

Tepelné spracovanie nástrojových ocelí

Peter Fabian, doc. Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: peter.fabian@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2767

Heat treatment of tool steels

Abstract: The article describes the importance of heat treatment of tool steels, referred to as class 19. To obtain the required properties of steels, their chemical composition alone is not enough. An irreplaceable role is also played by subsequent processing, be it thermal, chemical, or a combination chemical-thermal or thermo-mechanical processing. With the right settings processing, the desired properties are achieved, and the service life of the steel is also increased.

Keywords: tool steel, heat treatment, mechanical properties.

ÚVOD

Článok prináša teoretické podklady pre voľbu vhodného tepelného spracovania, na získanie požadovaných a správnych vlastností pre použitie materiálu v praxi. Na získanie požadovaných vlastností ocelí nestačí len ich chemické zloženie. Nenahraditeľnú úlohu zohráva aj následné spracovanie, či už tepelné, chemické, kombinácia chemicko-tepelného alebo termo-mechanického spracovania. Správnym nastavením spracovania sa dosiahnu požadované vlastnosti a zvýši sa aj životnosť ocele.

1 NÁSTROJOVÉ OCELE

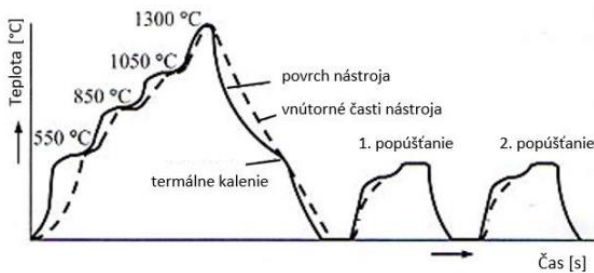
Ocele triedy 19, označované aj ako nástrojové ocele, sú materiály vysokej kvality a vyrábajú sa oblúkovým alebo indukčným tavením. Sú na ne kladené vysoké požiadavky, ako sú tvrdosť, odolnosť proti popúšťaniu, húževnatosť, odolnosť voči opotrebeniu, reznosť, prekaliteľnosť a stálosť rozmerov. Aby bolo možné dosiahnuť tieto vlastnosti, je potrebný vysoký obsah uhlíka. Všetky tieto vlastnosti je potrebné nakombinovať podľa konkrétnych požiadaviek, ktoré budú kladené na materiál [1]. Zvyčajne ich je možné dosiahnuť jedným až dvoma hlavnými prísadovými prvkami. Týmito prvkami sú *Mn*, *Si*, *Cr*, *Ni*, *Mo*, *W*, *V* a *Co*. S rastúcou hodnotou uhlíka stúpa tvrdosť ocele ale zároveň klesá húževnatosť. Ďalšie legujúce prvky zmierňujú negatívne vlastnosti hlavných legujúcich prvkov a ostatné vlastnosti. Dosiachnutie prevádzkových vlastností sa dosahuje aj vďaka vysokému obsahu karbidov, ktorý sa dosahuje práve karbidotvornými legujúcimi prvkami. Dôležitá je aj voľba tepelného spracovania [2]. Životnosť nástrojov výrazne ovplyvňuje aj ich povrchová úprava.

Uhlíkové nástrojové ocele majú obsah *uhlíka* od 0,25 % do 0,6 %. Tento obsah postačuje na dosiahnutie požadovanej tvrdosti. Obsah *fosforu* a *síry* sa drží pod úrovňou 0,06 %. Kalením získavajú tvrdosť len na povrchu do maximálnej hĺbky 2 mm až 3 mm a jadro zostáva nezakalené. Táto vlastnosť je pri niektorých aplikáciách žiadaná, nakoľko nezakalené jadro je húževnaté a dobre odoláva nárazom [3]. Tieto ocele sa využívajú na výrobu menej namáhaných nástrojov. Pracovná teplota týchto nástrojov nie je vyššia ako 200°C, pretože väčšina ocelí tejto kategórie stráca nad 150°C tvrdosť. Požívajú sa na výrobu rezných nástrojov a ručného náradia [4].

