

A hőkezelés hatása a szerszámacélok szövetszerkezetére és kopási viselkedésére

Examination of Heat Treatment on the Microstructure and Wear of Tool Steels

Fábián Enikő Réka,¹ Tóth László,² Huszák Csenge³

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország

¹ fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

² toth.laszlo@bgk.uni-obuda.hu;

³ huszak.csenge@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The microstructure of the investigated X153CrMoV12 grade tool steel in delivered condition consisted of spheroidal matrix and primary carbides. The primary carbides were not dissolved under austenitisation time on either 1030°C or 1070°C. The microstructure and abrasion resistance of the steel changed due to quenching from different austenitisation temperatures. After conventional quenching from the higher austenitising temperature, there is more residual austenite in the steel than at quenching from the lower austenitisation temperature, which decreased the wear resistance. As a result of quenching from 1070°C followed by a multiple tempering process around 500 to 540°C, the retained austenite content is reduced and finely dispersed carbides are precipitated in the matrix, resulting in a higher matrix hardness and an increased wear resistance. After cryogenic treatment, the residual austenite content decreases compared to the conventional process, which leads to an increase in hardness and wear resistance.

Keywords: *tool steel, austenitisation, residual austenite, precipitation, cryogenic treatment, wear resistance.*

Összefoglalás

A vizsgált, X153CrMoV12 minőségű szerszámacél szövetszerkezetét szállítási állapotban szferoidites matrix és hálós elrendezésű primer karbidok alkották. A primer karbidok nem mentek oldatba sem 1030 °C, sem 1070 °C-on való hűtést alatt. Az acélt különböző ausztenitesítési hőmérsékletekről edzve változott annak a szövetszerkezete és kopásállósága. A nagyobb ausztenitesítési hőmérsékletre való hagyományos edzés után több a maradék ausztenit az acélban, mint a kisebb ausztenitesítési hőmérsékletre való edzéskor, mely fázis erőteljesebb kopáshoz vezet. Az 1070 °C-on való ausztenitesítésről való edzést követő többszörös, 500–540 °C körüli megeresztés hatására a mátrixban finom diszperz karbidok válnak ki, miközben csökken a maradékausztenit-tartalom és nő a mátrix keménysége. Amennyiben az edzés mélyhűtéssel végződik, a maradékausztenit-tartalom csökken a hagyományos eljáráshoz képest, ami a keménység és kopásállóság növekedéséhez vezet.

Kulcsszavak: *szerszámacél, ausztenitesítés, maradék ausztenit, kiválás, mélyhűtés, megeresztés, kopás.*

1. Bevezetés

Az X153CrMoV12 minőségű acélt a felhasználók előszeretettel használják vágó-, kivágószerszám alapanyagaként, ollók, kések gyártására, hajlító-,

húzó-, mélyhúzó és hidegfolyató szerszámnak, menethengerlő szerszámnak, kerámia- és gyógyszeripari prészerszámokhoz, hidegalakító hengerek gyártására, papír, műanyag, fa, bőr, gumi,

textilanyagok vágószerszámaként, valamint nagy kopásállóságú műanyag-alakító formák és betétek gyártására is. Ezt az acélt az acélforgalmazók lágyított állapotban forgalmazzák, ekkor a keménysége max. 250 HBW lehet. Ebben az állapotban, az erőteljes ötvözöttség ellenére is, aránylag könnyen megmunkálható. A kész szerszám tulajdonságait a végső hőkezelés után éri el. Annak ellenére, hogy az X153CrMoV12 minőségű acélt számos helyen használják, a hőkezelésre vonatkozó ajánlásokban akadnak különbségek. Kis méretváltozás és nagy keménység általában 930–960 °C-ról hűtve érhető el [1]. 1100 °C-ról hűtve szekunder keményedés figyelhető meg az anyagban, a keménységmaximum 520–530 °C-on való megeresztéskor jelenik meg. A szabvány [2] az edzéshez 1020 °C-t ajánl, hűtést pedig levegőn. A megeresztési hőmérsékletre nézve a szabvány szerint a 970 °C-ról való hűtést követő 200 °C alatti megeresztéskor lehet 62 HRC fölötti keménységet elérni.

