

■ 9. ábra. A plazmafelhő árnyékoló hatását szemléltető vázlat CO<sub>2</sub>- és Nd:YAG-lézersugár esetén [6]

változók meghatározása során többnyire a lézersugár teljesítményét és a hegesztési sebességet értékelik, jó esetben a fókuszhelyzetet. Kétségtelen, hogy ezek fontosak a varratgeometria szempontjából, de a cikk arra szeretné a figyelmet felhívni, hogy a hegesztési munkagáz kémiai összetételének is markáns hatása van a hegesztés eredményére.

Az iparban alkalmazott két lézersugár-hullámhosszúsággal (CO<sub>2</sub> és szilárdtest) végzett, összesen 535 hegesztési kísérlet eredményeinek értékelése során bebizonyosodott, hogy a

a gőz-plazma csatornába jutó lézersugár-teljesítményt, így a megolvasztott és elpárolgatott fém mennyiségét, ill. arányát és mindezek a hegesztési varrat geometriáját. A cikk (terjedelmi okokból) az eredmények kis részére összpontosít, elsősorban a varratmélység és a munkagáz összetétele közötti összefüggésekre, ill. azok magyarázatára.

#### Irodalom

[1] Sándor T.: A semleges védőgázos, volfrámelektrodás ívhegesztés telje-

munkagáz összetétele befolyásolja a hegesztési gőzplazma csatorna fölött vibráló plazmafelhő szabadelektron sűrűségét. Ezen keresztül a felhő optikai tulajdonságait (abszorpció, reflexió, transzmisszió a lézersugár hullámhosszúságán), ennek következményeként

sítménynövelési lehetőségei; PhD-értekezés; BME; 2014. p.: 65–72.

- [2] Sándor T. – Mekler C. – Dobránszky J. – Kaptay G.: An improved theoretical model for A-TIG welding based on surface phase transition and reversed Marangoni flow, Metallurgical and Materials Transactions A, Metallurgical and Materials Transactions A 44 (2013:1) 351–361.
- [3] Beyer, E.: Schweißen mit Laser. Berlin: Springer-Verlag, 1995
- [4] Klein, T.: Freie und erzwungene Dynamik der Dampfkapillare beim Laserstrahlschweißen von Metallen, TU Braunschweig, Diss., 1996.
- [5] Buza G. – Erős A. – Fazakas É.: A hegesztési munkagáz összetételének hatása a plazmaképződésre a lézersugaras hegesztés során, BKL Kohászat, 148, 2015/6, p.: 33–37.
- [6] <http://staatsmacht.org/Veranstaltungen/Lasertechnik/Zusammenschrift.pdf> (2017. 01. 21); [elib.suub.unibremen.de/diss/docs/E-Diss\\_820\\_JSкупin.pdf](http://elib.suub.unibremen.de/diss/docs/E-Diss_820_JSкупin.pdf) (2017.01.02.)
- [7] Lehner, C.: Beschreibung des Nd:YAG Laserstrahl-Schweißprozesses von Magnesiumdruckguss, Herbert Utz Verlag GmbH 2001., p.: 67–68.

## MAJTÉNYI JÓZSEF – KÁRPÁTI VIKTOR – BENKE MÁRTON – MERTINGER VALÉRIA

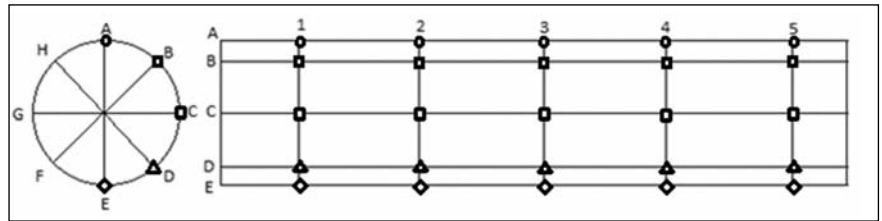
# Maradó feszültség meghatározása marópróbas és röntgendiffrakciós módszerekkel járműipari kormányfogasléc félkésztermék gyártási folyamatában

*Autóipari kormányrúd előtermékek maradó feszültségének változását a fő megmunkálási lépések, nevezetesen indukciós edzés, megeresztés, hántolás, polírozás, feszültségmentesítés és utópolírozás után innovatív, roncsolásmentes (mintakivágás nélküli) röntgendiffrakciós módszerrel vizsgáltuk. Az előtermékek deformációra való hajlamát a gyártó által már alkalmazott, makroszkopikus deformáción alapuló módszerrel határoztuk meg. A mért feszültségértékeket korreláltattuk a makroszkopikus deformációra való hajlammal. A kapott eredmények alapján az előtermékek anyageltávolítás közbeni deformációs hajlamát előre lehet jelezni a különböző megmunkálási állapotokban.*

#### Bevezetés

A járműipar magas követelményeket támaszt a beszállítókkal szemben, nemcsak a méretpontosság, felületi érdesség vagy az anyag összetételére vonatkozóan, hanem olyan – egyszerű módszerrel nem mérhető – tulajdonságokkal szemben is, mint a maradó feszültség a félkész termékben. A maradó feszültség ismeretének azért van jelentősége, mert a

