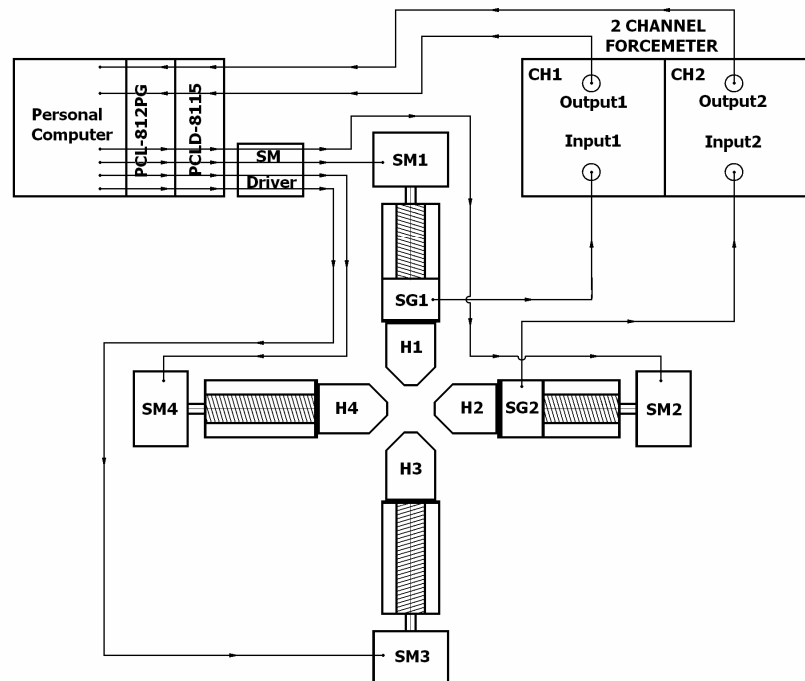
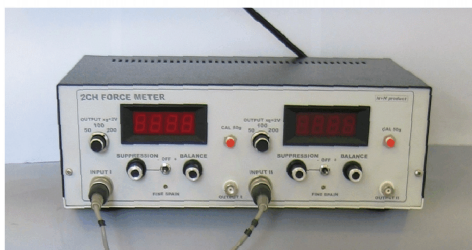


Figure 2. ábra.

Figure 2: Biaxial laboratory test machines

Left: Major components of the biaxial setup. Right: Block diagram of the biaxial setup.

Sample holders (H) are mounted, applying two strain-gauge force transducers (SG), to two pairs of supports positioned in perpendicular direction to each other. Outputs of strain gauges are fed into the 2 channel force meter, and the force signals via a multi-lab card to the PC. The displacement of the screw controlled supports is driven by four step motors (SM) connected to a PC by multi-lab card and SM driver unit.

2. ábra. Biaxiális laboratóriumi mérőműszer

Balra: A biaxiális berendezés főbb részei. Jobbra: A biaxiális készülék blokk diagramja.

A minta-tartók (H) a rájuk erősített két nyúlásmérő erő-átalakítóval (SG) láthatók. A két pár tartó egymásra merőleges irányú. Az erőmérők kimenete 2 csatornás erőmérő készülékhez jut, a jelek egy multi-lab kártyán keresztül továbbítódnak a PC-hez. A csavarok elmozdulásait 4 motor idézi elő (SM), a mozgásokat a multi-lab kártya és az SM vezérlő egység a PC-hez kapcsolja.

Incremental stretch resulted in stress relaxation of the tissue specimens. Regression analysis created a linear relationship between the initial aneurism thickness (h) and maximal strain ($\epsilon_{max}=0.41+0.32h$, $r^2=0.32$). Beside similar ϵ_{max} and h, tensile strength of strips from non-ruptured aneurysms was significantly higher (495 ± 54 kPa) than from the ruptured ones (330 ± 44 kPa). In patients harboring non-ruptured and ruptured aneurysm, the rate of hypertension was 69.2% and 80,8%, respectively. Tensile strength of the samples and rate of rupture proved to be significantly higher in patients with hypertensive background (459 ± 44 kPa, 53,8%) than in the normotensive ones (273 ± 43 kPa, 38,5%). Meanwhile, tensile strength

was not influenced by the gender, aneurysm location, smoking habits and presence of inflammatory infiltration within the wall.

We conclude that a uniform weakening of the aneurism wall leads to their eventual rupture. Nevertheless, hypertension seemingly reinforces the aneurysm wall increasing the probability of rupture. Wall thickness determines maximal strain by 32%.

Based on these experiments we calculated the material parameters of the Mooney-Rivlin and Neo-Hooke nonlinear hyperelastic models, see Table 1. With the help of simple finite element tests all material parameters were checked.

	ϵ		σ (MPa)		E (MPa)	
	Feminin	Masculin	Feminin	Masculin	Feminin	Masculin
circumferential-thick	0,0180	0,0110	0,70	0,14	0,39	0,12
circumferential-thin	0,0090	0,0060	0,93	0,55	1,34	1,08
meridional-thick	0,0040	0,0070	0,40	0,34	0,65	0,49
meridional-thin	0,0060	0,0055	1,00	0,84	1,67	1,52

	Mooney-Rivlin				Neo-Hooke	
	C10		C01		C10	
	Feminin	Masculin	Feminin	Masculin	Feminin	Masculin
circumferential-thick	0,052	0,016	0,013	0,004	0,065	0,020
circumferential-thin	0,179	0,144	0,045	0,036	0,224	0,180
meridional-thick	0,087	0,065	0,022	0,016	0,109	0,081
meridional-thin	0,223	0,203	0,056	0,050	0,028	0,253

Table 1: Linearly elastic, Mooney-Rivlin and Neo-Hooke material parameters calculated from experiments
1. táblázat. A kísérletek alapján számított lineárisan rugalmas, Mooney-Rivlin és Neo-Hooke anyagjellemzők

Uniaxial techniques used frequently to characterize the biomechanics of living tissues and biocompatible materials provide rather restricted quality and amount of information about the two dimensional behavior of the tissue samples. Limitations of isometric strip and ring preparations are well recognized, because the isometric force and the length changes provide only one dimensional characteristics of the vessels. As an example, biomechanical characterization of circumferential and meridional strips of saccular cerebral aneurism individually does not reflect the mechanical interaction between these perpendicular segments [17].

In order to study the anisotropic stress-strain characteristics of miniaturized (down to a minimum of 5x5 mm total size with 2x2 mm test region) samples of living soft tissues, as well as living tissue equivalent and biocompatible materials, we developed and tested a novel planar biaxial (X-Y) system. For accurate force and displacement measurements the setup is equipped with two strain-gauge transducers, four computer controlled step motors, and a temperature controlled tissue bath.

Before we embarked on biaxial measurements, we made a comparative study to decide which type of the grip is the more favorable, which type has a smaller domain with disturbances. The two possible arrangements are the following (see Figure 3) Due to symmetry it is sufficient to analyze quarter of the vessels shown in Figure 3 (see the sections marked with lines).

These results show that we can not make a significant distinction between the two types. The difference between the colours (see Figure 4) in the middle of the artery segment have no physical sense. The stress values that we can read in contour plots are in the same magnitude. Only in the maximum and minimum values differ from each other.

As seen on Figure 4, our biaxial measuring system is based on two force meters positioned perpendicularly to each other. Cantilever strain gauge transducers are used for force measurements. The strain gauges are stuck on rigid 1.5x7 mm stainless steel rods (4 on each), and are boxed in aluminum house mounted on two precision screw (M8) controlled supports. Outputs of the strain gauges connected in Wheatstone bridge are fed into a 2 channel force meter supplied with a digital display (3.5 digit). The force meter allows the selection of different calibrated measuring ranges (50, 100 and 200 g), and provides 2V DC analog voltage outputs at maximal deflection. Consequently, sensitivity of the force measuring unit could be set optionally as 40, 20 and 10 mV/g.

