

*Gépi Dátum*

ISSN 2063-6784

# ANYAGMÉRNÖKI TUDOMÁNYOK

A Miskolci Egyetem közleménye

38. kötet, 1. füzet (2013)



Miskolci Egyetemi Kiadó  
2013

## MARADÓ FESZÜLTSEG VIZSGÁLATOK OVÁLIS CSAPÁGY GYŰRŰKÖN X-RAY ANALYSIS OF OVAL BEARINGS

CSEH DÁVID<sup>1</sup>–MERTINGER VALÉRIA<sup>2</sup>

Cikkünkben arra keressük a választ, hogy mi okozhatja az általunk vizsgált selejtes (nem megengedhető mértékben oválissá deformálódott) csapágy gyűrűk tönkremenetelét. Esetünkben ez azt jelenti, hogy megvizsgáltuk, megfigyelhető-e valamilyen szisztematikus kapcsolat meghibásodott alkatrészek deformációja és a maradó feszültség állapot között. Munkánknak ebben a szakaszában megvizsgáltunk öt közel összeszerelésre kész alkatrész maradó feszültség állapotát, és a gyártóval szoros együttműködésben elkezdtünk végig kísérni egy csapágy gyűrűben a gyártás különböző fázisaiban kialakuló feszültség állapotot.

**Kulcsszavak:** maradó feszültség, röntgendiffrakció, deformáció

This paper reports about the examination of failed bearing rings due to oval deformation out of tolerance. Our aim was to find out whether a correlation exists between the deformation of the damaged rings and the residual stress states within their surface region or not. Residual stresses in five bearing rings nearly ready to be assembled were measured and a systematic measurement on the residual stress states in the different production stages of the bearing rings was started in a close cooperation with the manufacturer.

**Keywords:** residual stress, X-ray diffraction, deformation

### Bevezetés

Maradó feszültségnek nevezzük a szilárd test belsejében ható feszültségeket, melynek hatására a terhelés megszűnése után rugalmas deformáció marad. Ezek a feszültségek a szilárd testen belül egyensúlyban vannak mindaddig, amíg a testet külső hatás nem éri. Ha a testtel hőt közlünk, a maradó feszültségek relaxálnak, vagy ha megbontjuk a vizsgált test folytonosságát (pl.: furatot alakítunk ki rajta), a maradó feszültségek egyensúlya felbomlik, és ez a darab deformációját okozhatja. Minden szilárd anyag hordoz maradó feszültséget; ez a szilárd halmazállapot egy sajátos jellemzője.

Ahhoz, hogy funkciójukat kifogástalanul ellátni képes csapágyakat gyárthassunk, szükséges azok alkatrészeinek minél nagyobb méretpontosságú gyártása. A csapágy gyűrűkkel szemben támasztott követelményeink között kiemelkedő fontosságú, hogy a kész darabok és azoknak tervezett geometriája lehetőleg minél kisebb mértékben, csak egy adott szűk határig térhetnek el. A gördülő pályát szükséges lokálisan egyenletessé, globálisan pedig minél inkább körszimmetrikusabbá alakítani.

<sup>1</sup> Miskolci Egyetem, Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet  
3515, Miskolc-Egyetemváros  
cseh88david@gmail.com

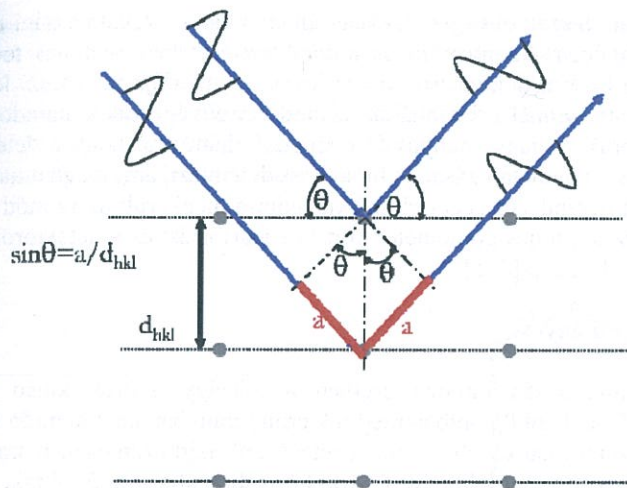
<sup>2</sup> Miskolci Egyetem, Fémtechnológiai, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet  
3515, Miskolc-Egyetemváros