készre munkálás során a darabban lévő feszültséget megbontva a további megmunkálást nehezítheti, vagy bizonyos esetekben további megmunkálásra teljesen alkalmatlanná teheti. Annak érdekében, hogy monitorozzuk a maradó feszültség változását autóiipari kormány fogasrúd félkésztermék megmunkálási fázisai után (edzés, nemesítés, hántolás, nyomópolírozás, feszültségmentesítő hőkezelés, utópolírozás), röntgendiffrakciós és marópróbas maradó feszültség vizsgálatokat végeztünk a tényleges gyártási sorból kivett mintadarabokon. A röntgendiffrakciós vizsgálati módszer egy innovatív, mintakivágást nem igénylő eljárás, mely egyrészt lehetővé tette a vizsgált rudakban lévő feszültségek meghatározását a valós feszültségtér megbontása nélkül. A roncsolásmentes jelleg másik előnye, hogy a röntgendiffrakciós vizsgálaton átesett mintadarabokon lehetőség volt elvégezni az anyageltávolításon alapuló marópróbas makroszkopikus deformáció vizsgálatokat és a két módszerrel kapott eredményeket összevetni. Röntgendiffrakciós módszerrel a vizsgált termék egy pontjában a vizsgált térfogatrésről számszerű feszültségértéket kapunk, míg a marópróbas vizsgálatnál a makroszkopikus deformációból következtetünk a rúdiban jelen lévő, nagy térfogatra kiterjedt maradó feszültségre. Azonban



■ 1. ábra. Az acél próbatest alkotói (A–H) mentén vizsgált pontok (1–5) távolsága [7]

a marópróbas vizsgálatnál nem kapunk számszerű feszültségértéket. Célunk a különböző gyártási folyamatokon átesett félkész termékekben kialakult maradó feszültség változásának nyomon követése, valamint a röntgendiffrakciós és a marópróbas mérési módszerekkel kapott eredmények közötti korreláció vizsgálata.

### Elvégzett vizsgálatok

A vizsgálatokat a járműiparban kedvelt DIN EN 10083-3 szabvány szerinti 37CrS4+HL nemesíthető acéltípusból készült félkészterméken végeztük, melynek összetételét az 1. táblázat foglalja össze.

A vizsgált rudak autóiipari kormány fogasrúd félkésztermékek, melyeken a Lech-Stahl Veredelung GmbH folyamatos gyártósoron az alábbi fő megmunkálási műveleteket végzik: edzés, megeresztés, hántolás, polírozás, feszültségcsökkentés, utópolírozás. A rudak feszültségállapotát minden megmunkálási lépés után fel-

térképeztük. A rudak gyártási folyamatának paraméterei az alábbiak. A körülbelül 7 m hosszú rudak hőkezelése indukciós módszerrel történik. Az edzési hőmérséklet 880 °C, melyről direkt vízűtéssel edzik a rudakat. A rudak megeresztése 720 °C-on történik [1]. A hőkezelést követően a hántolás következik [2]. A megmunkálendő acélrudak egymást követően haladnak át a berendezés egyes szakaszain, így a megleghengerelt durva felületet eltávolítva egy kisebb, pontosabb tűrésosztályba tartozó átmérőt és felületi érdességet kapnak. Ezt követően az acélrudakat egy nyomópolírozó berendezéssel polírozzák [2], ezzel egy sima, egyenletes, mechanikai sérülésektől mentes felületet biztosítva a későbbi félkésztermék számára. A polírozott rudakat a megeresztési hőmérsékletnél kisebb hőmérsékleten indukciósan feszültségmentesítik. A feszültségmentesített rudakat végül egyengető polírozásnak vetik alá, mellyel a gyártás közben esetlegesen kialakult apró

1. táblázat. A kísérlethez felhasznált acél összetétele

Olvadékanalízis tömeg%-ban kifejezve																
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Nb	Ni	Cu	Sn	Al	V	B	Ti	N	
0,36	0,23	0,77	0,007	0,027	1,02	0,04	0,002	0,14	0,17	0,012	0,022	0,01	0,0003	0,001	0,008	

**Majtényi József** 2008-ban szerzett okleveles metallurgus-öntész summa cum laude diplomát a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. 2013-tól a Max Aicher Gruppe-hoz tartozó, németországi Lech-Stahl Veredelung GmbH obermdorfi gyárában a minőségbiztosítási osztály vezetője. 2014-ben levelező tagozaton doktorandusz hallgató lett a Miskolci Egyetem, Fémtechnológiai és Nanotechnológiai Intézetnél. Kutatási területe az indukciós acél edzés fémtechnológiai vonatkozásai, maradó feszültség kialakulása, mérése, különböző mérési módszerekkel.

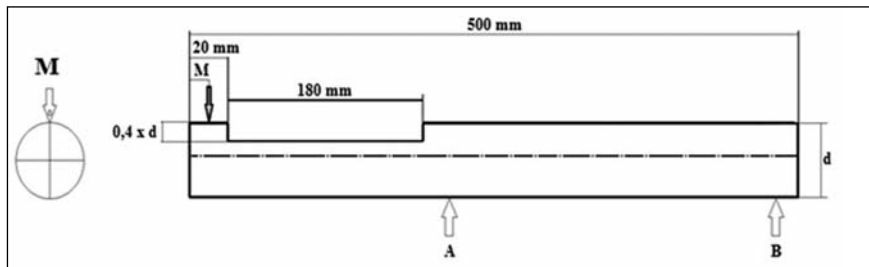
**Kárpáti Viktor** a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának BSc-szakos hallgatója. Kutatási területe a rúdszerű előtermékekben edzési eljárások során kialakuló maradó feszültség jellemzése központ nélküli röntgendiffrakciós módszerrel.