Analog outputs of the force meter are fed via a wiring-plate terminal board into an enhanced multi-lab card for A/D conversion (Figure 2). The digitalized

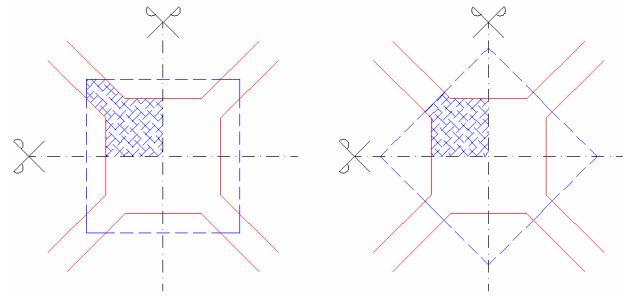


Figure 3: Two possible arrangement of arterial strips
3. ábra. Az artériacsíkok befogásának két lehetséges elrendezése

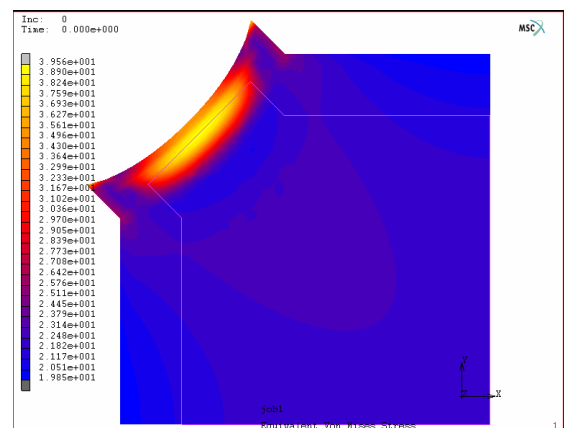
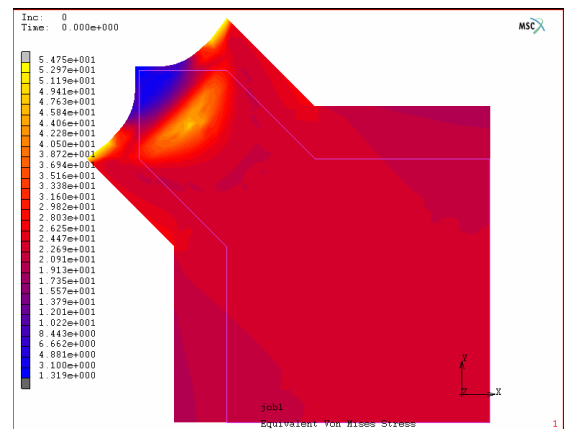


Figure 4: Displacement and von-Mises stresses by extension 15% in the mentioned two gripping types, respectively
4. ábra. Az elmozdulások és a von-Mieses feszültségek 15%-os nyújtás hatására a fent említett két befogási mód esetében

signals can be displayed on line and recorded for off line evaluation by a PC based data acquisition and process control software (Labtech Co MA, USA). As seen on *Figure 4*, at the edge of each support a stepping motor is mounted for controlling precisely the biaxial stretch. Using the Labtech software and the multi-lab card described above step motors were controlled individually via a driver unit. With the finest 0.9° step, as small as $2\mu\text{m}$ stepping distance, and applying the 20kHz maximum control frequency a 40mm/sec ramp rate can be accomplished along the two directions (axes) simultaneously.

The four sample holders were designed as truncated cones in order to minimize sample size (*Figure 2*). To increase retentiveness and to prevent tissue damage their inner surface was carefully roughened. This design allows measuring as small as 2x2 mm miniature tissue region located between the holders of a 5x5 mm sized sample.

Computer aided large strain simulations were carried out under plane stress-strain conditions in order to reveal stress development and distribution within a linear elastic sample. As illustrated on *Figure 3* and *4*, square shaped samples were cut and placed into the holders sideways or cornerwise with a symmetrical geometry. Simulated large strain did not reveal any significant inhomogeneity or qualitative differences of von-Mises stresses (weighted average of normal and shear stress) within or between the regions of interest when any of these two gripping methods were applied. The force meters were tested using samples of biocompatible isotropic silicone rubber sheets cut to 7x7 mm size.

With the help of angiography we can build a model of an existent aneurysm, and this model can be used for Finite Element Analysis calculation, too. This is the outer part of our research. The angiography allows us to build a real three dimensional model with the original geometry. Using the data of aneurysm material parameters the system could help the doctors to analyze the case, whether it needs an urgent operation or not. This way of geometrical modeling is much more complicated than the previous one. Many different tests are needed to declare that the system works reliably.

Summary

All the models discussed above are based on phenomenological approach in which the macroscopic nature of blood vessels is modeled. From this study it may be concluded that there is a need for a constitutive model which describes the viscoelastic behavior of the human arterial wall. We have proposed an approach in which the arterial wall is approximated as a three-layer thick-walled tube, with each layer modeled as a fiber-reinforced composite in the domain of large deformations and we have examined an human arterial aneurysm.

In cooperation with the co-workers of the National Institute of Neurosurgery and Human Sciences we made the first steps in the complex numerical simulations of brain aneurysms.

This work was done with the help of an OTKA grant (principal investigator dr. István Szikora, Nat. Inst. of Neurosurgery).

References

1. C. J. Choung, Y. C. Fung: Three-dimensional stress distribution in arteries. *J. Biomech. Engr.*, 105:268-274, 1983
2. D. A. Steinman: *Image-based computational simulation of flow dynamics in a giant intracranial aneurysm*, *American J. of Neuroradiology*, 2003; 24: 559-566
3. D. A. Vorp, K. R. Rajagopal, P. J. Smolinsky and H. S. Borovetz: Identification of elastic properties of homogeneous orthotropic vascular segments in distension. *J. Biomech.*, 28:501-512, 1995
4. G. A. Holzapfel: *Nonlinear Continuum Mechanics. Hyperelastic Materials*, 2002
5. F. O'Rourke M.: *Vascular mechanics in the clinic*; *J. of Biomechanics*, 2003; 36: 623-630
6. M. J. Thubrikar: *Wall stress studies of abdominal aortic aneurysm in a clinical model*, *Annals of vascular surgery*, 2001; 15: 355-366
7. M. Orosz, G. Molnárka, G. L. Nádasy, G. Raffai, G. Kozmann E. Monos: Validity of viscoelastic models of vessel wall, 64th An. Meeting of the Hung. Physiol. Soc., Budapest, 1997
8. M. Tóth, Gy. L. Nádasy, I. Nyáry, T. Kerényi, M. Orosz, Gy. Molnárka, E. Monos: Sterically inhomogeneous viscoelastic behavior of human saccular cerebral aneurysms. *Érbetegségek*, IV/ 2, 1997 *J. Vasc. Res.*, 35:345-355, 1998
9. P. Van Loon: Length force and volume-pressure relationship, 1977

Hegesztési füstök kémiai analízise

Berlinger Balázs¹ – Náray Miklós¹ – Pallósi József² – Záray Gyula^{3,4}

Kulcsszavak: hegesztési füst, mintavétel, kémiai analízis

Keywords: welding fumes, sampling, chemical analysis

Összefoglalás

Közleményünk rövid áttekintést ad a hegesztési füstök vizsgálatának legfontosabb fogalmairól és elveiről, rávilágítva azon időszerű problémákra, amelyek napjainkban felmerülhetnek a hegesztési füstök kémia elemzésének kapcsán. A cikk külön tárgyalja a mintavételt és az analitikai meghatározások lehetőségeit, mindkét részben gyakorlati példákat is bemutatva az OKK OMFI Kémiai Laboratóriumában folyó hegesztési füstök vizsgálatának köréből. A mintavételi részben olyan – a munkahelyi levegő mintavételeknél általában fontos – fogalmakat tisztázunk, mint a munkahelyi levegő legfontosabb aeroszol frakciói és az általánosan alkalmazott mintavételi stratégiák, majd a mintavételek eszközeit vesszük sorra. Az analitikai részben röviden tárgyaljuk a leggyakrabban alkalmazott mérési technikákat. Végül az elemzési területén végzett legújabb vizsgálatainkat mutatjuk be, melyek során korrózióálló acél (X8CrNi1810) aktív védőgázos ívhegesztése során felszabaduló füstök respirábilis és teljes belélegezhető frakciójában határoztuk meg a teljes és oldható fémtartalmat. Az eredmények azt mutatják, hogy a Mn, Ni és Cr túlnyomórészt a respirábilis frakcióban jelenik meg

