

Szakítóvizsgálatok kisméretű próbatesten

Dobi György¹⁾ – Junghans Éva²⁾

Bevezetés

Napjaink modern hegesztési technológiáival készített varratok és hőhatásövezeteik igen keskeny méretűek. Az ilyen varratok, varratanyagok szilárdsági jellemzőinek a meghatározása, például szakítóvizsgálattal, nagyon sok nehézséggel jár. Viszont a kötés viselkedésének a számítógépes szimulációjánál a szakítóvizsgálatok eredményeit, illetve magát az alakváltozás–feszültség görbékét közvetlenül felhasználják. Ezért is nagyon fontos a komplett feszültség–nyúlás diagramok regisztrálása. Hiszen keménységméréssel csupán minőségi és nem mennyiségi információkat kaphatunk, amelyekből a különféle tulajdonságok becslése átszámításokkal csak közelítő információk, amelyeket általában nem lehet a végeselemes számításoknál közvetlenül felhasználni. Ebből az következik, hogy szakítóvizsgálatot kell végrehajtani, és pedig kisméretű próbatesten, próbatesten.

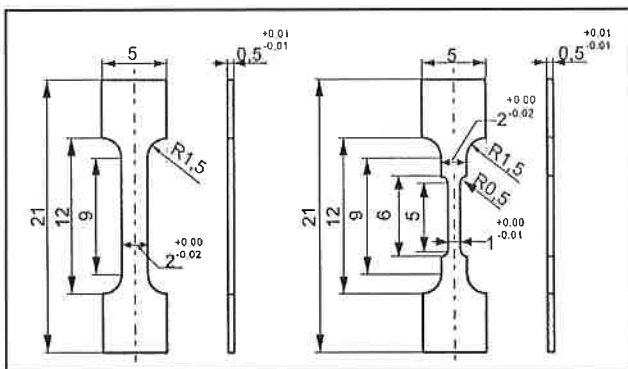
Nem csupán a hegesztett varratok vizsgálatához szükséges kisméretű próbatesteket használni. Ezek nagyon jól használhatók a kárelemek elemzésénél is, hisz ekkor általában nincs elegendő anyag szabványos, nagy próbatestek kimunkálására [1,2]. Az atomerőműi, neutron-sugárzásnak kitett szerkezeti elemek mechanikai tulajdonságainak meghatározása [3,4,5] ugyancsak kedvezőbb kisméretű próbatesten, mivel egyrészt kevesebb anyagot kell kivenni és megmunkálni, másrészt a próbatest összkativitása kisebb és így nem olyan veszélyes a környezetre.

A tulajdonságokváltozás gradiensének meghatározására is előnyösen lehet használni az igen kis méretű szakítópróbatesteket, például a hőhatásövezetekben (hegesztett varratoknál), a plattírozott szerkezeteken, vagy a hőkezelt daraboknál, ahol a tulajdonságok a felülettől a darab közepéig változnak (pl. felületi hőkezeléseknél, mint cementálás, nitridálás stb.).

Minipróbatestek, a próbatestek kivágása és vizsgálata

Az 1. ábra két különböző típusú minipróbatest jellemző méreteit szemlélteti [1,2]. Többnyire az első típusút használják, amelynek fő méretei a következők: szélessége 2 mm, vastagsága 0,5 mm, hossza pedig 21 mm. A második típusú minipróbatest szélessége és vastagsága is kisebb. Mindkettőnél a vastagság kismértékben változhat, de figyelni kell az elvékonyodás okozta megmunkálási és vizsgálati problémákra.

