

Csőperemezéshez használt szerszámacélok összehasonlítása

Comparison of Tool Steels for Tube End Flanging

Trautman Bence,¹ Tóth László,² Fábián Enikő Réka³

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Anyag- és Gyártástudományi Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék Budapest, Magyarország, bencetrautman1@gmail.com

² Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Anyag- és Gyártástudományi Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék Budapest, Magyarország, toth.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

³ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Anyag- és Gyártástudományi Intézet, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék Budapest, Magyarország, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

One of the most important components of a tube end flaring machine is the flanging tool, which is subjected to mechanical stresses such as compression, bending and abrasion. It is therefore very important to choose the optimal material and manufacturing technology for the flanging tool. Böhler tool steel grades K110 and K340 were chosen as the subject of our research. Both materials were used to produce tube flanging tools, which were subjected to hardness testing, microscopic examination and surface wear testing after simple cooling or deep cooling and triple high temperature tempering after austenitisation in a vacuum at elevated temperature. Based on the measurements, the deep cooled and triple tempered K340 steel was found to be the most favourable tool steel for the production of the tube flanging tool.

Keywords: tool steel, tube flanging, heat treatment, wear resistance, microstructure.

Összefoglalás

A csőperemező gép egyik legfontosabb eleme a peremezőszerszám, amely számos mechanikai igénybevételnek van alávetve, mint például nyomó, hajlító és koptató, ezért nagyon fontos a peremezőszerszám optimális anyagának és gyártási technológiájának megválasztása. Kutatásunk tárgyaként a Böhler K110, illetve K340 szerszámacél minőséget választottuk. Mindkét anyagból gyártottunk csőperemező szerszámokat, melyeken – vákuumban való emelt hőmérsékleten történt ausztenítésítést követően egyszerű hűtés, illetve mélyhűtés és háromszori, nagy hőmérsékletű megeresztés alkalmazása után keménységvizsgálatot, mikroszkópos vizsgálatot és felületi kopásvizsgálatot végeztünk. A mérések alapján a mélyhűtéssel gyártott K340 acél bizonyult a legkedvezőbb szerszámacél-alapanyagnak a csőperemező szerszám gyártásához.

Kulcsszavak: szerszámacél, csőperemezés, hőkezelés, kopásvizsgálat, szövetszerkezet.

1. Bevezetés

A napjainkban használatos csőkarimák igen hosszú múltra tekintenek vissza, és az új gyártási technológiák megjelenésével sok, korábban ismert gyártási módszert szorítottak háttérbe (például: vak- és menetes karimák), illetve ezzel egy időben – mint minden más területen is – kialakult a szabványosítás iránti igény a felcserélhetőség érdekében. Karimák segítségével csatlakoztat-

ják ugyanis a csővezetékekhez a berendezéseket (szivattyúk, szelepek stb.) vagy további csőveket, és alkalmazásuk nagyban könnyíti a későbbi szerelés vagy javítás esetén a csővekhez való hozzáférhetőséget, ha a rendszeren belül szükséges javítást orvosolni. Ezen kialakítás szükséges, amennyiben nagy nyomás alatt üzemelő berendezéseket és vezetékeket terveznek. A karimák készítéséhez rentábilis szerszámra van szükség,

hiszen a technológia sokrétű felhasználása fémjelzi, hogy annak tömeggyártása költséghatékony módon kell történnjen, mégsem mehet az a szerzőszám élettartamának rovására.

Az újítás mellett és a hegesztés ellen szólnak azon ismeretek is, miszerint a hegesztéssel kialakított kötés környezete könnyen és gyakran hamar korrodálódik [1–3], továbbá hegesztés során a hőhatásövezetben a szemcseméret eldurvulhat, s ezáltal romlanak az anyag mechanikai tulajdonságai [4]. Az ez ellen való kíváncsi pedig – legfőképp biztonságossága és fenntarthatósága érdekében – alapvetéssé avanzsált.

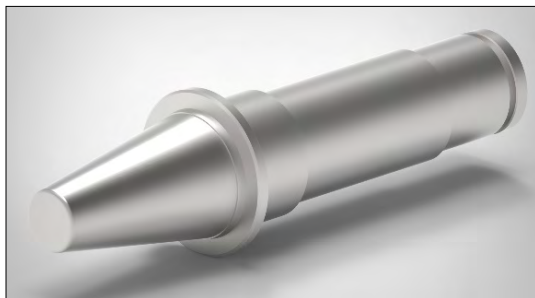
Ezeknek tudatában és a folyamatos piaci igények felmérése mentén – a '60-as évektől ismertté vált a T-Drill cég, mely csőmegmunkáló gépekkel és azok gyártásával foglalkozik – alkották meg a hidegalakítással történő mélyhúzási módszert. A modern hidegalakítással működő csőperemező technológia egy olyan műszaki eljárás, mely – szemben a hagyományos hegesztéses módszerrel – több mint 40%-kal csökkenti a gyártási időt és annak költségeit.