A szerszámacélok, gyorsacélok és különleges alapanyagok területén a Voestalpine a világ legjelentősebb gyártói közé tartozik. A cég kiadványa 1030 °C-ról való edzés után szekunder keményedésről nem mutat adatokat, viszont 1070 °C-ról való edzés után 520 °C-nál szekunder keményedésre lehet számítani, ezért esetleges nitridálás előtt kétszeres megeresztést ajánlanak ezen a hőfokon [3]. Az Inter Alloy cég háromszoros megeresztést ajánl 500–550 °C-on [4]. Mélyhűtésről a cégek nem tesznek említést, mint ahogy a szabvány sem, noha ilyen karbantartalomnál szobahőmérsékletig való hűtéskor a martenzites átalakulás nem fejeződik be [5]. Miközben cégek adatai nem utalnak a kopásállóság és hőkezelési változók közti összefüggésekre, a mélyhűtésnek és a megeresztéseknek a mechanikai, illetve a kopási tulajdonságokra gyakorolt hatásával több kutató is foglalkozik hasonló hidegalakító szerszámacéloknál [6–11]. A felhasználók a hőkezelőnek a szerszámon mért Rockwell-keménységet írják elő. Viszont a szerszám élettartama, kopásállósága, szívóssága azonos Rockwell-keménység esetén is változhat.

2. Vizsgálati anyagok és módszerek

A vizsgált, X153CrMoV12 minőségű acél vegyi összetétele az 1. táblázatban látható.

A 20×40×20 mm-es minták ausztenitesítését 1030 °C-on, illetve 1070 °C-on végeztük Ipsen VFC típusú, 300×370×200 mm kamraméretű, vákuumkemencében kétlépcsős (650 °C, illetve 900 °C) hőn

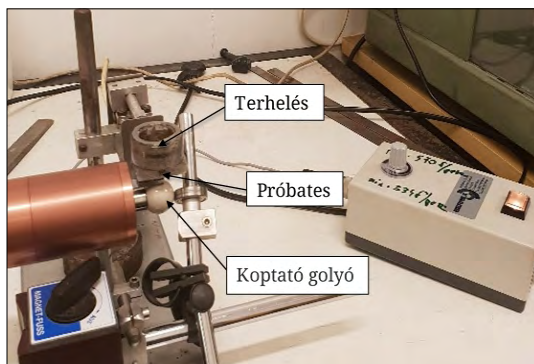
1. táblázat. A vizsgálati anyag kémiai összetétele spektrométeres mérés alapján; az ötvözők tömegaránya %-ban

| C | Cr | Mo | V | Si | Mn | Fe |
|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 1,67 | 11,25 | 0,837 | 1,41 | 0,364 | 0,422 | többi |

tartást követően. Az edzést néhány mintadarabon áramló nitrogéngázzal végeztük 40 °C-ig hűtve a mintákat, néhány mintát mélyhűtöttünk -80 °C-os gáz halmazállapotú nitrogénben, 3 óra időtartamban. Mind a mélyhűtött, mind a hagyományos eljárással edzett mintáknál vizsgáltuk azok tulajdonságváltozásait különböző hőkezelési hőmérsékleteken való egyszeri, illetve többszöri megeresztés után.

A kísérleti mintákat metallográfiai előkészítés után Olympus PMG3 típusú fémmikroszkópon, illetve Jeol JSM 5310 típusú pásztázó elektron-mikroszkópon (SEM) vizsgáltuk. A karbidok eloszlását és a kialakult szövetszerkezetet, szemcseméretet elsődlegesen nitálos maratás után néztük, a maradék ausztenit meghatározásához a legalkalmasabbnak a Beraha'2 marószert (85 ml víz, 15 ml HCl, 1 g K₂S₂O₅) bizonyult. Beraha'2 reagenst használva, maratás után a karbidok és az ausztenit világos marad, a többi szövetelemen vékony szulfidréteg képződik. A primer karbidok egyértelműen elkülöníthetőek a mátrixtól. A mátrixban kiválásként megjelenő karbidok gömbszerűek, így azokat is meg lehet különböztetni a maradék ausztenittől. A karbidok és a különböző hőkezelések után kialakuló mátrix keménységét Buhler 1105 típusú Vickers-keménységmérővel mértük.

