

BIRÓ MARTIN – NAGY ERZSÉBET – MERTINGER VALÉRIA

Hidegalakító szerszámacél hőkezelési technológiájának optimalizálása

A szerszámokkal szemben támasztott legfőbb követelmények a keménység, kopásállóság, jó szilárdság és megfelelő szívósság. A felhasználástól függően a hidegalakító szerszámacélok alábbi csoportjait különböztetjük meg: kevésbé ötvözött, kis króm-tartalmú, nagy króm-tartalmú, mangán ötvözésű, króm, wolfram ötvözésű. Az erősen ötvözött, 12%-os króm-tartalmú, hidegalakító szerszámacélból vágó, kivágó szerszámok, valamint ollók és körkések készülnek, amelyek nagyon jó abrazív kopásállósággal, csekély hőkezelési méretváltozással, nagy nyomószilárdsággal és jó szívóssággal rendelkeznek.

A hidegalakító szerszámacél próbatesteket különböző megeresztési paraméterek szerint hőkezeltük. A kísérletsorozatban a megeresztési hőmérséklet és időtartam változtatásának az acél keménységére kifejtett hatását vizsgáltuk többlépcsős hőkezelések esetében. A hőkezelt darabokon keménységméréseket végeztünk, majd a minták szövetszerkezetét mikroszkópos módszerekkel vizsgáltuk.

Bevezetés

A szerszámacélokat más anyagok megmunkálására, alakítására alkalmazzák. A szerszám anyagával szemben alapvető követelmény, hogy a szerszám üzemi hőmérsékletén a keménysége lényegesen nagyobb legyen, mint a vele megmunkált, illetve alakított anyagé. Ezenkívül a nagy szilárdság, a kopásállóság, a szívósság, a hosszú élettartam és a korrózióállóság mellett a jó alakíthatóság is megkövetelt tulajdonság [1–2]. Felhasználás szerint hidegen és melegen megmunkáló szerszámacélokat különböztetünk meg, míg összetétel szerint az acélokat a következő csoportokba sorolhatjuk: ötvözetlen szerszámacélok, ötvözött szerszámacélok és gyorsacélok [1, 3]. A gyártás során a szerszámacélokat általában több lépésben hőkezelik. A szerszámacélok esetében ez a technológiai lépésben elvégzett nemesítést jelent, ezáltal a kialakuló szerkezet és tulajdonsága széles tartományban változtatható [4].

A nemesítés első lépésében, ausztenitesítés során adott hőmérsékleten meghatározott ideig hőkezeljük a darabot. A hidegalakító szerszámacélokhoz jellemzően az ausztenitesítési hőmérséklet növelésével 970 °C és 1080 °C-os intervallumban az anyag keménysége növekszik, az ausztenitesítési idő növekedésével ellenben a szívósság növekszik, míg a keménység értéke csökken. Azonban, ha túl

nagy hőmérsékleten ausztenitesítünk, a primer karbidkiválás elbomlanak. A nagy karbidrögök jelenléte alapvetően meghatározza a termék kopásállóságát, ezenkívül hőkezelés közben befolyásolja az ausztenitzemcsék növekedését, ezáltal gátolva a szemcsedurvulást, ami később repedéshez vagy torzuláshoz vezethet. Ha elbomlanak a karbidok, később az edzés során jellemzően cementit formájában válnak ki, illetve növekszik a maradék ausztenit mennyisége [5–9]. Edzés során az ausztenitesítési hőmérsékletről a munkadarabot úgy hűtik le, hogy a kialakuló szövet martenzites legyen. A hidegalakító szerszámacélok esetében levegőn, vákuumban vagy sófürdőben történik az edzés. A túl gyors hűtés könnyen karbidkiválásokat okoz a szemcsehatáron, amelyek további hibákhoz vezethetnek. A végső keménységet elsősorban a martenzites átalakulás adja [6–7, 10–11]. A nemesítés utolsó szakaszában a megeresztés célja a martenzites állapottal járó ridegség csökkentése, a keménység értékének pontos beállítása. Ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok esetében a keménység a megeresztési hőmérséklet és az idő függvényében monoton csökken. Ötvözött acélok esetében azonban gyakran a nagyobb hőmérséklet-tartományban enyhe csökkenést követően 550 °C körül a keménységértékek meghatározott maximumot mutatnak. A keménységnövekedést a hőkezelés közben kiváló ötvözőfém karbidok okozzák, ez

Biró Martin a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán 2019-ben szerezte meg BSc-diplomáját anyagmérnök szakon, hőkezelő és képlékenyalakító szakirányon. 2020-ban elkezdte MSc-tanulmányait duális képzésben hőkezelő és képlékenyalakító szakirányon.

