

# A MARADÉK AUSZTENIT MENNYISÉGÉNEK CSÖKKENTÉSE SZERSZÁMACÉLOK ESETÉBEN

## REDUCTION OF RETAINED AUSTENITE IN TOOL STEELS

Tóth László

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

### Abstract

Tools are devices for machining materials which must have different properties depending on their intended application. These properties are determined by the chemical composition and microstructure of the tool steel. The desired steel microstructure can be achieved with suitable heat treatment technology. During this heat treatment, the microstructure of the tool steel may develop various lattice structural transformations which in turn can cause internal stresses, cracks and distortions. One possible reason for these undesirable results may be the retained austenite. These effects are most pronounced in tool steels. In this study, the possibilities for reducing the amount of residual austenite during the heat treatment of tool steel is investigated.

**Keywords:** tool steel, heat treatment, retained austenite, high tempering temperature, subzero treatments.

### Összefoglalás

A szerszámok az anyagok megmunkálására szolgáló eszközök, melyeknek a felhasználásnak megfelelően különböző tulajdonságokkal kell rendelkezniük. E tulajdonságokat a szerszámacél vegyi összetétele és a szövetszerkezete határozza meg. Egy adott összetételű acél szövetszerkezetét a megfelelő hőkezelésekkel tudjuk elérni. A hőkezelési műveletek során a szerszámacél különböző fázisátalakulásokon mehet keresztül, melyek az alkatrészben belső feszültségeket, alakjára nézve pedig vetemedéseket, torzulásokat okozhat. E káros folyamatok egyik oka a hőkezelések során az anyag belsejében keletkezett maradék ausztenit lehet. A maradék ausztenit káros hatása leginkább a szerszámacélok esetében figyelhető meg. Tanulmányomban vizsgáltam a maradék ausztenit mennyiségének csökkentési lehetőségeit szerszámacélok hőkezelése során.

**Kulcsszavak:** szerszámacél, hőkezelés, maradék ausztenit, megeresztés, mélyhűtés.

### 1. Bevezetés

A szerszámacélok szabályozott összetételű, erősen ötvözött nemesacélok, melyek kifejlesztésénél arra törekednek, hogy olyan tulajdonságokat lehessen kihozni belőlük, hogy különböző anyagok megmunkálására és alakítására alkalmasak legyenek [1, 2]. A szerszámacélok karbontartalma 0,1-től 2,0%-ig változhat. Különböző ötvözőelemeket tartalmazhat, mint pl. Cr, Mo, V, W, Co, Ni, de mikroötvözőként jelen lehet pl. a Nb is. A szerszámacélok felhasználásuk alapján az alábbiak szerint csoportosítják: hidegalakító szerszámacélok, melegalakító szerszámacélok, műanyagforma acélok, gyorsacélok. E csoportok anyagai más-

más tulajdonságokkal kell, hogy rendelkezzenek, pl. a hidegalakító szerszámok nagy keménységet, éltartóságot, kopásállóságot, de bizonyos esetekben még jó szívósságot is kell, hogy biztosítsanak. A melegalakító szerszámacélok, mivel tartósan 200 °C fölötti hőmérsékleten üzemelnek, még jó melegszilárdsággal, melegszívóssággal, melegkopás-állósággal és jó megeresztésállósággal is kell rendelkezniük. E tulajdonságok eléréséhez a megfelelő ötvözőelemek összehangolása mellett kulcsfontosságú a minőségi hőkezelési technológia alkalmazása [3, 4, 5].

A szerszámacél alapanyag a szerszám gyártását megelőzően lágyított hőkezelési állapotban van,

ami azt jelenti, hogy szövetszerkezetileg egyensúlyi állapotú. Szerszámgyártás során belső feszültségek keletkeznek az anyag belsejében, melyeket feszültségcsökkentő hőkezeléssel lehet orvosolni. Ezt a következő hőkezelési műveletek előtt mindenképp érdemes elvégezni, mivel az edzés során végbemenő szerkezeti átalakulások is feszültségeket produkálnak az anyag belsejében, és ha ezek összeadódnak az előző műveletek során keletkezett feszültségekkel, repedésekhez vagy szerzámtöréshez is vezethetnek.

