

anyagánál (3. ábra) összhangban van a nagyobb (+25%) élettartammal.

Szélsőérték-statisztika

Szélsőérték-elemzés segítségével megbecsültük a zárványok valószínű maximális méretét. Ehhez igen sok csiszolatra lenne szükség, ami időigényes. Ennek elkerülése céljából virtuális 3D próbatesteket képeztünk a különböző módszerekkel meghatározott zárványsűrűségekre alapozva. Az ASTM E2283 alapján a metiS szoftver segítségével 24 darab, 150 mm² méretű virtuális területet vizsgáltunk meg; a vizsgálatokat 100-szor ismételtük. 100 000 mm² területen a hagyományosan gyártott acélnál $35 \pm 4 \mu\text{m}$, az átolvasztott acélnál pedig $21 \pm 4 \mu\text{m}$ volt az extrapolált legnagyobb zárvány méret. Ezek a becült értékek hasonlítanak a 80 MHz ultrahangos módszerrel meghatározott maximális értékekhez ($50 \mu\text{m}$ a hagyományosan gyártott, és $35 \mu\text{m}$ az átolvasztott acélra) és a fázisvizsgálatokkal meghatározott jellemző adatokhoz (max. $20 \mu\text{m}$ elkülönült zárványok esetében).

Következtetések

Két gyártási technológiával – hagyományosan gyártott, ill. átolvasztott – acélon végeztünk zárványossági vizsgálatokat különböző módszerekkel. Mindegyik módszernek megvolt a zárvány méret-tartománya és a tisztaság mértékétől függően az a terület/térfogat, amelyet vizsgálni kell a megbízható eredmény érdekében. Modellezés segítségével rekonstruáltuk a háromdimenziós zárvány méret-eloszlást. A modellezés segítségével meg lehetett becsülni az egyes módszerek rugalmasságát. Virtuális szélsőérték-analízissel lehetőség volt az anyagban előforduló legnagyobb zárvány méret meghatározására. A kifaradási határ javulása (25%) az átolvasztás hatására összhangban volt a tisztaság javulásával. A fázisvizsgálatok további információkat nyújtott az alkalmazott módszerekről, különös tekintettel a kisméretű zárvány csoportok hatására a kifaradásra. Megállapítottuk, hogy valamilyen módszer alkalmas volt az adagok tisztaságának a vizsgálatára. A hagyományos módszerekkel különbséget

lehetett tenni a kétfajta gyártási technológia között, de a termék minősítésére leginkább a fázisvizsgálatok alkalmasak.

Köszönetnyilvánítás

Ez a kutatás része az ELABORATION projektnek, amelyet az Institut de Recherche Technologique Matériaux et Procédés (Anyagtechnológiák és eljárások Kutató Intézete, IRT NP) koordinál az Agence Nationale de la Recherche (Nemzeti Kutatási Ügynökség, ANR) támogat. A szerzők köszönetüket fejezik ki az ipari partnereknek (Ascometal, Aubert&Duval, Safran) a próbaanyagokért és a metallográfiai vizsgálatokért, továbbá a Datanet egyesületnek a metiS szoftver használatához nyújtott segítségükért.

Irodalom

- [1] Hénault, E. (2010). Comparison of Inclusion Assessment Rating Standards in Terms of Results and Reliability by Numerical Simulation. Journal of ASTM International, 7(3), 1–11.

MUCSI ANDRÁS – VALKAI MÁTÉ

Hőkezelési és alakváltozási paraméterek összefüggései 42CrMo4 acélminőségénél

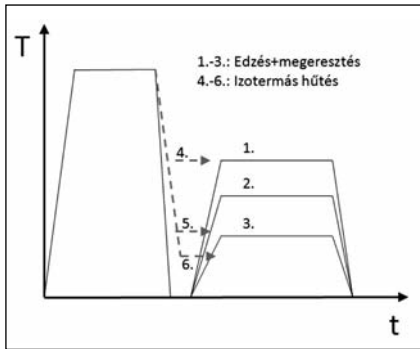
A vizsgált 42CrMo4 acélminőséget előszeretettel és gyakran alkalmazák különféle fáradásnak, kopásnak kitett gépelemek alapanyagként. Azon túl, hogy a tárgyalt alapanyag edzhető, átédzhető valamint nitridálható is, további kedvező tulajdonságai vannak, például megeresztési ridegedésre nem hajlamos. A szakirodalom szerint azonos kémiai összetétel és egyes mechanikai jellemzők mellett is különbözhetnek az alakváltozási jellemzők [1]. A következő néhány fejezetben bemutatjuk azt, hogy a különböző módszerrel hasonló keménységre hőkezelt minták milyen mechanikai tulajdonságokat mutatnak.