Kopásvizsgálathoz saját fejlesztésű, forgó golyós kopatóberendezést használtunk [12] (1. ábra). A kopatógolyó 20 mm átmérőjű Al₂O₃ anyagú, polírozott felületű kerámia golyó volt, a terhelőerőt a minták tömege mellett 50 g-os nehezék szolgáltatta.



1. ábra. A kopatóberendezés

Kopási mérőszámként a kopási tényezőt (K) használtuk, mely a kopási térfogattól (V_v), a kopási úthosszból (s) és a terhelőerőből (F) számolható:

$$K = \frac{V_v}{s \cdot F} \text{ (mm}^3\text{)/(m} \cdot \text{N)} \quad (1)$$

A kopási térfogat a kopásnyom átmérőjéből (d) és a gömbsüveg magasságából (h) számolható:

$$V_v = \frac{h \cdot \pi}{6} \left(\frac{3}{4} d^2 + h^2 \right), \text{ (mm}^3\text{)} \quad (2)$$

A koptatott gömbsüveg magassága a koptatógolyó R sugarából és a kopási lenyomat átmérőjéből egyszerű összefüggéssel számolható:

$$h = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}, \text{ mm} \quad (3)$$

A kopási úthossz (s) a koptatási időtől (t), a koptatógolyó sugarától és annak fordulatszámától (n) függ (4):

$$S = n \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot t, \text{ m} \quad (4)$$

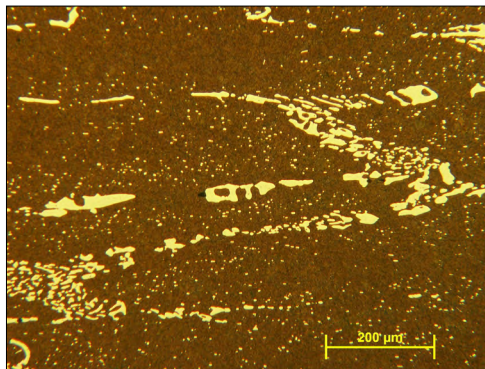
A szakirodalmi adatokkal való összehasonlíthatóság érdekében [11–12] a fordulatszámot 570 fordulat/percre állítottuk, és a koptatóvizsgálat 5 percig tartott.

3. Vizsgálati eredmények

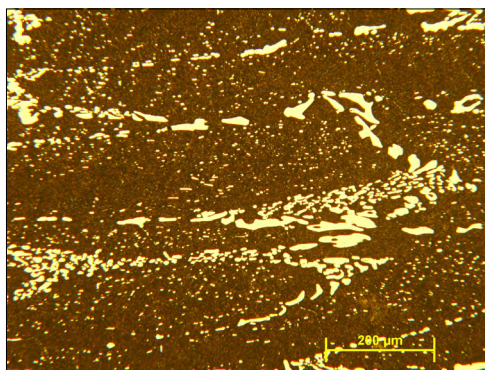
A vizsgálni kívánt X153CrMoV12 minőségű szerzőmacél keménysége szállítási állapotban átlagosan 248 HV 1 volt, szövetszerkezetét sferoidites mátrix és hálós elrendezésű primer karbidok alkották. A voestalpine Hungary Kft. ajánlása szerint végzett edzést megelőző ausztenitesítés hőmérséklete erősen befolyásolja az edzett anyag szövetszerkezetét és keménységét.

3.1. Az edzési hőmérséklet hatása

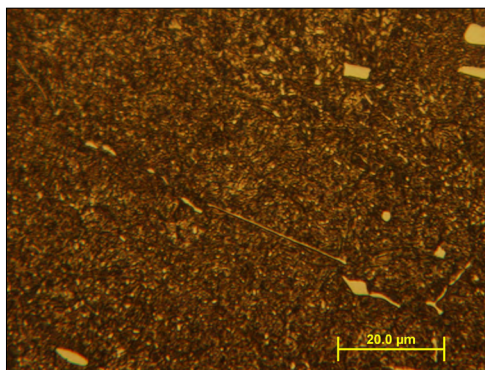
Vizsgálva a minták szövetszerkezetét azt tapasztaltuk, hogy a primer karbidok nem mentek oldatba 1070 °C-on való hőntartás alatt sem, ahogy azt a 2. ábra a) és b) felvételein láthatjuk. Eközben a nagyobb ausztenitesítési hőmérsékletről való edzés több maradék ausztenitet eredményezett, mint az 1030 °C-ról való hűtéskor, ahogy azt a 2. ábra c) és d) felvételei is mutatják. A szövetszerkezeti vizsgálatokkal teljesen összhangban vannak a keménységmérési és kopásvizsgálati eredmények. Amely mintát 1030 °C-ról hűtöttük, annál a mátrix keménysége átlagosan 674 HV 1, míg az 1070 °C-ról hűtött mintánál 648 HV 1.