Bevezetés

A hegesztési füstök egészségkárosító hatásai régóta ismertek. Több epidemiológiai tanulmány is megállapította, hogy a hegesztők körében nagyobb számmal fordulnak elő légúti megbetegedések, úgymint: tüdőgyulladás, fémláz, asztma, különböző légzőszervi rákbetegségek. Ugyanakkor a felső és alsó légzőszervi betegségek súlyossága, időtartama és gyakorisága is nagyobb a hegesztőknél, mint a lakosság más csoportjainál [1]. Több szerző a Parkinson kór és más idegrendszeri betegségek hegesztők közötti növekedéséről számolt be [2, 3]. Napjainkban is kiemelkedő feladat a hegesztők egészségének fokozott védelme, ami nemcsak egészségügyi, hanem gazdasági célkitűzés is, hiszen a hegesztés gazdaságosabbá tételében jelentős szerepet játszik a megbetegedések miatt kiesett munkaórák számának hatékony csökkentése [4]. A hegesztés egészségkárosító hatásai közül a legnagyobb veszélyt a különböző mérgező hatású gázok (ózon, nitrogénoxidok, szén-monoxid) és hegesztési füstök felszabadulása jelenti. A hegesztési füstök kiemelt figyelmet érdemelnek, mivel belélegzésük több ismert toxikus fém együttes expozíciójával járhat. Az expozíció ellenőrzése és csökkentése döntő lépések a hegesztők egészségének

Summary

Chemical analysis of welding fumes. This paper gives a short overview about the principles and definitions of physical and chemical characterization of welding fumes. Sampling and chemical analysis of welding fumes are discussed in two sections presenting some practical examples of experiments performed in the Chemical Laboratory of the Hungarian Institute for Occupational Health. Analytical data of water soluble and the total metal concentrations in welding fumes generated by metal active gas (MAG) welding of corrosion resistant steel (X8CrNi1810) are presented, demonstrating the high rate of Mn, Ni and Cr in the respirable fraction compared to the total inhalable fraction.

¹Fodor József Országos Közegészségügyi Központ, Országos Munkahigiénés és Foglalkozás-egészségügyi Intézete, H-1450 Budapest Pf. 1740; E-mail: berlingerb@fjokk.hu

²Qualitest Lab Kft., H-2400 Dunaújváros, Vasmű tér 1-3.

³ELTE TTK, Analitikai Kémiai Tanszék, H-1518 Budapest, Pf. 32

⁴MTA-ELTE Környezetkémiai Kutatócsoport, H-1518 Budapest, Pf. 32

megóvására tett törekvésekben. Ezek legfontosabb eszköze a munkahelyi levegő vizsgálata, mely magában foglalja a mintavételt és az analitikai meghatározást. Közleményünk a hegesztési füstök mintavételének és analitikai kémiai mérésének meghatározó elemeit veszi sorra néhány gyakorlati példát is bemutatva az OKK OMFI Kémiai Laboratóriumában folyó hegesztési füst vizsgálatok köréből.

A hegesztési füstök mintavétele

A hegesztési füstök mintavétele során ismert térfogatú levegőt szívatunk keresztül egy ismert tömegű szűrőn, amely a *belélegezhető*, vagy a *respirábilis* aeroszol frakció mintavételére kialakított *mintavételi feltét*ben helyezkedik el. A dolgozók expozíciójának meghatározására *személyi* mintavételeket végzünk, amelyeknél a mintavételi feltéteket a dolgozók *légzési zónájában* rögzítjük – amennyiben fejpajzst viselnek azon belülre – úgy, hogy a mintavevő a viselője munkáját ne akadályozza [5].

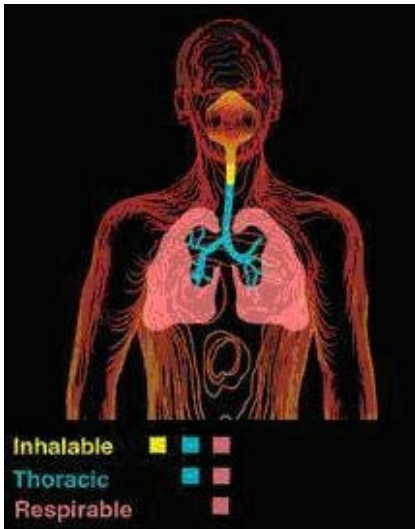
A munkahelyi aeroszlok belélegezhető és respirábilis frakcióját – más, a gyakorlatban ritkábban alkalmazott frakciókkal (pl. thorakális) együtt – az MSZ EN 481 [6] definiálja. A szabvány meghatározása szerint a belélegezhető (vagy inhalábilis) frakció a

Műszeres analitika

Analysis with instrument

munkahelyi aeroszoloknak az a tömegfrakciója, amelyet az egyén az orron és szájon át belélegez. A belélegezhető frakció a légmozgás sebességétől, irányától, a légzés gyakoriságától és egyéb tényezőktől (pl. attól, hogy levegővétel az orron és/vagy a szájon át történik-e) függ. A respirábilis frakció megközelítőleg azonos a munkahelyi aeroszolok azon tömegfrakciójával, amely bejut a tüdő alveolusaiba (gázcsere-lő tar-

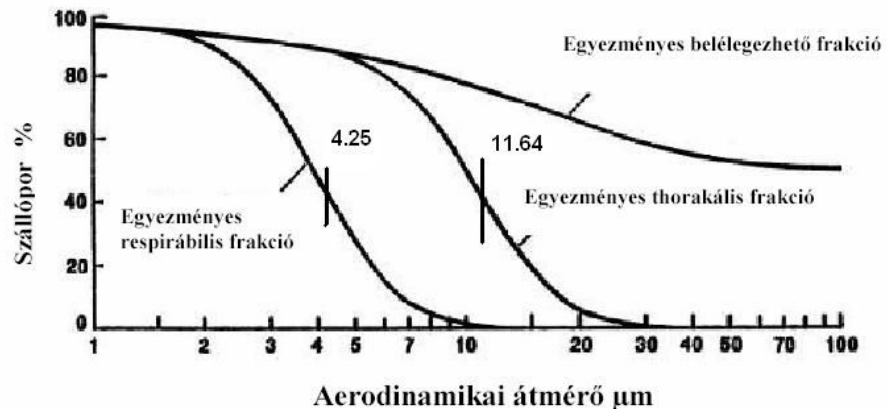
tományába). Bár a legtöbb expozíciós határértéket az inhalábilis frakcióra adják meg, ám a hegesztési füstökben a részecskék többségének az aerodinamikai átmérője 1 µm alatti, tehát a respirábilis frakcióba tartozik [5]. Az aeroszol frakcióknak az emberi légzőrendszeren belüli kiülepedési tartományát, valamint a részecskeméret szerinti eloszlását az 1. és 2. ábra szemlélteti.