Zliatinová skupina ocelí, označovaná aj ako nízkolegovaná, lepšie odoláva vyšším mechanickým namáhaniam ako predošlá skupina. Hlavnými legujúcimi prvkami sú karbidotvorné prvky *chróm* a *volfrám* s obsahom 1 % až 2 %, pretože práve karbidy zvyšujú reznosť nástroja. Podľa konkrétnych požiadaviek sú ďalšími legujúcimi prvkami *Mn*, *Si*, *Ni* a malé množstvá vanádu. Ich množstvo sa pohybuje v rozmedzí 3 % až 5 %. Pokiaľ ide o nástroje určené na tvárnenie za studena, strihanie a obrábanie, sa ocel' vysokoleguje až 12 % *chrómu* a 2 % *kobaltu*. Táto skupina sa vyznačuje vysokou odolnosťou voči opotrebeniu a tvrdosťou. Používa sa na výrobu nástrojov pracujúcich za studena aj za tepla [4, 5].

Rychlorezné ocele (*RO*) tejto triedy získali pomenovanie podľa ich aplikácie na nástroje, ktoré pracujú pri vysokých rýchlostiach. Ich štruktúra je martenzitická. Charakterizuje ich mimoriadne vysoká stabilita vlastností do teplôt 650°C. Táto stabilita je získaná vďaka vysokému obsahu prísad nad 10 %. Obsah *C* = 0,7 % až 0,9 %. V rozmedzí 10 % až 18 % sa pohybuje obsah hlavnej prísady, ktorou je *volfrám*. Ďalšími prvkami sú *chróm*, ktorého obsah sa

pohybuje okolo 4 %, vďaka čomu je oceľ odolnejšia voči oxidácií aj pri vyšších teplotách a 1 % až 4 % vanádu. Vanád výraznou mierou ovplyvňuje tvorbu stabilných karbidov. Vyšší podiel vanádu si však vyžaduje zvýšenie obsahu uhlíka, aby sa zabránilo strate húževnatosti. Pre náročnejšie aplikácie je pri niektorých oceliach časť volfrámu nahradená molybdénom do obsahu 5 %, prípadne 3 % až 10 % kobaltu. Dôležité je držať obsah mangánu a fosforu na minimálnych úrovniach, pretože tieto prvky výrazne zvyšujú krehkosť ocelí a spôsobujú praskanie počas kalenia. Ako tepelné spracovanie sa aplikuje žihanie na teplote 800°C až 840°C. Kalí sa na veľmi vysokých teplotách 1260°C až 1300°C a výdrž na týchto teplotách sa pohybuje na úrovni 100 s. Vysoká teplota je potrebná z hľadiska dosiahnutia požadovaného chemického zloženia austenitu, ktoré sa dosahuje rozpustením potrebnej koncentrácie legujúcich prvkov a uhlíka [6]. Nevýhodou je rast zrna. Ohrev je stupňovitý a pomalý, aby sa dosiahlo vyrovnanie teplôt v celom priereze. Priebeh tepelného spracovania je naznačený na obr. 1.



Obr. 1. Schéma tepelného spracovania rýchlorezných ocelí.

Ocele majú kvôli vysokému obsahu uhlíka a legujúcich prvkov zlé tepelnú vodivosť, preto sa vďaka stupňovému ohrevu tvoria menšie napätia medzi povrchom a jadrom. Po kalení nasleduje popúšťanie na teplotu 560°C až 580°C a opakuje sa 2- alebo 3-krát. Po kalení sa získa matrica pozostávajúca z legovaného martenzitu a veľkého množstva zvyškového austenitu. Táto štruktúra nemá vysokú tvrdosť, preto nasleduje vysoké popúšťanie, počas ktorého sa legujúce prvky a uhlík vylučujú z austenitu. Takto ochudobnený austenit je menej stabilný a nasledovným ochladením z popúšťacej teploty sa ľahko rozpadá na martenzit [6, 7].

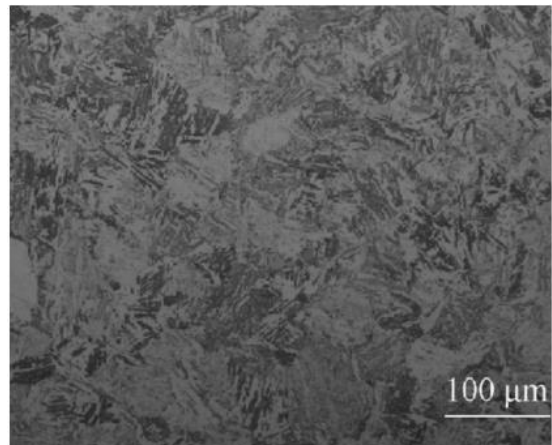
Tab. 1. Mechanické vlastnosti vybraných ocelí triedy 19