Az edzés ausztenitesítésből és a kritikus hűtési sebességnél gyorsabb hűtésből áll. Az ausztenitesítés lépcsős hevítésből áll az ausztenitesítés hőmérsékletére, és hőtartásból a homogén ausztenit kialakulásáig. A hevítési sebesség, az ausztenitesítési hőmérséklet és a hőtartási idő pontos megtervezése nagyon fontos paraméterek, mivel ezek együttesen befolyásolják a kialakult ausztenit szemcseméretét és homogenitását. Az ausztenit szemcsemérete azért fontos, mert meghatározó lehet a belőle kialakuló fázisok, illetve szövetelemek méreteire, amelyek viszont befolyásolják a termék tulajdonságait. A nem helyesen meghatározott paraméterek nagymértékben hozzájárulnak a maradék ausztenit mennyiségének növeléséhez [6, 7, 8].

Egy másik tényező, mely a maradék ausztenit mennyiségét meghatározza, az a martenzites átalakulás kezdeti ( $M_s$ ) és befejezési hőmérséklete ( $M_f$ ), ami a szerszámacél szénttartalmától és vegyi összetételétől függ [9]. Mivel a szerszámacélok általában nagy szénttartalmú, erősen ötvözött acélok, az ausztenit-martenzit átalakulási hőmérsékletük kicsi: hidegalakító acélok, gyorsacélok, illetve porkohászati szerszámacélok esetében általában 180°C alatti, ami azt jelenti, hogy a martenzites átalakulás befejezési hőmérséklete szobahőmérséklet alatti, tehát a maradék ausztenit jelenléte elkerülhetetlen.

A maradék ausztenit a legnagyobb okozója az anyagban keletkező feszültségeknek, mivel sűrűség-, illetve térfogatváltozást idéz elő. A szerszámgyártás során az acél belsejében háromféle feszültség keletkezik: megmunkálás okozta feszültség, mely csökkenthető az edzés előtti feszültségcsökkentő hőkezeléssel, hő okozta feszültség, melyet felfűtés, illetve lehűtés során az anyag keresztmetszetétől függően a hőmérsékleti eltérés okoz (hőntartási lépcsők alkalmazásával csökkenthető), illetve a hőkezelések (edzés) során végbemenő fázisátalakulások okozta térfogatváltozás miatti feszültségek. Edzés után háromféle fázis képződhet: a ferrit, a martenzit és a mara-

dék ausztenit. Ezek mind más térfogatúak. Azért, hogy a feszültségek nagyobb kárt, például repedést vagy törést ne okozzanak, edzés után mielőbb meg kell eresztetni a szerzámot [10, 11].

Megeresztés során a martenzit elbomlik, de a maradék ausztenit egy része martenzitté alakul, miközben a megeresztési hőmérséklet függvényében az acél keménysége csökken. A karbidképző ötvözőket tartalmazó acéloknál nagy hőmérsékletű edzés alkalmazása esetében a második megeresztést nagy hőmérsékleten végezhetjük, ami karbidkiválást eredményezhet, ez pedig ún. szekunder keményedéshez vezet, beállítva a végső keménységet. Ez esetben a martenzit szferoidizálódik, a maradék ausztenit átalakul martenzitté. A kivált, diszperz, másodlagos karbidok homogenebbé teszik a szövetszerkezetet, és szívós anyagot eredményeznek. Egy harmadik megeresztés alkalmazásával már minimálisra csökkenthető a maradék ausztenit mennyisége és a szerszám feszültségi állapota.

A maradék ausztenit minimalizálására azonban a leghatékonyabb eljárás a mélyhűtés. A mélyhűtés során a szerszám hűtése nem áll meg normál hőmérsékleten, hanem valamilyen hűtőközeg segítségével negatív hőmérsékleteken folytatódik [12, 13, 14].

Erre többféle módszer terjedt el. Az egyik az, amikor a lehűlt anyagot kiveszik az edzőkemencéből, és egy hideg kamrába teszik, amelybe nitrogéngőzt fúvatnak be, lehűtve így a légtér mínusz 80°C-ra.