Cikkünkben arra keressük a választ, hogy felfedezhető-e valamilyen kapcsolat az általunk vizsgált selejtes csapágy gyűrűk deformációja és maradó feszültség állapota között. A csapágy gyűrűk igen nagy pontossággal kerülnek kialakításra. A darabok deformációját feltehetőleg a forgácsolással megbontott, korábban egyensúlyban lévő maradó feszültség állapot relaxációja okozza. Munkánk során megvizsgáltuk öt darab, közel készre munkált ovális gyűrű maradó feszültség állapotát. Ezen túl elkezdtük egy termék maradó feszültség állapotának technológiai élete során történő követését, ami segíthet meghatározni, melyik technológiai lépés idézi elő a nem kívánt feszültség állapotot.

A maradó feszültség vizsgálatához a Stresstech GmbH által gyártott, XTronic szoftverrel működő, XSTRESS 3000 G3R típusú diffraktométert használtuk, mely a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében működő Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló Laboratórium – LISA berendezéseként működik. A LISA labor az országos NEKIFUT regiszterben elnyerte a Stratégiai Kutatási Infrastruktúra (SKI) besorolást [6].

## 1. A röntgendiffrakció és a maradó feszültség

A maradó feszültség a fémes anyagban a fémrács rácspontjaiban elhelyezkedő atomtörzsek egyensúlyi helyzetből való kitérését eredményezi. Kristálytani megközelítésben ez azt jelenti, hogy változik a darab rácsparamétere [2, 3]. A maradó feszültség mérésére nincs szabványosított, széles körben elterjedt vizsgálati eljárás. Az anyag számos fizikai tulajdonságát jellemzően befolyásolja a maradó feszültség [1, 4]. A maradó feszültséggel terhelt anyagnak a feszültségre jellemzően változik pl.: a mágneses domén szerkezete, hőmérsékleti sugárzása vagy a benne haladó ultrahang terjedési sebessége. A maradó feszültség mérésére pillanatnyilag a diffrakciós módszerek szolgálnak a legjobb eredményekkel. Ezen eljárások a legpontosabbak a kvantitatív maradó feszültség mérésére alkalmas technikák között. A röntgendiffrakciós vizsgálati technikákra a röntgensugár hullám természete ad lehetőséget [1, 2]. Mind az elektromágneses, mind a mechanikai hullámokra igaz az, hogy ha hullámhosszukkal összemérhető rácsállandójú rácson szóródnak, a visszaverődő hullámok egymáshoz képest fáziseltolódást szenvednek. Ha a szóródó hullám eredetileg monokromatikus volt, akkor a szórt hullámok fáziskülönbsége állandó, ekkor koherens hullámokról beszélünk. Ezekre a hullámokra igaz, hogy a fáziseltolódásokból eredően a visszaverődő hullámok találkozásukkor a hullámok szuperpozíciójának törvényszerűségei alapján fáziseltolódásaik szerint erősíthetik és gyengíthetik egymás hatását. A hullámok összeadását interferenciának nevezzük. Az azonos fázisban találkozó szóródott hullámok egymás hatását maximálisan erősítik, az egymással ellentétes fázisban találkozó szóródott hullámok kioltják egymást. A szóródott hullámokat tartalmazó hullámtérben így vannak helyek, ahol a hullámok megszűnni látszanak, illetve ahol felerősödnek. A koherens szórt hullámokat tartalmazó hullámtérre igaz, hogy az interferencia jellegzetes térbeli amplitúdó-eloszlást, ún. interferencia-képet hoz létre. Ezek az interferencia-képek a szóródó hullám hullámhosszától és a rács rácsállandójától függenek, így alkalmasak arra, hogy ismert hullámhossz esetén jellemezzék a rácsot. Maga a diffrakció a hullámoknak az útjukba kerülő akadályok miatt bekövetkező szóródását, elhajlását, azaz eltérését jelenti. Ebből eredően az interferencia-képnek egy másik elnevezése a diffrakciós kép.