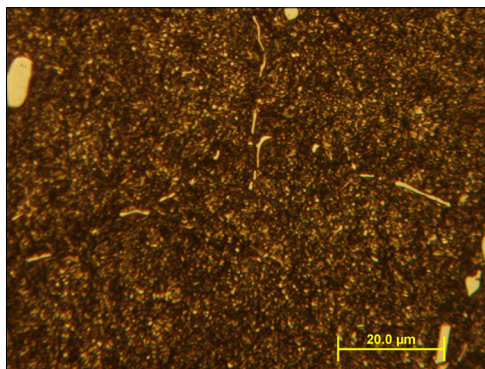
a)



b)



c)



d)

2. ábra. Az edzési hőmérséklet hatása a szövetszerkezetre; fémmikroszkópos felvétel. Marószerszer: Beraha-2. a) $T_{\text{auszt}} = 1030 \text{ °C}$ b) $T_{\text{auszt}} = 1070 \text{ °C}$

Az edzési hőmérséklet emelésével a kopási tényező $2,46 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ -ről $2,94 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ -re nőtt a nagyobb ausztenittartalomnak köszönhetően. A maradék ausztenit eloszlása minden esetben egyenletes a mátrixban. A primer karbidok hasonló megjelenése az $1030 \text{ }^\circ\text{C}$ -ról, illetve az $1070 \text{ }^\circ\text{C}$ -ról induló edzések után magyarázatul szolgál azon jelenségre, hogy az edzés után mért Rockwell-keménység majdnem egyforma (2. táblázat).

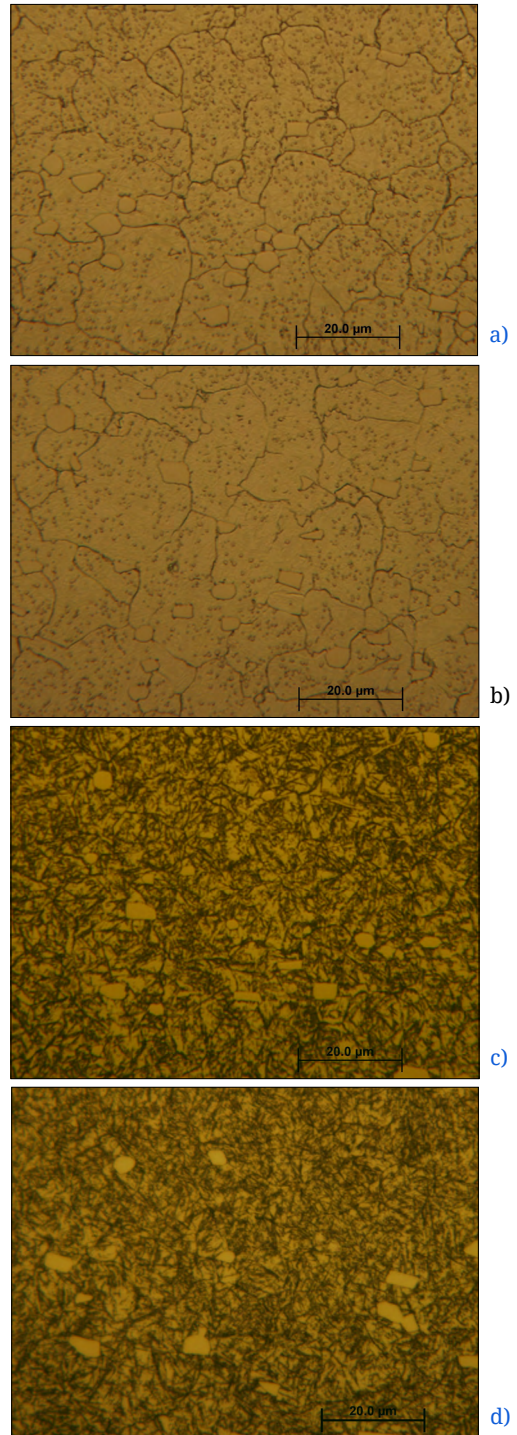
2. táblázat. A hőkezelési paraméterek hatása a keménységre és a kopásra