**Dr. Benke Márton** 2004-ben szerzett okleveles anyagmérnök diplomát a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. 2010-ben PhD-oklevelet szerzett. Jelenleg a Miskolci Egyetem Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetben dolgozik egyetemi docensként. Főbb kutatási területei: martenzites átala-

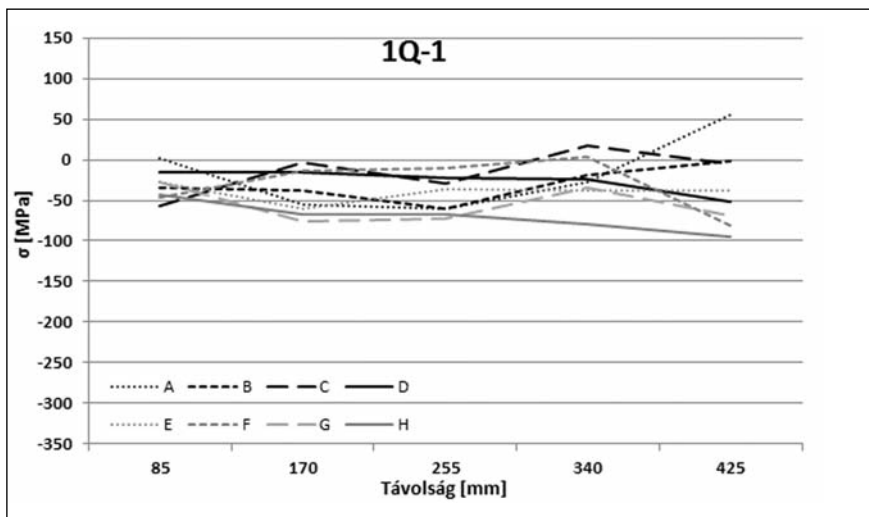
kulások alakemlékező ötvözetekben és TWIP/TRIP acélokban; növelt élettartamú szelektív forrasztószerszám-anyag fejlesztése; ónalapú, többalkotós forrasztóanyagok fémtechnológiai folyamatainak vizsgálata; röntgendiffrakciós fázisazonosítás, maradó feszültség meghatározása röntgendiffrakciós módszerrel, textúra-vizsgálata.

**Dr. Mertinger Valéria** 1990-ben a Miskolci Egyetem Kohómérnöki Karán fémtechnológiai szakon, fémtechnológiai ágazaton, 1994-ben pedig a Kossuth Lajos Tudomány Egyetemen mérnök-fizikus szakon szerzett oklevelet. PhD-fokozatát 1998-ban szerezte a Miskolci Egyetemen. A Műszaki Anyagtudományi Kar egyetemi tanára, a Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet igazgatója, a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola törzstagja. Főbb kutatási területei: kristályosodás, martenzites átalakulások alakemlékező ötvözetekben és TWIP/TRIP acélokban, maradó feszültség meghatározása röntgendiffrakciós módszerrel, textúravizsgálata, alumíniumötvözetek fémtechnológiai folyamatainak vizsgálata.

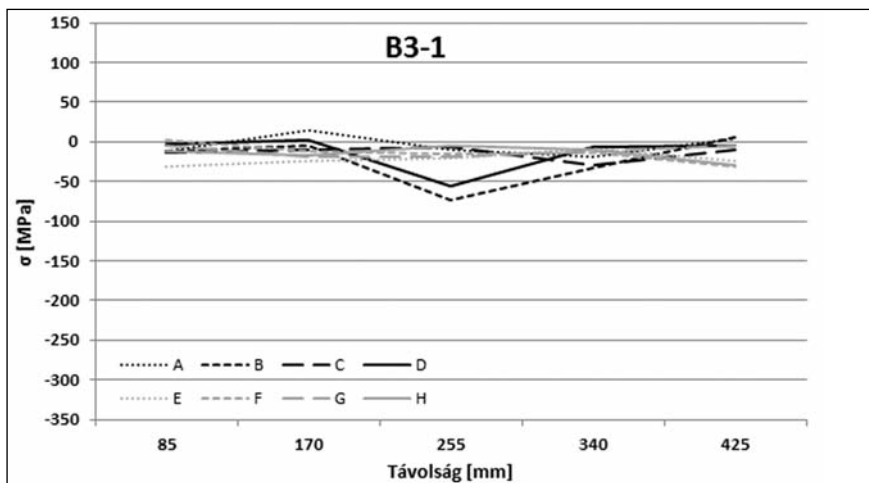
felületi karcokat, vagy bizonyos esetekben a deformálódást csökkentik. A 7 m hosszú rudakból minden egyes gyártási lépés után a vizsgálatokhoz szükséges 500 mm-es próbát vágunk ki. A vizsgálandó rudak maradó feszültségállapotának mérése a Stresstech cég által gyártott XStress G3R központ nélküli röntgendiffrakto-méterrel történt. Ez a berendezés Magyarországon egyedülálló, sőt, még európai viszonylatban is ritkaságnak számít. A vizsgálatoknál Cr-röntgensövet és a  $\sin^2\Psi$  módszert alkalmaztuk  $-45^\circ$ ,  $-30^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  és  $45^\circ$  döntési szögekkel, mellyel a ferrit (211) rács síktávolságának ( $d$ ) eltolódását mérjük minden  $\Psi$  döntési pozícióban [3–8]. Az alkalmazott csőfeszültség 25 kV, a fűtőáram 6 mA, a detektorív 50 mm és a kollimátor átmérője 3 mm volt. A maradó normál-feszültség ( $\sigma$ ) értékeket a vizsgálandó rudak nyolc alkotója (A-H) mentén 85 mm ponttávolsággal minden pontban hosszanti irányban mértük. (1. ábra). A polírozott rudak esetében a részletesebb vizsgálat érdekében az alkotók mentén lévő mérési ponttávolságokat 20 mm-enként vettük fel. Az esetenként előforduló kiugró pont környezetében részletesebb vizsgálatot végeztünk, hogy megbizonyosodjunk a kiugró érték lokális jellegéről. A hántolt rudak esetében többlépcsős mélységi feszültségvizsgálatot is végeztünk, melynél a rétegeket egy Struers gyártmányú Movi-Pol 5 típusú elektrolitos polírozó berendezéssel távolítottuk el. Minden polírozási lépés után az eltávolított réteg vastagságának mérése egy stabilan épített tartóban, Mitutoyo gyártmányú tapintásos elven működő mérőóra segítségével történt, mellyel az eltávolított rétegvastagságot ezred mm-es pontossággal mérhettük. Az átlagos feszültségértéket a rúdon mért összes feszültségérték átlagaként határoztuk meg. A röntgendiffrakciós méréseket követően a rudakban lévő feszültségállapotot marópróbás módszerrel vizsgáltuk, melynek menete az alábbi. A vizsgálandó rúdban lévő feszültségre utaló makroszkopikus deformációértéket a rúd kimunkálatlan állapotában megmért legnagyobb ütése, és a rúdból bizonyos részt kimunkálva ugyanazon pontban mért legnagyobb ütéskülönbsége (a deformá-