1. ábra. A röntgendiffrakció elvi alapja

Adott rács röntgensugárral történő megvilágítása esetén a röntgensugár behatolva a rácsba nem csak a felület síkjából verődik vissza (1. ábra). Ilyen esetben a visszaverődő, találkozó hullámok abban az esetben erősítik egymást teljes mértékben, hogyha útkülönbségük azonos a hullámhosszuk egész számú többszörösével. Adott hullámhosszú, adott Miller-indexű rács síksorozatról visszaverődő hullámok teljes erősítésének feltételét a Bragg-egyenlet írja le (1).

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta \quad (1)$$

Mely egyenletben  $n$ : egész szám,  $\lambda$  a röntgen sugárzás hullámhossza,  $d_{hkl}$  adott  $hkl$  Miller indexű síkok rácssíktávolsága,  $\theta$  a diffrakció szöge. A diffrakciós mérések során a  $d$  távolságot keressük úgy, hogy ismert  $\lambda$  hullámhosszúságú röntgenhullámmal besugározva a vizsgálandó térfogatot mérjük azt a  $\theta$  szöget, amelynél a szórt sugárzásnak intenzitás maximuma van. Az adott térfogati reflexióról alkotott diffrakciós kép a különböző szögekben mért visszaverődő sugár intenzitásának a mérése. Az adott szögeknél mérhető diffrakciós csúcsokból visszazámolható a diffrakciót okozó síksorozat rácssíktávolsága. Adott „ $a$ ” rácsparaméterű kockarács tetszőleges ( $hkl$ ) Miller-indexű rácssíkainak távolsága a következő összefüggésből számolható (2).

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (2)$$

Mivel az anyagban a rugalmas maradó rácsfeszültség hatására a rácssíkok távolsága megváltozik, a rácssíktávolságok megváltozásának mérésével visszazámolható a feszültség. Tehát maradó feszültség mérésekor az adott  $d_{hkl}$  rácssíktávolság változása okozta Bragg-szög eltolódását mérjük.

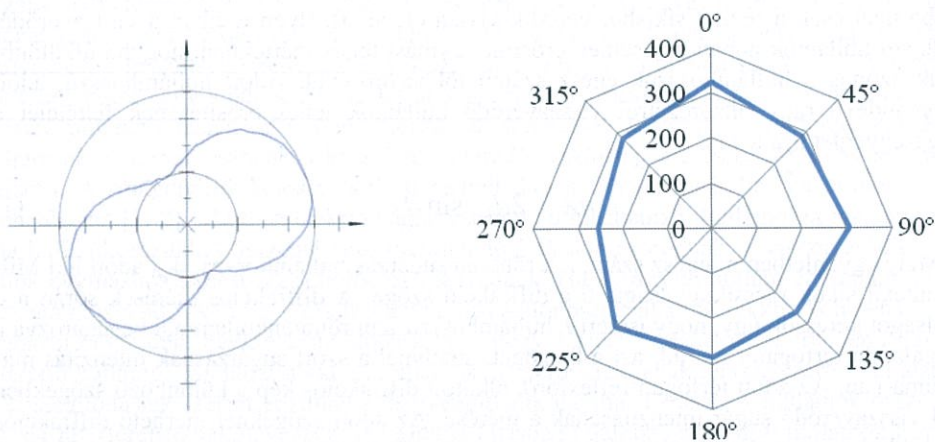
Az öt megmunkált gyűrűben jelenlévő maradó feszültség állapotának meghatározásához az úgynevezett  $\sin^2 \Psi$  módszert használjuk, mellyel tetszőleges irányban ébredő feszültség