Hogy honnan vesszük, honnan vágjuk ki a minipróbatesteket az attól



1. ábra

1) Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Németország

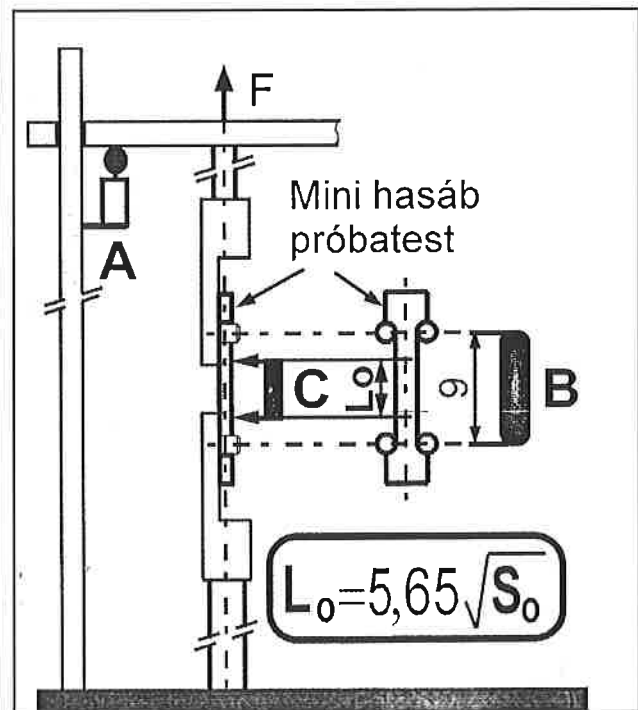
2) TÜV-Nord, Hamburg, Németország

függ, hogy mi a feladatunk és hogy mit szeretnénk meghatározni. Ezeket majd példákkal fogjuk illusztrálni.

A próbatestek kicsiny méretei miatt vizsgálati problémák léphetnek fel. Az első nehézség a próbatest befogása. Sokféle módszert elemeztek, amelyek jobb és rosszabb tapasztalatokkal jártak. Eleinte a próbatesteket fejben szorították meg. Ennek nagy hátránya abban volt, hogy csavarás–hajlítás veszélye lépett fel amikor a szorítócsavarokat meghúzták.

Később a próbatesteket nyakban akasztották fel olyan befogófejbe, amelybe a próbatest geometriáját szikraforgácsolással munkálták bele. Ezen módszernek a hátránya az, hogy a próbatestek befogófejének kimunkálásakor igen kis méret- és alakúteréseket kellett előírni. E tény igen megdrágította a próbatestek előállítását. Az újabb módszer a próbatestek négy szegecsekre felakasztott befogása. Ezen változat leglényegesebb előny az, hogy a próbatest befogása egyszerű és gyors. Ami e változatnál nagyon fontos, sok hely van a vizsgálatnál alkalmazott mérőeszközök elhelyezésére.

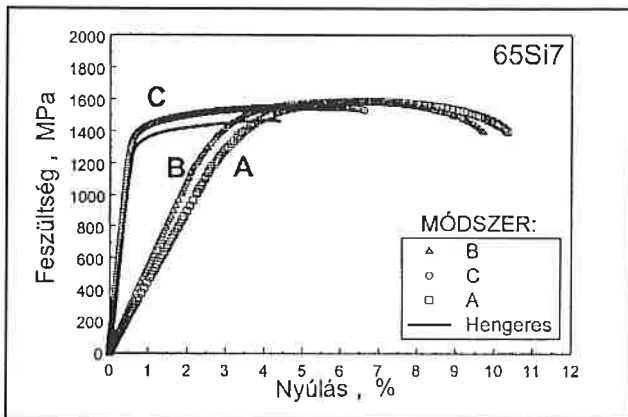
A második nehézség a nyúlásmérési módszer pontossága. A 2. ábra a négy szegecsekre felakasztással befogott minipróbatestet szemlélteti és bemutatja A, B és C jelzéssel a nyúlásmérés lehetőségeit [6,7]. Az A lehetőség a szakítógéppel keresztfejének elmozdulásával mérni a nyúlást a próbatesttől távolabb. A B-vel jelzett lehetőség az, hogy a nyúlásmérő



2. ábra

eszközt a próbatest befogójába szereljük be, és így a mérés a próbatesthez közelebb valósul meg [8]. A C-vel jelölt módszer az ún. közvetlen nyúlásmérés a próbatesten, mégpedig a próbatest felületére erősített speciális nyúlásmérő eszközzel. Így szabványos méréseket tudunk végezni [9], és betartjuk az $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ követelményt, ahol az S_0 a próbatest vizsgálat előtti keresztmetszete.