Dr. Nagy Erzsébet 2000-ben szerzett anyagmérnök diplomát a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. 2007-ben PhD-oklevelet szerzett. Jelenleg az MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoportban dolgozik tudományos főmunkatársként. Főbb kutatási területei: alakváltozás indukálta martenzites átalakulások TRIP- és TWIP-acélokból, röntgendiffrakciós fázisazonosítás.

Dr. Mertinger Valéria 1990-ben a Miskolci Egyetem Kohómérnöki Karán fémalakító szakon, fémtani ágazaton, 1994-ben pedig a Kossuth Lajos Tudományegyetemen mérnök-fizikus szakon szerzett oklevelet. PhD-fokozatát 1998-ban szerezte a Miskolci Egyetemen. 2018-ban DSc-fokozatot szerzett Anyagtudományok és technológiák tudományágban. A Műszaki Anyagtudományi Kar egyetemi tanára, a Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet igazgatója, a Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola tisztagja. Főbb kutatási területei: kristályosodás, martenzites átalakulások alakemlékező ötvözetekben és TWIP-acélokból, maradék feszültség meghatározása röntgendiffrakciós módszerrel, textúravizsgálatok, alumíniumötvözetek fémtani folyamatainak vizsgálata.

az ún. szekunder keményedés. A hidegalakító szerszám-acéloknál már egy kisebb hőmérsékletű megeresztés is jelentős szilárdságnövekedést eredményezhet, azonban nagy hőmérsékletű megeresztés esetén a keménység és a szilárdsági értékek is jelentősen javulnak, a megfelelő keménység, a szívósság, kopásállóság és alaktartósság kombinációját érhetjük el [1, 4, 6].

A kutatás során tányér alakú kések alapanyagául szolgáló, hidegalakító szerszámacél hőkezelésének optimalizálására kísérleteket végeztünk. A kutatás elsősorban a megeresztési folyamatokra fókuszált. A félkész termék előírás szerinti megeresztése 530 °C – 490 °C – 490 °C hőmérsékletű hőkezelési szakaszban történik. A kísérleti megeresztések során először a megeresztési hőmérséklet hatását vizsgáltuk, ha a technológia második lépcsőjében, illetve ha a második és a harmadik lépcsőben egyaránt nagyobb, 530 °C-os hőmérsékletet alkalmazunk. Ezt követően a megeresztési időtartam hatásával foglalkoztunk: hogyan viselkedik az acél, ha az első hőkezelési lépcső hőntartási idejét megnöveljük. Végül a folyamat felgyorsításának lehetőségét vizsgáltuk meg két megeresztési lépcső összevonásával.

Vizsgálatok

A króm ötvözésű hidegalakító szerszámacéloknak több alcsoportja létezik, a kutatás során az AISI szabványrendszerben D2 alcsoportba tartozó, EN 1.2601-es acélt vizsgáltuk, amelynek összetételét az 1. táblázat mutatja [5].

1. táblázat. A vizsgált acél szabvány szerinti összetétele (t%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co
1,60	0,35	0,30	11,50	0,60	-	0,30	0,50	-

A D2-es típusú acél ledeburitos szerkezetű, csekély hőkezelési méretváltozású hidegalakító szerszámacél. Lágyított állapotban jól megmunkálható, levegőn történő edzésre alkalmas, edzési keménységen alkalmazható. Jó abrazív kopásállóság, nagy nyomószilárdság, jó szívósság, jó éltartósság jellemzi. Olló- és körkések készítéséhez kb. 4 mm vastagságig használható, jellemzően papír- és műanyagipari alkalmazásoknál [5, 12–13]. A hidegalakító szer-