meghatározható a vizsgált anyag szilárdsági állandóinak ( $E$  rugalmassági modulus,  $\nu$  Poisson-szám) ismeretében. Azonban annak a darabnak esetében, melynek technológiai életét szeretnénk végig kísérni, a kovácsolt nyers darab geometriája nem teszi lehetővé a  $\sin^2 \Psi$  módszer használatát. Ennél a darabnál az  $\Omega$  módszerrel végeztük a maradó feszültség meghatározást (7. ábra). A hagyományos  $\Omega$  elrendezés hátránya, hogy a detektor nincs a fókuszkörön, ami a  $\theta$  meghatározásának hibáját eredményezi, ami meghamisítja a mérést. Az általunk használt berendezés „centerless” kialakítása megkerüli az  $\Omega$  mód e hátrányát, mivel ez a berendezés a teljes goniométer kört (a sugárforrást és a detektorokat) együtt mozgatja a fókusz távolságban [2, 5].

## 2. Vizsgálati eredmények

A vizsgálataink során minden esetben a csapágy gyűrűk külső palástjának középvonalában,  $45^\circ$ -onként 8 pontban mértünk érintő irányban ható maradó feszültséget.

Az 1–4 es számozású darabon volt lehetőségünk párhuzamosan maradó feszültség és ovalítás mérésre is. Ezek eredményeit páronként ábrázolja a 2–5. ábrák. Az összetartozó ábrák olvasási iránya és kezdőpontja megegyezik. A baloldali ábrákon sugár irányban az osztás  $50 \mu\text{m}$ -t jelent, a jobb oldali ábrákon sugár irányban a MPa-ban értendő maradó feszültség értékek találhatók.



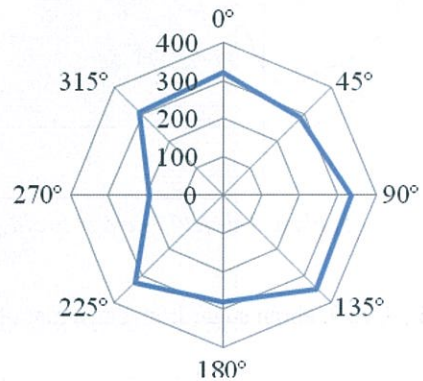
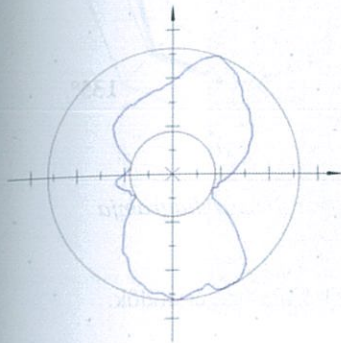
2. ábra. 1-es jelű csapágy ovalitási és maradó feszültség rózsza diagramja

A 6. ábrán látható az 5-ös jelű próbatest külső palástján tangenciális irányban ható maradó feszültségének értéke ép és felhasított állapotban. A gyűrűt  $155^\circ$  kerületi szögben vágtuk el. A diagramon látható, hogy a külső paláston mérhető maradó húzófeszültség növekszik a darab felhasítása után, amit a darab belsejében ható – feltehetőleg nyomó – feszültségek relaxációja okoz.