Néhány vizsgálati eredmény a 3. ábrán látható. Összehasonlítás érdekében feltüntettük a hengeres szakítópróbatesten kapott diagramot is, amikor a nyúlást közvetlenül a próbatesten mértük. Nagyon jól láthatók a különbségek. A C típusú mérés gyakorlatilag egybeesik a szabványos, ún. nagyméretű próbatesten mért eredményekkel. A másik két mérés-



3. ábra

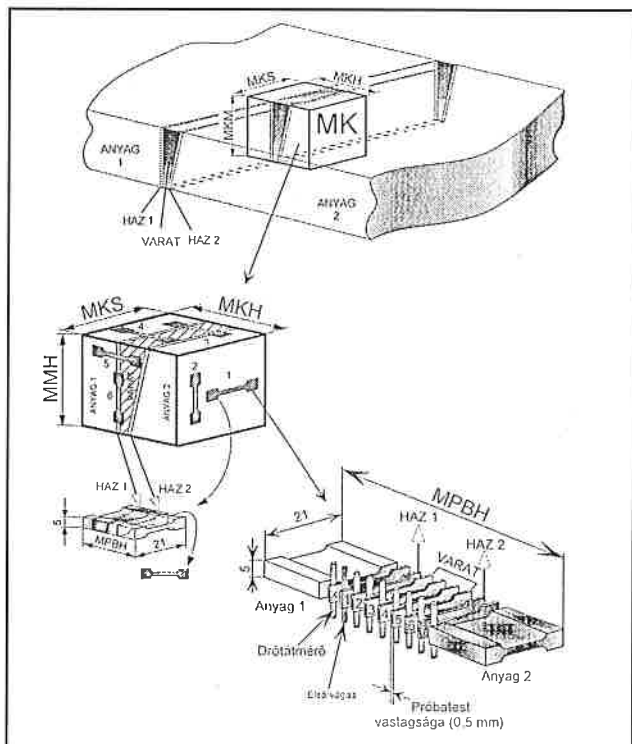
technika (A és B) jelentősen eltérő adatokat szolgáltat a szabványos hengeres próbatesten mértekhez képest. Az eltérések jellegéből az következik, hogy az A és B technikával a kisméretű próbatesteken mért rugalmassági modulus számottevően kisebb, mint a szabványos próbatesteken mért érték. Tehát a bemutatott C nyúlásmérési technikával korrekt eredményeket nyerhetünk.

Példák és vizsgálati lehetőségek

A hegesztési varratok vizsgálata

A hegesztés technológiája, a varrat geometriája, az anyag vastagsága együttesen hatnak a kötés tulajdonságaira, teherbíráására. Ezeket, mint kiinduló adatokat kell figyelembe venni a vizsgálandó próbatestek geometriájának és vizsgálati technikájának tervezésénél. Ha nincs elegendő anyag a szabványos próbatestek kimunkálására, akkor kisméretű próbatesteket kell alkalmazni. A 4. ábra olyan vizsgálati lehetőséget szemléltet, amikor két anyagból összehegesztett darabot kell megvizsgálni, [6,7].

A két különféle, vagy a két azonos anyagból összehegesztett szalagból a pontosan meghatározott helyről egy ún. minihaszábot (MK) vágunk ki, 4a. ábra, amelynek méretei meghatározottak: magassága (MKM) – ez lehet akár a szalag vastagsága is –, a szélessége (MKS) és