Dr. Mucsi András szakmai életrajzát 2018/1. számunkban közzétettük.

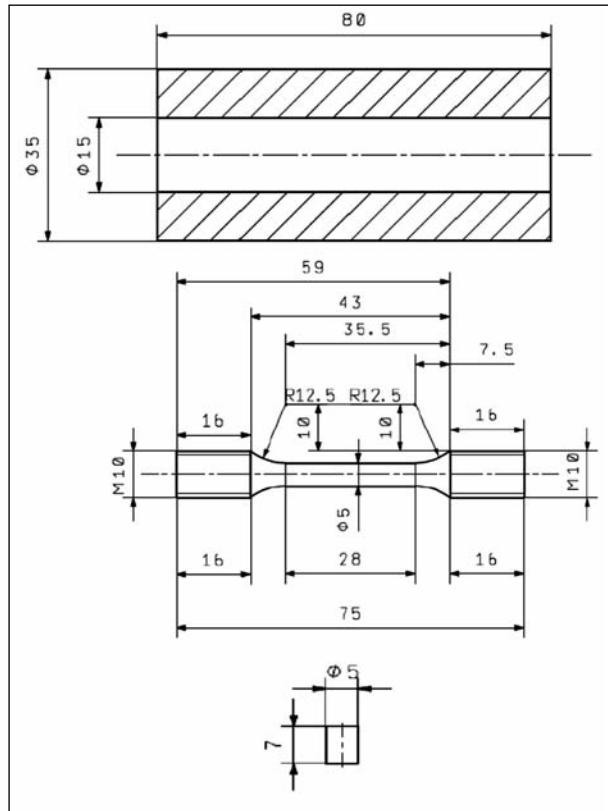
Valkai Máté az Óbudai Egyetemen végzős gépészmérnök, CAD-CAM szakirányos hallgató. Jelenleg egy precíziós megmunkálással foglalkozó cégnél dolgozik. Kutatási témája az acélok hőkezelési állapotának és mechanikai tulajdonságainak kapcsolata.

Kísérleti módszerek

A kísérleti anyagul szolgáló 40 mm átmérőjű rúdból 35 mm külső átmérőjű, 15 mm belső átmérőjű, 150 mm hosszú csövek készültek. A csőalak elősegítette a keresztmetszet homogénre való hőkezelését. Összesen hat próbatestet munkáltunk ki, melyekből 3-3 darabon két típusú hőkezelést végeztünk el. Az egyik hőkezelési mód az ausztenítés utáni edzés és megeresztés, míg a másik az ausztenítés utáni különböző hőmérsékletű izotermás hűtés volt (1. ábra). A hőkezelések eredmé-



■ 1. ábra. A hőkezelések elvi idő-hőmérséklet diagramjai



■ 2. ábra. A próbatestek előgyártmánya, illetve a szakító- és zömítő próbatestek geometriai méretei [3]

nyei az 1. táblázatban láthatók.

A cső alakú próbatestek csőfal menti keménységeloszlása kb. 10 HV intervallumban egyenletes volt [2]. A hőkezelés hatására az 1.–3. darabok szövetszerkezete különböző mértékben megeresztett martenzit (illetve a szferoidizáció különböző fázisaiként képződött szferoidites szövet). A 4.–6. darabok az izotermás hűtés hatására ferrit-perlites (4. darab), bénites

1. táblázat. A kétféle módszerrel hőkezelt próbatestek paraméterei

Hőkezelés jellege	Munkadarab jelzése	Megeresztés/izotermás hűtés hőmérséklete [°C]	Keménység [HRC]
Auszténítés 860 °C-on 25 percig + edzés olajban + megeresztés	1.	600	31–34
	2.	500	35–39
	3.	380	44–46
Auszténítés 860 °C-on 25 percig + izotermás sófürdős edzés	4.	600	24–26
	5.	380–400	32–34
	6.	200	40–46

(5. darab) és kevert bénit-martenzites (6. darab) szövetszerkezetet mutattak.

