

Tiszteletpéldány

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS • ÁLLAPOTELLENŐRZÉS

12. évfolyam
4. szám
2002.



MiniPal 2



**Philips
Analytical**



PHILIPS

Let's make things better.

Videoendoszkópok



VideoProb® XL PRO™ család



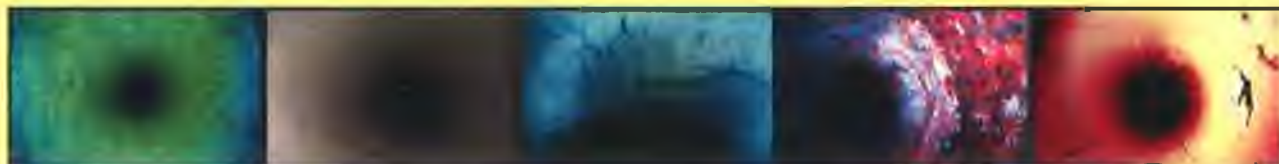
LongSteer® videoprobe
Működési hossz: 30 m-ig!



BTX QuickLook™
Működési hossz: 50 m-ig!



Recon™ system
• cserélhető kamera (Ø25 és Ø45 mm)
• működési hossz: 30, 50 és 60 m



ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Szerkesztőség:

a kiadó **TESTOR Kft.** címén
Budapest XII., Meredek u. 33.
1538 Budapest, Pf. 528.
Telefon: 319-4782
Telefax: 319-2284
E-mail: info@testor.hu
Internet: www.testor.hu

Felelős szerkesztő:
dr. Lehofer Kornél

A szerkesztőbizottság tagjai:

dr. Borbás Lajos
Fücsök Ferenc
dr. Havas István
dr. Koczor Zoltán
dr. Pólos László
dr. Tóth László

Kiadja:
TESTOR Kft.

Felelős kiadó:
Szappanos György
ügyvezető igazgató

Előfizetési díj a 2003. évre
(1–4. szám): 2.240,- Ft
Előfizethető közvetlenül a kiadónál
a mellékelt űrlap felhasználásával.

Hirdetések felvétele és kéziratok
leadása a TESTOR Kft. címén.

Nyomda:

KÁNAI NYOMDA KFT.
1225 Budapest,
Kolozsvári utca 67.
Felelős vezető: Kánai József

Előkészítés:

PC-Print Bt.
Tel.: 205-6399, 204-3688
E-mail: pcprint@chello.hu

FIGYELEM!
Le ne maradjon!
Idejében fizessen elő!

ISSN 1215–8410

Egymásra támaszkodva...

Szakmai közösségünk tudományos emlékülésen méltatta szakmánk egyik kiváló művelőjének, tanítómesterének, a tudós mérnök *Gillemot László* akadémikusnak – születése 90. évfordulóján – személyiségét, munkásságát, amellyel maig hatóan részesévé lett munkatársai és tanítványai mai eredményeinek az anyagtudomány, a képlékeny alakítás, a hegesztés, a törésmechanika területén. A Gillemot-iskola sikerének titka a tanulásra, az alkotásra ösztönző, a más gondolat és ötlet szabad megvitatására alkalmas légkör megteremtése volt. A legértékesebb, amit innen magunkkal vihetünk: az a szemlélet és magatartás, amely – kockázattal akár az eredményes munkával már kivívott presztízt is – vállalja az új gondolat vélt, de még nem bizonyított igazságában rejlő lehetőséghatárok felmérését, hogy erre alapozva építse fel a részletek gondos kidolgozását szolgáló kutatási programot. Így teremtve egyensúlyt a távlati célok és a részletek eredményeiért munkálkodásban. Gondolataink, eredményeink kölcsönös megismerése, az egymásra támaszkodás az, ami továbbhaladásunkat segíti.

Az egymás iránti tisztelet e lapszámunkban is tükröződik.

Gillemot László egykori tanítványa, hosszú éveken át volt munkatársa, a két éve elhunyt *Konkoly Tibor* professor emeritus emlékének ajánlják az európai együttműködést reprezentáló lapszámindító cikket szerzői. Bemutatják a kúszási és fáradási repedésterjedés növelt hőmérsékleten elvégzett kísérletekkel alátámasztott törvényszerűségeit. A cikkből és a hozzákapcsolódó, nagyrészt a honi kutatások eredményeit összefoglaló hozzászólásból, valamint a fraktográfia történetéből áttekintő képet kaphatnak olvasóink a törésmechanika egy-egy részterületéről.

Az együvé tartozás igénye hívta életre – a Gillemot kezdeményezte posztgraduális képzésben rész vett – anyagvizsgáló szakmérnökök szervezésében az *Anyagvizsgáló a gyakorlatban* szemináriumot is azzal a céllal, hogy elősegítsék a gyakorlati anyagvizsgálatokat végző szakemberek tapasztalatcseréjét, a kapcsolatépítést, figyelmet fordítva a fiatal szakemberek eredményeire, a fejlődési irányok áttekintésére – olvashatjuk a rendezvény beszámolójában.

Lapunk szerkesztési ars poetica-jával is szakmai közösségünk eredményeinek kölcsönös megismertetését és közérdekű információk közreadását szolgálja. Változatlanul kérjük és várjuk – a határon innen és túl dolgozó – szakértőink közös ügyünket szolgáló, önzetlen cikkírói segítségét csakúgy, mint hirdetőink, előfizetőink és nem utolsósorban kiadónk lapunk megjelenéséhez nyújtott anyagi támogatását.

Továbbra is szerkesszük együtt az Anyagvizsgáló Lapját!

Lehofer Kornél
felelős szerkesztő



Tisztelt Olvasóink!

Lapunk kézhezvételekor már küszöbön áll a karácsony és az új esztendő, melyek örömteli, békés és tartalmas megéléséhez – lapunk kiadója nevében is – jó egészséget, eredményes munkát és sok sikert kívánunk!

A szerkesztőbizottság

Tisztelt Előfizetőnk!
Előfizetése 2003. évi megújításához közvetlenül számlát küldünk.
Köszönjük érdeklődését!

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK – TESTING METHODS – PRÜFMETHODEN*Ernő CZOBOLY, Zdenek KNĚSL, John C. RADON:*

Creep and fatigue crack growth at elevated temperatures

Kúszási és fáradási repedésterjedés növelt hőmérsékleten

Kriech- und Ermüdungsrißausbereitung unter erhöhte Temperaturen 103

LEHOFER Kornél:

Hozzászólás a kúszási és fáradási repedésterjedés növelt hőmérsékleten témához

Remarks about the creep and fatigue crack growth at elevated temperatures

Diskussionsbeitrag zu Kriech- und Ermüdungsrißausbereitung unter erhöhte Temperaturen 110

ÁLLAPOTELLENŐRZÉS – CONDITION CONTROL – ZUSTANDSKONTROLLE*BOROSNYÓI Adorján:*

Vasbeton szerkezetek állapotellenőrzése korrózióra

Condition control of the reinforced concrete structures to corrosion

Zustandkontrolle der Eisenbetonstrukturen an Korrosion 114

SZEMLE – REVIEW – RUNDSCHAU 116**KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK – INSTRUMENTS, EQUIPMENTS – GERÄTE, ANLAGEN***Ken ALTMAN, Richard LINDNER:*

Digitális képalkotás és csővezeték-ellenőrzés

Digital imaging and pipeline inspection

Digitale Bildaufnahme und Rohrleitungskontrolle 117

JOÓ Katalin:

A MiniPal hordozható, energiadiszperzív röntgenfluoreszcens spektrométer

The MiniPal portable EDXRF spectrometer

Das MiniPal tragbare EDXRF Spektrometer 119

Gian Carlo LOCATI, Francesco BALDI:

Ikerfuratos kapilláris reométer

Twin boring capillary rheometer

Zwillingsloches Kapillarrheometer 122

PAPP Gábor:

Korszerű infravörös detektorok

Advanced infrared detectors

Zeitgemäßig Infrarotdetektoren 124

INTERNETFIGYELŐ – INTERNET MONITOR – INTERNET RUNDSCHAU 125**RmV-HELYZETKÉP – NDT-REVIEW – ZfP-RUNDSCHAU***TARNAI György:*

Vitaindító gondolatok az MSZ EN 473:2001 hazai értelmezéséről

Polemical essay about domestic interpretation of MSZ EN 473:2001

Debattenschift über heimischer Auslegung von MSZ EN 473:2001 126

SZABVÁNYOSÍTÁS – STANDARDISATION – NORMEN

Új, érvényes nemzeti szabványok – New valid national standards – Neue gültige Nationalnormen 130

MÉRFÖLKGÖVEK – MILESTONE – MEILENSTEIN

In memoriam GILLEMOT László (1912-1977) 113

GÖBLYÖS Béla, TÓTH László:

A fraktográfia rövid története

Sort history of farctography

Kurze Geschichte der Fraktographie 131

BESZÁMOLÓK – ACCOUNTS – BERICHTE*HELTAI György:*

Beszámolók spektrokémiai konferenciákról

Accounts of spectrochemical conferences

Berichte der spektrochemische Konferenzen 134

SOMOGYI György:

Anyagvizsgálat a gyakorlatban (Agy) szeminárium

Seminar about material testing in practice

Seminar über Materialprüfung in der Praxis 135

ESEMÉNYNAPTÁR – CALENDAR OF EVENTS – AKTUALITÄTKALENDER 136

Creep and fatigue crack growth at elevated temperatures

Kúszási és fáradási repedésterjedés növelt hőmérsékleten

Ernő Czoboly¹ – Zdenek Knésl²– John C. Radon³

„This paper is dedicated to the memory of Tibor Konkoly, PhD., DSc., Univ. Prof. Emeritus (1924-2000), whose support and advice will always be remembered.”

Ezt a tudományos közleményt néhai Dr. Konkoly Tibor emeritus egyetemi tanár (1924-2000) emlékére ajánljuk, akinek értékes támogatására és tanácsaira mindig emlékezni fogunk

Abstract

Engineering investigations of creep and fatigue, frequently involving fracture problems, require practical answers from modeling based on fundamental principles. It has been realized that a model suitable at atomic level may not be appropriate to solve the subsequent difficulties encountered at the macro level. However, the use of meso-fracture mechanics (FM) modeling methods, where definite assumptions and generalizations can be made, could provide an answer in macro-engineering situations. In this paper two crack growth models are described: the first, linking the micro to macro process in creep, while the second model of fatigue crack growth enables use of meso-fracture dynamics in cyclic crack growth at a range of frequencies and temperatures.

Creep crack growth can be separated into two regimes of failure, consisting of initiation (incubation) and steady cracking behavior. A creep process zone is developed at a grain size level and the application of parameter C^* will enable the predicting of both creep stages. Subsequent fatigue crack growth is completed using the second model.

Introduction

Sudden, often catastrophic failures of engineering materials, due to the application of cyclic loading are generally referred to as fatigue failures. Their importance is well recognised and the damage development in all types of materials and structures reported in the literature. Fatigue failures are usually caused at much lower stresses than under monotonic loading. Two common approaches for characterizing fatigue behavior are $S-N$ curves (such as Woehler curves) and fatigue crack propagation (FCP) analysis used in the present paper.

Crack growth behaviour has been investigated for many materials and it was concluded that a large number of factors might substantially influence failures. Changes in temperature and cyclic frequency are of particular importance. Increasing temperature and decreasing frequency may lead to a substantial decrease of fatigue resistance. Interaction of creep at higher temperatures, as well as long hold times incorporating in structural cycling, may lead to material degradation and consequent life reduction.

The creep fracture and failures in components are usually related to initiation and growth of cracks in areas of high stress concentration, heat

Összefoglalás

A kúszás és a fáradás jelenségére vonatkozó mérnöki kutatásoknál, amelyek gyakran a törés problémáját is magukba foglalják, olyan, a gyakorlatban használható válaszokra van szükség, amelyek alapvető elvekre épülő modellekre támaszkodnak. Nyilvánvaló, hogy egy atomi méretekre alkalmazott modell nem minden esetben alkalmas arra, hogy a makroszkópikus szinten jelentkező nehézségeket ezen az alapon lehessen megoldani. Ezzel szemben a mezo-törésmechanika (FM) modellezési módszerei, amelyeknél bizonyos feltételezéseket és általánosításokat lehet tenni, alkalmasak lehetnek a makroszkópikus, mérnöki kérdések megválaszolására. Az alábbi cikkben két repedés-növekedési modell szerepel: az első összekapcsolja a kúszás mikro- és makrofolyamatait, míg a másik modell a fáradásos repedés terjedésére vonatkozik, és ez lehetővé teszi a mezo-dinamikus törésmechanika alkalmazását a repedésterjedésre a frekvencia és a hőmérséklet függvényében.

A kúszási repedésterjedés a károsodás két szakaszára bontható: a kezdeti, inkubációs szakaszra és az állandósult, stabil repedésterjedésre. A repedés tövében kialakul egy károsodó kúszási zóna (creep process zone), amelynek nagyságrendje a krisztallitok méretével egyezik, és a C^* nemlineáris törésmechanikai paraméter alkalmazása (meghatározását lásd a Függelékben) lehetővé teszi a becslést mindkét kúszási szakaszban. Ez után vizsgáljuk a fáradási repedésterjedést a második modellel.

affected zone, and in degraded materials due to overaging and damage [1]. Localised embrittlement in a creep ductile material may also fail in a creep-brittle manner. Therefore it is possible to induce a creep crack growth in a material with a high uniaxial creep ductility if the crack tip damage is contained locally by means of geometry and constraint, or some form of material damage and degradation.

The aim of this study was to show the applicability of non-linear fracture mechanics (FM) crack growth model, at the meso-fracture mechanics level, based on C^* , to the initial and steady state stages of creep crack. Before creep redistribution occurs the crack tip stress profile can be described by linear fracture analysis. But with the advance of damage with time, the parameter C^* will be necessary to use. Simple high temperature tests results on engineering materials are presented in order to show the usefulness of the model in a practical situation. The crack growth data are compared with the predicted calculations for cracking rates using the present transient and steady state models. The characterisation of the crack growth rates in the initial stage of damage accumulation at first loading is described in terms of initial drop in the crack growth rate followed by the gradual increase in the rate to coincide with the steady state cracking rate.

Some of the limiting properties necessary in the preliminary design are: detailed operating temperatures of the components involved in the life analysis calculated in the operation schemes, such as power plants and aerospace engineering, or those parts of the machinery specified in detailed programmes; yield stress; ultimate strength; frequency and strain rate involved in operation.

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

² Institute of Physics of Materials, Academy of Sciences of the Czech Republic, Brno, Cseh Köztársaság

³ Imperial College, London, Anglia

Creep crack growth based on a creep process zone

A new model of creep crack growth [1] is based on stress and strain fields, assuming a creep damage process zone as in Fig. 1 and described in the following section.

Generally, when creep and time dependent mechanisms are involved, fractures are intergranular and the damage at the crack tip ranges from a local sharp crack to void ahead of the crack tip depending on the creep ductility of the material and the level of constraint. In the range of creep dominant cracking it is more appropriate to use non-linear fracture mechanics concepts and express the steady state time dependent cracking rate \dot{a} as a function of the creep fracture mechanics parameter C^* by assuming that the creep strain rate $\dot{\epsilon}$ is governed by the simplified Norton's creep rate [2]

$$\dot{\epsilon} = C\sigma^n \quad (1)$$

or in the form

$$\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} = \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^n \quad (2a)$$

and earlier developed – empirical (by Garofalo)

$$\dot{\epsilon}_s = H(\sinh \alpha \sigma)^n \quad (2b)$$

We obtain for a cracked body

$$\dot{a} = D_0 C^{\Phi} \quad (3)$$

where $\Phi = n/(n+1)$, a number slightly less than unity, and C are material constants, n is the creep index in Norton's creep law, C^* is the non-linear creep parameter evaluated at maximum load that is C^* is the creep equivalent of J integral using strain rate instead of strain in the above equations. (See formula in the Appendix). D_0 is the proportionality factor determined chiefly by the material creep ductility and the constraint local to the crack tip. An increase in crack growth is obtained by an increase in the degree of constraint and with decrease in ductility. Therefore material cracking behaviour will be controlled by both the material creep properties, specimen geometry and test variables such as temperature and frequency. Equation (3) has been experimentally investigated and shown to describe time dependant cracking behaviour over a range of crack tip constraints. D_0 and Φ are dependant on temperature and stress state. Thus the crack growth rate at elevated temperatures in eq. (3) will depend on material properties, loading conditions and time during the actual crack propagation.

Steady state behaviour

A model of creep crack growth under steady state conditions has been proposed by Nikbin, Smith and Webster [1] and is known as the NSW model. It is based on stress and strain fields characterised by C^* and combined with creep damage mechanism. When the damage is accumulated in the zone, Fig. 1, and reaches a certain failure value, the crack is postulated to progress.

The condition for the crack growth is

$$\dot{\epsilon}_{ij} = \int_{r_0}^r \dot{\epsilon}_i dt \quad (4)$$

The model can be described as follows [1, 3, 4]: In order to predict crack growth at high temperatures a creep process zone (CPZ) was modelled at the crack tip, Fig. 1, where cracking proceeds when an element of material experiences damage and rupture stress according to the local magnified state of stress. This non-linear stress singularity determines the rate at which the element of material accumulates damage, and failure occurs when the creep ductility ϵ_f^* appropriate to the

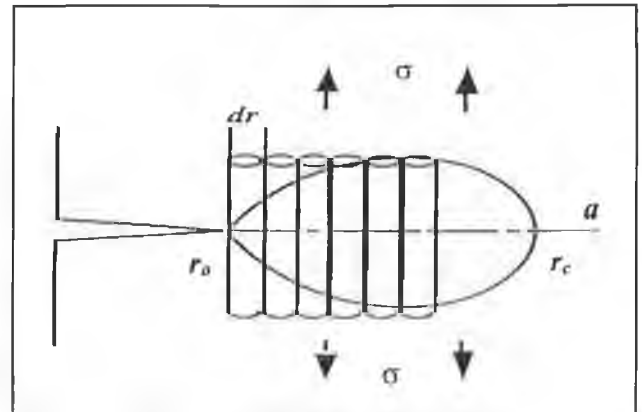


Fig. 1 Creep cracking process zone

1. ábra. A kúszási repedésterjedés során keletkező károsodó zóna

state of stress (or to the extent of constraint) at the crack tip is exhausted. For the case of plane stress $\epsilon_f^* = \epsilon_f$, where ϵ_f is the uniaxial creep ductility, the NSW model [1] for steady state creep crack growth gives \dot{a}_s in the form:

$$\dot{a}_s = \left\{ (n+1) / \epsilon_f^* \right\} \left[C^* / I_n \right]^{n/(1+n)} (A r_c)^{1/(n+1)} \quad (5)$$

where I_n is a non-dimensional function of n , r_c is the creep process zone, CPZ size over which each element sees the appropriate stress history and A is a material constant. This expression assumes the development of steady state damage distribution in the region of the process zone. It assumes that zero damage exists at $r = r_c$ and that progressively more damage is accumulated as the crack tip is approached. Therefore the model assumes that only little extra strain is required to break a small ligament dr at the crack tip since it will be almost broken before the crack will reach it. Since D_0 can be approximated by $3/\epsilon_f^*$, equation (5) can be simplified for practical engineering application generally as

$$\dot{a} = 3C^{\Phi} / \epsilon_f^* \quad (6)$$

known as the „approximate NSW engineering model” which describes creep crack growth from plane stress to plane strain, where \dot{a} is in mm/h, C^* in MJ/m².h and the creep strain ϵ_f^* as a fraction. The value of ϵ_f^* is taken as the material uniaxial creep ductility ϵ_f in plane stress, and as $\epsilon_f/50$ for the case of plane strain [4].

Transient analysis

It was previously reported [5] in the creep tests on low alloy steels (CrMoV and CrMo), Fig. 2, that the initial loading produced a „tail” at the beginning of the crack growth and discussed later. This sudden and unexpected steep crack growth can be attributed to a time dependent creep transition behaviour as shown in Figs. 2a and 2b in terms of da/dt vs. C^* [2, 6]. Similar tests on other materials confirmed that this behaviour is not singular. Fig. 3 presents our results on Al-alloy RR58 for a range of temperatures showing the tails at the start of the crack growth in Region I on DCB specimens. An increase of specimen size and possibly the side growing may assist to the rapid cracking rate. ASTM standards were used in all experimental work with the geometry of CT (compact type), but for some tests the behaviour of DCB (double cantilever beam, contoured) was also investigated (Fig. 4).

The transition time is usually described as the time taken to go from the elastic state of stress (Fig. 5) at the crack tip to a steady static creep stress referred to C^* stress field, see also [6]. By eliminating the data points up to the transition time, the actual periods of the tails that have been measured, are still apparent in the test data. This suggests that

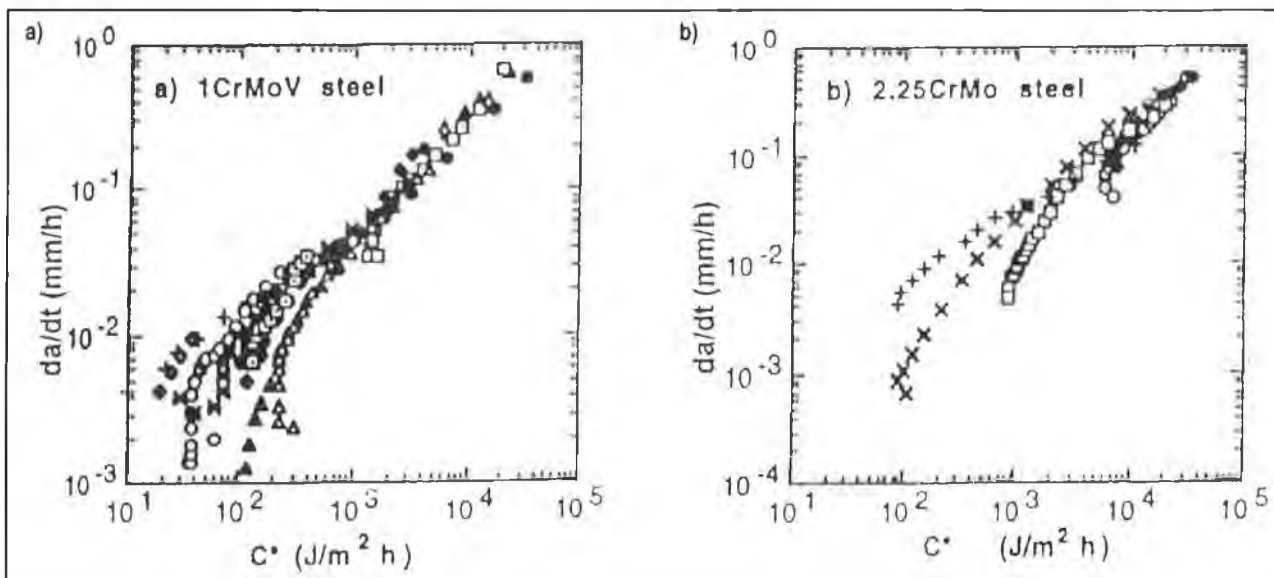


Fig. 2 Creep crack growth rate versus C^* of a) 1CrMoV and b) 2.25CrMo steel at 550 °C in CT specimens

2. ábra. A kúszási repedésterjedés sebessége a C^* függvényében a) az 1CrMoV acélra, b) a 2.25CrMo acélra 550 °C-on, CT próbatesteken mérve

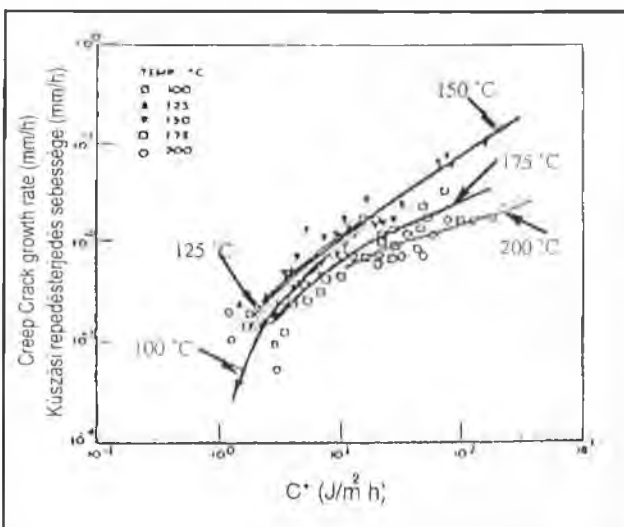


Fig. 3 Dependence of creep crack growth rate on temperature correlated versus C^* . Aluminium Alloy RR58 tested between 100–200 °C using DCB specimens

3. ábra. A kúszási repedésterjedési sebesség a hőmérséklet (100–200 °C) és a C^* függvényében.

A vizsgált anyag: RR58 jelű alumínium ötvözet, DCB próbatestek

upon the first loading the steady state situation at the crack tip has not yet developed, Fig. 2. Therefore, at the first loading in Region I a stable distribution of damage will have to be built up ahead of the crack before the real steady state crack growth begins.

Earlier study by Kenyon [6b] on RR58 confirmed that the initial period t_i in Fig. 6 can be reduced with increased initial crack length. Other

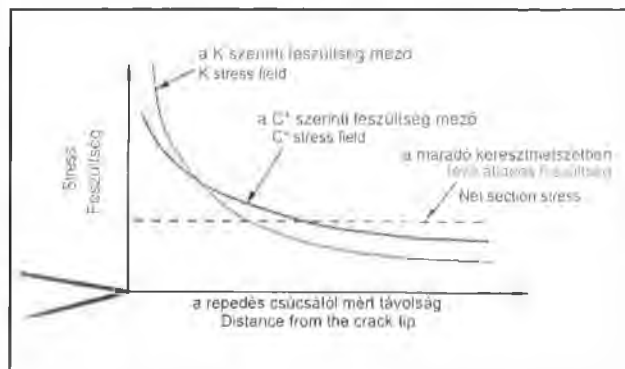


Fig. 5 Elastic and steady state creep stress distribution ahead of a crack tip

5. ábra. A feszültségek eloszlása a repedés csúcsa előtt a rugalmas és az állandósult kúszási állapotában

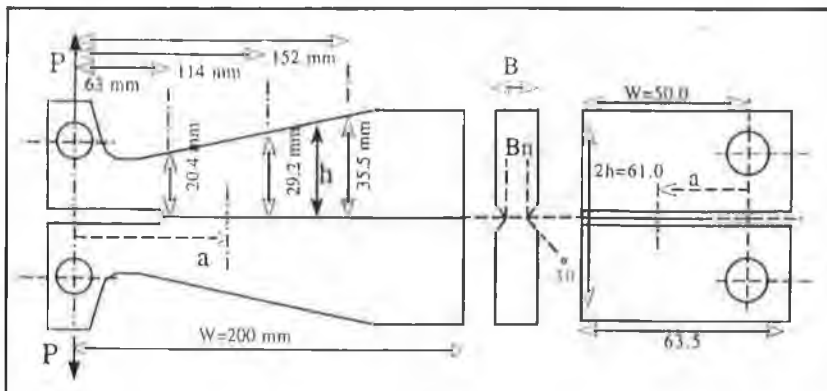


Fig. 4 Typical dimensions of DCB-C and the CT specimen employed in the tests. The DCB-P has the same size as the DCB-C but with parallel sides

4. ábra. A vizsgálatoknál használt DCB-C és CT próbatestek jellemző méretei.

A DCB-P próbatestek méretei azonosak a DCB-C méreteivel, de az oldalak párhuzamosak

possibility of this time reduction was observed by soaking the specimen at the test temperature before loading, and this indicates both geometry and aging sensitivity [6b].

Reconsider now the transient creep crack growth model in Fig. 6. The rather small differences between the steady and transient crack growth are due to the transient creep crack growth. This creep growth is starting from the undamaged state of material in the creep damage process zone, whereas the steady state model assumes a steady state distribution of damage in the process zone. It should be remembered that the creep damage accumulates in the micro-elements of the width dr , ahead of the crack tip. Note also, that the steady creep crack growth can be predicted analytically.

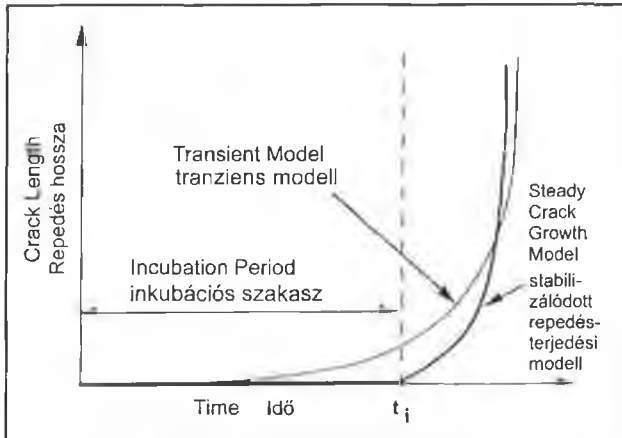


Fig. 6 Schematic time change of crack length using the combination of the incubation time and the steady crack growth

6. ábra. A repedés hossza és az idő közötti összefüggés vázlatos ábrázolása, felhasználva az inkubációs idő és a stabilizálódott repedés-terjedési sebesség kombinációját

The small ligament dr (Fig. 1.) will not have suffered any creep strain, and failure will not occur until a time dt has elapsed (cf. eq. (4)) given by

$$\dot{\epsilon}_j^* = \dot{\epsilon} dt \quad (7)$$

where $\dot{\epsilon}$ is the creep displacement rate. This leads to an initial creep crack growth rate \dot{a}_0 giving

$$\dot{a}_0 = dr / dt \quad (8)$$

and on adjustment giving

$$\dot{a}_0 = (1 / \dot{\epsilon}_j^*) [C^* / r_c]^{(1+n)} (A dr)^{1/(n+1)} \quad (9)$$

Equation (9) is very similar to that derived from the steady state damage conditions (equation (5)). It results in the relation

$$\dot{a}_0 = (1 / (n + 1)) (dr / r_c)^{1/(n+1)} \dot{a}_s \quad (10)$$

the ligament dr can be chosen to be a suitable fraction of r_c . However, since dr/r_c is raised to a small power in equation (10) it can be reduced to

$$\dot{a} \approx (1 / (n + 1)) \dot{a}_s \quad (11)$$

For most engineering materials therefore the initial crack growth rate is expected to be approximately an order of magnitude less than that predicted from the steady state analysis. The cracking rate will progressively reach the steady state cracking rate \dot{a}_s when the damage is accumulated. Numerical integration is required to evaluate equation (11). A computer program has been developed, using incremental crack extension, to evaluate the transition period resulting from the development and the accumulation of damage in accordance with equations (5 and 10).

The comparison of the experimental cracking rates in Fig. 2 for the two low alloy steels and the predicted results show that the trends at the initial stages and steady state of the cracking rates, where a tail exists in the experimental data, are predicted by the model satisfactorily. The results in Fig. 2 are for CT specimens as in ASTM E1457 and the appropriate formulae in the Appendix. The values of D_0 and Φ used in equation (3) determine the accuracy with which the steady state crack growth rates are predicted. There are no visible differences in trends. All show varying degrees of an initial tail and the model within a factor of two or less describe the transition to steady state. For the two alloys the calculations show that at most the transient cracking rate is approximately a factor of five less than the steady state crack growth rate. The reason for this similarity may be due to the differing constraint conditions, either due

to temperature, geometry or loading, that are imposed on the materials in order that they would behave in a creep-brittle manner under plane strain conditions. The cracking rate will progressively reach steady state cracking on the completion of damage accumulation.