Označenie STN	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A [%]
19083	821	955	33
19356	748	994	11
19520	854	1014	11
19552	1240	1450	12
19663	1045	1270	10
19735	1080	1230	8

Zvyškový austenit je legovaný a preto je veľmi stály a pre jeho rozpad je nutné viacnásobné popúšťanie. Pokiaľ ide o výrobu veľmi presných nástrojov a meradiel, zvyškový austenit sa znižuje zmrazovaním. Na obr. 1 je znázornená schéma tepelného spracovania rýchlorezných ocelí a v tab. 1 sú mechanické vlastnosti ocelí triedy 19.

1.1 Maraging ocele

Trieda ocelí 19 sa rozšírila o novú skupinu špeciálnych ocelí na nástroje. Ide o superpevné ocele so zvýšenou húževnatosťou u nás označované ako maraging. Termín maraging pochádza z anglických slov martensite aging, čo označuje transformovanie štruktúry na martenzit a následné vytvrdzovanie. Do tejto skupiny sa ocele zaraďujú podľa mechanizmu spevňovania a nie podľa chemického zloženia. Maragingová oceľ obsahuje extrémne nízke hodnoty uhlíka do maximálnej koncentrácie 0,03 %. Túto hodnotu je potrebné udržať z dôvodu, aby sa zabránilo tvorbe karbidov titánu, pretože tieto karbidy pri vysokých koncentráciách výrazne znižujú rázovú pevnosť, húževnatosť a ťažnosť. Zato obsahuje vysoké koncentrácie niklu (17 % ÷ 19 %). Medzi ďalšie legujúce prvky patria kobalt (8 % ÷ 12 %), molybdén (3 % ÷ 5 %), titán (0,2 % ÷ 1,8 %) a hliník (0,1 % ÷ 0,15 %). Vysoký obsah kobaltu okrem vplyvu na vlastnosti ocele výrazne vpláva aj na jej cenu, ktorá je značne vyššia oproti iným typom ocelí. Maragingová oceľ sa vyrába zahriatím austenitickej štruktúry na teplotu 850°C a následného pomalého ochladzovania. Pomalým ochladzovaním nevzniká v štruktúre perlit ani ferit ako u bežných ocelí, ale vplyvom vysokého obsahu niklu sa tvorí martenzitická štruktúra (obr. 2).



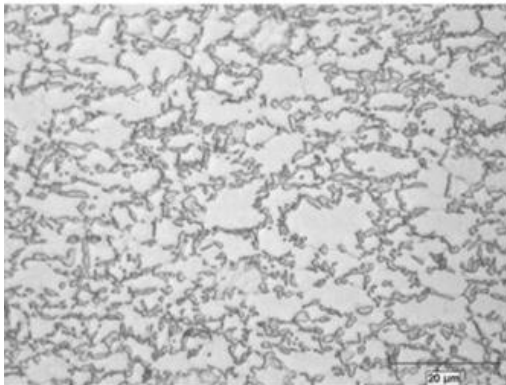
Obr. 2. Mikroštruktúra ocele maraging

Táto martenzitická štruktúra je však v porovnaní s martenzitom vytvoreným kalením pri uhlíkových oceliach mäkkšia. Pri týchto oceliach sa to ale berie ako výhoda z dôvodu zachovania vysokej ťažnosti a húževnatosti bez potreby popúšťania. Následne táto oceľ prechádza štádiom spracovania zvaného

precipitačné vytvrdzovanie - starnutie. Táto časť spracovania prebieha pri teplote $480^{\circ}\text{C} \div 500^{\circ}\text{C}$, trvá niekoľko hodín a jej cieľom je vytvorenie jemných tvrdých častí prísad. Vďaka nízkej teplote vytvrdzovania nedochádza vplyvom tepelnej rozťažnosti k veľkým objemovým zmenám [8].

1.2 Ocele TRIP

Matrica *TRIP* ocelí, (z *angl. Transformation Induced Plasticity Steels*) sa skladá z *feritu* a obsahuje aj zvyškový *austenit*, ďalej obsahuje zrná *bainitu* ($25\% \div 40\%$) a pri niektorých typoch ocelí je aj *martenzit* (obr. 3).