Ez a technológia minimálisra redukálja a hegesztés szükségességét, és minőségi ugrást jelent, főleg az élelmiszeriparban alkalmazott rendszerek esetében, mivel a csővezetékben szállított közeg már nem találkozik a szennyezőket tartalmazó varratgyökkel, és az ezzel elért minőség megfelel a higiéniai elvárásoknak.

E vívmány mentén felvetődött a kérdés: hogyan lehetne a csövek karimáját más módon kialakítani? A felmerülő kérdéskör megválaszolásával nagy technológiai újítást alkotott meg a T-Drill, azonban elsődlegesen könnyűfémek peremezése volt a feladata. Az újítás megfelelt egészen addig, amíg kis átmérővel, kis nyomásokkal kellett megbirkózni, ám ezzel párhuzamosan szükségessé vált a további kutatás és fejlesztés, mely a nagyobb átmérő- és nyomásértékeknek is (a színesfémekhez képest fenntarthatóbb) megfelelni képes acélcsövek peremezésének módjait vizsgálja és teszi lehetővé.

Mindezek mentén alakult ki a napjainkban ismeretes és világszerte elterjedt technológia: a hidegalakítás csőperemezés. Ennek elengedhetetlen eszköze és szerszáma a csőperemező gép, melynek fontos része a csőperemező szerszám (1. ábra).

A peremezőszerszám használata során nyomó, koptató és hajlító igénybevételnek van kitéve, melyek csökkentik a szerszám élettartamát, ezáltal növelve a szerszámcsere gyakoriságát. Ez nemcsak több peremezőszerszámmra való igényt jelent,



1. ábra. Csőperemező szerszám

hanem kihívást is támaszt a szerszámgyártóknak. E jegyek ismeretében választottuk a Böhler K110 és K340-es jelölésű szerszámacélokat.

Mindkét acélminőség ideális a kívánalmaknak való megfelelés és ár/érték arány tekintetében, ám a hőkezelések jelentősen befolyásolják az acélok szövetszerkezetét [5, 6] és ezáltal kopási viselkedését [7, 8]. Gavriljuk és társai [9] a mélyhűtés hatását vizsgálta a martenzítatalakulásra, Das és társai [10] a karbidkiválásokat tanulmányozta hasonló hidegalakító szerszámacéloknál. További kutatók [11, 12] a mechanikai tulajdonságok változásával, mások [13, 14] a mélyhűtés kopási tulajdonságokra gyakorolt hatásával foglalkoztak. Vizsgálatainkhoz először K110 és K340 anyagon nagy hőmérsékletű edzést és háromszori, nagy hőmérsékletű megeresztést alkalmaztunk, majd K340 anyagminőségű mintát nagy hőmérsékletű edzés, mélyhűtés és háromszori, nagy hőmérsékletű megeresztést követően is vizsgáltuk. Vizsgálataink Rockwell-keménységmérés, koptató- és Charpy-féle ütővizsgálat, valamint fénymikroszkópos szövetszerkezeti vizsgálat voltak.

2. Alkalmazott anyagok, eszközök és eljárások

A K110-es nagy szén- és krómtartalmú hidegalakító szerszámacél jó szívóssággal és – a karbidképzők jelenlétének hatására – kiváló kopásállósággal is jellemezhető. Ajánlott alapanyaga a hidegalakító hengerek szerszámainak. A Böhler K110-es minőség számjele 1.2379, acélminőségjele X153CrMoV12, AISI-jelölése D2.

A K340 Isodur olyan univerzális hidegalakító szerszámacél, mely jó nyomószilárdsággal, kopásállósággal és kiváló szívóssággal bír, valamint csekély a hőkezeléskori méretváltozása. Elektroszalagos átolvasztással gyártják, így nagy tisztaságú, valamint kedvező a dermedési struktúrája amellet, hogy a gyártási technológiájából eredően kismértékű a nemfémes zárvány jelenléte.