1. ábra. Az MSZ EN 481 által definiált aeroszol frakciók szemléltetésére szolgáló modell az emberi légző rendszerről

Figure 1: Model of the human respiratory system illustrating the aerosol fractions defined by EN 481

A mintavétel helyes kivitelezése szempontjából fontos a légzési zóna meghatározása. Ez általánosságban a munkás arca körüli tér, ahonnan a levegőt veszi. Pontosabb megfogalmazásban az ún. hemiszféra, melyet általában 0,3 m sugarú félgömbként fogadnak el; az emberi arc előtt található, középpontja az orrhoz irányuló vonal középpontjában van; alapja egy olyan sík, amely ezen a vonalon a fej tetejéig ill. a gége síkjáig terjed. Amennyiben a hegesztő fejpajzsot visel, a mintavételi feltétet azon belül kell elhelyezni. De ha erre nincs lehetőség (pl. ha a személyi mintavető jelentős mértékben zavarja a munkavégzést) vagy az elemkoncentrációk háttérszintjét kívánjuk meghatározni, akkor *statikus* (vagy *fix pontos*) mintavételeket is végezhetünk. Az így vett (háttér)minták összetételei általában nem alkalmasak az expozíciós határértékekkel történő összehasonlításra, mert az aeroszolok térbeli eloszlása a munkahelyeken nem egyenletes. Az aerodinamikai hatások következtében a háttérmintavetők nem rendelkeznek ugyanazzal a jellemzőkkel, mint a személyi mintavető, a belélegezhető aeroszol koncentrációját rendszerint alábecsülik. Fix pontos mintavétel esetén a mintavételi fel-



2. ábra. Az egyezményes belélegezhető, thorakális és respirábilis frakciók a teljes szállóporra vonatkoztatva, százalékban

Figure 2: The inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions referred to the total flying dust

téteket kb. a fej magasságában kell elhelyezni, akadályoktól, friss levegő beáramlástól és erős légmozgástól mentes helyeken.

A mintavételek kivitelezésénél döntő a mintavételi idő és a mintavételi gyakoriság helyes megválasztása. A mintavételt úgy kell tervezni, hogy az a lehető legkisebb befolyással legyen a hegesztő munkavégzésére és a minták a szokásos munkakörülményeket reprezentálják. Rövid időtartamú (15 perc, vagy kevesebb) mintavételekkel mérhetők a csúcskoncentráció [7] értékek. Az átlagos koncentráció [7] meghatározásához a mintavételeket a hegesztési események alatt folyamatosan kell végezni. Az átlagos koncentrációk meghatározásánál szükség szerint cserélhető a szűrő, amennyiben a hegesztési füst koncentrációja olyan nagy, hogy egyetlen szűrőn túl sok anyag halmozódna fel.

Attól függően, hogy az inhalábilis, vagy a respirábilis frakciót kívánjuk mintázni, különböző mintavető készülékek szükségesek. A mintavető rendszerek mindegyike alapvetően egy mintavételi feltétbe helyezett szűrőből és a feltétbe flexibilis csővel csat-

Műszeres analitika

Analysis with instrument

lakozó szivattyúból áll, s a mintavétel során a szivattyú segítségével levegőt szivatunk át a szűrőn keresztül.

Az MSZ EN 13205 [8] foglalkozik a lebegő részecskék koncentrációjának mérésére irányuló műszerek, köztük az alkalmazott mintavételi feltételek teljesítményének megállapításával. A különböző aeroszol frakciók mintavételére más-más mintavételi feltét áll rendelkezésre. Az inhalábilis frakció mintavételére legelterjedtebben használt: az ún. sok-bemenetű mintavevő fej, az edinborough-i Munkaegészségügyi Intézet (Institute of Occupational Medicine, rövidítve IOM) mintavételi feltétele és a kúp alakú inhalábilis mintavételi feltét (conical inhalable sampler, CIS). A különböző mintavételi feltételekkel ellátott mintavevő készülékek a fejek eltérő kialakítása következtében mind az alkalmazott szűrő átmérője, mind az átszívott levegő térfogatára tekintetében eltérnek. A sok-bemenetű és az IOM mintavevőkhöz olyan szivattyú szükséges, amely $2,0 \pm 0,1$ liter/perc egyenletes térfogatáramot biztosít a teljes mintavételi periódus alatt. Ha CIS mintavételi feltétet alkalmazunk nagyobb teljesítményű szivattyúra van szükség, mely $3,5 \pm 0,1$ liter/perc egyenletes térfogatáram biztosítására képes. Az alkalmazott levegő mintavételi szivattyúknak meg kell felelni az MSZ EN 1232 előírásainak. A három mintavételi feltét közül több kísérlet során is az IOM mintavevő adta a legjobb egyezést az inhalábilis frakcióra vonatkozó MSZ EN 481 irányérték specifikációjával a munkahelyi körülmények széles tartományában, ennek következtében előnyben részesítik ezt a típust a munkahelyi levegő mintavételek során. Különös elővigyázatosságra van szükség, amennyiben a sok-bemenetű vagy CIS mintavételi feltétet használjuk, annak érdekében, hogy megelőzzük a személyi expozíció alul- vagy felülbecslését [9], ugyanakkor előfordulhat, hogy bizonyos körülmények között ezeknek a feltételeknek az alkalmazása több előnnyel járhat. A respirábilis frakciót általában ciklonos előleválasztót tartalmazó mintavételi feltéttel gyűjtjük. Legelterjedtebben a Higgins–Dewell-féle (HD) ciklon típust használják, amelyhez $2,2 \pm 0,1$ liter/perc egyenletes térfogatáramot biztosító szivattyút kell csatlakoztatni. Újabban olyan mintavételi feltételeket is kifejlesztettek, amelyek a hegesztési füstök respirábilis és inhalábilis frakciójának együttes mintavételére alkalmasak [10]. Ezekben a fejekben a hagyományos ciklon helyett egy porózus poliuretán hab (PUF) szolgál a részecskék elválasztására. A szűrőn és a habban lévő részecskék képezik az inhalábilis frakciót, míg a szűrőn lévő részecskék a respirábilis frakciót. A módszer nagy előnye, hogy a hab külön kezelhető, az általa „megfogott” részecskék külön mérhetők. Ez azért fontos, mert különböző munkafázisok során más-más méretű részecskék képződnek; míg a hegesztés során döntően $1 \mu\text{m}$ alatti átmérőjűek, addig a köszörlésnél és más befejező műveleteknél a részecskék átmérője már túlnyomórészt $10 \mu\text{m}$ feletti.

Laboratóriumunk a fenti mintavételi feltételek közül a CIS, az IOM és a HD ciklonnal ellátott respirábilis mintavevőkkel rendelkezik. Mivel a kétféle inhalábilis aeroszol mintavevő használatának előnyei és hátrányai eltérőek, ezért kézenfekvő volt az IOM és a CIS mintavételi fej összehasonlítása a hegesztési füstök vizsgálatában. Az összehasonlításokhoz két hegesztőüzemben gyűjtöttünk mintákat. Fix pontos mintavétellel, több mintavételi helyen párhuzamosan mintáztunk a kétféle mintavételi feltéttel. A mintavételt követően meghatároztuk a szűrőkön található füstminták tömegét, majd a feltárást követően, induktív csatolású plazma atomemissziós (ICP-AES) módszerrel megmértük azok teljes fémtartalmát. A szűrőkön mért fémkoncentráció értékeket ($\mu\text{g}/\text{szűrő}$, $\text{mg}/\text{szűrő}$) elosztottuk a mintavételkor átszívott levegő térfogatával, így megkaptuk a különböző mintavételi feltételekkel meghatározott munkahelyi levegő-fémkoncentrációkat ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, mg/m^3). A gravimetriás meghatározásokra és az öt vizsgált fém koncentrációjára vonatkozóan 11 db CIS/IOM arányt vetettünk egybe. A statisztikai értékelés nem mutatott szignifikáns különbséget a tömeg szerinti meghatározások, a króm-, a nikkel-, a kobalt- és a mangánkoncentrációk esetében, míg a vaskoncentrációknál ez a különbség szignifikánsnak bizonyult. Ez utóbbi valószínűleg annak a következménye, hogy a felszabaduló vas a munkahelyi aeroszolban kevésbé egyenletesen oszlik el. Az eredmények alapján mégis megállapítható, hogy a CIS és IOM mintavételi feltételek a gyakorlatban egyenértékűen használhatók a hegesztési füstök inhalábilis aeroszol frakciójának mintavételére.