■ 2. ábra. A marópróba mérési és megmunkálási paraméterei [6], ahol az M pont a mérés helye 10 mm-re a homlokfelülettől. A homlokfelülettől mérve az A pont 220 mm, a B pont 490 mm távolságra az alátámasztási pontokat jelöli



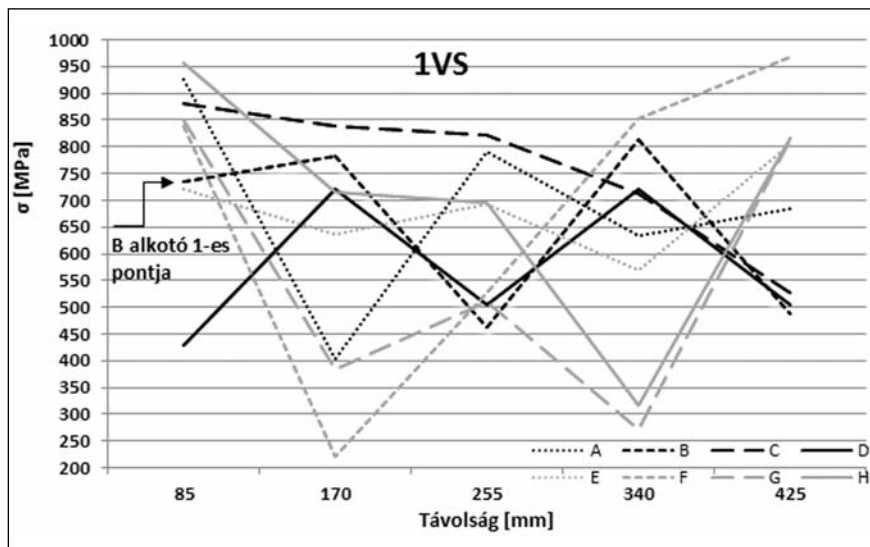
■ 3. ábra. Az edzett rúd maradó feszültségállapota a nyolc alkotó (A–H) mentén



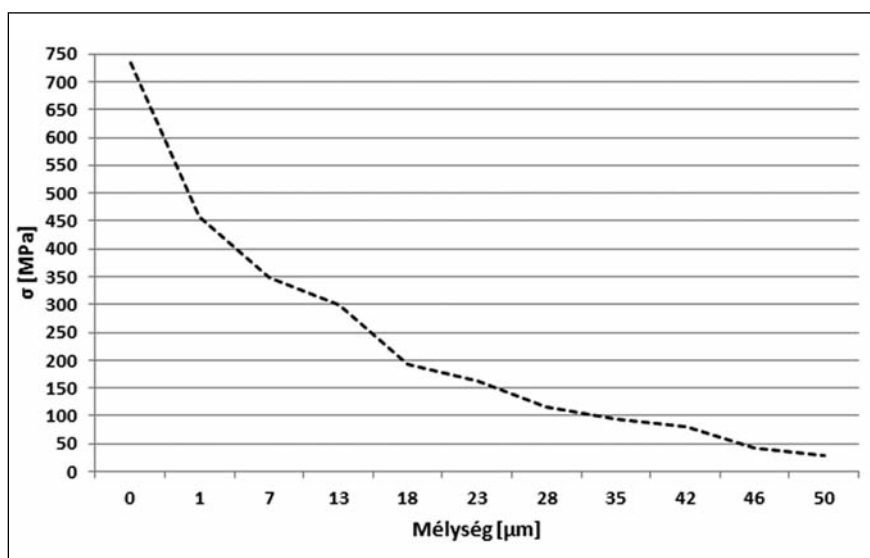
■ 4. ábra. A megeresztett rúd maradó feszültségállapota a nyolc alkotó (A–H) mentén

ció nagysága) adja. A mérés lényege, hogy a 2. ábra szerinti rajz alapján a mérendő próbának az M pontban ütésmérőórával megkeressük a legnegatívabb pontját, amit bejelölünk, és a mérőórát ebben a pontban lenul-lázzuk. Ez lesz a referenciapont (0). A próbát  $360^\circ$ -ban körbe forgatva megkeressük a rúd maximális ütési pontját, amit X-szel jelölünk. Ezt az

