

A terjedő repedés méretének mérési módszerei és a compliance módszer megbízhatósága fáradásos repedésterjedéskor

Dr. Nagy Gyula* – Dr. Lukács János*

A repedést tartalmazó, ismétlődő igénybevétellel terhelt szerkezetek, szerkezeti elemek megbízható üzemeltetése szükségessé teszi a maradék élettartam becslését. A számítások elvégzéséhez nélkülözhetetlen anyagi mérőszámok fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatokból származhatnak. A vizsgálatok során mérni kell a terjedő repedés méretét (a), számlálni kell az igénybevételi ciklusok számát (N), majd számítani kell a fáradásos repedésterjedési sebességet (da/dN). Ennek birtokában, a feszültségintenzitási tényező tartománya (ΔK) segítségével megadható a fáradásos repedésterjedés kinetikai diagramja ($da/dN-\Delta K$), számíthatók az azt leíró összefüggés paraméterei.

A terjedő repedés méretének mérésére különböző módszerek terjedtek el. Ennek okai a próbatetek/szerkezetek anyagának, méretének különbözőségében, a repedésméret meghatározásának igényelt pontosságában, a repedésterjedés különböző körülményeiben (pl. hőmérséklet, közeg), a repedéskövetés automatizálásának szükségességében, valamint az adatfeldolgozás, adatkiértékelés metodikájában keresendők [1, 2]. A módszerek között természetesen vannak elterjedtebbek (pl. compliance módszer) és kevésbé gyakran alkalmazottak (pl. Barkhausen-zajt mérő módszer) is.

Az előzőek alapján közleményünk célkitűzései az alábbiakban fogalmazhatók meg:

- a terjedő repedés mérete mérési módszereinek áttekintése, a leggyakrabban alkalmazott módszerek rövid bemutatása,
- a compliance módszer alkalmazásához szükséges szétnyílás-repedésméret összefüggés meghatározása adott helyen elhelyezett szétnyílásmérő esetén,
- a fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatok során, a mérés reprodukálhatóságáról szerzett tapasztalatok közreadása.

A terjedő repedés méretének mérési módszerei

A terjedő repedés méretének mérési módszerei két nagy csoportba sorolhatók, a felületi repedésméretet szolgáltatató és az átlagos repedésméretet adó módszerek közé.

Felületi repedésméretet szolgáltatató módszerek:

- optikai módszer [1, 3],
- repedésnövekedést mérő szenzor alkalmazása [4],
- indirekt villamos potenciáleséses módszer [3, 5],
- örvényáramos módszer egyik változata [2].

Átlagos repedésméretet adó módszerek:

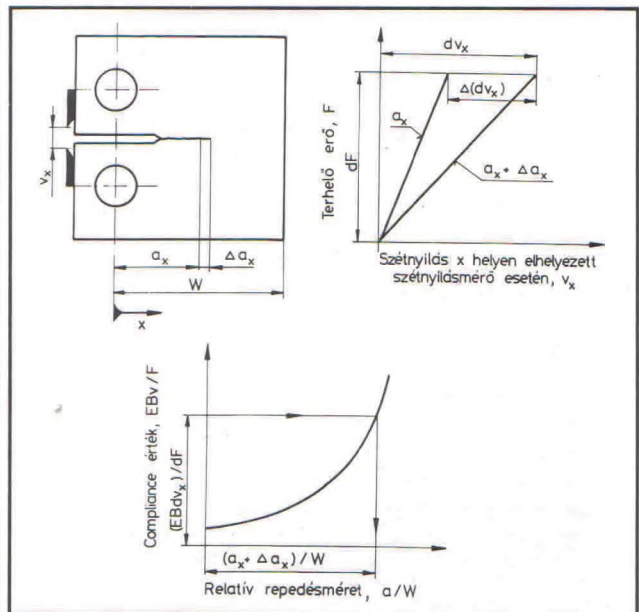
- compliance (reciprok rugóállandó) módszer [1, 6],
- direkt villamos potenciáleséses módszer [1],
- örvényáramos módszer másik változata [2],
- a terhelés aszimmetria tényezőjének változtatása [7],
- a próbatest hátfelületi összenyomódásának mérése (Back Face Strain) [8],
- a repedéscsúcs környezete nyúlásának mérése (Crack Trip Strain Measurement) [9],
- ultrahangos módszer [10],
- akusztikus emissziós módszer [11, 12],
- Barkhausen-zaj alapján mérő módszer [13,14]
- a repedésfront hevítéssel való elszínezése [15].

A felsorolt módszerek közül legszélesebb körben és leggyakrabban az optikai, a compliance és a villamos potenciáleséses módszert alkalmazzák, ezért a következőkben csak ezekre térünk ki. A többi módszer elvét, alkalmazási területeit, előnyeit és hátrányait a hivatkozott források, valamint a [16] munka ismerteti.

Az optikai módszerrel [1,3] a repedésméret változását a próbatest felületére felvitt és/vagy az érzékelő eszközön rendelkezésre álló skála segítségével követhetjük. Ez történhet szabad szemmel vagy nagyítás útján, a próbatest egyik vagy mindkét oldalán. A nagyított, kétoldali re-

déskövetés, különösen vastagabb próbatetek esetén megbízhatóbb. A módszer előnye, hogy egyszerűen kivitelezhető, nem igényel kalibrálást, s a vizsgált anyagnak nem kell idealizált (pl. legyen lineárisan rugalmas) vagy a vizsgálat fizikai elvéből adódó (pl. legyen ferromágneses) feltételeknek megfelelnie. A módszer hátránya, hogy szubjektív elemeket hordoz, a próbatest felületét a repedéscsúcs láthatósága érdekében megfelelően elő kell készíteni, a felgyorsult folyamatok nehezen vagy alig követhetők, s az automatikus adatregisztrálás sem oldható meg.

A compliance (reciprok rugóállandó/rugómervség) módszer [1, 6] azon alapul, hogy a próbatest merevsége a repedés méretének változásával a repedésterjedés során változik, ami a kalibrációs görbe ismeretében felhasználható a repedés méretének meghatározására. Adott típusú és geometriájú próbatest esetén a mérés (kalibrálás) elrendezését, az erő-szétnyílás ($F-v_x$) függvény változását és a kalibrációs görbét az 1. ábra mutatja.



1. ábra A terjedő repedés méretének mérése compliance módszerrel

A pillanatnyi repedésméret a vizsgálat során, egy adott (x) helyen elhelyezett szétnyílásmérő esetén, a próbatest jellemző mérete (W), vastagsága (B) és anyagának rugalmassági modulusza (E) ismeretében az

$$v_x = \left(\frac{EBdv_x}{dF} + 1 \right)^{-1/2} \quad (1)$$

mennyiségből az

$$\frac{a}{W} = c_0 + c_1 v_x + c_2 v_x^2 + c_3 v_x^3 + c_4 v_x^4 + c_5 v_x^5 \quad (2)$$

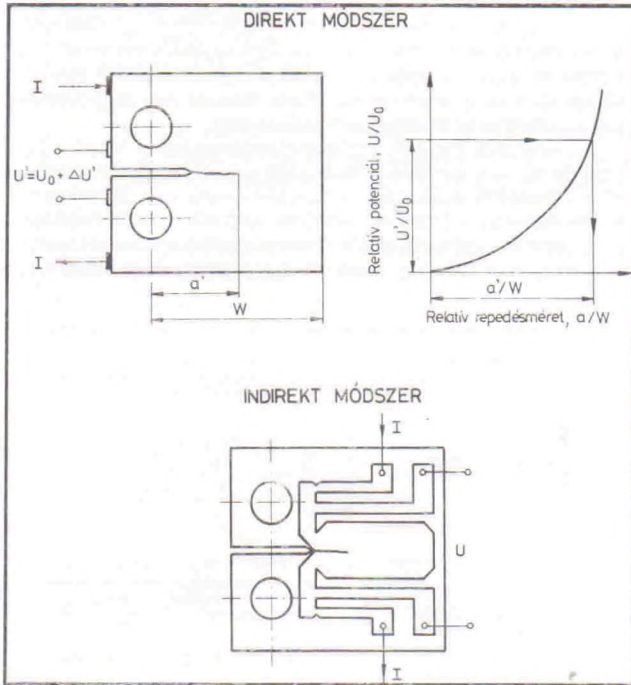
összefüggéssel meghatározható. A c_0, \dots, c_5 állandók a próbatest típusától, geometriájától és a szétnyílásmérés helyétől függenek. A leggyakrabban alkalmazott mérési helyeken (erő határvonala, próbatest homlokfelülete) érvényes értékeik közleményekben megtalálhatók, illetve az ezektől eltérő mérési helyekre átszámíthatók [17, 18]. Az átszámítások megbízhatóságáról a források alig, vagy egyáltalán nem közölnek információkat.

A compliance módszer előnye, hogy különleges (pl. alacsony/magas hőmérséklet, közeg) között is viszonylag alacsony költségigényű, a próbatest vizuális megfigyelésére nincs szükség, s könnyen automatizálható [19], így számítógéppel vezérelt vizsgálatokhoz gyakran alkalmazzák [20, 21, 22]. A módszer hátránya, hogy kalibrálást igényel, mérőeszköze

* Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, Miskolc

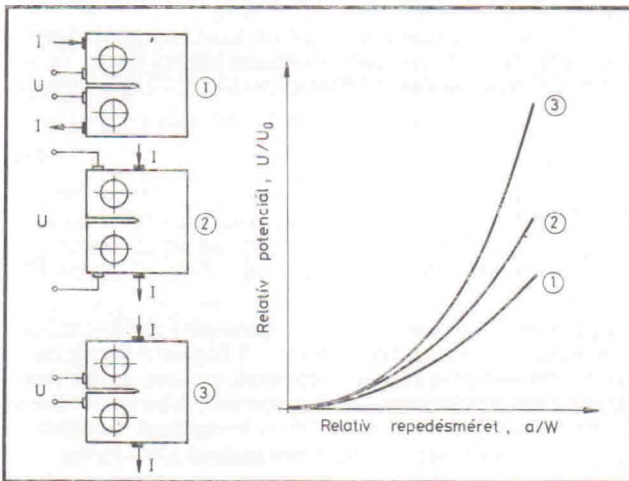
sérülésveszélyes, továbbá nagyobb képlékeny alakváltozások, s így egyes anyagminőségek esetén nem megbízható.

A villamos potenciális módszer során egyen- vagy váltakozó áramot (I) [1, 3, 5, 23] vezetnek a próbatesten át, s mérik villamos ellenállásának változását a feszültségváltozás (U) segítségével. Az ellenállás a repedésterjedés során, az ép keresztmetszet csökkenése következtében változik, ami kalibrációs görbe segítségével alkalmas a repedés méretének meghatározására. A módszer direkt változata esetén a feszültségváltozást közvetlenül a próbatesten mérik, indirekt változata esetén pedig a próbatestre ragasztott fémfóliában. A két változat elrendezését és a direkt változatra jellemző kalibrációs görbét a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra A terjedő repedés méretének mérése villamos potenciális módszerrel.

A direkt változat előnye, hogy viszonylag egyszerűen kivitelezhető, könnyen automatizálható, különleges körülmények között és három dimenziós repedésterjedések esetén [24] is alkalmazható. Hátránya, hogy kalibrálást, villamosan szigetelt próbatestet igényel, s a sok – a vizsgált anyagminőségre, illetve a mérési körülményekre visszavezethető – befolyásoló tényező nehezíti a pontos és megbízható mérést. Erre egy példát a 3. ábrán mutatunk be [1].



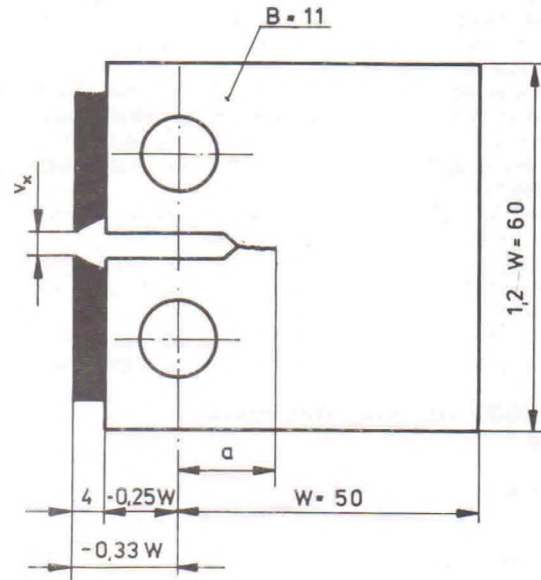
3. ábra A kalibrációs görbe és az árambevezetés, illetve a feszültségmérés helyének kapcsolata (elvi ábra) [1]

Az indirekt változat legfőbb előnye, hogy villamosan nem vezető anyagok esetén is alkalmazható, s hogy a repedésméret és a feszültség között az összefüggés lineáris.

A terjedő repedés méretének mérésére alkalmas módszereket összevetve kijelenthető, hogy a próbatest alakjának, méretének, a vizsgálat körülményeinek stb. függvényében különböző módszerek alkalmazása lehet előnyös (optimális). Minden szituációra egyformán megfelelő módszer ebből következően nem ajánlható. A módszerek két nagy csoportját összehasonlítva megállapítható, hogy – az esetek többségében nem egyenes repedésfrontból adódóan – az átlagos repedésméretet szolgáló módszereknek megbízhatóbb eredményt. Különösen igaz ez aszimmetrikus repedésfrontok kialakulásakor, amelyek egyes esetekben (pl. hegesztett kötések vizsgálata) elkerülhetetlenek.

Vizsgálatok

A compliance módszer alkalmazásához szükséges (2) összefüggés egyúttartóinak meghatározása, valamint a mérés reprodukálhatóságának megítélése érdekében végzett vizsgálatokhoz 37 C anyagminőségű (MSZ 6280) CT próbatesteket használtunk. A próbatestek geometriáját a 4. ábra mutatja, amelyen feltüntettük a mérőcsőrök helyét és méretét is.



4. ábra A vizsgálatokhoz használt CT próbatestek geometriája

Az állandó terhelésamplitúdójú repedésterjedési sebesség vizsgálatokat MTS 312 típusú elektrohidraulikus anyagvizsgáló berendezésen, szobahőmérsékleten és levegőn, szinuszos alakú fárasztási függvény szerint végeztük, R = 0.1-es terhelés aszimmetria tényezővel. A vizsgálatok során mértük a repedés méretét optikai módszerrel, ezzel egyidejűleg X-Y íróra rajzoltuk az erő-szétnyílás diagramot és számítottuk az igénybevételi ciklusokat. A megfelelő pontossággal mérhető repedésméret és a próbatest jellemző méretének viszonya mind a kilenc próbatest esetén a

$$0,2 \leq \frac{a}{W} \leq 0,65 \tag{3}$$

intervallumba esett.

A vizsgálatok második szakaszában újabb nyolc próbatesten végeztünk repedésterjedési sebesség vizsgálatot, a már ismertetett körülmények között. E vizsgálatok eredményeit használtuk fel a reprodukálhatóság elemzéséhez.

Eredmények és értékelésük

Elsőként a [17] közleményben ismertetett adatok és összefüggések segítségével meghatároztuk (átszámítottuk) a (2) kifejezés c₀, ... c₅ együtthatóit, a vizsgálatainknak megfelelő, x = -0.33 W-nál elhelyezett szétnyílásmérő esetére.

Második lépésben a kilenc próbatesten elvégzett mérés adatainak (optikai úton mért repedésméret, erő-szétnyílás diagram) értékelésével,

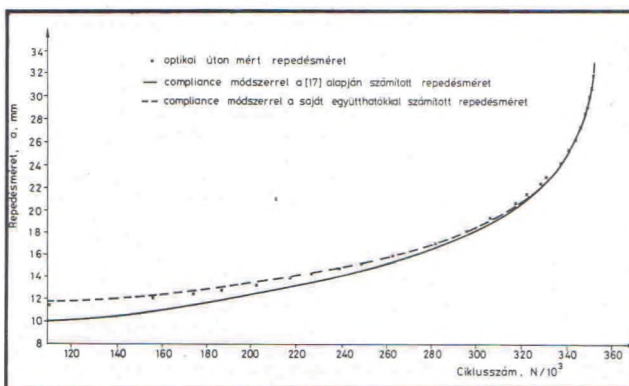
IBM PC számítógépre írt program segítségével, szintén meghatároztuk a (2) összefüggésben szereplő állandókat. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat.

A (2) összefüggés állandói a [17] irodalom és az elvégzett vizsgálatok alapján

Állandó	Forrás	
	[17] irodalom	saját vizsgálatok
C ₀	1.0023	0.9978
C ₁	-5.0088	-5.1252
C ₂	26.5549	26.5929
C ₃	-364.7542	-321.8754
C ₄	2011.998	1554.006
C ₅	-3914.669	-2397.107

A harmadik lépésben az összefüggések alkalmazhatóságának megítélésére, az újabb nyolc próbatesten elvégzett fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálat eredményeit használtuk fel. Itt az optikai úton mért és a compliance módszer segítségével számított repedésméretek hasonlítottuk össze. Az adatok részletes értékeléséből megállapítottuk, hogy az optikai úton mért és a compliance módszerrel számított repedésméretek közötti relatív hiba általában 5 %-nál kisebb volt, ha a saját mérésekből meghatározott számító összefüggést használtuk fel. Néhány esetben – főleg a kisebb repedésméreteknel – a relatív hiba 5–10 % közé esett. Abban az esetben, ha a [17] irodalom adatainak felhasználásával meghatározott összefüggést használtuk, a relatív hiba a kisebb repedésméreteknel 10–20 % közé eshetett. Ezt szemlélteti egy próbatest esetén az 5. ábra.