4. ábra

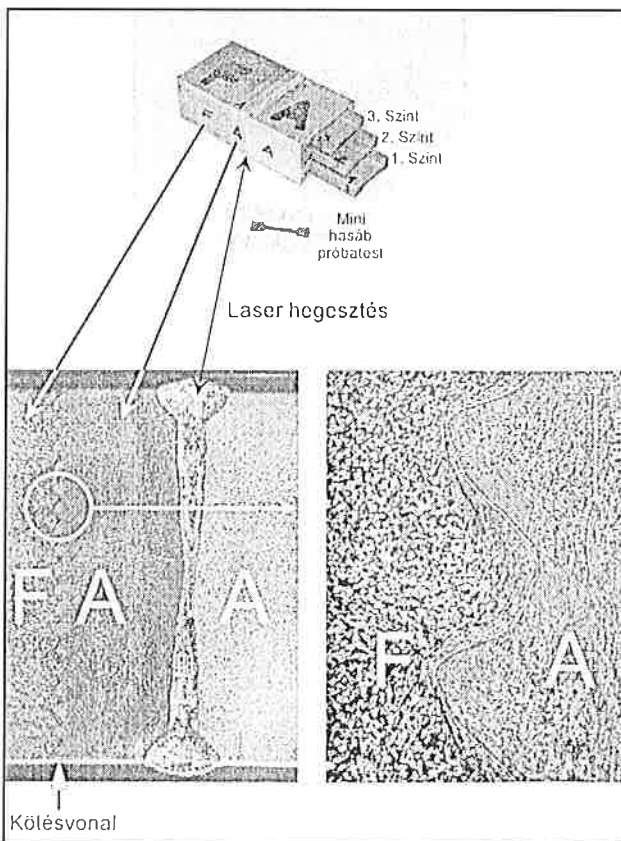
a hossza (MKH). A hasáb kimunkálásának pozíciója nagyon fontos, mert a rajta mért tulajdonságok csak ezen keresztül köthetők magához a szalaghoz. Egy ilyen minihaszábon maratással meghatározható a varrat helye és megmérhető a varrat és a hőhatásövezet szélessége a korona és gyökoldalon. Ennek ismeretében a 4b. ábra szerint kijelölhető a szilárdsági tulajdonságok meghatározásának kívánt iránya, amely mentén szikraforgácsolással kimunkálható a minipróbatestek blokkja (MPBH). Ennek hossza megegyezik a minihaszáb hosszával. A ábrán bemutatott példa az 1 jelű irányú próbatestek kimunkálását ábrázolja.

Az első próbatest kivágásának helye megegyezik azon helyvel, ahol a tulajdonságokra kíváncsiak vagyunk, pl. a varrat közepe. Természetesen a kivágás iránya is nagyon fontos, aszerint, hogy pl. a hossz- vagy a keresztirányú jellemzőket kívánjuk-e meghatározni. A 4c. ábra szemlélteti a minipróbatest-blokk ún. „szalámszerű” darabolásának egyes lépéseit. Nagyon fontos, hogy milyen huzalátmérővel dolgozunk a szikraforgácsolás során, mert ettől függ hogy milyen közelről kerül ki egymás mellől két minipróbatest, azaz a tulajdonságok milyen gradienst lehet meghatározni. Ugyancsak nagyon fontos betartani a szikraforgácsolás technológiai paramétereit. Ezeket úgy kell megválasztani, hogy azok ne legyenek hatással a vizsgálati eredményekre, azaz a felület égése ne következzen be, esetleges felhevülése ne okozzon szövetszerkezeti változásokat stb. Az így kimunkált minipróbatestek felületeit finom köszörüléssel vagy pedig polírozással (elektorpolírozás) munkájuk meg és készítsük elő a vizsgálathoz.

A leírt folyamatok kisebb-nagyobb eltérésekkel azonosak, bármilyen típusú minipróbatest elkészítésekor. Kihangsúlyozandó, hogy a pontos és reprodukálható eredmények érdekében a technológia betartásával nagyon gondosan kell a minipróbatesteket kimunkálni és a vizsgálathoz előkészíteni.

Robbantásos hegesztéssel előállított plattírozott réteg

Minipróbatestekkel ellenőrizhető és értékelhető a plattírozás minősége, és a réteg tulajdonságainak gradiense is meghatározható. A plattírozást többnyire vastag falú nyomástartó edényeknél használják, azaz a néhány milliméternyi rozsdamentes acélt (ausztenit) vastag falú, ferrites (ferrit-perlites) acélra plattírozzák. Ebből adódóan a kötés kör-