Fatigue crack growth

Most engineering components which operate at elevated temperatures are subjected to non-steady loading during service. For example, electric power plant required to follow the demand for electricity, or equipment used for making chemicals may undergo a sequence of operations during the production process. The power plants have to change their operating temperature and pressure to follow the demands of electricity needed and to shut down and restart for their routine maintenance. Also aircraft experience a variety of loading conditions during take-off, flight and landing. There may, in addition, be a superimposed high frequency vibration. Similarly, equipment that is subjected to predominantly steady operating conditions may experience transients during start-up and shut down.

The gradual increase over the years in operating temperatures to achieve improved efficiency and performance of plants is causing materials to be used under increasingly arduous conditions. The first stage blades in aircraft gas-turbines can, for example, experience centrifugal stresses in the region of 150-200 MPa at gas temperatures that can exceed their incipient melting temperatures. Under these circumstances, survival is only possible if cooling is adopted to reduce average blade temperatures and coating are used to limit erosion and environmental attack. The steep temperature gradients produced by the cooling will, however, introduce thermal stresses which will be regenerated each flight cycle and which can give rise to a mode of failure called thermal fatigue. The same situation can occur during rapid start-ups and shut-downs in thick sections of other components. Thermal fatigue is the type of failure that can occur by repeated application of predominantly thermal stresses that are produced by local constraint imposed by the surrounding material.

It is apparent, depending on the material and operating conditions, that creep, fatigue and environmental processes may contribute to failure. The dominating mode of failure in particular circumstance will depend on such factors as material composition, heat-treatment, cyclic to mean load ratio, frequency, temperature and operating environment.

In the preceding sections, creep crack growth under steady loading was discussed. For the prediction of the crack growth in components at elevated temperatures, the interaction of creep and fatigue crack growth are introduced first. Then a prediction of crack growth under the combination of creep and fatigue will be outlined.

Before considering creep-fatigue crack growth, some observations concerning the characteristics of fatigue crack growth will be discussed. References [7, 8] give various description and views of the problems involved in fatigue and creep/fatigue conditions. Fatigue mechanisms usually dominate at room temperature. Procedures for measuring the fatigue crack propagation properties of material at room temperature are described in reference [10]. Fatigue crack growth is usually observed as transgranular cracking at low temperature. At elevated temperature, transgranular cracks are also observed under relatively high frequency cycles ($f > 1\text{Hz}$) and this fatigue crack growth rate can still be characterised by elastic or elasto-plastic fracture mechanics parameters in most cases. Thus in the range of one-parameter fracture mechanics, when the effect of plasticity can be neglected, the stress field is expressed in the form

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} F_{ij}(\theta) \quad (12a)$$

around a crack tip, where F_{ij} is a function of the polar angle θ and K is the stress intensity factor.

The crack growth per cycle da/dN is often plotted against the stress intensity factor range ΔK which is defined as the difference between the maximum K_{max} and minimum K_{min} stress intensity factors applied each load cycle. ΔK is given [7] as

$$\Delta K = F \Delta \sigma \sqrt{a} \quad (12b)$$

where $\Delta \sigma$ is the range of the applied stress, and F is the non-dimensional geometry factor. The crack growth rate da/dN is correlated with ΔK using the power law relation in steady state fatigue as,

$$da/dN = C_f \Delta K^m \quad (13)$$

where C_f and m are material constants and m is typically around 3. Typically, da/dN is sensitive to the mean stress or load ratio R defined by

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \quad (14)$$

where σ_{min} and σ_{max} are the minimum and the maximum stress, respectively. To include the effect of the load ratio, the effective stress intensity range ΔK_{eff} is used, several formulae to define ΔK_{eff} have been proposed. However, it should be noted, that the majority of fatigue tests were performed at sinusoidal loading, between $\sigma =$ zero and σ_{max} , as described elsewhere [9] and constant temperature.

In the range of conventional one-parameter fracture mechanics (FM) method the relation (13) is assumed to be a material curve, i.e. for a given material and a set of boundary conditions (including a particular value of R), the growth rates should depend only on ΔK , i.e., the da/dN vs. ΔK curve should be independent on the geometry of the body. However, it has been noted that with ΔK held constant, the rate of the fatigue crack propagation may depend on the geometry of a specimen and varies with the degree of constraint in front of the crack tip.

Two-parameter fracture mechanics method is based upon the assumption that the fracture behaviour of the test specimen is the same as that of the structure, if both have the same value of the stress intensity factor and the same range of constraint parameters. The elastic T-stress used in the two-parameter FM denotes a constant stress acting parallel to the crack flanks and is related to the first non-singular term in the Williams expression of the stress field [8].

In the region of two-parameter FM this stress field can be expressed in the form

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} F_{ij}(\theta) + T \delta_{ij} \delta_{ij} \quad (15)$$

where F is a function of the polar angle θ .

Here the influence of constraint on fracture behaviour is described using mainly T-stress and it was shown that the fatigue crack rate is influenced substantially in cases where T-stress is negative. The effect of positive T values on the rate of propagations is much less pronounced than it is for negative T stress. The one-parameter description is rigorously correct only for $T = 0$, but can be accepted for positive values of T as well. Note that for three point bend specimen (and $a/w > 0.4$) and compact tension specimen the values of T-stress are positive and both approaches (one- and two-parameter) are practically identical. Further particulars on the T-stress influence are in [8].

Elevated temperature cyclic crack growth

In the previous section cyclic crack growth was considered where time dependent effects were not important and where cracking was controlled mainly by fatigue mechanisms. As temperature is increased, time dependent processes become more significant. Creep and environmentally assisted crack growth can take place more readily since they are aided by diffusion and rates of diffusion increase with rise in temperature. The effects of frequency, temperature, mean stress and environment are considered elsewhere [9, 10].

Frequency effects can be investigated in continuous cycling tests, or

by introducing hold periods into a cycle or by other changes. However, it is found that wave-shape is relatively unimportant compared with the temperature and mean load at which the cycling is taking place. Generally the influence of frequency on crack propagation rate is more pronounced with increase in temperature and R . Figure 7 presents a schematic description of cracking rate versus ΔK for cyclic cracking at elevated temperatures showing the effects of frequency, R -ratio and temperature. A higher crack propagation rate is observed with increase in load range. In all cases, crack propagation rate increases slowly at first before accelerating rapidly as final fracture is approached. As a consequence, most of the time in these tests is spent in extending the crack a small distance and the number of cycles to failure is not significantly influenced by the crack size at which fracture occurs [5].

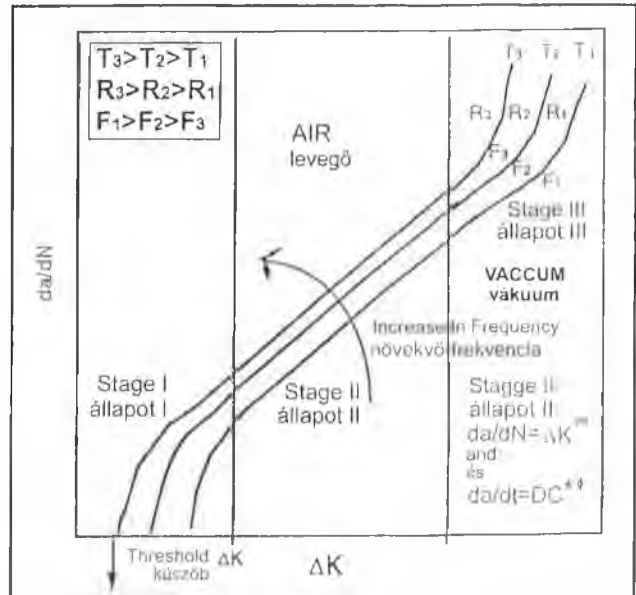


Fig. 7 Cyclic crack growth at elevated temperatures
7. ábra. A fázadós repedés növekedése növelt hőmérsékleten

Creep-fatigue crack growth interaction

When alternating loads are applied to high temperature structures, the crack growth in the structures will be subject to both creep and fatigue. Interaction between creep and fatigue is expected under cyclic loading. Some of the causes of creep-fatigue interaction might be the enhancement of fatigue crack growth due to embrittlement of grain boundaries or weakening of the matrix in grains and enhancement of creep crack growth due to acceleration of precipitation or cavitation by cyclic loading. The importance of creep-fatigue interaction effects is largely dependent on the material and loading conditions. Nevertheless, the simple linear summation rule for creep-fatigue crack growth defined by the following equation has been successfully applied to predict the crack growth in several engineering metals [11]:

$$\frac{da}{dN} = \left(\frac{da}{dN} \right)_{creep} + \left(\frac{da}{dN} \right)_{fatigue} = \frac{1}{3600f} \left(\frac{da}{dt} \right)_{creep} + \left(\frac{da}{dN} \right)_{fatigue} \quad (16)$$

or

$$\frac{da}{dt} = \left(\frac{da}{dt} \right)_{creep} + \left(\frac{da}{dt} \right)_{fatigue} = \left(\frac{da}{dt} \right)_{creep} + 3600f \left(\frac{da}{dN} \right)_{fatigue} \quad (17)$$

where da/dN is crack growth per cycle in mm/cycle, da/dt is crack growth rate in mm/h, and f is frequency in Hz.

Effects of the influence of frequency [5] on crack growth /cycle in a nickel base alloy (API), again using CT specimens, at 700 °C are shown in Figs 8 and 9. Figure 8 indicates a dependence of da/dN on frequency at a range of R . In the steady state cracking region crack growth can

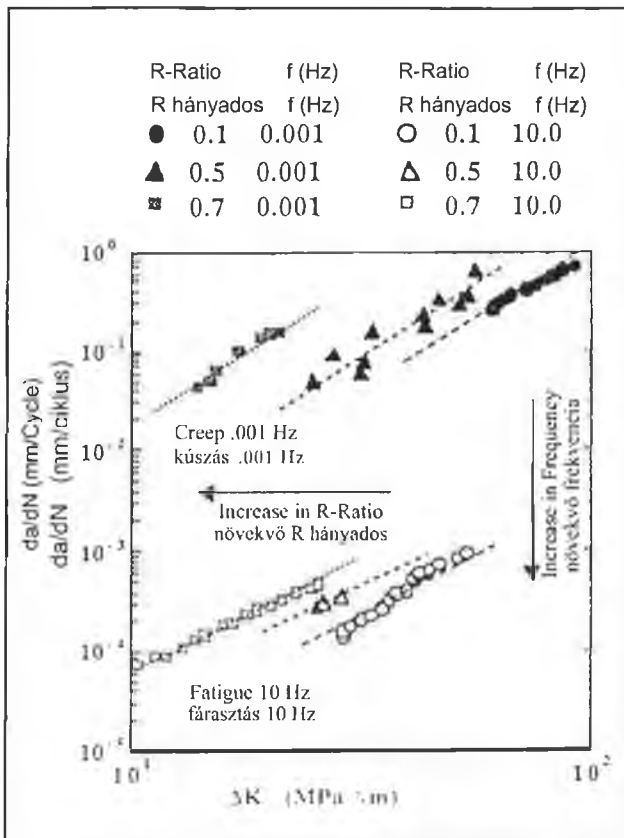


Fig. 8 Dependence of crack growth on frequency and R-ratio for an AP1 nickel-base superalloy tested at 700 °C.

8. ábra. A repedésterjedés sebességének függése a frekvenciától (f) és az R hányadosától az AP1 nikkél alapú szuperötvözetnél 700 °C-on

be described by the Paris law (see equation (13)) with $m \approx 2.5$. This value is within the range expected for room temperature behaviour. Correlation of results obtained at $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ for specimen thickness ($B = 25 \text{ mm}$) is depicted in Fig. 9. Furthermore, in Figure 9 the two dashed lines show the relative behaviour of the creep and the fatigue components of da/dN .

The slope of -1 indicates time dependent creep cracking and the approximate horizontal line indicates fatigue control of da/dN . Therefore by adding the two components it is clear that at high frequency creep is seen to have third order effect on cracking rate and conversely at low frequencies fatigue has a third order effect. From metallurgical and fractographic investigations performed on the alloy tested in the creep and creep-fatigue range similar qualitative conclusions were reached with respect to the mode of the creep-fatigue interaction.

The intermediate frequencies show a mixture of intergranular and transgranular cracking modes. These suggest that the two mechanisms work in parallel and that cumulative damage concepts proposed above can well describe the total cracking behaviour [11, 12].

Interpretation of the crack growth

It was shown in the previous section that fatigue crack growth rates at a higher frequency $f = 1 \text{ Hz}$ can be successfully characterised by effective stress intensity factor range ΔK_{eff} . However at a very low frequency, creep plays a

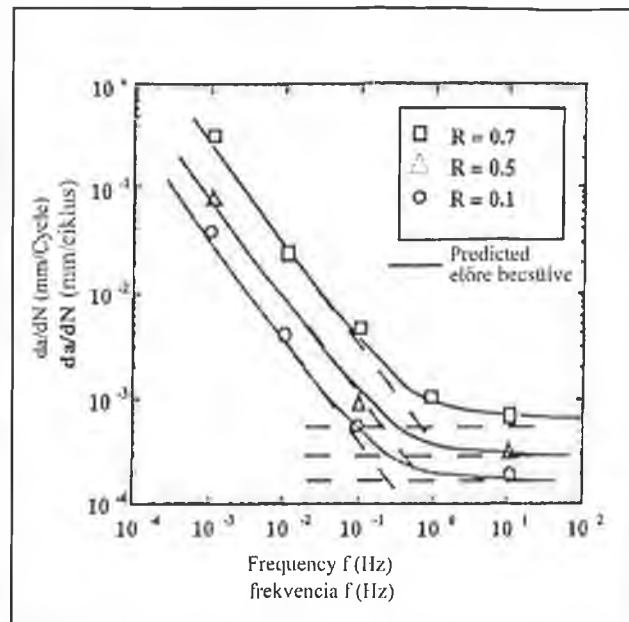


Fig. 9 Fatigue crack growth sensitivity to frequency and R-ratio in an AP1 nickel base superalloy tested at 700 °C at constant $\Delta K = 30 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$

9. ábra. A fáradásos repedésterjedés (da/dN) érzékenysége a frekvenciára (f) és az R hányadosra az AP1 nikkél alapú szuperötvözetnél 700 °C-on és $\Delta K = 30 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ állandó terhelésnél.

large role in the crack behaviour [5]. To examine frequency dependence of crack growth at elevated temperatures, experiments under different loading frequencies were carried out at the laboratories of Imperial College on the 0.5CrMoV steels and new 2.25CrMo steel (to be reported later). Preliminary data are as follows: chemical composition of both low alloy steels are shown in Table 1. Elastic modulus E is 150 GPa at the testing temperature of 550 °C, yield stress $\sigma_y = 100 \text{ MPa}$. The ASTM formulae used for all tests are shown in the Appendix.

The relationships between frequency and crack growth per cycle for the new 2.25CrMo steel and 0.5CrMoV steel using CT specimens, $B = 25 \text{ mm}$, are shown in Figs. 10 and 11. Figure 10 is for maximum stress

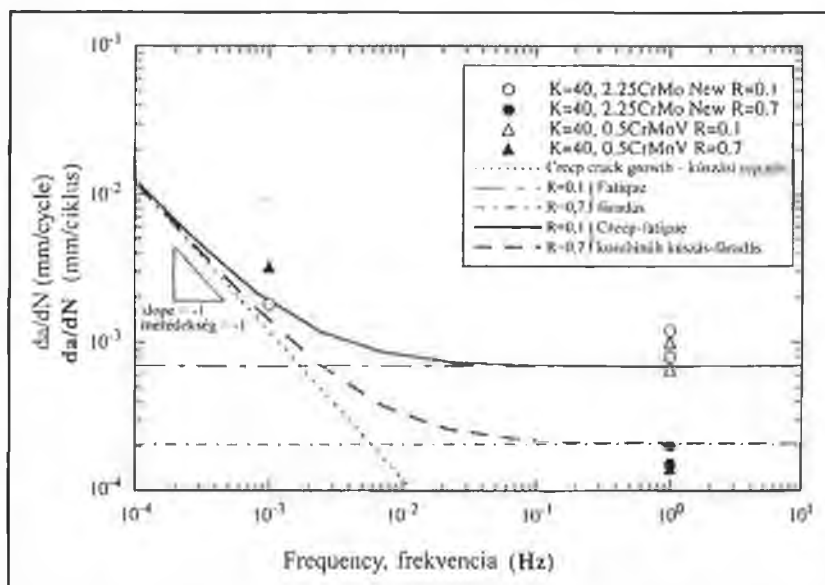


Fig. 10 Frequency dependence of crack growth rate at $K_{\text{max}} = 40 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ for 0.5CrMoV steels and new 2.25CrMo steels

10. ábra. A repedésterjedési sebesség (da/dN) függése a frekvenciától (f) $K_{\text{max}} = 40 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ állandó terhelés hatására a 0.5CrMoV és új, 2.25CrMo acéloknál

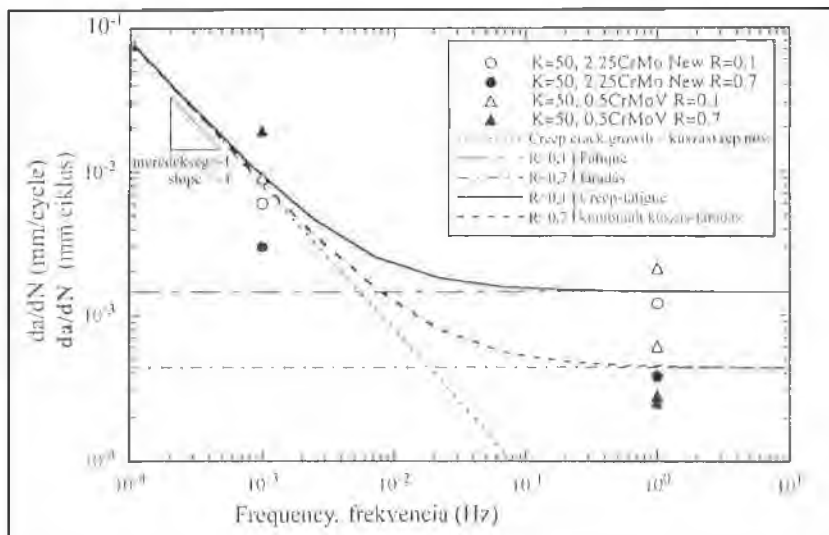


Fig. 11 Frequency dependence of crack growth rate at $K_{max} = 50 \text{ MPa.m}^{1/2}$ for 0.5CrMoV steels and new 2.25CrMo steels

11. ábra. A repedésterjedési sebesség függése (da/dN) a frekvenciától (f) $K_{max} = 50 \text{ MPa.m}^{1/2}$ állandó terhelés hatására a 0.5CrMoV és az új, 2.25CrMo acéloknál

intensity factor $K_{max} = 40 \text{ MPa.m}^{1/2}$, and Fig. 11 is for $K_{max} = 50 \text{ MPa.m}^{1/2}$. As shown earlier, Fig. 9, if a creep mechanism is dominant, the slope should be -1 because of constant creep crack growth in time, while a crack growth rate should be constant if fatigue crack growth dominates. Changes of crack growth per cycle between $f = 1 \text{ Hz}$ and $f = 0.001 \text{ Hz}$ have neither a slope of -1 or 0 in log-log plotting in Fig. 10. Furthermore, stress ratio dependence is observed at high frequency, but it may be not always clear at low frequency. Therefore, for the present state transition from creep dominance to fatigue dominant growth is expected to occur between these two frequencies. Predictions based on a linear accumulation rule [5] are compared with experimental results in Figs. 10 and 11 C^* values to predict creep crack growth have been determined experimentally between 0.001 Hz and 0.1 Hz .

From the above results, linear accumulation of creep and fatigue crack growth can be applied for predicting creep/fatigue crack growth for the low alloy steels, provided account is taken of threshold behaviour at low stress levels. To describe creep-fatigue interaction in creep-to-fatigue transition region, detailed experiments between 0.01 Hz and 0.1 Hz with various stress levels are in progress.

Table 1: Chemical Composition of Low Alloy Steels (weight%)

1. táblázat: Gyengén ötvözött acélok kémiai összetétele (súly%)

Materials Acélok	2.25 CrMo	2.25CrMo	2.25CrMo	0,5CrMoV	0,5CrMoV
	New/új	SE thin wall	SE thick wall	New/új	SE
C	0,13	0,09	0,10	0,13	0,15
Si	0,29	0,48	0,35	0,17	0,29
Cr	2,31	2,20	2,13	0,44	0,42
Mo	0,96	1,00	1,04	0,52	0,53
Mn	0,54	0,39	0,39	0,59	0,48
V	N/A	N/A	N/A	0,25	0,30
Ni	N/A	0,12	0,12	N/A	N/A
P	0,026	0,01	0,01	0,027	0,02
S	0,028	0,01	0,01	0,013	0,009
N	N/A	N/A	N/A	0,003	0,01

Notes - Megjegyzések: SE = Service exposed material. thin/ thick wall - üzemszerűen használt anyag, vékony/vastag falú; N/A = Not available - nincs adat

Conclusions

This paper presents an example of how to transfer fundamental concepts of creep and fatigue to engineering applications by the use of a fracture mechanics modelling technique at the intermediate stress (meso)level. Due to the number of unknowns the modelling at the atomistic level will be unable to solve the problem at the macro level. However the use of meso-fracture mechanics modelling techniques, where assumptions and certain generalisations can be made, could provide an answer to macro engineering problems. It has been shown that creep crack growth can be separated into two regimes of failure consisting of initiation/incubation and a steady cracking behaviour. A creep process zone, described at a grain size level and the modelling concept using the parameter C^* are used to predict the transition and the crack growth stages. The model is used to describe crack initiation and growth behaviour in a range of engineering alloys showing, that the model does not have to perform under very strict conditions. The predicted results show that initial cracking rate \dot{a}_i could be up to

approximately 1/5 of the steady state crack growth rate \dot{a}_s . This value is consistent with the experimental data for the alloys considered. The period over which the transition takes place in the predictions has also been found to be about 40% of total life and it compares well with the first stage crack initiation and growth times found experimentally.

Appendix

The formulae used for calculating K , reference stress and the C^* parameter

1) Stress intensity factor for CT specimen (ASTM E 1457)

$$K = \frac{P}{\sqrt{B B_N W^{1/2}}} \frac{2 + a/W}{(1 - a/W)^{1/2}} f(a/W)$$

where:

$$f(a/W) = 0.866 + 4.64(a/W) - 13.32(a/W)^2 + 14.72(a/W)^3 - 5.6(a/W)^4$$

2) Reference stress for CT specimen

$$\sigma^{ref} = \frac{P}{m B_{ref} W}$$

where:

$$m = - \left(1 + \gamma \frac{a}{W} \right) + \sqrt{ \left(1 + \gamma \right) \left(\gamma \left(\frac{a}{W} \right)^3 + 1 \right) } \quad \gamma = \frac{2}{\sqrt{3}}$$

$$B_{ref} = B - \frac{(B - B_N)^2}{B}$$

B = thickness of the specimen

B_N = the net thickness

3) C^* parameter (ASTM E 1457)

$$C^* = \frac{P V_c}{B_N (W - a)^{n+1}} \left(2 + 0.522 \frac{W - a}{W} \right)$$

where: V_c = creep displacement rate

n = creep exponent

Acknowledgement

Research was supported through research project Z2 041 904 (Czech Republic) and research project K 1076602 Academy of Sciences of the Czech Republic.

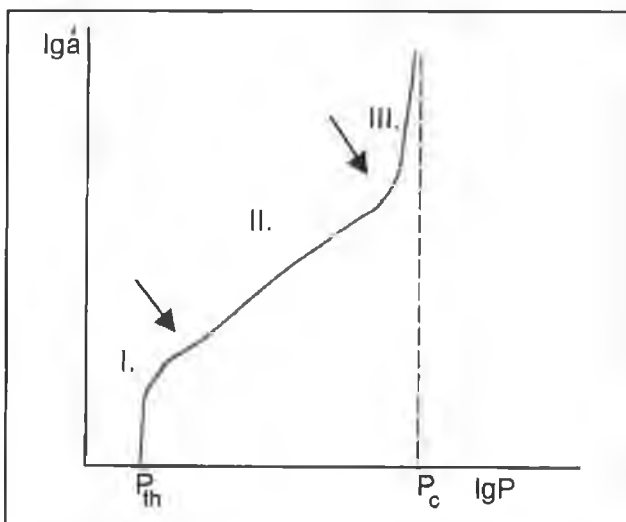
References

- [1] Nikbin, K.M., Smith, D.J., Webster, G.A.: An engineering approach to the prediction of creep crack growth, J. Eng. Mat. Tech., 1986, 108, pp.186-191.
- [2] Nikbin, K.M., Smith, D.J., Webster, G.A.: Influence of creep ductility and state of stress on creep crack growth, in Advances in life prediction methods at elevated temperatures, eds. D.A. Woodford, J.R. Whitehead, 1983, ASME, New York, pp. 249- 258.
- [3] Riedel, H., Rice, J.R.: Tensile cracks in creeping solids, Fracture Mechanics, ASTM STP 700, 1980, pp.112-130.
- [4] Nikbin, K.M., Nishida, K., Webster, G.A.: Creep/Fatigue crack growth in a 10% Cr martensitic steel, presented at ICM6, Japan, August, 1991.
- [5] Nikbin, K.M. and Radon, J.C.: Prediction of fatigue interaction from static creep and high frequency fatigue crack growth data, in Advances in Fracture Research, Vol.1, pp. 423-429, Sydney 1997.
- [6a] Hutchinson, J. W.: Singular behaviour at the end of a tensile crack in a work-hardening material, J. Mech. Phys. of Solids, 1968, 16, pp.13-31.
- [6b] Kenyon et al.: Creep and fatigue applications. Paper 156, Int. Conf. Mech. Engng., 1973, pp.182-199.
- [7a] Czoboly, E., Havas, I., Radon, J.C.: Generalized Fracture Theory, in: Fracture; A Topical Encyclopedia of Current Knowledge Dedicated to Alan Arnold Griffith. Ed.: G. Cherepanov. Krieger Publ. Co. Melbourne, USA 1995. pp.234-243.
- [7b] Czoboly, E., Radon, J.C.: Problems of fatigue crack growth. Periodica Polytechnica, 1988, vol.32, pp.107-117.
- [8] Knésl, Z., Bednár, K., Radon, J.C.: Influence of T-stress on the rate of propagation of fatigue cracks, Physical Mesomechanics, Vol.3, 5, 2000, pp. 5-9.
- [9] Radon, J.C.: On some frequency effects in fatigue, Materials Engineering (Materiálové inžinierstvo), Vol.VII, No 4, 2000, pp.1-8,
- [10] ASTM E 647-86a, Standard test method for measuring fatigue crack growth rates, ASTM, Philadelphia, 1987, 03.01, 899-926.
- [11] Radon, J.C.: Interaction of creep and fatigue, Materials Engineering (Materiálové inžinierstvo), Vol. VIII, No 3, 2001, pp. 1-8.
- [12] Radon, J.C., Knésl, Z.: Creep and fatigue crack growth at high temperatures, Materials Engineering (Materiálové inžinierstvo), Vol. IX, No 2, 2002, pp.1-8.

Hozzászólás a kúszási és fáradási repedés-terjedés növelt hőmérsékleten témához

Lehofer Kornél

A kísérleti tapasztalatok egybehangzóan azt igazolják, pl. az előző cikk, de az [1] és a [2] is, hogy a szerkezeti elemben (próbatestben) meglévő a méretű repedés akkor terjed, ha a repedés csúcánál az igénybevételt leíró P törésmechanikai jellemző [vagy annak megváltozásának (ΔP)] értéke nagyobb egy ún. P_m küszöbértéknél, és akkor – fáradás esetén a ciklusonkénti, kúszás esetén az egységnyi időtartam alatti – repedésnövekedés sebessége a törésmechanikai jellemző függvényében – kettős logaritmus koordináta-rendszerben – az 1. ábra szerint változik. Az igénybevétel módjától függően a P jellemző lehet, pl. a K feszültségintenzitási tényező ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), vagy a C^* ($\text{J}/\text{m}^2\cdot\text{h}$) nemlineáris kúszási törésmechanikai jellemző.



1. ábra. Az (P) függvény lefutása kettős logaritmus koordináta-rendszerben (vázlat)

Kettős logaritmus koordináta-rendszerben az $\dot{a}(P)$ függvény középső, II. szakasza közel lineáris ezért közelíthető az ismert tapasztalati hatványfüggvénnyel:

$$\dot{a} = A \cdot P^n \quad (1)$$

Az A együttható és az n kitevő, amelyek adott feltételek között állandók, nem függetlenek egymástól. Az $\ln A$ és az n összetartozó értékei között lineáris korreláció van, amelynek érvényessége – egyesek, pl. [1], állításával ellentétben – nem korlátozódik egy adott ötvözet-re. Tóth László és társainak kutatásai szerint [3] – alapvető anyag-szerkezeti okok miatt – egyes ötvözet-csoportokra azonos korrelációs összefüggés érvényes, mégpedig függetlenül a hőmérséklettől és – fárasztás esetén – az igénybevétel aszimmetria tényezőjétől is. Ilyen ötvözet-csoportoknak bizonyultak a diszperz karbidokkal keményített ferrites acélok, az öntöttvasak, a nemesített Al-ötvözetek és a Ti-ötvözetek. Az A -és az n anyagszerkezet-függését, például az [1] tanulmányban közölt szövetszerkezeti és fraktográfiai vizsgálatok is alátámasztják.

Az elmondottakat bizonyítja az is, hogy az említett ferrites acélok csoportjára a fáradás okozta repedésnövekedési adatokból (\dot{a} mm/ciklus, $K \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) meghatározott korrelációs egyenes [3], az

$$\ln A = -9,181 - 3,300 \cdot n,$$

párhuzamos a kúszás okozta repedésnövekedés [1]-ben közölt adataiból (\dot{a} mm/h, $K \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) meghatározott:

$$\ln A = -4,144 - 3,261 \cdot n$$

egyenessel. Vagy is, a párhuzamos eltolódás az különböző dimenzióiból ered.

A repedésterjedés (1) összefüggéssel közelített szakaszának hőmérsékletfüggését a folyamat termoaktivált jellege határozza meg.