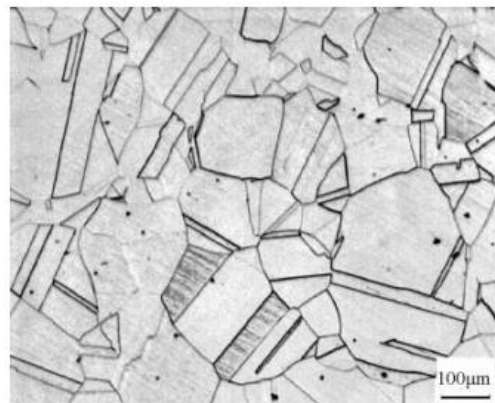
Obr. 3. Mikroštruktúra *TRIP* ocele

Obsah $C = 0,20\% \div 0,25\%$ a jeho množstvo je potrebné ako z hľadiska zváratelnosti, tak aj aby teplota M_s bola posunutá pod izbovú teplotu. Pevnosť ocele sa zvyšuje transformáciou zvyškového *austenitu* na *martenzit* s doskovou morfológiou, ktorá sa uskutočňuje počas deformácie. Táto deformačná transformácia je podstatou *TRIP* ocelí. Podmienkou je podiel zvyškového *austenitu* v štruktúre $5\% \div 15\%$. Správne množstvo *austenitu* v štruktúre sa dosahuje pomocou C a Si (max. $0,3\%$). Inak sú ocele *TRIP* legované len málo a to prvkami Al , Mn , Cr , Mo , Nb a Ti . Ocele dosahujú pevnosť $500\text{ MPa} \div 1050\text{ MPa}$ a ich výhoda spočíva v ich schopnosti predĺženia. Ťažnosť dosahuje $20\% \div 80\%$. Zlepšená tvárnosť je dosahovaná vďaka odolnosti voči stenčeniu počas procesu tvarovania. Proces výroby *TRIP* ocelí pozostáva z rozpúšťacieho žihania pri teplote 1120°C , po ktorom je vďaka chemickému zloženiu teplota M_s pod 0°C . Následne sa oceľ intenzívne tvárni pri teplote nad M_d . Podľa druhu ocele sa táto teplota pohybuje okolo 100°C . Stupeň pretvárania dosahuje hodnoty 80% . Tvárnenie spôsobí zvýšenie teploty M_d približne o 100°C a o rovnakú hodnotu nastane zníženie teploty M_s . Tieto ocele našli uplatnenie najmä v automobilovom priemysle [8].

1.3 Ocele TWIP

Táto skupina ocelí patrí k novým perspektívnym typom. Ide o ultrapevné vysoko legované *manganové*

ocеле. Označenie majú z *angl. Twinning Induced Plasticity Steel*. Hodnoty R_e dosahujú $280\text{ MPa} \div 1350\text{ MPa}$ a R_m $580\text{ MPa} \div 1470\text{ MPa}$. Hodnoty ťažnosti sú v rozpätí od 15% do 95% . Týmito hodnotami ťažnosti sa *TWIP* ocele dajú prirovnať k oceliam hlbokoťažným, avšak majú niekoľkonásobne vyššie hodnoty pevnosti. Svoje vlastnosti dosahujú vďaka *austenitickej* štruktúre, ktorá sa netransformuje na *martenzit* ani pri vyšších deformáciách. Namiesto toho dochádza v štruktúre pri deformáciách k dvojčateniu, a to za každých teplôt a v celom objeme. Najlepší výsledok dvojčatenia je možné sledovať pri obsahu $Mn > 20\%$. Pokiaľ je obsah $Mn < 15\%$ dochádza k *TRIP* efektu (obr. 4).