Azért választottuk ezeket a minőségeket, mivel az elérhető tulajdonságaik megfelelnek a szerszámunk anyagával szemben támasztott követelményeknek. A K110-es és K340-es próbatestünk összetételét az **1. táblázat** szemlélteti [4].

Az anyagok szállítási állapotában mért keménységek 210–220 HB között mozogtak, tehát jól forgácsolhatók. Rúd alapanyagainkból – forgásszimmetrikus gyártmányról lévén szó – esztergálással készítettünk peremezőszerszámokat. Hőkezeléshez IU72/1F 2Rv 60×60×40 10 bar-os, CP Schmetz-típusú vákuumkemencét használtunk, amelynek üzemi hőmérséklet-tartománya –150°C-tól 1300 °C-ig terjed, így ezzel végeztük el az edzést, a mélyhűtést és a megeresztést is (**2. ábra**).

A K340-es minőség esetében kétféle hőkezelési technológiát alkalmaztunk. Első esetben nagy hőmérsékletről (1060 °C) edzést és háromszori, nagy hőmérsékletű megeresztést (545, 555, 535°C), második esetben az edzést követően folyékony nitrogénnel történő mélyhűtést (–150 °C) alkalmaztunk, amit háromszori, nagy hőmérsékletű megeresztés (545, 555, 535 °C) követett. A mélyhűtés alkalmazása mellett azért döntöttünk, mivel ezzel az eljárással csökkenthető szinte nulla a maradék ausztenit mennyisége, mely ellenkező esetben jelenlétével káros hatást gyakorol az anyagra, ugyanis inhomogenitást és feszültségeket okoz. A mélyhűtéssel készült szerszám hőkezelését a **3. ábra** szemlélteti.

A K110-es szerszámacél hőkezelésének menetét a **4. ábra** szemlélteti.

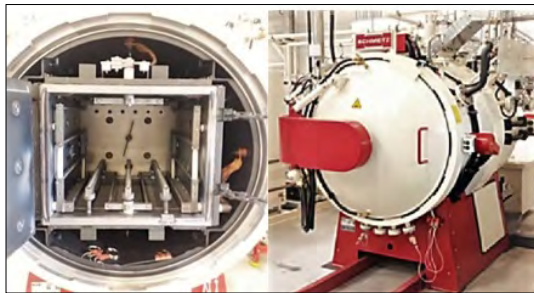
3. Mérési eredmények

A hőkezelések után keménységméréseket végeztünk egy Ernst AT-130 keménységmérő berendezéssel, aztán kész méretre köszörültük a szerszámokat. A roncsolásos vizsgálatra szánt próbatestekből kimunkáltuk a koptatóvizsgálathoz szükséges mintákat. A koptatóberendezés képe az **5. ábrán** látható.

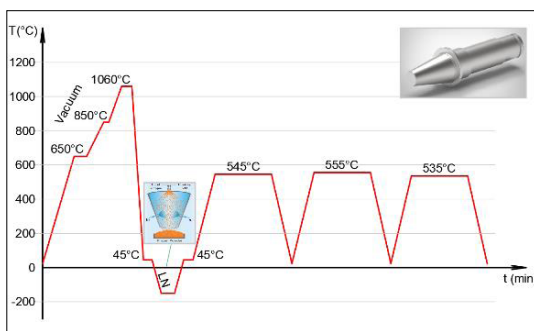
A vizsgálat során 20 mm átmérőjű, alumínium-oxid anyagú, polírozott felületű kerámiagolyókat alkalmaztunk. A mérések időtartama 10 perc, a fordulatszám 570 fordulat/perc volt minden esetben.

1. táblázat. A K110 és a K340 jelű acélok vegyi összetétele

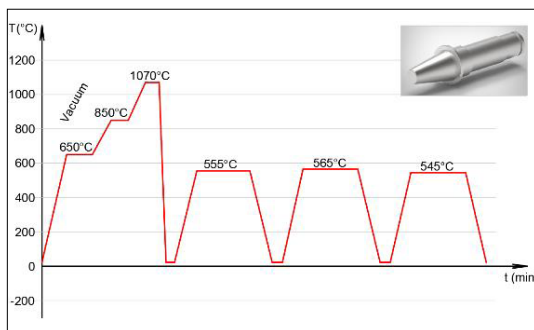
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
K110	1,55	0,30	0,30	11,30	0,75	0,75
K340	1,10	0,90	0,40	8,30	2,1	0,5