| Edzés | | Megeresztés (°C) | | | HRC | HV 1 | K (mm ³ /Nm) |
|---------------------|-----|------------------|-----|-----|-----|------|-------------------------|
| T _A (°C) | HRC | T1 | T2 | T3 | | | |
| 1030 | 62 | – | – | – | 62 | 674 | $2,46 \cdot 10^{-5}$ |
| 1030 | 62 | 200 | – | – | 61 | 668 | $1,56 \cdot 10^{-5}$ |
| 1070 | 62 | – | – | – | 62 | 648 | $2,94 \cdot 10^{-5}$ |
| 1070 | 62 | 200 | – | – | 61 | 641 | $1,04 \cdot 10^{-5}$ |
| 1070 | 61 | 520 | – | – | 60 | 663 | $2,22 \cdot 10^{-5}$ |
| 1070 | 61 | 520 | 540 | – | 59 | 685 | $3 \cdot 10^{-5}$ |
| 1070 | 61 | 520 | 540 | 500 | 59 | 748 | $2,46 \cdot 10^{-5}$ |

3.2. Az edzés utáni megeresztés hatása

Az $1070 \text{ }^\circ\text{C}$ -os ausztenítés után végzett edzés követő megeresztés hőmérséklete és ciklusszáma jelentősen befolyásolja az X152CrMoV12 acél szövetszerkezetét, keménységét és kopási tulajdonságait. Ha edzés után $200 \text{ }^\circ\text{C}$ -on eresztjük meg a mintát, a martenzites mátrixban nagyon kicsi a finom, diszperz eloszlású karbid mennyisége [3. ábra b), 4. ábra a) felvétel]. A megeresztési hőmérsékletet $520 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra emelve a martenzites szövetben számos finom, diszperz kiválás jelenik meg, de még maradék ausztenit is felfedezhető, ahogy azt a 3. ábra c) felvétele, illetve a 4. ábra b) felvétele is mutatja. Többszörös, nagy hőmérsékletű megeresztés hatására a martenzites mátrixban egyre több finom, diszperz karbid válik ki, miközben csökken a maradékausztenit-tartalom, ahogy azt a 3. ábra c), d) és a 4. ábra c), d) felvételei is mutatják. A primer karbidok jellege erőteljesen nem változik.

Az $500\text{--}550 \text{ }^\circ\text{C}$ -os megeresztés hatására bekövetkező szövetszerkezeti változások növelik a mátrix keménységét. A többszörös megeresztés hatására $500\text{--}550 \text{ }^\circ\text{C}$ környékén a mátrix keménysége a $750 \text{ HV } 1$ -et is eléri (2. táblázat).

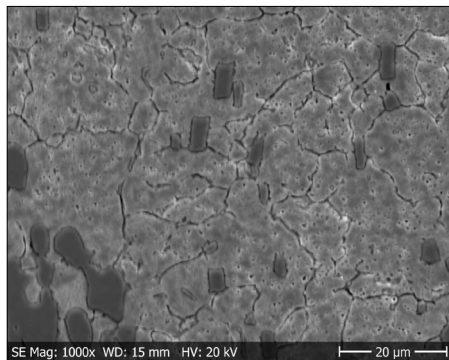


3. ábra. A megeresztési hőmérséklet hatása a szövetszerkezetre; fémmikroszkópos felvételek.