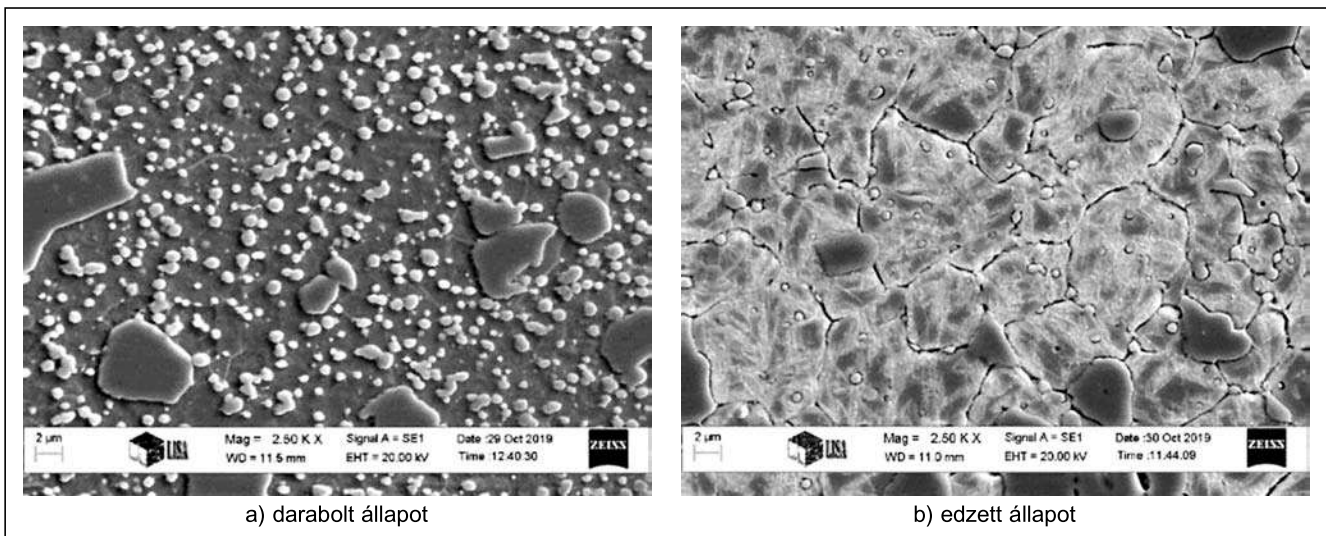


1. ábra. A 101,5/69/1,35 mm-es próbatest

számacélból történő félkész termék előállításának technológiai lépései:

1. Lágyított rúdacél darabolása, kivágása.
2. A gyűrűforma teljes kilagyítása 750 °C-on.
3. A félkész termék előnyomása 840 °C-on.
4. A félkész termék teljes kilagyítása 750 °C-on.
5. A félkész termék edzése vákuumban 1040 °C-ról, majd feszültségcsökkentő izzítása 170 °C-on.
6. A félkész termék háromszoros megeresztése.
7. Befejező műveletek, polírozás, élezés.

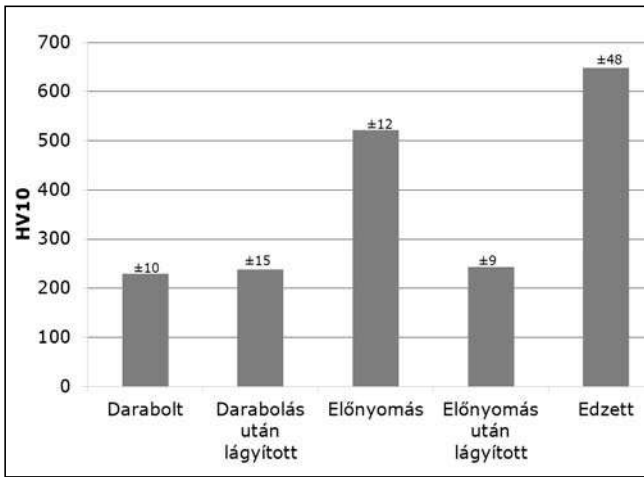
A próbatestek (1. ábra) hőkezelése bugára szerelve történt az esetleges deformáció és sérülések elkerülése céljából. A bugák kosárba pakolva kerültek a kemencébe. Az edzést vákuumkemencében végeztük, a további hőkezelés nitrogén védőgáz, süllyesztett aknás kemencében történt. A hőkezeléseket három párhuzamos mintán végeztük el. Minden egyes hőkezelt próbatestből két párhuzamos mintát vettünk ki. A gyantába beágyazott hőkezelt mintákon 100 N-os terhelő erővel Vickers-keménységmérést végeztünk Tukon 2100B keménységmérő berendezésen. A keménységmérést követően, minden hőkezelési lépésből vett minta mikroszerkezetét megvizsgáltuk. A csiszolt, polírozott és 5%-os Nitallal maratott csiszolatok szövetszerkezetéről Zeiss Imager M1m mikroszkóppal és Zeiss Evo MA10 pásztázó elektronmikroszkóppal készültek felvételek.