5. ábra Az optikai úton mért és a compliance módszerrel, különböző együtthatókkal számított repedésméret-igénybevételi ciklusszám görbék

Az értékelés utolsó fázisában az azonosság és a reprodukálhatóság vizsgálatát kiterjesztettük a fáradásos repedésterjedés kinetikai diagramjának középső szakaszát leíró Paris-Erdogan összefüggés [25] kitevőjére (n). A széles körben alkalmazott formula az alábbi:

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^n \quad (4)$$

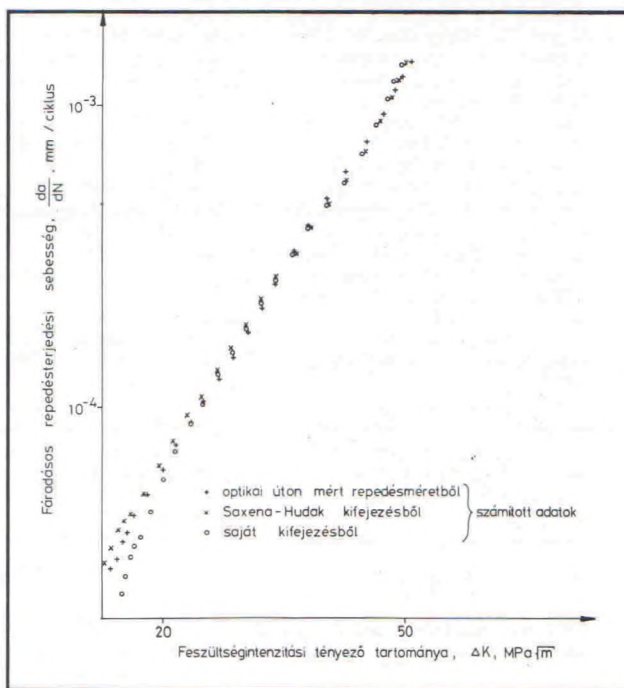
Az n értékét az optikai úton mért és a kétféle módon szétnyílás-mérésből számított repedésméretek segítségével egyaránt meghatároztuk. A kinetikai diagramokban jelentkező eltérésekre a 6. ábrán mutatunk be egy példát.

A különböző módon meghatározott n értékek azonosságát az ismeretlen elosztású alapsokaság esetén alkalmazható Wilcoxon-próba segítségével [26] hasonlítottuk össze. A kis minták esetére érvényes próbát elvégezve, $\epsilon = 0.05$ kétoldali szignifikanciaszinten, azt kaptuk, hogy azok azonosnak tekinthetők. A kitevő (n) meghatározásának reprodukálhatóságát kifejező variancia (szórás) együttható értékében sem találtunk lényeges eltérést, amit a 2. táblázat mutat.

2. táblázat

A különböző módon meghatározott n értékek, mint statisztikai minták legfontosabb jellemzői

Jellemző	A meghatározásnál alkalmazott módszer		
	optikai	[17] irodalom	saját vizsgálatok
átlag	3.35	3.30	3.47
szórás	0.306	0.261	0.307
variancia együttható, %	9.14	7.91	8.84



6. ábra A fáradásos repedésterjedés kinetikai diagramja az optikai úton mért és a compliance módszerrel, különböző együtthatókkal számított repedésméretek esetén

Megemlítjük, hogy ugyanezen anyagminőség, összesen 32 próbatest eredményeit tartalmazó statisztikai mintájának átlaga 3.444-re, variancia együtthatója pedig 9.13 %-ra adódott.

Következtetések

A közlemény célkitűzéseit és az elvégzett vizsgálatokat, azok eredményeit és értékelésüket figyelembe véve, az alábbi következtetések fogalmazhatók meg:

– A terjedő repedés méretének mérésére alkalmas módszerek közül az átlagos repedésméretet szolgáltatók megbízhatóbbak mint a felületi repedésméretet adók, ezért azok alkalmazása célszerű. Nem lehet azonban a lehetséges módszerek közül egyetlen alkalmazását sem általánosan elfogadhatónak tekinteni.

– Az elvégzett fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatok során az optikai és a compliance módszerrel mért repedésméretek különbsége általában kisebbre adódott, mint a mért értékek 5 %-a. Néhány egyedi esetben, elsősorban kisebb repedésméreteknel, 20 %-os relatív hibát is mértünk, ami a vizsgálat kezdeti szakaszának gondos értékelésére hívja fel a figyelmet.

– Körültekintően elvégzett fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatoknál a repedésméret mérésének optikai vagy compliance módszere azonos reprodukálhatóságot biztosít.

– A repedésméret mérésének módja nem befolyásolja szignifikánsan a Paris-Erdogan összefüggés kitevőjének értékét.

Irodalom

[1] Schwalbe, K.-H.: Test Techniques. 5th International Conference on Fracture (5th ICF), Cannes, France, 29 March-3 April 1981. Ed.: Francois, D., Pergamon Press, 1981, Advances in Fracture Research, Volume 4, pl. 1421-1446.

[2] Metals Handbook. Ninth Edition. Volume 8. Mechanical Testing, American Society for Metals, 1985.

[3] Dobi, D.: Az acélok fátard repedés sebesség meghatározása a Ravnei Nemescélgárban. IV. Országos Törésmechanikai Szeminárium, Miskolc-Lillafüred, 1991. április 10-12. Különlenyomat, pl. 1-10.

[4] Katalog 500. Teil A-DMS-Katalogisierung. Measurement Group Messtechnik GmbH, 1988. p. 78-79.

[5] Fractomat und Krak Gages. Gyártmányismertető. RUMUL Russenberger Prüfmaschinen AG, Neuhausen am Rheinfall, Switzerland. p. 1-4.

[6] Duggan, T.V.; Proctor, M.W.: Measurement of Crack Length from Changes in Specimen Compliance. The Measurement of Crack Length and Shape Dirmg Fracture and Fatigue. Ed.: Beevers, C.J. EMAS, Ltd., Warley, 1980. p. 1-27.

[7] Truchon, M.; Lieurade, H.-P.: Experimental Study of Surface Crac Propagation in an E 36 Steel. 5th International Conference on Fracture (5th ICF), Cannes, France, 29 March-3 April 1981. Ed.: Francois, D., Pergamon Press, 1981, Advances in Fracture Research, Volume 1, p. 33-39.

[8] Richards, C.E.; Deans, W.F.: The Measurement of Crack Length and Load Using Strain Gauges. The Measurement of Crack Length and Shape During Fracture and Fatigue. Ed.: Beevers, C.J. EMAS, Ltd. Warley, 1980. p. 28-68.

[9] Curry, D.A.; Milne, I.: The Detection and Measurement of Crack Growth during Ductile Fracture. The Measurement of Crack Length and Shape Dirmg Fracture and Fatigue. Ed.: Beevers, C.J. EMAS, Ltd., Warley, 1980. p. 401-434.

[10] De Vadder, D.; Perky, Y.; Francois, D.: A New Ready-to-use Apparatus for Accurate Measurements on Fatigue Specimens. 10th Congress on Material Testing, Budapest, 1991. október 7-11. Ed.: Czoboly, E. GTE, Budapest, 1991. pl. 633-638.

[11] Lindley, T.C.; McIntyre, P.: Application of Acoustic Emission to Crack Detection and Measurement. The Measurement of Crack Length and Shape Dirmg Fracture and Fatigue. Ed.: Beevers, C.J. EMAS, Ltd., Warley, 1980. p. 285-344.

[12] Pellionisz, P.: Akusztikus emissziós vizsgálat. II. rész: Alkalmazási területek. Anyagvizsgálók Lapja, (1) 1991/3. p. 79-81.

[13] Bhattacharya, S.; Schröder, K.: A New Method of Detecting Fatigue Crack Propagation in Ferromagnetic Specimens. Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, Vol. 3, No. 4, July 1975. p. 289-291.

[14] Posgay, Gy.: Ferromágneses anyagok vizsgálata Barkhausen-zaj mérésével. Anyagvizsgálók Lapja, (1) 1992/1. p. 26-28.

[15] ASTM E 813-89: Standard Test Method for J_{IC}, A Measure of Fracture Toughness.

[16] Richards, C.E.: Some Guidelines to the Selection of Techniques. The Measurement of Crack Length and Shape Dirmg Fracture and Fatigue. Ed.: Beevers, C.J. EMAS, Ltd., Warley, 1980. p. 461-468.

[17] Saxena, A.; Hudak, S.J.Jr.: Review and Extension of Compliance Information for Common Crack Growth Specimens. International Journal of Fracture, Vol. 14, No.5, October 1978. p. 453-468.

[18] Shang-Xian, W.: Crack Length Calculation Formula for Three Point Bend Specimens. International Journal of Fracture, Vol. 24, 1984. pl. R33-R35.

[19] Abbott, K.R.; Doig, P.: A Microcomputer Control System for the Measurement of Fatigue Crack Growth Data. Engineering Fracture Mechanics, Vol. 23. No. 6, p. 965-976. 1986.

[20] 759 TestWare, 759.40 Crack Growth Test. MTS Systems Corporation, Software Version 1.02A. MTS Document Number: 115725-02A. Minneapolis, Minnesota, 1988.

[21] Instron 2490 Series Application Program. Crack Propagation Program. Cat. No. 2490-085. Manual No. M22-12490-10. Instron Corporation, 1989.

[22] Computer Aided Test System (CATS). Bulletin CATS 24-5M. SATEC Systems Inc., Grove City, PA. p. 1-20.

[23] Koula, V.; Kunt, H.: Stabel Crack Growth Detection by AC Potenciometric Method. 8th Congress on Material Testing, Budapest, 1982. szeptember 28-október 1. OMIKK-TECHNOINFORM, Budapest, 1982. Lectures, II. Volume p. 474-478.

[24] Bauding, G.; Policella, H.: Progress in Potential Drop Technique. Application to Three-dimensional Crack Fronts. 5th International Conference on Fracture (5th ICF), Cannes, France, 29 March-3 April 1981. Ed.: Francois, D., Pergamon Press, 1981, Advances in Fracture Research, Volume 4, p. 1954-1964.

[25] Paris, P.; Erdogan, F.: A Critical Analysis of Crack Propagation Laws. Journal of Basic Engineering, Transactions of the ASME, December 1963. p. 528-534.

[26] Balogh, A.; Dukáti, F.; Sallay, L.: Minőségellenőrzés és megbízhatóság. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.

HÍREK

2nd Seminar: Workshop Teaching and Education in Fracture and Fatigue

Miskolc-Tapolca, 1993. március 12-13.
A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke a Bécsei Műszaki Egyetemen közösen szervezte meg a fátardás és törés területéhez kapcsolódó képzéssel, oktatással foglalkozó szakemberek találkozáját. E rendezvényen hazánkkal együtt 12 ország képviseltette magát vezető szakembereivel. (Izrael, Franciaország, Hollandia, Anglia, Spanyolország, Németország, Ausztria, Szlovákia, Jugoszlávia, Ukrajna, Lengyelország.) A mintegy 45 résztvevő igazán családias légkörben vitatta meg egyrészt az oktatási tapasztalataikat, mind a tematikát, mind pedig annak módszertanát, másrészt a jövőbeni összehangolt, közös cselekvési irányokat. Az előadók közül nehéz kiemelni bármelyiket is, hisz ez teljesen önkényes lenne. Általános megállapításként a következők fogalmazódtak meg:

- a törés és fátardás területén hiányzik az igazán jól megszerkesztett, zsebkönyvként használható könyvsorozat;
- az oktatás nagyon főmcentrikus, hiányzik az átfogóbb szemléletmódot tükröző oktatási anyag (nemfémek anyagok, kompozitok, műanyagok, kerámiák, üvegek, közetek, beton);
- a posztgraduális képzés területén az összefoglaló és szintetizáló szerkezeti integritás irányába célszerű erősíteni oktatásunkat;
- oktatásmódszertani kérdésekre nagy súlyt kell fektetni a gyors és szemléletes megértés érdekében;
- nemzetközi szakmai szervezetekben célszerű kezdeményezni oktatással foglalkozó szakbizottság létrehozását (mind az ESIS-ben, mind pedig az ICF-ben - ez utóbbi kongresszusa Kievdn lesz ez év júniusában, ahol e javaslat betérjesztésre kerül);
- a távoktatás is helyet kaphat az e területen folyó képzésben akkor, ha a megfelelő minőségű és mennyiségű oktatási segédlet rendelkezésre áll (erre nézve az Open University jelen lévő két szakembere előadásában kitért, bemutatva az oktatási rendszerük felépítésén kívül az egyik speciális -

Failure of Stressed Materials - kurzusuk anyagait, amelyek a Mechanikai Technológiai Tanszéken megtalálhatók);

- a konferencia-sorozat folytatására általános igény van.

A hazai tapasztalatokat a Budapesti Műszaki Egyetem és a Miskolci Egyetem oktatói foglalták össze. Az OMFB Mecenatura pályázat nyújtotta segítség lehetővé tette azt, hogy a hazai szakemberek részvételi díj nélkül látogathassák az előadásokat.

A konferencia nemzetközi aktualitását jól jellemzi az, hogy a szakmai körökben igen nagy nemzetközi elismertségű folyóirat, a Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures (az ESIS hivatalos lapja) évente egy külön számot az oktatás kérdéseire kíván fordítani.

Dr. Tóth László

Modern mérés-technika és minőségbiztosítás

Ez év február 9-12. között tartotta meg a Modern mérés-technika és minőségbiztosítás című szakkiállítását a PT Precíziós Technika Kft.

Két különleges termékkel bővült az egyébként is gazdag eszköztár: az érdesség- és profilmérés teljes palettájával a német Hommel cégtől, valamint az egyedülállóan pontos Helicom típusú mérőgéppel, amely az idomszerek és mérőeszközök nagy pontosságú kalibrálására szolgál; gyártója az ugyancsak németországi Helios cég.

Mindezek bemutatása a PT Precíziós Technika Kft. klimatizált kalibráló laboratóriumában történt, ahol 20 °C hőmérsékleten tartva mind a mérőberendezéseket, mind a mérendő eszközöket garantáltan minőségi munka végezhető. Nagy érdeklődés kísérte a kiváló minőségű hosszsmérő eszközöket is, valamint az érin-tesmentes mérés-technikát: a pneumatikus mérőeszközök alkalmazását.

Bemutatták ezen kívül a fejlett autópárban már elterjedt, az induktív tapintók és elektronikus oszlopok kijelzők segítségével mérő eljárásokat, amelyek 0.0001 mm (egy tízed mikron) felbontás mellett a gyártási folyamatba beépítve is kiváló stabilitást biztosítanak.

Mindezeket az eszközöket kiegészítették a keménység-, rétegvastagság- és hőmérsékletmérők.

A kiállítás súlyponti témája volt az ISO 9000 szabvány-sorozathoz illeszkedő számítógéppel támogatott minőségbiztosítási rendszer (CAQ), a gyártásközi SPC, amellyel a beérkező idegenár, valamint a kimenőáru minőségbiztosítási feladatai megoldhatók.

A rendszert ipari számítógéphez csatolt mérőeszközök alkalmazásával mutattuk be az érdeklődő csoportok számára videóval kibővített előadás keretében.

Ugyancsak csoportos bemutató keretében ismerhették meg a látogatók a Mercedes Benz Autógyár által kifejlesztett és magyarra fordított MAXIMO 3 számítógépes üzemviteli és karbantartási szoftvercsomagot. Bemutatásra került a DIN-BUS nagy zavarvédelemmel, soros adatgyűjtő rendszer is, melynek segítségével megvalósítható elektronikus jelforgalom (pl. mérési adatgyűjtés). A DIN előírásait kielégítő rendszer a német CS. Computersystem cég terméke.

Megtisztelte látogatásával a kiállítást az OMH részéről Tomanyiczka Kálmán úr, valamint az OMFB részéről Mokri J. Ferencné és Jerszabek Lajos, továbbá MH MITI-től Bán József igazgató úr, munkatársai.

Székessy István

Korszerű anyagelemző készülékek

A Testor BT. március 9-én szakmai bemutatót és tapasztalatcsere-t szervezett, melyen közreműködött a finn Outokumpu Instruments export menedzsere is. A résztvevők üzem közben ismerkedhettek meg az ARC-MET 900 mobil, optikai emissziós spektrométer és az X-MET 880 hordozható röntgen-fluoreszcens analízator előnyös tulajdonságait, amit a magukkal hozott fémminták elemzési eredményei is alátámasztottak. (A készülékekről lapunk 1991/3. és 1992/1. számaiban olvashatnak ismertést.)

Mivel a helyszíni szerelések és karbantartások minőségbiztosítása, az anyagkeveredések okozta károk megelőzése, az elfekvő anyagkészletek és hulladékok hasznosítása megköveteli a gyors, megbízható és gazdaságos anyagösszetétel-ellenőrzést, ezért a Testor felvette terméklistájába ezen korszerű eszközöket.

- ferko -

A beton vizsgálatának sajátosságai

Dr. Kovács Károly

A beton anyagtani jellemzői

A beton az a szerkezeti anyag, amit a legnagyobb mennyiségben állítanak elő az építőiparban és az előállított mennyiség nagy részét in situ készítik, nagy felelősséget hárítva a beton összetételét és feldolgozását tervező- irányító vezetőre.

A beton tehát tömegtermék, ezért a helyi olcsó adalékanyagokat kell felhasználni, amelyek a legtöbb esetben eredeti állapotukban nem ideális összetételűek, azaz szemcsészetük méreteloszlása nem biztosítja a tervezett betontulajdonsághoz szükséges optimális összetételt. A legtöbb esetben ezért a szemcsészet méreteloszlásának megváltoztatására is szükség van. Az ideális szemcseloszlás kialakításánál figyelembe veszik a tervezett beton funkcióját, a helyi lehetőségeket (adalékanyag osztályozása, beton bedolgozás stb.).

Betonon általában a cement kötőanyagú, szilárd, szemcsés adalékanyagú, kőszerűen rideg anyagot értjük; meg kell azonban jegyezni, hogy egyre nagyobb mennyiségben alkalmaznak más kötőanyagokat is a szemcsés anyagok megkötéséhez. Elsősorban a műgyanta kötőanyag jöhet számításba. Ezt a rendszert polimerbetonnak (PC) nevezzük.