Egy másik módszer a „cool plus”-technika, amikor a lehűtés az edzőkemencében folytatódik, úgy, hogy folyékony nitrogént fecskendeztetnek be a kemence kamrájába, lehűtve így a munkadarabot mínusz 150°C-ig.

A harmadik módszer az, amikor a mínusz 196°C-os folyékony nitrogénbe helyezve történik a mélyhűtés.

Mélyhűtés hatására növekszik a szekunder karbidok kiválása, diszperz, homogén eloszlásként javítva ezáltal a munkadarab szívósságát, és természetesen befejeződik az ausztenit martenzites átalakulása, biztosítva ezáltal a termék méretretartóságát.

Tanulmányomban az Uddeholm Sverker 21-típusú, nagy karbon- és króm-tartalmú hidegalakító szerszámacélon végeztem vizsgálatokat. A vizsgálandó próbatételeket háromféle hőkezelésnek vettem alá, keménységmérési vizsgálatokat végeztem minden hőkezelési művelet után, és optikai mikroszkóp segítségével vizsgáltam a különböző szövetszerkezeteket.

## 2. Az alkalmazott anyagok, eszközök és módszerek

Az Uddeholm Sverker 21 hidegalakító szerszám-acél lédeburitos szerkezetű, nagy szénttartalmú, Cr, Mo és V karbidképző ötvözőket tartalmazó alapanyag, melynek kiváló a kopásállósága, nyomószilárdsága, átedzhetősége és a megeresztésállósága. Jól nitridálható vagy karbonitridálható. Felhasználják hajlító-, mélyhúzó, lyukasztó-, kivágószerszámok gyártására, de kés és pénzverő szerszám alapanyaga is lehet. Az edzés utáni keménysége elérheti a 64 HRC-t is. A gyakorlatban a megeresztés után a szokásos használati keménysége 54–60 HRC.

A próbatest pontos vegyi összetételét Hitachi PMI spektrométerrel (1. ábra) elemeztük. A vizsgált Sverker 21-szerszám-acél vegyi összetételét az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat. A Sverker 21-jelű acél vegyi összetétele (tömegrészarány, %)

|            | C    | Si   | Mn   | Cr    | Mo   | V    |
|------------|------|------|------|-------|------|------|
| Sverker 21 | 1,56 | 0,33 | 0,39 | 11,28 | 0,78 | 0,76 |

A próbatest alapanyaga lágyított hőkezelési állapotban volt, keménységét HPO 250-típusú (2. ábra) gépen mértem, mely átlagos értéke 212 HB lett.

A hőkezeléseket IU72/1F 2RV 10bar CP-típusú Schmetz-vákuumkemencében (3. ábra), illetve Muhel-típusú (4. ábra), nitrogén-védőgázos megeresztőkemencében végeztem.



2. ábra. HPO 250-típusú keménységmérő



3. ábra. Vákuumkemence



1. ábra. HITACHI spektrométer



4. ábra. Megeresztőkemence

Edzés és megeresztés után a keménységet Rockwell C-módszerrel mértem, ERNST AT 130D-típusú keménységmérő gépen (5. ábra).

A célnak megfelelően előkészített próbatestek mikroszkópos vizsgálatait Olympus DCX1000 (6. ábra) optikai mikroszkóp segítségével végeztem.

A próbatesteken háromféle hőkezelést alkalmaztam. Az edzéseket a Schmetz-típusú vákuumkemencében míg a megeresztéseket a Muhel-típusú, nitrogén-védőgázos kemencében hajtottam végre. Első esetben kis hőmérsékletű (1020 °C) edzést és kis hőmérsékletű (190 °C) megeresztést, második esetben nagy hőmérsékletű (1075 °C) edzést és háromszori, nagy hőmérsékletű megeresztést (525, 535, 515 °C) (7. ábra), míg harmadik esetben nagy hőmérsékletű edzést (1075 °C) követően folyékony nitrogénnel történő mélyhűtést (minusz 150 °C) (8. ábra) alkalmaztam, amit háromszori, nagy hőmérsékletű megeresztés (525, 535, 515 °C) követett (2. táblázat).