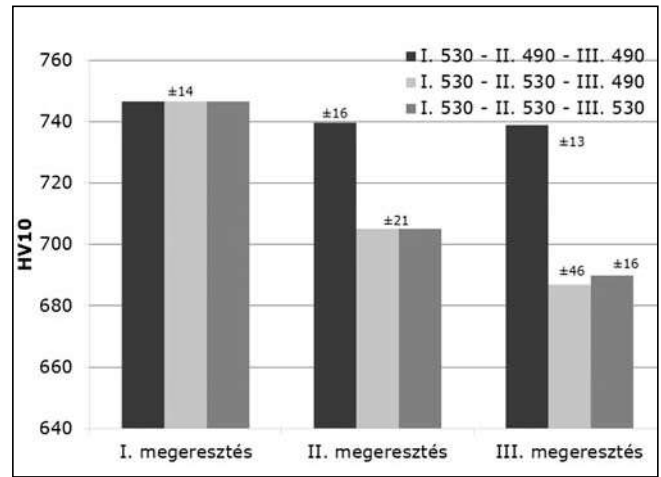
a) darabolt állapot

b) edzett állapot

2. ábra. A vizsgált acél mikroszerkezete kiinduló és edzett állapotban



■ 3. ábra. A keménységértékek alakulása a kiinduló állapottól az edzett állapotig az egyes technológiai lépéseket követően



■ 5. ábra. A nagyobb kezdő hőmérsékletű megeresztési sorozat keménységértékei az egyes hőkezelési lépésekben

Eredmények

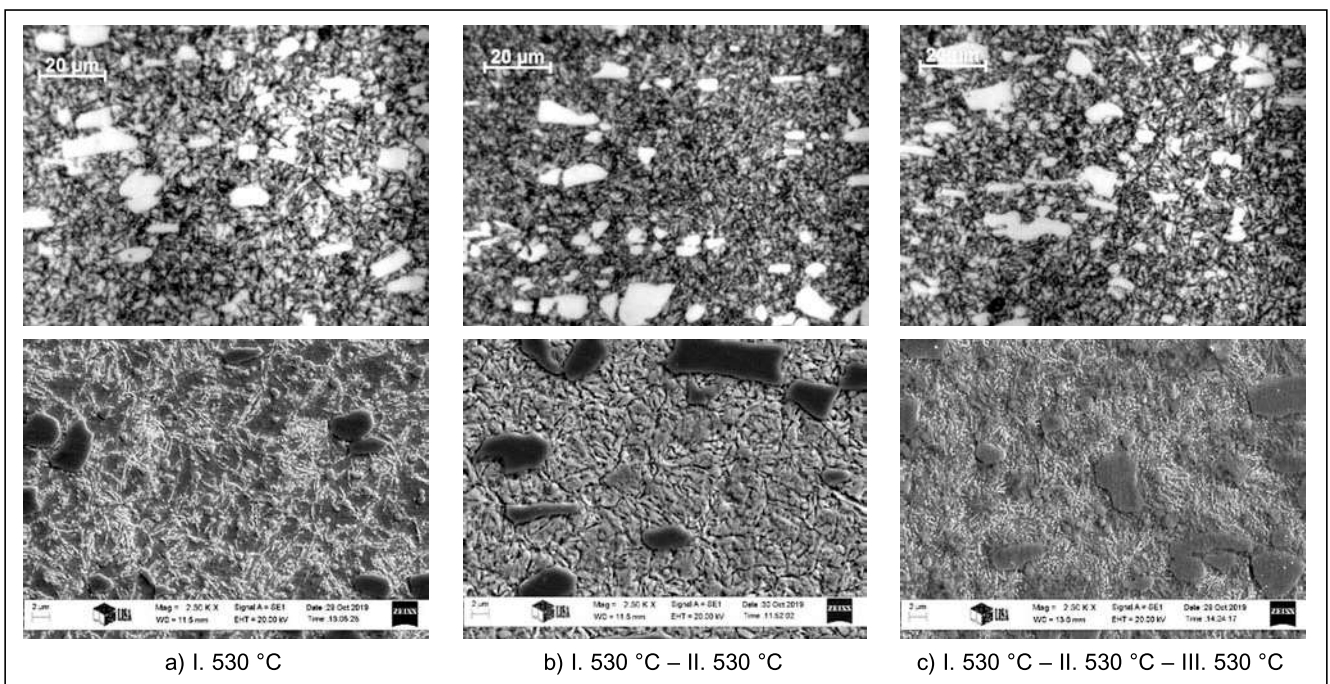
A vizsgálati acél kiinduló mikroszerkezetében az alapmátrixba ágyazódott nagyméretű primer karbidok, valamint a köztük levő apró szekunder karbidrögök láthatók. A szövetszerkezetben megfigyelhető feltöredezett primer karbid a melegen alakított alapanyagra jellemző morfológiát mutat. A minták szövetszerkezete az edzésig jelentősen nem változik. Az edzett szerkezetben a primer karbidon kívül kisebb mennyiségben szekunder karbid azonosítható a tús martenzites mátrixban (2. ábra).