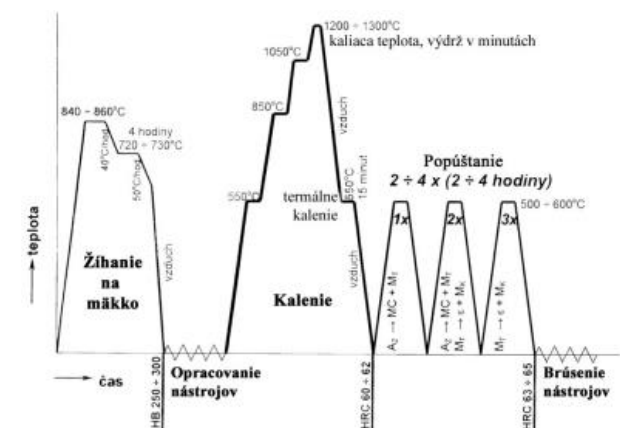


Obr. 4. Mikroštruktúra *TWIP* ocele

Ocele sú ďalej legované *hliníkom*, ktorý potláča transformáciu *austenitu* na *martenzit*, a *kremíkom* na zlepšenie pevnosti. Významné zastúpenie táto oceľ našla v automobilovom priemysle pri stavbe rámov aj vďaka schopnosti absorbovať energiu pri náraze, jednoduchosti lisovania a znížení celkovej hmotnosti vozidla. Takisto sa uplatňuje pri stavbe lodí a transportných potrubí [8].

2 TEPELNÉ SPRACOVANIE

Tepelné spracovanie nástrojových ocelí je zložité a nákladné. Jeho cieľom je dosiahnuť čo najlepšie rezné vlastnosti a najvhodnejšie mechanické vlastnosti nástroja (obr. 5).



Obr. 5. Postup tepelného spracovania rýchlorezných ocelí pri výrobe nástrojov

2.1 Žihanie

Žihanie na mätko - používa sa pre zlepšenie obrábatelnosti výkovkov. Najjednoduchší spôsob žihania na mätko spočíva v pomalom ohreve ocele na teplotu 850°C (podľa typu ocele je táto teplota daná v materiálových listoch) s výdržou 4 až 8 hodín a následným pomalým ochladením v peci do teploty asi 600°C ÷ 500°C a ďalším pozvoľným chladením.

Žihanie na zníženie vnútorných napätí - slúži na zníženie napätí vzniknutých pri obrábaní pred tepelným spracovaním. Spočíva v pomalom ohreve na teplotu 600°C ÷ 650°C s 1 až 2 hodinovým zotrvaním na teplote a pomalom chladením v peci. V takomto stave má oceľ *perliticko - ledeburitickú* štruktúru.

2.2 Kalenie

Kalenie možno realizovať ochladzovaním na vzduchu, pretože *RO* ocele sú samokaliteľné (vďaka vysokému obsahu legúr), a nie je potrebné používať intenzívne chladiace prostredia. Účelom kalenia je rozpustenie väčšiny *karbidov* a dosiahnutie ich nového, jemnejšieho vylúčenia, za súčasného dosiahnutia optimálnych rezných a mechanických vlastností [9]. Nástroje z *RO* sa zohrievajú na kaliacu teplotu stupňovito, pretože veľká rýchlosť ohrevu spôsobuje ich praskanie. Ich kaliaca teplota je vyššia ako u bežných konštrukčných ocelí, pohybuje sa v rozmedzí 1200°C ÷ 1300°C. Prvý stupeň ohrevu sa uskutočňuje na vzduchu, ďalšie už v solných kúpeľoch alebo vo vákuovej peci, a to nasledovne:

1. stupeň ohrevu je na teplotu v intervale 350°C ÷ 550°C, s výdržou 1 až 2 hodiny. Teplota 550°C je kritickou teplotou, pri ktorej nedochádza k oduhličeniu nástrojov, preto je možné vykonať ho na vzduchu. Cieľom výdrže na teplote je vyrovnať teplotu jadra a povrchu nástroja, a tým zmenšiť tepelné pnutia.

2. stupeň ohrevu je na teplotu v intervale 820°C ÷ 850°C s výdržou 1 až 2 hodiny. Jedná sa o ohrev nad teplotu A_1 , čo umožňuje vyrovnanie štruktúrnych pnutí, ktoré vznikajú zmenou mriežky, teda prekryštalizáciou. Uskutočňuje sa v solnom kúpeli alebo vo vákuu.

3. stupeň ohrevu je na teplotu 1050°C v solnom kúpeli. Pri tejto teplote sa karbid *M23C6* rozkladá na zložky, ktoré sa rozpúšťajú v *austenite* a uskutoční sa homogenizácia *austenitu* [10]. Tento stupeň skracuje dobu zotrvania na kaliacej teplote, a teda znižuje aj nebezpečenstvo zhrubnutia zrna.