A háromszorosan nagy hőmérsékleten megeresztett minta hőkezelési diagramját a 7. ábra szemlélteti.

2. táblázat. Hőkezelési paraméterek

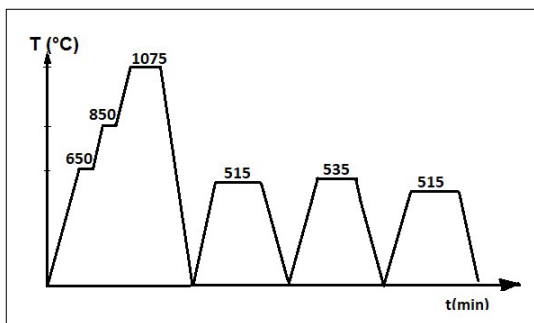
| Próbatest | Auszténítésítés (°C/min)    | Mélyhűtés (°C/min) | Megeresztés (°C/min)          |
|-----------|-----------------------------|--------------------|-------------------------------|
| 1         | 650/15<br>850/15<br>1020/20 | -                  | 190/120                       |
| 2         | 650/15<br>850/15<br>1075/20 | -                  | 525/120<br>535/120<br>515/120 |
| 3         | 650/15<br>850/15<br>1075/20 | -<br>150/50        | 525/120<br>535/120<br>515/120 |



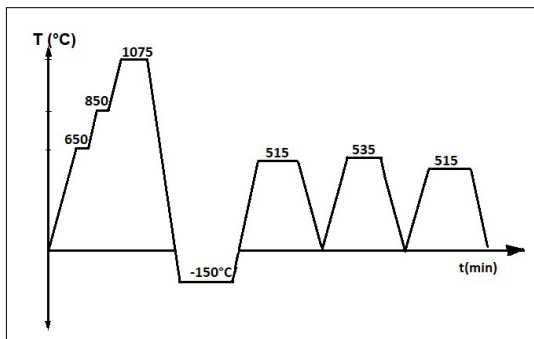
5. ábra. Rockwell C-keménységmérés



6. ábra. Olympus DCX 1000 optikai mikroszkóp



7. ábra. A 2-es számú minta hőkezelési diagramja



8. ábra. A 3-as számú minta hőkezelési diagramja

### 3. Mérési eredmények

A hőkezelések közben és után keménységméréseket végeztem. A keménységmérések eredményeit a 3. táblázat szemlélteti.

A keménységmérési vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a 2-es és 3-as számú próbatestek keménységi értékei kisebbek, mint a kis edzési hőmérsékleten végzett 1-es próbatesté. Ez annak tulajdonítható, hogy a nagy hőmérsékleten végzett edzés után a primer króm-, molib-



### 3. táblázat. Keménységmérési eredmények

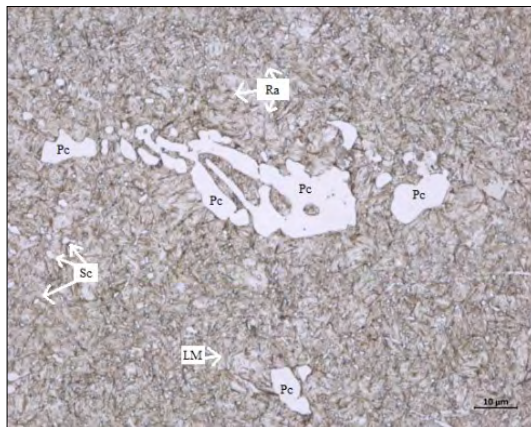
| Próbatest | Lágyítva (HB) | Edzés után (HRC) | Megeresztések után (HRC) |
|-----------|---------------|------------------|--------------------------|
| 1         | 212           | 62               | 60                       |
| 2         | 212           | 61               | 60                       |
| 3         | 212           | 61               | 60                       |

dén-, vanádium-karbidok és ezek komplex karbidjainak egy része oldatba ment, illetve több a maradék ausztenit mennyisége.