Schuchttár Endre melegalakító (K13 – közepesen ötvözött, ferrites) szerszámacél izotermikus (20, 300 és 500 °C) fárasztóvizsgálata alapján a következő összefüggésre jutott [4]:

$$\frac{d\dot{a}}{dN} = A_0 \cdot \Delta K^{(n_1/RT+n_2)} \cdot \exp(Q_0/RT) \quad (2)$$

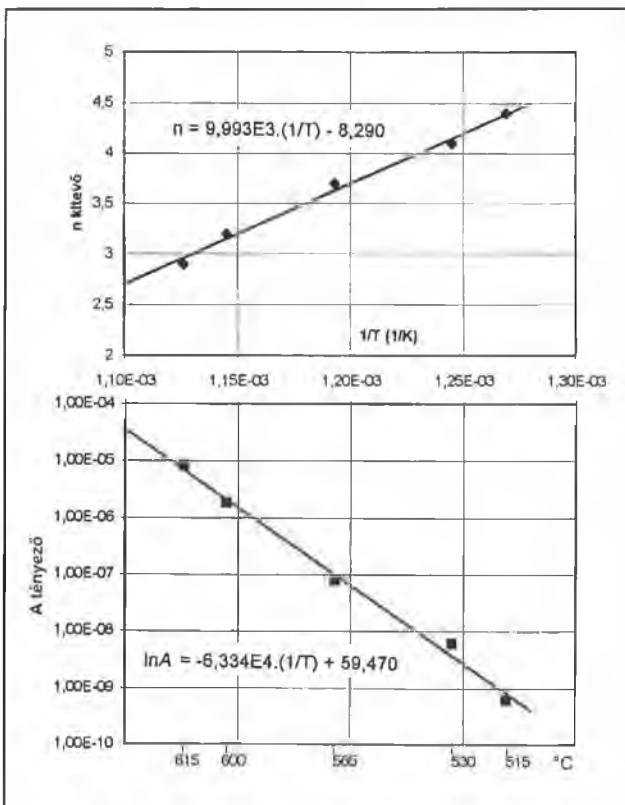
ahol A_0 , n_1 és n_2 állandók, Q_0 a folyamat aktiválási energiája, T a hőmérséklet (K), R az egyetemes gázállandó. Az (1) és a (2) egyenletek összevetéséből következik az A együttható és az n kitevő hőmérséklet-függése, mégpedig:

$$A = A_0 \cdot \exp(-Q_0/RT) \quad (3)$$

$$n = \frac{n_1}{RT} + n_2 \quad (4)$$

Vagy is, adott igénybevételi mód és anyagszerkezeti állapot esetén az izotermikus vizsgálatokkal meghatározott A értékek logaritmusa, illetve az n értékek az $1/T$ lineáris függvényei.

Ezt igazolják Tuljakov, G. A. kúszási igénybevétellel végzett repedésterjedési kísérletei is [1]. Ám Tuljakov a kúszási igénybevétel okozta repedésterjedés leírásakor – a kúszási és a repedésnövekedési görbék hasonlósága alapján, de tekintettel a folyamat termoaktivált voltára – a repedésterjedési sebességre az állandósult kúszássebességre érvényes, Norton-típusú összefüggést használta úgy, hogy a σ feszültség helyére az igénybevételre jellemző P törésmechanikai jellemzőt írta. Feltételezte, hogy a kúszási igénybevétel alatt a törés az a_0 induló méretű repedés a_{kr} kritikus méretre növekedésével megy végbe, és meghatározta a sebességi egyenletből integrálással a törésig terjedő időt. A kúszási repedésterjedési összefüggéséből lényegében a Schuchtárnak megfelelő (de fárasztási kísérletekkel alátámasztott) összefüggések kiolvashatók, és kísérleti adataival igazolhatók. Kúszási repedésterjedési kísérleti eredményeit Tuljakov – célszerűségi okokból – az egyszerűbb, (1) hatványfüggvénnyel értékelte. Tanulmánya táblázatában a kúszásra igénybevett 15H1M1FI minőségjelű, bénites szövetszerkezetű acéliminták $P=K$ esethez tartozó adatait a (3) és a (4) összefüggés szerint értékeltük. Látható a 2. ábrából, hogy az $\ln A(1/T)$ és az $n(1/T)$ függvények egyenesek, a lineáris korreláció igen szoros: $r = 0,996$, mindkét esetben.



2. ábra. Az A együttható és az n kitevő hőmérsékletfüggése

Vagy is, növelt hőmérsékleten a fáradás okozta repedésnövekedés II. szakaszára kapott összefüggéssel a kúszás (vagy mindkettő együtt) okozta repedésnövekedés is leírható.

A kúszási repedésterjedés leírására az előző cikkben alkalmazott Nikbin–Smith–Webster-modell is az állandósult kúszássebesség Norton-típusú egyenletéből származtatja a cikk (3), illetve (6) egyenleteit, amelyek az itt általános alakban felírt (1) hatványfüggvénnyel formailag azonosak. A többlet, amit ez a modell szolgáltat az, hogy abból a feltevésből, miszerint a repedés akkor terjed, ha a repedés csúcsa előtt – a cikk 1. ábrája szerinti – zónára összpontosuló (kristályhatármenti üregképződéssel járó) kúszási károsodás kimerítette a zóna alakváltozó képességét (azaz $\epsilon_f^* = \epsilon_p$ ahol ϵ_f az egytengelyű kúszás alakváltozási törési kritériuma), összefüggést állapít meg az (1) típusú függvény n és a Norton-típusú feszültségfüggvény m kitevői (a cikkben Φ és n) között: $n = m/(m + 1)$; és az (1) típusú egyenlet A tényezőjére az $A = 3/\epsilon_f^*$ kapcsolat áll fenn.

Annak ellenére, hogy a repedésterjedés 1. ábra szerinti II. szakasza a törés időtartamának jelentős részét képezi, ma már nyilvánvaló, hogy a folyamat jobb megértése és átfogó leírása érdekében túl kell lépünk az (1) típusú, ún. Paris–Erdogan összefüggésen. Különösen fontos a küszöbértékkel induló I., átmenti szakasz elemzése.

A kúszási igénybevétel hatására terjedő repedés átmeneti („tail” – „farok”) I. szakaszával az előző cikk is foglalkozik, mégpedig a repedés csúcsa előtti zóna károsodása alapján meghatározza a kúszási repedésnövekedés a_0 kezdeti, azaz a küszöbértékhez tartozó értékét [a cikk (11) egyenlete]. Teljesebb megoldást kínáltak Bina, V. és társai [2] a repedésterjedés leírására. Az előző cikk 6. ábrájának modelljével egyezően először a terjedni képes méretű repedés létrejötte t_i időigényét leíró $t_i(P,T)$ függvényt határozzák meg a kúszássebesség analógiát hasznosítva, majd a P törésmechanikai jellemző P_{th} küszöbértékének és a törés pillanatához rendelhető P_c legnagyobb értékének felhasználásával a kúszási repedésterjedés I.–III. szakaszára a következő összefüggést alkalmazták:

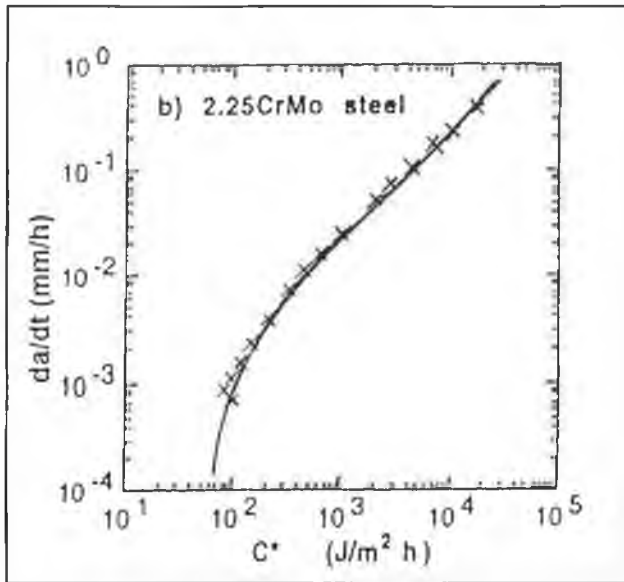
$$\dot{a} = A_p \left[\frac{P - P_{th}}{P_c - P} \right]^m \quad (5)$$

ahol A_p és α állandók, amelyeknek hőmérsékletfüggését is vizsgálták. Mivel a P_{th} küszöbérték kísérleti meghatározása nehézkes, ezért szerzők az $= 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ (10^5 óra alatt 1 mm repedésnövekedés) értékhez tartozó P értéket javasolják küszöbértéknek, amelyet extrapolálásal határoznak meg figyelembe véve a $t_i(P,T)$ függvényt.

Az előző cikk 2b. ábrájának x-szel jelzett adatait felhasználva meghatároztuk az (5) egyenlet állandóit. A 3. ábra tanúsága szerint az (5) egyenlettel a kúszási repedésterjedés teljes tartománya jól leírható.

Ezek az eredmények is alátámasztják a megújulással végbemenő kúszás hőmérséklet-tartományában érvényes, a kúszás és a kifáradás egységes leírására levezetett összefüggések [5] létjogosultságát. De hangsúlyoznom kell – amit más kutatók általában figyelmen kívül hagynak fárasztóvizsgálataik ciklusidejének megválasztásakor, vagy kísérleti eredményeik értékelésekor –, hogy a kúszási összefüggések alkalmazása a fáradás leírására csak addig érvényes, amíg egy cikluson belül a felkeményedés és a megújulás egyensúlyban van [6]. Ilyen feltételek mellett valamely repedésektől mentes fém vagy ötvözet kifáradási élettartama függ a fárasztó mechanikai és hőigénybevétel hullámalakjától, a terhelés amplitúdójától és aszimmetria tényezőjétől, de független az igénybevétel frekvenciájától [5].

Az OTKA támogatásával végzett kisciklusú fárasztóvizsgálat feltételei és eredményei alapján az egy igénybevételi cikluson belüli felkeményedés–megújulás egyensúlyi feltételét meg lehetett határozni [6]. Az igénybevételi ciklus a T hőmérsékleten akkor elegendi ki az egyensúlyi feltételt, ha a frekvenciája (f) egyenlő vagy nagyobb az egyensúlyi-nál ($f_{e,T}$):



3. ábra. Kúszási igénybevétel hatására terjedő repedés (C^*) függvényének leírása az (5) egyenlettel (az előző cikk 2b. ábrájának adatai, ferrites melegsziárd acél, $T = 550\text{ °C}$)

$$f \approx f_{elT} = \frac{\epsilon_{elT}}{4 \cdot \epsilon_a} \quad (6)$$

ahol $k_{elT} = A \exp\left(-\frac{Q}{R \cdot T}\right)$ az egyensúlyi nyúlássebesség (s^{-1}), Q az öndifúzió aktiválási energiája ($J \cdot mol^{-1}$), amely azonos a megújulással végbemenő kúszás aktiválási energiájával: $Q = Q_0 \cdot R_{p0,220} + Q_T \cdot (R_{p0,220})$ a folyáshatár 20 °C -on mérve, MPa), T a hőmérséklet (K), R a gázállandó: $8,33\text{ (}J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}\text{)}$ és ϵ_a a teljes (tengelyirányú) nyúlásamplitúdó. Az egyenletekben szereplő állandók értékei a kiválásokkal keményített ferrites acélokra:

$$A = 3,0525 \cdot 10^{14}, Q_0 = 48\text{ (}J \cdot mol^{-1} \cdot MPa^{-1}\text{)}, Q_T = 242\,416\text{ (}J \cdot mol^{-1}\text{)}$$

Ezt a fontos egyensúlyi feltételt az előző cikk sem említi a növelt hőmérsékleten végzett fáradási repedésterjedési kísérletek eredményeinek értékelésekor. Ugyanakkor a cikk 7., elvi, ábrája kapcsán szerzők összefoglalóan megjegyzik, hogy a repedésterjedés sebességét az igénybevétel hullámalakja viszonylag kevésbé befolyásolja, mint a hőmérséklet és a középterhelés; és a frekvencia szerepe kifejezetté válik a hőmérséklet és az aszimmetria tényező növekedésével. Viszont a cikkben leírt vizsgálati tapasztalat, miszerint ha az igénybevétel frekvenciája: $f > 1\text{ Hz}$, akkor a repedés nem a kristályhatárokon, hanem – a kisebb hőmérsékletekre jellemzően – a kristallitokat átmetszve terjed, és az (1) típusú függvény kitévőjének értéke a szobahőmérsékletre jellemző tartományba van, közvetve arra utal, hogy az említett egyensúlyi feltétel már nem teljesült. Repedésterjedési vizsgálatoknál az egyensúlyi feltételt a repedés csúcsa előtti zónában (l. az előző cikk 1. ábráját) kell értelmezni. Am az erre vonatkozó elemzéseknek – tudomásom szerint – még híján vagyunk.

Növelt hőmérsékleten a repedésterjedést a környezet korróziós (elsődlegesen a levegő oxidáló) hatása már nem elhanyagolhatóan befolyásolja. Különösen igaz ez a kisciklusú fáradásra. Egyrészt azért, mert – amint Coffin írja [7] – a nyúlásvezérelt kisciklusú fáradáskor a mikrorepedések keletkezése és növekedésnek indulása az élettartam már korai szakaszában bekövetkezik; másrészt, mert a repedés periodikus kinyílásának mértéke a nagyciklusú igénybevételhez képest nagyobb, és így a repedés töve is oxidálódhat.

A kisciklusú fáradás folyamata tehát lényegében repedésterjedés, amelynek sebessége:

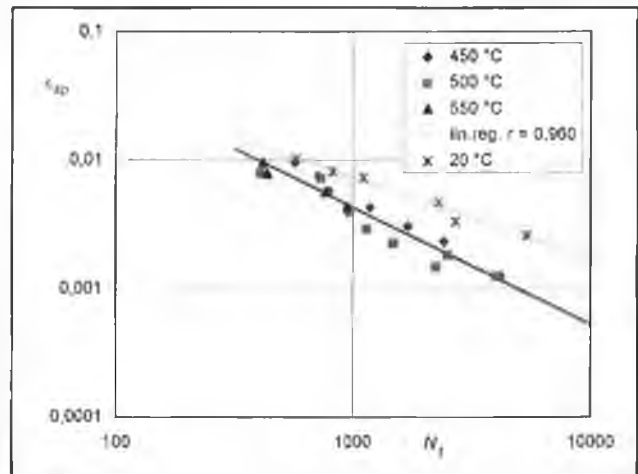
$$\frac{da}{dN} = C \cdot a \cdot \epsilon_{ap}^\beta \quad (7)$$

A (7) egyenletet integrálva – a repedéskezdeti és végső mérete, illetve $N = 0$ és N_f igénybevételi szám határértékek között – adódik az ismert Manson–Coffin-egyenlet:

$$\epsilon_{ap} = C' \cdot N_f^{-\beta} \quad (8)$$

ahol ϵ_{ap} a képlékeny nyúlásamplitúdó, N_f a tönkremenetelt okozó igénybevételek száma, C' és $\beta = 1/\alpha$ állandók. A (8) egyenlet általánosan érvényesnek bizonyult függetlenül a próbatest alakjától (bemetszett vagy homokóra alakú), a kisciklusú igénybevétel hőmérsékletétől. Ebből következik – írja Coffin [7] –, hogy a kisciklusú fáradás vagy teljesen repedésterjedés, vagy a repedés képződése és terjedése külön-külön is ennek a törvénynek engedelmeskedik.

A környezet kisciklusú fáradásra gyakorolt hatását évtizedek óta tanulmányozzák, de Coffin korábbi összefoglaló tanulmányából [7] is már kiténik, hogy ha vákuumban vagy inert gázatmoszférában (pl. argon) végzik a kisciklusú fáradást, akkor a hőmérséklettől függetlenül egyetlen (8) típusú egyenlettel leírhatók az eredmények. De ha a levegő oxidáló hatása érvényesül, akkor – kettős logaritmus rendszerben – a közös egyenlet meredeksége nagyobb lesz egy adott (a hőmérséklettől függő) igénybevételszám után. Ezt mi is tapasztaltuk kísérleteink során. Ezt szemlélteti a 4. ábra a KL9 minőségjelű, ferrites melegsziárd acél homokóra alakú próbatestjein átmérővezérelt, kisciklusú szinuszos igénybevétellel ($R = -1$, $f = 0,5\text{ Hz}$) – jellemzően nem egyensúlyi feltétel mellett – mért eredmények értékelése alapján [8]. Az eredményekből kitűnik, hogy az oxidáció hatása a $450\text{--}550\text{ °C}$ tartományban – a viszonylag rövid élettartamokra tekintettel – közel azonos, azaz egy korrelációs egyenessel leírhatók az adatok, de ez meredekebb, mint a 20 °C -on (környezeti hatástól gyakorlatilag menetesen) mért adatokra illesztett egyenes.



4. ábra. A környezet oxidáló hatása a Manson–Coffin-egyenlet meredekségére

Befejezőként, az előző cikkben említettekkel szemben, lehetséges a fáradás mikro- és makrofolyamatainak összekapcsolt leírása. Hazánkban Tóth László kezdeményezett egy új modellt a fáradt repedés terjedési sebességének a károsodási folyamat jellemzésén alapuló (az 1. ábra szerinti I. – III. szakaszainak) leírására [9]. A károsodás k mértéke, amelyet egy repedést tartalmazó test elszenved az ismétlődő igénybevétel hatására, $0 \leq k \leq 1$ értékhatárok között változik. A károsodás értelmezhető egy felől mikroszkóposan, mint az atomi kapcsolatok megszakadásának sorozata a repedés tövében az igénybevételi szám függvényében, amely a k és az a között Weibull-eloszlás jellegű kapcsolatra vezet; más felől makroszkóposan, a relatív terhelhetőség csökkenésével, ami kifejezhető a lineáris törésmechanika módszereivel, mégpedig a K feszültségintenzitási tényező egy terhelési cikluson belüli megváltozásával (ΔK) és ennek küszöb- és legnagyobb értékével (ΔK_{th} és ΔK_f).

Végül is, a károsodás két megközelítését összekapcsolva adódik a fáradt repedés $\dot{a} = da/dN$ terjedési sebessége és a terhelés között a

$$\frac{da}{dN} = \left[\frac{1}{C} \ln \left[1 - \left(\frac{\Delta K - \Delta K_{th}}{\Delta K_c - \Delta K_{th}} \right)^n \right] \right]^{1/m} \quad (9)$$

összefüggés, amelyben a két törésmechanikai anyagjellemzőn kívül az n , C és b kísérletileg meghatározható állandók szerepelnek. A köztük lévő törvényszerű kapcsolat feltáráshoz további nagyszámú kísérleti adat szükséges, de az új modell érvényességét az eddig feldolgozott kísérleti eredmények igazolták.

Hivatkozások

1. Tuljakov, G. A.: A kúszás és a növelt hőmérsékletű kisciklusú fáradás okozta repedések növekedése a 15H1M1FL minőségű acélban. A KGST 25.4.6. témabizottsághoz 1988 májusában benyújtott orosz nyelvű tanulmány.
2. Bilek, O., Bina, V., Pivonka, J., Potužák, L.: Az 1,3Cr-1Mo-0,25V jelű, kúszás-

ra igénybevett, melegszilárd, öntött acélban végbemenő repedésnövekedés hőmérsékletfüggése. A KGST 25.4.6. témabizottsághoz 1988 májusában benyújtott orosz nyelvű tanulmány.

3. Tóth László, Nagy Gyula: The connection of the constants of Paris-Erdogan law its consequences, 8th Congr. of Material Testing, Budapest, 1982. OMIKK-Technoinform, p. 372.
4. Schuchtar Endre: Fáradási repedésterjedés megalakító szerszámacélban, Gép XXXIX. (1987) 10. pp. 375-376.
5. Lehofer Kornél: A kifáradási élettartam meghatározás nagy hőmérsékleten, Gép XXIX. (1977) 3. pp. 100-108.
6. Lehofer Kornél: A kisciklusú fárasztó igénybevételek egyenértékűsége növelt hőmérsékleten, Anyagvizsgálók Lapja, 7. (1997) 4. pp. 97-102
7. Coffin, L. F. Jr.: Fatigue at high temperature – prediction and interpretation. James Clayton lecture at the University of Sheffield, 1st April 1974. The Institution of Mechanical Engineers Proceedings 1974, Volume 188 9/74.
8. Rózsahegyi Péter: Szerkezeti acélok kisciklusú fárasztóvizsgálata növelt hőmérsékleten, Gép. XLVI. (1994) 12., pp.22-28.
9. Tóth László: A fáradt repedés terjedési sebességének leírása a károsodási folyamat jellemzésével, Gép XXXIII. (1981) 7. pp. 257-262.

MÉRFÖLDKÖVEK

Gillemot László (1912-1977)

Az akadémikus mérnök-professzor születésének 90. évfordulója alkalmából tudományos emlékülést rendezett (október 8-án a BME dísztermében) a BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezettani Tanszék, a Gépipari Tudományos Egyesület, a Magyar Mérnökakadémia, a Marovisz, az MHE és az MTA Műszaki Tudományok Osztálya. Gillemot egykori munkatársai és tanítványai: az általa évtizedeken át vezetett műegyetemi tanszék mai vezető oktatói, a szervező és más intézmények képviselői előadásaikban felidéztek az anyagszerkezettan, az anyagvizsgálat és a mechanikai technológia sokoldalú művelőjének szemléletformáló és nemzetközileg is elismert kutatási – részben találmányként is bejegyzett – eredményeit; méltatták iskolateremtő egyéniségét, kimagasló oktatói, tudományszervezői és közéleti szerepét, de személyiségét és humorát is.

Gillemot László nevéhez fűződő eredmények sorából mindenképpen említést érdemel:

- az ipari röntgenvizsgálat honosítása (1940) és szakértő alkalmazása a hegesztett hídszerkezetek és erőműi berendezések II. világháborút követő újjáépítésekor;

- a hazai bauxit feldolgozásának korszerűsítését, az alumínium-előállítás melléktermékeinek összetett feldolgozását (a vanádium és a titán előállítása és hasznosítása, pl. a gömbszéntos öntöttvas elméletileg megalapozott előállításához) és az alumínium széles körű felhasználását (pl. hegesztési technológiájának fejlesztése révén) célul kitűző program kidolgozása, érdemi művelése és irányítása a Fémipari Kutató Intézet alapító igazgatójaként;

- a törési munka anyagjellemző értelmezése, meghatározási módszerének kidolgozása; a törési munka alkalmazása a szerkezeti anyagok minősítéséhez és a szerkezetek méretezéséhez, biztonságuk törésmechanikai megítéléséhez;

- a nagy sebességű képlékeny alakítási technológia és ütemű fejlesztése.

Gillemot László eredményes munkásságát rangos hazai és külföldi, állami és civil kitüntetésekkel ismerték el (pl.: Carnegie-díj: London, 1940; Kossuth-díj: 1949 és 1957; Pattantyús-Á. Géza-díj: 1958; a Tudományos Kutatásért Érdemrend parancsnoki fokozata: Párizs, 1966; Munka Érdemrend arany fokozata: 1972; Bánki Donát-díj: 1975). Am tevékenységének lényegét saját nyilatkozatai tükrözik a legpontosabban:

„Magamról tréfásan azt szoktam mondani, hogy lakatosmester

vagyok, aki időnként az alapkutatás eredményeit alkalmazza a szakmájában. (...) A tudós szót nem nagyon szeretem használni még akkor sem, ha ezt megtisztelő módon rám alkalmazzák. (...) A tudós szó az én fiatalokromban jelző volt, most pedig foglalkozássá kezd tajulni.” – Az egyetemi tanárok feladatáról pedig azt vallotta: „Nem hiszek abban, hogy az egyetemen létezik ún. «tananyag». A világ tudománya állandóan változik, ebből egy professzornak ki kell választani azt, ami a diák ismeretanyagához szükséges. (...) Egy módszertant és egy tudományos (ha tetszik: mérnöki) gondolkodásmódot kell átadni a diáknak, hogy mérnöki munkája során képes legyen feladatok önálló megoldására, méghozzá olyanokra is, amelyekről én a jelen pillanatban nem tudom, hogy mik lesznek azok.” Éppen ezért a post graduális szakmérnök-képzést is fontosnak tartotta. Jelentős szerepet vállalt az anyagvizsgáló, a hegesztő és a képlékenyalakító szakmérnöki képzés megszervezésében.

Gillemot László alapító tagja és haláláig egyik aktív szellemi vezetője volt a Gépipari Tudományos Egyesületnek. Személyes példájával munkatársait is aktív GTE-tagokká tette. Mint az egyesület tudományos bizottságának elnöke a rendszeres és vonzó programokra, valamint az egyetemen kívüli szakmai képzésre és továbbképzésre ösztönző támogatásával jelentősen hozzájárult ahhoz, hogy szakosztályaink (különösen az anyagvizsgáló, amelynek alapító elnöke volt, és a hegesztési szakosztály) – a területi szervezetek bevonásával – szakterületük országos hatósugarú, műszaki tudományos társadalmi fórumaivá váltak, és tagjai szervezeten és méltóan képviselhették hazánkat a nemzetközi szervezetekben is, amelyért személyes tekintélyét, hazai és nemzetközi kapcsolatait mozgósítva sokat tett. Egyesületünk pedig a Pattantyús-Á. Géza- és a Bánki Donát-díjjal ismerte el közösségünkért végzett munkásságát; továbbá ápolja emlékét, és példaként állítja személyiségét, többek között a róla elnevezett emlékérem alapításával (képünkön) és a Műszaki Nagyjaik 6. kötetében összefoglalt életművelőjétja közreadásával is.



Lehofer Kornél

Vasbeton szerkezetek állapotellenőrzése korrózióra

Borosnyói Adorján*

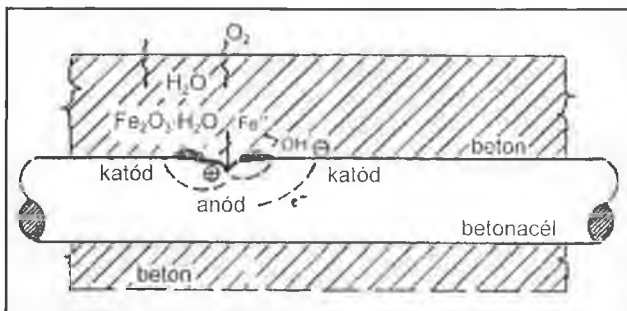
Bevezetés

A környezeti szennyező és időjárási hatásoknak kitétt, nagy felületű vasbeton szerkezetek (pl. közúti hídszerkezetek, vízellátási műtárgyak) károsodásának egyik folyamata a betonba ágyazott és a teherviselésben meghatározó szerepet betöltő acélbetétek korróziója. Ez alapvetően elektrokémiai folyamat, hiszen az acélbetét szilárd elektrolitba (a betonba) van ágyazva, amely kapilláris pórusain és esetleges repedésein keresztül át is nedvesedhet. Az acélbetétek korróziós állapotának ismerete ezért mind a teherviselő szerkezet biztonsága, mind az állapotellenőrzésen alapuló karbantartás szempontjából fontos.

Az acélbetétek korróziós károsodása a szerkezet szabad felülete mentén nem egyenletesen megy végbe, mivel a folyamat szempontjából kedvező zónák helyzetét nem csak a szerkezet betonjának jellemzői és igénybevétele, hanem a kivitelezési helytől függő minősége is befolyásolja. Ezért az időszakonkénti állapotellenőrzést a szerkezet egész szabad felületére célszerű kiterjeszteni, hogy időben felismerjük a korrózió szempontjából veszélyeztetett részeket. A korrózióra veszélyes területeken szükség szerint elvégzett kiegészítő vizsgálatokat – pl. ultrahangos repedésvizsgálat, a felületi betonréteg szilárdságvizsgálata – követően a további károsodást lassító javítások végezhetők. A korróziós zónák korai felismeréséhez az egyszerű szemrevételezés nem elegendő, általában műszeres vizsgálatra van szükség.

Az elektrokémiai feszültségmérés alapelvei

A fémkorrózió alapvető jellemzője, hogy hatására a fémes jelleg megszűnik. Ez úgy következik be, hogy a fémes rácsból vasion és elektron lép ki (egymástól akár több méteres távolságban) elektrolit (víz) jelenlétében. A korrózió két lépésben, az acélbetét két, térben elválasztott helyén, az anód- és a katódfelületen megy végbe (1. ábra). A korrózióhoz a két pólust elektromosan vezetőképes betonnak (elektrolit) kell összekötnie és fémesen is kapcsolatban kell lenniük. Utóbbi a betonacél által adott. Ezen kívül a katódnál elegendő mennyiségű oxigénnek és víznek is kell lennie. Az anód és a katód között feszültségkülönbség van. Az anódos reakció következtében a keletkezett töltésmennyiség jól definiálható áramfolyamot létesít. A potenciálkülönbség mérhető, nagyságából a korróziós folyamat előrehaladottsága megállapítható. Különböző előírások szerint a bebetonozott acélbetétek korróziójának valószínűsége -25 és -210 mV értékhatárok között $0 - 50\%$, míg e felett ($-210 \dots -460$ mV) a korrózió valószínűsége $50 - 100\%$ [1].



1. ábra. Bebetonozott acélbetét korróziójának elvi ábrája

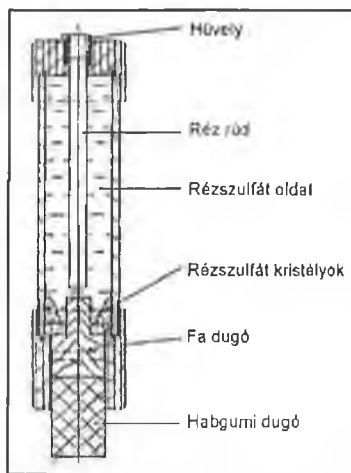
A Canin korrózióelemző műszer (2)

A svájci Poceq SA cégnél kifejlesztett Canin (corrosion analysing instrument) műszer (2. ábra) egy intelligens, digitális millivolt-mérő, mellyel megmérhető az elektrokémiai korróziós folyamat intenzitására, sebességére jellemző villamos potenciál, azaz a betonba ágyazott korródáló acélbetét felülete és a felszíni betonfelületre helyezett összehasonlító elektróda közötti feszültség. Segítségével nagy felületeken gyorsan és roncsolásmentesen végezhetünk méréseket, és feltérképezhetjük a bebetonozott acélbetétek korróziós állapotát, még azelőtt, hogy a korróziós károsodás nyomai a betonfelületen megjelenjenek.