4. stupeň ohrevu je na teplotu v intervale 1200°C ÷ 1300°C, s výdržou menej ako 5 minút, aby nezhrublo zrno a nenatavili sa tenké rezné hrany nástrojov. Dĺžka zotrvania na teplote kalenia je závislá od jej výšky. S vyššou kaliacou teplotou sa skracuje doba výdrže. Voľba kaliacej teploty v predpísanom rozmedzí sa riadi predovšetkým tvarom

a spôsobom namáhania nástroja pri používaní. Kaliaca teplota pri spodnej hranici kaliaceho rozmedzia dáva nástroju vyššiu húževnatosť, oteruvzdornosť, odolnosť proti tepelnej únave a menšie rozmerové zmeny. Je teda vhodná pre menšie a tvarovo komplikovanejšie nástroje. Kaliaca teplota pri hornej hranici kaliaceho rozmedzia zvyšuje prekaliteľnosť, odolnosť proti popúšťaniu a tvrdosť pri zvýšených teplotách, a tým zvyšuje aj životnosť nástrojov. Takáto teplota je vhodná pre väčšie nástroje a nástroje jednoduchých tvarov s minimálnymi rozdielmi v priereze. Po zakalení je štruktúra rýchloreznej ocele tvorená nerozpustenými *karbidmi M6C* a *MC* (v množstve asi 5 % ÷ 10 %), vysokolegovaným zvyškovým *austenitom* (v množstve asi 40 % ÷ 70 %) a vysokolegovaným *martenzitom* (zvyšok do 100 %).

2.3 Popúšťanie

Popúšťanie zakalenej ocele spôsobí premenu zvyškového *austenitu* na *martenzit*, premenu *tetragonálneho martenzitu* na *martenzit* skoro kubický a vylúčenie *karbidov* disperzne vytvrdzujúcich oceľ. Vysokolegovaný zvyškový *austenit* je stabilný a počas popúšťania z neho precipitujú *karbidy*, čím sa zmenší jeho stabilita a časť z neho sa premení na *martenzit*. Preto treba popúšťať viackrát za sebou:

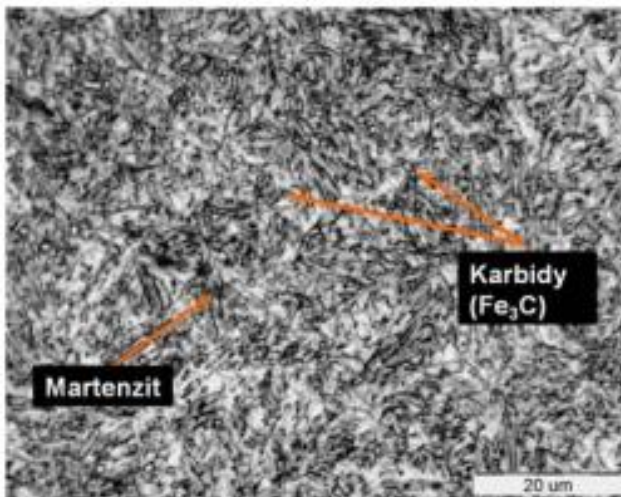
- po 1. popúšťaní - dochádza k popusteniu *martenzitu*, časť zvyškového *austenitu* sa premení na *martenzit* 1, zostáva zvyškový *austenit* 1, dochádza k precipitácii *karbidov* z popusteného *martenzitu* a zvyškového *austenitu*,
- po 2. popúšťaní - dochádza k popusteniu *martenzitu* 1, časť zvyškového *austenitu* 1 sa premení na *martenzit* 2, zostáva zvyškový *austenit* 2, dochádza k precipitácii *karbidov* z popusteného *martenzitu* 1 a zvyškového *austenitu* 1,
- po 3. popúšťaní - dochádza k popusteniu *martenzitu* 2, časť zvyškového *austenitu* 2 sa premení na *martenzit* 3, zostáva zvyškový *austenit* 3, dochádza k precipitácii *karbidov* z popusteného *martenzitu* 2 a zvyškového *austenitu* 2.