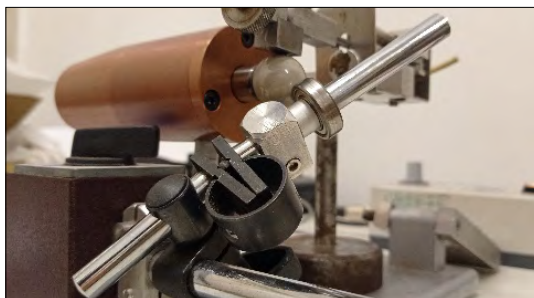
2. ábra. Vákuumos hőkezelő kemence



3. ábra. A K340-es mélyhűtött szerszám hőkezelési diagramja



4. ábra. A K110-es szerszámacél hőkezelési diagramja



5. ábra. A koptatóberendezés

A koptatott lenyomatok átmérőit Olympus DSX1000 mikroszkóppal mértük meg. A 6. ábrán egy koptatott darab fényképe látható.

A kopás mérőszámaként a kopási tényezőt (K) vettük, mely a terhelőerő (N), kopási térfogat (V_v) és a kopási úthossz (S) ismeretében számítható. A számításokat az alábbi képletek alapján végeztük.

$$K = \frac{V_v}{S \cdot N}, \quad (1)$$

ahol a kopási térfogat a gömbsüveg mélységéből (h) és a kopásnyom átmérőjéből vezethető le (2).

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

A létrejött gömbsüveg mélységét a koptatógolyó sugarából (R) és a kopási lenyomat átmérőjéből ($d = 2R$) számítjuk (3).

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

Továbbá a kopási úthossz meghatározható a koptatógömb sugarának és annak fordulatszámának (n) ismeretében (4)

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

A mért értékek alapján megállapítható, hogy a leginkább kopásálló minőségnek a K340 mélyhűtéssel hőkezelt bizonyult. A keménységmérési eredményeket és a kapott kopási tényezőket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A különböző hőkezeltségű minták kopási tényezőit a 7. ábra szemlélteti.

A kopás feltehetőleg a szövetszerkezettel áll összefüggésben. A szövetszerkezeti vizsgálatok érdekében a mintákat műgyantába ágyasztuk, csiszoltuk, políroztuk, majd 2%-os Nitallal maratuk, végül Neophot 2-es mikroszkóp segítségével vizsgáltuk.

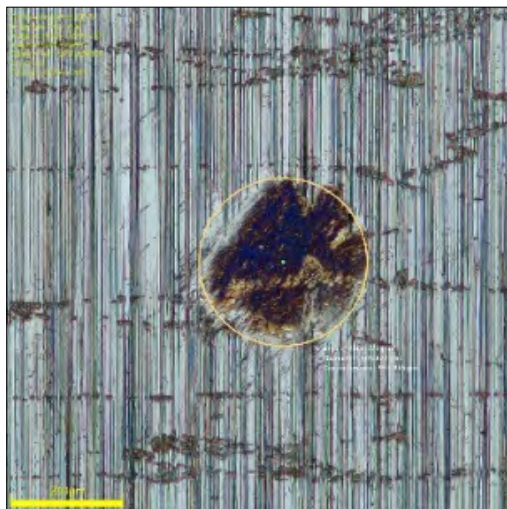
Mivel a Nital a karbidokat sem és az ausztenitet sem marja, különböző nagyításokban vizsgálható volt a szerszámacélokban jelen lévő karbidok megjelenési formája, azok eloszlása, illetve a karbidokat körülölelő mátrix jellegzetessége.

Relatív kis nagyításban vizsgálva a mintákat a K110 acél karbidhálós struktúrát mutat (8. ábra), miközben a K340-es minőségénél ez annyira jellemző, mivel ezt az acélt elektroszalakos átolvasztással gyártották.

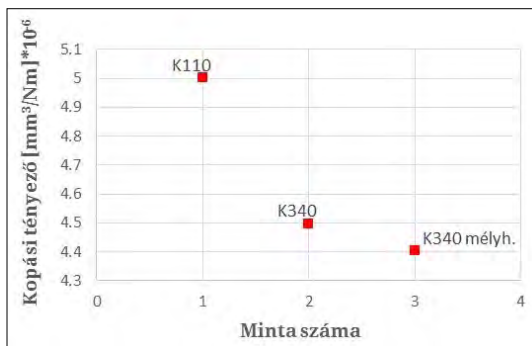
Mindegyik anyagnál jellemzően kissé nagyobb méretű, töredezett karbidokat láthatunk az eredeti szemcsehatárokon (8. ábra), míg a mátrixban már jóval finomabbak és legömbölyödöttek a karbidok. Mindegyik acélnál a szemcsék mérete