A hegesztési füstök mintavételhez alkalmazott szűrők átmérőjét mindig az alkalmazott mintavételi feltét típusa határozza meg, míg anyagának a kiválasztását a mintavétel célja dönti el. Ha a hegesztési füst mintavételénél a dolgozó környezetében mérhető aeroszol-koncentrációt kívánjuk meghatározni a szűrő tömegváltozása alapján, akkor legelőnyösebb kvarc-, vagy üvegszálal szűrők alkalmazása, mert ezekre kevésbé jellemző a nedvesség megkötése miatti tömegnövekedés, mint a cellulóz-észter szűrőknél; vagy az elektromos feltöltődés, mint a PVC és teflon szűrők esetében. Ha az aeroszolban jelenlévő fémek koncentrációjának mérése a cél, akkor olyan szűrőt kell alkalmazni, amely a mérendő fémekből elhanyagolható mennyiségeket tartalmaz szennyezőként, ill. a későbbi analitikai elemzéshez szükséges minta-előkészítés során könnyen kezelhető (pl. a fémek oldatba vitele során teljesen elroncsolható).

A hegesztési füstök analitikai meghatározásának lehetőségei

A hegesztési füstökben jelenlévő fémek teljes mennyiségét általában a minták oxidatív feltáráásával nyert oldatokból határozzák meg láng és grafitkemen-cés atomabszorpciós spektrometria (FAAS, GFAAS), ICP-AES és induktív csatolású plazma tömeg-

spektrometria (ICP-MS) felhasználásával. Ezen elemzési módszerek gyakorlatilag egyformán alkalmasak a meghatározások elvégzésére, alkalmazásukat mindig a rendelkezésre álló mérőműszer ill. a mérni kívánt fémek koncentrációja szabja meg. Hangsúlyozandó azonban, hogy a minta vagy a minta és a szűrő együttes, maradéktalan oldatba vitele meghatározó lépés az analitikai kémiai vizsgálat egésze szempontjából.

Ezért számos feltárási módszert vizsgáltak és hasonlítottak össze a kutatók [11, 12], melyek eredményeképpen napjainkban olyan nemzetközi szabványok [13] állnak rendelkezésre, melyek több lehetőséget kínálnak a vizsgálni kívánt hegesztési füstök hatékony feltáráására. Néhány általánosan alkalmazott feltárási eljárást és eszközt mutat be az 1. táblázat.

A hegesztési füst mintázásához használt szűrő anyaga	Feltárási elegy	Feltáráshoz alkalmazott eszköz
kvarc szál	HNO ₃ – HF	Ultrahangos fürdő
kevert cellulóz észter	HNO ₃ – HClO ₄ – HF	Zárt mikrohullámú feltárási berendezés
kevert cellulóz észter	HNO ₃ – HClO ₄ – HCl	Melegítőlap
kevert cellulóz észter	H ₂ O ₂ – H ₂ SO ₄ – HCl	Melegítőlap
kevert cellulóz észter	HNO ₃	Zárt mikrohullámú feltárási berendezés
kevert cellulóz észter	HNO ₃ – HF	Zárt mikrohullámú feltárási berendezés
kevert cellulóz észter	HNO ₃ – HClO ₄	Melegítőlap

1. táblázat. A hegesztési füstök feltárási eljárásánál általánosan alkalmazott feltárási elegyek és eszközök a teljes fém tartalom oldatból történő meghatározásához

Table 1: Acid mixtures and tools generally applied for digestion of welding fume samples for the determination of the total amount of metals

A hegesztési füstök teljes fém tartalmának roncsolásmentes meghatározására a röntgenfluoreszcens spektrometria (XRF) az egyik legalkalmasabb mérési technika. Míg a fentiekben említett módszereknél a hegesztés során felszabaduló fémek oldatba vitele, addig az XRF elemzésnél a kalibráció jelenti a legnagyobb kihívást az analitikus számára. A probléma megoldására több lehetőség is kínálkozik. A munkahelyi aeroszolok XRF vizsgálatában viszonylag elterjedten alkalmaznak jól kidolgozott kalibrációs módszereket, de ezek egyrészt túl költségesek, másrészt egy részük korántsem mondható tökéletesnek a minta mátrix-illesztése szempontjából. A fémek és félfémek munkahelyi aeroszolókból történő meghatározására kidolgozott MDHS 91 angol szabvány olyan kalibrációs módszert ír le, melynek során a mérni kívánt fémek vegyületeinek keverékéből az e célra kialakított aeroszol generátorral képeznek füstöt, melyet aztán előre lemért tömegű membránszűrőkön szívatnak keresztül a megfelelő mintavételi előírások szerint [14]. A szűrőkre rakódott füst tömegéből és a porkeve-

rék összetételéből pontosan kiszámítható a szűrőkön lévő fémek mennyisége. A pontosság egyik meghatározója a tömegmérés bizonytalansága. A szabvány a módszer ellenőrzésére épp az ICP-AES, AAS és ICP-MS technikákat ajánlja, így a feltárási eljárás még ez esetben sem kerülhető el teljesen, ugyanakkor nem jelent akkora problémát, hisz pontosan ismerjük azokat a vegyületeket, amelyekből a porkeveréket összeállítottuk; szemben a vizsgálni kívánt aeroszol mintával. Így felmerülhet a kérdés, hogy valóban megfelelő volt-e a mátrix illesztése. Más módon kivitelezhető módszert írt le Foster [15], amelyben az aeroszolt ultrahangos porlasztóval hozták létre a vizsgálni kívánt fémek megfelelő vegyületeinek oldatából. Az aeroszolt 114 db mintavételi fej elhelyezésére alkalmas Sputnik mintavetővel mintázták, így lehetőség volt több, elvileg teljesen megegyező összetételű minta gyűjtésére. A párhuzamosok közül néhányat feltárási és ICP-AES módszerrel elemezve jutottak információhoz a többi minta elemi összetételéről, melyeket aztán az XRF kalibrációjához használtak. A második módszernél

Műszeres analitika

Analysis with instrument

ugyanúgy felmerül a nagy költség és a mátrix-illesztés megfelelőségének kérdése.

A különböző típusú hegesztési füstökkel kapcsolatos jártassági vizsgálatok tapasztalatai (pl. Workplace Analysis Scheme for Proficiency, Health and Safety Laboratory, Sheffield, Egyesült Királyság) azt mutatják, hogy a résztvevő laboratóriumokban alkalmazott feltárási eljárások nagyon különbözőek, s velük 60-100%-os visszanyerés érhető el a kiadott hegesztési minta típusától és az adott laboratóriumtól függően. A jártassági vizsgálatok azt is igazolták, hogy a feltárási nélküli XRF módszer általában jobb eredményeket szolgáltat. Mivel az XRF elemzés által kínált előnyöket a laboratóriumunkban végzett hegesztési füst vizsgálatok során is szerettük volna kihasználni, olyan módszert kívántunk kidolgozni, amivel nagyobb anyagi ráfordítás nélkül, a lehető legjobb

mátrix-illesztéssel megvalósítható a füst-minták fémtartalmának XRF meghatározása. Felmerült annak a lehetősége, hogy a vizsgálandó hegesztési füstminták közül néhányat a szűrőn lévő aeroszol tömege alapján kiválasztva kalibrációt készítsünk az XRF vizsgálathoz. A kalibrációs pontok analitikai jeleinek felvétele után a kiválasztott mintákat feltárva és ICP-AES technikával megmérve, a kapott koncentrációértékek beilleszthetők az XRF kalibrációba. Kísérleteink során a hegesztési füst-minták Fe-, Mn-, Cr- és Ni-tartalmát határoztuk meg a kétféle technikával, az XRF módszernél a leírt kalibrációt alkalmazva. A két módszer között 20%-nál nem volt nagyobb relatív eltérés (ld. 2. táblázat). Az XRF módszer fejlesztését tovább folytatjuk, remélve, hogy annak kisebb módosításaival nagyobb egyezés is elérhető a két mérés-technika között.