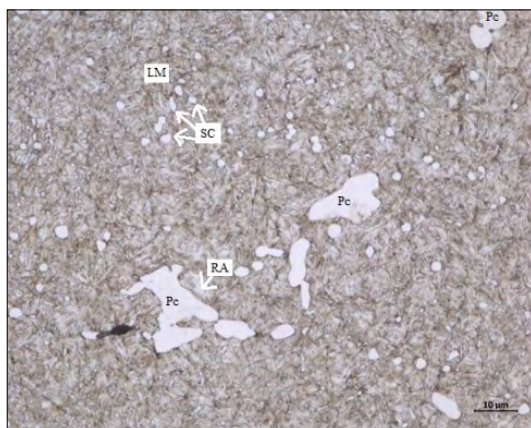
A csiszolással, polírozással és 2%-os Nital-oldattal előkészített próbatestek szövetszerkezeti képeit a 9.a–c ábrák szemléltetik. A 9.a ábrából kitűnik, hogy a kis hőmérsékleten edzett és kis hőmérsékleten megeresztett szerszámacél szövetszerkezetében elég nagy a primer karbidok mennyisége, nagyságuk eléri a 60  $\mu\text{m}$ -t, a maradék ausztenit mennyisége pedig eléri a 8–10%-ot. A nagy hőmérsékleten edzett, illetve háromszor nagy hőmérsékleten megeresztett, 2-es számú próbatest szövetszerkezeti képe azt mutatja, hogy a maradék ausztenit egy része átalakult megeresztett martenzitté, illetve a primer karbidok mennyisége és nagysága több mint felére csökkent, viszont láthatók a nagy megeresztési hőmérsékleten az oldatból kivált, apró, szekunder karbidok. A 9.c. ábra a nagy edzési hőmérsékletről –150 °C-ig hűtött és nagy megeresztési hőmérsékleten háromszor megeresztett, 3-as számú próbatest mikroszkópos képét mutatja 1000-szeres nagyításba. Itt látható, hogy a mélyhűtéssel a maradék ausztenit mennyisége minimálisra, 1% körülire csökkent, és szövetszerkezetét a finom, diszperz szekunder karbidok jellemzik.

### 4. Következtetés

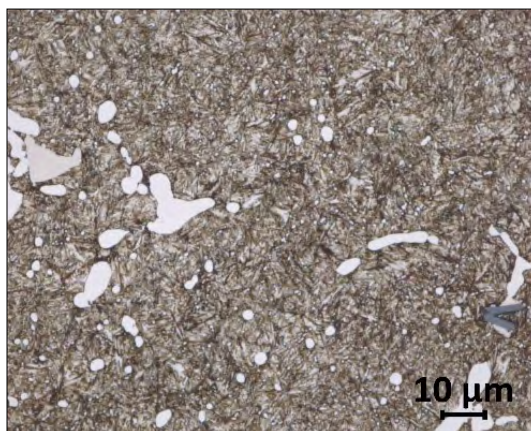
A Sverker 21-típusú, lédeburitos szövetszerkezetű hidegalakító szerszámacélnak jók a kopási tulajdonságai és a keménysége; a belőle készült szerszámoknál a megfelelő hőkezelési technológia alkalmazásával jó szívósságot és mérettartósságot lehet elérni. A kis hőmérsékletű edzés és egyszeri megeresztés után jó keménységi értéket kaptam, viszont a szövetszerkezet inhomogenitást mutatott: nagy méretű primer karbidok jelenléte mellett sok maradék ausztenit és martenzites szövet jellemezte. A 2-es próba, mely nagy hőmérsékleten volt ausztenitesítve és háromszor nagy hőmérsékleten megeresztve, szövetszerkezetében kisebb, homogénebb, egyenletesebb karbideloszlást láthatunk. A maradék ausztenit mennyisége is 4% körülire csökkent, és végső keménysége