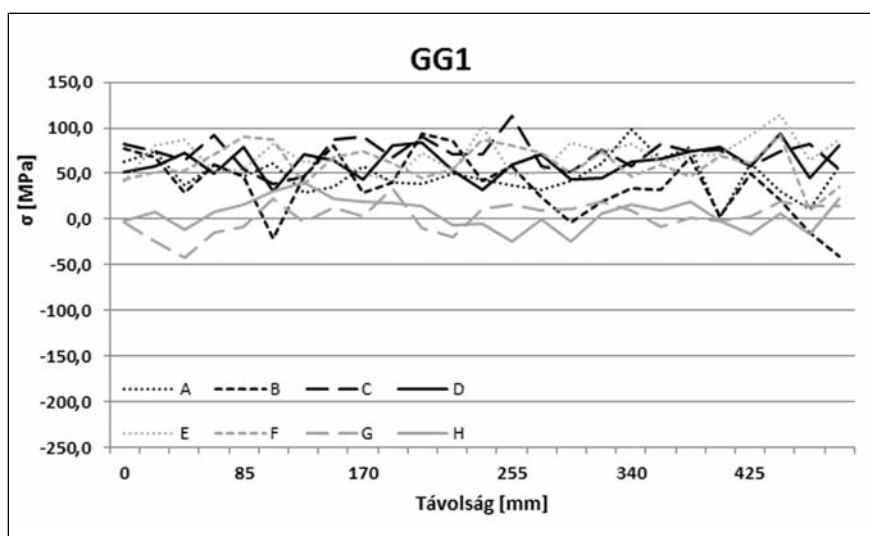
állapotot marás előtti állapotnak nevezzük, hiszen itt a próba kereszt-metszete még teljes. Ezt követően a próbából marással anyagot távolítunk el a 2. ábrán szereplő előírásnak megfelelő paraméterekkel – innen kapta a vizsgálat a „marópróba” elnevezést – úgy, hogy a próbán bejelölt X maximum pont a marógép asztalára  $90^\circ$ -os szöget bezárva felfelé



■ 5. ábra. A nemesített, hántolt rúd maradó feszültségállapota a nyolc alkotó (A–H) mentén



■ 6. ábra. A nemesített, hántolt rúd B alkotójának 1. pontjában mért mélységi feszültségeloszlás



■ 7. ábra. A polírozott rúd maradó feszültségállapota a nyolc alkotó (A–H) mentén

legyen. A kimarandó terület mélysége az adott keresztmetszetű rúd átmérőjének a 40%-a, hossza 180 mm. A kimart próbán ismét megmérjük a darab maximális ütését, ebben az esetben úgy, hogy a mérőórát a korábban 0-val jelölt (referencia) pontnál nullázzuk. A vizsgálandó rúdban lévő feszültségre utaló deformációértéket a rúd maratlan állapotában megmért legnagyobb ütése és a rúdból bizonyos részt kimarva, ugyanazon pontban mért legnagyobb ütéskülönbsége (a deformáció nagysága) adja [9].

### Eredmények

Az indukciósan edzett rúd maradó feszültségállapotát a 3. ábra mutatja. Az ábrán az egymással szemben lévő alkotókat azonos vonaltípus jelzi. A feszültségmérések során a mérési hiba minden esetben 50 MPa alatti volt, ezért a mérési hibasávokat nem tüntettük fel.

Az ábrán látható, hogy az indukciós edzés után a rúdban jellemzően gyenge nyomófeszültség van jelen. Az indukciós edzés után a felületen kialakult nyomófeszültség összhangban van a szakirodalomban közölt eredményekkel [10]. A nyomófeszültség nagysága kicsi, a feszültségértékek 20 és 85 MPa között változnak. Az átlagos maradó feszültség értéke 35 MPa. A rúdban lévő maradó feszültség eloszlása alkotónként, valamint a rúd minden alkotója mentén viszonylag kis értékek között változik.

A megeresztett rúd maradó feszültségállapotát a 4. ábra mutatja. Az alkalmazott indukciós gyártási technológiának köszönhetően a hőkezelendő acélrúd teljes hossza mentén, minden egyes pontjában azonos körülményekkel és beállításokkal történt a hőkezelés. Ez az ábrán a nyolc alkotón mért feszültségértékeken is jól látszik.

Jellemzően feszültségmentes állapot alakult ki. Az egész rúdban két alkotó egy-egy pontjában gyenge nyomófeszültség volt mérhető, melyek értéke 65 MPa alatti. Ezekről eltekintve a feszültségeloszlás egyenletes.

A hántolás hatására bekövetkező változást az 5. ábra mutatja. A mechanikai anyageltávolításnak kö-

szönhetően a hántolt rúd felületközeli térfogatrészében nagy feszültségek alakultak ki.

A nemesített, hántolt rúdban kizárólag húzófeszültség van jelen, melynek eloszlása rendkívül rendezetlen, 200 MPa és megközelítőleg 1000 MPa között változik. Annak érdekében, hogy megvizsgáljuk, a kaotikus feszültségértékek milyen mélységben vannak jelen, a B alkotó 1-es pontjában mélységi feszültségeloszlást mértünk (6. ábra). Az ábrán megfigyelhető, hogy a felületen mért nagy, 750 MPa körüli húzófeszültség a felülettől távolodva hamar lecsökken. A maradó húzófeszültség ~50  $\mu\text{m}$  mélységben teljesen lecsökken.

A polírozott rúd maradó feszültségállapotát a 7. ábra mutatja. Az alkotók pontjain mért feszültségértékek a korábbi gyártási folyamathoz képest egy rendezettebb, kisebb feszültségállapotot mutatnak.