Minta	Cr		Fe		Mn		Ni	
	Konc. ICP µg/szűrő	Relatív eltérés %	Konc. ICP µg/szűrő	Relatív eltérés %	Konc. ICP µg/szűrő	Relatív eltérés %	Konc. ICP µg/szűrő	Relatív eltérés %
1.	3,9	6,5	56,8	16,5	10,9	7,9	1,4	4,6
2.	12,5	18,4	60,8	18,3	11,3	11,3	4,9	9,3
3.	13,1	16,4	91,8	6,5	15,3	6,3	5,5	1,7
4.	34,9	13,9	141	15,3	27,5	10,0	13,2	14,6
5.	46,5	-2,3	193	7,0	30,6	7,2	20,0	11,3
6.	46,9	10,5	210	8,5	35,6	4,7	21,3	11,0
7.	61,0	9,3	225	11,0	44,0	7,2	21,6	1,3
8.	65,3	13,5	234	-0,6	48,6	0,5	23,7	10,7
9.	77,3	-3,2	282	4,1	53,7	10,8	27,0	14,8
10.	81,3	10,1	378	2,9	59,9	5,8	34,4	6,3
11.	83,1	7,6	427	-5,1	65,6	1,5	35,5	4,4
12.	137	-6,3	464	-4,6	86,5	-1,0	61,4	-0,7

2. táblázat. Az ICP-AES módszerrel nyert koncentráció adatok és az ezektől való eltérés az XRF módszer alkalmazásánál

Table 2: Comparison of analytical data obtained by ICP-AES and XRF methods

A hegesztési füstök teljes fémtartalmának meghatározása mellett – hasonlóan az analitika más területeihez – egyre fontosabbá válik a füstökben előforduló fémek kémiai formáinak (speciéseinek) azonosítása. A Cr(VI) vegyületek karcinogén hatását korán felismerve, azokat már a 80-as évek elején külön is meghatározták a hegesztési füstökből [16, 17, 18]. Azóta több szabványt dolgoztak ki a Cr(VI) mérésére munkahelyi aeroszolokból. Ezek a Cr(VI) vegyületek megfelelő extraháló szerrel (pl.: 0,5 N H₂SO₄ az oldható kromátok és krómsav esetében) végzett kioldását követő ionkromatográfiás [19], vagy spektrofotometriás vizsgálatokon alapulnak [20, 21]. Acélok esetében a hegesztési füstben a krómon (és a vason) kívül még nagy mennyiségben lehet jelen a mangán és a nikkell is. A mangán – bár nem jellemző ötvözője a legtöbb hegesztett acélnak – alacsony forráspontja miatt könnyebben párolog a hegesztési folyamatok során, így a többi fémhez viszonyítva jelentősen felgyűlik a hegesztési füstben. A nikkell az ötvözött acélok hegesztése során szabadulhat fel nagyobb mennyiségben. A mindig megjelenő vas a többi, toxikus fémhez viszonyítva nem jelent akkora egészségügyi kockázatot. A mangán és nikkell speciációjának vizsgálatára a szekvens kioldásos módszerek jelenthetik a legegyszerűbb megoldást. Oller és munkatársai nikkell speciések városi aeroszolokból történő kioldására dolgoztak ki módszert [22], míg Thomassen és munkatársai a mangán speciációját vizsgálták munkahelyi aeroszolokban szekvens kioldási eljárás al-

kalmazásával [23]. Ezek a kísérletek előremutatóak a speciációs vizsgálatok terén a hegesztési füstök esetében is. Érdemes külön megemlíteni az „oldható” fémvegyületeket, melyek desztillált vizes, ammónium-citrátos vagy nátrium/ammónium-acetátos kioldást követően határozható meg. Ezeket a vizsgálatokat a mintavételt követő lehető legrövidebb időn belül el kell végezni, mert az „oldható fémtartalom” az idővel nagyon gyorsan változik. A hegesztési füstök pontos kémiai összetételének megállapítására számos nagyműszeres technika is rendelkezésre áll. Az aeroszol vizsgálatokban már alkalmazzák a röntgenabszorpciós finomszerkezet (XAFS) meghatározást, a kristályos vegyületek azonosítására a röntgendiffrakciós (XRD) módszert, egyedi részecskék vizsgálatára a pásztázó elektronmikroszkópot (SEM). Szintén alkalmazhatók – bár inkább csak egyedi részecskék jellemzésére – az Auger elektron spektrometria (AES) a Mössbauer spektrometria, a mikro IR és Raman spektrometria és a röntgen fotoelektron spektrometria (XPS) [24].

A hegesztési füstök viselkedésének megértése, tulajdonságainak tanulmányozása nem nélkülözheti a füstök ultrafinom aeroszol-frakcióinak (aerodinamikai átmérő < 100 nm) vizsgálatát, tekintettel arra, hogy a hegesztésnél keletkező füstökből nagymértékben képződhetnek különböző típusú ultrafinom-frakciók [25] (3. táblázat). Ezen frakciók mintavételére a műszeres technika napjainkban még fejlesztés alatt áll.

Részecskeátmérő, µm	< 0,2	< 0,4	< 0,6	< 0,8	<1,0	≥ 1,0
Részecskeszám	800	251	9	0	1	2
Részecskeszám eloszlás, %	75,3	23,6	0,9	0	0,1	0,2
Tömegeloszlás, % (∅ < 1 µm)	16,8	46,7	8,2	0	28,1	-
Felületeloszlás, % (∅ < 1 µm)	42,3	49,3	6,2	0	2,2	-
Tömegeloszlás, % (teljes tömeg)	15,9	38,7	7,5	0	8,2	29,7

3. táblázat. A részecskék méret szerinti eloszlása a hegesztési füstben (erősen ötvözött Cr-Ni hegesztőanyag),

forrás: AWS (Amerikai Hegesztési Társaság) tanulmány

Table 3: Particle size distribution in the welding fume (high alloyed Cr-Ni consumable),

source: AWS (American Welding Society) study

A hegesztési füstökben döntő részben jelenlévő, 1 µm alatti aerodinamikai átmérőjű részecskék a respirábilis aeroszol frakció mintavételének fontosságára hívják fel a figyelmet, mivel feltételezhető, hogy ezek – különösen a nagyobb részecskéktől elválasztva – más fizikai és kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezt a feltételezést erősítik meg laboratóriumunk legújabb kutatásai, melyek során a hegesztési füstökben megjelenő fémek eloszlását vizsgáltuk a respirábilis és inhalábilis frakciók között. A hegesztési füst-mintákat egy olyan hegesztőüzemben gyűjtöttük, ahol aktív védőgázos fogyóelektródás ívhegesztéssel rozsdamentes acélt (X8CrNi1810) hegesztettek. Fix-pontos mintavételi eljárást alkalmaztunk, a mintázások időtartama átlagosan 30 perc volt. A belélegezhető aeroszolt IOM és CIS mintavételi fejekkel, míg a respirábilis aeroszolt HD ciklonos mintavételi feltételekkel gyűjtöttük. Minden esetben párhuzamosan mintáztuk a kétféle frakciót, hogy az eredmények összevethetőek legyenek. A mintavételi fejeket úgy helyeztük

el, hogy azok a lehető legközelebb legyenek a hegesztési füst keletkezéséhez, így azok távolsága a forrástól általában nem haladta meg az 1 métert. A minták előkészítéséhez többféle kioldást, ill. teljes feltárást alkalmaztunk. A „vízoldható” fémtartalmat 37 °C-on, 60 percig tartó 0,01 M ammónium-acetátos kioldás [13], a Cr(VI) tartalmat 0,5 N-os kénsavval történő extrakció [20], míg a teljes fémtartalmat 2 cm³ cc. HNO₃ ill. 1 cm³ cc. HF elegyével mikrohullámú roncsolás [13] után mértük meg. A „vízoldható” Cr, Mn és Ni vizsgálatát ICP-MS módszerrel végeztük el; a Cr(VI)-tartalmat spektrofotometriás, míg a minták összes Cr-, Mn-, Ni- és Fe-tartalmát ICP-AES módszerrel [26] határoztuk meg. A kapott eredményekből a szűrőkön átszívott levegőtérfogatok segítségével minden mintavevőre kiszámítottuk a vizsgát komponensek koncentrációját a munkahely levegőjében. A két frakcióra – a párhuzamosan vett minták esetén – meghatározott értékeket összehasonlítottuk. A legfontosabb eredményeket a 4. táblázat szemlélteti.