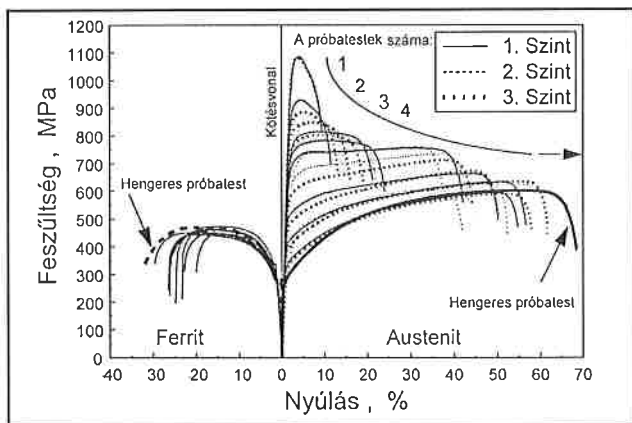
5. ábra

nyezete jelentősen eltérő tulajdonságú lesz. A relatíve kicsiny vastagság miatt a plattírozott réteg tulajdonságai nagyon fontosak, mert ezen réteg van kitéve a legintenzívebb terhelésnek (hőmérséklet-változás, besugárzás, kémiai hatás stb.). A minipróbatetekeken végzett vizsgálatok lehetővé teszik a plattírozás technológiai paramétereinek optimalizálását, az előállított plattírozott réteg tulajdonság-gradienseinek a meghatározását.

Egy ilyen példát szemléltet az 5a. ábra. A 20 mm vastag ferrites (F) acélra robbantásos hegesztéssel 5 mm vastag rozsdamentes, auszteni-tes acél (A) van felhegesztve [10]. A vizsgálatok érdekében az A oldalra ugyan olyan minőségű A acél van lézer-hegesztéssel ráhegesztve. Erre azért van szükség, hogy a törésmechanikai vizsgálatokat is el lehessen végezni hajlító-próbatetekeken, és pedig a plattírozott rétegben és a varrat kötővonalán is. A robbantásos hegesztés alakját és jellegzetes szövetszerkezetét az 5b. és az 5c. ábra mutatja. A varrat kötővonalán nem egy egyenes vonal, hanem hullámos a robbantási hullámok irányában. Szépen lehet látni a plattírozott réteg (auszteni-tes acél) szemcséinek deformálódását. A legnagyobb deformációk a kötővonalon vannak. Az auszteni-tes rétegben, annak kisebb folyáshatára miatt, a deformációk nagyobbak és mélyebbek, mint a ferrites acélban. Ezen különbségek nyilvánvalóan jelentkeznek majd a tulajdonságok gradienseiben is (a keménységi, a szilárdsági és a hőtani tulajdonságokban).

Egy ilyen módon elkészített lemezből minihaszábot vágunk ki. Méreteit az 5a. ábra mutatja. A miniblokkból, annak három különféle rétegből minipróbatetest-blokkokat munkáltunk ki. Minden réteg egy vizsgálat-sorozatot ábrázol. A sorozatok közötti különbség abban van, hogy a kivágott próbateteknek a varrat kötővonalától mért távolsága változott. Az első sorozatnál a minipróbatetest közepe (a minipróbatetest vastagságának a fele) a varrat kötővonalán volt. A következő két rétegnél pedig a minipróbatetest közepe a kötővonalától távolodott. A vizsgálati eredményeket, a feszültség-alakváltozási diagramokat a 6. ábra szemlélteti.

A kötés auszteni-tes felén a gradiens hatások nagyon jól láthatók, hisz a varrat kötővonalának környékén a szakitószilárdság eléri az alapanyagon mért érték kétszeresét is. Minél messzebb voltak a próbatetek a varrat kötővonalától, annál kisebb a szakitószilárdság és annál nagyobb az alakváltozás. A ferrites részen ezen hatás nem tapasztalható. Mindkét alapanyagon nagyméretű hengeres próbatetekkel is elvégeztük a szakitóvizsgálatokat. Ezek eredményeit is berajoltuk a 6. ábrába (hengeres próbatest).