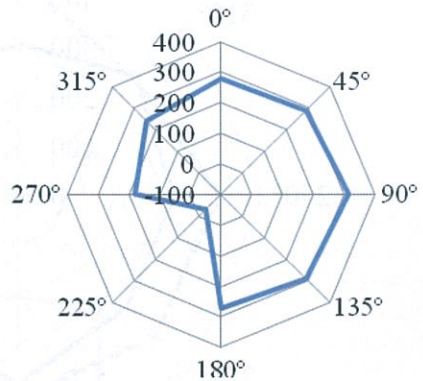
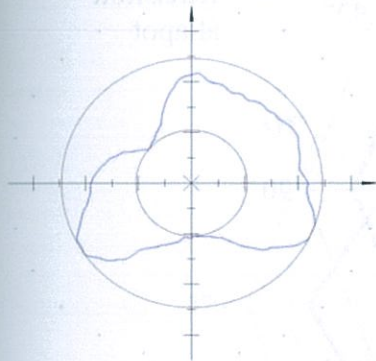
A 8, ill. 9 ábrákon láthatóak annak a kísérletsorozatnak az első eredményei, melyben egy csapágy gyűrűt kívánunk a gyártástechnológiája különböző lépéseiben maradó feszültség állapota szempontjából figyelemmel kísérni. A gyártásnak ebben a szakaszában a csap-

us, v Poisson-  
egiai életét  
é a  $\sin^2 \Psi$   
feszítés meg-  
incs a fő-  
nért. Az  
ányát, mi-  
yűtt moz-

ának kö-  
séget.  
zúltság és  
szetartozó  
ányban az  
ő maradó



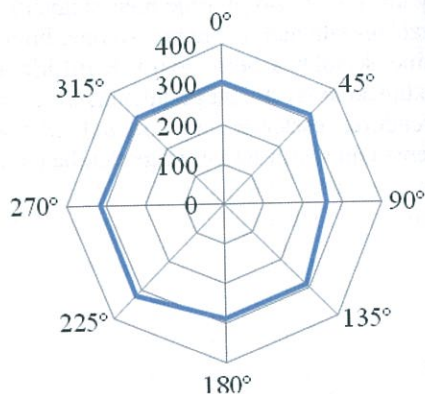
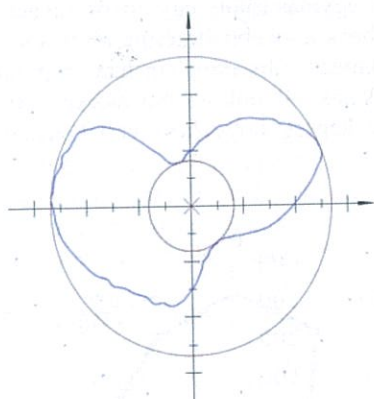
3. ábra. 2-es jelű csapággy ovalitási és maradó feszültség rőzsa diagramja



4. ábra. 3-as jelű csapággy ovalitási és maradó feszültség rőzsa diagramja

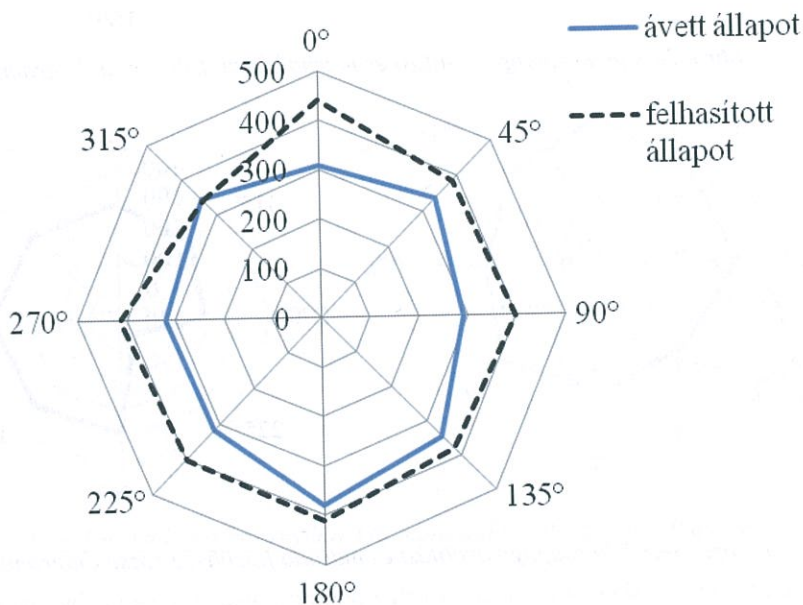
ható ma-  
szőgben  
eszúltság  
nyomó -