Az összehasonlító elektróda rézszulfát (CuSO_4) telített vizes oldatába merülő réz. A kézi rúdelektrod felépí-



2. ábra. A Canin korrózióelemző műszer



3. ábra. A rúdelektroda felépítése

tését vázlatosan a 3. ábra szemlélteti. Mérés során a megfelelő kontaktus érdekében a betonfelületet nedvesíteni kell. Ezt a mérés előtt vízzel telített fa- és habgumi dugóban végződő elektróda biztosítja. A műszerhez csatlakoztatható kerékelektrodával folyamatos mérés hajtható végre. A felület nedvesítéséről – a vízzel telített dugókon kívül – az ún. nedvesítő kerék is gondoskodik. A műszerhez egy, de legfeljebb nyolc darab rúd- vagy kerékelektroda csatlakoztatható (4. ábra). A vizsgálandó felület alakjától és helyzetétől függően az elektródák mozgását, illetve a jó érintkezést cserélhető, teleszkópos rudazat segíti (5. ábra). A rúdelektrodával a szerkezet felületén előre megválasztott osztásközü hálópontokon, míg a kerékelektrodával az előre kijelölt nyomvonalon végezhetünk méréseket. A mérés-helyek, a hálópontok, illetve a nyomvonal geometriai adatai, valamely kiinduló ponthoz viszonyítva a mérés megkezdése előtt betáplálhatók az egyszerű menütechnikával kezelhető műszer memóriájába. A kerékelektrodára sze-

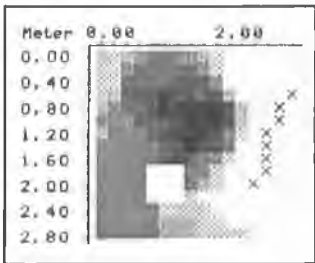


4. ábra. Mérés kerékelektrodával

*BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, adorian@vbt.bme.hu



5. ábra. Mérés rúdelektórával



6. ábra. A Canin műszer kijelzőjének grafikus felülete

relt útmérő a kerék mérési helyzetbe fordulásának a kiindulási ponttól mért távolságát (felbontás 3 mm) folyamatosan továbbítja a memóriába. A mérés sebessége 1, 2, 4, illetve 8 kérekelektroda alkalmazásakor rendre 1,0; 0,6; 0,3; 0,15 m/s, míg a rúdelektórával egy-egy mérés legfeljebb fél másodpercig tart.

A műszer méréstartománya ± 999 mV egyenfeszültség, a mérés pontossága: ± 3 mV. Az adott mérési feladatkor az előzetes tájékoztató mérések figyelembevételével célszerűen kijelölhető az a kilenc szűrkeségi fokra, illetve kilenc színre felosztható mérési tartomány, amelyen belül az egyes fokozatok az egyenértékű potenciálú területeket jellemzik (6. ábra).

A nyakba akasztható műszer nagyméretű LCD megjelenítőjén

mérés közben is könnyen leolvashatók a kijelzések. A műszer memóriája 120 ezer mérési adat befogadására alkalmas, amelyből a kijelzőn – a beépített szoftverrel – 240 mérési adatblokkokként megjeleníthető a potenciáltérkép, amely a műszerhez csatlakoztatható fekete-fehér, illetve színes nyomtatóval közvetlenül kinyomtatható. Mód van a mért adatok számértékeinek térpékszerű megjelenítésére is. Egy adott mérési mezőben a mérés helye a szabadon eltolható kurzorral jelezhető. A műszer folyamatosan ellenőrzi az objektum méretét, így a kinyomtatás mindig lehetséges. Az objektumon a mérések vegyesen, finom és durva négyzögháló mentén elvégezhetők. Az egyes mérési eredmények feliratozhatók, törölhetők és megjeleníthetők.

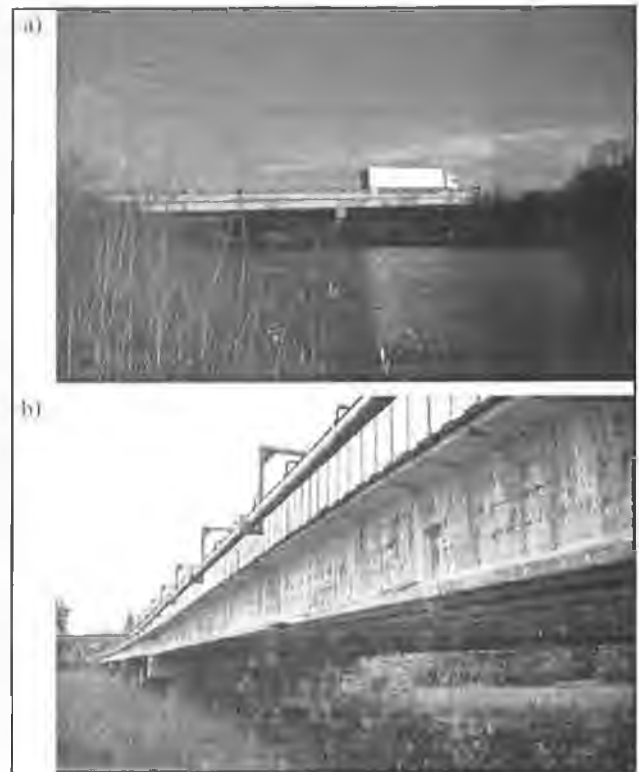
A mérőműszer elemmel működik, amely 60 óra kapacitású. A műszer -10 és $+60$ °C környezeti hőmérséklet-tartományban üzembiztos. A műszerben tárolt adatok RS 232 C kimeneten át PC-re átvihetők, feldolgozhatók, archiválhatók. Így, többek között mód van arra is, hogy a következő időszakos ellenőrzés adataival összevetve a vasbeton szerkezet állapotváltozását, vagy a korábban alkalmazott javítási technológia hatékonyságát tárgyilagosan megítéljük.

Esettanulmány: feszítettbeton közúti hídgerenda károsodása

A Vas Megyei Állami Közútkezelő Közhasznú Társaság megbízta a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékét, hogy készítse el a körmendi 86/49 + 092 km sz. Csörnöc-patak híd károsult szélső tartóinak állapotfelmérését [3]. A Csörnöc-patak híd ortotrop pályalemez vasbeton híd. A hosszirányú főtartókat EHGT 30,80-110-A előregyártott, előfeszített gerendák alkotják, amelyeket átlagosan 200 mm vastag monolit vasbeton pályalemez kapcsol össze. A teljes pályaszélesség 11,0 m. A monolit pályalemez teljes szélessége 11,95 m. A híd 1979-ben épült. A híd távlati és közeli képét a 7. ábra mutatja.

A kifolyási oldalon lévő szélső tartók külső és alsó felülete a szegély átázása miatt folyamatosan nedves volt. A korrodáló acélbetét a betonfedést kisebb-nagyobb szakaszokon lefeszítette. A gerinc jelentős része rozsdafoltos volt. A gerincen elsősorban a felülethez legközelebb álló, hosszanti szerelővasak rajzolódtak ki (8. ábra). A tartós átázás határozott veszélyt jelentett a feszítőbetétekre is. A Körmend felőli két nyílásban a duzzadó rozsdá három helyen, több méteres hosszban ledobta a betonfedést (9. ábra). További feszítőbetét korrózióra utaltak az alsó

övön látható, hosszirányú repedések. A 9. ábrán tisztán kivehető, hogy a legszélső, valamint a mellette lévő három feszítőpászma teljesen elkorrodált. A levált betonfedésnél a kengyelek is elszakadtak.



7. ábra. A Csörnöc-patak híd (86. sz. főút 49 + 092 km szelvény)
a) Felvízi oldal Körmend felől (2000. nov. 13.)
b) Kifolyási oldal Körmend felől (2000. júl. 7.)



8. ábra. A gerincen kirajzolódó szerelővasak (2000. nov. 13.)



9. ábra. Az alsó övben szabadba került feszítőbetétek (2000. nov. 13.)

ÁLLAPOTELLENŐRZÉS

A Lenti felőli 1., 2. és 3. hidnyílás szélső tartóinak hozzáférhető részein a betonacél korróziós állapotának meghatározására potenciálmérést végeztünk Canin korrózióvizsgáló készülékkel. A vizsgálathoz olyan szakaszokat választottunk ki, amelyek egy részén a vasalás szemmel láthatóan károsodott, egyéb részein viszont még kívülről nem észleltük a betonacél korrózióját. A vizsgált szakasz egy pontján kibontottunk egy betonacélt, tökéletesen megtisztítottuk a rozsdától, majd ezen keresztül fémes összeköttetést létesítettünk a betonacél armatúra és a készülék között.

A vizsgálandó felületet a vasalás vélhető nyomvonalán 20x20 cm-es raszterben krétával megjelöltük, majd benedvesítettük. Ezután a csomópontokban réz/réz-szulfát referencia elektród felülethez érintésével (nedves szivacsérinthez közeli keresztül) mértük a potenciálértékeket.

Egy mérési szakaszra feldolgozott potenciál térképet a 10. ábrán mutatjuk be, ahol egyúttal a szemrevételezéssel nyert megfigyeléseket is feltüntettük. Az ábrán feltüntetett potenciálértékeket, ill. potenciáltérképet megfigyelve egyértelműen a szemmel láthatóan is rozsdásodó betonvasak mérőhelyein kaptuk a legnegatívabb (-400...-560 mV) potenciálértékeket. Ezekben a helyeken a hidgerenda betonján tartós átázás nyomait észleltük, a tönkrement betonszegélyből kimosódott kalcium-hidroxidtól, illetve a karbonátosodásából keletkező kalcium-karbonáttól fehérre, továbbá a vasrozsdától barnára színezve.



10. ábra. Potenciáltérkép, Csörnöc-patak hídjá (2000. nov. 13.)

Azokon a helyeken, ahol rozsdá még nem jelentkezett, de átázás nyomai már láthatók voltak, a potenciálérték érezhetően változott a nagyobb negatív értékek felé (-250...-400 mV).

A vizsgált helyek közül legkedvezőbb mérési eredményeket a Lenti

felőli első hidnyíláson, a hídfőtől mért 12–15 m közötti szakaszon kaptunk, itt a potenciálértékek többnyire -200...-300 mV közöttiek voltak. A beton ezeken a helyeken szemrevételezéssel is „érintetlennek” tűnt.

Tekintettel arra, hogy a potenciálértékeket sok körülmény befolyásolhatja (a beton nedvesség- és sótartalma, pl. kloridion tartalma, betonminőség stb.), ellenőrzésként két viszonylag ép helyen feltártuk a betonacélt. Az egyik feltárást az első hidnyílás első mérési szakaszának végén végeztük, ahol mind a mért potenciálértékek, mind a felület láthatóan gyakori átázása miatt az acél kezdődő rozsdásodását már feltételezni lehetett. A feltárt betonacélon csak vékony, könnyen eltávolítható revét találtunk és körülötte a beton – fenolftaleines oldattal mérve – lúgos volt. Megjegyezzük azonban, hogy utóbbit a felső szegélyből kioldódó mészs víz okozhatta (a pillérről lecsapponó víz is lúgos volt!), annál is inkább, mert a betonfedés rendkívül kicsi, 5–10 mm-es volt. Az acél korróziójának megindulását az is jelezte, hogy a körülötte lévő beton 0,5–1 mm vastagon barnára színeződött.

A másik feltárást száraz részen végeztük, a második hidnyílás Lenti felőli hídfőtől mért 8,5 m-es részén, ahol -200 mV körüli potenciálértékeket kaptunk. A betonacél a felületi légrozsdá eltávolítása után fényes lett. Fenolftaleines vizsgálattal 2–5 mm-es karbonátosodási mélységet mértünk.

Jelen példa is szemlélteti a Canin korrózióelemző műszer egyszerű használhatóságát helyszíni vizsgálatokhoz. A műszer által szolgáltatott potenciálmérési eredmények összhangban vannak a szakirodalomban megadott veszélyes tartományokkal. A károsodott acélbetétek feltárása minden esetben igazolta a műszerrel mért eredmények megbízhatóságát.

Hivatkozások

- [1] Balázs Gy – Tóth E. (1997): Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája, Műegyetemi Kiadó, 1997
- [2] Lehofer K. (2001): Vasbeton szerkezetek állapotellenőrzése korrózióra, Anyagvizsgálók Lapja, 2001/1, p. 16.
- [3] Balázs L. Gy – Borosnyói A. – Csányi E. (2000): Megerősítési terv a körmeneti 86/49 + 092 km sz. Csörnöc-patak hidhoz, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, 2000

SZEMLE

Fényérzékeny mágnes

Fényérzékeny műanyag mágnest fejlesztettek ki az Ohio State University és az University of Utah munkatársai, utat nyitva a fényvel szabályozható mágneses anyagok alkalmazásának. Az új műanyag mágnes térerőssége kék fényben 1,5-ször nagyobb, mint zöld fényben. Kulcsfontosságú tény az új anyag széles körű alkalmazása szempontjából, hogy mágneses tulajdonságát megtartja 77 K hőmérsékletig, azaz megközelítve a szupravezetés napjainkban már elért hőmérsékletét, és így jelentős lépés a fényhangolású elektronika kifejlesztéséhez.

A műanyag mágnes mangánionokkal vegyített tetraciano-etilén (TCNE) tartalmú polimerből készül. A kutatók a Mn-TCNE port vékonyrétegbe ülepítették, majd az anyagot kék lézertífnyel 6 órán át megvilágították. Az így mágnessé lett anyag a sötétben megtartja mágnességét, ám zöld lézertífny hatására mágnessége az eredeti 60%-ára csökken. Ennek okát a kutatók abban látják, hogy a különböző hullámhosszúságú lézertífny a TCNE molekulát eltérő alakváltozásra készíti.

A tudósok és a mérnökök világszerte dolgoznak a fényre és a mágnességre alapozott számítógépes adattárolás kifejlesztésén. Az ilyen magneto-optikai rendszerek a hagyományos elektronikánál elméletileg gyorsabban és hatékonyabban működnek. A fényvel hangolható mágnes egy ilyen új rendszernek fontos eleme lehet. A jövő memóriájába az információt az anyag erősebb és gyengébb mágneses tartományaiba kódolhatjuk a megfelelő lézertífnyel használva. Ez igen nagy sűrűségű információtárolást tenne lehetővé. Am a szerves mágnes ilyen alkalmazása előtt még hosszú út áll.

(CERN Courier April 2002., p. 9.)

Rugalmas kerámia

A Cornell University kutatói az atomos önszerveződés technológiát alkalmazva egy sokat ígérő hibridanyagot állítottak elő, amely polimer-rugalmasságú, de kerámia-szilárdságú és -rendeltesű. Az anyagot az önszerveződő molekulaként ismert, ún. diblock kopolimer és kerámia keverékéből állították elő. Bár mindeddig csak kis darabokat készítettek, de ezek az anyag tulajdonságainak a vizsgálatához elegendőek. Az anyag rugalmas, szilárd, áttetsző és a kerámiától eltérően, nem törékeny. Az egyik változata jól vezeti az ionokat, így a szárazelemek és az üzemanyagcellák kiváló elektrolitja lehet. Az anyag az élő proteinek kiválasztására is alkalmas lehet.

Az atomos önszerveződés technológiai alkalmazása számos új molekula-konfigurációjú anyag előállításának lehetséges útjait nyitja meg az anyagtudomány számára.

(CERN Courier May 2002., p. 11.)

Térhatású röntgenmikroszkóp

Atomi méretű háromdimenziós pillanatfelvételt is készíthetünk az új röntgeneszközzel, amelyet a Stanford University (USA) kutatói, Jianwei Miao és kollégái fejlesztettek ki. A Miao-technika a diffrakció és a mikroszkóp elemeit kombinálja. A koherens röntgensugárral megvilágított minta diffrakciós képe rögzíti – mintegy 8 nm tartományban – az anyag szerkezetét, amely háromdimenziós mikroszkópos képként szemlélhető.

(CERN Courier October 2002., p. 9.)

Digitális képképzés és csővezeték-ellenőrzés¹

Ken Altman² – Richard Linder³

Bevezetés

A vizuális vizsgálat a roncsolásmentes anyagvizsgálat legrégebbi ága, de napjainkban – a vizsgálóeszközök fejlesztésének eredményeként – egyre nagyobb a jelentősége és a szerepe az állapotellenőrzésben.

Ismeretes, hogy a merev szárú, egyszerű boroszkópok, illetve a korszerű videoboroszkópok és videoendoszkópok alkalmazási köre elsősorban a kis méretű nyíláson hozzáférhető és viszonylag kis térfogatú zárt terek – turbinák, auto- és repülőgépmotorok, kisebb tartályok, palackok, csőszelvények, csőcsoncok stb. – vizuális vizsgálatára korlátozódik, ám a legújabb típusokkal helyzet- és méret-meghatározó méréseket is végezhetünk, illetve csatlakoztatható tartozékaival kivethetünk és behelyezhetünk tárgyakat.

Ugyanakkor növekvő az igény – különösen a föld alatti – nagy térfogatú és kiterjedésű zárt terek: tartályok, csővezetékek, közműcsatornák (szennyvíz-, kábel-, lég- és egyéb csatornák) megbízható, idő- és költségkímélő vizuális ellenőrzése iránt. Ezen feladatok elvégzésére távműködtetésű illetve távvezérlésű, videokamerával és megvilágítással felszerelt vizsgálóberendezéseket (remote visual inspection angol kifejezés után röviden: RVI berendezéseket) fejlesztettek ki.

Cikkünkben röviden áttekintjük ezeket az RVI berendezéseket és a velük szerzett alkalmazási tapasztalatokat különös tekintettel a föld alatti ún. infrastruktúra ellenőrzésre.

RVI vizsgálóberendezések

Az RVI vizuális vizsgálattechnika az első boroszkóptól a teleszkópos rúdra szerelt vagy áttolható videokamerákon és az önjáró robotkamerákon át az egyedi tervezésű berendezésekig terjed. Alkalmazásuk a vizsgálati feladattól, a zárt tér méreteitől (átmérőjétől, hosszától) és környezetétől (sötétség, nedvesség, mérgező gázok és egyéb veszélyek) függ.

A standard RVI berendezések néhány jellemzője

Önjáró vizsgálórobotok: videokamerával és lámpákkal felszerelt,



1. ábra. A Rovver 600 típusú önjáró vizsgálórobot

távvezérelt kis járművek; könnyen behelyezhetők a befoglaló méretüknek megfelelő keresztmetszetű, vízszintes csővezetékbe, csatornába, és változó környezeti viszonyok között is megbízhatóan működnek. A **Rovver** robotcsalád – egyik tagja az 1. ábrán látható – járműve összerakékhajtású és kormányozható. A **Rovver 400** a legalább 100 mm

(4"), a **Rovver 600** a legalább 150 mm (6"), míg a **Rovver 900** legalább 230 mm (9") belső átmérőjű csővezeték állapotellenőrzésére alkalmas. Hatótávolságuk: 180 m. Az utóbbi kettőnek a nagy felbontású, változ-

tatható fókuszú (6 mm – ∞), színes CCD kamerája pásztázó és billenő mozgást is végezhet. A kábeldobhoz csatlakoztatott – vízálló kivételű – robotok funkciói kívülről, a vezérlőegységről működtethetők, illetve az ellenőrzött tér videóképe a monitoron szemlélhető és szükség szerint elmenthető.

Pásztázó–billenő–zoom–videokamerák (PTZ-kamera – pan-tilt-zoom):

a teleszkópos rúd végéhez csatlakoztatott kamera bemelegíthető aknák, tartályok, reaktortartályok és egyéb zárt terek búvónyílásán és a kamerát célszerűen, távműködtetve mozgathatva a belső felületek állapotáról gyors áttekintést kapunk. Az ellenőrzött felület videóképe a monitoron szemlélhető és elmenthető a kamera helyzetkoordinátaival és egyéb jegyzőkönyvezendő adattal együtt. Egy ilyen, korszerű vizsgálóberendezés látható a 2. ábrán.



2. ábra. A pásztázó–billenő–zoom–videokamerás rendszer

Áttolható videokamerák.

Ezeket eredetileg úgy tervezték, hogy a merev kábel végére szerelt, kis átmérőjű kamera mélyen betolható legyen a bojlercsövekbe. A vizsgálóeszköz hamar népszerű lett, ezért továbbfejlesztették (ennek részleteire még kitérünk), és ma már számos területen, például közüzemi szennyvízvezetékek és hosszú ipari csővezetékek gyors ellenőrzéséhez használják, mint például a 3. ábrán látható **BTX QuickLook** készüléket, amelynek 29 mm átmérőjű, saválló acél tokozású, vízálló szondájában hét db izzólámpa, állítható fókuszú lencse és színes CCD kamera van. A részletgazdag videóképet a 4"-os színes LCD monitoron szemlélhetjük. Működési hossza: 50 m.



3. ábra. A BTX QuickLook áttolható videokamera

Alkalmazási tapasztalatok

Az elmúlt évtizedben a RVI vizsgálattechnika használói bizonyítottan időt és költséget takarítottak meg, és mindehhez biztonsági előnyök is járultak. Nyilvánvalóan költségtakarékos dolog munkáscsoport helyett csak egy vizsgálószemélyt kiküldeni a kamerával, hogy felderítsen egy csődugulást. De emellett egészségügyi előnyök is származnak abból, ha nem kell a munkásnak a potenciálisan veszélyes zárt térbe bebújni. Az utcai csatornahálózatok kívül a RVI vizsgálattechnikát más üzemelő vagy újonnan épített föld alatti rendszerek (pl. csőhálózatok, duzzasztógáták, pincék) állapot- vagy minőség-ellenőrzéséhez, üzemzavarai okok felderítéséhez is használják.

¹ A Korszerű technológia a föld alatti infrastruktúrában konferencián (Washington D. C., 2001. december 3–4.) elhangzott előadás szerkesztett változata

² Az Everest VIT környezetvédelmi értékesítés igazgatója, illetve

³ marketing elnökhelyettese.

KÉSZÜLEKEK, BERENDEZÉSEK

Ma már a közüzemi ellenőrök fel vannak szerelve a RVI berendezésekkel. Alkalmazási tapasztalatainkból idézünk néhányat:

Steve Snawder a televíziós kábelcsatorna ellenőre a Louisville Fővárosi Kerületi Csatornaműveknél, Kentucky államban a Rovver 400 robotot használja a kábelcsatorna üzemzavarainak kivizsgálásához. Amint fogadja a hibabejelentést, Snawder fogja a „tv-felszerelést” és a kisteherautóval a helyszínre megy. „Rendszerint 45 perccel a hívás után képet kapok a hibáról, és meghozom a döntést.”

Charlie Borash, közüzemi karbantartási ellenőr Eagan városban (Minnesota), szintén Rovver-t használ. „Betesszük egy búvónyílásba és megvizsgáljuk a helyszínt. A kerekeket oldalanként ellentétes irányba forgatva a robot egy tízcentesen megfordul. Tetszik a kép minősége és az egész berendezés, nem megy tönkre és egyszerű javítani.” [“Portable CCTV Equipment Improves Quality, Cost of Sewer Inspection” („Hordozható CCTV berendezés: javuló minőség, csökkenő költség a csatorna-ellenőrzésnél”), Rehabilitation Technology, February 2001]

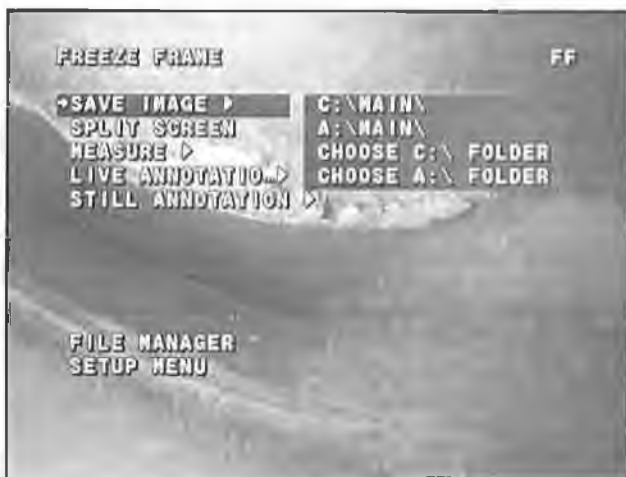
Az áttolható videokamerák fejlesztése

Az áttolható kamerák – mint említettük – kezdettől fogva népszerűvé váltak a föld alatti infrastruktúrát ellenőrzők körében. Ugyanis a készülék könnyen betolható a közüzemi szennyvízcsatornába vagy az elektromoskábel-csatornába; gazdaságosan, könnyen kezelhető, sokoldalú vizsgálóeszköz.

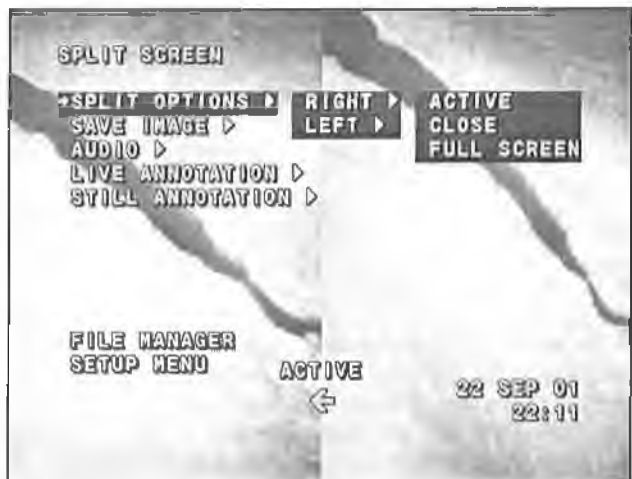
Az első áttolható kamerához, a 1980-as évek végéig, fekete-fehér képcsöves technikát használtak. Ezt váltotta fel a közelmúltban az új, színes CCD (töltéscsatolt félvezetős) kamera. Ezzel ellenállóbb kamera-rendszert lehetett megvalósítani, mivel a CCD-k általában jobban elviselik az ütéseket, a durvább kezelést. Ezen kívül a CCD chipek kisebbek és olcsóbbak lettek, így az áttolható kamerák köré lámpákat is lehetett szerelni és a fej átmérője 75 mm (3”) alatt maradt. A kisebb átmérőjű kamerák a kis átmérőjű csővezetékek 90°-os ívein is átjutottak, ami növelte a lehetséges vizsgálatok körét.

Az áttolható kamerák második generációja. Az 1990-es évek közepén az Imaging and Sensing Technology Corporation cég mutatta be az új, MiniViper modellt, amelynek a kisebb átmérőjű (1,25”) kamerafeje bevezethető volt a 2” átmérőjű csövekbe és 90°-os íveibe is, kiterjesztve a vizsgálóeszköz alkalmazhatóságát a kis átmérőjű ipari és lakossági csővezetékekre például környezetvédelmi ellenőrzések céljából. Ahogy a berendezés fejlődött, a CCD chipek utat nyitottak a számítógépesített (digitális) képfeldolgozás és tárolás számára (3. ábra).

Az áttolható kamerák következő generációja. Az utóbbi idők szoftver-és hardver-fejlesztése megnövelte a föld alatti infrastruktúrák leg-
alapvetőbb vizsgálóberendezésének, az áttolható kameráknak a használhatóságát, mivel a jobb minőségű vizuális adatokból több információt nyernek az ellenőrök, még gyorsabb, könnyebb és trestre szabot-
tabb a vizsgálat többletköltség nélkül. A vizsgálószemélyzet a mai



4a. ábra. A tároló menü



4b. ábra. Osztott képernyő és a feliratozó menü



4c. ábra. A beállító menü

kamerákat kezelő tanfolyam nélkül is gyorsan és könnyen működtetni tudja, az új változat tartós kivitelű és ergonomiailag szempontból is megfelelő, jobb a kép minősége, és mérni is lehet vele.

A fejlett képfeldolgozásra kifejlesztett, új processzorok alkalmazásával a RVI berendezések képezelése és -tárolása korszerű. Például a képek vagy a videoképek digitalizálhatók, megoszthatók, továbbá hangfelvétel és kiegészítő adatok is csatolhatók a képhez és – a korábbi VHS rendszer fejlesztésének eredményeként – mindez lemezre menthető vagy e-mail-ben elküldhető. A videó vagy az állóképeken a méretek pontosan lemérhetők, és a szükséges megjegyzések is közvetlenül a képre helyezhetők (4a.–4c. ábrák).

Ez az új RVI berendezés, a RECON (5. ábra) tartósan illeszthető a terepi viszonyokhoz, és előnyös adottságai révén többet nyújt a felhasználó számára. Mivel a videokép rögzítése számítógépesített, a frissített szoftverek könnyen telepíthetők növelve a fejlett technológia alkalmazási lehetőségét.



5. ábra. Az áttolható videokamera legújabb generációja: a RECON Digital Inspection System™

Az RVI jövője

A távvezérelt vizuális vizsgálati rendszerek fejlesztése a hozzáilleszhető, mozgatható és minőségileg újat adó elemek irányába folytatódik. A jövőben egyetlen kábelt használhatunk majd, amely hardverfejlesztés nélkül csatlakoztatható számos rendszerhez. Forgó kamera vagy az egyedi igények szerint megépített speciális kamera is csatlakoztatható lesz a jelenlegi rendszerhez. A kulcs az intelligencia, ahogy a szoftver és a hardver kisebbé, olcsóbbá és hatékonyabbá válik. A kamerarendszerek képesek lesznek hibák azonosítására is, és alkalmasak lesznek a vizsgálat levezetésére ellenőrzés nélkül és/vagy más technológiákkal együttműködni, s így több vizsgálati adatot szolgáltatni. A lehetőségek valóban korlátlanok, ám a jó hír az, hogy a kifejlesztett különleges szolgáltatások hétköznapivá válnak és az árak is csökken.

Összefoglalás

A távvezérelt vizuális vizsgálatok a video- és optikai alapú berendezések széles körét igénylik. Ezek használata számos ipar számára lehetővé teszi a bepillantást a gépek, szerkezetek és az ún. infrastruktúra rendszerek belsejébe biztonságosan, hatékonyan és eredményesen. Ahogy a videoalapú berendezések elérhetőkké váltak az 1980-as

évek végén a távvezérelt vizuális vizsgálati technológia alapvető gyakorlattá lépett elő sok iparág területén, beleértve a föld alatti csatorna- és egyéb infrastruktúra rendszerek állapotellenőrzését. Ahhoz, hogy a RVI berendezések széles választékából a vizsgálati feladat és igény, nemkülönben a költségek szempontjait figyelembe véve választani tudjunk, érdemes néhány gyakorlati tanácsot is szem előtt tartani:

A pásztázó-billenő-zoom-videokamerák legalkalmasabbak a zárt terek általános ellenőrzésére, illetve a nagy átmérőjű (kb. 1-2 m) terek felületeinek részletes vizsgálatára. A zoom-kamera nagy felbontású képet ad, megvilágító tartozékkal kiegészítve pedig a sötét, föld alatti terek vizsgálatára is alkalmas. Ezeknek a kameráknak az ára 10 000 és 30 000 \$ között változik.

Az önjáró vizsgálórobotok masszív és sokféle környezeti ártalomnak ellenálló kivitelűek; akár 200 méternyi utat is meg tudnak tenni. Ezek rendszerbe szervezése a gyártónál időigényesebb, és árak 35 000 és 65 000 \$ között van.

Az áttolható videokamerák multifunkcionális "igásló" eszközök. Számos változatban kaphatók az olcsó, a csőszerelő munkáját segítő változattól – ez csak a cső belsejének képét közvetíti – a technikailag fejlett – kép- és videokép rögzítési és feliratozási lehetőséggel – állapotellenőrzésre alkalmas modellekig. Árak 5500 és 15 000 \$ között van.

A MiniPal hordozható, energiadisziperzív röntgenfluoreszcens spektrométer

Joó Katalin*

Bevezetés

A röntgensugárzás felfedezése óta a röntgenemissziós analízis (REA) az elemek minőségi és mennyiségi meghatározásának alapvető módszerévé vált. Olyan analitikai módszerek tekintik, amely különböző anyagok főalkotóinak és nyomelemeinek meghatározására egyaránt alkalmas. Számos változata ismert, melyek a gerjesztés és jelfelbontás módjaiban térnek el egymástól. A szekunder emissziós röntgenanalízis, vagy más néven röntgenfluoreszcens spektrometria (XRFS) azért vált széles körben alkalmazott módszerré, mert alkalmazásával – néhány kis rendszámú elem kivételével – az összetevők néhány, vagy néhány tized ppm-től 100%-ig terjedő koncentrációban határozhatók meg. A kimutathatósági határokat befolyásolja a mátrix, az alkalmazott módszer és a meghatározandó elem rendszáma, de nagy előnyt jelent, hogy a spektrum viszonylag vonalszegény és különösen az egykristállyal történő jelfelbontás esetén (hullámhosszdisziperzív röntgenspektrometria /WDXRFS/) csaknem interferenciamentes. A sokcsatornás jelfelbontást alkalmazó energiadisziperzív röntgenspektrométerek (EDXRFS), amelyek családjába tartozik a Philips cég által kifejlesztett PW 4025/00 típusú MiniPal készülék is, a kalibrálást követően a különféle ásványi, ipari és környezeti, szilárd vagy folyékony minták gyors és roncsolásmentes elemvizsgálását teszik lehetővé [1],[2],[3],[4], [5], [6], [7].

A MiniPal röntgenspektrométer

A Philips cég által kifejlesztett röntgenspektrométerek közül figyelmet érdemel a MiniPal energiadisziperzív, kisméretű és kis tömegű (215x530x495 mm, 26 kg), asztali készülék, amely terepi mérésekre is alkalmas, mivel működtetéséhez mindössze 220 V-os áramforrás és egy laptop szükséges. Felépítését tekintve nagy előnye a Rh (vagy igény szerint más, pl. Cr) anódú, 9 W-os röntgenszó, amely kis teljesítménye miatt nem igényel hűtést. Továbbá, szemben a radioaktívizotóp-ger-

jesztésű asztali készülékekkel, a sugárforrás, a röntgenszó élettartama gyakorlatilag korlátlan, és a készülék nem ÁNTSZ-engedélyköteles.

A MiniPal készülék (fotója a címlapon látható) elvi felépítését az 1. ábra szemlélteti vázlatosan. A 12 minta befogadására alkalmas, automata mintaváltó elemzési helyzetbe forgatja a mintát, amelynek felületi rétegét, annak atomjait az oldal ablakos röntgenszóból kilépő és a célszerűen (a vezérlő szoftverrel) megválasztott szűrőn áthaladó röntgensugár gerjeszti karakterisztikus röntgensugárzás kibocsátására. Ezt észleli a Si-PIN félvezetős detektor, amely nagy felbontású: 250 eV @ 5,9 keV.

Az adatfeldolgozást a 2048 csatornás (MCA) analízátor végzi. Az analitikai program a mintán belüli elemek szimultán mérését teszi lehetővé a Na-U elem- és a ppm-100% koncentráció-tartományban. A könnyűelemek (Na, Mg, Al) detektálhatóságát javítja a beépített hélium-átöblítő rendszer működtetése. A mérési idő általában 100-300 s, a mérendő elemek koncentrációjától függően. (Ha célszerű, akkor elemzés közben a minta forgatható is.) A szoftver gondoskodik a spektrum háttérkorrekciójáról, az egymásra eső vonalsúcok szétválasztásáról és a nettó intenzitásértékek elemkoncentráció értékekké konvertálásáról egy olyan algoritmus segítségével, amely empirikus tényezőket és többváltozós regresszió-számítást alkalmaz. Egyidejűleg különböző spektrumok megjelenítése és összehasonlítása is lehetséges. Az elemzési feladatra kalibrált készülékkel a rutinmérés mindössze az ismeretlen összetételű minták behelyezéséből és a mérés elindításából áll. A szoftver Windows 2000 alatt fut, amelyhez IBM kompatibilis számítógép, Pentium processzor és CD-ROM ajánlott.

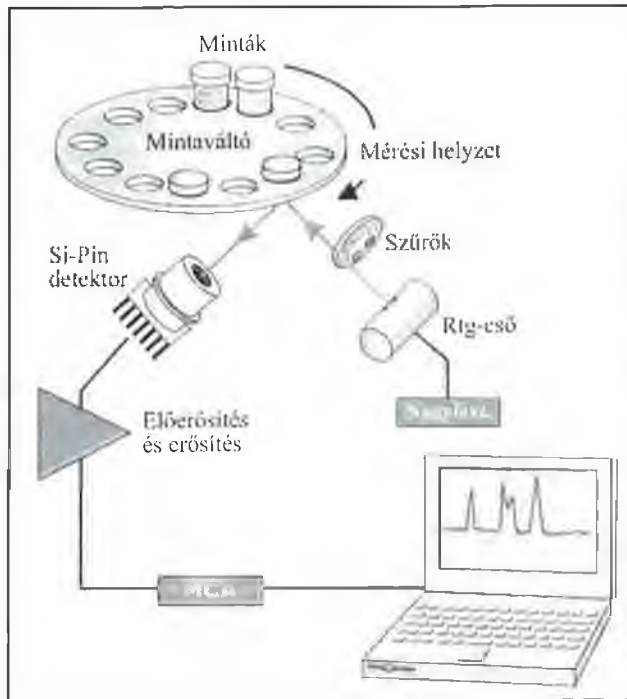
A MiniPal készülék előnyös tulajdonsága az is, hogy az ismeretlen összetételű mintáról 10 s alatt minőségi felvételt szolgáltat, azaz tájékozódhatunk a mintában jelenlévő elemekről és megállapíthatjuk a főalkotókat. Ennek ismeretében a már meglévő, kalibrált elemzőprogramjaink közül célszerűen választva percek alatt mennyiségi elemzést is végezhetünk.

A MiniPal készülék sokoldalú alkalmazhatóságát segítik a **mintaelőkészítő berendezések**. Az ásványok és a hasonló minták finom szemcséjű porrá őrölhetők és homogénizálhatók a **MiniMill** berendezésben.

*Testor Kft.

KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK

A pormintából elemzésre alkalmas tabletta préselhető a **MiniPress** laborpréssel, vagy gyönggyé olvasztható a **MiniFuse** berendezésben. Így módon kiküszöbölhetők a részecske méretéből és az ásványtani hatásokból eredő problémák is.

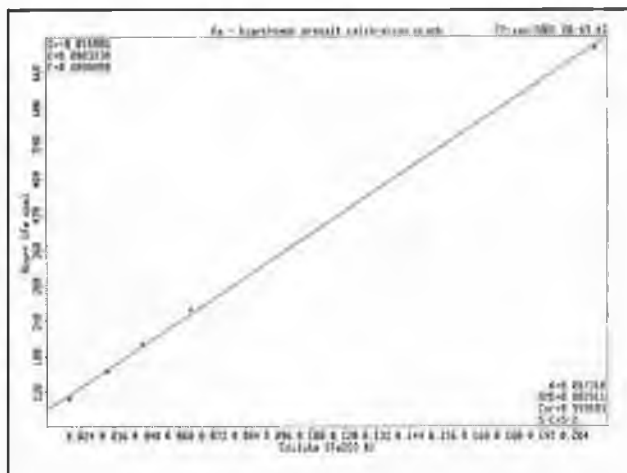


1. ábra. A Philips MiniPal energiadiszerzív röntgenspektrométer elvi vázlata

A MiniPal felhasználási területei

A MiniPal felhasználó közé tartoznak például az ásvány- és ércbányák, az üvegipar, a cementipar, a petrokémiai ipar, az élelmiszeripar, a gyógyszer és a gyógyhatású készítmények gyártói, a hulladék-feldolgozó cégek és a festékgyártók, de az igazságügyi és a vámlaboratóriumok, az egyetemek, a környezetvédelmi laboratóriumok is. Egy szóval, a szervesen analízist végzők gyakorlatilag mindegyike. Röviden néhány jellemző alkalmazási példát említünk.

A nagy tisztaságú kvarchomok – mint üvegipari alapanyag – leggyakoribb szennyezője a vas, mely a termék tulajdonságait (pl. színét) befolyásolja. A vaselemzés hagyományos módon roncsolásos mintakezelést igényel, ami nem csak az időigénye miatt hátrányos, hanem azért is, mert a nagy szilíciumtartalom okozta nehézségek miatt ez a



2. ábra. A kvarchomok kalibrációs görbéje vasra

művelet az elemzés bizonytalansági tényezője is. Röntgenspektrometriával mindezek a hátrányok kizárhatók.

Az etalonként használt különböző vastartalmú, de azonos matrixú mintákkal a MiniPal készülékkel felvett kalibráció eredményeként vasra 0,9996 szorosságú korrelációt kaptunk, a hozzá tartozó szórásjellemző értéke pedig 0,002911 értékre adódott (2. ábra). A minták rendkívül jó ismételt mérési eredménnyel mérhetők vissza, már 100 s mérési idő alkalmazásával is. Ezt szemlélteti az 1. táblázat.

1. táblázat. Kvarchomok minta ismételt mérési eredményei Fe₂O₃-ra átszámított vastartalomra

Nr	Ident	Fe ₂ O ₃	
		C	Unit
1	st7 visszameres	0.060	%
2	st7 visszameres	0.060	%
3	st7 visszameres	0.062	%
4	st7 visszameres	0.062	%
5	st7 visszameres	0.061	%
6	st7 visszameres	0.062	%
7	st7 visszameres	0.061	%
8	st7 visszameres	0.061	%
9	st7 visszameres	0.061	%
10	st7 visszameres	0.061	%

A jó eredmény igazolta várakozásunkat. Ennek alapja – cemelemezési eredményeinken [5] túlmenően – az az általános tapasztalat, miszerint a geológiai mintákon AAS, ICP és XRF módszerekkel elvégzett összehasonlító vizsgálatok alapján igazolódott, hogy a legmegbízhatóbb eredményt a röntgenfluoreszcens spektrometria szolgáltatja.

A MiniPal olajipari alkalmazhatóságát a Veszprémi Egyetem munkatársai – dr. Hartyáni Zsuzsanna, Szilágyi Virág, dr. Bartha László és Kis Gábor – részletesen megvizsgálták. (Munkájukat az OTKA is támogatta: T 026423 sz.) Vizsgálataik eredményeiről a 44. Spektrokémiai Vándorgyűlésen (Baja, 2001. június 25–27.) számoltak be. Meghatározták az egyes elemzési feladatok optimális mérési paramétereit, majd kalibrálták a készüléket ezekre a feladatokra. Az elemzési programok a következő területeken alkalmazhatók:

- gázolaj és benzin kén- és ólomtartalmának ellenőrzése;
- kenő- és hidraulika olajok, kenőzsírok természetes és adalékanyagainak ellenőrzése (a Na-, Mg-, P-, S-, Cl-, Ba-, Si-, Ca-, Zn-, Mo-tartalom meghatározása);
- fáradt olajokban a motoralkatrészek kopására jellemző fémek (Al, Si, Fe, Ni, Cu, Pb) mérése;
- gumiörlemény és gumidegradátum vizsgálata Zn-, Ca-, Mg-, Fe-, Si-, Ti-tartalomra;
- katalizátorok fémtartalmának (Al, Si, Co, Mo) meghatározása.

Élelmiszerek és gyógyhatású készítmények gyors, a technológiai vonalban elvégezhető, elemzéséhez a MiniPal készülék jól alkalmazható. Példaként a pezsgőtabletták vizsgálatát említem.

Pezsgőtabletták vizsgálata: Kihasnálva a MiniPal már említett előnyeit, a kereskedelembe kapható pezsgőtablettákat minta-előkészítés nélkül analizáltuk. E módszerrel gyors (mintánként max. 100 s mérési idővel) gyártásközi és végtermék ellenőrzés is végezhető, és kiváltható a hagyományos nedveskémiai módszer. A spektrométer elhelyezhető a technológiai sorba is.

Vizsgálataink a következő elemekre terjedtek ki: Ca, Mg, Fe, Mn és Zn. A mennyiségi meghatározásokat a mérési paraméterek megválasztása céljából – 10 s mérési időt és alapbeállítást alkalmazva – minőségi felvétel készítése előzte meg. Ezt követte a mérési paraméterek elemző vonalra optimált meghatározása, amely a röntgenszó gerjesztésének (feszültség, áramerősség), valamint a szűrő és a

mérőközeg (levegő vagy He atmoszféra) megválasztásából áll. Az alkalmazandó feszültség (kV) az elem anyagi minőségétől függ, az áramerősség (μA) a koncentráció függvénye, a cső ablaka elé helyezhető szűrő pedig a vonalfelbontást, illetve a jel/zaj viszonyt javítja. A mérőközeg a kis energiájú röntgensugárzást emittáló, alacsony rendszámú elemek ($Z < 20$, Ca) mérésekor He, az ennél nagyobb rendszámú elemek mérésekor levegő. A pezsgőtabletták elemzéséhez alkalmazott mérési paraméterek a 2. táblázatban szerepelnek.

2. táblázat. A pezsgőtabletták kémiai analizéséhez (EDXRFS) alkalmazott mérési paraméterek

A mért elem	Rh anódú röntgenső feszültsége, kV	áramerőssége, μA	Mérőközeg	Szűrő
Ca	5	450	levegő	nincs
Mg	4	1000	He	nincs
Fe	10	300, 500	levegő	Al-vékony
Mn	10	900	levegő	nincs
Zn	11	500	levegő	nincs

Példaképpen a pezsgőtabletták Ca-tartalmának elemzési eredményeit mutatjuk be a 3. táblázatban.

3. táblázat. A Ca-pezsgőtabletták Ca-tartalmára mért eredmények

Mérések sorszáma	Standard Ca-koncentráció (m/m%)	Szórás (%)	Relatív szórás (%)
1	12.50	0.018	0.15
2	12.50	0.029	0.22
3	12.50	0.036	0.28
4	12.50	0.038	0.29
5	12.50	0.039	0.30
1	6.66	0.024	0.35
2	6.66	0.029	0.42
3	6.66	0.031	0.45
4	6.66	0.031	0.45
5	6.66	0.029	0.42

Gyógyszertabletták gyártástechnológiájának ellenőrzése napjainkban is időszerű feladat. Ugyanis a tablettázáshoz különböző segédanyagokat szükséges adagolni. Ezek egyik csoportja a kenőanyagok, amelyekkel megakadályozható a tabletták felragadása a tablettázó szerkezet falára, és jelentősen csökkenthető a szerszámkopás.

A gyógyszeriparban jól ismert és széles körben alkalmazott kenőanyag a magnézium-sztearát. Használata alapvető, mert kis nyírószilárdságú filmet képez a szerszám fala és a tömörítvény (a tabletták) között csökkentve ez által a sűrűlódást; ám néhány kedvezőtlen hatás tulajdonsága is van. Mivel tablettapréseles közben a kenőanyag érintkezik a szemcsékkel, ezért a Szegedi Orvostudományi Egyetem Gyógyszertechnológiai Intézetében dr. Hódi Klára és munkatársai kísérleteket végeztek, melynek célja annak tanulmányozása volt, hogy a tablettázandó por szemcsemérete befolyásolja-e, és ha igen milyen mértékben a kenőanyag, a magnézium-sztearát tablettába kerülését és eloszlását.

A kísérleti tablettákat sorbitol (Ph.Eur.) vibrációs szitával kiválasztott szemcseméretű frakcióiból ellenőrzöttan azonos préselési technológiával $\varnothing 12 \times 4$ mm méretűre készítették. A $0,69 \text{ m}^2/\text{g}$ fajlagos felületű magnézium-sztearát (Ph.Eur.) kenőanyag felhasználási mennyisége 1% volt. Eloszlásának jellemzésére a tabletták alsó és felső felületén a magnézium mennyiségét közvetlenül mérték XRF módszerrel a MiniPal készülékkel. Mérési paraméterek: Rh anódú röntgenső, 4 kV, 1000 μA , szűrő nélkül, He-öblítés, mérési idő: 600 s a Mg K_{α} csúcsán. Eredményeiket a 4. táblázatban közöljük. Látható, hogy a különböző szemcsenagyságú frakciókból sajtolt tabletták alsó és felső felületén mért Mg-tartalomban nincs szignifikáns különbség. Viszont a mélységi eloszlást már számottevően befolyásolja a szemcseméret,

amint az kitűnik az 5. táblázat adataiból. Az eredmények technológiai értelmezése meghaladja cikkünk kereteit.

4. táblázat. A tabletták felületén mért Mg-tartalom

Tablettacsoport	Szemcseméret, μm	Magnéziumtartalom, ppm	
		a felső felületen	az alsó felületen
1	250–315	23,06 ± 2,45	21,48 ± 1,28
2	316–400	24,58 ± 0,73	25,46 ± 4,36
3	401–630	25,28 ± 6,21	22,75 ± 2,01
4	631–1000	22,66 ± 1,48	22,59 ± 4,31

5. táblázat. A magnézium mélységi eloszlása

A 2. tablettacsoport		A 4. tablettacsoport	
A mikrometszet vastagsága, mm	Magnéziumtartalom, ppm	A mikrometszet vastagsága, mm	Magnéziumtartalom, ppm
3,944	24,58 ± 0,73	3,864	22,66 ± 1,48
2,981	15,40 ± 0,60	2,999	9,20 ± 1,20
2,530	13,20 ± 0,90	2,228	4,60 ± 2,20
2,114	15,60 ± 1,50	1,776	3,30 ± 1,20

A környezetvédelmi alkalmazások közül két példát említünk. Az egyik az étetőműbe beérkező veszélyes hulladékok gyors minősítése a MiniPal készülékkel. Ennek az a jelentősége, hogy a veszélyes hulladékok hatástalanításához megalapozottan kiválasztható a megfelelő étetési technológia.

A másik alkalmazási terület a folyami üledékek (különös tekintettel a tiszai szennyezésre), a szennyvíziszapok nehézfém-tartalmának rendszeres ellenőrzése.

Összefoglaló értékelés

Aki rendszeresen használja, vagy akár csak kipróbálta már a MiniPal készüléket saját területén, hamar rádöbben a lényegre: nincs szükség hosszú órákig roncsolni, majd többször hígítani a mintát. Ezen előkészítő műveletekben rejlik különben is a legtöbb hibalehetőség. Nincs vegyszerigény sem. A 100–600 s alatt kapott röntgenes eredmény alapján eldönthető, hogy kell-e más módszerrel is alátámasztani az eredményt.

Az általánosan kialakult felhasználói nézet szerint „a MiniPal készülék által egy térben és időben jól elhelyezhető összképet kapunk a mintáról, egyszerűen és gyorsan. Segítségével tendencia állítható fel. Bizonyos koncentráció-tartományban önmagában elegendő a kapott eredmény, és csak esetenként, az alacsony koncentráció-tartományban szükséges további célzott vizsgálat. Az egyszeri műszerbeszerzéssel folyamatos megtakarítás érhető el. A röntgenfluoreszcens módszer alkalmazása rendkívül hasznos előszűrés: azonnal felhívja a figyelmet a kiugró jellemzőkre, majd a teljes kép után közelíthetünk a részletekre, zárva ezzel a «csőlátásból» eredő későbbi problémákat.”

Köszönetnyilvánítás. Ezúton is hálásan köszön a MiniPal készülék használatának, hogy megosztották velünk alkalmazási tapasztalataikat.

Irodalom

- [1] Jenkins, R.: An Introduction to X-Ray Fluorescence Spectrometry. Wiley and Sohn (1995)
- [2] Hartyáni Zs.: Röntgenfluoreszcens spektrometriás módszer alkalmazása ásványok könnyű elemei kémiai kötésének. Kandidátusi értekezés (1995)
- [3] Csikósné Hartyáni Zs.: Mintakészítéssel kapcsolatos problémák a röntgenfluoreszcens spektrometriában. ATOMKI közlemények. 27, (1), 17-21 (1985).
- [4] Pallósi J., Hartyáni Zs.: Minta-előkészítési technikák röntgenfluoreszcens elemzésnél, MKE Analitikai napok, Budapest, 1999. febr. 3.
- [5] Joó Katalin: Mini-röntgenspektrométer a cementgyártás szabályozásában, Anyagvizsgálók Lapja 10 (2000) 4. p. 117.
- [6] Testor Hírlevél 12. (2000), 13., 15., 16. (2001) és 17. (2002) számai (www.testor.hu)
- [7] K. Pintye-Hódi et al.: Investigation of the formation of magnesium stearate film by energy dispersive X-ray microanalysis, Pharm. Acta Helv. 56 (1981) pp. 320-324.

Ikerfuratos kapilláris reométer

Gian Carlo Locati* – Francesco Baldi*

Bevezetés

A kapilláris reometria mindmáig hathatós eszköz a polimerömlékek valós feldolgozás-technikai jellemzőinek meghatározásához. Ugyanis a kapilláris reométerben megvalósítható nyírássebességek és nyírófeszültségek azonos nagyságrendűek a legismertebb feldolgozási technológiák – mint extrudálás, fröccsöntés – során mért értékekkel. Ezért a készülékkel mért reológiai jellemzőket széleskörűen felhasználják a szerszámkitalítást szimuláló vagy a szerszámtervezési programok alkalmazásakor.

Sajnos, mint ismeretes, a reológiai jellemzők meghatározását a kapilláris mérés technika saját korlátjaiból fakadó hibák terhelik. Ezek közül a legismertebbek azok, amelyekre már korábban rámutatott Rabinowitsch és Bagley, és akiknek javaslatára a nevükkel emeltett megfelelő korrekciókat általánosan alkalmazzák.

A *Rabinowitsch-korrekció* a nyírássebességnél a polimerömlékek nem-newtoni jellegét veszi figyelembe a newtoni folyadékra levezetett egyenletekben. A korrekció mértéke annál nagyobb, minél jobban eltér az ömladék viselkedése a newtonitól.

A *Bagley-korrekció* azt az ún. belépési hatást veszi figyelembe, amely a csatornában (pl. csőben) laminárisan áramló polimerömléket akkor éri, amikor a csatorna keresztmetszete hirtelen megváltozik (pl. leszűkül). A Bagley-korrekció gyakran kapcsolatban van az áramlás rugalmas összetevőjével, amely jelentős a polimerek némelyikéinél, főként a poliolefinéknél.

A korrekciók alkalmazása tehát szükséges, ám egyrészt az adatokat felhasználók gyakran elbizonytalanodnak, mert nem tudják, hogy korrigáltak-e a közölt adatok. Másrészt, a Bagley-korrekcióhoz a reológiai vizsgálatot mindaddig kétszer vagy többször is meg kellett ismételni, ami növelte a vizsgálat költségét és időigényét, és nehezítette az adatkezelést is.



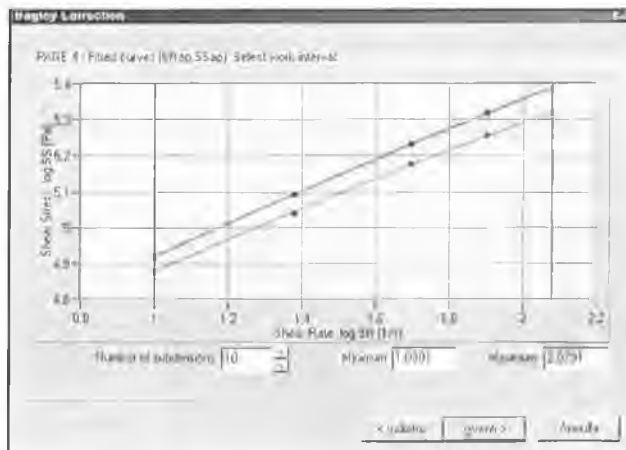
1. ábra. A Ceast Rheologic 5000-twin reométere

Ezeket, az egy-szerszámú vizsgálorendszer okozta gondokat szüntette meg az ikerfuratos reométer kifejlesztése (1. ábra). A továbbiakban ennek a megoldásnak következményeit és előnyeit mutatjuk be.

Ezeket, az egy-szerszámú vizsgálorendszer okozta gondokat szüntette meg az ikerfuratos reométer kifejlesztése (1. ábra). A továbbiakban ennek a megoldásnak következményeit és előnyeit mutatjuk be.

Az ikerfuratos megoldás

A többfuratos reométer a Bagley-korrekció egyszerű végrehajtását teszi lehetővé. Ugyanis a vizsgálat többszöri megismétlése helyett olyan reométert használnak, amelynek szerszámain különböző hossz/átmérő (L/D) viszonyszámú (D = állandó mellett) furatok vannak. A furatok száma legalább kettő kell legyen; ez gyakran elegendőnek bizonyult (2. ábra).



2. ábra. A Bagley-korrekcióhoz alkalmazott folyásgörbék

E célból a kapilláris reométert csatornánként egy-egy nyomásérzékelővel fel kell szerelni. Ezek méréstartománya lehet azonos – és ez a leggyakoribb –, de különbözőnek is alkalmazkodva a polimerek nagyon különböző jellemzőihez.

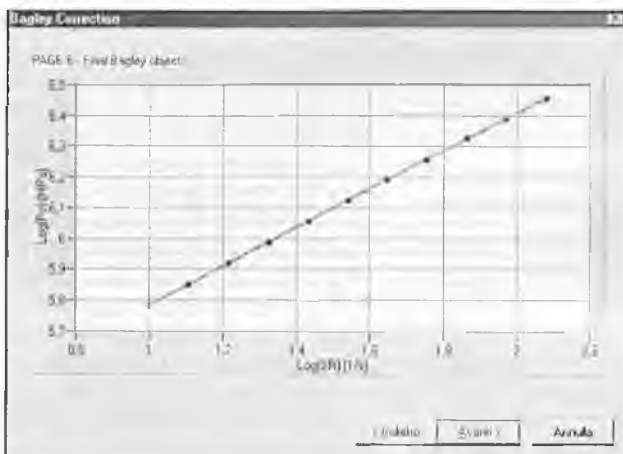
Azonos polimerek vizsgálatakor a két szerszám, különböző L/D viszonyszámú furataiban áramló polimerömlékek nyírássebessége szigorúan azonos; viszont a nyomása különböző, mivel a szerszámok áramlási ellenállása különböző: a hosszabb furatban (azonos átmérő mellett) nagyobb a nyomás, mint a rövidebben.

Az azonos nyírássebességnél mért nyírófeszültségek különbségéből – a szabványos eljárást alkalmazva – a készülék számítógépe automatikusan kiszámolja a Bagley-korrekciót.

Így az ikerfuratos reométerrel felvett reológiai görbék már megtestesítik mind a Bagley-, mind a Rabinowitsch-korrekciót. Ez utóbbi a $\lg(\text{nyírófeszültség})-\lg(\text{nyírássebesség})$ görbe meredekségéből a szokott módon számítható.

Az azonos anyaggal, azonos feltételekkel elvégzett vizsgálatok alapján lehet a legpontosabban becsülni a Bagley-korrekciót.

Egy másik figyelemre méltó lehetőség az, hogy a vizsgált polimerre az adott geometriában érvényes *Bagley-nyomás-nyírássebesség függvényét* is könnyen és következetesen megkaphatjuk (3. ábra). Ez járulékos információt ad az olvadék rugalmas tulajdonságairól, és lehetővé teszi ezen – a műszaki irodalomban nem kellő részletességgel tárgyalt – jellemzőnek a további tanulmányozását.

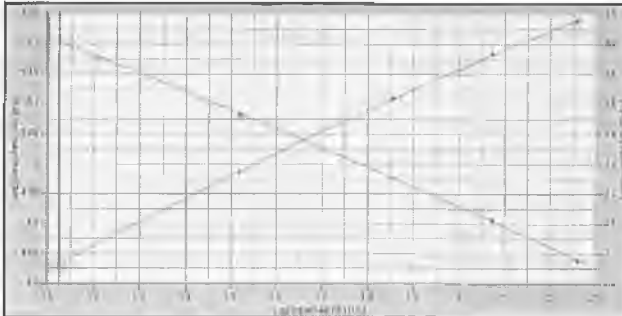


3. ábra. A Bagley-nyomás változása a nyírássebesség függvényében (a Rheologic 5000-twin szoftverje ezt Bagley Object-nek nevezi)

*Ceast Sp.A.

A Bagley-adat a vizsgált polimer minőségi mutatója is, azaz használatát – a vizsgálati idő növelése nélkül – kiterjeszthetjük a minőség-ellenőrzés területére is. Más szavakkal, az új fejlesztésű készüléket javasoljuk az eddig fázasztó és kényes feladat megoldására is.

A 4. ábra egy HDPE mintán mért valós értékek diagramját mutatja.



4. ábra. Példa a Bagley és Rabinowitsch szerint korrigált, valós folyás-görbére (a valós viszkozitás, illetve a valós nyírófeszültség [jobbra emelkedő] a nyírássebesség függvényében).

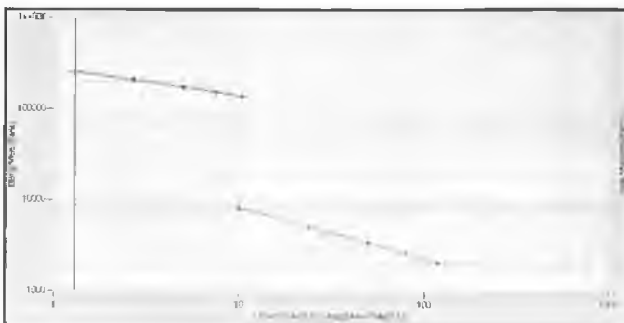
Az új készülékben egyidejűleg két különböző mintát is vizsgálhatunk, mégpedig szigorúan azonos feltételek mellett. Ez különösen méltányolható előny a különböző tételek vagy konkurens anyagok összehasonlításakor. Vagyis, az ikerfuratos készülék előnyösen alkalmazható mind a beérkező, mind a kimenő anyagok minőség-ellenőrzéséhez, illetve az anyagfejlesztési cél konkurens anyaghoz viszonyított ellenőrzéséhez.

A fal menti csúszás kimutatására is igazoltnan jól használható az új készülék. A polimer adalék- vagy kenőanyag-tartalma növeli a fal menti csúszást, de pigmentezett polimer esetén a csúszás váratlanul is fel-lephet. A csúszás mértéke a túl sok adalékra utaló jelzés is lehet. Az adalék mennyiségének megfelelő szintre csökkentésével javul az anyag feldolgozhatósága és csökken a feldolgozás költsége is. Ugyanis tény, hogy a túl sok adalék rontja az extrudált anyag teljesítő képességét, illetve az adalékfelesleg lerakódik a szerszám nyílásában.

A fal menti csúszás vizsgálatát az említett hatások észlelése miatt végzik. A vizsgálat során az ikerfuratos kapilláris reométer szerszámaiban a kapillárisok D átmérője különböző, de a hosszuk azonos (ellentétben a Bagley-vizsgálattal), és méri a szállítóteljesítményt a D függvényében. Ebből a megcsúszás sebessége meghatározható.

Visszatérve a Bagley-korrekciónak, az ikerfuratos készülék az egyfuratoshoz viszonyítva a válasz minőségét optimalizálja azáltal, hogy a korrekciónak szükséges vizsgálatok egyidejűleg azonos anyagon és azonos feltételek mellett futnak.

Végül, az ikerfuratos reométerrel a húzási viszkozitás, azaz a húzófeszültség hatása alatt mérhető viszkozitás is könnyen kiértékelhető, mégpedig Cogswell évekkel ezelőtt javasolt módszerével, amelyhez szükséges alapadat a Bagley-nyomás. Ezt az egyszerű számítást a készülék számítógépe automatikusan elvégezheti. Az 5. ábra a húzási viszkozitást a nyúlássebesség függvényében mutatja összehasonlítva az erre alapozottan meghatározott látszólagos nyírási viszkozitás-látszólagos nyírássebesség függvényével (felső görbe).



5. ábra. A húzási és a nyírási viszkozitás

A húzási viszkozitás ismeretének alapvető szerepe van mindazon feldolgozási technológiákban, amelyekben a polimerörmédek húzása is igénybe van véve. Az ilyen technológiák között említhetjük a fóliagyártást (mind az öntött, mind a fűjt változatát) és a fröccsöntést, ahol a húzófeszültségek a nyírófeszültségeknél még nagyobbak is lehetnek. De mondhatjuk, hogy gyakorlatilag valamennyi feldolgozási technológia során a nyúlási mezők jelen vannak a termékben, még ha nem olyan jelentősen, mint az említettekénél. Az egyszerűen és olcsón felvehető húzási viszkozitás görbének ismerete új utakat nyithat a feldolgozás irányításához. E tekintetben mondhatjuk, hogy ezzel a módszerrel – még ha tudományos szempontból nem is a legjobb – a nyúlásról szereshető információ biztosan a legjelentősebb a műanyag-feldolgozás számára, mivel ehhez a valós feldolgozáshoz nagyon közelálló feltételek mellett jutottunk.

Következtetések

Láthatjuk, hogy az ikerfuratos geometria gyakorlati megoldást ad az ún. belépési vagy Bagley-hatás korrigálására, mégpedig a lehető legpontosabban, mivel az ehhez szükséges vizsgálat azonos anyaghalmozaton és azonos feltételek mellett zajlik. Ez alkalmazható az azonos minőségű, de különböző adagból vagy a konkurens anyagból származó minták összehasonlítására is.

Az ikerfuratos készülék használata további előnyöket is kínál, főleg a minőség-ellenőrzés terén.

De más fejlesztésekhez is felhasználható az új kapilláris készülék. Ezek közül a fal menti csúszás és a húzási viszkozitás meghatározásának lehetőségére hívjuk fel a figyelmet. Mindkettő értékes jellemző számom műanyag-feldolgozási technológia ellenőrzéséhez.

A Ceast Rheologic 5000-twin ikerfuratos készülék műszaki jellemzői

Terhelő erő: max. 50 kN

A dugattyú sebesség-tartománya: 0,01 – 1000 mm/min

A dugattyú átmérője/lökete: 9,5; 12; 15; 20 mm/290 mm

A könnyen cserélhető folyató szerszámokban a kapilláris jellemzői, azaz a D furatátmérő- és az L furathossz-tartomány: \varnothing 0,25 – 2 mm és 0,5 – 40 mm; L/D = max. 160 (!)

A vizsgálat hőmérséklet-tartománya: 50 – 400 °C

A készülék számítógépe a VisualRHEO 0710.414 szoftverrel vezérli és kiértékeli a vizsgálatot, és grafikus megjeleníti a vizsgálati program szerint automatikusan korrigált valós idejű reológiai függvényeket.

A vizsgálat végezhető állandó dugattyú-sebességgel vagy állandó nyírássebességgel. A készülék teljesíti az ISO 11443, az ASTM D 3835 és a DIN 54811 szabványokban előírt feltételek.

VIZSGÁLÓBERENDEZÉSEK

a műanyagok mechanikai és fizikai jellemzőinek a meghatározásához:

- minta-előkészítő kisgépek
- ingás és ejtősúlyos ütőművek (igény szerint felszerszámozva és műszerezve)
- folyásindex-mérők, reométerek
- HDT- és Vicat-hőmérsékletmérők
- berendezések a villamos, a tűz- és hőállósági jellemzők méréséhez

a TESTOR Kft.-től

Korszerű infravörös detektorok

Papp Gábor*

Az utóbbi 40 év egyik korszakalkotó lépése az érintkezés nélküli hőmérsékletmérés elterjedése a gépészeti és villamos diagnosztikában. Az elv, amely alapja a mérési eljárásnak, régóta ismert, hiszen az 1800-as évek végén már publikálták az ún. láthatatlan fénysugarak tulajdonságait. A megvalósítás várható magára az 1960-as évek elejéig. A hidegháború, a harcászat fejlődése, az éjszakai látás igénye előrevetítette a passzív infravörös érzékelők rohamos fejlődését. Egy érdekes dátum, 1968, amikor az első ipari mérést végezték el svéd mérnökök egy katonai célra fejlesztett passzív éjjellátó készülékkel. Ettől kezdve a saját sugárzáson alapuló infravörös hőmérsékletmérés elterjedése és fejlődése töretlen. A fejlődést leginkább a különböző kialakítású, érzékenységre detektorok kifejlesztése határozza meg. Természetesen nem lehet figyelmen kívül hagyni a mikroelektronika, a számítástechnika és az ultraprecíziós megmunkálások fejlődését, hiszen ezek nélkül a technológiák nélkül, bármennyire érzékenyek is a detektorok, mérni velük nem tudnánk. Egészen a 90-es évek elejéig a hagyományos fotondetektorok uralták a készülékek többségének jelátalakítóit, majd 1995-ben megjelentek az első mozaik (FPA) kialakítású érzékelők, 1997-ben pedig az első mikrobolométer FPA detektorok. Ez a rövid szakcikk az érzékelők kialakításával, működési elvével foglalkozik a teljesség igénye nélkül.

Detektor fajták

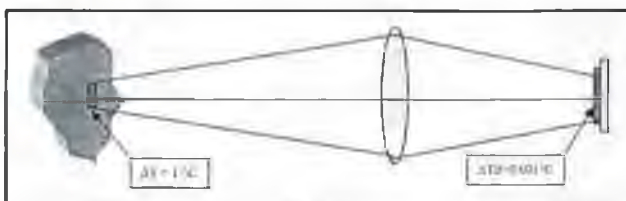
A detektor a termovíziós képalkotó rendszerek „jelke”. Feladata, az emberi szem számára láthatatlan infravörös sugárzás érzékelése, valamint a sugárzás intenzitásával arányos olyan jel előállítását, amely feldolgozható a továbbiakban.

A detektorok kialakítása szerint megkülönböztetünk: pont-, vonal- és mozaik (FPA) detektorokat.

A detektorok működési elve szerint megkülönböztetünk: foton- és hő (thermal) detektorokat.

A pont- és a vonaldetektorok az infratelevíziózás kezdetekor elterjedt érzékelő fajták voltak, előállításuk igen költséges és hosszadalmas eljárást követelt. Az előállítás hagyományosan az egykristály növesztés technológiáján alapult. Megfelelő működtetésükhöz hűtés szükségeltett, amelyet folyékony nitrogénnel vagy folyékony héliummal oldottak meg, valamint a lencse által befogott kép pontokra felbontásához szükséges tükrös-prizmás rendszer alkalmazása elengedhetetlen volt. Tulajdonságaik közé sorolhatjuk a nagy érzékenységet, stabilitást és az egyszerű kivitel. Többségük a rövid hullámhossztartományban üzemelt, alapanyagaik a leggyakrabban PbS és InSb voltak.

Manapság az úgynevezett QWIP (Quantum Well Infrared Photon) detektorok képviselik őket a korszerű készülékekben, igaz ezek már mozaik kivitelben és a hosszú hullámhossztartományban. A QWIP detektorok jellemzői között a rendkívül nagy érzékenységet kell kiemelni. Egy ilyen detektorral szerelt készülék pontossága: $0,03\text{ }^\circ\text{C}$. Ahhoz hogy megértsük, mit jelent ez a pontosság, az 1. ábra szemlélteti az $1\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet-különbséghez szükséges detektor érzékenységet.



1. ábra

* a Flir cég képviselője

A korszerű készülékbe épített detektorok többsége (90%) FPA detektor és azon belül is hődetektor. Két fajtáját különböztetjük meg: a mikrobolométer és a ferro- és piroelektromos fajtát.

A mikrobolométerek működési elve az infravörös sugárzás hatására létrejövő ellenállás-változás mérésén alapszik. Egyenfeszültség szükséges táplálásukhoz, rendkívül stabilak és könnyedén beépíthetők olyan készülékekbe, amelyekkel abszolút hőmérsékletet kívánunk mérni.

A ferro- és piroelektromos érzékelők az infravörös sugárzás hatására kapacitásukat változtatják. Jellemzőjük a váltóáramú táplálás, a gyengébb stabilitás, mint a mikrobolométer fajtánál, valamint külön elektronikai egység alkalmazása amennyiben abszolút hőmérsékletmérésre kívánjuk felhasználni.

Mivel a ma forgalomban lévő készülékek többségében mikrobolométeres detektor van beépítve, ezért ennek a típusnak a működésével foglalkozunk kicsit részletesebben.

A mikrobolométer úgy viselkedik, mint egy termisztor, vagyis hőmérsékletváltozás esetén ellenállása megváltozik. A hőmérsékletváltozást a detektor felületére felgőzölgetett VOX (vanádium-oxid) réteg érzékeli, amely az infravörös sugárzás hatására változtatja meg ellenállását. Egy detektorelem mérete $50\text{ }\mu\text{m}$ oldalhosszúságú négyzet. A mikrobolométer elemek egy félvezetőhídon keresztül vannak összekötve, az analóg-digitális átalakítóval, majd mintegy memória egység tárolják és továbbítják a jeleket. Az analóg-digitális átalakítást tehát maga a detektorelem elvégzi. A detektorelemeket egy közös termoelektromos stabilizátorra rögzítik, amelynek hőmérséklete hűtés nélküli detektor esetén közel szobahőmérsékletű. Az így előállított FPA detektort egy olyan házban helyezik el, amelynek egyik oldalán egy ablak helyezkedik el. Az ablak infravörös áteresztő anyagból készül, germániumból, ennek irányába néz a detektor VOX rétege. Azáltal, hogy a 14 bites analóg-digitális átalakítót közvetlenül a detektorba építik be, minimálisra csökkentik a detektor működése során fellépő zajokat, ezáltal tiszta, szemcsészetlen infravörös képet állítanak elő. Az ilyen mikrobolométerek tulajdonságaihoz tartozik még a rendkívül jó linearitás valamint a stabilitás. Mivel hűtést nem alkalmaznak, ezért a detektor belső elemeinek (VOX-réteg, Ge-ablak stb.) sugárzása egy nagyságrenddel nagyobb, mint maga az objektum sugárzása, amelynek hőmérsékletét akarjuk mérni. Ezért elengedhetetlen a belső (a detektor elemeinek saját) sugárzás pontos nyomon követése, változásának mérése. Az így nyert adatokat használja fel a detektorba épített automatikus hőmérséklet-kiegyenlítő. Referenciaként a kiegyenlítés alapjául egyéb hőmérsékletérzékelőket illetve ismert sugárzású (hőmérsékletű) forrásokat használnak. Az így kapott referencia adatokat valamint a saját és a mérendő objektum sugárzásából származó jeleket matematikai algoritmusok segítségével dolgozzák fel.

A fotondetektorok működése alapvetően más, mint a mikrobolométereké. A detektorelemen belül egy alacsonyabb és egy magasabb energiaszinttel rendelkező sávot különböztetünk meg, közöttük egy őket elválasztó sávval. Az elektronok az alacsonyabb energiaszintű sávban helyezkednek el mindaddig, amíg hőmérsékletváltozás hatására a magasabb energiaszintű sávba „ugranak”, így szolgáltatva számunkra feldolgozható jelet. Ebből következik, hogy ha a detektorelem önmaga felmelegszik, elektronjai könnyedén kerülnek a magasabb energiaszintű sávba, ezért a fotondetektorok minden esetben hűtést igényelnek. A hűtés hatására az elektronok nehezebben győzik le az elválasztó sáv ellenállását, kevesebb elektron kerül magasabb energiaszintre. Ahhoz hogy ezt a megnövekedett ellenállást legyőzzék, külső energiaforrásra van szükség, amelyet a hőszugárzás fotonjai adnak. A magasabb hőmérsékletű tárgyak nagyobb energiájú fotonokat bocsátanak ki, így az elektronok

(Folytatás a 125. oldalon!)

Kutatóközpontok

Az interneten számos hazai és külföldi kutatóközpont tart fenn információs oldalakat. Ezek a saját és a hasonló profilú kutatóközpontok szakmai munkáját és munkakapcsolatait mutatják be, tehát hasznos kiindulási helyek lehetnek. Így például a **Miskolci Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány** honlapján: <http://www.bzlogi.hu> számos projektről szóló információt, kiadványokat, adatbázisokat, végelemes analízis lehetőségeket leíró információt stb. találhatunk a szerkezetintegritás, az informatika, a gyártástechnológia stb. területről. A kutatóközpont, széles körű kapcsolatai révén, lehetőséget nyit a hazai és külföldi hasonló profilú kutatóközpontokkal való kapcsolattartásra.

A hazai és külföldi egyetemek oktatói és kutatói egyaránt részt vesznek és fenntartanak internetes leőhelyeket, ahol információkat találhatunk tevékenységükről, eredményeikről, projekt lehetőségeikről, szakembereikről és a további kapcsolattartás módjairól. Így például, a teljesség igénye nélkül, megemlíthető: a **Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**: <http://www.bme.hu/hu/okt/index.html>, a **Miskolci Egyetem** <http://www.uni-miskolc.hu/uni/res/>, a **Veszprémi Egyetem**: <http://www.vein.hu>, a **Londoni Egyetem** szerkezetintegritási megfigyelő oldala: <http://www.simonet.org/>, a **Stanfordi Egyetem**: <http://www.stanford.edu/>, a **Massachusetts-i Egyetem**: <http://www.mit.edu/>, a **Stuttgarteri Egyetem**: <http://www.uni-stuttgart.de/en/>, a **Bristol-i egyetem**: <http://tip.men.bris.ac.uk/sirt/index.php> és a **California-i egyetem**: <http://mae.eng.uci.edu/faculty.html>, <http://www.mecheng.strath.ac.uk/research.asp>.

Ezen honlapokról számos információt nyerhetünk a projektekhez kapcsolódás lehetőségeiről, és sok esetben komplett oktatási tananyagok is megtalálhatók.

Southwest Research Institute: <http://www.swri.org/4org/d18/d18home.htm> Itt jól rendszerezett információt találhatunk a kutatóközpontokról, lehetőségeikről és az eddigi eredményeikről.

FEMCOS: Research Organisation for Technical Mechanics : <http://www.femcos.com/> Itt a kutatóközpont bemutatása mellett egy szoftver leírása és alkalmazásának lehetőségei is megtalálhatók.

Martingale Research Corporation: <http://www.martingale-research.com/prod02.htm> Ez a kutatócsoport főleg a roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazásait mutatja be. E mellett a különböző képfeldolgozási lehetőségeikről, szerelemzéseikről kaphatunk betekintést.

ASKACHE <http://www.askache.com/>. Itt egyaránt található mecha-
nikai, kémiai és szoftverekről szóló információk.

AAA technology <http://www.aaatech.com/>. Ez a csoport főleg cső-
vezeték tervezéséhez nyújthat segítséget.

Joint Research Centre: http://www.jrc.it/default.asp?sldSz=more_information. Ez egy európai tudományos és technikai kutatóközpont honlapja. Számos információt találhatunk itt projektekéről és a részvétel lehetőségeiről.

Joint Research Centre (JRC), Institut for Energy (Petten) <http://www.jrc.nl> honlapján az intézet bemutatásán kívül megtalálhatók mind-
azon hálózatok keretében végzett tevékenységek, amelyeket a JRC koordinál, így az EPERC, NESC, ENIQ, AMES, PREVIN, OCEAN stb. Külön értéke e honlapnak, hogy on-line anyagadatbázisa is van. Ennek címe: <http://matdb.jrc.nl>, ahol ötvözetek és kompozit anyagok adatbázisa, korróziós adatbázis valamint tömitések tulajdonságaira vonatkozó adatok találhatóak.

Szoftverek

A világhálón számos olyan hely létezik, ahonnan különböző programokat lehet letölteni. Ezek lehetnek kipróbálási vagy ingyenes programok is. Minden esetben viszont folyamatosan frissítik ezen programok listáját és esetenként fel lehet iratkozni oly hírlevelekre, amelyek e-mail küldésével értesítik az érdeklődőket az újabb programok letölthetőségéről. Sajnos ezen internetes leőhelyek nem tartalmaznak kifejezetten szakmai jellegű programokat, viszont számos statisztikai, matematikai vagy grafikus képezelői programot lehet itt találni, amelyek a szakemberek számára is hasznosak és esetleg ingyenesek is. Az egyik ilyen hely például a <http://www.freedownloadcenter.com/> címen található. Itt rendszeresen lehet újabb programokról értesítést kérni, és számos ingyenes program is letölthető. Egy másik hasonló profilú internetes leőhely a <http://www.tucows.com/>, ahol a programok rendszerezve vannak profil és operációs rendszer szerint.

Klementis Ottó

(Folytatás a 124. oldalról!)

nagyobb számban kerülnek magasabb szintre. Annak érdekében, hogy ne kerüljön magasabb energiaszintre túl sok elektron, a detektorelemen belül az elválasztó sávot „vastagabbra” készítik. Ezen fotonok hullámhossztartománya az infravörös tartomány rövidebb (3–5 μm) sávjába tartoznak. Az alacsonyabb hőmérsékletű tárgyak fotonjai kevesebb energiát hordoznak magukkal, hullámhossztartományuk a hosszú (7–13 μm) tartományba esik. Ilyenkor az elválasztó sáv „vékonyabb” az elektronok magasabb energiaszintre kerülésének megkönnyítése érdekében. Lényegesen egyszerűbb rövid hullámhossztartományban működő (érzékelő) detektort készíteni, mint a hosszú hullámút. A rövid hullámhossz-tartományú detektorok hátránya az alacsonyabb hőmérsékleten fellépő érzéketlenség.

A **QWIP detektorok** bázis hordozói gallium-arszén ötvözetből készülnek. A gyártás során 2 μm vastagságban alumínium-gallium-arszén és gallium-arszén sávokat gőzölnek egymásra. Az AlGaAs rétegek az alacsony és magas energia sávokban üregeket képeznek, amelyekben az elektronok „összegyűlnek”. Így kisebb energiájú foton hatására is kellő számú elektron képes az energiaszintjének megváltoztatására. Az így

kapott detektor rendkívül érzékeny, tehát alkalmazható a hosszú hullámhossztartományban. A megfelelő érzékelő geometria kialakítása után egy rendkívül szűk sávban (8–9 μm) érzékeny detektort kapunk. Természetesen a QWIP detektorok működéséhez elengedhetetlen a hűtés.

A ma leggyakrabban beépítésre kerülő detektorok felbontóképessége 320x240 képpont. A felbontás növelésének gátat szab a szomszédos detektorelemek közötti „áthallás”. Az „áthallást” úgy kell elképzelni, hogy egy egyértelműen a környezeténél magasabb hőmérsékletű tárgy képe „életlennek” tűnik, mert az érzékelésben résztvevő detektorelemek a szomszédos detektorelemeket is felmelegítik, amelyekre közvetlenül a tárgyról nem érkezik infravörös sugárzás.

A jövőt megjósolni nagyon nehéz, de nagy a valószínűsége annak, hogy a felbontóképesség növelését tűzik ki maguk elé a fejlesztők, annál is inkább mert az infravörös technológiában az optikai képkicsinyítés és nagyítás fokozatmenetesen állítható (zoom) objektívokkal nem oldható meg. Természetesen foglalkoztatja a kutatókat olyan ötvözet kialakítása is, amely segítségével olyan érzékelő állítható elő, amely képes rövid és hosszú hullámhossztartományban egyaránt működni, lehetővé téve a magas és alacsony hőmérsékletek egyidejű és pontos mérését egy termovíziós kamera segítségével.

Vitaindító gondolatok az MSZ EN 473:2001 hazai értelmezéséről

Az előzményekről

A roncsolásmentes vizsgálatot végző személyzet minősítése világszerte részletesen szabályozott tevékenység. A hazai gyakorlat – értelemszerűen – az európai követelményeket összefoglaló EN 473:1993 (MSZ EN 473:1994) előírásrendszerét vette át. A szabvány alapján, 1995-től kezdődően, kialakult egy új minősítési rendszer, amelyhez a szabvány értelmezésének megfelelő tematikák és vizsgakérdések is lettek dolgozva.

1996-ban a NAT akkreditálta az MHE-t, mint olyan szervezetet, amely képes és jogosult a minősítéshez, a tanúsításhoz tartozó szakmai, illetve szervezési követelmények kialakítására, más szóval, a szabványban rögzített feladatok maradéktalan ellátására.

Ebben az időben, a NAT döntése értelmében, az MHE szakmai döntési mechanizmusát egy ATB címen létrehozott bizottság segítette. Az ATB tagjai az MSZ EN 45013 jelű szabvány előírásainak megfelelően lettek megválasztva (ipar, oktatás, minisztériumok, szakmai érdekképviseletek stb.), tehát széles körben képviselték az érintettek érdekeit. A döntések alaposágát azok az ütköztetett vélemények, esetenként, viták biztosították, amelyek egy-egy kérdés többoldalú megvilágítását szolgálták.

Az MHE 2000-ben feloszlatta az ATB-t és helyette, létrehozta az Igazgatótanácsból szervezett háromtagú Igazgatótestületet – gyakorlatilag – az ATB feladatainak az átvállalására. Ily módon megszűnt az érdekegyeztetés lehetősége, amely egy – jelenleg – monopolhelyzetben lévő szervezet esetében, a legjobb szándékok mellett is, magába rejti a téves döntések lehetőségét, mint ezt a későbbiek bizonyítják.

Az ATB megszűntetésével a Marovisz elvesztette az abban gyakorolt képviselői lehetőségét. Ezzel kialakult az a megmagyarázhatatlan helyzet, miszerint a Marovisz az európai roncsolásmentes szövetségben (EFNDT) képviselheti a magyar roncsolásmentes vizsgáló személyzet érdekeit, de a hazai tanúsító szervezetben megfosztották ettől a lehetőségtől.

A Marovisz – az ügy fontosságának a felismerésétől indítva és a több bizalom elnyeréséért – ez évben belépett az MHE-be, azzal a céllal, hogy olyan szakmai háttérrel biztosítson, szervezeti formában, a minősítéssel kapcsolatos szakmai döntésekhez, amely ezt, az ország-határokat meghaladó témát megilleti.

Sajnos az előbbieken jellemzett helyzet semmit nem változott, célunkat így sem tudtuk elérni, véleményünk nem kapott – ez ideig – fórumot.

A szabvány módosításáról, a legfontosabb változásokról

1995-től, az MHE vezetésével kialakított új képzési, minősítési követelmények elfogadtatása és alkalmazása – a szomszéd országokhoz viszonyítva – jól sikerült. Azokon a szakmai fórumokon, ahol a külföldi szakemberek megismerték a bevezetett rendszert, elismerést aratott az eredményeivel.

Ebben az időszakban, Európa más országaiban is, tapasztalhatók voltak bizonyos értelmezési eltérések, melyek a szabvány bevezetését, illetve alkalmazási gyakorlatát is befolyásolták egy-egy esetben.

Az előbbieken jellemzett értelmezési bizonytalanságok, szabályozatlan előírások miatt továbbfejlesztették az EN 473 anyagát (EN 473:2000). Az újabb kiadásban (MSZ EN 473:2001) igen erősen érez-

hető az a pontosítást szolgáló törekvés, amellyel az előírások azonos értelmezését akarták szolgálni, elősegítve ezzel a roncsolásmentes vizsgálatot végző személyzet európai minősítéséhez szükséges, egységes követelményrendszer kialakítását.

Bár az MSZ EN 473:2001 megjelenése jelentősen érinti a felkészítéssel foglalkozó tanfolyamszervezőket és a tanúsító szervezetet is, mégis, kijelenthető, hogy a minősítés valamelyik szintjével rendelkező vagy azt igénylő személyek munkájára lehet – igazán – kiemelt hatással.

A továbbiakban csak azokkal a változásokkal fogom jellemezni, amelyek befolyásolhatják a minősítéshez való hozzájárulás módját és az európai elfogadhatóságát.

A szabvány két kiadása között a legjelentősebb változás a szakterületek kezelése terén van. Az új kiadásban megjelentetett **A** mellékletben – tájékoztatásként – közölnek egy referenciajegyzéket, amely a **szakterületek** kialakítására ad megoldást.

Ebben a javaslatban két utat jelölnek meg:

– Az egyik esetben, a **termékterületek** megválasztásával megegyezik a **szakterület** alkalmazási területe. Ilyen módon választott **szakterület** lehet

- az Öntvények (c),
- a Kovácsolt termék (f),
- a Hegesztett termékek (w),
- a Csövek és vezetékek, beleértve a lemeztermékekből készített hegesztett csöveket (t) és a
- az Alakított termékek.

– A szakterületek meghatározásának a másik formájánál a termékterületek megválasztása mellett, az ipari szakterületet is meg kell jelölni, amely lehet

- Fémtermékek gyártása, vagy
- Készülékek, berendezések, létesítmények előzetes és üzem közbeni vizsgálata, vagy
- Vasúti karbantartás, vagy
- Repülés és űrrepülés.

A **szakterület** tehát az ipari szakterületre és ezen belül, a vizsgált termékterületekre vonatkozik.

Kiegészítések az előbbiekhöz, a szabvány kötelező részéből:

A szabályozás tartalmaz bizonyos könnyítéseket, amelyekkel akkor lehet élni, ha az ipari szakterületben – egyszerre – több termékterület elméleti és gyakorlati vizsgáját kívánja letenni a jelölt.

A szakterületek szabályozását kiegészíti az a lehetőség, hogy a termékterület szűkítésével (pl.: az ultrahangos vizsgálatot a falvastagságmérésre stb.) a képzés idejét is, akár 50%-kal is, lehet csökkenteni. Ezzel a speciális igényeket lehet – gazdaságos formában – kielégíteni.

Úgy tűnhet, hogy az itt, tömören jellemzett pontosítások nem okozhatnak fennakadást a roncsolásmentes vizsgálatot végző személyzet képzésében, minősítésében. Azonban, ez csak látszólagos.

Az 1995-től bevezetett **ipari szakterületek** – gyakorlatilag – nem egyeznek meg ezzel a rendszerrel. Például: az MT, PT, VT tanúsítványokban szereplő **kohászati** vagy **gépészeti termékek vizsgálata** című szakterületek nehezen illeszthetők bele a szabvány által javasolt formába és tartalomba.

Az LT esetében is tudomásul kell venni, hogy a jelzőgázos és a nyomáskülönbségen alapuló módszereket megkülönbözteti a szabvány.

Az eltérések okozta helyzetben, ez elkerülhetetlennek látszik, az eddig kiadott és érvényben lévő tanúsítványok több évig (esetleg ennél hosszabb ideig is) együtt fognak "élni" az új rendszerrel, ami értelmezési zavarokat okozhatna, például, a következő területeken:

- a) a szakterület bővítésénél,
- b) a tanúsítvány érvényességének a meghosszabbításánál,
- c) a magasabb szintű minősítés igénylésénél.

A jelzett anomáliákat kompromisszumok elfogadásával, eljárásrendek kialakításával lehet úgy szabályozni, hogy a minősített személy ne kerüljön hátrányos helyzetbe.

Az igazi problémát, azonban, egyrészt az okozza, hogy az új szabvány megjelenését nem követte az új követelményrendszer kialakítása (a tematikák és az új tematikáknak megfelelő vizsgakövetelmények megfogalmazása [tesztkérdések stb.]), másrészt a meglévő tematikákhoz tartozó vizsgakérdések formailag sem felelnek meg az új előírásoknak, mert csak 3 választ tartalmaznak 4 helyett.

A 2002 nyarának végére összesűrűsödött feladatok, elmaradások sajátos megoldásokhoz vezettek.

Az Igazgatótestület által elfogadott „stratégia” szerint a vizsgakérdések elkészítése – gyakorlatilag – megelőzi az átgondolt követelményrendszerrel összhangban lévő tematikák kialakítását.

Elvi döntés született a szakterületek értelmezéséről is, amely szerint a szakterületekhez tartozó gyártási technológia tárgyi ismerete – a képzés során is és a minősítővizsga követelményeiben is – elsődlegesség, meghatározóvá vált, a vizsgálati eljárások alkalmazásához viszonyítva.

E két, fontos döntés helyességét vitatom a hazai és a nemzetközi tapasztalatok alapján.

Milyen hazai és nemzetközi tapasztalatokat ismerünk?

A roncsolásmentes vizsgálószemélyzet képzésének, mintegy 40 éves – hazai – történetében nem ismerek példát arra, hogy a vizsgakérdések megfogalmazása megelőzte volna a tematika kialakítását.

Tájékozódásom szerint, a más területeken folyó oktatásoknál is az elvi követelmények meghatározása, a tematika – legalább átfogó – rögzítése nélkül nem kezdenek a tesztkérdések elkészítéséhez.

Szerencsére hozzájutunk azokhoz a tapasztalatokhoz is, amelyek a nemzetközi trendek felméréséhez szükségesek.

Egyrészt, a Marovisz mint az EFNDT teljes jogú tagja, minden munkaanyagot megkap, amely az európai szövetségben elkészül. Úgy tűnik, hogy a minősítés szabályozása az érdeklődés középpontjába került az utóbbi időben, tehát egymás után kapjuk azokat az összeállításokat, amelyek értékes tapasztalatokhoz juttatnak.

Másrészt, az MSZT ajánlatára, én képviselem hazánkat az ISO/TC135/WG2 N bizottságban és hetente (!) érkeznek azok az e-mail anyagok, amelyek a roncsolásmentes vizsgálatot végző személyzet minősítésével, tematikájával foglalkoznak. Eddig elküldték már az eljárásokhoz tartozó – összefoglaló – tematikákat (ezek is órára lebontott anyagok, amelyek a termékterületi témacsoportokat is tartalmazzák!). Továbbá, jelezték, hogy az elküldött anyagokat követni fogják a még részletesebb szakterületi tematikák is. Ezek a tematikák a **szabvány A mellékleteként fognak megfelelni (9 db tematikát ígérnek: 5 db termékterületit, 4 db szakterületit)!**

Az októberi ülésen döntenek az előkészített javaslatokról és – természetesen – ezeket is elküldik (az MSZT bizottságában ezek az eredmények napirendre is fognak kerülni).

Harmadrészt, a GTE segítségével, megkaptuk azt a kiadványt, ame-

lyet – 2002-ben – Barcelonában adtak ki és az ICNDT részletes véleményét tükrözi e minősítés szabályozásáról.

A cikk, területi határai miatt, nem alkalmas arra, hogy a felsorolt csatornákból származó állásfoglalásokat részletezzem. Elkerülhetetlen, azonban, hogy az MSZ EN 473-ban megismert szabályozások nemzetközileg értelmezett súlyát jellemezzem, mivel csak ennek ismeretében lehet felmérni a kritizált út, a vitatott döntések helyességét és hatását a jövőben!

Az ICNDT kiadványa különösen alkalmas arra, hogy a tárgyra vonatkozó fejlődés irányát felmérhessük.

Az anyag szerint, a világszervezet, 99%-ban – szó szerint! – átvette az EN 473:2000 jelű szabvány szövegét és ISO 9712 jelű szabványtervezetként kiadta!

A közel 80 oldalas kiadvány – az ISO 9712 szabvány és más, fontos tájékoztatások mellett, a VT, PT, MT, ET, RT, UT, AE és LT tematikák – minimális – követelményeit is tartalmazza (az 1. a 2. és a 3. képzési szintre részletezve).

A szabvány számára biztosított, és földrészekről független, szakmai támogatottság szerint azzal kell számolni, hogy a nevezett szabályozások már átlépték Európa határait!

Milyen hatása lehet az MhE által erőltetett döntéseknek?

A nemzetközi előírások csak a minimális követelményeket fogalmazzák meg. Ami ebből elmarad, azt számon lehet kérni. Azt, természetesen, nem tiltja semmilyen előírás, hogy – akár – szükségtelen képzési anyagokkal megnöveljék az oktatást. Azonban ez drágítja a felkészítést, megnehezíti a rugalmas szakterületi bővítést.

Mellékelten bemutatam a – hivatkozott – kiadványból az RT tematikához készített javaslatot. Világosan kiolvasható ebből az a logikus törekvés, miszerint egy alapos *Általános* részhez olyan célszerű szakterületi anyagok tartoznak, amelyek az eljárás alkalmazásának a szakszerűségét szolgálják az adott termék- vagy ipari szakterületeken!

A sajátos, hazai felfogás hatása megnehezítheti az európai konkurenciával való harcot, és azt se nehéz megjósolni, hogy a nemzetközi erőviszonyok alapján nem a többi országban fognak hozni igazodni...

Azt meg különösen nehéz megérteni, hogy egy – sok szakmai szűrőn átjutott – tematikák figyelembe vételét (átvételét) mi gátolta?

A Marovisz részéről mindent megtettünk, hogy a „szokatlan” döntések ellen érvelhessünk, erre azonban nem volt módunk.

Azonban, az MhE, mint a roncsolásmentes vizsgálatot végző szakemberek személyzettanúsításra akkreditált szervezet, nagy felelősséggel bír! Minden tevékenysége, döntése, azoknak az embereknek a jelenét és a jövőjét érinti, illetve befolyásolja, akiknek a tanúsítására elnyerte az akkreditálási okiratot!

A cikkben arra szerettem volna felhívni a figyelmet, hogy a civil szervezetek mellőzése, milyen hátrányt jelenthet a hazai roncsolásmentes vizsgálatot végző személyzet jövőbeli tevékenységében.

Azzal a reménnyel, illetve várakozással zárom ezt a vitaindító gondolatsort, hogy az MhE bizalommal fogadja a Marovisz szakmai segítségét és lehetőséget ad arra is, hogy ellássa a roncsolásmentes vizsgálószemélyzet érdekvédelmi képviseletét a tanúsítási szabályozások területén.

Budapest, 2002. 10. 17.

A Marovisz vezetősége nevében:

Tarnai György
elnök

RT

RADIOGRAPHIC TESTING - REQUIREMENTS OF TECHNICAL KNOWLEDGE FOR NDT PERSONNEL

Subject and subchapter

Level 1	Level 2 <i>In addition to the knowledge of Level 1</i>	Level 3 <i>In addition to the knowledge of Level 2</i>
1. Physics		
General of Waves <ul style="list-style-type: none"> Electromagnetic and elastic: significant changes Wavelength, Speed, Frequency, Energy Classification of Electromagnetic radiations regarding wavelength Fundamentals of Atomic Physics <ul style="list-style-type: none"> Atoms: Electrons, Protons, Neutrons Periodic table of elements Isotopes: natural, artificial Interaction with matter <ul style="list-style-type: none"> Interaction of Atoms and Photons: from Rayleigh diffusion to Pair production Ionisation factor of matter, gases Half Value layer, Tenth Value layer Electricity <ul style="list-style-type: none"> Current, Intensity, Power, Duty Cycle Dc vs Ac or pulsed current KVp vs keV Anode, Cathode Laws <ul style="list-style-type: none"> Inverse Square law Absorption, Attenuation, general decay law SI units and measure <ul style="list-style-type: none"> Activity, Exposure Dose and Dose Rate Specific constants used, Limits 	General of Waves <ul style="list-style-type: none"> Corpuscular and wave aspect of Electromagnetic radiation Fundamentals of Atomic Physics <ul style="list-style-type: none"> Details of Production and Use Interaction with matter <ul style="list-style-type: none"> Interaction of Atoms and particles: α, β, γ Effect of Incident Energy Built Up factor Electricity <ul style="list-style-type: none"> Short of Transformer, diode, filament Laws <ul style="list-style-type: none"> Power, effect on λ_{min} with U SI units and measure	General of Waves Fundamentals of Atomic Physics Interaction with matter Electricity Laws SI units and measure
2. Equipment		
X Ray equipment <ul style="list-style-type: none"> Production and acceleration of electrons Generator: differences with static and portables Target: material, cooling, thermic vs. focal spot Neutron radiography	X Ray equipment <ul style="list-style-type: none"> Generators: type of rectification and designs Tube: material, panoramic, directional Tube: Shielding, leak protection Target: design and configuration Output: effect of rectification, duty cycle, dose rate High energy and special equipment μfocus, Betatron, Linac, Cyclotron Neutron radiography <ul style="list-style-type: none"> Neutron sources Principle of fission chain reaction fast neutron flux/ energy and spatial distribution neutron thermalisation thermal flux energy + spatial distribution Accelerators: type neutron producing reaction available yields and energy spectra 	X Ray equipment Neutron radiography <ul style="list-style-type: none"> Neutron sources Principle of fission chain reaction fast neutron flux/ energy and spatial distribution neutron thermalisation thermal flux energy + spatial distribution Accelerators: type neutron producing reaction available yields and energy spectra

RT

RADIOGRAPHIC TESTING - REQUIREMENTS OF TECHNICAL KNOWLEDGE FOR NDT PERSONNEL

Subject and subchapter

Level 1	Level 2 <i>In addition to the knowledge of Level 1</i>	Level 3 <i>In addition to the knowledge of Level 2</i>
Gamma ray equipment <ul style="list-style-type: none"> Containers: material, main design principles Source type and size, selection and use, emission of characteristic lines Ejection and source guide, handling and use Do's and don'ts: Caring and periodic servicing needs Films <ul style="list-style-type: none"> Characteristic curve Relation between speed, granularity, sensitivity, definition: General classification Single and Double Emulsion, Support, Gelatine role Image: principle of image formation Effect of current, Tension and dose on image Film processing: manual, automatic <ul style="list-style-type: none"> Rule and composition of chemicals used, main variables and effects on result Inactinic lighting Film viewing <ul style="list-style-type: none"> Density, contrast and measurements, lighting conditions for viewing Usual Artefacts: from chemical to mechanical and scattering Radioscopy Screens and filters <ul style="list-style-type: none"> Effect of screens and filters: blocking, filtering, intensifying Allowable locations: reason of use Image Quality Indicators <ul style="list-style-type: none"> Main types: wire, step and hole Design and specification: sensitivity, material, cares Selection and possible location Miscellaneous <ul style="list-style-type: none"> Marks Densitometer, Negatoscope Optical aids for viewing 	Gamma ray equipment <ul style="list-style-type: none"> Double casing principles for container Films <ul style="list-style-type: none"> Selection of classics regarding products Environmental Control of unprocessed films Internal unsharpness Film processing: manual, automatic <ul style="list-style-type: none"> Control of processing Darkroom organisation: wet and dry zones principle, lighting, access Film viewing Radioscopy <ul style="list-style-type: none"> Principles of image intensifiers and non film image technique Gaseous detectors Screens and filters <ul style="list-style-type: none"> Use and selection: metallic and non metallic screens Fluorescent screens, introduction Effect of exposure laws, image quality, applicable restrictions and specifications Image Quality Indicators <ul style="list-style-type: none"> Effect of density variation on numbers and location regarding general codes Miscellaneous	<ul style="list-style-type: none"> Isotope sources radioisotope + Be + α-Be/ (β-Be) Beam design source placement/ collimation/ filtering/ shielding Gamma ray equipment <ul style="list-style-type: none"> International labelling and agreements Films Film processing: manual, automatic Film viewing Radioscopy <ul style="list-style-type: none"> Solid state detectors and scintillators New techniques Screens and filters Image Quality Indicators <ul style="list-style-type: none"> Correspondence calculation between types Miscellaneous

RT

Subject and subchapter

Level 1	Level 2 <i>In addition to the Knowledge of Level 1</i>	Level 3 <i>In addition to the Knowledge of Level 2</i>
3. Radiographic techniques		
<p>Geometric principles</p> <ul style="list-style-type: none"> Single wall, double wall, ellipse, panoramic: characteristics and preferred uses Viewing of films: single side, double side, single and multiple film Geometric unsharpness Measurement, limitation, effect on image Combination with Internal unsharpness Identifying and marking of pieces and films for further references Image Quality Indicators: selection, sensitivity, location, number Use of screens and filters <p>Exposure</p> <ul style="list-style-type: none"> Selection of I, Dose or Rate and t for right image quality Calculations: general rules for X-ray exposures (I, t) Use of exposure charts Exposure calculation for Gamma Ray 	<p>Geometric principles</p> <ul style="list-style-type: none"> Single or Multiple films techniques Enlargement techniques: scope and limitations Xeroradiography, steren radiography, radioscopy: scope and limitations Improvement of image quality through filtering and blocking <p>Exposure</p> <ul style="list-style-type: none"> Selection of U or Isotope regarding code and image definition Making of exposure chart 	<p>Geometric principles</p> <p>Exposure</p>
4. Reporting and Interpretation		
<p>Interpretation</p> <ul style="list-style-type: none"> Classification of indications regarding radiographic appearance Sizing, positioning and characterisation Reporting of indications <p>Codes and standards</p> <ul style="list-style-type: none"> Reading and understanding of a Code or Standard Use of reference radiographs 	<p>Interpretation</p> <ul style="list-style-type: none"> Probability of detection in respect with dimension, position and geometric parameters of irradiation <p>Codes and standards</p> <ul style="list-style-type: none"> Acceptance and rejection of a product on the basis of a code Writing of Work Instruction Selection of a technique regarding product type and/or standard National and International main Quality environment: ISO, EN 	<p>Interpretation</p> <p>Codes and standards</p> <ul style="list-style-type: none"> General background of standards and normalisation Writing of procedure on the basis of a Code Selection of a method regarding product type and/or standard
5. General knowledge		
<p>Product</p> <ul style="list-style-type: none"> Cast, Wrought, Forging, Rolling, Plates, Welding, Powder metallurgy <p>Other methods</p>	<p>Product</p> <ul style="list-style-type: none"> Material knowledge: mode of elaboration and production Heat treatment Basics of Metallurgy Associated indications with products Mode of elaboration: description of causes and typical locations <p>Other methods</p> <ul style="list-style-type: none"> Other NDT-methods: adequacy and limits 	<p>Product</p> <ul style="list-style-type: none"> Metallurgy Predictive behaviour of indications: fracture of an item, fractography <p>Other methods</p> <ul style="list-style-type: none"> Destructive testing and material testing in general Fractography

RT

Subject and subchapter

Level 1	Level 2 <i>In addition to the Knowledge of Level 1</i>	Level 3 <i>In addition to the Knowledge of Level 2</i>
6. Personal safety		
<p>Items listed hereunder are to be considered as minimalists. National and International regulations must be considered as mandatory and supplementary to these basic requirements as applicable in the country!</p>		
<p>Mains</p> <ul style="list-style-type: none"> Dose, equivalent dose, quality factor, Rate: maximum permissible level Irradiation vs. Contamination Introduction to specific constant of activity Professional and public maximum dose level concept and differences Time-Screen - Distance for radiation protection Operation and emergency procedures <p>Monitoring of dose and rate</p> <ul style="list-style-type: none"> Film badge, dosimeters, CM tubes, Ionising rooms: general characteristics and limits of use <p>Effects of radiation</p>	<p>Mains</p> <ul style="list-style-type: none"> Relation between SI and previous CGS units regarding Radiation safety Calculation of dose <p>Monitoring of dose and rate</p> <ul style="list-style-type: none"> Use of irradiation and shielding charts Calculation of shielding <p>Effects of radiation</p> <ul style="list-style-type: none"> Stochastics, non stochastic, genetic effect of irradiation Medical symptoms linked to level of dose received, Half lethal dose 	<p>Mains</p> <ul style="list-style-type: none"> Statistics, probability: use on specification and characterisation of quality level Mathematics review (in the scope of the method) <p>Monitoring of dose and rate</p> <p>Effects of radiation</p>

Új, érvényes nemzeti szabványok

A Magyar Szabványügyi Testület által, a Szabványügyi Közlöny 2002/5 – 10. számaiban közzétett és szakterületünket érintő érvényes szabványok a következők:

17 Metrológia és mérés technika

- MSZ EN ISO 4287:2002; Termékek geometriai követelményei (GPS). Felületminőség: Metszettepítő eljárás. Fogalmak, meghatározások és felületminőségi jellemzők.
- MSZ EN ISO 8785:2002; Termékek geometriai követelményei (GPS). Felületi hibák. Fogalmak, meghatározások és felületminőségi jellemzők.

25 Gyártástechnika

- MSZ EN ISO 15720:2002; Fémbevonatok. A porozítás vizsgálata. A fémek arany- és palládium-bevonata porozításának meghatározása gélelektrográfiával.
- MSZ EN ISO 15721:2002; Fémbevonatok. A porozítás vizsgálata. A fémek arany- és palládium-bevonata porozításának meghatározása kénessav-/kén-dioxid-gőzben.
- MSZ EN ISO 14372:2002; Hegesztőanyagok. Kézi ivhegesztő elektródák nedvességállóságának meghatározása a diffúzióképes hidrogéntartalom mérésével.
- MSZ EN ISO 14271:2002; Ellenállás-ponthegesztéssel, -vonalhegesztéssel és -dudorhegesztéssel készített varratok Vickers-keménységének (kis terhelésű és mikrokeménység) mérése.
- MSZ EN ISO 14272:2002; Ellenállás-ponthegesztéssel és zömítő ellenállás-dudorhegesztéssel készített varratok keresztirányú szakítóvizsgálata és a próbatest méretei.
- MSZ EN ISO 14273:2002; Ellenállás-ponthegesztéssel, -vonalhegesztéssel és zömítő ellenállás-dudorhegesztéssel készített varratok nyíróvizsgálata és a próbatest méretei.
- MSZ EN ISO 10111:2002; Fém- és egyéb szervesetlen bevonatok. A felületegységre eső tömeg meghatározása. A gravimetriás és a vegyelemzéses módszerek áttekintése.

29 Elektrotechnika

- MSZ EN 50353:2002; Szigetelőolaj. A szálal szennyeződés meghatározása számolásos módszerrel, mikroszkóppal.
- MSZ EN 60404-4:1997/A1:2002; Mágneses anyagok. 4. rész: A lágy-mágneses anyagok egyenáramú mágneses tulajdonságainak mérési módszerei.

55 Termékcsoomagolás és -elosztás

- MSZ EN ISO 11897:2002; Csoomagolás. Hőre lágyuló műanyagzsákok. Továbbszakadási szilárdság a hajtogatott éleken.

59 Textil- és bőripar

- MSZ EN ISO 105-B02:1999/A1:2002; Textilíák. Színtartóssági vizsgálatok. B02. rész: Színtartósság mesterséges fényvel szemben; xenon fvilámpás vizsgálat.

71 Kőolajipari technológiák

- MSZ EN ISO 1523:2002; A lobbanáspont meghatározása. Zárt téglés egyensúlyi módszer.
- MSZ 11798:2002; Ásványolajtermékek. A nehézfém-tartalom (Cd, Cr, Ni, Pb, V) meghatározása atomabszorpciós, ICP- és hullámhossz-diszperziós röntgenfluoreszcens spektrometriás módszerekkel.

81 Üveg- és kerámiaipar

- MSZ ENV 820-4:2002; Nagy teljesítményű műszaki kerámiák. Monolitik kerámiák. Termomechanikai jellemzők. 4. rész: Hajlítás okozta kúszó alakváltozás meghatározása megnövelt hőmérsékleten

87 Festék- és színezékipar

- MSZ EN ISO 1519:2002; Festékek és lakkok. Tüskehajlítási vizsgálat (cylindres tüske).

91 Építőanyagok és építés

- MSZ EN 846-4 és -13:2002; Falazat-kiegészítő elemek vizsgálati módszerei. 4. rész: A pántok teherbírásiának és erő-elmozdulás jellemzőinek meghatározása. 13. rész: Szerves bevonatok lökészerű teherrel, kopással és korrózióval szembeni ellenállásának meghatározása.
- MSZ EN 12808-2-5:2002; Habarcsok kerámiai burkolólapokhoz. 2. rész: A kopással szembeni ellenálló képesség. 3. rész: A hajlító- és nyomószilárdság meghatározása. 4. rész: A zsugorodás meghatározása. 5. rész: A vízfelvétel meghatározása.

- MSZ EN 13161:2002; Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A hajlítószilárdság meghatározása harmadpontos terheléssel.
- MSZ EN 13364:2002; Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A kapcsoljuk kiszakítási szilárdsága.
- MSZ EN 772-6:2002; Falazóelemek vizsgálati módszerei. 6. rész: Adalékos beton falazóelemek szakítószilárdságának meghatározása.
- MSZ EN 12390-3:2002; A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága.

Nemzeti szabványok visszavonása

A festékbevonatok és bevonatrendszerek, illetve a porfestékek vizsgálati szabványai közül számos megszűnt – olvasható a Szabványügyi Közlöny 2002/6. számában. Felvilágosítást ad: Horváth Szép Mihály, tel.: (1) 456-6854.

Új CEN-szabványok (szerkesztőségünk címfordításai)

- EN 13723:2002; Kőolaj termékek. Benzinek kis olomtartalmának meghatározása XRF módszerrel.
- EN ISO 9934-3:2002; Roncsolásmentes vizsgálat. Mágnesezhető poros vizsgálat. 3. rész: Berendezés.
- EN 1437:2002; Műanyag csőrendszerek. Föld alatti csatorna- és szennyvízrendszerek. Módszer az összetett ciklus hőmérséklet és külső mechanikai terheléssel szembeni ellenállás vizsgálatára.
- EN 658-3:2002; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámia kompozitok mechanikai tulajdonságai szobahőmérsékleten. 3. rész: A hajlítószilárdság meghatározása.
- EN 1007-6:2002; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámia kompozitok. Módszer az erősítés vizsgálatához. 6. rész: Az erősítőszálak mechanikai tulajdonságainak meghatározása nagy hőmérsékleten.
- EN 14186:2002; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámia kompozitok. Mechanikai tulajdonságok szobahőmérsékleten, a rugalmas tulajdonságok meghatározása ultrahangtechnikával.
- ENV 14312:2002; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámiaporok. A folyékonyság meghatározása.

Új ISO-szabványok, amelyek 2002. január 12-e és július 10-e között jelennek meg. (Az ISO Bulletin 2002. évi számai alapján készült tájékoztató címfordítások.)

- ISO 186:2002; Papír és karton. Mintavétel az átlagos minőség meghatározásához.
- ISO 1519:2002; Festékek és lakkok. Hajlítóvizsgálat (hengeres furat).
- ISO 4624:2002; Festékek és lakkok. A tapadás vizsgálata húzással.
- ISO 15011-1:2002; Egészség és biztonság a hegesztésben és rokon eljárásaiban. Az ivhegesztés során keletkező füst és gázok mintavételének laboratóriumi módszere. 1. rész: A kibocsátási arány meghatározása és mintavétel a részecskék füstelemzéséhez.
- ISO 604:2002; Műanyagok. A nyomási tulajdonságok meghatározása.
- ISO 1268-6:2002; Szálerősítésű műanyagok. Vizsgálati lemezek készítésének módszerei. 6. rész: Pultrúziós fröccsöntés.
- ISO 3167:2002; Műanyagok. Többcélú vizsgálati mintadarabok.
- ISO 4586-2:1997/Amd 5:2002; Nagy nyomású dekorációs lemezek. Hőre keményedő gyantából készült lapok. 2. rész: A tulajdonságok meghatározás. 5. módosítás: Karcállóság.
- ISO 4590:2002; Kemény műanyaghabok. A felületi és a zárt cellák térfogatszázalékának meghatározása.
- ISO/TS 16949:2002; Minőségirányítási rendszerek. Egyedi követelmények az ISO 9001:2000 autóiparban és autóalkatrész-gyártásban való alkalmazásához.
- ISO 17561:2002; Finomkerámiák (korszerű műszaki kerámiák). Monolitikus kerámiák rugalmassági modulusának vizsgálati módszerei szobahőmérsékleten. hangrezonanciával.
- ISO 10119:2002; Szénszálak. A sűrűség meghatározása.
- ISO 15850:2002; Műanyagok. A kúszási és láradási repedésterjedés meghatározása. Lineárisan rugalmas törésmechanikai (LEFM) megközelítés.
- ISO 4516:2002; Fémek és egyéb szervesetlen bevonatok. A Vickers- és a Knoop- mikrokeménység vizsgálata.

A fraktográfia rövid története

Göblyös Béla¹ – Tóth László²

A gyakorlati életben a felületek állapota, jellemzői számos olyan információt hordoznak, amelyek nagyon sokat elárulhatnak a „felület előéletéről”, legyen az akár törés, kopás, vagy bármilyen felületi megmunkálás. Napjainkban a mikroelektronika rendkívül gyors fejlődése egyre inkább kiküszöböli a felületi sajátosságok megfigyeléséből a szubjektív elemeket, és lehetővé teszi a nagysorozatú, reprodukálható méréseket olyan formában, hogy a felületi sajátosságokat számokkal jellemzi. Ez utóbbi pedig alkalmas egyrészt a felületek egyértelmű jellemzésére, másrészt a felületek kialakulása (kialakítása) mögött meghúzódó fizikai-mechanikai folyamatok megbízható értelmezésére. Ebből adódóan napjainkban a felületek megfigyelése, vizsgálata „virágkorát éli”. Ez vezetett bennünket arra, hogy egy rövid áttekintést adjunk a fraktográfia kialakulásáról, fejlődésének történetéről, hangsúlyozva azt, hogy egy történetet teljességgel sohasem lehet visszaadni.

A kezdetektől az ipari forradalomig

A fraktográfia szót Carl A. Zapffe alkotta meg, a latin *fractus* (törés) illetve a *grapho* (leírás) szavak összevonásával, miután láradozásait siker koronázta és mikroszkóppal úgy vizsgálta meg egy töretfelületet, hogy annak egyes szemcséit is már meg tudta különböztetni egymástól [1].

A fraktográfia célja a töretfelület jellegének elemzése illetve kapcsolat teremtés a töret jellege és a törés okai vagy alapmechanizmusa között.

A fraktográfiát két nagy csoportra bonthatjuk:

- a kis nagyítású vagy szabad szemmel végzett ($M \leq 25x$) illetve,
- a nagy nagyítású vagy mikroszkópi fraktográfia.

Cyril Stanley Smith a metallográfia történetét kutató munkássága során bizonyítékokat talált a fraktográfia bronzkori alkalmazására is [2], miszerint az akkori kovácsok az eltört fegyverek töretfelületének jellegéből az olvasztási eljárásra következtettek.

A fraktográfia alkalmazásáról szóló első írásos emlék minden bizonnyal a Vannoccio Biringuccio által 1540-ben kiadott: *De La Pirotechnia* [3], amelyben a középkori szerző a töretfelületet minőségbiztosítási aspektusból vizsgálta.

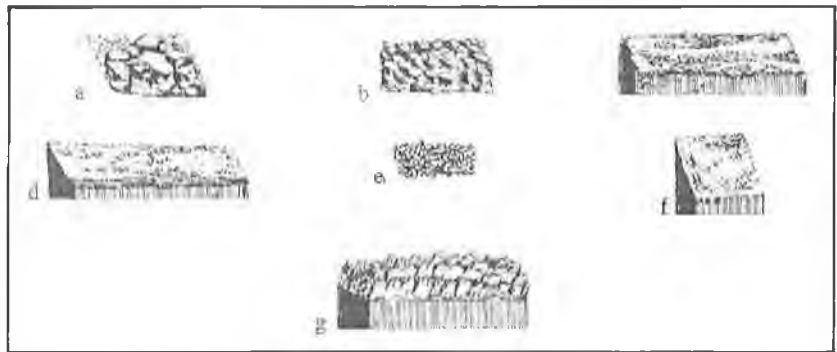
Vörösréz és sárgaréz bugák minőségét a bemetszett majd eltört bugák töretfelületeinek vizsgálatával határozta meg Lazarus Ecker 1574-ben [4]. Megállapította, hogy a szürke töretfelület egymás utáni repedések eredményeképpen jött létre, melyet a smithsonitban jelenlévő ólomszennyezés okozott.

Réz-ön-bizmut ötvözetből öntött harangok minőségének ellenőrzésére 1627-ben Louis Savot javasolt törési vizsgálatot. Az alapanyag szemcseméretét figyelemmel kísérve állított be olyan összetételt, amelyenél a harangon nem keletkeztek repedések [5]. Ugyanazon évben Mathurin Jousse a töretfelület jellegén alapuló módszert javasolt vas- és acélminőségek minősítésére [6].

Jelentős mérnökönek tekinthető a fraktográfiában Réaumur műve [7], amelyben a vasak töretfelületének makroszkópikus és mikroszkópikus képét rézkarcokon mutatja be (bár addigra már a delfti Antony van Leuwenhoek felfedezte a mikroszkópot). Mivel más módszer nem volt, a

mikroszkópban látott képet le kellett rajzolni. Réaumur a vas és acél hét különböző törettípusát különítette el, nevezetesen:

- I. Nagy, szabálytalan, tükröszerű lapok, melyek gyenge anyagminőséget jeleznek (1a. ábra)
- II. Az előzőnél szabályosabb megjelenésű, kisebb lapok, az I. csoportnál jobb minőséget jelez (1b. ábra).
- III. A lapok között megjelennek a rostos, szálás területek (1c. ábra).
- IV. Szálás területek a jellemzők, nagyon kevés a tükröződő felület (1d. ábra).
- V. A teljesen szálás középső területet keretszerűen körbevevő más jellegű terület (1e. ábra).
- VI. Szokatlan típusú töretfelület, a szálás háttér előterében néhány kisebb lap (1f. ábra).
- VII. Faszzerű megjelenésű töretfelület (1g. ábra).



1. ábra. Réaumur rajza az általa 7 csoportba sorolt töretekről

Réaumur egyik rézkarcán, amelyet nagy nagyítású mikroszkópos képről rajzolt le, megfigyelhetők a perlit vagy cementit részecskék több mint egy évszázaddal a metallográfiai tudomány kialakulása előtt (2. ábra)!

Geoffroy 1725-ben a réz-cink arány változtatásának hatását követte nyomon a töretfelület jellege és a szemcsenagyság tükrében [8].

Az 1750-es években hőkezelések (köztük főleg a cementálás) eredményességének megítélésére Gellert javasolt vizsgálati módszert [9], szintén Gellert volt az, aki a töretfelület jellegét a fémek elridegésével hozta kapcsolatba.

Karl Franz Achard német fizikus és kémikus is felismerte az ötvözetek tulajdonságai és a töretfelület megjelenése közötti összefüggéseket. Az általa megvizsgált 896 különféle ötvözet felölelte az akkori kor szinte minden létező ötvözetét [10].



2. ábra. Réaumur rajza egy dendritágról, melyen felismerhetők az egymás mellett lévő perlit és cementit szemcsék

Az ipari forradalom kezdetétől a XX. század elejéig

A XIX. században a metallográfia fejlődésével a fraktográfia némiképp háttérbe szorult. Mallet 1856-ban ágyúcsövek sorozatos tönkremenetelét vizsgálva megfigyelte [11], hogy a töretfelület jellege összefüggésbe hozható a megszilárdulási folyamat paramétereivel, valamint,

¹ Dunaferr Rt.

² Prof. Dr., a Bay Zoltán Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet igazgatója

hogy a törések kialakulása az éles sarkoknál sűrűbben fordul elő. Mallet már e korai munkájában felismerte a feszültségkoncentráció hatását.

Turner 1858-ban egy publikációjában részletesen ismertette a törési jellegzetességeket [12].

A törét jellegének kristályosból szálasra váltásának átmenetét Kirkaldy 1862-ben a hőkezelési állapottal, a próbatest méretével valamint a terhelési sebességgel hozta kapcsolatba [13]. Vizsgálatait kovacsoltvason, illetve acélon végezte és megfigyelte, hogy a kristályos törét síkja a húzás irányára merőleges volt, míg a szálas törét szabálytalan képet mutatott és nem volt merőleges a húzási irányra.

E. F. Dürre 1868-ban írt doktori disszertációjában az öntöttvasak különféle törétének textúráját ismerteti, valamint rendkívül alaposan összefoglalja a témával kapcsolatos addigi irodalmat [14]. Az öntvények vizsgálatához a kisebb nagyításokat javasolja és a nagy nagyításokat nem tartja hasznosnak e célra.

D. K. Csernoff orosz kohász 1868-ban illetve 1879-ben megjelent cikkei közül az első [15] a törétfelületen lévő szemcsék nagyságát hozza kapcsolatba a hőkezelési állapottal, illetve a karbontartalommal, míg a második [16] publikációjában a nagy szemcsenagyságú acélok törését írja le. Ebben a publikációban jelenik meg a történelem folyamán először a fém szemcséjének valóságú alakja is.

John Percy 1875-ben a törétfelületeket hat csoportba sorolta be [17], melyek a következők:

- *Kristályos törét:* a tükörnyersvasra, bizmutra jellemző lapkákat tartalmazó törét.

- *Szemcsés törét:* kisebb lapkákat tartalmazó törét, mint például a nyersvasé.

- *Szálas törét:* mint a minőség általános követelménye.

- *Selymes törét:* a szálasnál is finomabb törét, mint például a vörösrézé.

- *Oszlopos törét:* a nagy hőmérsékleten bekövetkezett törések jellemzője.

- *Úvegszerű törét*

A német Adolf Martens (akiről a martenzitet neveztek el) 1878-ban publikált művében [18] törétfelület rajzokat közöl; egy későbbi publikációjában ő írta le először a törési vonalakat (Bruchlinien). Különféle igénybevételnek kitett, és annak hatására eltörtött próbatestek törétfelületét megvizsgálva Martens megfigyelte, hogy a törési vonalak mindig a törés kiindulási pontjának irányába mutatnak.