A 3. ábra a melegen alakított rúdból kivágott mintákon darabolástól edzésig elvégzett műveletek hatásait mutatja. Jól látható az előnyomás, valamint az edzés okozta keménységváltozás. Minden állapotban három tányérből 2-2 mintát vettünk, amelyeken a keresztmetszeten öt ponton mértünk keménységet. Az átlagolt eredmények mellett feltüntettük a szórás mértékét.

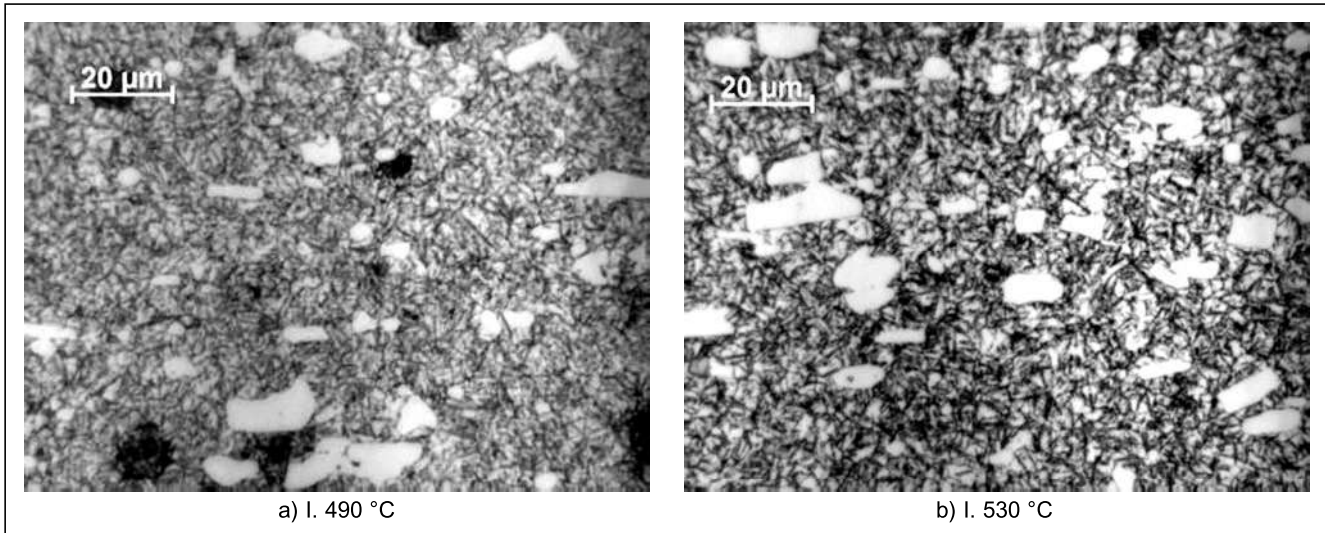
A megeresztési hőmérséklet hatásának vizsgálata