2. táblázat. Mérési eredmények

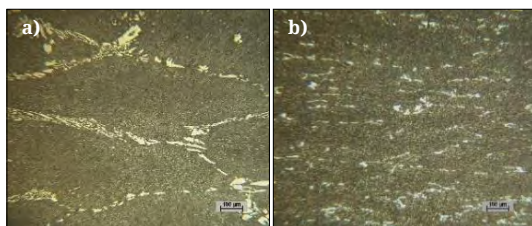
Minta	Keménység, HRC	Kopási tényező (K) (mm^3/Nm)
K110	60	05,00E-08
K340	59	04,49E-08
K340 mélyhűtött	60	04,40E-08



6. ábra. A koptatás során létrejött lenyomat



7. ábra. A vizsgált minták kopási tényezői



8. ábra. Az acélok karbideloszlása Nital 2%,
a) K110, b) K340 acél

20 μm körüli. A K110 acél mátrixában pálcikaszerű karbidok mellett finom, gömbszerű karbidokat is láthatunk, míg a K340 acél mátrixában jellemzően gömbszerűen jelennek meg a karbidok (9. ábra).

A fénymikroszkópos vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy 1060 °C-on ausztenitesítve a K340 acélmintát és hagyományos körülmény között hűtve, majd háromszor megeresztve, a finom szerkezetű mátrixban fellelhető még a maradék ausztenit, míg ha az edzés mélyhűtéssel végződött és ezt követte a háromszoros megeresztés, 1000-szeres nagyításban nem mutatható ki maradék ausztenit (10. ábra). A felvételeken jól látható, hogy a nem maródó karbidok gömbszerűek, míg a megeresztett martenzit között még fellelhető maradék ausztenit a nem mélyhűtött mintánál szögletes.

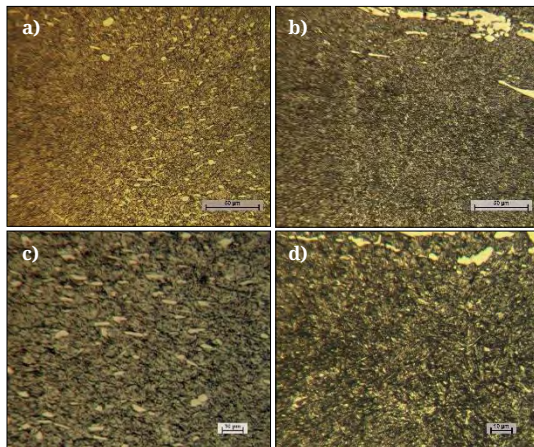
4. Következtetés

A K110-nek jók a kopási tulajdonságai és a keménysége, viszont a mikroszkópos szövetszerkezeti vizsgálat azt bizonyítja, hogy karbidhálós a szerkezete, míg az átolvasztott anyagnál ez nem jellemző. A K340-es acélnál az elektrosalakos átolvasztás eredményeképp szövetszerkezetében homogénebb, finomabb és egyenletesebb karbideloszlást láthatunk. A K340-es, mélyhűtött minta szövetszerkezetében jellemzően a maradék ausztenit nem lelhető fel, így a darabunkban a hőkezelés utáni méretváltozás nem feltételezhető, és élettartama várhatóan meghaladja az előző két mintadarabét. A mélyhűtött és háromszor megeresztett K340-es acél kopással szembeni legjobb ellenállása a homogén karbideloszlásnak és a teljesen átalakult szövetszerkezetnek köszönhető.