melyben  
ő feszült-  
n a csap-

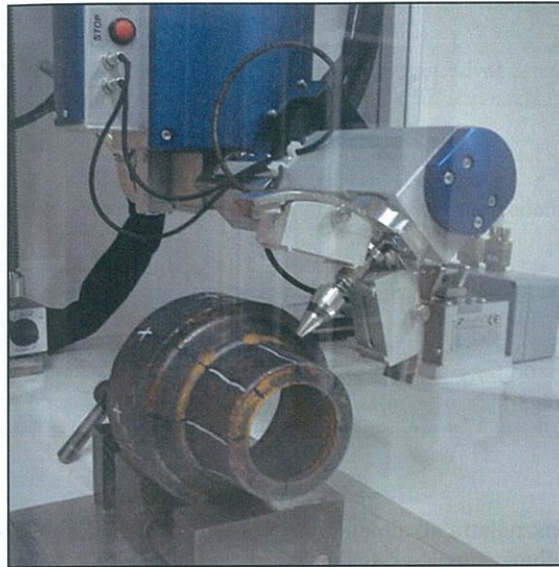


5. ábra. 4-es jelű csapágy ovalitási és maradó feszültség rózsza diagramja

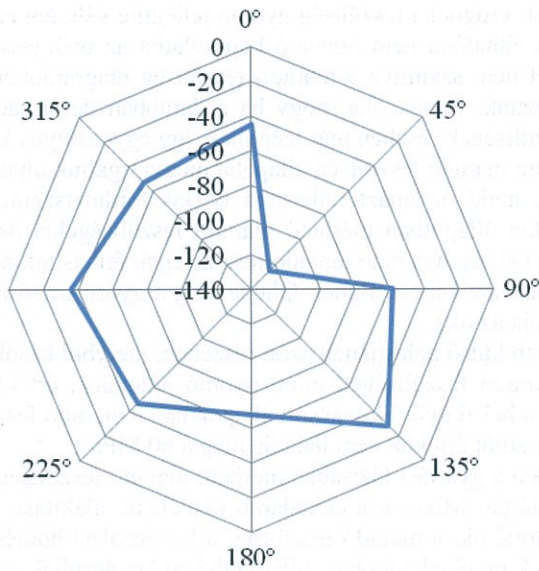
A 6., 8. és 9. ábrán sugár irányban a maradó feszültség értékek MPa-ban értendők.



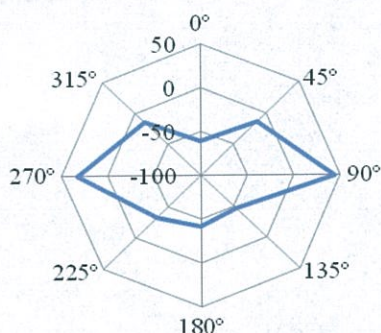
6. ábra. 5-ös jelű csapágy gyűrű külső oldalán tangenciális irányban ható maradó feszültség értéke diszkrét kerületi szögeknél átvett és felhasított állapotban



7. ábra. A csapágy külső és belső gyűrűjének közös kovácsolt előgyártmánya,  $\Omega$  módban dolgozó berendezés alatt



8. ábra. A kovácsolt állapotú külső gyűrűrészt külső palástjában ható maradó feszültségek



9. ábra. A kovácsolt állapotú belső gyűrűrész külső palástjában ható maradó feszültségek

### Összefoglalás

Munkánk során használatra alkalmatlan mértékben ovalissá deformálódott csapágy gyűrűket vizsgáltunk. Célunk annak vizsgálata, hogy felfedezhető-e valamilyen kapcsolat az ovalítás és a gyűrűk külső palástjának középvonalában tangenciális irányban ható maradó feszültség állapota között.