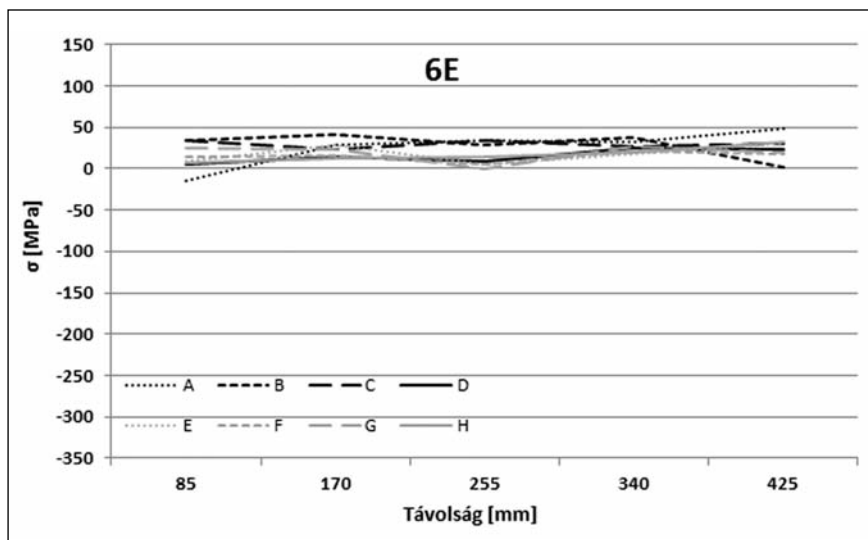
A feszültségértékek – 50 és 110 MPa között változnak, jellemzően gyenge húzófeszültség alakul ki. A polírozott rúd feszültségeloszlását az alkotók mentén 20 mm-es mérési távolsággal mértük annak érdekében, hogy egy részletesebb maradó feszültségállapotot kapjunk. A feszültségeloszlásról elmondható, hogy a rúdban kialakult feszültségeket jól tükrözi a ritkább, alkotónkénti öt mérési ponttal végzett térképezés is, melyet a többi megmunkálási lépés után alkalmaztunk.

A feszültségmentesített rúd maradó feszültségállapotát a 8. ábra mutatja. Jól látható, hogy a polírozás közben kialakult feszültségállapotot az indukciós feszültségmentesítés nagyon jó eredménnyel csökkentette.

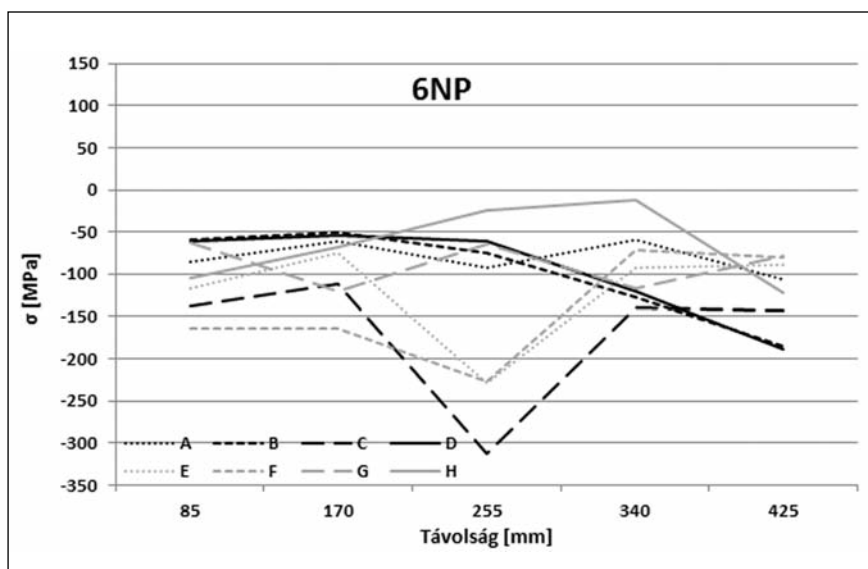
A rúdban gyakorlatilag feszültségmentes állapot volt mérhető, a mért feszültségértékek –15 és 45 MPa között változnak. A maradó feszültség eloszlása egyenletes, a diagramot nem jellemzik kiugró értékek.

Az utópolírozott rúd maradó feszültségállapotát a 9. ábra mutatja. A nyomópolírozásnak köszönhetően a feszültségmentesített rudakban egy teljesen más karakterisztikájú maradó feszültség és feszültségeloszlás alakult ki.

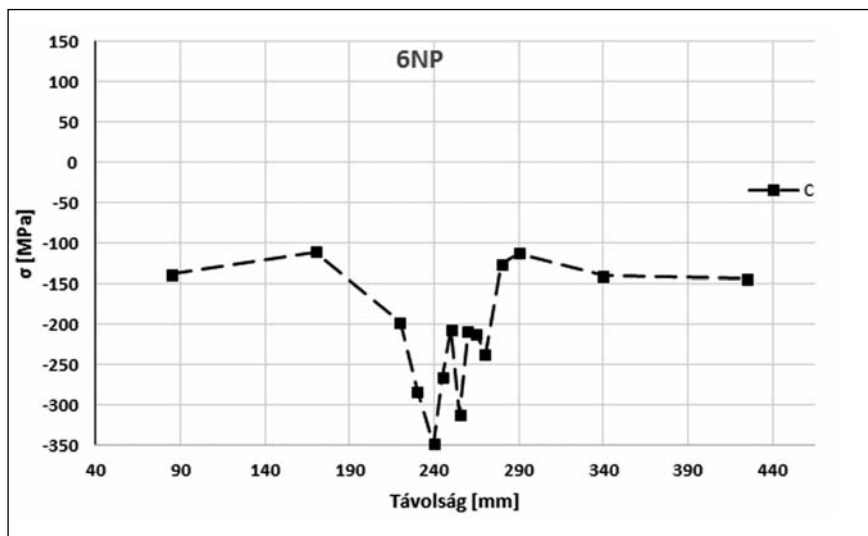
Az utópolírozott rúdban jellemzően nyomófeszültségek vannak jelen, melyek értékei –100 és 50 MPa