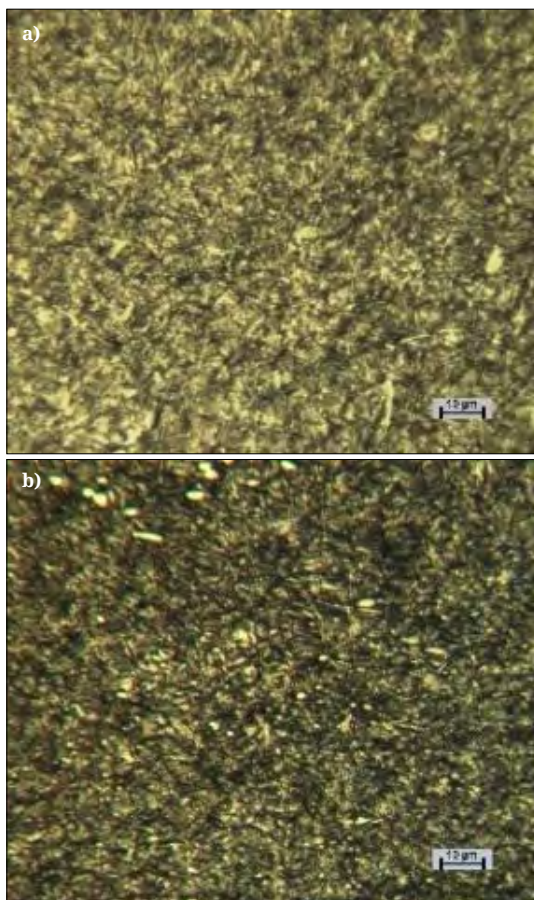
Tehát az általunk választott csőperemező szerszám alapanyagának a nagy hőmérsékletéről nitrogén védőgázban edzett, mélyhűtött és háromszor nagy hőmérsékleten megeresztett, K340-es anyagminőségű szerszámacél tűnik a legmegfelelőbbnek. Remélhetőleg a gyakorlati tapasztalat is ezt támasztja majd alá.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Magyar Államnak és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak a támogatásért a TÉT-2019-00093. számú projekt megvalósításában, valamint az Európai Uniónak a 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00081. számú projekt támogatásáért.



9. ábra. A mátrix jellegzetessége hasonlóan hőkezelt acélok nál. Nital 2%
a) K110, b) K340, c) K110, d) K340 acél



10. ábra. Maradék ausztenit a K340 acélok mátrixában; a) hagyományosan hőkezelt minta, b) mélyhűtéssel hőkezelt minta

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Fábíán E. R., Kuti J., Gáti J., Tóth L.: *Corrosion Behavior of Welded Joints in Different Stainless Steels*. Revista De Chimie, 2020. 440–449.
<https://doi.org/10.37358/RC.20.3.8018>
- [2] Kovács T., Pinke P., Széll K.: *Vékony lemezek hegesztés technológiájának tervezése/Welding Processes Specification of thin Sheets*. Abstracts Book of 10th International Engineering Symposium at Bánki, 2018. 51.
- [3] Dadfar M., Fathi M.H., Karimzadeh F., Dadfar M. R., Saatchi A.: *Effect of TIG welding on corrosion behavior of 316L stainless steel*. Materials Letters, 61. (2007) 2343–2346.
- [4] Kovács-Coskun T., Pinke P., Bitay E.: *A szemcseméret és a mechanikai tulajdonságok kapcsolatának vizsgálata hegesztett varratoknál*. Műszaki Tudományos Közlemények, 1. (2014) 125–130.
<https://doi.org/10.33895/mtk-2014.01.11>
- [5] Tóth L., Fábíán E. R., Huszák Cs.: *Heat treatment Effects on Properties of K110 Böhler Steel*. Abstracts Book of 10th International Engineering Symposium at Bánki, 2018. 85.
- [6] Tóth L., Uri Szabó D.: *A mélyhűtés hatásai a szerzőszámacélok tulajdonságaira/The effects of the cryogenic treatment on the tool steel properties*. XXIX. Hőkezelő és Anyagtudomány a gépgyártásban Konferencia, 2020. 1–7.
- [7] Fábíán E. R., Tóth L., Huszák Cs.: *Examination of Heat Treatment on the Microstructure and Wear of Tool Steels*. Acta Materialia Transylvanica, 2/2. (2019) 87–92.
<https://doi.org/10.33924/amt-2019-02-04>
- [8] Kovács T. A., Mhatre U., Nyikes Z., Bitay E.: *Surface Modification Innovation for Wear Resistance Increasing*. Iop Conference Series: Materials Science and Engineering, (2019) 613.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/613/1/012039>
- [9] 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>
- [10] 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>
- [11] 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, 118/1–3. (2001) 350–355.
[https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(01\)00973-6](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(01)00973-6)
- [12] Das D., Sarkar R., Dutta A. K., Ray K. K.: *Influence of sub-zero treatments on fracture toughness of AISI D2 steel*. Materials Science and Engineering A, 528/2. (2010) 589–603.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.057>
- [13] Das D., Dutta A. K., Ray K. K.: *Sub-zero treatments of AISI D2 steel: part II. Wear behavior*. Materials Science and Engineering A, 527/9. (2010) 2194–2206.
<https://doi.org/10.1016/j.msea.2009.10.071>
- [14] 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>