	Respirábilis / inhalábilis arány (%)			
	Cr	Mn	Ni	Fe
„Vízoldható” fémtartalom				
Átlag (n = 20)	60,1	96,7	89,7	*
SD	17,3	12,0	14,0	
RSD (%)	28,7	12,4	15,6	
Medián	54,6	96,8	94,1	
	Cr	Mn	Ni	Fe
Összes fémtartalom				
Átlag (n = 24)	77,3	94,0	66,6	64,4
SD	10,9	15,6	11,8	10,9
RSD (%)	14,1	16,6	17,7	16,9
Medián	79,9	95,6	70,8	66,5
	Cr(VI)			
Cr(VI)				
Átlag (n = 18)	162,3			
SD	57,8			
RSD (%)	35,6			
Medián	154,8			

* Az összes mért koncentráció kisebb volt, mint 20 µg/l (az ICP-MS módszer meghatározási határa)

4. táblázat. A „vízoldható” és összes fémtartalom, ill. a Cr(VI) megoszlása a belélegezhető és a respirábilis aeroszol frakciók között

Table 4: Distribution of „water soluble” metal components, total amount of metals and Cr(VI) between the respirable and inhalable aerosol fractions

Műszeres analitika

Analysis with instrument

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált hegesztési füstben minden vizsgált fém túlnyomó részben a respirábilis aeroszol frakcióban volt jelen. A „vízoldható” és teljes mangántartalom eloszlása hasonlóan alakult a két frakció között, míg a Cr és Ni eloszlásaiban adódott kisebb eltérés. A legfontosabb eredmény a Cr(VI) eloszlására kapott érték, ami viszonylag nagy (főként a mintavétel mérési bizonytalanságából adódó) szórása ellenére bizonyítja, hogy a respirábilis frakció több, az alkalmazott módszerrel meghatározható Cr(VI)-vegyületet tartalmaz, mint a belélegezhető frakció. Ez a tapasztalat nem volt előre várható, figyelembe véve, hogy a respirábilis frakció része az inhalábilis frakciónak [6].

Irodalomjegyzék

- [1] J. D. McNeilly, M. R. Heal, I. J. Beverland, A. Howe, M. D. Gibson, L. R. Hibbs, W. MacNee, K. Donaldson: *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2004, **196**, 95-107
- [2] C. M. Fored, J. P. Fryzek, L. Brandt, G. Nise, B. Sjögren, J. K. McLaughlin, W. J. Blot, A. Ekborn: *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2006, **63**, 135-140
- [3] V. -E. Spiegel-Ciobanu: *Welding and Cutting*, 2006, **5(2)**, 106-111
- [4] www.econweld.com
- [5] ISO 10882-1:2001 Health and safety in welding and allied processes – sampling of airborne particles and gases in the operator's breathing zone – Sampling of airborne particles
- [6] MSZ EN 481:1994 Munkahelyi levegő. A szállópor-mérés szemcseméret-frakcióinak meghatározása
- [7] A munkahelyek kémiai biztonságáról szóló 25/2000. (IX.30.) EüM-SZCSM együttes rendelet
- [8] MSZ EN 13205:2002 Munkahelyi levegő. Az aeroszol-koncentrációt mérő műszerek teljesítőképességének becslése
- [9] MHDS 14/3 General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable and inhalable dust, 2000
- [10] K. Y. K Chung, R. J. Aitken, D. R. Bradley: *The Annals of Occupational Hygiene*, 1997, **41(3)**, 355-372
- [11] L. M. Jalkanen, E. K. Häsänen: *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 1996, **11**, 365-369
- [12] O. T. Butler, A. Howe: *Journal of Environmental Monitoring*, 1999, **1**, 23-32
- [13] ISO 15202-1:2000 Workplace air – Determination of metals and metalloids in airborne particulate matter by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry – Part 2: Sample preparation
- [14] MDHS 91 Metals and metalloids in workplace air by X-ray fluorescence spectrometry, 1998
- [15] R. D. Foster: *X-ray Spectrometry*, 2000, **29**, 467-474
- [16] J. Moreton, J. Bettelley, H. Mathers, R. W. Perry, D. B. Ratcliffe, L. Svensson: *Annals of Occupational Hygiene*, 1983, **27(2)**, 137-156
- [17] G. Blomquist, C. A. Nilsson, O. Nygren: *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 1983, **9**, 489-495
- [18] C. N. Gray, A. Goldstone, P. R. M. Dare, P. J. Hewitt: *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1983, **44(6)**, 384-388
- [19] ISO/DIS 16740 Workplace air – Determination of hexavalent chromium in airborne particulate matter, 2002
- [20] NIOSH 7600 Chromium, hexavalent, 1994
- [21] MDHS 52/3 Hexavalent chromium in chromium plating mists, 1998
- [22] D. G. Ellingsen, S. M. Hetland, Y. Thomassen: *Journal of Environmental Monitoring* 2003, **5**, 84-90
- [23] A. Oller, H. Bates: *Journal of Environmental Monitoring* 2003, **5**, 56N-61N
- [24] H. M. Ortner, B. L. W. Hoflich, Y. Thomassen, M. Wentzel, B. Zelenka: *Chemia Analityczna*, 2005, **50(1)**, 199-221
- [25] V. – E. Spiegel Ciobanu: Ultrafine particles created by welding and allied processes, BIA-report 7/2003e
- [26] ISO 15202-1:2000 Workplace air – Determination of metals and metalloids in airborne particulate matter by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry – Part 3: Analysis

A főszerkesztő a téma iránt érdeklődők figyelmébe ajánlja az új *ISO 15011:2006; Egészség és biztonság a hegesztési és rokon folyamatokban. Füst és gázok mintavételének laboratóriumi módszerei* című szabványt.

Új, érvényes nemzeti szabványok

A Magyar Szabványügyi Testület által, a Szabványügyi Közlöny 2006/6–8. számaiban közzétett és szakterületünket érintő érvényes szabványok a következők:

19 Vizsgálatok

- MSZ EN 60068-2:2006; Környezetállósági vizsgálatok. 1-30. rész: Vizsgálatok. Db vizsgálat: Ciklikus nedves meleg (12 + 12 órás ciklus).

23 Általános rendeltetésű hidraulikus és pneumatikus rendszerek és egységeik

- MSZ EN 13445-5:2002/A8:2006; Nem fűtött nyomástartó edények. 5. rész: Vizsgálatok.
- MSZ EN ISO 16148:2006; Gázpalackok. Újratölthető, varrat nélküli acél gázpalackok. Akusztikus emissziós vizsgálat (AT) időszakos ellenőrzéshez.

25 Gyártástechnika

- MSZ EN ISO 15011-4:2006; Egészségvédelem és biztonság a hegesztés és rokon eljárások területén. A por és gázok laboratóriumi mintavétele. 4. rész: Füstelemzési adatlap.

81 Üveg- és kerámiaipar

- MSZ EN 623-1:2006; Nagy teljesítményű műszaki kerámiák. Monolit kerámiák. Általános és szerkezeti tulajdonságok. 1. rész: A felületi hibák előfordulásának meghatározása festékbehatolással.
- MSZ EN 725-4,-8–9:2006; Nagy teljesítményű műszaki kerámiák. Kerámiaporok vizsgálati módszerei. 4. rész: Az alumínium-nitridben lévő oxigéntartalom meghatározása XRF-elemzéssel. 8. rész: A tömörített halmazsűrűség meghatározása. 9. rész: A laza halmazsűrűség meghatározása.