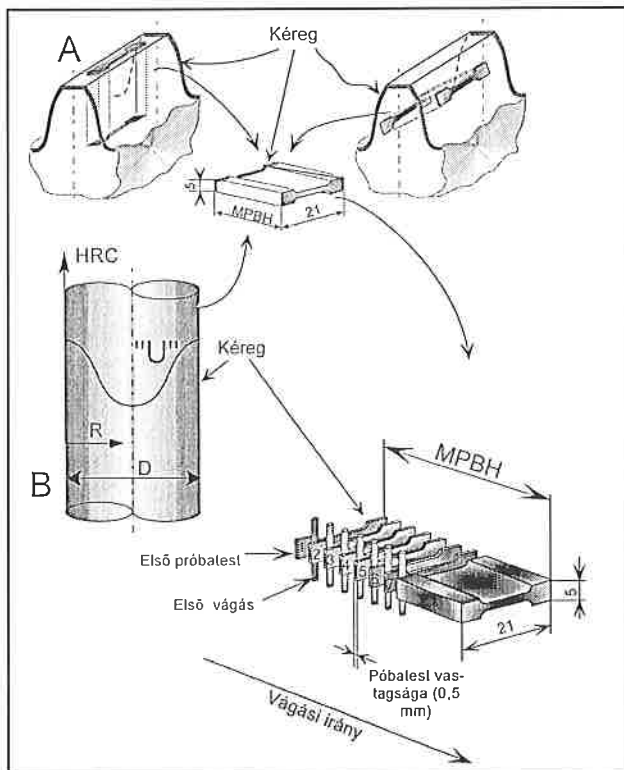
6. ábra

Felületkezelt fogaskerek és alkatrészek vizsgálata

A minipróbatetes vizsgálati módszer alkalmas a felületkezelt fogaskerek és alkatrészek mechanikai tulajdonságai gradienseinek a meghatározására is. Ugyanis a cementált, nitridált, illetve a felületi réteg összetételét módosító különféle technológiákkal kezelt és hőkezelt anyagok tulajdonságai rendkívül eltérnek a felületen és az anyag belsejében. Általában a nagyobb keménység a darab felületén mérhető. A felülettől mért távolság függvényében általában a keménység csökken. Keménységmérésekkel e változás viszonylag egyszerűen és gyorsan meghatározható, ám az ún. keménység-lefutás önmagában csupán egyetlen információ, amelyet semmiképpen nem lehet felhasználni a vége-seleemes szilárdsági számításoknál. Tehát itt is szükségünk van a

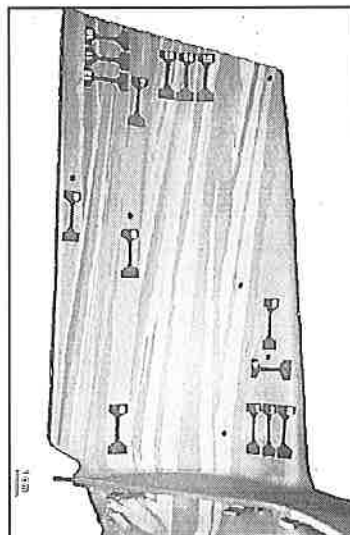
feszültség-alakváltozás görbékre, a szakitóvizsgálatokra. Minipróbatetek felhasználásával, ha a rasztert változtatni tudjuk (hasonlóan mint a plattírozott próbadarabon), akkor nagyon jól lehet a szakitóvizsgálattal mért tulajdonságok gradiensét meghatározni. Ebben az esetben a feszültség-alakváltozás görbék meghatározhatók és ezek a vége-seleemes számításoknál felhasználhatók. (Megjegyzés: de a számításnál nem hagyhatjuk figyelmen kívül a felületkezelés hatására visszamaradó feszültségek szerepét sem – a szerkesztő.)

Azonos módon járhatunk el, ha például egy hőkezelt, henger alakú alkatrész sugárirányú tulajdonság-változását kell a vége-seleemes módszerrel figyelembe vennünk. Ilyenkor sem elegendő az átédzhetőség vizsgálatnál szokásos, keménységméréssel felvehető ún. U görbe ismerete, hanem mini-szakitópróbatetes módszert kell alkalmaznunk.



7. ábra

A minipróbatetek kimunkálásának rendjét a felületkezelt fogaskerekre a 7. ábra A részlete, míg a hőkezelt alkatrész esetére a 7. ábra B részlete szemlélteti. A kéregből kivágott minipróbatetest, praktikusán az



8. ábra

első próbatest, majd pedig annyi próbatestet vágunk ki a minipróbatetest-blokkból, ahány szükséges ahhoz, hogy az alkatrész magjáig meghatározhassuk az anyag tulajdonságait. Meg kell jegyezni, hogy a termokémiai kezelés (cementálás, nitridálás, boridálás stb.) elridegíti a feletti réteget. Ezért a minitavételt, a minipróbatetek megmunkálását és a vizsgálatot erre figyelemmel óvatosan kell elvégezni.