Ehhez négy db. gyűrűn párhuzamosan ovalítás és maradó feszültség vizsgálatokat végeztünk. Az 1–2–4 számú gyűrűkben a kerület mentén ható maradó feszültségek 200–300 MPa körül alakulnak. A 3. számú darabban is hasonló nagyságú feszültségek munkálkodtak, ám 225° kerületi szögnél a feszültség nyomó jellegűre vált, ám ez a darabhoz tartozó, a rózsza diagramokon láthatóan nem hozható kapcsolatba az ovalítással. A 3. darab kiugró maradó feszültségét nem számítva a maradó feszültség diagramokon jelentős egyenetlenséggel nem találkozunk. Ennek oka, hogy ha a darabban deformáció jelentkezik, az azt kiváltó maradó feszültségek részben már leépültek, így egyensúlyba kerülnek.

Az 5 számú darab maradó feszültség állapotát megvizsgáltuk olyan formában, ahogy azt a gyártótól kaptuk, majd ugyanazt felhasítva is (kis fordulatszámú, vízhűtéses gyémánt vágótárcsával). A két állapotban mérhető maradó feszültségeket összehasonlítva látható, hogy a gyűrű külső palástjában ható maradó feszültségek felhasított állapotban növekményt mutatnak az ép gyűrűhöz képest. Ennek feltehetőleg a gyűrű belső oldalán ható nyomófeszültségek relaxációja az oka.

A kovácsolt darab külső palástjának azon részében, melyből később a külső gyűrű kerül kimunkálásra, a maradó feszültségek mind nyomó jellegűek, értékük  $-30$  MPa-tól  $-130$  MPa-ig terjed, míg a belső gyűrű kovácsolt állapotában a maradó feszültségek ugyan változó előjelűek, ám abszolút értékük nem haladja meg a  $60$  MPa-t.

A darabnak ebben a gyártási fázisában mérhető maradó feszültség állapotának forrása a kovácsolási technológia. Mivel a munkadarab képlékeny alakítása az újrakristályosodási hőmérséklet felett történik, a maradó feszültség a kovácsolási hőmérsékletre való lehűlés közben keletkezik. A munkadarabokat süllyesztékben kovácsolják, sorjazzák, végül a még izzó darabokat kosarakba gyűjtik, így a darabok együtt, nagy tömegben, ebből következően lassan hűlnek, ami ezt az alacsony feszültségű, ill. közel feszültségmentes állapotot eredményezi.

## Köszönetnyilvánítás

Jelen cikk a TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010 projektek támogatásával készült. A szerzők köszönetet mondanak Szabó-Gyurján Valériának a gyűrűk és az ovalítás adatok rendelkezésre bocsátásáért.

## Irodalom

- [1] *Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel*. ASM International 2008, USA pp. 347–358.
- [2] Bárczy-Fuchs Erik: *Metallográfia I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1981. pp. 119–126.
- [3] Sólyom Jenő: *Maradó feszültség mérése röntgendiffrakciós módszerrel gépkatrészekben.* Tanulmány, Miskolc, 2007, kézirat
- [4] P.J. Withers–H. Bhadeshia: *Residual Stress Part 1 – Measurement techniques*, Mat Sci and Technology, April 2001 Vol. 17, pp. 355–365.
- [5] Aaron D. Krawitz: *Introduction to Diffraction*. Material Science and Engineering pp. 298–303.
- [6] <https://regiszter.nekifut.hu/ki/szerkezetvizsgalo-laboratorium>