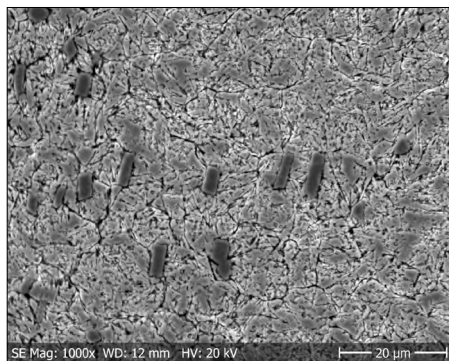
$T_{\text{auszt}} = 1070 \text{ }^\circ\text{C}$. Marószér: 2% nitál.

a) edzett, b) $T_{\text{meger}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$, c) $T_{\text{meger}} = 520 \text{ }^\circ\text{C}$

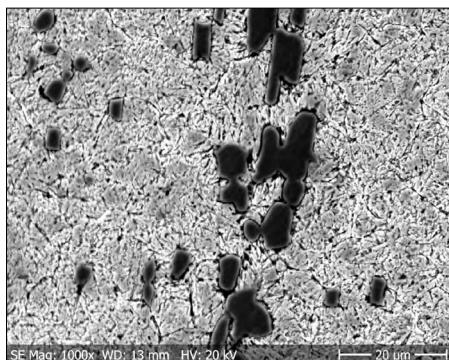
d) $T_{\text{meger}} = 520 \text{ }^\circ\text{C} + 540 \text{ }^\circ\text{C} + 500 \text{ }^\circ\text{C}$



a)



b)



c)



d)

4. ábra. A megeresztési hőmérséklet hatása a szövetszerkezetre. SEM-felvételek. Marószersz: nitál.
 a) $T_{meger} = 200\text{ °C}$, b) $T_{meger} = 520\text{ °C}$, c) $T_{meger} = 520\text{ °C} + 540\text{ °C}$, d) $T_{meger} = 520\text{ °C} + 540\text{ °C} + 500\text{ °C}$

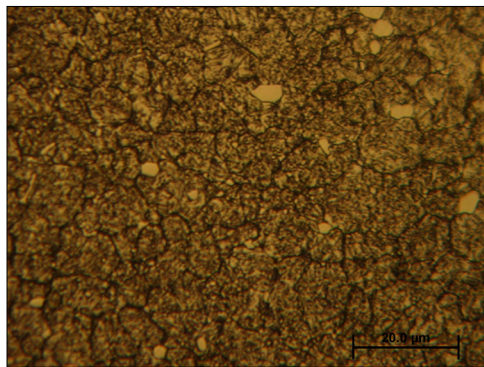
3.3. A mélyhűtés hatása

Azon alkatrészeknél, melyeket esetleg nitridálni szeretnénk, szükséges a nagy hőmérsékletű megeresztés [1, 3]. Nitridált terméknel jellemzően igénylik a méretpontosságot, tehát nem megegyezhet a sok maradék ausztenit. Vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy az edzés során mélyhűtött darab maradékausztenit-tartalma már az egyszeri nagy hőmérsékletű megeresztés után is kevés a nem mélyhűtött mintához viszonyítva (5.a ábra, 2.c ábra), a háromszoros emelt hőmérsékletű megeresztés a maradék ausztenit mennyiségét tovább csökkenti (5. ábra).

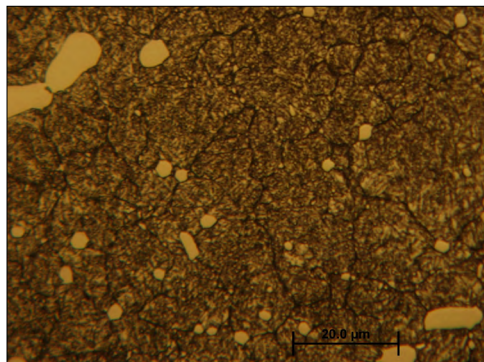
A mélyhűtés nemcsak a mátrix keménységét növelte meg, de a kopási tényezőre gyakorolt pozitív hatása egyértelműen kimutatható (3. táblázat).

4. Összegzés

Az ausztenitesítési hőmérséklet emelésével edzés után csökken a martenzites mátrix keménysége, a maradék ausztenit növekedő mennyiségének köszönhetően. A többszöri, nagy hőmérsékletű megeresztés az 1070 °C-ról edzett



a)



b)

5. ábra. A mélyhűtés hatása a szövetszerkezetre.