Először a nagyobb megeresztési hőmérséklet második és harmadik hőkezelési lépcsőben történő alkalmazhatóságának vizsgálatára került sor. A mikroszerkezetben megfigyelt változások alapján az első hőkezelés hatására a diszperz ötvöző (szekunder) karbidok kiválnak, valamint megkezdődik a martenzit megeresztődése. A második lépcsőben a martenzit megeresztődése és a maradék ausztenit átalakulása történik. A harmadik lépés során folytatódik a maradék ausztenit átalakulása és a karbidok durvulása (4. ábra).

A második lépésben alkalmazott nagyobb megeresztési hőmérséklet a keménységértékekben számottevő csökkenést eredményez, a kisebbhez viszonyítva (5. ábra). A harmadik lépésben az alkalmazott hőmérséklettől függetlenül már nem történik jelentős változás a keménységértékekben.

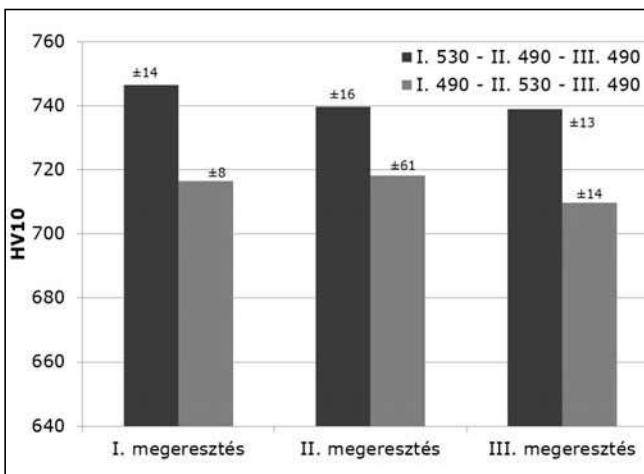


■ 4. ábra. A nagyobb kezdő hőmérsékletű megeresztési sorozat egyes lépéseiben kialakult mikroszerkezet



■ **6. ábra.** A kisebb kezdő hőmérsékletű megeresztési lépésben kialakult mikroszerkezetek

Amennyiben az edzés után egy kisebb megeresztési hőmérsékletű hőkezelést végzünk, a szövetszerkezetben finomabb tűs szerkezet figyelhető meg a nagyobb hőmérsékletűhöz képest (6. ábra).



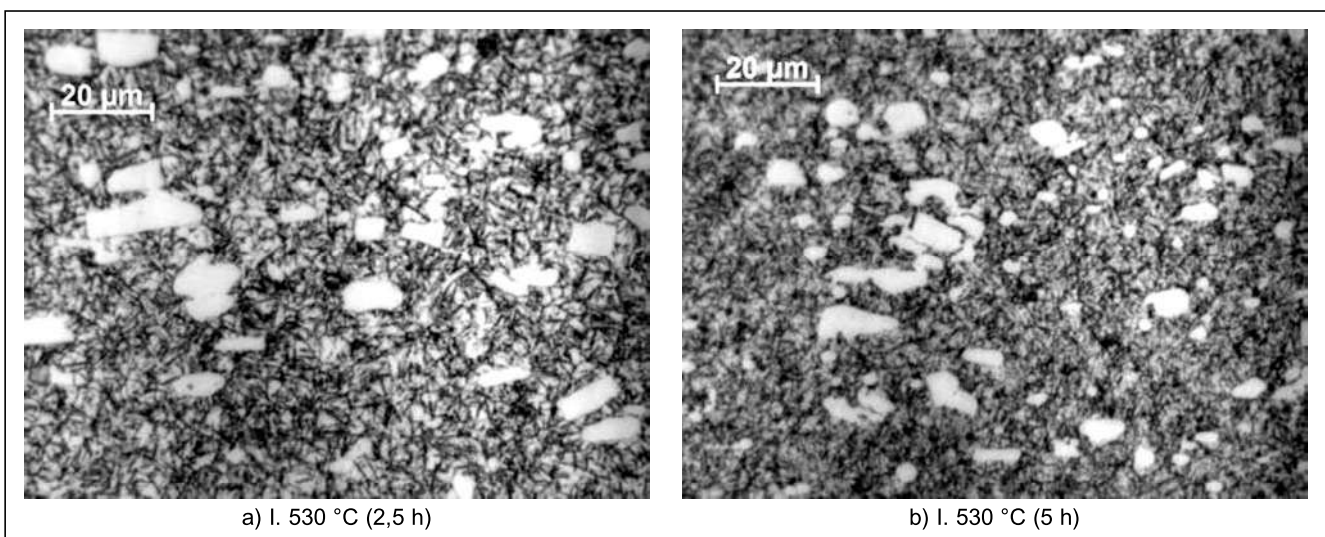
■ **7. ábra.** A kisebb kezdő hőmérsékletű megeresztési lépésben kialakult keménységértékek