Popúšťanie nástrojov musí nasledovať v čo najkratšej dobe po ich zakalení, lebo základom štruktúry sú nerovnovážne fázy (*martenzit* + zvyškový *austenit*), ktoré sa vyznačujú vysokou hustotou dislokácií a bodových porúch [11, 12]. Rozdiely v ich merných objemoch vyvolávajú veľké vnútorné napätia. Popúšťaním prebiehajú štruktúrne zmeny, pri ktorých sa sústava blíži k rovnovážnemu stavu (mení sa štruktúra, fyzikálne a mechanické vlastnosti). Po treťom, maximálne štvrtom popúšťaní je premenený takmer všetok zvyškový *austenit*, ktorý by sa mohol

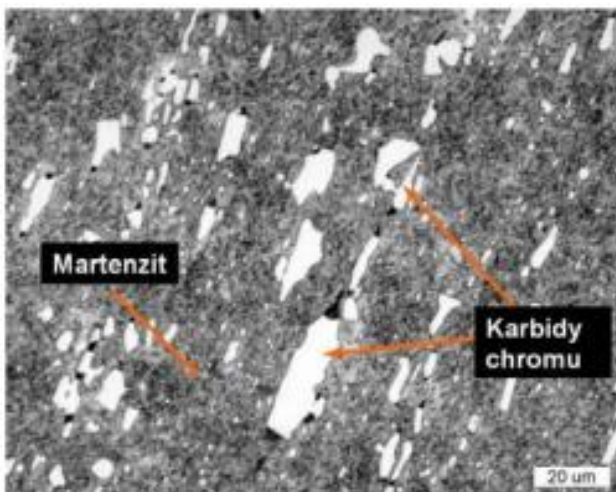
premieňať pri pracovnej teplote nástroja, aj keď nejaké percento zvyškového *austenitu* zostáva. Nástroj je teda rozmerovo stabilný a pripravený na použitie. Doba výdrže na popúšťacej teplote je asi 1 hodina na každých 25 mm hrúbky, minimálne však 30 minút. Rozpad zvyškového *austenitu* prebieha počas ochladzovania z popúšťacej teploty a po každom popúšťaní sa musí nástroj ochladiť na teplotu okolia [13].

3 ŠTRUKTÚRA NÁSTROJOVÝCH OCELÍ

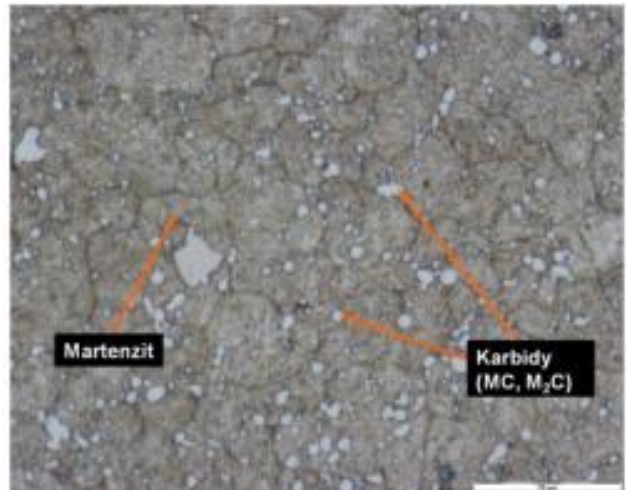
Martenzit - žiaduca štruktúra - tvrdý, pevný, krehký.
Zvyškový austenit - nežiaduca štruktúra (je mäkký), jeho množstvo závisí na obsahu *uhlíka* a legujúcich prvkov rozpustených v *austenite* po výdrži na kaliacej teplote (*C*, *Mn*, *Ni*, *Co* znižujú teplotu *Ms* a *Mf*).
Karbidy - žiaduca štruktúra, *karbidy* vyskytujúce sa v matrici nástrojových ocelí sú tvrdšie ako základná matrica (obr. 7), takže zvyšujú odolnosť proti opotrebeniu. Ich vplyv je tým väčší, čím je vyššia ich tvrdosť a plocha povrchu [14, 15]. Príklady mikroštruktúry nástrojových ocelí sú na obr. 6 až obr. 11.