A próbatest egyik felén, a hossztengetely mentén forgácsolási kísérleteket végeztünk [2], míg másik feléből az alakíthatósági tesztek próbatestjeit munkáltunk ki. A csőfalból hengeres szakító próbatesteket, illetve hengeres zömítő próbatesteket készítettünk. A próbatestek vázlatja a 2. ábrán látható.

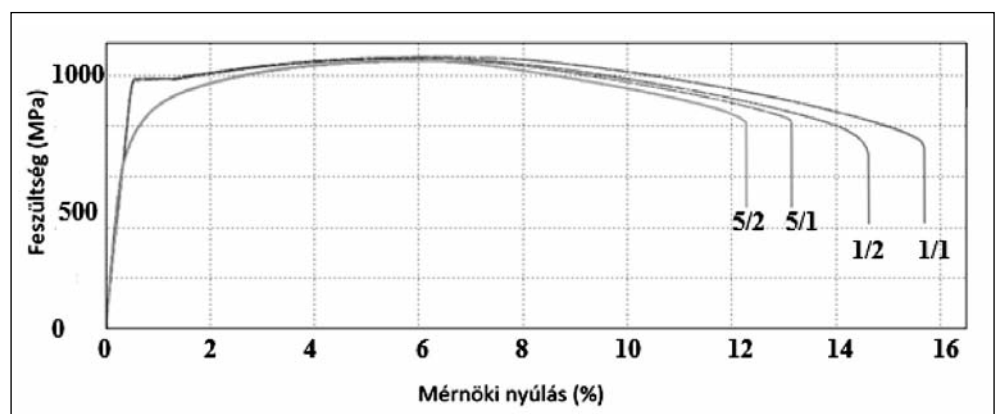
Eredmények

Az eredetileg 150 mm hosszú próbatestek hossza mentén az első 75 mm-en forgácsolási kísérleteket végeztek. A kísérletek eredményeként kiderült, hogy a szövetszerkezet a keménység–forgácsolóerő, keménység–fajlagos

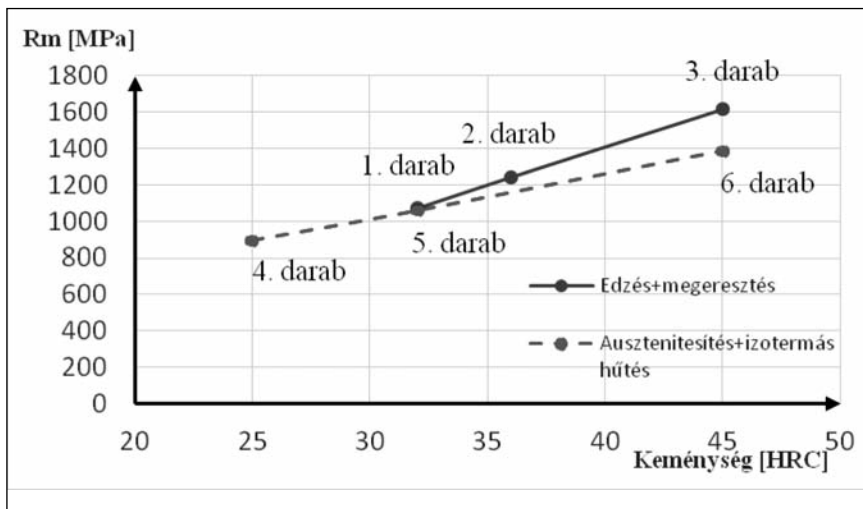
forgácsolóerő összefüggést lényegesen nem befolyásolja [2]. Annál inkább érdekes, hogy a kétféle módszerrel hőkezelt próbatestek alakváltozás során különbözőképpen viselkednek. A 3. ábrán az 1. és 5., nagyon hasonló keménységre hőkezelt próbatest szakítódiagramja látható. Minden hőkezelt előgyártmányból két próbatest kimunkálása és vizsgálata történt meg.

A diagramon jól látható, hogy a közel egyenlő keménységű 1. és 5. próbatest szakítószilárdsága nagyon közeli értéket ad. Ugyanakkor a rugalmas-képlékeny átmenet az edzett+megeresztett daraboknál folyási jelleggel, míg az auszténített és izotermásan hűtött próbatesteknél folyamatos jelleggel történik. A szakadási nyúlásban is jelentkeznek a különbségek. Az izotermásan hőkezelt daraboknál ugyanazon szakítószilárdság és keménység mellett érzékelhetően kisebb szakadási nyúlást mértünk.

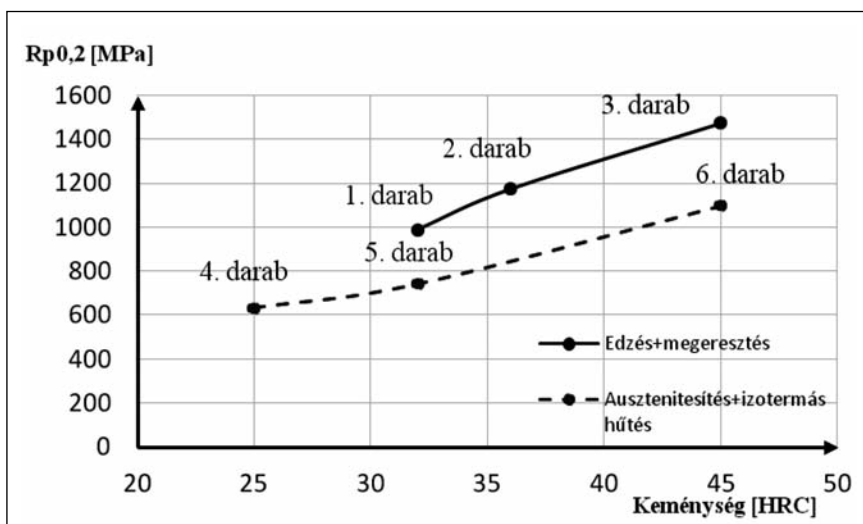
Érdekes diagramot kapunk, ha a keménység függvényében ábrázoljuk az egyes szakítóvizsgálatból megállapítható mérőszámokat a többi próbatestet is figyelembe véve (4. ábra). Látható, hogy az edzett+megeresztett darabok szakítószilárdsága kissé



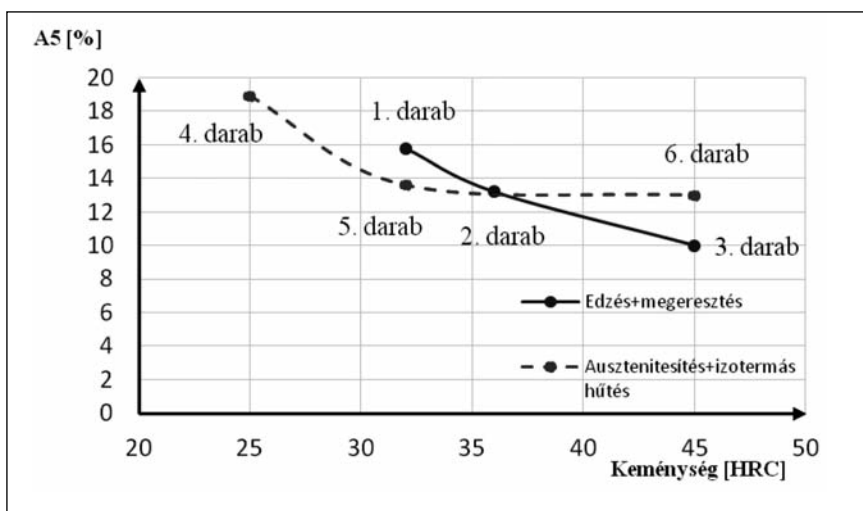
■ 3. ábra. A mérési hibán belül azonos keménységre hőkezelt 1. és 5. próbatest szakítódiagramjai [3]



■ 4. ábra. A keménység és a szakítószilárdság kapcsolata a különböző módon hőkezelt próbatesteknél [3]



■ 5. ábra. A folyáshatár és a keménység kapcsolata az edzett+megeresztett valamint az izotermásan hűtött daraboknál [3]



■ 6. ábra. A szakadási nyúlás változása a keménység és a hőkezelési mód függvényében [3]

intenzívebben nő a keménység függvényében, mint az izotermásan hűtötték.

A folyáshatár a már említett folyási jelenség különbsége miatt ugyanazon keménységnél az edzett+megeresztett daraboknál lényegesen nagyobb, mint az izotermásan hűtöttéknél (5. ábra). A folyáshatár különbözősége magában hordozza azt is, hogy valószínűleg a kifáradási határ és a törés folyamatot jellemző paraméterek (törési szívósság, J-integrál) is különbözőek.

A 6. ábrán az látszik, hogy a keménység növelésével az edzett+megeresztett darabok szakadási nyúlása intenzívebben csökken, mint az izotermásan hűtötték. A mérési eredményekre illesztett függvények alapján a metszéspont kb. 36 HRC-nél jelentkezik. Ezen keménység felett a megeresztett darabokban jelen lévő martenzittú „maradékok” nagyobb bemetszési hatással bírnak, mint az izotermásan hűtött bénit-martenzit (+maradék ausztenit) szövetű darabok.

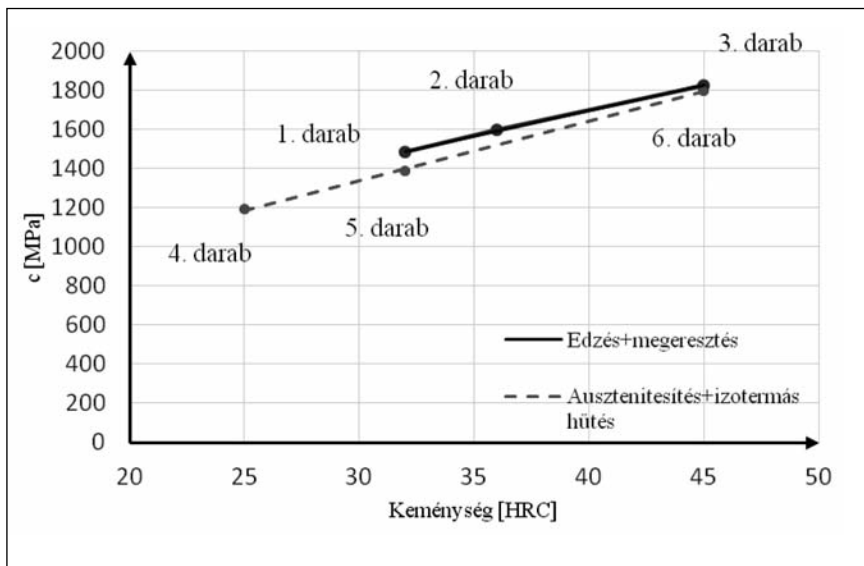
Megvizsgáltuk a zömítés közben tanúsított viselkedést is. A zömítések elvégzésekor a próbatesteket teflon-szalagon „megúsztatva” alakítottuk a súrlódás csökkentésének érdekében. A zömítő diagramok felvétele után a Hollomon-féle kétparaméteres folyásgörbe egyenletet illesztettük fel [4]:

$$k_f = c \cdot \phi^n \quad (1)$$

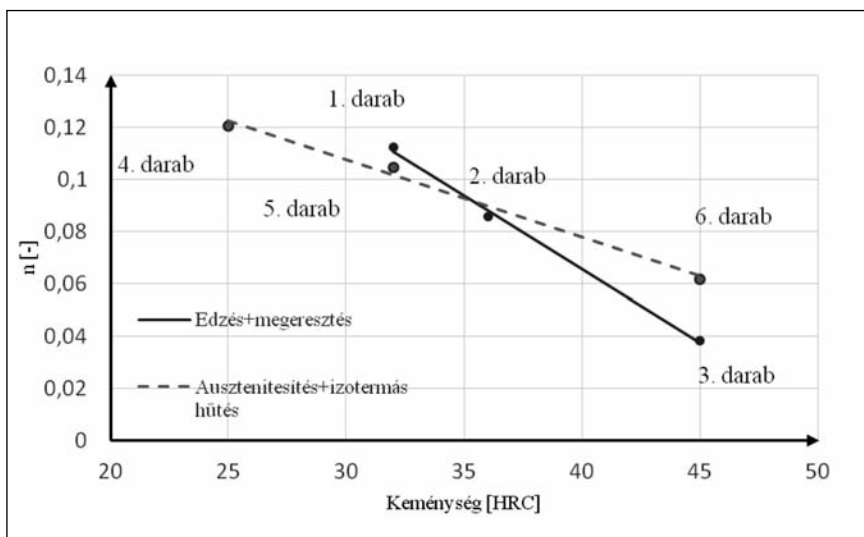
ahol k_f az alakítási szilárdság, c a keményedési együttható, ϕ a logaritmus alakváltozás, n a keményedési kitevő. Az illesztés során meghatározott c és n paraméterek hőkezelési mód és keménység függvényében a 7. ábrán látható diagramot adják.

A diagramon látható, hogy a zömítővizsgálat alapján meghatározott keményedési együttható és a hőkezelés módja között szignifikáns összefüggés nincs, a c értékét a hőkezelt darabok keménysége határozza meg. Annál inkább látszik a különbség az n kitevők alakulásában (8. ábra).

A keménység függvényében mindkét hőkezelési módnál csökken az n kitevő értéke, mely érthető, hiszen az n kitevő a keményedés intenzitásával és az alakváltozó-képességgel van



■ 7. ábra. A keményedési együttható változása a keménység függvényében a kétféle hőkezelésen átesett zömítő-próbatesteknél [3].



■ 8. ábra. A keményedési kitevő változása a keménység függvényében a kétféle hőkezelésen átesett zömítő-próbatesteknél [3]

összefüggésben. Megfigyelhető, hogy az edzett+megeresztett darabok folyásgörbéjének n kitevője intenzívebben csökken a keménység növelésével. A két illesztett függvény metszéspontja ugyancsak 36 HRC körül van, hasonlóan a keménység–szakadási nyúlás diagramhoz. Érdekes tehát,

hogy a szakítóvizsgálatból megállapított szakadási nyúlással egyazon keménységnél metszik a kétféle hőkezeléssel hőkezelt próbatestek görbéi egymást, mint a zömítővizsgálatból megállapított n kitevő görbéi. Ez az egybeesés valószínűleg az alakváltozási jellemzők kap-

csolata, valamint az alakváltozási mechanizmusok keménységgel való változásának tudható be.

Összefoglalás

A cikkben bemutattuk a 42CrMo4 acélminőség mechanikai és alakváltozási paramétereinek a hőkezelés módjával való összefüggéseit. A két hőkezelési mód az ausztenítés utáni edzés és megeresztés, illetve az ausztenítés utáni izotermás hűtés volt. Korábbi vizsgálatok kapcsán kiderült, hogy a különböző hőkezelésen átesett munkadarabok forgácsolási paraméterei (pl. forgácsolóerők) a keménység, és nem a hőkezelési mód függvényei.

Ugyanakkor a jelen cikkben bemutatott alakváltozási paraméterek jelentősen függenek attól, hogy az adott keménységgel (vagy szakítószilárdsággal) jellemezhető darab milyen termikus előéletű.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Dunafer Labor Nonprofit Kft.-nek a szakítóvizsgálatok elvégzéséért, valamint az Óbudai Egyetem munkatársainak a próbatestek előkészítéséért.

Irodalom

- [1] George E. Dieter: Mechanical Metallurgy, McGraw Hill Book-Company, New York, 1961.
- [2] Antal Zsófia: Szövetszerkezet hatása a forgácsolhatósági jellemzőkre, Óbudai Egyetem, Szakdolgozat, Budapest, 2018.
- [3] Valkai Máté: A szövetszerkezeti és mechanikai tulajdonságok összefüggései 42CrMo4 acél különböző hőkezelési állapotaira vonatkozóan, TDK dolgozat, Óbudai Egyetem, 2018.
- [4] Dr. Horváth László: Képlékenyalakítás alapfogalmai Oktatási segédlet BMF, 2003.