Az első lépésben alkalmazott kisebb megeresztési hőmérséklet következtében a szekunder keménység hatása kevésbé érvényesül, ami egy kisebb kiinduló keménységet eredményez. Az első lépésben elért keménységértékhez képest a második lépésben nagyobb hőmérsékleten elvégzett hőkezelés elhanyagolható mértékű változást okoz (7. ábra).

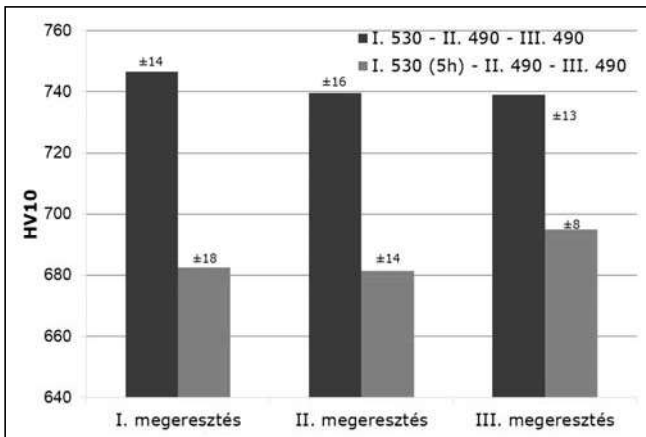
A megeresztési idő változtatásának hatása

A nagyobb hőmérsékletű első megeresztési lépés esetében a hőkezelési időtartam hatását is megvizsgáltuk. Az első megeresztési lépésben különböző ideig hőkezelt minták szövetszerkezetében látható eltérés oka a martenzit megeresztődése (8. ábra).

A hőkezelés első lépésében közel kétszeresére növelt hűntartási idő okozta mikroszerkezeti változásnak megfelelően a keménységértékekben tapasztalható nagymértékű csökkenés (9. ábra). A nagyobb hőmérsékletű első hőkezelési lépés utáni kisebb lépések alkalmazása ugyan okoz jelentéktelen keménységnövekedést, azonban ezen eredmények az eredeti, technológiában alkalmazott megeresztési folyamat értékeitől elmaradnak.



■ **8. ábra.** Az első lépésben alkalmazott hosszabb hűntartás során kialakult szerkezet



■ 9. ábra. Megeresztési idő változtatásával elért keménységértékek

A hőkezelés lépéseinek optimalizálásakor minden esetben körültekintően kell eljárni. A vizsgált hidegalakító szerszámacél termékkel szemben támasztott követelmény a hőkezelés során az 58–61 HRC közötti tartományba eső keménységérték elérése. Azonban, mivel a szerszám még további megmunkáláson esik át, amelyek során felkeményedhet, ezért a hőkezelési paraméterek beállítását úgy kell elvégezni, hogy a végső keménység ne az értéktartomány felső határára essen.