Obr. 6. Oceľ C105U (19 191), 850°/voda/200° C



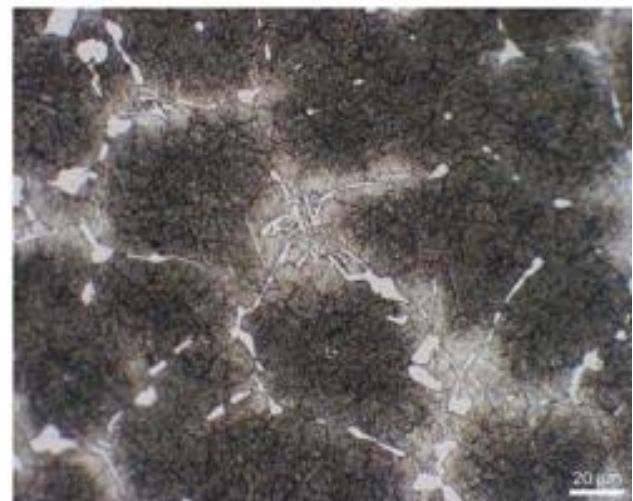
Obr. 7. Oceľ X210Cr12 (19 436), 980° C/olej/200° C - ukážka štruktúry nevhodne tvárnenej nástrojovej ocele - karbidická riadkovitosť



Obr. 8. Oceľ HS 6-5-2 (19 830), 1200° C/olej/550° C



Obr. 9. Liata nástrojová oceľ 170WV6M3



Obr. 10. Liata nástrojová oceľ 170WV6M3



Obr. 11. Nástrojová ocel' vyrobená metódou PM - VANADIS 23.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 003ŽU-4/2024 Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky.

LITERATÚRA

- [1] SKOČOVSKÝ, P.- PALČEK, P.- KONEČNÁ, R.- VÁRKOLY, L. (2000): *Konštrukčné materiály*. Žilina: EDIS, ISBN 80-7100-608-4.
- [2] SKOČOVSKÝ, P.- BOKŮVKA, O.- KONEČNÁ, R.- TILLOVÁ, E. (2015): *Náuka o materiáli*. Žilina: EDIS, ISBN 978-80-554-1071-5.
- [3] STANĚK, B. (1980): *Oceli, Výrobní program, II díl*. Hutnictví železa. Praha : s. n.
- [4] SKOČOVSKÝ P.- BOKŮVKA O.- KONEČNÁ R.- TILLOVÁ E. (2014): *Náuka o materiáli*. Žilina: EDIS. ISBN: 978-80-554-0871-2.
- [5] SUDARSANAM, S. B. (2021): *Thermo-Mechanical Processing*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128197264001022>.
- [6] PULC, V. - HRNČIAR, V. - GONDÁR, E. (2008): *Náuka o materiáli*. Bratislava: STU, ISBN 978-80-227-2847-8.

[7] QI-YUAN, CH. - WEI-NA, Z. - SHUAI, T. - PENG-JIE, W - JUN, CH. - ZHEN-YU, L. (2021): *Microstructural heredity of Ni-containing cryogenic steel and its effect on the toughness at 77 K*. [Online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509321017044#bib1>.

[8] RAZMPOOSH, M. H. - ŠAMANSKÝ, M. - ESMAILZADEH, M. (2014): *Materials&Desing*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306914008802?casa_token=iEAEz_ZQ6foAAA:AA:yuaLmc9MIwdKq0GtgxNsTj5Qv2BAeHUyGhNyjuUGqECS4vTFpkZ3KrlX4k-0-rRoObH8hlVt4Jg.

[9] KONEČNÁ, R. - TILLOVÁ, E. - VAŠKO, A. - MARKOVIČOVÁ, L. (2014): *Materiály II*. Žilina : EDIS, ISBN 978-80-554-0883-5.

[10] CHAJRAVARTHI, K. V. A. et al. (2017): *Microstructure, properties and hot workability of M300 grade maraging steel*. https://www.researchgate.net/publication/319619285_Microstructure_properties_and_hot_workability_of_M300_grade_maraging_steel.

[11] FREMUNT, P. - KREJČÍ, J. - PODRÁBSKÝ, T. (1994): *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky,

[12] GÁBRISOVÁ, Z. - BRUSILOVÁ, A. (2019): *Tepelné spracovanie*. Bratislava: SPEKTRUM STU, pp. 134. ISBN 978-80-227-4894-0.

[13] GRÄSSEL, O. et al. (2000): *International Journal of Plasticity*. [Online]. 28.08. [cit. 2022-04-19]. Dostupné na internete: . Griggs steel company. What is High Speed Steel? [Online]. [cit.2022-04-10].

[14] HRIVŇÁK, I. (1996). *Výber materiálov a nové materiálové technológie*. Košice: Elfa, pp. 177. ISBN 80-88786-39-8.

[15] HRNČIAR, V. (2006): *Nástrojové ocele*. VŠB Ostrava, Dostupné z: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=161>