Fémmikroszkópos felvételek

Maratás: nitál, $T_{edzés} = -80\text{ °C}$ a) $T_{meger} = 510\text{ °C}$,
 b) $T_{meger} = 510\text{ °C} + 480\text{ °C} + 480\text{ °C}$

3. táblázat. A mélyhűtés hatása a mátrixkeménységre és -kopásra

| Ausztentelés (°C) | Hűtés (°C) | Megeresztés (°C) | | | | | Kopási tényező (mm ³ /Nm) |
|----------------------|---------------|---------------------|-----|-----|----|---------------|--|
| | | T | T1 | T2 | T3 | HV1 mátrix | |
| 1070 | 20 | 510 | – | – | – | 663 | 4,29·10 ⁻⁵ |
| 1070 | -80 | 510 | – | – | – | 746 | 2,66·10 ⁻⁵ |
| 1070 | 20 | 510 | 480 | 480 | – | 695 | 3,00·10 ⁻⁵ |
| 1070 | -80 | 510 | 480 | 480 | – | 738 | 2,24·10 ⁻⁵ |

minta keménységét növeli, részben a maradék-ausztentit-tartalom csökkenésének, részben a finom diszperz kiválásoknak köszönhetően. Mélyhűtés hatására a maradék ausztentit mennyisége teljesen lecsökken, a kopásállóság nő.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton kívánnak köszönetet mondani a munkájukhoz nyújtott anyagi támogatásért az EFOP-3.6.1-16-2016-00010. számú projekt keretében a magyar államnak és az Európai Uniónak.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Smóling K., Czeglédi L.: *Szerszámacélok kézikönyve*. Szabvány Kiadó, Budapest, 1977. 94–95.
- [2] MSZ EN ISO 4957: 2018. *Szerszámacélok*
- [3] Voestalpine Böhler Edelstahl GmbH & Co KG: *Szerszámacélok, nemesacélok*, 45. <http://www.boehler.hu/media/productdb/downloads/K110DE.pdf> (letöltve: 2019. 01.28)
- [4] Inter Alloy Engineering Steels and Alloys: Product datasheets, Tool steel D22011 Inter-alloy Pty Ltd <http://www.interalloy.com.au/our-products/tool-steel/d2-tool-steel-x153crm0v12> (letöltve: 2019. 02.15)

- [5] Capdevila C. et al.: *Determination of Ms temperature in steels: A Bayesian Neutral Network Model*. ISIJ International 42. (2002) 894–902. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.42.894>
- [6] Gavriljuk V. G., Theisen W., Sirosh V. V.: *Low-temperature martensitic transformation in tool steels in relation to their deep cryogenic treatment*. Acta Materialia 61. (2013) 1705–1715. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.11.045>
- [7] Das D., Dutta A. K., Toppo V., Ray K. K.: *Effect of deep cryogenic treatment on the carbide precipitation and tribological behaviour of D2 steel*. Materials Manufacturing. Process, 22. (2007) 474–480. <https://doi.org/10.1080/10426910701235934>
- [8] Molinari A., Pellizzari M., Gialanella S., Straffellini G., Stiasny K. H.: *Effect of deep cryogenic treatment on the mechanical properties of tool steels*. Journal of Materials Processing Technology, 118. (2001) 350–355. [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(01\)00973-6](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(01)00973-6)
- [9] Das D., Sarkar R., Dutta A. K., Ray K. K.: *Influence of sub-zero treatments on fracture toughness of AISI D2 steel*. Materials Science Engineering A, 528. (2010) 589–603. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.057>
- [10] Das D., Dutta A. K., Ray K. K.: *Sub-zero treatments of AISI D2 steel: part II. Wear behaviour*. Materials Science and Engineering A, 527. (2010) 2194–2206. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.10.071>
- [11] Kumar S., Nagaraj M., Khedkar N. K., Bongale A.: *Influence of deep cryogenic treatment on dry sliding wear behaviour of AISI D3 die steel*. Materials Research Express, 5/11. (2018) 116525, 1–9. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aadeba>
- [12] Kovács T., Dévényi L.: *Kopásvizsgálati eljárás fejlesztése*. Anyagok világa, 5/1. (2004) https://www.kfki.hu/~anyag/tartalom/2004/dec/05_KT_DL.pdf