Az eredmények alapján a megeresztés első lépésének egyértelműen egy nagyobb hőmérsékletű hőkezelésnek kell lennie, mivel a kisebb kezdő megeresztési hőmérséklet okozta keménységcsökkenés további hőkezelésekkel nem módosítható, növelhető. Fontos megjegyezni, hogy a jól megválasztott megeresztési hőmérséklet és a megfelelő ausztenitesítési hőmérséklet alkalmazásával együtt érhetők el a kívánt szilárdsági mutatók. Azonban, ha a keménységértékekre meghatározott tartomány felső határát nem kívánjuk elérni, a második lépcső esetében is célszerű nagyobb hőkezelési hőmérsékletet választani, ezzel biztosítva a rendszerben valamennyi tartalékot a további műveletekhez. Az első és második megeresztési lépcső kiváltása egyetlen hosszabb idejű hőkezelés alkalmazásával egyértelműen a szilárdsági értékek romlásához vezet.

Összefoglalás

Az elvégzett kísérleti hőkezelések és vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az 1040 °C-on végzett ausztenitesítést követően az első megeresztési lépésben nagyobb megeresztési hőmérséklet alkalmazása szükséges. A második lépésben is célszerű nagyobb hőkezelési hőmérsékletet választani, hogy a keménységértékre előírt tartomány felső határát ne érjük el, a további megmunkáló műveletek okozta keménységnövekedés a tartományon belülre essen. A megeresztési időtartam növelése egyértelműen keménységcsökkenést okoz az anyagban, ezért a megeresztési lépcsők összevonása nem javasolt.

Az optimalizálást követően a hőkezelési technológiára az alábbi javaslatot tesszük: 1040°C-os ausztenitesítést, majd edzést követően háromszoros megeresztés javasolt 530 °C – 530 °C – 490 °C-os hőkezelési lépésekben. Az egyes megeresztések javasolt időtartama 3 óra.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó 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] Dr. Gácsi Zoltán, dr. Mertinger Valéria: Fémtan. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2000.
- [2] Révfy Dezső: Anyagismeret. Oktatási segédlet kézirat, Miskolc, 2006.
- [3] Dr. Dogossy Gábor: Szerszámacélok. Mérnöki anyagok NGB_AJ001_1
- [4] Chandler H.: Heat Treater's Guide Practices and Procedures for Irons and Steels. ASM Handbook 1995.
- [5] Böhler database. <https://www.boehler.hu/hu/products/k105/> (2019. okt. 26.)
- [6] Saha, S. K., Lalta, P. Virendra, K.: Experimental investigations on heat treatment of cold work tool steels part 1, air hardening grade (D2). International Journal of Engineering Research and Applications; Mar-Apr 2012; Vol. 2, Issue 2, pp.510–519
- [7] Attaullah, A. A.: Heat Treatment and Toughness Behavior of Tool Steels (D2 and H13) for Cutting Blades; Department. Metallurgy and Materials Science University of Toronto; M.A.Sc, 1999.
- [8] L. Tóth, E. R. Fábrián: The Effects of Quenching and Tempering Treatment on the Hardness and Microstructures of a Cold Work Steel, International Journal of Engineering and Management Sciences Vol. 4. (2019). No. 1
- [9] D. Viale, J. Béguinot, F. Chenou, G. Baron: Optimizing microstructure for high toughness cold work tool steels, Usinor Industeel, Proceeding of 6th International Tooling Conference (Karlstad University, 10–13 September 2002) Vol.2.
- [10] D. A. Lesyk, S. Martinez, B. N. Mordyuk, V. V. Dzhemelinskyi, A. Lamikiz, G. I. Prokopenko, Yu. V. Milman, K. E. Grinkevych: Microstructure related enhancement in wear resistance of tool steel AISI D2 by applying laser heat treatment followed by ultrasonic impact treatment, Surface & Coatings Technology 328 (2017) 344–354.
- [11] Salunkhe, S., Fabijanic, D., Nayak, J. Hodgson, P.: Effect of Single and Double Austenitization treatments on the Microstructure and Hardness of AISI D2 Tool Steel, Materials Today: Proceedings 2 (2015) 1901–1906.
- [12] Harcsik Béla, Józsa Róbert, Kiss László: A primer acélgártás technológiai tervezésének, technológiai fejlesztésének gyakorlati szempontjai. Digitális tananyag, Miskolci Egyetem, 2013.
- [13] T. Večko Pirtovšek, G. Kugler, M. Terčelj: The behaviour of the carbides of ledeburitic AISI D2 tool steel during multiple hot deformation cycles, Materials Characterization 83 (2013) 97–108.