8. ábra. A feszültségmentesített rúd maradó feszültségállapota a nyolc alkotó (A–H) mentén



9. ábra. Az utópolírozott rúd maradó feszültségállapota a nyolc alkotó (A–H) mentén



10. ábra. Az utópolírozott rúd C alkotója 3. mérési pontjának környezetében végzett részletes maradó feszültségmérés

**2. táblázat.** A marópróbás makroszkopikus deformációs vizsgálat eredményei, illetve a röntgendiffrakciós maradó feszültségértékek átlagértékei

Próba	Marás előtti ütés [mm]	Marás utáni ütés [mm]	$\Delta$ Ütés [mm]	Átlagos fesz. érték [MPa]
Edzett	1,040	1,525	0,485	-35
Nemesített	0,440	0,515	0,075	-15
Nemesített, hántolt	0,070	-0,115	0,185	663
Polírozott	0,105	0,235	0,130	45
Feszültségmentesített	0,135	0,14	0,005	21
Utópolírozott	0,105	0,08	0,025	-108

között vannak. A kialakult nyomófeszültség a nyomó polírozás következménye. A diagramon láthatunk kiugró értékeket. Annak érdekében, hogy a kiugró feszültségérték kiterjedését megvizsgáljuk, a legnagyobb feszültségérték környezetében további, részletesebb feszültségelosztás-vizsgálatot végeztünk (10. ábra). A részletes mérési eredményen jól látszik, hogy a kiugró feszültségérték lokális jellegű.

### A rudak maradó feszültség vizsgálata marópróbás módszerrel

A marópróbás módszerrel kapott eredményeket, illetve a röntgendiffrakciós feszültségmérésből származó átlagos feszültségértékeket a 2. táblázat tartalmazza.

A 2. táblázat alapján elmondható, hogy edzés után a makroszkopikus deformáció és a rúd felületén mért átlagos maradó feszültség értéke egyaránt kicsi. Megfigyelhető, hogy a rúd ütése a marópróbás vizsgálat előtt 1,040 mm, a vizsgálat után pedig 1,525 mm, ütéskülönbsége pedig csupán 0,485 mm. Ez azt jelenti, hogy az edzett rúd egyenetlen, azonban deformációra nem hajlamos. A nemesítést követően a makroszkopikus deformáció és a maradó feszültség értéke tovább csökken. Hántolást követően a deformáció értéke kicsi marad, azonban a felületen mért feszültség értéke nagy. A mélységi feszültségelosztás-vizsgálat azonban igazolta, hogy a nagy feszültségérték hamar leépül a rúd belseje fele haladva. Polírozás után a rúdban kicsi a deformáció, valamint a maradó feszültség értéke. A feszültségmentesített rúdban a deformáció és a maradó feszültség értéke tovább csökken. Az utópolírozás után a makroszkopikus deformáció értéke

kicsi marad, a felületen gyenge nyomófeszültség mérhető.

### Következtetések

Az edzett rúd esetében a rúd egyenetlen, azonban a makroszkopikus deformáció értéke kicsi, a rúd felületén mérhető maradó feszültség elhanyagolható. A megeresztés hatására a makroszkopikus deformáció értéke tovább csökken, amivel összhangban van a felületen mért maradó feszültség leépülése. Ez egyértelműen betudható a megeresztés feszültségcsökkentő hatásának. A hántolt rúd esetében azt tapasztaljuk, hogy a rúd felületén rendkívül nagy szórású húzó feszültségállapot alakul ki, mely kiugróan magas (1000 MPa) értéket is elérhet. A mélység szerinti feszültségvizsgálat azonban kimutatta, hogy ez a feszültség a felülettől már néhányszor 10 mikron mélységben lecsökken. Ez a jelenség megérthető, hiszen a hántolás egy forgácsolási művelet, amely során a felületről adott vastagságú anyagréteget távolítunk el. A forgácsolás után a munkadarab felületi egyenetlensége viszonylag nagy a felületen maradt anyagrészeknek köszönhetően. A felületen az anyageltávolítás ugyanis bemaródásokat, völgyeket hagy maga után. Az így kialakult mikrobarázdák feszültségállapota extrém értéket is felvehet a megmunkáló szerszámok (kécek) mechanikai anyageltávolítása során fellépő igénybevétel miatt. Mivel a röntgensugárzás behatolási mélysége 10-15  $\mu\text{m}$ , a hántolt rudak vizsgálata esetén erről az anyagrésztől kapunk információt. Ezt igazolta a mélység szerinti feszültségelosztás vizsgálata, amely szerint az extrém értékű feszültség már néhány 10  $\mu\text{m}$  mélységben is erősen