Johann Augustus Brinell (aki leginkább az általa kidolgozott Brinell-féle keménységmérési eljárásról vált híressé, amelyet először a Párizsi Világkiállításon mutatott be 1900-ban) 1885-ben jelentetett meg egy publikációt a hőkezelési állapot, valamint a karbon kötött-szabad állapota és a törétfelület megjelenése közötti összefüggésekről [19]. A szakítóvizsgálatnál jelentkező kontrakciós (*cup and cone*) törétre B. Kirsh már 1889 előtt leírta. A repedésterjedésre felállított modellje a mai napig megállja a helyét [20]. Elmélete szerint a repedés a befűződött keresztmetszetben van, a húzási tengelyre esik és koncentrikusan terjed kifelé (kialakítva ezzel az angol elnevezésnek megfelelő csészét (*cup*)), a csésze oldalát pedig a nyírófeszültségek alakítják ki.

A XX. század elejétől napjainkig

A mikroszkópot a XX. század elejéig csak polírozott próbatestek vizsgálatára használták. Az 1930-as években számos kutató jutott arra az elhatározásra, hogy az acél tulajdonságai korrelációban állnak a törétfelület makroszkópiusan megfigyelhető durvaságával vagy finomságával. Arpi 1935-ben kifejlesztett egy szabványos törési vizsgálatosorozatot [21]. A törétfelületen megfigyelhető mikroszkópius sajátosságok megfigyelésére azonban csak Zapffe és kollégáinak munkássága keltette fel a szakemberek figyelmét a XX. század 40-es és 50-es éveiben. Zapffe javaslatát a fénymikroszkóp fraktográfiai alkalmazására sokan kedvezően fogadták. Annak ellenére, hogy a kor technikai fejlettsége csak a

kis mélységélességű mikroszkópok használatát tette lehetővé, Zapffe képes volt jó minőségben 1000–2000x-es nagyítású felvételeket is készíteni. Vizsgálatait többnyire vas- és acélötvözeteken valamint bizmuton, antimonon, volfrámon és molibdénen végezte és rendkívül alaposan leírta a hasadási síkok megjelenési formáit. A fémek hasadásával számos akkori kutató foglalkozott. Egyik fontos eredmény a Tipper és Sullivan által feltárt összefüggés a hasadás valamint a mechanikai ikerképződés között a vas-szilícium ötvözetekben [22]. A másik fontos eredmény Kliemek köszönhető, aki röntgendiffrakciós eljárást alkalmazott a fénymikroszkópos eljárás kiegészítéseként [23].

A mikroszkóp egyre széleskörűbb alkalmazásával a törétfelületről illetve az egész törési folyamatról megszerzett ismeretanyag fokozatosan bővült. Fontos azonban megjegyezni, hogy ezen vizsgálatok majdnem kizárólag a ridegtörés kutatására irányultak, a szívós törések vizsgálatát csak az elektron-fraktográfia megjelenése tette lehetővé. Mind a transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM³) mind pedig a pásztázó elektronmikroszkóp (SEM⁴) az 1960-as években terjedt el, bár Németországban már a 30-as és 40-es években is használták őket kísérleti céllal.

Ruska 1932-ben feltalálta a mágneses lencsét és ezzel útjára indult a TEM alkalmazása [24]. Ugyanebben az évben Brüche és Johannson elkészítette az első elektronmikroszkópos felvételt. A mai napig sem tisztázott azonban, hogy ki készítette az első olyan elektronmikroszkópos képet, amelynek felbontása jobb volt mint a fénymikroszkóppal készített felvételeké. Egyes vélemények szerint ez az érdem Ruskát illeti meg, míg mások szerint Driest és Müller voltak az elsők. Az első laboratóriumi használatra is alkalmas elektronmikroszkópot 1938-ban állították üzembe, ennek felbontása 10 nm volt. Az 1950-es években már több vállalat állított elő ilyen berendezéseket, a felbontás tovább csökkent és már elérte az 1-2 nm-t. A TEM egyik legnagyobb hátránya az volt, hogy a vizsgálatokhoz a próbatestról replikát kelet készíteni.

A SEM-et alkalmazó vizsgálatok kialakulásának kezdete 1935-re tehető, amikor is Knoll a szekunder elektronemisszió tanulmányásával kezdett el foglalkozni [25]. Von Ardenne 1938-ban átlátszó próbatestek vizsgálatára alkalmas elektronmikroszkópot épített [26]. Zworkyn, Hillier és Snyder 1942-ben megalkotta a ma használt mikroszkópokhoz hasonló berendezését, mely aztán a kedvezőtlen jel/zaj viszony miatt nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket.

Az 1950-es években a fejlődés felgyorsult, különösen Franciaországban és Angliában. A SEM elméleti hátterét Brachet publikálta 1946-ban [27], aki – megfelelő detektor alkalmazásával – a 10 nm-es felbontást is elérhetőnek vélte. A Cambridge-i Egyetemen 1948 és 1968 között végzett fejlesztések nagymértékben hozzájárultak a SEM kereskedelmi forgalomba kerüléséhez. Az első publikáció, amely a SEM fraktográfiai alkalmazásáról szól, 1959-ben jelent meg és Tipper, Dagg és Wells nevéhez fűződik, akik az α -vas hasadási törését tanulmányozták [28]. Két évvel később Laird és Smith SEM segítségével bebizonyította, hogy a fáradási barázdák a törés keletkezésekor alakulnak ki, ezt fénymikroszkóppal már nem lehetett látni [29]. Annak ellenére, hogy a SEM eljárás pályafutásának kezdetén nem volt túlságosan népszerű, ma az eljárás egyik legfontosabb alkalmazási területe a fraktográfia.

Utószó

Mint a bevezetőben hangsúlyoztuk, egy történeti áttekintést csak a-bahagyni lehet, és nem befejezni. E rövid közleményben szándékosan nem érintettünk olyan nagy területeket, mint a törétfelületek, illetve általánosabban fogalmazva: egy megfigyelt kép sajátosságainak számszerű jellemzésére használt módszerek, azok elméleti alapjainak

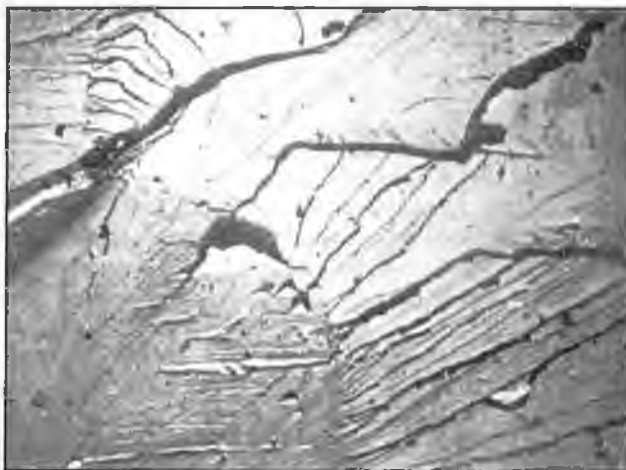
³ Transmission Electron Microscope (TEM)

⁴ Scanning Electron Microscope (SEM)

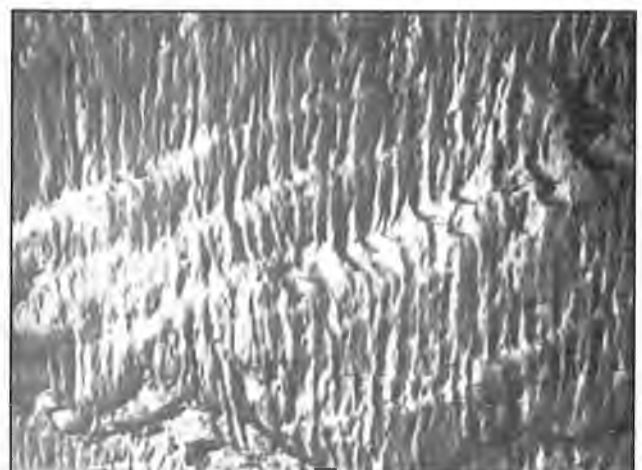
kialakulása, fejlődése. E tudományterület a sztereoográfia, sztereoometria. Erről átfogó képet kaphatunk például a közelmúltban megjelent kiváló magyar nyelvű munkában, amelyet Gácsi Z. és szerzőkollektívája állított össze [30]. Ugyancsak nem terjedt ki az ismertetés a felületi sajátosságok és a repedés terjedés kapcsolatának elemzésére olyan összetett esetben, mint pl. a fáradás. E területen teljesen újszerű közelítést indított el A. Ja. Krasowsky [31] a 70-es években azzal, hogy a szembe levő felületek sztereo-párját állította elő és ezek sajátosságait vizsgálva adott magyarázatot a repedéscsúcsban lejátszódó folyamatokra, a repedés záródás, kinyílás és növekedés periódusában.

Irodalom

- [1] C. A. Zapffe, M. Clogg, Jr.: Fractography – A New Tool for Metallurgical Research, Preprint 36, American Society for Metals, 1944.
- [2] C. S. Smith: A History of Metallography, The University of Chicago Press, 1960, p.97-127.
- [3] M.T.Gnudi, C.M.Smith: American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 1942. (angol nyelvű fordítása).
- [4] Lazarus Ecker: Beschreibung Allerfürnemisten Minarilschen Ertzt und Berckwercksarten, 1574.
- [5] Louis Savot: Discours sur les Médailles Antiques, 1627.
- [6] Mathurin Jousse: Fidelle Ouverture de l'art de Serrurier, La Fleche, 1627.
- [7] R. A. F. Réaumur: L'Art de Conventir le Fer Forgé an Ancier, et L'Art d'Adoucir le Fer Fondu, 1722.
- [8] C. F. Geoffroy: Observations sur un Métal que Résulte de L'alliage du Cuivre & du Zinc, Mém. Acad. Sci, 1725, p.57.
- [9] C. E. Gellert: Anfangsgründe der Metallurgischen Chemie, 1750.
- [10] K. F. Achar: Recherches sur les Propriétés des Alliages Métalliques, 1788.
- [11] R. Mallet: Physical Conditions Involved in the Construction of Artillery, 1856.
- [12] P. Tunner: Das Eisenhüttenwesen im Schweden, Engelhardt, 1858.
- [13] D. Kirkaldy: Results of an Experimental Inquiry into the Tensile Strength and Other Properties of Various Kinds or Wrought Iron and Steel, 1862
- [14] E. F. Dürre: Über die Constitution des Roheisens und der Werth seiner Physikalischen Eigenschaften, Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinen-wesen, Vol 16, 1868, p.70-131, 271-301.
- [15] D. K. Chernoff: Critical Review of Articles by Messrs. Lavrov and Kalakutzi on Steel and Steel Ordnance, with Original Investigations on the Same Subject, Zapiski Russkago Tehnicheskago Obshestva, 1868, p.399-440.
- [16] D. K. Chernoff: Investigations on the Structure of Cast Steel Ingots, Zapiski Imperatorskago Tehnicheskago Obshestva, 1879, p.1-24.
- [17] J. Percy: Metallurgy, Vol 1-4, John Murray, 1861-1880.
- [18] A. Martens: Über die Mikroskopische Untersuchung des Eisens, Z. Deut. Ing., Vol 22, 1878, p.11-18.
- [19] J. A. Brinell: Über die Texturveränderungen des Stahls bei Erhitzung und bei Abkühlung, Stahl Eisen, Vol 11, 1885, p.235-242.
- [20] B. Kirsh: Beiträge zum Studium des Fliessens, Mitt.Hlg. 1887, p.67.
- [21] R. Arpi: The Fracture test as Used for Tool Steel in Sweden, Metallurgia, Vol 11, 1935, p.123.
- [22] C. F. Tipper, A. M. Sullivan: Fracturing of Silicon-Ferrite Crystals, Trans. ASM, Vol 43, 1951, p.906-928.
- [23] E. P. Klier: A Study of Cleavage Surfaces in Ferrite, Trans. ASM, Vol 43, 1951, p.953-957.
- [24] E. Ruska, M. Knoll: The Electron Microscope, Zeitschr. f. Physik, Vol 78, 1932, p.318.
- [25] M. Knoll: Static Potential and Secondary Emission of Bodies Under Electron Irradiation, Z. Tech. Phys., Vol 11, 1935, p.467-475, (német nyelven).
- [26] M. von Ardenne: The Scanning Electron Microscope: Practical Construction, Z. Tech. Phys., Vol 19, 1938, p.407-416, (német nyelven).
- [27] C. Brachet: Note on the Resolution of the Scanning Electron Microscope, Bull. L'Assoc. Tech. Mar. et Aero., No. 45, 1946, p.369-378.
- [28] C. F. Tipper, D. I. Dagg, O. C. Wells: Surface Fracture Markings on Alpha Iron Crystals, J. Iron Steel Inst., Vol 193, Oct 1959, p.133-141.
- [29] C. Laird, G. C. Smith: Crack Propagation in High Stress Fatigue, Philos. Mag., Vol 7, 1962, p.847-857.
- [30] Gácsi Z.
- [31] Krasowsky, A.Ja.



3. ábra



4. ábra

Az 1960-as évek elején készült elektromikroszkópos felvételek (N = 4000x) egy kis széntartalmú, ferrites acél töretéről;

3. ábra: hasadási törés ütve-hajlítás hatására -196 °C-on;

4. ábra: fáradási törés, fáradási barázdák 600 ezer húzó-nyomó ($\sigma = 120 \pm 190 \text{ N/mm}^2$) igénybevételi ciklus után

(Forrás: G. Henry, J. Plateau: Microfractography)

Beszámolók spektrokémiai konferenciákról*

XXXII. Colloquium Spectroscopicum Internationale 2001. július 8-13., Pretória, Dél-Afrika

Az analitikai atom- és molekulaszpektroszkópia hagyományos nemzetközi seregszemléje a Colloquium Spectroscopicum Internationale (CSI). Az 1950-től két évente megrendezett konferenciákon mindig az analitikai atomspektroszkópia elméleti alapjainak és módszereinek kifejlesztése kapott nagyobb súlyt, a molekulaszpektroszkópia általában kisebb arányban jelent meg. Ez a tendencia a 2001-ben Pretóriában rendezett CSI-n is érvényesült, amelyen a korábban szokásos 500-600 főnél jóval kevesebben, mintegy háromszázötvenen vettek részt. Ez a csökkenés a nagy távolságnak, s annak is betudható, hogy e korábban hagyományosan európai konferenciasorozat immár hat éve távol maradt Európától. 1997-ben Melbourneben, 1999-ben Ankarában rendeztek CSI-t.

A Pretóriai Egyetemen megrendezett CSI is követte a hagyományokat, a hangsúly a spektrokémiai analitikai módszerek fejlesztésére esett, az előadásokat és poszttereket a rendezők módszerek szerint csoportosítva sorolták szekciókba. E csoportosítást mutatja be a táblázat.

Az előadások és posztterek száma az egyes szekciókban

elnevezése	A szekció rövidítése	Előadások száma	Posztterek száma
Röntgenfluoreszcencia	XRF/XRD		
Röntgen diffrakció		21	22
Atomabszorpciós spektrometria	AAS	12	10
Molekula/lézer spektroszkópia		4	
Induktív csatolású plazma spektrometria	ICP	8	8
Induktív csatolású plazma spektrometria	ICP/ICP-MS	8	
Induktív csatolású plazma-tömegspektrometria	ICP-MS	6	10
Elektromikus elpárolgatás-atomabszorpciós spektrometria-induktív csatolású plazma	ETV-AAS-ICP	13	11
Gratifikációs atomabszorpciós spektrometria	GF AAS	5	10
Atomabszorpciós spektrometria			
Infravörös, Raman-, ultrabolyalátható spektroszkópia	IR, UV-VIS		31
Tömegspektrometria/lézerek	MS	9	11
Mágneses rezonancia/molekula spektroszkópia	NMR	3	
Műszergyártók újdonságai		11	

A konferencián bemutatott előadások és posztterek is tükrözték azt a már korábban is érzékelhető tendenciát, hogy a spektroszkópiai módszerfejlesztési kutatás az analitikai laboratóriumokból egyre inkább a műszergyártók kezébe kerül, akik ezen a konferencián nem jelentkezték forradalmi újításokkal. Legtöbb újdonságról a lézerek spektroszkópiái alkalmazásával kapcsolatban számoltak be. Elsősorban a hangolható, kisméretű félvezető dióda-lézerek egyre szélesebb körű alkalmazása tapasztalható (pl. AAS sugárforrásként). Új irányzatnak tekinthető a miniatürizálási törekvés. Több beszámoló hangzott el a mikroméretű elválasztó rendszerek (pl. kapillaris elektroforézis) és az ehhez integrált miniatürizált plazmák összekapcsolásáról. A képkalkáló típusú félvezető detektorok (pl. CCD) alkalmazása lehetővé tette a folytonos sugárforrással működő atomabszorpciós spektrométerek kifejlesztését. E detektorokkal épített spektrométerekkel az ICP-atomemissziós spektrometriában a teljes optikai spektrum rögzíthető, s ez lehetővé tette minőségi és mennyiségi elemzési kiértékelő szoftverek kifejlesztését is. Feltűnő volt a röntgenspektroszkópiai módszerek területén mutatkozó jelentős technikai fejlődés, s a röntgenspektroszkópiai módszerek egyre szélesebb körű alkalmazása, főleg geológiai és környezetvédelmi célokra. A röntgenspektrometria ilyen arányú térhódítása hazánkban eddig nem volt érzékelhető. Az elmúlt CSI egyik legfontosabb tapasztalatának tekinthető az, hogy a spektrokémiai elemzési módszerek alkalmazási területe jelentősen megváltozott. Míg korábban az atomspektroszkópiai elemzési módszereket főleg a nyersanyagkutatás, a fémipar és az anyagtudomány területén alkalmazták, ma jelentős eltolódás mutatkozik az élet- és környezettudományok irányába. Ezen a téren egyre több a speciációs analitikai feladat, melyek megoldásához a kapcsolt technikák fejlesztése és miniatürizálása jelenti a fő fejlődési irányt.

A következő CSI-t 2003-ban Granadában rendezik, s döntés született a 2005-ös CSI helyszínéről is (Antwerpen). A 2007-es CSI megrendezésére Budapest és Rio de Janeiro nyújtott be előzetes jelentkezést. Magyarország eddig egyszer, 1967-ben Debrecenben rendezett CSI-t, s ennek negyven éves évfordulójára szeretnék a magyar spektrokémikusok újból vendégül látni e rendezvényt, amely hazánkban újabb lendületet adhat az analitikai kémia e fontos területének műveléséhez.

SETAC Europe 12th Annual Meeting 2002. május 12-16, Bécs

A Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) 2000 óta évenként rendez európai konferenciákat. Ezek a környezeti kémia, toxikológia és a környezeti veszély- és kockázatelemzés témaköreivel interdiszciplináris közelítésben foglalkoznak, és törekednek a klasszikus toxikológiai, fiziológiai, biológiai, mikrobiológiai, szerves kémiai, környezetkémiai, analitikai kémiai, genetikai, környezetmérnöki, geológiai, ökológiai, talaj-, víz- és levegőkémiai és ökonómiai szempontjainak integrált érvényesítésére. Az érdeklődés e konferenciák iránt évről évre növekszik. Három éve, 1999-ben Lipcsében mintegy 600 aktív résztvevő volt jelen, ez évben a Bécsben Challenges in Environmental Risk Assessment and Modelling: Linking Basic and Applied Research címmel megrendezett konferenciára már közel 1400 jelentkezés érkezett. E hatalmas anyag bemutatása négy munkanapot vett igénybe.

Három plenáris előadás hangzott el a környezettudomány és a környezetpolitikai döntések kapcsolatáról, s hat párhuzamos szekcióban 380 platform előadást tartottak. A mintegy ezer poszttert három napra elosztva mutatták be. A platform előadásokat és poszttereket a következő al-sekciókba sorolták:

- Talaj- és üledék-szennyeződés
- Gyógyszerek a környezetben
- Életciklus analízis (Input/Output elemzés)
- Kockázatbecslés és -kezelés
- Vadbiológia toxikológia
- A toxicitás fiziológiai és molekuláris mechanizmusai
- Biológiaiilag hozzáférhető szennyeződéshozadék felismerése és kvantitatív meghatározása
- Élelmiszer közelítés az ökotoxikológiában
- Életciklus leltár

* Elhangzott az MTA Spektrokémiai Munkabizottságának 2002. szeptember 27-ei ülésén

- Szabadtéri szennyezés hatásainak előrejelzése
- Fitotoxicitás
- **Radioökológia**
- Globális szennyeződések atmoszférikus transzportja
- Olajszennyeződés és biológiai lebomlás
- **Fém–organikus kölcsönhatások a környezetben**
- Endokrinológiai károsítás
- Peszticid ökotoxikológia
- A szennyezés hatásának ökológiai modellezése:
 - valószínűségi módszerek
 - biokémiai, sejtbiológiai és molekuláris háttér, biomarkerek
- Biotechnológiai termékek
- **Analitikai kémiai helyzetkép**
- **Fém-szennyezések**
- Hatásátvitel egyénektől a populációig
- **Ökotoxikológiai tesztek: validálás, megbízhatóság**
- Szennyeződések ökológiai hatása
- Szennyeződések az Alpokban
- **Felszíni vizek szennyezése**
- PCB, PBT, PAH, Dioxin szennyezések

- Kémiai-politikai nézőpontok
- Közösségek, populáció-ökológia
- Valószínűségi módszerek a kockázatbecslésben
- Mutagének és génmérgek
- Táj kutatás, nagyléptékű ökotoxikológia
- **Biomonitorozás és értékelése**
- Kvantitatív szerkezet-aktivitási összefüggések (QSAR)

A felsorolás jól érzékelteti, hogy a konferencián szinte minden kérdéskör háttérben megjelenik az analitikai kémia, de önállóan csak néhány – egyébként jelentős méretű – alszekció foglalkozott módszerfejlesztéssel. E módszerfejlesztések fő célja a különböző típusú szennyezések biológiai hozzáférhetőségének kémiai modellezése, a toxikológiai tesztek validálásához szükséges speciációs analitikai és kémiai frakcionálási módszerek fejlesztése, a szennyezés-terjedési modellek verifikálásához szükséges kémiai monitoring rendszerek kifejlesztése.

E két rövid beszámoló azt bizonyítja, hogy az analitikai kémiai módszerek alkalmazásának és továbbfejlesztésének ma a környezettudomány az egyik legfontosabb előmozdítója, amely elsősorban megbízható, validált, lehetőleg szabványosított módszerek kifejlesztését igényli. A módszerorientált analitikai kutatás emiatt háttérbe szorult, s az új, nagy teljesítőképességű elemzési módszerek kifejlesztésére ma elsősorban a tőkeerős műszergyártó cégeknek van lehetősége.

Heltai György

SZIE Kémia és Biokémia Tanszék, Gödöllő

Anyagvizsgálat a Gyakorlatban szakmai szeminárium

Az Anyagvizsgáló Szakmérnöki Kör 2002. április 18-19. között nagy sikerű, kétnapos szemináriumot rendezett Győrben a Seminar Hotelben, Anyagvizsgálat a Gyakorlatban címmel (AGY).

Az alap gondolatot az adta, hogy a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanika Technológiai és Anyagszerkezet-tani Tanszéken végzett második anyagvizsgáló szakmérnöki tanfolyam résztvevői 1983-tól rendszeresen megszervezik évfolyam-találkozójukat, amelyhez szakmai programok is kapcsolódnak. Munkájuk során azt tapasztalták, hogy az elmúlt években csökkent azon rendezvények száma, ahol a gyakorlati anyagvizsgálatot végző szakemberek találkozhatnak, kicserélhetik tapasztalataikat és erősíthetik kapcsolataikat.

Ezen gondolatok alapján a szeminárium célját a következőkben határozták meg: „A gyakorlati anyagvizsgálatokat végző szakemberek tapasztalatcseréjének és kapcsolatépítésének elősegítése, figyelmet fordítva a fiatal szakemberek eredményeire, a fejlődési irányok áttekintésére.”

A szakmai szeminárium védnöke Pungor Ernő akadémikus, egyetemi tanár volt. Szakmai támogatók voltak a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézete és Anyagtudományi és Technológiai Intézete, valamint az előadók által képviselt anyagvizsgáló laboratóriumok.

A szemináriumon 21 magas színvonalú előadás hangzott el. Dr. Somogyi György anyagvizsgáló szakmérnök megnyitója után Prohászka János akadémikus tartott előadást Az anyagvizsgálat szerepe a gyártás- és gyártmányfejlesztésben címmel. Ezt követően dr. Tóth László (BayLogi) Az anyagvizsgálat múltja, jelene és jövője című előadása hangzott el.

Az átfogó, bevezető előadások után a gyakorlati anyagvizsgálat általános kérdéseiről (Majoros András, dr. Kovács Károly, Klausz Gábor), a konkrét gyakorlati tapasztalatokról, új módszerekről (Lukovits László, Nagy Zsolt, Lenkeyné dr. Bíró Gyöngyvér, dr. Csepeli Zsolt,

Nyóger Zoltán, Mihálovits István, dr. Gillemot László, dr. Pálfalvy István), az anyagvizsgálatok szerepéről a műszaki diagnosztikában (Szűtör István, Gyarmati István) tárgykörben hangzottak el értékes előadások.

A szeminárium, egyik fontos céljaként, lehetőséget biztosított a fiatal szakembereknek eredményeik bemutatására. Az elhangzott színvonalas előadások a résztvevők nagy elismerését váltotta ki (Mészöly Zsófia, Cibula Mihály, Szabó Mária, Szuhai Péter, Csajbók Róbert).

Az előadásokat a több mint 70 résztvevő szakember (akik 42 laboratóriumot és szervezetet képviseltek) folyamatosan nagy érdeklődéssel és aktivitással kísérte figyelemmel.

A szeminárium ideje alatt több anyagvizsgáló berendezéseket, eszközöket és anyagokat forgalmazó társaság tartott műszerbemutatót, illetve adott tájékoztatást termékeiről információs anyagok segítségével.

A szeminárium részeként és befejezéseként nagyszámú érdeklődő részvételével gyár- és laborlátogatásra került sor az Audi Hungária Kft-ben.

Összességében a szeminárium mind a szakmai, mind a kapcsolattépítést szolgáló szabad programjaival elnyerte a résztvevők elismerését.

A szemináriumhoz kapcsolódóan, az első és második anyagvizsgáló szakmérnöki tanfolyam résztvevőinek összevont 30. illetve 20. évfolyam-találkozóját is megrendezték. A kedvező tapasztalatok alapján az Anyagvizsgáló Szakmérnöki Kör – amelynek alapító tagjai a BME Mechanikai Technológiai és Anyagszerkezet-tani Tanszéken végzett anyagvizsgáló szakmérnökök – elhatározta, hogy a szemináriumot, hagyományt teremtve a jövőben is megrendezi. A szervezési és koordinációs feladatok elvégzésére dr. Somogyi György, Fodor Olivér és Harnisch József anyagvizsgáló szakmérnökök kaptak megbízást.

A szervezők ezúton is megköszönik az előadók színvonalas munkáját.

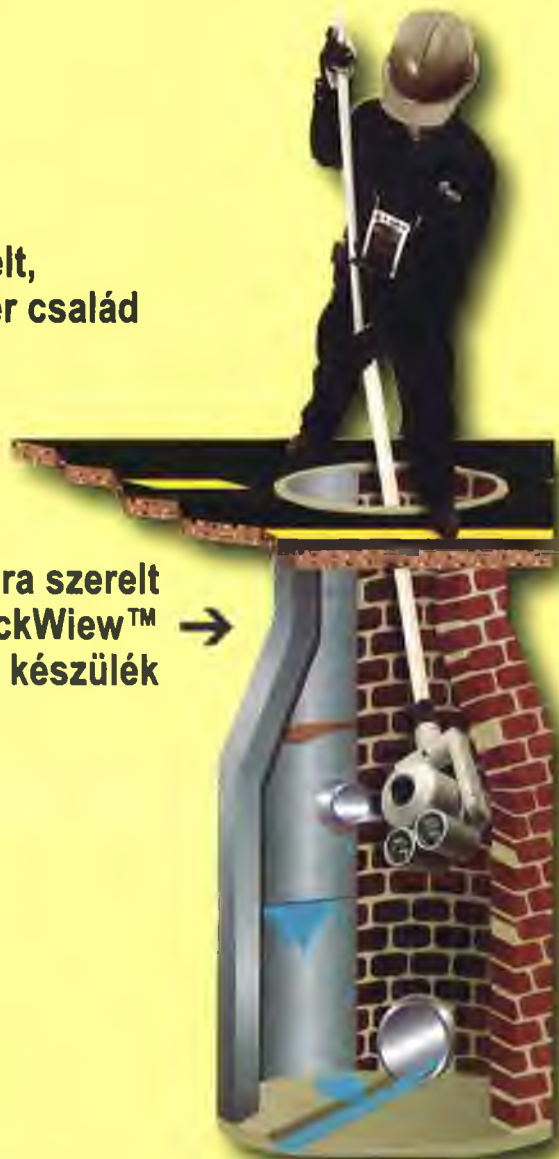
Somogyi György

Videokészülékek

a nagy belső terek gyors ellenőrzéséhez
pásztázó és billenő, színes CCD kamerával, zoom: 72:1



← Ca-Zoom távvezérelt,
telepíthető rendszer család



Teleszkópos rúdra szerelt
QuickWiew™ →
videokamerás készülék



← Rovver® önjáró, távirányítható
videokamerás robot család,
csővezetékek vizsgálatához

TESTOR Kft.

Budapest XII., Meredek u. 33. · 1538 Budapest, Pf. 528. · Tel.: 319-1-319 · Fax: 319-2284

www.testor.hu · info@testor.hu



Forgalmazás, márkaszerviz, szaktanácsadás:

SENSELEKTRO Kft.

1064 Budapest

Vörösmarty u. 33.

www.nexus.hu/senselektro; email: senselektro@interware.hu

Tel./Fax (36-1) 342-79-82

Telefon (36-1) 351-43-17

Zwick / Roell anyagvizsgáló berendezések



Szakítógépek:

A legkisebbtől a legnagyobbakig, mindenfajta húzó-, nyomó-, hajlítóvizsgálathoz.

Szabványokhoz idomuló és szabadon konfigurálható vizsgálószoftverek,

olcsó megoldás az egyszerű feladatra, professzionális konfiguráció az összetett vizsgálatokhoz.

Hogy Ön valóban dönthessen!



Keménységmérők:

Keménységmérő eszközt keres? Fémre? Műanyagra? Gumira?

Rockwell, Vickers, Brinnell, Knoop, Shore, IRHD, Pusey & Jones, univerzális keménységskálákon, telepített vagy kézi kivitelű berendezések akár szoftveres adatgyűjtéssel is.

Hosszú élettartam, megbízható technika.

AHLBORN - maximális flexibilitás a mérés technikában

Mérő - adatgyűjtő rendszerek fizikai, kémiai, villamos mennyiségek mérésére

Rugalmas, igényre szabható mérés technikai megoldások.

A műszerekhez nagy szenzorválaszték kapható, de illeszthető saját érzékelő is.

Egy csatormától több százig, kéziműszertől a mérőhálózatig.

Mérjen korlátok nélkül



IKA - Laboratóriumi készülékek, mágneses keverők, keverőmotorok stb.

Precisa

Mérlegek: félmikro, analitikai, laboratóriumi és ipari kivitelben
(0,01 mg - 60 kg). Nedvességmeghatározók

Akkreditált mérlegkalibráló laboratóriummal rendelkezünk