9.a. ábra. Az 1-es számú próbatest mikroszkópos képe



9.b. ábra. A 2-es számú próbatest mikroszkópos képe



9.c. ábra. Az 3-as számú próbatest mikroszkópos képe

is megfelelő lett. A 3-as minta mélyhűtve volt, a mélyhűtés hatására még diszperzebb, finomabb szekunder karbidok jelentek meg a szövetszerkezetben, és a maradék ausztenit szinte nem is észlelhető; így a hőkezelés utáni méretváltozás nem feltételezhető. Ezzel a hőkezelési technológiával érhető el ennek az összetételű anyagnak a legjobb szívóssági tulajdonsága, valamint az ebből gyártott termék leghosszabb élettartalma.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a támogatásért a magyar államnak és a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak a TÉT-2019-00093 számú projekt megvalósításában.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Swamini A. Chopra, V.G. Sargade: *Metallurgy behind the Cryogenic Treatment of Cutting Tools: An Overview*. 4<sup>th</sup> International Conference on Materials Processing and Characterization. Materials Today: Proceedings, 2/4–5. (2015) 1814–1824.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.119>
- [2] Daniel Tobola, Witold Brostow, Kazimierz Czechowsky, Piotr Rusek: *Improvement of Wear Resistance of Some Cold Working Tool Steels*. Wear, 382–383 (2017) 29–39.  
<https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.03.023>
- [3] A. Oppenkowski, S. Weber, W. Theisen: *Evaluation of Factors Influencing Deep Cryogenic Treatment That Affect the Properties of Tool Steels*. Journal of Materials Processing Technology, 210/14. (2010) 1949–1955.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.07.007>
- [4] Tóth L., Fábíán E. R., Huszák Cs.: *Heat Treatment Effects on Properties of K110 Böhler Steel*. Abstracts Book of 10<sup>th</sup> International Engineering Symposium at Bánki, (2018) 85.
- [5] Martin Kurik, Jakub Lacza, Tomas Vlach, Jana Sobotova: *Study of the Properties and Structure of Selected Tool Steels for Cold Work Depending on the Parameters of Heat Treatment*. Materials and Technology, 51/4. (2017) 585–589.  
<https://doi.org/10.17222/mit.2016.120>
- [6] Yaowen Xu, Fei Chen, Zhen Li, Gengwei Yang, Siquian Bao, Gang Zhao, Ximping Mao, Jun Shi.: *Kinetics of Carbon Partitioning of Q&P Steel: Considering the Morphology of Retained Austenite*. MDPI, Metals, 12/2. (2022) 344.  
<https://doi.org/10.3390/met12020344>
- [7] Muneo Yaso, Shuhei Hayashy, Shigekazu Morito, Takuya Ohba.: *Characteristics of Retained Austenite in Quenched High C-High Cr Alloy Steels*. Materials Transactions, 50/2. (2009) 275–279.  
<https://doi.org/10.2320/matertrans.MRA2008161>
- [8] M. Perez, C. Rodriguez, F.J. Belzunce.: *The Use of Cryogenic Thermal Treatments to Increase the Fracture Toughness of a Hot Work Tool Steel Used to Make Forging Dies*. Procedia Materials Science, 3. (2014) 604–609.  
<https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.06.100>
- [9] Gavriljuk V. G, Theisen W., Sirosh V.V.: *Low-temperature Martensitic Transformation in Tool Steels in Relation to Their Deep Cryogenic Treatment*. Acta Materiala, 61/5. (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 Precision and Tribological Behaviour of D2 Steel, Materials Manufacturing Processes*, 22/4. (2007), 474–480.  
<https://doi.org/10.1080/10426910701235934>
- [11] Molinari A., Pellizzari M., Gialanella S., Straffelini 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] Patricia Jovicevic-Klug, Matic Jovicevic-Klug, Tina Sever, Darja Feizpour, Bojan Podgornic: *Impact of Steel Type, Composition and Heat Treatment Parameters on Effectiveness of Deep Cryogenic Treatment*. Journal of Materials Research and Technology, 14/5. (2021) 1007–1020.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.022>
- [14] D. Senthilkumar: *Effect of Deep Cryogenic Treatment on Residual Stress and Mechanical Behaviour of Induction Hardened En 8 Steel*. Advances in Materials and Processing Technologies, 2/4.(2016) 427–436.  
<https://doi.org/10.1080/2374068X.2016.1244326>