csökken. A marópróbás vizsgálat során láttuk, hogy a 880 °C-ról edzett, megeresztett hántolt rúd esetében kicsi az ütéskülönbség értéke (0,185 mm). Ez arra utal, hogy a felület közelében mért nagy feszültségértékek önmagukban nem elegendők ahhoz, hogy előre jelezzék a rúd marás – illetve a fogazat kialakítása – közbeni deformációját. A polírozott rúd esetében, normális polírozási beállítással nem keletkezik rendezetlen vagy nagy maradó feszültség az anyagban. Mind a röntgendiffrakciós, mind a marópróbás vizsgálati módszerrel kis maradó feszültségállapotot határoztunk meg. Az indukciós feszültségmentesített rúdban mért maradó feszültség és ütéskülönbség-értékek kisebbek, mint a feszültségmentesítést megelőző polírozott rúd esetében. Tehát ez a fajta feszültségmentesítés jó hatással csökkenti az anyagban lévő maradó feszültséget. Az utópolírozott rúd esetében kimutattuk, hogy a rúdon mért lokális (egy-két mérési pontra kiterjedő) feszültségmaximum megjelenése nem fogja a rúd elhajlását okozni. A marópróbás módszer óriási előnye, hogy egyszerű az eszköz-igénye, nem igényel speciális szaktudást, nem pontszerű eredményt ad és nem szükséges a vizsgált próba előéletét ismerni, hiszen tényleges deformációértéket ad, ami megfelelően jellemzi a deformációra való hajlamot a későbbi anyageltávolításkor. A röntgendiffrakciós vizsgálat pontos, számszerű értéket ad a maradó feszültség jellegéről, azonban csak a vizsgált térfogatra jellemző bizonyosan. Éppen ezért, a röntgendiffrakciós maradó feszültségmérés során kapott eredmény interpretálásakor figyelembe kell venni azt, hogy a munkadarab felületén mért feszültséget olyan megmunkálási lépés idézte elő, amely hatással volt a munkadarab egészének a feszültségállapotára, vagy csupán a felületközeli feszültségállapotot változtatta meg. Ezen ismeret hiányában mélység szerinti feszültségelosztás-vizsgálatot kell végezni, amennyiben a cél a makroszkopikus deformációra való hajlam előreléjezése.

### Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatallodó

és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### Irodalom

- [1] *Catrin Kammer, Ulrich Kammer, Volker Läßle: Werkstoffkunde für Praktiker*, Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, 124.
- [2] [http://meer.sms-group.com/fileadmin/user\\_upload/pdf/publicatio](http://meer.sms-group.com/fileadmin/user_upload/pdf/publicatio)

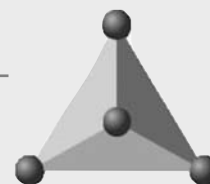
- [n/langprodukte/blankstahl/5\\_SMS\\_Meer\\_Blankstahl-Schaelen\\_en.pdf](http://www.meer.com/n/langprodukte/blankstahl/5_SMS_Meer_Blankstahl-Schaelen_en.pdf)
- [3] *Aaron D. Krawitz: Introduction to Diffraction in Materials Science and Engineering*, Columbia, 2001. 278–300.
- [4] *Aaron D. Krawitz: Introduction to Diffraction in Materials Science and Engineering*, Columbia, 2001. 300–312.
- [5] XStress 3000 G3/G3R system, Operating instructions and instrument documents, 2012
- [6] *Dr. Bárczy Pál, Dr. Fuchs Erik: Metallográfia I.*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1981
- [7] *Sólyom Jenő: Maradó feszültség*

mérése röntgendiffrakciós módszerrel gépkatrészekben, Tanulmány, Miskolc, 2007

- [8] *P. J. Withers, H. Bhadeshia: Residual Stress Part1 – Measurement techniques*, Mat Sci and Technology, 2001 Vol17 355–365.
- [9] *Majtényi József: I. Kutatószemináriumi dolgozat*, Miskolci Egyetem, Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 2014
- [10] *Valery Rudnev, Don Loveless, Raymond L. Cook, Micah Black: Handbook of Induction Heating*, CRC Press, 2002 303.

## XI. ORSZÁGOS ANYAGTUDOMÁNYI KONFERENCIA

2017. október 15–17. • Balatonkenese



Az Országos Anyagtudományi Konferencia-sorozat 2017-ben immár tizenegyedik alkalommal hívja integráló szakmai rendezvényre az anyagtudomány területén alkotó szakemberek széles körét, beleértve az anyagmérnököket, fizikusokat, kémikusokat, informatikusokat és a környezettudósokat is.

Az Országos Anyagtudományi Konferenciasorozat megrendezésének alapvető célja, hogy a fémekkel és ötvözetekkel, félvezetőkkel, kerámiákkal és szilikátokkal, polimerekkel és kompozitokkal foglalkozó szakemberek és kutatócsoportok lehetőséget kapjanak integráló kapcsolatok létesítésére, kutatás-fejlesztési eredményeik közreadására és cseréjére.

A konferencia szervezői mindig fokozott figyelmet fordítottak a pályakezdő fiatalok szakmai karrierjének támogatására. A konferencia kiadványaiban megjelenő publikációk jelentős mértékben hozzájárulnak a PhD-hallgatók publikációs követelményeinek teljesítéséhez. Az ez évi konferenciát a szervezőbizottság e szellemiségnek megfelelően a „Fiatal kutatók konferenciája”-ként deklarálta. A programban kiemelt helyen szerepel a fiatal tehetségek – elsősorban – hazai perspektíváinak megvitatása.

Augusztus végéig lehet az anyagtudomány, az anyagvizsgálat és az anyaginformatika legfrissebb eredményeiről, fontosabb irányairól és az eredmények felhasználásáról szóló poszterelőadásokkal jelentkezni.

A konferenciára regisztrálni a [www.oatk.hu](http://www.oatk.hu) weboldalon keresztül lehet, mely további részletes információkkal szolgál a részvételről, a programról és a szervezők elérhetőségeiről.

### SZERVEZŐ IRODA

Diamond Congress Kft., OATK11  
1015 Budapest, Csalogány u. 28.  
Tel.: +36 1 214 7701, Fax: +36 1 201 2680  
E-mail: [diamond@diamond-congress.hu](mailto:diamond@diamond-congress.hu)  
<http://www.diamond-congress.hu>

### KONFERENCIA TITKÁRSÁG

Kónya Ildikó, OATK11  
2400 Dunaújváros, Liszt Ferenc kert 8. 4/1.  
Tel.: +36 30 504 5818  
E-mail: [oatk@oatk.hu](mailto:oatk@oatk.hu)  
<http://www.oatk.hu>