Egykristályos turbinalapátok vizsgálata

Kisméretű próbatetekkel bő információkat lehet nyerni az egykristályos forgórész-la-

VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

pátok tulajdonságairól is. A 8. ábrán jól láthatók az irányítottan dermedt egykristályok és azok különböző helyeiről kivágni tervezett próbatetek. Ez a módszer lehetővé teszi egyetlen darab felhasználásával a komplett tulajdonságok meghatározását. Ha a vizsgálatokat szobahőmérsékleten végzik, akkor az előbb leírt módszerek alkalmazhatók. A pontosság, megbízhatóság miatt javasolt a 7. ábra kapcsán leírt módszerek alkalmazása. Ha pedig növelt hőmérsékleten kell például a kúszási tulajdonságokat vizsgálni, akkor más módszerek alkalmazása is indokolt lehet. A [11] munkában pl. a kúszásvizsgálatok eredményeit mutatják be. Ebben az esetben a 4. ábra kapcsán bemutatott vizsgálati technikát alkalmazták.

Összefoglalás

Minipróbatetek felhasználásával sok problémát lehet kiküszöbölni az anyagok tulajdonságainak meghatározásánál. A terhelés hatására bekövetkező megnyúlást valódi próbatesten lehet korrekten, megbízhatóan mérni. Ilyen lehetséges módszereket ismertettünk cikkünkben, rámutatva azok előnyeire és hátrányaira is.

Példákkal illusztráltuk, hogy a minipróbatetekeken végzett vizsgálatokkal nyerhető információk lehetővé teszik azt, hogy a végeeselemes számításokkal minél jobban megközelítsük a valóságot, és ezzel tudatos technológiatervezést valósítsunk meg, növelve ezzel a szerkezetek megbízhatóságát.

Irodalom

[1] Klausnitzer, E., Abmann, H.D., Papouschek, F.: Bestimmung von Werkstoffkennwerten mit Proben kleiner Abmessungen und deren Anwendbarkeit (Determination of mechanical properties with small sized specimens and their application). Werkstoffprüfung 1985, 3. Dezember 1985, Bad Nauheim, S. 409-416.

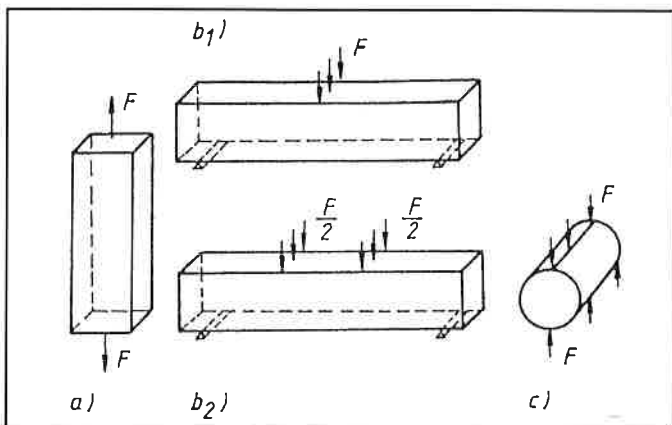
- [2] Klausnitzer, E.: Micro-Specimens for Mechanical Testing, Materialprüfung 33(1991), Heft 5, S.132-134.
- [3] Kohyama, A., Hamada, K., Matsui, H.: Specimen Size Effect on Tensile Properties of Neutronirradiated Steels, Journal of Nuclear Materials, 179-181(1991), pp.417-420.
- [4] Panayotou, N.F., Puigh, R.J., Opperman, E.K.: Miniature Specimen Tensile Data for High Energy Neutron Source Experiments, Journal of Nuclear Materials, 103-104(1981), pp.1523-1526.
- [5] Byun, T.S., Kim, J.H., Chi, S.H., Hong, J.H.: Effect of Specimen Thickness on the Tensile Deformation Properties of SA508 C1.3 Reactor Pressure Vessel Steels, in Small Specimen Test Techniques, ASTM STP 1329, (W.R. Corwin, S.T. Rosinski, E. van Walle, Eds), ASTM 1998, pp.575-587.
- [6] Dobi, D., Junghans, E.: Miniflachzugproben prüfen - richtige Probenentnahme und zuverlässige Prüfverfahren (Testing of mini flat tensile specimens - correct specimen extraction and accurate testing methods), Materialprüfung, Jahrg. 41 (1999)11-12, pp. 445-450.
- [7] Dobi, D., Junghans, E.: Determination of the Properties of Specimens with Small Dimensions, Kovine, Zlilne, Tehnologije (Metals, Alloys, Technology), 33(1999)6, pp. 451-457.
- [8] Dobi, D., Junghans, E.: Mechanische Eigenschaften von Schweißnähten, ermittelt an Miniflachzugproben (Mechanical properties of welded joints, determined with mini flat tensile specimens), Werkstoffprüfung 1996, 5. und 6. Dezember 1996, Bad Nauheim, S. 561-570.
- [9] Dobi, D., Junghans, E.: Vorrichtung zur Erfassung einer Dehnung insbesondere kleiner Proben (Device for measuring elongation especially on small specimens), Patent DE - 197 44 104, Deutsches Patentamt, 1999; Patent SI-9800255, Patentamt der Republik Slowenien, 1999; AZ 1998 1983/98, AD 30.09.1998 Patentanmeldung Schweiz.
- [10] Keydel, T.: Bruchmechanische Bewertung explosionsgeschweißter Stähle (Fracture mechanical assessment of explosive cladded joints)", Diplomarbeit Universität Rostock, Rostock 1995.
- [11] Kolbe, M., Murken, J., Pistolek, D., Eggeler, G., Klam, H.-J.: Direct Assessment of the Creep Strength of DS Cast Turbine Blades Using Miniature Creep Specimens, Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 30(1999), 11, S.465-472.