Igen elterjedten használják a vegyes kötőanyagú betonokat is, mert ezek egyesítik a cement- és a polimerkötés előnyeit (PCC rendszerek). A pótlólagos kötőerő kialakítására használják a polimerrel impregnált betonokat (PIC).

A betonok ideális szemcseméret-eloszlása függ a kötőanyag fajtájától is.

A betonok tulajdonságai nagymértékben függenek a testsűrűségi, -tömörégi viszonyaitól. A testsűrűség kialakulásában jelentős szerepe van az alkalmazott adalékanyag sűrűségének, testsűrűségének, a kötőanyag mennyiségének, a bedolgozási technológiának stb.

Testsűrűség szempontjából megkülönböztetünk *normál betont* (egyszerű betont), amelynek a jele C (Concrete) és testsűrűsége 2001–2500 kg/m³; *könnyűbetont* (LC), testsűrűsége 601–2000 kg/m³ között (teherbíró könnyűbeton), ill. 200–600 kg/m³ között (hőszigetelő könnyűbeton); továbbá 2501 kg/m³ feletti testsűrűségnél *nehézbetont* (MSZ 4719). A továbbiakban elsősorban csak a cementkötésű betonok tulajdonságait tárgyaljuk, mert döntő többségben ezeket alkalmazzák. A beton kötőanyaga tehát a cement. Ez víz hatására köt és szilárdul. A kötés 1,5–2 órával a víz hozzáadása után kezdődik, illetve válik érzékelhetővé, és kb. 12 óra elteltével fejeződik be, (kb. 20 °C-on), amikor a beton az ún. zöldszilárdságát nyeri el (zöldes árnyalatú szürke színű). Ezután hosszú időn át szilárdul. A minősítési szilárdságát 28 napos korban adják meg. A beton azonban tovább szilárdul legalább 90–100 napos korig. A hőmérséklet emelkedésével a szilárdulási folyamat siettethető (gőzöléses technológia), azonban ilyenkor a beton szövetszerkezete kedvezőtlenül megváltozik.

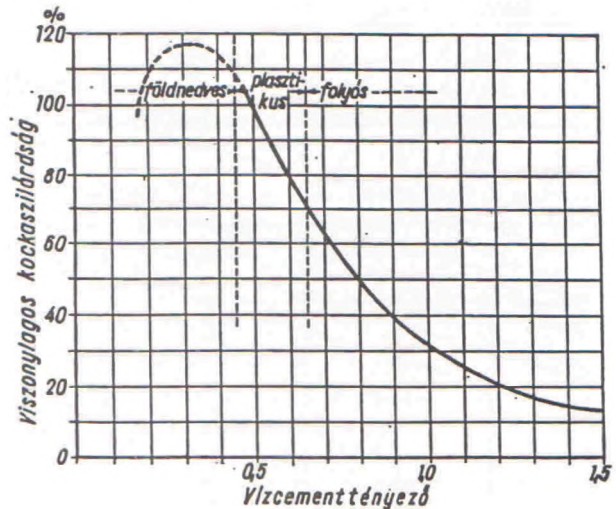
A beton szövetszerkezete e kor eltelte után is változik, pl. a felületi kérge a levegő szén-dioxidját megkötí, karbonátosodik, ami által keményebbé válik. Ez zavarja az idősebb korú betonok szilárdsági megtélését és bonyolult átszámításokat igényel az eredeti minőség megtéléséhez.

A beton szilárdsága, de egyéb tulajdonságai is erősen korfüggőek, amit mindig figyelembe kell venni. Ezt a változást erősen befolyásolja a környezet (a klíma és a korróziós közeg). A változás szemrevételezéssel nehezen észlelhető.

A szövetszerkezetre jellemző, hogy többé-kevésbé kapilláris-pórusos. Ez abból adódik, hogy a friss betont nem lehet annyi vízzel tömör állapotúra bedolgozni, mint amennyi a cement kémiai kötéséhez és szilárdulásához elegendő volna. A feleslegben adagolt víz a kötés lejátszódása közben a rögzülő cementszemcsék között pórusokat alakít ki, amiből a hidratációs hő hatására a betonost felülete felé távozik, s ezáltal összefüggő kapilláris hálózatot alakít ki. A szövet szerkezet e kapilláris rendszer folytán egész tömegében érzékeny a

külső behatásokra. Nyilvánvaló az is, hogy a kapilláris pórusok a vizet újból képesek visszaszívni, s a környezet nedvességtartalmától függően a beton különbözőképpen telítődik vízzel.

Természetesen mindenfajta pórus anyaghiányt jelent, s így a beton szilárdsága romlik. Ezért a betonozási feladat megoldásához mindig a lehető legkisebb víz/cement arányt kell alkalmazni. Ez az érték az ún. vízcement tényező. Ennek szilárdságra gyakorolt hatását az 1. ábrán szemléltetjük [1].

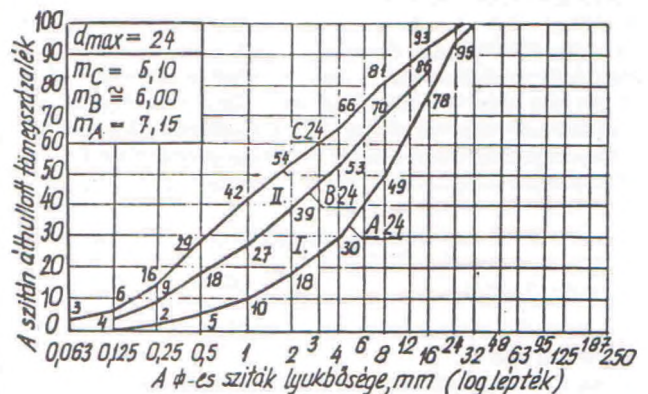


1. ábra: A vízcement tényező hatása a szilárdságra

A vízcement tényező kis értéken tartása céljából képlékenyítő, folyósító szereket adagolnak a betonba.

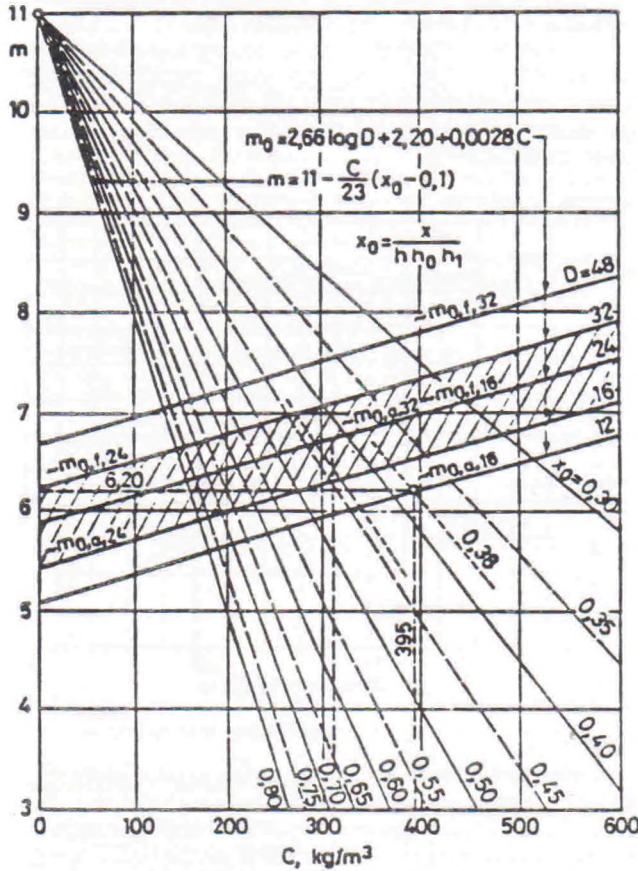
A betonok nedvességtartalma megszilárdult állapotban jelentősen befolyásolja a szilárdságot. A víz a szilikát-aluminátkötésű rendszerekben nagy szerepet játszó legerősebb másodlagos kötőerőt a hidrogénhidat lebontja, ezáltal az anyag lágyul. Vízeltett állapotban a betonra ható erők a szövetszerkezetben, mint fluidumokban minden irányban egyenletesen és gyengítetlenül terjednek, így megtalálják a leggyengébb helyeket, ahol törést okoznak. E két tényező miatt nedvesen kisebb a betonok szilárdsága, mint szárazon. A két állapot szilárdságarányát az ún. vízlágyulási tényezővel adják meg.

A betonokban lévő adalékanyagok méreteloszlását rostálással állapítják meg és diagramon ábrázolják (2. ábra) [2].



2. ábra: Adalékanyag szemcseméret eloszlási határgörbéi

A kapott eredményeket minőségi osztályozást jelentő határgörbékkel hasonlítják össze A, B és C görbe. A görbe feletti területet a szabványos leolvasási helyek kordináta értékeinek összegzésével számítják ki, és ebből képezik az ún. finomsági modulust. Ez betontechnológiai értéket jelöl, amely megszabja az adott tervezési képleteken keresztül egy adott szilárdsági értékű, vízzáróságú stb. beton készítéséhez szükséges cement mennyiségét.



3. ábra A cementmennyiség (C), a legkedvezőbb finomsági modulus (m_0), a vízcement tényező (x_0) és a legnagyobb szemmagyság (D) összefüggése

Az összefüggés két kétszereslennel egyenlettel fejezhető ki, ha a beton konzisztenciáját, a cement fajtáját az alapesetre redukáljuk. Az egyenletrendszer konkrét megoldását ritkán használjuk, mert ettől kismértékben el szabad térni a gazdaságossági és a helyi tényezőket figyelembe véve (3. ábra). Az ábrán a különböző maximális szemmagyságú adalékanyagokhoz rendelt megoldások, és a megengedett eltérési lehetőségek láthatók, [3].

Látható, hogy a beton rendkívül heterogén szerkezetű anyag, aminek kapilláris pórusos szerkezete folytán a kondíciója is nagyon befolyásolja a tulajdonságait, s azok az idővel is változnak. Vizsgálatánál ezért nagy körültekintéssel kell eljárni, s rendszerint első közelítésű jellemzése esetén sem lehet megelégedni egyszerű szilárdságvizsgálattal, hanem komplex módon kell jellemezni azt. Ezeknek a legfontosabb vizsgálatoknak az összefoglalóját adjuk közre.

Roncsolásos szilárdságvizsgálatok (MSZ 4715)

Nyomószilárdság

A beton 28 napos korában mért nyomószilárdságából felírhatjuk a minősítési jelét. Például: C 16-32/KK-f50 az MSZ 4719 szerint, újabban C 16/20 az MSZ ISO 3893:1991 szerint, ahol C = normál beton; 16 = N/mm²-ben minősítő nyomószilárdsági érték 28 napos korban Ø 150x300 mm-es hengeren mérve; 20 = N/mm²-ben a minősítő nyomószilárdsági érték

28 napos korban 200x200x200 mm-es kockán mérve 32 = a legnagyobb szemmagyság mm-ben; KK = kissé képlékeny, friss beton konzisztencia jele; f 50=50 fagyasztási ciklusra fagyálló. Emellett jelölhető még a kopásállóság, illetve a vízzárás tervezett értéke is.

A számok és a jelek változnak a készítési és mért értékek szerint. Az MSZ ISO 3893 szerint a szilárdsági osztályok 2/2,5-től 50/55-ig változhatnak. A szilárdságot Ø 150x300 mm-es hengeren vagy 150x150x150 mm-es kockán mérhetjük.

Jelenleg még az MSZ 4719 szabvány is érvényben van és ebben az átmeneti időben megengedett a régebben szabványos 200x200x200 mm-es kockán való mérés is.

Mivel a beton heterogenitása nagyfokú és egyéb ismert ok miatt a méret és alak jelentősen befolyásolja a kapott szilárdsági értéket, ezért ezt táblázati átszámítás útján lehet a szabványos méretű próbatestre átszámolni.

A minősítési értéket az 5 %-os kifogásolható hányad (küszöbérték) figyelembevételével számítjuk az

$$R_k = R_m - k \cdot t \cdot s$$

képlettel, ahol R_k = minősítő érték, R_m = átlagszilárdság (legalább 5 próbatesten mérve), k = a szilárdsági osztályhoz rendelt (ferdeségi) tényező, t = a próbaszámtól függő Student-féle tényező és s = a szórás nagysága.

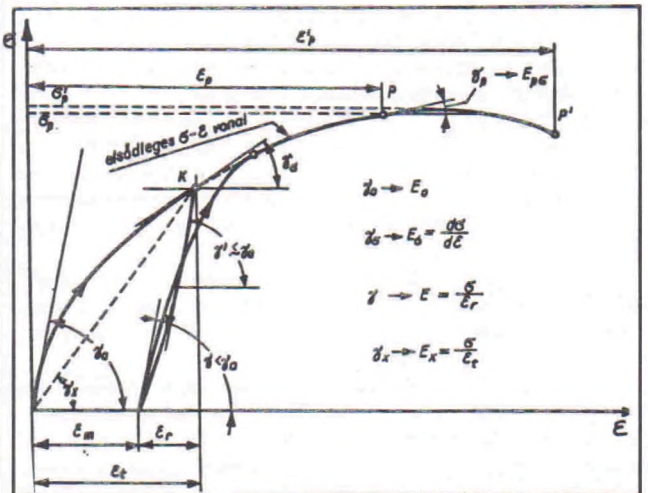
A szórás figyelembe vehető értékénél az ismert, vagy ismeretlen szórás elvét alkalmazzák. (Figyelembe veszik egy gyártóhely előéleténél ismert szokásos szórásértékeket.)

Egyéb szilárdságvizsgálatok

Az egyéb szilárdságvizsgálatok céljaira ún. komplex próbatesteket készítenek, amelyek méretei szemcse nagyságtól függően 150x150x700 mm, vagy 200x200x700 mm. Ezen a próbatesten a következő vizsgálatok végezhetőek el. A próbatestet 600 mm-es távon két helyen alátámasztják, majd vonalmenti harmadpontos erővel elhajlítják. A hajlító-húzószilárdságot az $R_{hh} = \frac{M}{K}$ képlettel számolják az M nyomatékból és a K keresztmetszeti tényezőből.

A maradék próbatestdarabokon megméri a hasítószilárdságot hasítólec feltét közbeiktatásával, illetve a nyírószilárdságot kettős nyírósíkkal alkalmazásával az $R_{has} = 0,56 \frac{F}{A}$ ill. $R_{nyíró} = \frac{F}{A}$ képletekkel, (F az erő, A a keresztmetszet).

A tiszta húzószilárdságot piskóta alakú próbatesten mérik. A piskóta szűk keresztmetszete 120x120 mm. Közéltően a hajlító-húzószilárdság kétszer akkora mint a tiszta húzószilárdság és kb. másfélszer akkora, mint a hasító-húzószilárdság. A nyírószilárdság a kockán mért nyomószilárdságnak mintegy 1/4-1/5 része.



4. ábra: A beton σ - ε diagramja

A nyomási rugalmassági modulus vizsgálata

Ezt a jellemzőt álló hasábon, tehát a nyomószilárdság vizsgálatról elkülönített módon mérjük. A hasáb közepére mind a négy oldalon felszerelt alakváltozásmérő segítségével mérjük az erő hatására bekövetkezett torzulást hossz- és keresztirányban.

Mivel a beton képlékeny-rugalmas reológiai rendszer, a rugalmassági modulus meghatározásához az összes alakváltozásból le kell választani a maradék részt. Ez minden teherállapotonál más és más értékű, ezért a feltételezett törőszilárdság tízedes teherlépcsőiben haladva és tehermentesítve a különbségből állapítják meg a rugalmas alakváltozást, ill. a különböző alakváltozásti modulusokat, 4. ábra, [1].

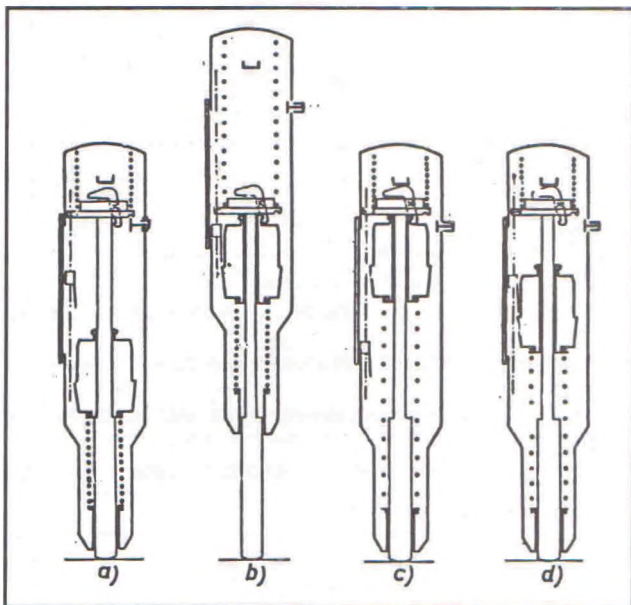
Roncsolásmentes szilárdságvizsgálatok

Láttuk, hogy a beton roncsolásos vizsgálataihoz igen nagyméretű próbatestek szükségesek. Ezeknek kellő számú kivétele egy műtárgyból sokszor nehézségekbe ütközik. Ezért alkalmazzák a roncsolásmentes, vagy a vegyes módszereket. Utóbbinál néhány roncsolásos hitelesítő mintával tájékoznak be a sok helyen végzett roncsolásmentes vizsgálatok eredményeit.

A roncsolásmentes vizsgálatok csak szilárdságbecslésre alkalmasak. Problémájuk a beton igen nagy heterogenitásában rejlik. Mivel a kapott értékek erősen függenek a beton szövetszerkezetétől, anyagi felépítésétől, nedvességtartalmától stb., közvetlen szilárdságbecslésre csak akkor használhatók, ha kellő számú reprezentatív roncsolásos vizsgálattal lehet hitelesíteni azokat és ismerjük a betontechnológiai paramétereiket. Két módszer használatos.

Schmidt kalapácsos vizsgálat

A vizsgálatot a felületi keménység mérésével végzik. A felületi keménység általában arányos a beton szilárdságával. Tapasztalati összefüggés alapján becslik a szilárdságot. A felületre egy speciális kézi rugós szerszámmal ütést mérnek, a keménységtől függő viszapattanás mértékét mérik, (5. ábra), [4].



5. ábra: A Schmidt-kalapács működési fázisai a, szállítási helyzet; b, felhúzott állapot; c, kioldás előtti pillanat; d, viszapattanás véghelyzete.

Mivel a beton felületén hol kavicsra, hol a cementpépre üt a kalapács az eredmények meglehetősen szórnak, ezért minimum 10–10 ütéssel jellemezhető egy hely szilárdsága. Az eredményeket a matematikai statisztika módszereivel kell feldolgozni, s a nagyszámú adat értékelése rendszerint számítógéppel végezhető. A módszer hátránya, hogy csak a betonfelület hibátlan részén alkalmazható,

márpedig sokszor a meghibásodott felületű betonrészek jellemzését kell roncsolásmentesen megadnunk. Abban az esetben, ha felmerül a gyanú, hogy a betonfelület szilárdsági értéke eltér a beton globális szilárdságától, a módszer nem alkalmazható.

Ultrahangos vizsgálat

Ismeretes, hogy a hang, így az ultrahang terjedési sebessége is függ a közeg sűrűségétől. A bevezetésben ismertettük, hogy a beton sűrűsége a kapillaris pórusok mennyiségétől függ, s ez összefüggésben van a szilárdságával.

A módszer lényege tehát az, hogy ultrahang impulzusokat bocsátanak át a betonszerkezeten, és a vastagság pontos ismerete mellett, mérjük az impulzus áthaladásának idejét, majd ebből számítják a sebességét, s következtetnek a szilárdságra.

Itt is a beton nagyfokú heterogenitása és változó szövetszerkezete, illetve kondíciója a zavaró tényező, amelyek miatt a szilárdság becslése csak durva közelítéssel oldható meg. Amennyiben mód nyílik arra, hogy az adott tulajdonságú betonszerkezetből fúrással vagy egyéb módon mintát vehessünk, s annak szilárdságát roncsolásos módon vizsgáljuk, úgy a hozzárendelt ultrahangos áthaladási sebességből a szilárdság is pontosabban becsülhető.

A sebesség és a szilárdság összefüggése tehát tapasztalati függvények alapján oldható meg, amelynek együtthatói a betontechnológia paramétereiktől, a beton pillanatnyi állapotától, korától stb. függenek.

Az adatok feldolgozásánál a matematikai statisztika módszereit alkalmazzák, az eredményeket a minősítésben szokásos valószínűségi szinteken adják meg. Így pl. az 5 %-os valószínűségű küszöbgörbe egyenlete Borján [4] szerint:

$$lgK = 2,407 - 6,8 \cdot 10^{-4} (5760 - v)$$

ahol $K = 200 \times 200 \times 200$ mm-es kocka próbatesten mért szilárdság MN/m^2

$v =$ az ultrahang terjedési sebesség, m/s

Az ultrahangos módszer alkalmas folytonossági hibák (pl.: repedések, üregek) behatárolására is.

Kisroncsolásos vizsgálatok

Külföldön a módszer terjedőben van. Lényege az, hogy a betontest elkészítésénél bebetonoznak, vagy később a betonba fúrt lyukakba beragasztanak speciális formájú acél testeket, s ezeket abból kitépik. Az ehhez szükséges erővel, illetve a törésképpel jellemzik a beton szilárdságát.

A már többször említett térbeli és időbeli heterogenitás a módszer alkalmazását megkérdőjelezi.

A beton kopási ellenállása

A beton tulajdonságai közül sok esetben ezt használjuk ki, ezért ezt gyakran kell vizsgálni, (pl.: útbetonok, ipari padlók). A vizsgálatot többféle módon lehet végezni attól függően, hogy milyen fajta igénybevétel éri a betont.

Gyakori az ún. *abrázációs módszer*, (Bauschinger-Böhme módszere). Ennél az 50 cm^2 -es felületű próbatestet meghatározott keménységű és szemcseméretű csiszolóporral szárazon, vagy nedvesen, meghatározott szorítóerővel, síkban, változtatott irányban lecsiszoljuk. A megtett csiszolási úthossz után mérjük a kopás mértékét, ami szerint osztályozzuk a betont (kopásálló, fokozottan, különlegesen kopásálló).

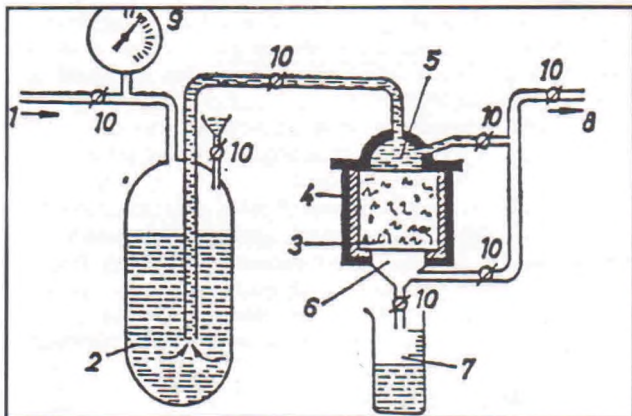
Alkalmazzák a kimaró jellegű koptatási módszert is (*Duna kavics módszer*). Ennél az adalékanyagok közötti lágyabb részek maródnak ki, a felület egyenetlenné válik. A kimaró rész térfogatával jellemzik a kopás mértékét.

A vízzáróság vizsgálata

Vízzel érintkező, ún. vízépítési betonoknál igen nagy szerepe van a vízzáróságnak.

A beton kapillaris pórusos szerkezete miatt a víz a nyomás hatására többé-kevésbé behatol a belsejébe. A vízzáróság tehát nem téveszthető össze a vízhatlansággal. Vízzárónak nevezzük adott nyomáson azokat a betonokat, amelyek kevesebb vizet engednek be a

belsejükbe, mint amennyi a túlsó oldalon el tud párologni szobahőmérsékleten, ezáltal azt száraznak találjuk. A vizsgálatot 200x200x120 mm-es próbatesten kör alakú, 100 cm²-es felületén hajtjuk végre az MSZ 4715/3 szerint. Az első 48 órában 0,1 MPa nyomást alkalmazunk, majd ha az ellenoldal nem nedvesedett át, szabad a nyomást 24 óránként 0,2, majd 0,4, 0,8 és 1,6 MPa értékre emelni. Vízárónak tekinthető a beton, ha a betervezett nyomásértéken tartva, majd a betonlapot a nyomásirányban elhasítva, a hasított felület átázása kisebb mélységű, mint a betonlap vastagságának harmada. Amennyiben a beton az adott nyomáson a vizet átteresztí, úgy 24 órán keresztül kell mérni az átjutó víz mennyiségét és a Darcy képpel kell számolni a vízáteresztési együtthatót. ($Q; l/m^2 \cdot d$), [5], 6. ábra.



6. ábra Légtelenítéssel kombinált vízáteresztési tényező vizsgálati készülék vázlata

1 légnyomás, 2 víztartály, 3 próbatest, 4 tömítés, 5 nyomóter, 6 vízgyűjtő tölcser, 7 vízmérő edény, 8 légszívás, 9 manométer, 10 elzárócsapok [5]

A beton fagyállósági vizsgálata

A beton pórusszerkezetében lévő víz megfagyva szétfeszítheti a betontestet. Kialakítható a pórusszerkezet úgy is, hogy ez ne kővetkezhessen be. Évéggett a fagyálló betonok pórustartalmát a minimálisra csökkentik, de emellett ún. légpórusképző adalékszeret kevernek készítéskor hozzá. Ez 50–350 μm nagyságú gömbalakú pórusokat képez, amely kettős előnyvel jár. Egyrészt megszakítja a szerkezet kapillárártívását, másrészt a mégis behatoló víz megfagyásakor e pórusokban kitégúghat. Vizsgálatához hasáb, kocka, vagy henger alakú próbatestet alkalmaznak, viztelítik, majd ciklikus fagyasztással terhelik.

Egy ciklus legalább 2 óras $+20 \pm 3$ °C-os vízben tárolásból és legalább 4 óras -20 ± 3 °C-os fagyasztásból áll. 15, 20, 50, 100 és 150 ciklusból álló fagyasztási vizsgálatot végeznek. Méri a próbatestek tömegvesztését (5%-nál kisebb veszteség megengedett), és/vagy a dinamikus rugalmassági modulus változását roncsolásmentesen, vagy az ultrahang terjedési sebességét, vagy a szilárdságát (25%-nál kisebb veszteség megengedett).

A zsugorodásvizsgálat

Amint láttuk, a beton időben változó tulajdonságú anyag, mert benne kémiai, fizikai változások zajlanak le. Minden ilyen változás térfogatváltozással is jár, amely különböző mértékű lehet a beton összetételéből következően.

A kémiai kristályosodási folyamatok tömörödést eredményeznek, amelyek zsugorodásként jelentkeznek. A beton e folyamatok lezajlása után is változtatja a térfogatát, ha nedvességtartalma változik. A vizsgálat érdekessége, hogy a teljes térfogatváltozási folyamatot nem méri, mivel a beton készítéskor még képlékeny, hanem akkor kezdik a mérést, amikor a beton már megkötött és szilárdulása is elkezdődött. (Ezt tekintik nullpontnak.)

A próbahasábokat $+20 \pm 3$ °C-os és 65 \pm 5 % relatív nedvességű térben tárolják a mérés alatt. Három napos korban mérőbűtyköket ragasztanak a hasábok véglapjaira, majd egy keretszerkezetbe helyezik és mérik az alapértékhez képest (három napos minta) a relatív hosszváltozást, amit ezrelékben adnak meg.

A vizsgálatot 180 napos korig kell folytatni. A szokásos zsugorodási érték 0,3–0,4 ‰ körüli.

A beton egyéb jellemzői, összefoglalás

Az eddig vázlatosan ismertetett vizsgálati eljárásokon kívül a beton még számos egyéb módon jellemezhető, s ezeknek is nagy jelentőségű van a használhatóságuk megítélésében.

Ilyen tulajdonságok pl. a páraáteresztési, a hőtágulási együttható, a hővezetési tényező.

Nagyon fontos vizsgálati terület a betonok kémiai vizsgálata, amely egyrészt jellemzi a betonok kötőanyagának minőségét és mennyiségét, másrészt a korróziós ellenállásukat. A vizsgálat eredményét az ún. oxidos összetétellel adják meg, amely alkalmas arra, hogy a cementfaját behatároljuk. (Portlandcementek, illetve bauxitcementek [aluminátcement]).

Ebből és az időközben kialakult karbonátok mennyiségéből következtethetünk a betonok időbeli stabilitására, szennyeződéseiből, vasbeton esetén, a betonacélok védettségére stb.

Láttuk, hogy a beton bonyolult összetételű és anyagösszetevőiben rendkívül változó, ezért a tulajdonságai nem tervezhetőek olyan precízen, mint pl. a fémeké. A betonok komplex anyagvizsgálata ezért rendkívül fontos, amit az nehezít, hogy azt sokszor a munkalyen, ehhez igazodóan igen kezdetleges mérőeszközökkel kell végezni.

932 045 108

Irodalom

- [1] Palotás L.: Építőanyagok II. Akadémiai Kiadó, Bp. 1961.
- [2] Palotás-Balázs: Mérnöki kézikönyv 1., Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1981.
- [3] Palotás-Balázs: Mérnöki szerkezetek anyagtana 3., Akadémiai Kiadó, Bp. 1980.
- [4] Borján J.: Roncsolásmentes betonvizsgálatok, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1981.
- [5] Balázs Gy.: Építőanyag praktikum, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1983.

Vállaljuk a Mitutoyo és más mérőeszközök szervizelését, hitelesíttetését

TESTOR ANYAGVIZSGÁLAT — MÉRÉSTECHNIKA

Budapest XII., Törpe u. 8. • Tel.: 155-9886 • Fax: 155-2618

Repülőgéphajtóművek rezgésmérése

Dr. Berke Péter – Ferencz Beatrix – Dr. Michelberger Pál

A diagnosztika szerepe egyre nyilvánvalóbbá és hangsúlyozottabbá válik különösen a karbantartási stratégiákban. A szerzők rezgésméréssel végeztek állapotellenőrzést repülőgéphajtóműveken az OTKA 5-420 pályázat és szerződéses megbízás alapján. A cikket figyelemfelkeltésnek szánják, rámutatva – az eddigi gyakorlatól eltérő – a több ponton való mérés szükségességére.

Bevezetés

A karbantartási, fenntartási rendszereket általában három egymástól jól elkülöníthető csoportra lehet/szokták bontani, nevezetesen a meghibásodási (damage dependent), az üzem idő/teljesítmény szerinti (time dependent) és az állapot szerinti (condition dependent) rendszerekre.

Nyilvánvaló, hogy az első csoportba általában a kisértékű, megmunkálási, gyártási sorba nem illeszkedő gépek, berendezések karbantartása sorolható – hozzáátve, hogy számukra más stratégia is választható –, illetve olyanoké, amelyekből többel is rendelkezünk. Ennek a stratégiának leggyakoribb alkalmazási köre a háztartási gépek, berendezések területe amikor is ezek meghibásodása a kellemetlenségen kívül különösebb hatással, életveszedelemmel nem jár.

Az idő/teljesítmény és állapot szerinti karbantartási stratégiák meghibásodást megelőző (preventive maintenance) jellegűek, diagnosztikai módszerek alkalmazásával hatásfokuk növelhető.

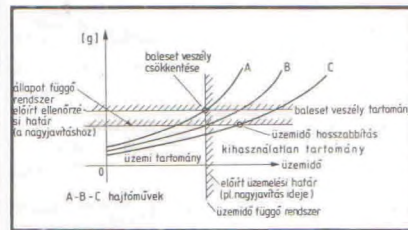
A repülőgéphajtóművek karbantartása, javítása időciklusonkénti, nem zárva, sőt igényelve a ciklusoktól független, adott esetben folytonos (continuous) ellenőrzést, diagnosztikai eljárások alkalmazását a pillanatnyi üzemállapot megítélése tekintetében, illetve az élettartam becslése céljából.

Az állapottól függő diagnosztika előnye leginkább az élet- és vagyonbiztonsággal összefüggő gépek, berendezések folyamatos állapotellenőrzésénél biztosítja a legnagyobb előnyöket. Természetesen ebben az esetben is rendelkezünk olyan határokkal – pl. rezgés, gyorsulás értékek –, amelyekkel meg tudjuk határozni például az üzemeltetésre alkalmas, vagy mondjuk az azonnali beavatkozást igénylő állapotot.

A hajtóművek állapotjelző élettartam görbéje hasonló más gépek, berendezések élettartam görbéjéhez, annak ellenére, hogy gyártásukat, javításukat különleges pontossági követelmények teljesítése mellett végzik, bár természetesen szórást mutat (a szórás kis mértékben a kezdeti értékek eltéréseiből, de később főleg az eltérő üzemeltetési körülményekből adódik) és ugyanakkor divergens jellegű, az üzemidő függvényében.

Bár magunk is tisztában vagyunk a repülési előírások szigorúságával, amelyeket egyes katasztrófák (pl. a legutóbbi Amszterdam-i) még merevebbé tesznek, célszerűnek látjuk ismételt megfogalmazni az állapoton alapuló karbantartási, javítási rendszer azon előnyét, hogy ezzel a stratégiával, a gazdaságosságán kívül, a biztonság irányába is hatunk. (ld. 1. ábra.) Természetesen a gépeken, berendezéseken,

járműveken kellő megfontolások után kell kijelölni azokat az egységeket, ahol a stratégia megfelelő hatékonysággal alkalmazható.



1. ábra Idő és állapotfüggő karbantartási rendszerek

Hajtóművizsgálatok

Mint említettük rezgésméréssel – több hajtóművön, hajtóművönként több reprezentatív-nak ítélt ponton – jellemeztük a hajtóművek állapotát különös tekintettel azok beépíthetőségére, ugyanis az üzem, illetve beépíthetőségi alkalmasság kritériuma lehet a hajtómű üzemeltetésekor fellépő rezgés értékek adott határérték alatti volta.

E jelet/jeleket célszerű üzem közben is folyamatosan figyelemmel kísérni preventív lépések megtétele érdekében. A jelenlegi gyakorlat szerint az általunk vizsgált repülőgépek hajtóműveinek rezgését egy ponton és egy irányban – a turbinához 1. fokozatának peremrészén függőleges irányban – folyamatosan figyelemmel kísérik repülés közben.

A beépíthetőség elbírálásához a hajtómű rezgéseinek gyorsulás értékeit meghatározhatjuk próbapadi vizsgálattal, illetve, e híján, repülőgépekbe beépítetten is. Ez utóbbi esetben a rezgésvizsgálatot nem repülés közbeni, hanem a hajtóműpróba-helyen a repülőgép rögzített állapotában végzik. Valószínű, hogy a különböző körülmények közötti mérési eredmények nem összevethetőek, viszont hajtóműpróba-helyek a repülőtereken rendelkezésre állnak – szemben a hajtómű próbapaddal – így célszerűbbnek tűnik az itt mérhető értékek alkalmazása, hozzáátve, hogy a pilóta „comfort” érzését is ez utóbbi vizsgálatnál kapott értékek jellemzik.

Kérdéses lehet az is, hogy milyen hajtómű-terhelési értékek mellett célszerű/kell a vizsgálatot elvégezni. A válasz ez esetben egyértelmű, lévén harci gépekről szó, ugyanis kevésbé képzelhető el az, hogy bizonyos tevékenységek esetén a pilóta azt mérlegelje, hogy az adott terhelést a fellépő hajtóműrezgésszint miatt nem szabad átlépnie.

A hajtóművek fordulatszáma 1000/min érték körüli, így rezgésanalízisű, piezo-elektromos elven működő rezgésérzékelők felhasználását igényli. [1], [2]

A rezgésérzékelők elhelyezése repülőgépen beépített hajtóművek mérésekor gyakran nehézségekbe ütközik: nem elegendő a hely, extrém hőmérséklet miatt hűtés szükséges, ugyanakkor az érzékelő felszerelésére alkalmasnak mutató helyeknek kellően reprezentatív-nak kell lenniük a fellépő rezgések tekintetében.

Amennyiben különleges kívánalmak nincsenek, legcélszerűbb a rezgésérzékelőket a forgó

tömegek csapágházaira helyezni/szerelni, többek között azért is, mert így módon a megtámasztó csapágycsoporthoz „közvetlenül” jellemezhető.

Meg kell határozni továbbá azt is, hogy az adott csapágy alátámasztási helyén milyen irányokban célszerű mérést végezni a teljes rezgéstérkép felvételéhez. Tapasztalatunk az, hogy a hajtóműveknél is az úgynevezett terhelési harmadban legcélszerűbb az adók elhelyezése, hozzáátve, hogy ez a kívánalom nem mindig teljesíthető. Megjegyezzük viszont, hogy talákozhatunk az említett tartománnyal szembeni elhelyezéssel is, ilyen a gyárilag elhelyezett veszélyes rezgésértékhatárra beállított rezgésesség-mérő rögzítése. (Ehhez nyilvánvalóan az adott nagyságú hely meglétén kívül az alternáló rezgést végző tömeg hiánya is közrejátszott.)

Mérési célként a teljes rezgéstérkép felvételét tűztük ki célul, ugyanis mint említettük a rezgési alkalmasság hajtómű oldalról ezzel, pontosabban a rezgésszint szélső értékeivel hozható összefüggésbe. Természetes, hogy további analízissel a hiba oka – küszöbérték túllépésének az oka – jól valószínűsíthető, viszont a küszöbértékek túllépése az üzemeltetésből kizárást jelent, a hajtómű szétszerelése részletes hibafelvétel, javítását igényli. Sajnálatos, hogy a jelenlegi gyakorlat szerint ez a külföldön végzik, így bármilyen részletes is a spektrelemzés, nem azonosítható a valós hibaokkal. Ez természetesen nem teszi feleslegessé, sőt igényli a rezgésérték statisztikai jellemzőinek, a rezgésspektumnak a megállapítását, a szétszerelésmentes, időszakos diagnosztikai vizsgálatokra alapozott javítási trendek meghatározására. Ez utóbbi pillanatnyilag ellentmond az üzemidő alapján rögzített előírásnak, hozzáátve, hogy a kellő statisztikai háttérrel rendelkező adatok hiánya bármely karbantartási stratégia esetén is különös jelentőséggel bír.

A hajtómű mérése

Tekintettel arra, hogy a hajtómű mérése rendkívül költségigényes, költségkímélés céljából mindig ugyanabba a repülőgépbe mérési esetenként más és más azonosító számú hajtóműveket szereltünk be – természetesen az adott előírásoknak megfelelően, így módon feltehetőleg a mért rezgésértékek csak a hajtómű állapotától függöttek – és adott terhelési szint mellett rögzítettük a rezgéstérképet.

Esetünkben is, mint minden időbeli folyamat regisztrálásánál felmerül a regisztrátum reprezentatív jellegének a kérdése, amely egy hajtómű vizsgálatánál úgy fogalmazódik meg, hogy hány fordulaton keresztül kell mérni a rezgést, illetve hogy egy fordulat alatt hány jelet vegyünk. Ez utóbbira könnyű válaszolni, ha a Nyquist kritériumot [3] teljesítjük, akkor a kívánalmakat kielégítettük. Kevésbé egzakta a válasz az első kérdésre, viszont ha a kérdés megválaszolását tapasztalati oldalról közelítjük, akkor könnyebben tudunk valamely elfogadható számú fordulatot meghatározni, különösen akkor, ha módunk volt már hibás csapágyú, kiegyensúlyozatlan, geometriai hibával szerelt forgó tengely rezgését mérni. Ugyanis ilyen hibák esetén gyakran a kitűzött perccenkénti mérési fordulat-

szám (szögsebesség) elérése előtt is jelentős rezgések tapasztalhatók, azaz nem szükséges a hosszadalmas, több ezer összfordulatra kiterjedő mérés.

Az üzemeltetésben jártas szakemberek véleményével egyezően a mérési összfordulaton az előírászerűen „bemelegített” hajtóművek esetén 1000-nek vettük.

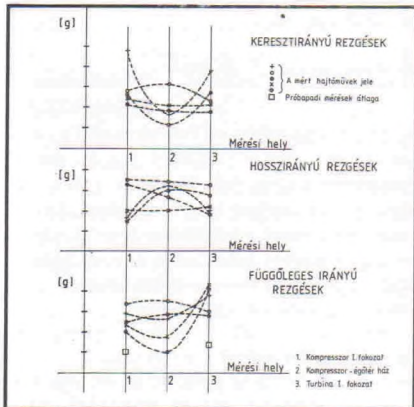
Az állandó terhelésszint stabilizálása után csatornánként 50.000 jelet regisztráltunk. (Az összfordulatszám, illetve jel regisztrátum elégséges jellege tekintetében statisztikai próbákat és Fourier analízist is végeztünk; a 2000, 3000, 4000 összfordulat és ennek megfelelő 100.000, 150.000, 200.000 jel statisztikai jellemzői és frekvencia spektruma azonosnak mondható volt. Feltehető, hogy 1000 összfordulatnál kevesebb fordulatszám is elegendő, bár ilyen jellegű vizsgálatot nem végeztünk.)

A mérési adatok értékelése

Mint említettük csatornánként 50.000 adat 1000 turbinafordulaton felelt meg. Kiválasztottuk a rezgésenkénti maximum és minimum értékeket, számítottuk az értékek átlagát és szórását, elvégeztük az FFT analízist [4].

Mint ahogy a forgógépek rezgésképeinél várható, az extrém értékek egymástól alig térnek el – esetünkben 0,1 g...0,01 g eltérést tapasztaltunk – és e szélső értékek megfelelő periódicitással fordulnak elő. (Ez is alátámasztja az előzőekben említett okfejtéssel meghatározott rögzítendő adatmennyiség mértékét.)

A vizsgálat során öt azonos típusú, ugyanabba a repülőgépre beépített hajtóművet mérünk. A hajtóművek egyedi analízisén túl a hajtóművek rezgései gyorsulásának extrém értékeit is összehasonlítottuk. Jelen cikkünkben ezeknek az eredményeit kívánjuk közölni, tekintettel arra, hogy üzem közben általában csak egy helyen mért – a turbinaház 1. fokozat peremrészén – rezgés értékek kerülnek rögzítésre, amely egyszerűsítést nem tartjuk kellően indokoltnak.

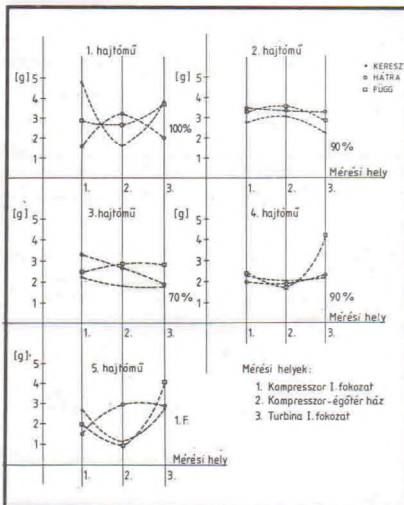


2. ábra Az öt különböző – azonos típusú – hajtóművön mért rezgések

A 2. ábrán öt különböző, de azonos típusú hajtóművön mért rezgésértékek átlagát, a 3. ábrán az egyes hajtóművökön mért rezgésértékek átlagát ábrázoljuk. Megjegyezzük, hogy a gyárilag beépített a rezgés sebességét mérő adó az ábrákon a 3. mérési helyként jelölt pontra szerelt, és függőleges irányú rezgéseket mér.

A 2. ábrán a különböző irányú (kereszt-hossz-, függőleges) rezgések nem engednek

határozott tendenciára utalni, ugyanis mind az alulról konvex, mind pedig konkáv görbék is jelen vannak.

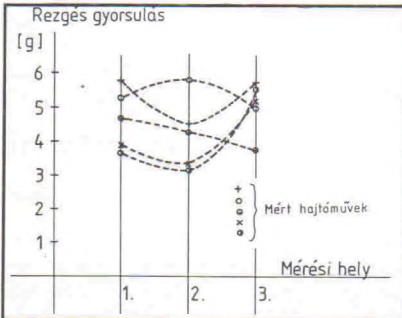


3. ábra A hajtóműveken mért rezgések

A 3. ábrán az egyedi hajtóműveken mért rezgésértékek is hasonló jelleggel fordulnak elő. (Nyilvánvaló, hogy a pontok összekötése nem indokolt, hiszen olyan információ bírtokában nem vagyunk, amely azt mondaná, hogy az egyes mérési pontok közötti helyek rezgésértékei valóban a mérési helyek által mért értékek összekötött vonalán lesznek, viszont az esetleges tendencia követése a pontbeli értékek összekötése indokolt lehet.)

Az adott pontokon mért értékek nyilvánvalóan nem függetlenek egymástól, azaz az 1. mérési pont értékében benne vannak a 2., 3., mérési ponton ébredő rezgések is – és fordítva, bármely pontra mérve – valamilyen formában, amely viszont eljárásunkkal nem volt megállapítható, így módon nem egyértelmű, hogy az adott pontbeli rezgés „hányada” származik más pontbeli rezgések hatásaként. Nyilvánvaló az ilyen irányú analízis szükségessége is, viszont egy üzemképesség elbírálása tekintetében az adott helyen fellépett rezgés maximumok a döntőek, hiszen ezek károsítják az adott pontbeli csapágyat, függetlenül attól, hogy e hatás milyen eredők összessége.

A gyári új és javítások után mért hajtóművek rezgésadatai szerint – 12 ilyen adat állt rendelkezésre – a turbinán mérhető rezgésértékek 60...50 %-a nagyobb, mint a kompresszoron mért.



4. ábra. A hajtóműveken mért gyorsulás értékek eredője

A 4. ábrán a hajtóműveken mért gyorsulás értékek eredőjét ábrázoltuk. Ez is, mint az eddigi

ábrák is azt támasztják alá, hogy nem elégséges egy helyen és egy irányban mérni a gyorsulás értékét, egyrészt azért, mert a 3. mérési ponton mért értékek nem mindig szolgáltatják a maximum értéket, másrészt pedig azért, mivel nem elhanyagolható hatásúak a hossz- keresztirányú rezgések sem.

A rendelkezésre állt 4 hajtómű gyári új és felújított állapotára vonatkozó próbapadi mérési adataiból – 12 kompresszor és 12 turbina rezgés gyorsulási adataiból – átlagértéket, szórást és terjedelmet számoltunk. Az adatok a következők:

- A kompresszoron mért rezgés gyorsulás értékek
 - átlaga 0,954 g
 - szórása 0,376 g
 - terjedelme 1,31 g; X_{max}: 1,80 g, X_{min}: 0,49 g
- A turbinán mért rezgés gyorsulás értékek
 - átlag 1,365 g
 - szórása 0,580 g
 - terjedelme 1,700 g; X_{max}: 2,4 g, X_{min}: 0,7 g

Ábrázolva ezeket az átlagértékeket (2. ábra) látható, hogy ezek a repülőgépre beszerelt hajtóműveken mért adatoktól jelentősen eltérnek. Az eltérés okait nem lehet megállapítani, főleg azért, mivel a próbapadi felfogást, a mérési pontokat, irányokat és egyéb, a rezgés értékét befolyásoló tényezőt nem ismerjük. A hazai gyakorlatban viszont célszerű lenne a repülőgépre beszerelt hajtómű rezgésértékeiből a rezgés szintet megadni.

Összefoglalás

Megállapítható, hogy

- az üzemképesség elbírálásához nem elegendő a hajtómű egy pontján és egy irányban mért rezgéseket alapul venni;
- a hajtóművek egyedi értéke, nem „tömegmérték” alkalmazása, élel és vagyonzbiztonság szempontjából meghatározó szerepe miatt célszerű minden hajtóművet egyedi adatként kezelni;
- a hajtómű próbapadi mérését – legalábbis a rezgésmérés szempontjából és bizonyos körülmények figyelembevétele mellett – a repülőgépre szerelt hajtóműméréssel helyettesíteni lehet;
- az előzőekből mintegy következik, hogy repülés közben is ajánlatos lenne több helyen/irányban rezgésmérést végezni;
- keresni kell mind a gyártó, mind az üzemeltető részéről olyan, kölcsönösen elfogadható eljárást, amellyel a próbapadra szerelt, illetve a repülőgépre beépített hajtóművön mért rezgésértékek egymásba átszámíthatóak.

932 049 031/32 114

Irodalom

[1] Ferencz Beatrix: Gázturbinás repülőgéphajtóművek rezgései Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek, 39. évfolyam 1992. 1. szám pp. 25-28
 [2] Ferencz Beatrix: Sugárhajtású hajtóművek rezgésmérése Egyetemi doktori disszertáció BME Közlekedésmérnöki Kar 1993.
 [3] M.O'Flynn, E Moriarty. Linear Systems: Time Domain and Transform Analysis. 1987. J. Wiley and Sons
 [4] Dr.Berke Péter, Dr.Galambosi Frigyes, Ferencz Beatrix, Dr.Michelberger Pál: Repülőgéphajtóművek rezgésdiagnosztikája (Szerződéses munka) BME Közlekedésmérnöki Kar Mechanika Tanszék 1991.

Nagy nyomáson és hőmérsékleten üzemelő csővezetékek állapotellenőrzése

Szűcs Pál*

Magyarországon a hatvanas években fordult a figyelem a frissgőzvezetékek vizsgálatára. Ekkor kezdődött meg az a generációváltás az energiatermelő berendezésekben, amelyek során a korábbi 450–500 °C kőolaj hőmérséklettel és max. 70 bar gőznyomással jellemezhető üzemi paraméterekről áttérték az 535–570 °C gőzhőmérséklettel, 100–180 bar gőznyomással jellemezhető egységekre.

Feltágulásmérések

Első lépésként a frissgőzvezetékek feltágulásmérése került bevezetésre. Az összes, 500 °C feletti hőmérsékleten üzemelő frissgőzvezetékre feltágulásmérő szemölcs párokat helyeztek fel, és elkezdték a kúszás hatására fellépő maradék alakváltozás – a feltágulás – rendszeres mérését [1]. A módszer gyors bevezetését segítette egy, a Tiszapalkonyai Erőműben bekövetkezett kamraösszekötő cső felszakadása [6]. Jelenleg mintegy 5000 feltágulásmérőhelyen folytatunk vizsgálatokat, többé-kevésbé rendszeresen, 1–3 éves gyakorisággal. A több évtizedre visszamenőleg tárolt mérési adatokat számítógépen feldolgoztuk, minden egyes mérőhely alakváltozás-üzemidő diagramját, az egyes pontokhoz tartozó mérési adatokat azonnal kikérheti a vezeték vizsgálatával foglalkozó diagnosztika.

Lehetőség van a teljes csőszakaszra vonatkozó statisztikák, illetve trendek készítésére is. Természetesen a mérés értékelése, az adatok tárolása és jegyzőkönyvezése is számítógépen történik. A főgőzvezetékek időszakos roncsolásos állapotellenőrző vizsgálatok során az adott vezeték-rendszerre vonatkozó összes feltágulásmérést rutinszerűen áttekintjük, és a maradék élettartam becslés során felhasználjuk.

Mesterdarabok

A feltágulásmérés a melegsziárd acél egy tulajdonságát, a kúszásállóságot vizsgálja üzemi körülmények között. Ahhoz, hogy a várható élettartamot becsülni lehessen, szükséges az acélban végbemenő anyag szerkezeti változásokat is nyomonkövetni. Ezt teszik lehetővé a vezetékbe épített mesterdarab-ok [2]. Igen fontos a mesterdarab anyagának gondos kiválasztása. Az adott csővezeték kiépítésére leszállított csőszálak közül ki kell választani a „leggyengébb”-et, és ebből egy méteres darabot levágni a laboratóriumi vizsgálatok céljára. A kiválasztott csövet lehetőleg a gőzkilépés közelébe kell beépíteni, és rajta három feltágulásmérő-helyet kialakítani, amiket évente mérnek (1. ábra). A levágott méteres darab negyedén meghatározásra kerülnek a kiindulási állapotot jellemző mechanikai és szövetszerkezeti tulajdonságok:

- kémiai összetétel
- folyáshatár
- szakítószilárdság
- nyúlás
- kontrakció
- törési munka
- ütőmunka
- átmeneti hőmérséklet
- szövetszerkezet vizsgálat
- karbidfázis vizsgálata
- törésmechánikai vizsgálatok
- kúszó-szakító vizsgálat
- kúszásvizsgálat

szoba- és üzemi hőmérsékleten

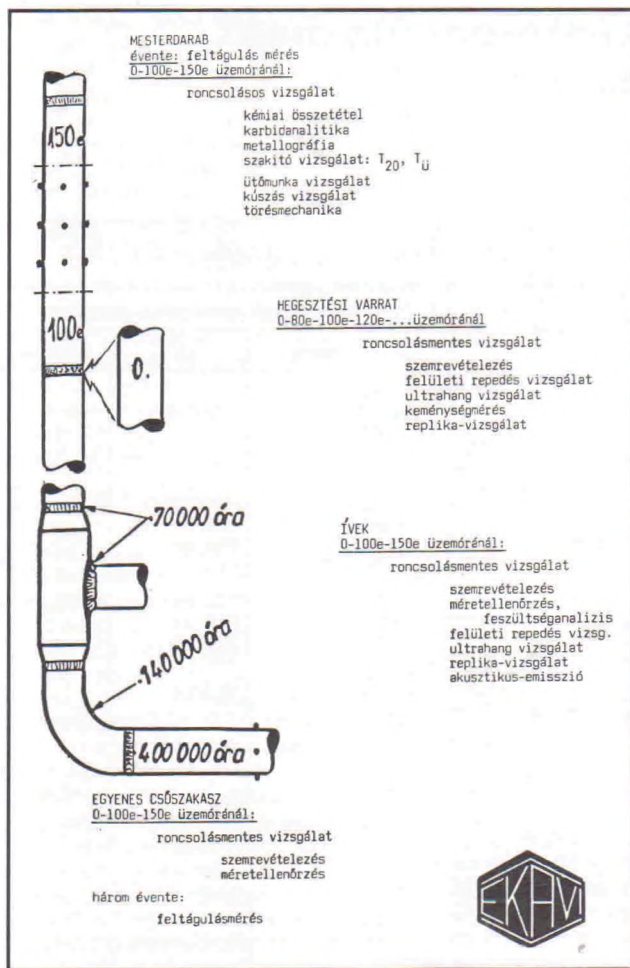
A vezeték élete során, 100 ezer – 150 ezer és 200 ezer üzemóra elteltével kivágásra kerül a mesterdarab egy része, és azon ugyanezeket a vizsgálatokat elvégezzük. Így lehetőségünk van – kizárva a kohászati gyártmányok sokszor igen jelentős szórását – az adott vezetékben az üzemeltetés hatására végbement változásokat nyomonkövetni.

* ERÓKAR Rt. Anyagvizsgáló és Állapotellenőrző Főosztály

I. táblázat

A hazai villamosenergia-rendszerben üzemelő mesterdarabok roncsolásos állapotellenőrző vizsgálatainak áttekintése

Vezeték	Anyag-minőség	Mesterdarab roncsolásos vizsgálata		
		nulladik	első	második
Ajka I-II.	13CrMo44	1992.	-	-
Inota	-	-	-	-
Oroszlány 1	13HMF	1986.	-	-
2	13HMF	1988.	-	-
3	13HMF	1991.	-	-
4	13HMF	1990.	-	-
Bánhida fg	12H1MF	1968.	58170 óra	89277 óra
UH	12H1MF	1968.	95022 óra	-
Szhhatta 7	12H1MF	1967.	89863 óra	148510 óra
1	AITON 660	125354 óra	-	-
2	-	-	-	-
3	12H1MF	1978-ban 38.fmh	96287 óra	169335 óra
4 fg	12H1MF	1965.	85348 óra	-
4 UH	12H1MF	1965.	89343 óra	-
5 fg	12H1MF	1968.	82220 óra	-
5 UH	12H1MF	1983.	-	-
6 fg	12H1MF	1968.	78818 óra	-
6 UH	12H1MF	1984.	-	-
8 fg	15.128	1974.	-	-
8 UH	15.128	1974.	-	-
9 fg	15.128	1973.	-	-
9 UH	15.128	1973.	-	-
10 fg	15.128	1974.	90791 óra	-
10 UH	15.128	1974.	90791 óra	-
11 fg	15.128	1975.	80723 óra	-
11 UH	15.128	1975.	-	-
12 fg	15.128	1975.	-	-
12 UH	15.128	1975.	-	-
13 fg	15.128	1976.	95748 ó. kivágva	-
13 UH	15.128	1976.	95748 ó. kivágva	-
14	-	-	-	-
Pécs 1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
5	15.128	1991.	-	-
7	15.128	1991.	-	-
9	15.128	1987.	-	-
10	15.128	1986.	-	-
Mátra 1 fg	12H1MF	1968.	50205 óra	-
1 UH	12H1MF	1968.	-	-
2 fg	12H1MF	1970.	51960 óra	-
2 UH	12H1MF	1970.	-	-
3 fg	12H1MF/1970/	1970/	-	-
	15H1M1F	/1990.	58990 óra	102555 óra
3 UH	12H1MF/1970/	1970/	-	-
	15H1M1F	/1990.	102555 óra	-
4 fg	12H1MF/1971/	1971/	-	-
	15H1M1F	/1989.	47813 óra	75254 óra
4 UH	12H1MF/1971/	1971/	-	-
	15H1MF	/1990.	75254 óra	-
5 fg	12H1MF/1972/	1972/	-	-
	15H1MF	/1992.	54902 óra	107472 óra
5 UH	12H1MF	1972/92	107747 óra	-
Kispest 3	13CrMo44	1970.	68619 óra	-
4	13CrMo44	?	108515 óra	-
Borsod „A”	13CrMo44	1986.	-	-
„B”	13CrMo44	1986.	-	-
„1”	13CrMo44	1988.	-	-
„2”	13CrMo44	1988.	-	-
„3”	13CrMo44	1988.	-	-
2K	13CrMo44	1988.	-	-
10K	13CrMo44	1990.	-	-
Tpalkonya 1	14MoV63	1982.	80713 óra	-
2	14MoV63	1982.	77903 óra	-
3	14MoV63	1982.	-	-
4	14MoV63	1982.	-	-
5	14MoV63	1982.	-	-
6	14MoV63	1982.	-	-
7	14MoV63	1982.	-	-
8	14MoV63	1982.	-	-
Tisza 1 fg	15.128	1976.	74915 óra	-
1 UH	15.128	1976.	74915 óra	-
2 fg	15.128	1977.	77903 óra	-
2 UH	15.128	1977.	77903 óra	-
3 fg	15.128	1977.	77340 óra	-
3 UH	15.128	1977.	77340 óra	-
4 fg	15.128	1978.	-	-
4 UH	15.128	1978.	-	-



Jelenleg 73 frissgőz és újrahevített melegági gőzvezetékben üzemel mesterdarab. Anyagminőségüket tekintve CrMo és CrMoV ötvöztésű, kiválasztott keményített, melegsziárd acélból készült csövek. Mivel a 100, 150 és 215 MW-os blokkok elérték, illetve megközelítették a 100 ezer üzemórát, nemcsak null-állapotra, de üzemelt állapotra is jelentős információval rendelkezik laboratóriumunk (1. táblázat).

Mivel a mesterdarab-rendszer a hajdani KGST országokban nem terjedt el, az Erőkar rendelkezik a 12H1MF és 15.128 acélokra vonatkozóan a legátfogóbb élettartam adatokkal.

Állapotellenőrzés

A feltágulásmérések és a mesterdarabokon végzett roncsolásos vizsgálatok a kiválasztott keményített melegsziárd acélok élettartam becsléséhez sok nélkülözhetetlen alapadatot szolgáltatnak, de önmagukban nem elégségesek egy vezetékrendszer várható élettartamának becsléséhez.

A hazai hibastatisztikák is azt támasztják alá, hogy a gőzvezeték meghibásodások

- gyártási, kivitelezési hibákra,
- tervezési paraméterek tartós túllépésére,
- járulékos feszültségek hatására

vezethetők vissza. A gyártás során vétett technológiai hibára példa a Kispesti Erőműben történt T-idom felhasadás [9]. A szerelés alkalmával elkövetett hibák egyike az anyagkeveredés, amikor a főgőzvezetékbe ötvözetlen cső kerül beépítésre [10], [11]. A tervezési paramétereknél magasabb hőmérsékleten tartósan üzemelő csövek lerövidült élettartamára példák a Tiszapalkonyai kamraösszekötő csövek [12]. A gőzvezeték meghibásodások döntő többségét a tervezett igénybevételre szuperponálódó helyi, járulékos feszültségek fellépése okozza.

A gyártási-szerelési hibák felderítését a gyártó, illetve szerelő vállalatok minőségbiztosítási rendszere hivatott elvégezni. A kivitelezés során végzett ún. szuper-ellenőrzés tovább erősíti a rendszert.

A vezetékek járulékos helyi igénybevételeit deríti fel, illetve az üzemi igénybevétel hatására a kimutathatósági határ alól a megengedhető hibahatárig fejlődő repedéseket mutatja ki a helyszíni roncsolásmentes állapotellenőrző vizsgálat [3], [4]. E vizsgálatokat egy gazdaságosabb, a berendezés aktuális műszaki állapotán alapuló karbantartási rendszer részeként [5], [8] dolgoztuk ki, és tökéletesítésében nagy segítségünkre voltak a Dunamenti Erőmű szakemberei.

Az állapotellenőrző helyszíni roncsolásmentes vizsgálatokat a vezetékrendszer teljes felületén, annak 100 ezer, 150 ezer és 200 ezer üzemórát megélt állapotában elvégezzük:

- a vezetékek élettörténetének rögzítését (rendkívüli események, módosítások, cserék),
- szemrevételezést,
- felületi repedésvizsgálatot, penetrációs, mágnesporos vagy örvényáramos módszerrel,
- ultrahang repedéskereső vizsgálatot, többirányból, különböző szögek alatt besugározva,
- méretellenőrzést és feszültséganalízist.

Ha a szemrevételezés, a feszültséganalízis vagy valamelyik roncsolásmentes vizsgálat indokolja, replika és akusztikus emissziós vizsgálatot is végzünk a vezetékek meghatározott szakaszán (1. ábra). Tapasztalatunk szerint a vezetékrendszert az állapotellenőrzési stratégia és a maradék élettartam becslési módszerek szempontjából

- egyenes csőszakaszokra,
- homogén és inhomogén hegesztett kötésekre,
- hajlított ívekre,
- idomokra (öntött, húzott, kovácsolt) célszerű felosztani.

A maradék élettartam becslése összetett feladat. Eredményesen csak akkor remélhető elvégzése, ha

- ismerjük a szerkezeti anyag jellemzőit és azok időbeni változásait,
 - ismerjük a szerkezet gyártásakor, szereléskor alkalmazott technológiákat,
 - ismerjük a berendezés eddigi élete során átélt hatásokat (üzemzavarok, kezelési hibák stb.),
 - ismerjük az üzemeltetéssel járó és járulékos igénybevételeket.
- Hízen a helyes anyagválasztás csak egy lehetőség. A gyártási és szerelési technológia betartásán múlik, ebből mi lesz elérhető, illetve milyen más jellegű problémákkal kell számolni üzemeltetés közben. Külön szeretnénk hangsúlyozni, milyen fontos a maradék élettartam becslése szempontjából az üzemviteli adatok folyamatos és szakszerű gyűjtése. Hiába ismert a kiindulási állapot, és hiába vizsgálták át négyzetcentiméterről négyzetcentiméterre a teljes vezetéket, az elfelejtett, letagadott rendkívüli események által okozott károsodások rejtve maradhatnak, hogy pár év múlva megmagyarázhatatlan „anyaghiba”-ként jelentkezzenek.

Az állapotellenőrző vizsgálat fontos eleme a sok tapasztalattal rendelkező anyagvizsgáló mérnök által végzett szemrevételezés. Ennek során a tartózás, vonalvezetés, illeszkedés hibái, valamint a feltételezhetően károsodott helyek behatárolhatók, leszűkíthetők, szelektív vizsgálati módszerekre választhatók meg.

Az állapotértékelés folyamatát a roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálati eredmények, a berendezés előlétele, az igénybevételi mód, a hasonló berendezésekre vonatkozó hibastatisztikák segítik. Ma már nálunk is elérhető olyan végeselem módszer, ami a cső méretét, anyagjellemzőit, tömegét, töltetét, valamint a tartózást figyelembe véve számolja a részegységekben ébredő feszültségeket.

Képesítés

Az állapotellenőrzés bizalmi feladat. Ezért joggal várhatja el minden üzemeltető, hogy a feladatra jelentkező

- akkreditálva legyen anyagvizsgálatra, állapotellenőrzésre,
- megfelelő minőségbiztosítási rendszert működtessen (MSZ EN 45001),
- érvényes hatósági bizonyítvánnyal rendelkező szakemberi legyenek a szükséges vizsgálatokra (IKM bizonyítvány),
- az adott tevékenységre referenciákkal és garanciával szolgáljon.

Hazánkban az elmúlt két évben végbement változások szétzilálták az egykori MVMT Termelési Igazgatóság által működtetett, a főberendezések állapotellenőrzési rendjére vonatkozó utasításrendszert. A berendezések ezalatt tovább öregedtek, és az üzembiztonságukkal szemben támasztott elvárások fokozottan nőttek. Várhatóan 1993-ban életbe lép az ipari biztonsági törvény, és vele együtt bevezetésre kerül az új műszaki felügyeleti rendszer is. Mindezek együttes hatására a villamosenergia iparban is újra kell gondolni a főberendezések állapotellenőrzési rendszereit, és újólag meghatározni a gyártó, az üzemeltető, az anyagvizsgáló és a karbantartó feladatát.

Ez a cikk egy anyagvizsgáló laboratórium több mint három évtizedes, összegyűjtött állapotellenőrzési tapasztalatát használta fel. Ezért a szerző köszönetet mond mindazon régi és jelenlegi kollégájának, akik rendszeres munkája révén ez az adatbázis felépült.

932 051 109

Hivatkozások

- [1] Utasítások erómi ví csövek feltágulásának és anyagszerkezeti változásainak ellenőrzésére. MVM Termelési Igazgatóság, 1965.

- [2] Nagynyomású és nagyhőmérsékletű vezeték ellenőrzése az erómi vékben. MVM Termelési Igazgatóság, 1979.
- [3] Főgőzvezeték vizsgálati technológiája. ERÓKAR Állapotellenőrző O., 1983.
- [4] Utasítás nagynyomású és nagyhőmérsékletű gőzvezeték élettartam ellenőrzésére. ERÓKAR Állapotellenőrző O., 1986.
- [5] DIN 31051 Instandhaltung. Begriffe und Massnahmen.
- [6] Dr. Süle János: Erómi vékben végzett kúszási és feltágulási vizsgálatok eredményei, tekintettel a szerkezeti elemek élettartamára. Erómi vék főberendezések és csővezetékek élettartama. ETE ankté 1979. Budapest.
- [7] Szűcs Pál: A regeneráló hőkezelés alkalmazásának lehetősége főgőzvezeték esetén. Gép XLIII. (1991) 10. 340–343. o.
- [8] Szűcs Pál: Az endoszkópia lehetőségei a hegesztési varratok minőségellenőrzésében. Hegesztéstechnika II. (1991) 4. 34–41. o.
- [9] Kispesti Erómi Ø191x17 mm-es T-idom hibakereső anyagvizsgálata. ERÓKAR Szakvélemény 1973. (8447/0903).
- [10] Ajkai Hőerómi VI. turbina 143328 üzemóra elteltével felszakadt főgőzvezeték vizsgálata. ERÓKAR Szakvélemény 181. (4524/7211).
- [12] Tiszapalkonyai Erómi kamraösszekötő csöveinek feltágulásmérése. ERÓKAR Szakvélemény 1974. és ERÓKAR Tanulmány 1983. (5471/6833).
- [13] DHV 1. kazán főgőzvezeték roncsolásmentes vizsgálata 125.354 üzemóra elteltével. Tolózár hegesztési varrat meghibásodás. ERÓKAR Szakvélemény 1989. (1715/9959).

Az optikai atomspektrometria néhány újabb módszere: oldatos vagy szilárdmintás elemzés?

Dr. Kántor Tibor

A szerves kémiai analízis fejlődését reprezentáló műszeres analitikai módszercsaládokról Lapunk egy újabb számában kaptunk áttekintést [1]. Eszerint, az optikai spektroszkópiái, röntgen-, tömeg- és elektro spektroszkópiái módszerek, valamint a radioanalitikai és elektroanalitikai módszerek együtt képezik a teljes választékot, a szerteágazó analitikai feladatok megoldásához. A témakör szűkítését jelenti, ha külön tárgyaljuk az *elemanalitikai* módszereket, melyek célkitűzése a mintát alkotó elemek meghatározása, függetlenül attól, hogy azok milyen kémiai formában vannak jelen az eredeti mintában.

Az elemanalitikai módszereken belül, az *optikai atomspektrometria* (OAS) a szabad atomok és ionok külső elektronátmeneteit kísérő jelenségek (emisszió, abszorpció, fluoreszcencia) észlelésén alapszik az optikai hullámhossztartományban (100–800 nm). A szabad atomok és ionok előállítása az atomspektroszkópiái forrásokban, többnyire nagy hőmérsékleten történik a különböző mintákból. Ebből következik, hogy az OAS módszerek művelői számára a *nagyhőmérsékletű atomspektroszkópiái forrásokban végbemenő kondenzált fázisú, párolgási, atomizációs, ionizációs és gerjesztési folyamatokra vonatkozó ismeretek* jelentik a leginkább releváns elvi-elméleti anyagot [2].

A minták megjelenési vagy elemzési formája (pl. fém tömb, por, oldat) és az észlelési mód által támasztott igényeknek megfelelően, az atomspektroszkópiái források és mintabeviteli módszerek számos változata fejlődött ki. E helyen, a *jelenlegi forgalmazott készülékekkel megvalósítható és legáltalánosabban alkalmazott OAS módszereket* tekintjük át, néhány válogatott, elsődlegesen összefoglaló munkára történő hivatkozással. Kissé részletesebben foglalkozunk azokkal a mintabeviteli módszerekkel, melyek bevezetésében, továbbfejlesztésében, vagy egyszerű felhasználásában értünk el eredményeket.

Atomspektroszkópiái források

A vizsgálati anyag nagyhőmérsékletű „gőzzé” történő konverziója közvetlen energia-közleléssel valósul meg a források egy részénél. Ezek tipikus képviselői az elektromos kisülések (szikra, ív, glimm), melyeknél a minta többnyire az egyik pólusát képezi a kisüléseknek. E forrásokat fémek és ötvözetek szilárdmintás, atomemissziós elemzéséhez alkalmazzák legáltalánosabban [3]. Az alkotók szimultán meghatározásához alkalmas, sok-mérőcsatornás, emissziós spektrométerek kifejlesztése kezdetben a nevezett források alkalmazására épült. A spektrométerek (fényelektromos detektálás) tökéletesedésével párhuzamosan szorult vissza a spektrográfok (fotográfiás fényérés) alkalmazása. A váltóáramú ívgerjesztéssel és spektroszkóppal (vizuális észleléssel) végzett fémvizsgálat, várhatóan a gyártásközi ellenőrzésben marad jelentős [4].

Az atomspektroszkópiái források másik jellemző csoportját azok képezik, amelyekbe folyékony minták (leggyakrabban híg savas oldatok) közvetlenül, vagyis deszolvatálás nélkül, bevitethetők. Az oldatok gyors vizsgálati lehetősége feltételezi továbbá a forrás szerkezeti elemeinek változatlan felhasználhatóságát a mintaváltás során. E feltételek, az oldatok finom diszpergálása (porlasztása) mellett, a lángforrások biztosították elsőként, melyek az analitikai felhasználás mellett alapvetően fontos kísérleti rendszerként szolgáltak a nagyhőmérsékletű kutatásokhoz [5]. A *lángemissziós spektrometria* (lángfotometria) kiváló teljesítményt nyújt az alkálifémek és néhány alkáliföldfém meghatározásához és jelenleg elsősorban orvos-biológiai laboratóriumokban nyer alkalmazást. Az atomabszorpciós mérés technika bevezetésével [6, 7], a hidrogén/levegő és acetilén/levegő lángos együttesen 34 elem meghatározásához biztosítanak, számos analitikai feladathoz megfelelő kimutatási képességet. A nagyobb hőmérsék-

letű (3000–3200 K) és redukálóból jellegű acetilén/dinitrogén-oxid láng bevezetése további 30 elemre terjesztette ki a *lángatomabszorpciós spektrometria* (Flame-AAS) alkalmazhatóságát.

Az atomabszorpciós spektrometria fejlődésében új fejezetet nyitott a grafitkemencés atomizáció, elméletileg is megalapozott, bevezetése [8, 9], majd technikai-metodikai fejlesztése [10, 11]. Az elektrotermikusán hevített (max. 3000 K) grafitcsőben megvalósuló redukív körülmények mellett (argon vagy nitrogén atmoszféra) a mintagőz két-három nagyságrenddel hosszabb ideig tartózkodik mint a lángok észlelési zónájában, és a kimutatási képesség hasonló vagy nagyobb mértékű növekedése tapasztalható számos elemre. A minta főalkotóinak (mintamatrix) nagy gőzkoncentrációja a grafitcsőben azonban növeli a fizikai-kémiai és spektrális zavaró hatásokat. Emiatt, a grafitcső atomizátorban célszerűen alkalmazható szervesetlen minta tömege (oldószer nélkül) általában nem haladja meg az 0.2 mg-ot. Ilyen kis tömegű minta pontos adagolása oldat alakjában (10–50 mikroliter) valósítható meg egyszerűen. A mátrixhatás hatékonyan csökkenthető a mintamatrix in-situ lebontásával és elpárologtatásával a meghatározandó elemek párolgását (és atomizációját) megelőző hevítési ciklusban, mely kémiai módosítással (reagens adagolásával) segíthető elő. A grafitcsőbe épített mintatartó („platform”) és a Zeeman-effektuson alapuló háttérkorrekció további fontos lépéseket jelentettek a zavaró hatások csökkentésében. A pirolitikus grafitból készített (esetleg előkarbidizált) csövek alkalmazása eszményértékben csökkentette a karbidképző elemek elpárologtatásának problémáját. A *grafitkemencés atomabszorpciós spektrometria* (GF-AAS), jelen fejlettségi szintjén, számos elemre megközelíti az „abszolút analitikai módszerek” kritériumát; az analitikai összefüggések elméleti úton való meghatározhatóságát [12]. Az elméleti és kísérleti kalibi-

rációs adatok összevetése segítséget nyújt pl. a szennyezés okozta, durva elemzési hibák felfedezésében. A készülékeket többnyire a Flame-AAS és GF-AAS alternatív megvalósításához alakították ki, mely módszerek együtt nyertek széles körű alkalmazást [13] és kiemelkedő számú referenciát [14] az egész analitikai kémián belül.

Az oldatoknak a forrásba történő folyamatos bevitelle és az elemek szimultán meghatározása azonban nem bizonyult megvalósíthatónak a grafitkemencés atomizáció technikai-metodikai feltételei mellett, a gyakorlat számára kielégítő módon. Az irodalomban nyomkövethető, hogy e kívánalmak teljesítéséhez alkalmas forrás kifejlesztéséhez egyrészt a lángforrásokra, másrészt az elektromos forrásokra vonatkozó ismeretek birtokában történtek meg a sikeres lépések. Az *induktív csatolású, rádiófrekvenciás plazmának* az atomemisziós spektrometriás célokra történő bevezetésével [15, 16] egy újabb elemanalitikai módszer született (ICP-AES), amely rövid idő alatt nagy jelentőségre tett szert [17, 18].

Az oldatminták porlasztásos bevitelle mellett az ICP-AES alkalmas közel valamennyi elem szimultán meghatározására (az alkalmazott spektrométer sajátosságaitól függően), több nagyságrendben lineáris analitikai függvény alapján. Az elérhető kimutatási képesség szempontjából azonban számos elemre kisebb teljesítményt nyújt, mint a GF-AAS. A nagyhőmérsékletű (5-6000 K) argon-ICP által emittált atom- és ionszintképek vonalainak izolálásához nagy felbontóképességű spektrométerre van szükség az atomabszorpciós észleléssel elérhető szelektivitás megközelítéséhez, mely csak korlátozottan lehetséges. E problémák radikális csökkentése, sajátos módon, az OAS módszerek keretein kívül eső diszciplína, a *tömegspektrometria (MS)* ismereteinek és műszereinek felhasználásával vált elérhetővé [20, 21]. Az *ICP tehát mint „fotonforrás” (OAS) és mint „ionforrás” (MS) egyaránt hatékonyan bizonyult.* Az oldatok elem-analízisében jelenleg az ICP-MS tekinthető a legnagyobb teljesítményű módszernek, a szimultán meghatározható elemek (és izotópjai) száma és a szelektivitás szempontjából. Az elérhető kimutatási határok közel valamennyi elemre, a GF-AAS és ICP-AES által néhány elemre nyújtott legnagyobb értékeket közelítik meg.

Az adott analitikai feladatkörhöz legjobban igazodó és a gazdaságosságot (beszerzési és üzemeltetési költségek) figyelembe vevő kiválasztás [1] körültekintő mérlegelést igényel az OAS módszereken belül is.

Mintabeviteli módszerek

Oldatos módszerek

A lángspektrometria alapvetően az oldatporlasztás, mint mintabeviteli módszer, bevezetésével vált mennyiségi analitikai módszerre. A különböző elvű (pneumatikus, ultrahangos stb.) porlasztó rendszerek számos verziója alakult ki az atomspektroszkópiai források (lángok, ICP) és a porlasztott közeg sajátosságai (híg és tömény oldatok, olajok, szuszpenziók) szerint. A GF-AAS technikai fejlődéséhez hozzátartozott az oldatadagolás automatizálása, amely nemcsak kényelmi szempontból, hanem a pontosság és

megbízhatóság növelésében is fontosnak bizonyult. Az oldatos analitikai kémiai módszerek automatizálásának legújabb fejleménye a „flow injection” (FI) technika térhódítása, amely természetesen az oldatos OAS és MS módszerekre is vonatkozik [22]. Az FI-technika leggyakrabban a folyamatos oldatporlasztással (láng vagy ICP) kapcsoltan nyer alkalmazást, de megoldott a szakaszos oldatadagoláshoz (GF-AAS) történő adaptálása is.

Az adomabszorpciós módszerek, előbb már említett, átütő sikere [14] nem kis részben azon alapszik, hogy ezek alapvetően az oldatos mintabevitel alkalmazására épültek, és az utóbbi évtizedekben megnövekedett az eleve oldat formában megjelenő vagy egyszerűen oldható minták elemvizsgálás iránti igény. Ez a felismerés megnyilvánult a kompetatív ICP-AES és ICP-MS módszer kifejlesztésében is. Az OAS és MS mérőműszerek fejlettségéhez viszonyítva lemaradást mutatott a minták oldatbevitelének technikai színvonala a savas feltárást igénylő mintatípusokra nézve, ami korlátozta a rutinszerű alkalmazhatóságot. Az oldatbeviteli műszerezése az utóbbi két évtizedben vett erőteljes lendületet a szabályozott elektrotermikus és mikrohullámú hevítéssel, közepes és nagy nyomást (5–10, illetve 80–200 bar) biztosító feltárási-roncsoló készülékek kifejlesztésével. A kereskedelmi készülékek felhasználásával végzett módszerkidolgozással jelenleg több hazai laboratóriumban foglalkoznak, Heltai és Percsich egy újabb készülékfejlesztést ismertettek Lapunkban [23].

A kémiai elválasztási és dúsítási eljárások alkalmazhatósága, egy további fontos előnye az oldatos módszereknek. E kémia műveletek a FI-technikával kapcsolatban folytathatók a legkorszerűbb mintabeviteli rendszerekben, melyek az OAS és ICP-MS alapműszerekhez egyaránt adaptálhatók. A hidridformában kifejleszhető elemek (Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se, Te) és ezekkel együtt atomos gőzként kifejleszhető higany OAS és ICP-MS módszerekkel történő meghatározása nagy jelentőségre tett szert [24]. Nem érdektelen megjegyezni, hogy a hidridkifejlesztéshez kapcsolt OAS detektálást (közelebről szikra-spektrográfias detektálást) hazai szerzők vezették be elsőként [25]. A kondenzált fázisú elválasztással és dúsítással (kiemelten a kelátképzéssel kombinált ioncserével) kapcsolt OAS és ICP-MS módszerek legújabb fejlődéséről hazai szerzőktől (és szerzőtársuktól) kaphatunk áttekintést [26]. A *nagyteljesítményű folyadék-kromatográfia (HPLC)* kapcsolása az OAS és ICP-MS detektálási módszerekhez lehetővé teszi pl. a toxikus elemek kémiai formájának meghatározását [27] („speciation analysis”), mely egy újabb felmerült igény. A HPLC-OAS kapcsolás tehát túllépi az elemvizsgálás kereteit.

Az oldatos módszerek alapvetően fontos előnye az analitikai kalibrálás (standardizáció) viszonylagos egyszerűsége, mely kérdésre még visszatérünk.

Szilárdmintás módszerek

A szilárd halmazállapotú vizsgálati anyagok bizonyos típusainak sorozatvizsgálását végző laboratóriumokban igény jelentkezik a közvetlen (szilárdmintás) elemzési módszerek alkalmazására. Olyan mintatípusokról van szó, amelyek

kémiai előkészítésének (feltárási-oladás) költsége nagymértékben meghaladja a szilárd minták mechanikai előkészítésének, valamint a szilárd referencia minták (standardok) beszerzésének költségét. A különböző költségfaktorek között a nagytisztaságú savak és egyéb vegyszerek beszerzése igen jelentős anyagi megterhelést jelent egy folyamatosan működő laboratóriumban. A szilárdmintás módszerek alkalmasabbak lehetnek továbbá a homogenitási vizsgálatára, valamint a felületi és mélységi koncentráció-profilok meghatározására. Röviden említjük, hogy a fémek vizsgálatára a glimmkísülést (glow-discharge) alkalmazó OAS és MS módszerek fokozott jelentőségre tettek szert, az ugyancsak dinamikus fejlődő és a legtöbb szilárdmintás analitikai feladatkörben alkalmazható röntgen spektrometriás módszerek mellett.

Az OAS és ICP-MS módszerek viszonylatában, egy újabb elterjedő mintabeviteli elvet képvisel a *minták termikus diszpergálása* és az előállított szilárd (száraz) aeroszól átvitelle valamilyen észlelési forrásba. A *termikus diszpergálás* megjelölés magában foglalja a kisméretű szilárd vagy olvadék részecskék leszakadását a lokálisan hevített mintafelületről (abláció), és/vagy az ilyen részecskék keletkezését a nagyhőmérsékletű mintagözből, annak hideg gázzal történő keverésével. Párolgatótároló diszpergáló forrásként a szikrakísülés és az ívkísülés nyert elsődleges felhasználást, és ezeket lángokhoz, majd pedig különböző plazmákhoz, mint észlelési forrásokhoz, csatlakoztattak. A mintából keltett aeroszól átvétele viszonylag kis hőmérsékleten (többnyire műanyagcsőben) történik, és az így módon összekapcsolt források megjelölésére javasolták „kombinált forrás” [28] és „tandem forrás” [29] elnevezéseket. A *kiterjedt geometriájú fémminták és pasztillázott portminták elemzésére kidolgozott szikra-ICP-AES (-MS) módszerek* irodalma könyvekben [17, 18, 21] összefoglaló közleményekben [28, 29] és pl. egy újabb dolgozatban [30] áll rendelkezésre.

A *lézeres elpárolgatótás és a szikragéreztes kombinációját* 1962-ben vezették be [31], és a spektrográfokhoz adaptált „lézer-mikroanalitikai” forrás széles körű felhasználást nyert [3]. A hazai sikeres alkalmazások közül, a Lapunkban ismertetett munkára utalunk e helyen [32]. A fémolvadékok lézer-AES elemzését, közvetlenül az olvasztó kemencébe irányított lézer-sugárral végzett gerjesztés segítségével, újabban valósították meg [33].

A lézeres hevítéssel végzett termikus diszpergálás, amely magában foglalja az aeroszól átvitelét egy külön energiaforrással működtetett észlelési forrásba, sokoldalúan alkalmazható mintabeviteli elvnek bizonyult. E mintabeviteli elv bevezetésére hazai laboratóriumban történtek meg a kezdeti lépések, láng észlelési forrás (AES, AAS) alkalmazása mellett [34, 35]. Az alkotók szimultán detektálását a *Lézer-ICP-AES* [17, 18, 36, 37], és ezzel együtt a nagy kimutatási képesség elérését (10^{-15} – 10^{-13} g) a *Lézer-ICP-MS* [18, 21] módszerek biztosítják.

Alternatív oldatos-szilárdmintás módszerek

A fentebb vázolt szilárdmintás módszerek a kiterjedt geometriájú minták és pasztillázott portminták elemzésére alkalmasak. A kis tömegű (mg nagyságrend) szilárd halmazállapotú min-

ták és a grafit hordozóra száritott oldatok (10–50 mikroliter) közvetlen elemzéséhez az ív-emissziós spektrográfia nyújt jó lehetőséget, mely módszer azonban a fotográfiás fényérés hátrébszorulása miatt, sokat veszített jelentőségéből. Az egyenáramú ívkísülés anódjaként kapcsolt grafitkehelyben a minta hevítése döntően a kehelyfalon át, hővezetéssel történik [2]. Így, a minta párolgását eredményező kondenzáltfázisú folyamatok „termikus” jellegűek, szemben a szikrakísülésnél és lézeres hevítésnél érvényesülő ablációs folyamattal. A párologtatás szempontjából tehát a grafit hordozóelektródos egyenáramú ív, az elektrotermikusán hevített grafitkemencéhez mutat analógiát. Érdekes megjegyezni, hogy a GF-AAS bevezetésénél, kezdetben ívkísüléssel segítették elő a minta párolgását, és a keletkező mintagőzt vezették elektrotermikusán hevített grafitcsőbe [8, 9]. A grafitanód végfelületén (anódfólt), a mintaoldat száraz maradékának hőmérséklete megközelítheti a 4000 K-t, míg elektrotermikus hevítéssel a grafitnal hőmérséklete nem növelhető 3000 K fölé, tartós használat (sokszori felfűtés) mellett. A 3000 K feletti hőmérséklet az extrém hőstabilitású fémek és/vagy karbidjaik (pl. Ta, Nb, Hf, Zr, W, U, Th, Ti) intenzív párologtatásához szükséges.

Az elektromos hevítés, a pontosabb szabályozhatósága révén, döntő előnybe került az ív-hevítéssel szemben, és az analitikai grafitkemencék látványos technikai fejlődése vezetett el a GF-AAS elterjedéséhez. Noha a GF-AAS elsősorban oldatos módszer (d. előbb), a kis tömegű szilárd minták mérésével végzett GF-AAS elemzések jelentőségre tettek szert. A későbbiekben a porminták szuszpenzió formájában történő bemérése (slurry injection technique) került előtérbe annak megfelelően, hogy folyamatos ultrahangos keverés mellett a szuszpenziók térfogatos bemérését az automatikus mintaadagolók lehetővé teszik [10, 11, 13].

Protított minták ICP-AES elemzéséhez a szuszpenziók porlasztásos bevitelle (slurry nebulization technique) a legegyszerűbb módszer, melyhez a szuszpendálás és a porlasztás körülményeinek alkalmas megválasztása szükséges [17, 18, 38, 39]. Alkalmazhatósága azonban finomeloszlású pormintákra (10 mikrométernél kisebb szemcseméret) korlátozódik. Egy másik mintabeviteli mód, a grafitkehelybe mért porminta betöltése az ICP alsó zónájába (direct sample insertion technique), melyhez megfelelő automatikát fejlesztettek ki [17, 18, 38, 40]. E módszernél, a mátrixtól függően párolgási problémák jelentkezhetnek.

Az oldatok és kis tömegű szilárd minták ICP-AES elemzéséhez hatékony mintabeviteli módszerek bizonyult az elektrotermikus párologtatással (electrothermal vaporization: ETV) végzett termikus diszpergálás: **ETV-ICP-AES** [17, 18], **ETV-ICP-MS** [21, 41]. Az oldatok ETV-ICP-AES elemzésének bevezetése, tantálszalagos kemence alkalmazásával, 1974-ig vezethető vissza [42]. A későbbiekben a grafitkemencék alkalmazása került előtérbe, melyek alkalmasabbak a szilárdminták elpárologtatásához. Az utóbbi követelmény elérése érvényesült az egyenáramú ívvel végzett „termikus” párologtatásnál is, láng észlelési forrás (AES és AAS) alkalmazása mellett [43-45]. Az elektronikus párologtatás speciális esete a grafitkemencés pá-

rologtatás (graphite furnace vaporization: GFV) és ennek megfelelően beszélhetünk **GFV-ICP-AES** és **GFV-ICP-MS** módszerekről. Az extrém hőstabilitású fémek, oxidok és karbidok elpárologtatásának problémája megoldhatónak bizonyult a kemencegázhoz (argon) kevert halokarbonszén-dioxid (pl. CCl_4 , CCl_2F_2) végzett halogénezés révén [46-49].

A GFV-ICP-AES legutóbbi fejlesztésében a kemence-ICP kapcsolat (interface) újszerű kialakítása [50, 51], a porminták (5-50 mg) cseréjének egyszerűsítése [52], továbbá a halogénezéssel gyorsított in-situ tisztítása és párologtatás körülményeinek kialakítása [52, 53], tekinthető fontosabb lépéseknek. Egyik célszerű alkalmazásként merült fel a nehezen oldatbavihető kerámiaporok közül a szilícium-karbid (SiC), közvetlen elemzési módszerének kidolgozása [53, 54].

Amint az a bevezető részben említésre került, az atomspektroszkópiai források és bizonyos mintabeviteli módszerek fejlesztése a nagyhőmérsékletű kémia és fizika ismeretanyagára támaszkodik. Másfelől, részben az atomspektroszkópiai mérés technikák biztosítanak megfelelő kísérleti háttérrel ezen elvi-elméleti ismeretek gyarapításához, ami a szakterület speciális alaputatási célkitűzése. A nagyhőmérsékletű párolgás és atomizáció, valamint az ezekkel összefüggő kondenzáltfázisú folyamatok vizsgálatához leggyakrabban a GF-AAS és GF-MS (molekulia abszorpciós spektrometria) [55, 56], továbbá a grafitkemencés párologtatással kapcsolt egyéb detektálási módszerek nyertek felhasználást: **GFV-Flame-AAS** [48, 57, 58], **GF-MS** [59], **GFV-ICP-MS** [60]. A termikus diszpergálás analitikai sajátosságainak értelmezése (pl. az analitikai függvények linearitása, mátrixhatás) az aeroszól tudomány ismereteinek felhasználásával, ugyancsak ezen speciális alaputatásokhoz tartozik [61-63].

Analitikai kalibráció és megbízhatóság

Egy adott analitikai mérés technika alkalmazhatóságának alapvetően fontos kérdése, hogy a kalibrációnak milyen mértékben kell támaszkodnia elemzési eredményekre, a következők értelemben.

Az ismert koncentrációjú „egyelemes” vagy „sokelemes” törzsoldatok elkészítése is feltételezi az előzetes analitikai eredmények felhasználását. Mivel azonban ezek az oldatok jelenleg már többnyire beszerezhetők, a kalibráció ezen kérdéséről eltekinthetünk. A nevezett törzsadatok birtokában, egyszerű összeméréssel és hígítással közel tetszőleges összetételű kalibráló oldatok készíthetők, amennyiben a törzsadatok nem tartalmaznak az adott elemzés szempontjából nem érdektelen, „ismeretlen” szennyezőket.

Az oldatos Flame-AAS, GF-AAS és kisebb mértékben az ICP-AES (-MS) módszerek a leginkább toleránsak a mintamátrix változására nézve. E módszerek számos elemre és mintatípusra megbízható eredményt szolgáltatnak az olyan „egyszerű” kalibráló oldatok alkalmazása mellett, melyek csak a meghatározandó elemet (vagy elemeket) tartalmazzák, a mintaoldatoknak megfelelő oldószerben. Bizonyos elemek és mintamátrixok esetén azonban, kémiai módosítók

adagolása szükséges, melyek a mátrix helyettesítését és/vagy kiegyenlítését szolgálják. A nagy mátrixkoncentrációjú oldatok elemzésénél (pl. fémelemzések) szükséges lehet a kalibráló oldatok és mintaoldatok mátrixösszetételének szoros illesztése (mátrix matching), a megbízható analitikai eredmények eléréséhez. Az additív kalibráció (a meghatározandó elem adagolása a mintához), a mátrixillesztés fontos módszere, mely azonban csak a spektrális zavaróhatások kiküszöbölésével (pl. pontos háttérkorrekcióval) együtt hatékony. Annak megállapítása, hogy az adott esetben a kalibrációt milyen fokú „bonyolultsággal” szükséges elvégezni, a gyakorlati analitikus feladta, mely a potenciális zavaró hatások részletes tanulmányozásán alapszik. Végső soron, az esetleges módszeres hibák felderítésére és kiküszöbölésére nincs jobb lehetőség, mint az ellenőrzött referencia minták (standardok) felhasználása a kalibráló oldatok elkészítéséhez.

A szilárdmintás módszerek célszerű alkalmazásával kapcsolatban már említésre került a referenciaminták alkalmazásának igénye a mennyiségi elemzéshez. A kalibrációt, az oldatos elemzéshez viszonyítva, bonyolultabbá teszi, hogy a mátrixillesztést nemcsak az elemi összetétel, hanem a kémiai és fizikai szerkezetre nézve is biztosítani kell, bár ilyen vonatkozásban a különböző módszerek eltérő mértékű közelítést engednek meg. A szerkezeti hatások tanulmányozása és a megbízhatóság ellenőrzése, ismert szerkezetű referenciaminták alapján, – a fémelemzés területén – már korábban általános gyakorlattá vált.

Az alternatív oldatos-szilárdmintás módszerek kifejlesztésében fontos szerepet játszott az oldatos kalibráció és a szilárdmintás elemzés előnyeinek összekapcsolása. Ennek elvi lehetősége a meghatározandó alkotók teljes elpárologtatásán és az elpárologtatás időtartamára integrált analitikai jelek mérésén alapszik. Ezen szükséges, de nem feltétlenül elégséges kritériumok teljesíthetők pl. a GF-AAS és GFV-ICP-AES (-MS) módszerekkel. A szuszpenziók porlasztásos ICP-AES elemzésénél stacionárius jeleket mérünk, a plazmában történő teljes elpárologtatás azonban ugyanúgy elvi feltétele az oldatos kalibrálás alkalmazhatóságának.

A grafitkemencés elpárologtatást alkalmazó módszereknél a grafitcsőbe, vagy a grafit mintatartóba mért pormintához adagolható a meghatározandó elemeket (esetleg kémiai módosítókat) tartalmazó kalibráló oldat, mely additív kalibráció gyakran vezet sikerre. E módszerekkel nyert további fontos tapasztalat, hogy a porminta szemcseméretének viszonylag nagymérvű változása sem okoz módszeres hibát [54]. E kedvező tapasztalatok azonban nem általánosíthatók, és így érvényes, hogy a megbízhatóság végső ellenőrzésének, a független módszerekkel elemzett referenciaminták felhasználásán kell alapulnia.

A forgalmazott (esetleg nemzetközileg ellenőrzött) referenciaminták beszerzése többnyire rentábilis befektetés az előre tervezhető sorozatelemzéseket végző laboratóriumok számára. Amennyiben a laboratórium rendelkezik mind az oldatos, mind a szilárdmintás módszerek alkalmazásához szükséges feltételekkel, úgy az oldatos módszerekkel megelemezett néhány, változott minta a „laboratóriumi referenciaminta”

szerepét töltheti be, a sorozatelemzéshez alkalmazott szilárdmintás módszerhez.

A hazánkban sürgető feladatként jelentkező *minőségbiztosítás* [64] műszaki-tudományos kérdései között nagyfontosságú az analitikai módszerek ellenőrzése, és a megfelelőnek talált módszerek szabványosítása. Az ellenőrzést, különösen az export termékek vonatkozásában, célszerű a nemzetközileg elfogadott referenciamenték felhasználására alapozni, mely a fentiek szerint nemcsak a szilárdmintás, hanem az oldatos módszerekre is vonatkozik. Az utóbbi megjegyzéssel vitátjuk a nagymérvű elfoglaltság jogosságát az oldatos módszerek javára, mely gyakran vezet a gyártás- és gyártmányellenőrzés által igényelt gyors, szilárdmintás módszerek szabványosításból való kirekesztésére.

932 053 110

Irodalom

[1] Pólos L.: Anyagvizsgálók Lapja 2, 119 (1992).
 [2] P.W.J.M. Boumans: Theory of Spectrochemical Excitation. Plenum Press, 1966.
 [3] T. Török, J. Mika, E. Gegus: Emission Spectrochemical Analysis. Akadémiai Kiadó, 1978.
 [4] Kéthelyi J.: Anyagvizsgálók Lapja 2, 116 (1992).
 [5] C.Th.J. Alkemade, T.J. Hollander, W. Snelleman, P.J. Th. Zeegers: Metal Vapours in Flames. Pergamon Press, (1982).
 [6] A. Walsh: Spectrochim. Acta 7, 108 (1955)
 [7] A. Walsh: Advances in Spectroscopy, Vol. II. Interscience Publ. 1961.
 [8] B.V. L'vov: Spectrochim. Acta 17, 761 (1961).
 [9] B.V. L'vov: Atomic Absorption Spectrochemical Analysis. Adam Hilger Ltd. 1970.
 [10] W. Slavin: Graphite Furnace AAS. A Source Book. Published by The Perkin-Elmer Corp., Spectroscopy Div. 1984.
 [11] B. Welz: Atomic Absorption Spectrometry. VCH Verlagsgesellschaft mbH, 2nd ed. 1984.
 [12] B.V. L'vov: Spectrochim. Acta 45B, 633 (1990).
 [13] S.J. Haswell (ed.): Atomic Absorption Spectrometry - Theory, Design and Applications. Elsevier Publ. Co., 1992.
 [14] T. Braun, S. Zsindely: Trends in Analytical Chemistry 9, 144 (1990).

[15] S.Greenfield, I.L. Jones, C.T. Berry: Analyst 89, 713 (1964).
 [16] R.H. Wendt, V.A. Fassel: Anal. Chem. 37, 920 (1965).
 [17] P.W.J.M. Boumans (ed.): Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy. Vols. 1 and 2., Wiley 1987.
 [18] A. Montaser, D.W. Golightly (eds.): Inductively Coupled Plasmas in Analytical Atomic Spectrometry. VCH Publ. Inc. 1987.
 [19] R.S. Houk, V.A. Fassel, G.D. Flesh, H.J. Svec, A.L. Gray, C.E. Taylor: Anal. Chem. 52, 2283 (1980).
 [20] A.R. Date, A.L. Gray: Analyst 106, 1255 (1981).
 [21] A.R. Date, A.L. Gray (eds.): Applications in Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Blackie and Son Ltd. 1989.
 [22] J.F. Tyson: Spectrochim. Acta Rev. 14, 169 (1991.)
 [23] Heltai Gy., Percsik K.: Anyagvizsgálók Lapja 2, 111 (1992.)
 [24] T. Nakahara: Spectrochim. Acta Rev. 14, 95 (1991).
 [25] L. Erdey, E. Gegus, E. Kocsis: Acta Chim. Acad. Sci. Hung. 7, 343 (1955).
 [26] Zs. Horváth, A. László, R.M. Barnes: Spectrochim. Acta Rev. 14, 45 (1991).
 [27] W.D. Spall, J.G. Lynn, J.L. Andersen, J.G. Valdez, L.R. Gurley: Anal. Chem. 58, 1340 (1986).
 [28] T. Kántor: Spectrochim. Acta 38B, 1483 (1983).
 [29] M.V. Borer, G.M. Hieftje: Spectrochim. Acta Rev. 16, 463, (1991).
 [30] I. Steffan, G. Vujcic: Spectrochim. Acta 47B, 61 (1992).
 [31]
 [32] Pankotai L-né, Györfini Buzási A., Németh I-né: Anyagvizsgálók Lapja 2, 117 (1992).
 [33] C.J. Lorenzen, C. Carlhoff, U. Hahn, M. Jogwich: J. Anal. At. Spectrom. 7, 1029 (1992).
 [34] T. Kántor, L. Pólos, P. Fodor, E. Pungor: Talanta 23, 585 (1976).
 [35] T. Kántor, L. Bezúr, E. Pungor, P. Fodor, J. Nagy-Balogh, Gy. Heincz: Spectrochim. Acta 34B, 341 (1979).
 [36] K. Dittrich, R. Wennrich: Prog. Analyt. Atom. Spectrosc. 7, 139 (1984).
 [37] L. Moenke-Blankenburg: Spectrochim. Acta Rev. 15, 1 (1993).
 [38] J.A.C. Broekaert, F. Leis, B. Reeymaekers, Gy. Záray: Spectrochim. Acta 43B, 339 (1988).
 [39] Varga I.: Egyetemi doktori értekezés. ELTE, Budapest, 1993.

[40] Gy. Záray, G. Kónya, J.A.C. Broekaert, F. Leis: Chemia Analytica (Pol.) 35, 311 (1990).
 [41] C.J. Park, G.E.M. Hall: J. Anal. At. Spectrom. 2, 473 (1978).
 [42] D.E. Nixon, V.A. Fassel, R.N. Knisely: Anal. Chem. 46, 210 (1974).
 [43] T. Kántor, E. Pungor: Preprints 17th Coll. Spectrosc. Int., Florence, 1973. Vol. I, p. 83.
 [44] T. Kántor, P. Fodor, E. Pungor: Anal. Chim. Acta 102, 17 (1978).
 [45] Posta J.: Hung. Sci. Instruments 47, 33 (1980).
 [46] G.F. Kirkbright, R.D. Snook: Anal. Chem. 51. 1938 (1979).
 [47] Kántor T., Pungor E., Hanákné Juhai É., Gráfné Harsányi E.: XXI. Magyar Szinképelemző Vándorgyűlés Előadásai, Szeged, 1978. 129. old.
 [48] T. Kántor, L. Bezúr, E. Pungor, J.D. Winefordner: Spectrochim. Acta 38B, 581 (1983).
 [49] T. Kántor: Chemia Analytica (Pol.) 35, 205 (1990).
 [50] W.L. Shen, J.A. Caruso, F.L. Fricke, R.D. Satzger: J. Anal. At. Spectrom. 5, 451 (1990).
 [51] T. Kántor: J. Anal. At. Spectrom. 7, 219 (1992).
 [52] T. Kántor, Gy. Záray: Fresenius J. Anal. Chem. 342, 927 (1992).
 [53] Gy. Záray, T. Kántor, G. Wolff, Z. Zadgorska, H. Nickel: Mikrochim. Acta 107, 345 (1992).
 [54] Kántor T., Záray Gy.: XXXV. Magyar Szinképelemző Vándorgyűlés és VIII. Magyar Molekulaspektroszkópiai Konferencia Előadásai, Székesfehérvár, 1992. 3. old.
 [55] W.Frech, E.Lundberg, A. Cedergren: Prog. Anal. At. Spectrosc. 8, 257 (1985).
 [56] D.A. Katskov: Spectrochim. Acta Rev. 14, 409 (1991).
 [57] T. Kántor, E. Pungor, J. Sztatisz, L. Bezúr: Talanta 26, 357 (1978).
 [58] L. Bezúr, J. Varga, E. Pungor: Microchem. J. 46, 82 (1992).
 [59] L.J. Prell, D.L. Styris, D.A. Redfield: J. Anal. At. Spectrom. 6, 25. (1991).
 [60] J.P. Byrne, C.L. Chakrabarti, D.C. Gregoire, M. Lamoureux, T. Ly: J. Anal. At. Spectrom. 7, 371 (1992).
 [61] G.F. Kirkbright, D.L. Millard, R.D. Snook: Anal. Proc. (Chem. Soc. London) 17, 16 (1980).
 [62] T. Kántor: Spectrochim. Acta 34B, 1299 (1988).
 [63] R.D. Ediger, S.T. Beres: Spectrochim. Acta 47B, 907 (1992).
 [64] Róth A. Anyagvizsgálók Lapja 2, 125 (1992).

SZEMLE

Környezetvédelmi műszerek

A levegő paramétereit mérő készülékek

Multi-gas detektor

Zsebméretű, MiniGas elnevezésű, kis gáz-élemező készülék, oxigén, egyes égéstermékek, szénmonoxid, hidrogén-szulfid kimutatására. Digitális kijelzővel, por- és nedvesség elleni védelemmel alumínium házba szerelve kerül forgalomba. Kiegészítők széles skálája illeszthető hozzá, (pl.: az alapértelmezésen túl más komponensek vizsgálata, regisztráló csatlakoztatás). Neotronic of North America, Inc. forgalmazza. (IIC 1992. Nov./Dec.)

Mérgező gázra riasztó készülék

Méri és kijelzi a környezetben lévő hidrogén-szulfid szintet; a felhasználó által meghatározott szennyeződési szint elérése esetén riasztást ad. Érzékelője a felhasználó ingnyakára csipeteltető, így egyéni jelző készülékként is használ-

ható. Ez esetben a tényleges belégzési zóna paramétereinek vizsgálatára alkalmas. Típusa: pm-7021. Metrosonic Inc. termék. (IIC 1992.Nov./Dec.)

Éghető gáz szenzor

A rendszer robbanásbiztos szenzorokból áll, melyek infravörös távzábrázolásúak és távleolvasásúak. Beépített folyadékkristályos kijelzővel rendelkeznek, különböző éghető gázok koncentrációjának on-line mérésére alkalmasak. A szenzorok villamos feszültségjellet szolgáltatnak, amelyet egy központi egységbe (számítógép, adatgyűjtő, mikroprocesszor) továbbítanak, ahol a jelek értékelése történik. Hagyományos ipari alkalmazásán kívül áruházak; alagutak esetében is alkalmasak folyamatos koncentráció mérésére. MSA International termék. (WIR 91 Dec/92.Jan.)

Hidrogén-szulfide detektor

SulfurSmart fantázianévű, on-line üzemű készülék méri és kijelzi a hidrogén-szulfid (H₂S) pillanatnyi értékét. Robbanásbiztos kivitel. Mikroprocesszor bázisú. Del Mar Scientific termék. (WIR 91 Dec/92.Jan.)

Klógáz-detektáló készülék

A készülék a klógázt alacsony hőmérsékleten is (-40...+40 °C) detektálja speciális, klógázra érzékeny elektro-mechanikai szenzorai segítségével. Az érzékelők várható élettartama: 12...16 hónap. A készülék karbantartást nem igényel, csupán az időnkénti rutin kalibrálást, ill. a kalibrálás ellenőrzését. Méri tartomány: 0...5 ppm. Sensidyne Inc termék. (IIC 1992.Nov/Dec.)

Portartalom mérése levegőben

A "406 Dust Monitor" típusjelzésű készülék a lebegő por mennyiségének meghatározására,