83 Gumi-és műanyagipar

- MSZ EN ISO 8257-1–2:2006; Műanyagok. Poli(metil-metakrilát) (PMMA) fröccs- és extrúziós anyagok. 1. rész: Megnevezési rendszer és a műszaki követelmények alapja. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 9988-1–2:2006; Műanyagok. Polioximetilén (POM) fröccs- és extrúziós anyagok. 1. rész: Megnevezési rendszer és a műszaki követelmények alapja. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 12086-1–2:2006; Műanyagok. Fluorpolimer diszperziók, fröccs- és extrúziós anyagok. 1. rész: Megnevezési rendszer és a műszaki követelmények alapja. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 14663-1–2:2006; Műanyagok. Etilén/vinil-alkohol (EVOH) kopolimer fröccs- és extrúziós anyagok. 1. rész: Megnevezési rendszer és a műszaki követelmények alapja. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 14910-1–2:2006; Műanyagok. Hőre lágyuló poliészter/észter és poliéter/észter elasztomerek fröccsöntéshez és extrudáláshoz. 1. rész: Megnevezési rendszer és a műszaki követelmények alapja. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 15023-1–2:2006; Műanyagok. Poli(vinil-alkohol) (PVAL) anyagok. 1. rész: Megnevezési rendszer és a műszaki követelmények alapja. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN 13421:2006; Műanyagok. Hőre keményedő kompaundok. Kompozitok és erősítőszálak. Próbatetek készítése a sajtolásos kompozitok anizotrópiájának meghatározásához.
- MSZ EN ISO 13802:2006; Műanyagok. Az ingás ütővizsgáló gépek hitelesítése. Charpy-féle, Izod- és ütve húzó vizsgálat.

87 Festék- és színezékipar

- MSZ EN ISO 2814:2006; Festékek és lakkok. Az ugyanazon típusú festékek és lakkok kontrasztosságának (elnyelőképességének) összehasonlítása.
- MSZ EN ISO 6504-1:2006; Festékek és lakkok. Elnyelőképesség meghatározása. 1. rész: Kubelka–Munk-módszer fehér és világos színű festékeke estén.
- MSZ EN ISO 6860:2006; Festékek és lakkok. Hajlítópróba (kúpos tüskével).
- MSZ EN ISO 7784-1–3:2006; Festékek és lakkok. A kopásállóság meghatározása. 1. rész: Forgó, csiszolópapírral bevont kerek módszer. 2. rész: Forgó, koptató gumikerek módszer. 3. rész: Ide-oda mozgó próbalemez módszer.

- MSZ EN ISO 11997-1-2:2006; Festékek és lakkok. A ciklikus korróziós igénybevétellel szembeni ellenállás meghatározása. 1. rész: Nedves (sós köd)/száraz/páratartalom. 2. rész: Nedves (sós köd)/száraz/páratartalom/UV-fény.

Helyesbített nemzeti szabványok

- MSZ EN ISO 3543:2001; Fémek és nemfémek bevonatok. A bevonatvastagság mérése béta-visszaszóródásos módszerrel (helyesbítés EN ISO 3543:2000/AC:2006 szerint).
- MSZ EN ISO 4623-2:2004; Festékek és lakkok. A fonalas korrózióval szembeni ellenálló képesség meghatározása. 2. rész: Alumíniumfelületek (helyesbítés EN ISO 4623-2:2004/AC:2006 szerint).
- MSZ EN ISO 75-2-3:2004; Műanyagok. A behajlási hőmérséklet meghatározása terheléskor. 2. rész: Műanyagok és keménygumi (helyesbítés: EN ISO 75-2:2004/AC:2006 szerint). 3. rész: Nagy szilárdságú, hőre keményedő rétegelte lemezek és hosszú szállal erősített műanyagok (helyesbítés: EN ISO 75-3:2004/AC:2006 szerint).

Új CEN-szabványok (szerkesztőségünk címfordításai)

- EN ISO 3738-2:2006; Keményfémek. Rockwell-keménységvizsgálat (A-skála). 2. rész: Szabványos vizsgálótömbök készítése és kalibrálása.
- EN ISO 3928:2006; Zsugorított fémek, kivéve a keményfémeket. Mintadarabok a fárasztóvizsgálathoz.
- EN ISO 4022:2006; Áteresztő zsugorított fémek. A folyadék áteresztőképesség meghatározása.
- EN 584-1:2006; Roncsolásmentes vizsgálat. Ipari radiográfiai film. 1. rész: Az ipari radiográfiához használatos filmrendszerek osztályozása.
- EN 12517-1:2006; Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. Acél, nikkel, titán és ötvözetek hegesztett kötéseinek értékelése radiográfiával.
- EN ISO 14323:2006; Ponthegesztés. A hegesztés roncsolásos vizsgálata. A próbatest méretei, és az ütve nyírás vizsgálat és a keresztirányú húzóvizsgálat.
- EN ISO 75-2-3:2004/AC:2006; Műanyagok. A terhelés alatti lehajlás hőmérsékletének meghatározása. 2. rész: Műanyagok és ebonit. 3. rész: Nagy szilárdságú, hőre keményedő laminátok és hosszú szákkal erősített műanyagok
- EN ISO 1133:2005/AC:2006; Műanyagok. Hőre lágyuló műanyagok ömledékei tömeg-kifolyási sebességének (MFR) és térfogat-kifolyási sebességének (MVR) a meghatározása.
- EN ISO 14663-1:2006; Műanyagok. Ingás ütőművek hitelesítése Charpy-, Isod- és ütve szakító vizsgálatokhoz.
- EN 15042-1-2:2006; Bevonatok vastagságának mérése és felületek jellemzése felülethullámokkal. 1. rész: Irányelv vékony rétegek (filmek) rugalmas állandóinak, a sűrűségének és vastagságának lézer keltette felületi hanghullámokkal való meghatározásához. 2. rész: Irányelv bevonatok vastagságmérése fototermikus módszerrel.
- EN ISO 10271:2001/AC:2006; Fogászati fémek. A korrózió vizsgálati módszerei.
- EN ISO 11979-3:2006; Szemészeti implantátumok. Belső szemlencsék. 3. rész: Mechanikai tulajdonságok és vizsgálati módszerei.
- EN 14488-2 és -6:2006; Szórt beton vizsgálata. 2. rész: Az új, szórt beton nyomószilárdsága. 6. rész: A beton vastagsága a hordozón.

Új ISO-szabványok, amelyek 2006. január 25-e és május 30-a között jelentek meg. (Az ISO Bulletin, illetve az ISO Focus alapján készül tájékoztató címfordítások.)

- ISO 4992-1-2:2006; Acélöntvények. Ultrahangos vizsgálat. 1. rész: Általános célú acélöntvények. 2. rész: Acélöntvények erősen igénybe vett alkatrészekhez.
- ISO 148-1:2006; Charpy-féle ingás ütővizsgálat. 1. rész: Vizsgálati módszerek.
- ISO 1099:2006; Fémek. Fárasztóvizsgálatok. A tengelyirányú erő szabályozásának módszere.
- ISO 22214:2006; Finomkerámiák (korszerű kerámiák, korszerű műszaki kerámiák). Monolitikus kerámiák ciklikus hajlítási kifradásának vizsgálati módszerei szobahőmérsékleten.
- ISO 15011:2006; Egészség és biztonság a hegesztési és rokon folyamatokban. Füst és gázok mintavételének laboratóriumi módszerei.
- ISO 11844-1:2006; Fémek és ötvözetek korróziója. A gyenge korrózió hatású belső légterek osztályozása. 1. rész: A belső korrózió hatás meghatározása és értékelése.
- ISO 21509:2006; Műanyag és ebonit. A Shore-keménységmérő hitelesítése.
- ISO 22314:2006; Műanyag. Üvegszál-erősítésű termékek. A szállhosszúság meghatározása.