Új vizsgálati módszerek betonkutatóásaim során [1]

Balázs György

A beton húzószilárdságának vizsgálata (2)

A beton húzószilárdságának vizsgálatára alapvetően háromféle vizsgálati mód terjedt el (1. ábra). A rutinvizsgálatokhoz használják Európában a hajlítóvizsgálatot, a betongerendát központos (1b₁ ábra), illetve harmadpontos (1b₂ ábra) teherrel terhelve. Amerikában terjedt el a hasító-húzóvizsgálat (1c ábra). Amióta a betonból a henger alakú, ún. magmintát ki tudjuk fúrni, azóta útbetonok, repülőtéri betonburkolatok, ipari betonpadozatok, monolit térburkolatok húzószilárdsága meghatározásának egyedüli vizsgálati módszere. Nagy előnye, hogy a megépített szerkezet betonját lehet így minősíteni, míg a hajlítóvizsgálatnál külön készítik a próbatestet és külön a szerkezetet. Utób-



1. ábra. A húzóvizsgálatok elvi vázlatai [2]:

a) központos húzás; b₁) hajlítóvizsgálat központos teherrel;

b₂) hajlítóvizsgálat harmadpontos teherrel; c) hasítóvizsgálat hengeren

Forrás mű	Laboratórium neve	A próbatest megfogása, vizsgált részének alakja és méretei	A megfogó berendezés részletei
RILEM Bulletin, 1963	Department of Scientific and Industrial Research Road Research Laboratory Harmondsworth (Middx) G.B.	Betonozott acél \varnothing 10/15 cm-es henger	Próbatest
RILEM Bulletin, 1963	Politecnica di Milano Istituto di Scienza delle Costruzioni, Milano (Italia)	Betonozott acél 10x10x25 cm méretű hasáb	14 cm
RILEM Bulletin, 1963	Building Research Institute, Tokyo (Japan)	Betonozott acél \varnothing 15/45 henger	650 mm Csapok
RILEM Bulletin, 1963	Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción Madrid (Espagne)	Betonozott acél \varnothing 15 henger	Csukló Csukló Beton
RILEM Bulletin, 1963	Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbonne (Portugal)	Betonozott acél \varnothing 10,4/20 cm henger	10 cm 20 cm 10 cm Horgok Beton Horgok 30 cm
RILEM Bulletin, 1963	Kalk-og Teglværks-laboratoriet, Aarhus	Ragasztás \varnothing 3,5 cm henger	3
RILEM Bulletin, 1963	C.S.I.R.O. - Division of Building Research Hightit (Vict.) (Australia)	Ragasztás \varnothing 7,5/15 cm henger	

2. ábra. A húzó-próbatetek alakja, mérete és megfogása [2]

*Akadémiai doktor, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék