

3.4. Nástrojové ocele

Nástrojové ocele sa vyrábajú z triedených surovín. Na tavenie ocelí sa používajú elektrické oblúkové pece, elektrické indukčné pece alebo špeciálne technologické postupy a agregáty (vákuové pece, elektrotroskové pretavovanie ocelí, technológie práškovej metalurgie, a pod.). Týmito výrobnými postupmi sa dosahuje vysoká čistota ocelí (obsahujú veľmi málo vtrúsenín) a rovnorodosť (homogenita) štruktúry.

Nástrojové ocele sú drahšie, niekedy podstatne, než konštrukčné ocele. Ich vysokú cenu spôsobujú náročné (drahé) metalurgické postupy ich výroby, ako aj zvýšený obsah legujúcich prvkov.

Základné rozdelenie nástrojových ocelí. Nástrojové ocele rozdeľujeme z viacerých hľadísk: pracovnej teploty, množstva legujúcich prvkov, spôsobu výroby a podľa účelu použitia. (tab. 6).

Pracovná teplota a množstvo legujúcich prvkov:

- do 200 °C - nelegované (Σ legujúcich prvkov do 5 %);
- 250 ~ 300 °C - nízkolegované (Σ legujúcich prvkov 5 až 10 %);
- 400 ~ 600 °C - vysokolegované (Σ legujúcich prvkov nad 10 %);
- nad 600 °C - rychlorezné.

Tab. 6

Rozdelenie nástrojových ocelí podľa chemického zloženia STN EN 10020

Podľa STN EN 10020	Podľa STN EN 10020
Nástrojové ocele nelegované	Nelegované nástrojové ocele
C35U (19 065)	Nízkouhlíkové (0,3 - 0,6 % C)
C105U (19 191)	Stredneuhlíkové (0,5 - 1,1 % C)
C125U (19 255)	Vysokouhlíkové (1,0 - 1,5 % C)
Nástrojové ocele legované	Legované nástrojové ocele
90MnV8 (19 312)	Nízkolegované (do 5 % legúr)
35CrMo8 (19 520)	Strednelegované (5 - 10 % legúr)
X210Cr12 (19 436)	Vysokolegované (nad 10 % legúr)
Rýchlorezné ocele	Rýchlorezné ocele
HS 3-2-2 (19 820)	Ocele pre bežné použitie
HS 6-5-2 (19 830)	Výkonné ocele
HS 10-5-3-10 (19 861)	Vysoko výkonné ocele (+Co)

Spôsob výroby:

- tvárnenie;
- odlievanie;
- prášková metalurgia.

Podľa účelu použitia:

A - ocele na rezné nástroje:

- 1 - pre obrábanie;
- 2 - na rezanie, krájanie, sekanie;

B - ocele na nástroje na strihanie:

- S - za studena;
- T - za tepla;

C - ocele na nástroje na tvárnenie:

S - za studena:

- 1 - na tvarovacie lisovadlá;

T - za tepla:

- 1 - na kovadlá;

- 2 - na ťažidla a pret'ahovadlá;
- 3 - na razid-lá a zápustkové lisovadlá;
- 4 - na pretlačovadlá;
- 5 - na tlačidlá;
- 6 - na valce.

- 2 - na kovátka pre rotačné kovanie;
- 3 - na valce;
- 4 - na zápustky a kovací trne;
- 5 - na pret'ahovacie trne;
- 6 - na pretlačovadlá.

D - ocele na formy:

- 1 - pre tlakové liatie kovov;
- 2 - pre lisovanie kovových a nekovových práškov;
- 3 - pre spracovanie plastických hmôt;
- 4 - pre tvárnenie gumy;
- 5 - na sklo, porcelán a keramický materiál;

E - ocele na nástroje na drvenie a mletie;

F - ocele na ručné nástroje a náradie:

- 1 - pre obrábanie;
- 2 - pre rezanie, krájanie a sekanie;
- 3 - pre strihanie;
- 4 - pre tvárnenie;
- 5 - na montážne náradie;
- 6 - na ihly atď.;
- 7 - na iné druhy ručných nástrojov;

G - ocele na meradlá;

H - ocele na upínacie náradie.

Všeobecné požiadavky na nástrojové ocele. Z funkcií jednotlivých nástrojov, ktoré sa z nástrojových ocelí vyrábajú, vyplývajú aj požiadavky na materiál nástroja, líšiace sa podľa druhu nástroja a spôsobu práce. Od nástrojových ocelí sa vyžadujú predovšetkým nasledovné vlastnosti:

- *tvrdosť* - u nástrojových ocelí je daná tvrdosťou popustenej martenzitickej matrice, tvrdosťou prítomných karbidických fáz a ich vytvrdzovacím účinkom. Tvrdosť uhlíkových nástrojových ocelí závisí od obsahu uhlíka - vzrastá až po eutektoidné zloženie a dosahuje asi 67 HRC. U legovaných nástrojových ocelí možno dosiahnuť ešte o niečo vyššiu tvrdosť, a to predovšetkým v dôsledku nahradenia cementitu špeciálnymi karbidmi. Požadovaná tvrdosť pri vyšších teplotách sa dosahuje prísadou karbidotvorných prvkov, hlavne Cr, V, W a Mo. Dokonalé využitie účinku týchto prvkov však vyžaduje príslušnú úpravu tepelného spracovania, predovšetkým ich prevedenie v čo najväčšom množstve do tuhého roztoku pri ohreve na kaliacu teplotu. Tvrdosť je základnou požiadavkou pri rezných nástrojoch;
- *húževnatosť* - od húževnatosti závisí životnosť nástrojov pri dynamickom namáhaní. Je ovplyvňovaná hlavne chemickým zložením a tepelným spracovaním. Vysoká húževnatosť nástrojových ocelí sa dosahuje pri nižšom obsahu uhlíka a jemnejšom austenitickom zrne. Priaznivo húževnatosť nástrojových ocelí ovplyvňuje aj prísada Ni;
- *odolnosť proti opotrebeniu* - je dôležitá hlavne pri tvárniacich nástrojoch, pretože ovplyvňuje ich životnosť. Odolnosť proti opotrebeniu úzko súvisí s tvrdosťou nástroja, ale je predovšetkým ovplyvnená množstvom, druhom, tvarom a rozložením karbidov.

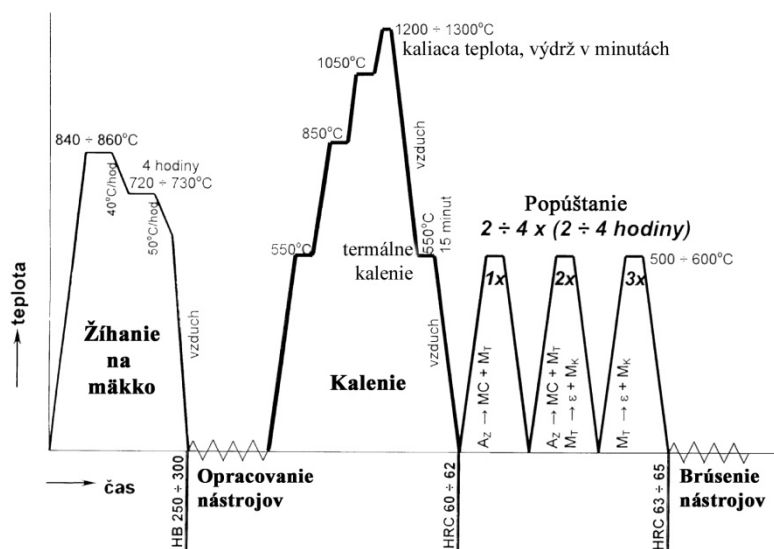
Závisí teda od obsahu uhlíka a obsahu karbidotvorných prvkov. Najúčinnšie sú V, ale aj Mo, W a Cr;

- *odolnosť proti popúšťaniu* - táto vlastnosť je dôležitá najmä pre nástroje pracujúce pri teplotách nad 150 až 200 °C. Jedná sa napr. o nástroje pre trieskové obrábanie kovov, nástroje pre tvárnenie ocelí za tepla, formy pre odlievanie kovov a pod. Uhlíkové ocele s rastúcou teplotou popúšťania rýchlo mäknú. Zvýšenú odolnosť proti popúšťaniu možno dosiahnuť legovaním prvkami, ktoré posúvajú jednotlivé deje, prebiehajúce pri popúšťaní zakalených ocelí k vyšším teplotám;
- *prekaliteľnosť* - v prípade rezných nástrojov nie je prekaliteľnosť rozhodujúca, vzhľadom na ich prierezy; avšak u celej rady ostatných nástrojov (napr. tvárniacich, akými sú veľké zápustky) je niekedy výhodné, ak má pracovný povrch vysokú povrchovú tvrdosť, kým jadro zostáva húževnaté. Dobrú prekaliteľnosť majú uhlíkové nástrojové ocele;
- *rozmerová stálosť* - jedná sa o požiadavku, ktorá je významná hlavne pre tvarovo presné obrábacie nástroje a meradlá. Príčinou rozmerovej nestability nástrojov sú zvyškové pnutia, ktoré vyvolávajú deformácie ako dôsledok štruktúrnych zmien (štruktúrne zvyškové pnutia) a rozdielov teplôt medzi povrchom a jadrom nástroja pri tepelnom spracovaní (tepelné zvyškové pnutia). Štruktúrne zvyškové pnutia sú spojené so zväčšením objemu pri transformácii austenitu na martenzit alebo sú spojené so zmenšením objemu pri precipitácii karbidov. Sú úmerné obsahu uhlíka v oceli a možno ich ovplyvňovať legujúcimi prvkami, ktoré zväčšenie objemu znižujú (napr. Si, Mo) alebo aspoň nezväčšujú (Mn). Teplotné zvyškové pnutia možno obmedziť rôznymi opatreniami, ako sú tvarové riešenie nástroja, spôsob jeho uloženia pri ohreve, postup pri ohreve a kalení atd.;
- *technologické vlastnosti* - u tvarovo zložitých nástrojov je dôležitou požiadavkou dobrá obrábateľnosť; u foriem na lisovanie plastov je okrem toho uplatňovaná aj požiadavka na dobrú leštiteľnosť;
- *špeciálne požiadavky* - sú špecifické pre jednotlivé druhy nástrojov. Jedná sa napr. o koróziu odolnosť (formy na lisovanie), veľkú tepelnú vodivosť a malú teplotnú rozťažnosť (zápustky a formy pre tlakové liatie). Čoraz častejšie sa kladú požiadavky aj na kvalitu aktívnych plôch nástrojov, preto sa na ne nanášajú špeciálne vrstvy alebo povlaky, čím sa dosahuje zvýšenie ich trvanlivosti a životnosti.

Najčastejšie sa jedná o povrchové kalenie - laserové alebo elektrónovým lúčom; chemicko-tepelné spracovanie - najčastejšie nitridácia, popríp. boridovanie, difúzne chrómovanie; povlakovanie - vytváranie tenkých povrchových vrstiev typu TiN (nitrid titánu) a ich modifikácie; špeciálne postupy - naváranie, plazmové nástreky prídavných materiálov, galvanické tvrdé chrómovanie - povlaky vylúčené elektrolyticky.

Tepelné spracovanie rýchlorezných ocelí. Tepelné spracovanie rýchlorezných ocelí je zložitá a nákladná. Jeho cieľom je dosiahnuť čo najlepšie rezné vlastnosti a najvhodnejšie mechanické vlastnosti nástroja (obr. 39).

1. *Žihanie na mätko* - používa sa pre zlepšenie obrábateľnosti 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 - 500 °C a ďalším pozvoľným chladnutím.



Obr. 39. Postup tepelného spracovania rýchlorezných ocelí pri výrobe nástrojov

2. *Žihanie na zníženie vnútorných napätí* - slúži na zníženie napätí vzniknutých pri obrábaní pred tepelným spracovaním. Spočíva v pomalom ohreve na teplotu 600 - 650 °C s 1- 2 hodinovým zotrvaním na teplote a pomalom chladnutí v peci. V takomto stave má oceľ perliticko - ledeburitickú štruktúru.
3. *Kalenie* - možno ho realizovať ochladzovaním na vzduchu, pretože rýchlorezné ocele sú samokaliteľné (vdďaka 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.

Nástroje z rýchlorezných ocelí 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 - 1300 °C. Prvý stupeň ohrevu sa uskutočňuje na vzduchu, ďalšie už v soľných kúpeľoch alebo vo vákuovej peci, a to nasledovne:

- 1. stupeň ohrevu je na teplotu v intervale 350 - 550 °C, s výdržou 1 - 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 - 850 °C, s výdržou 1 - 2 hodiny. Jedná sa o ohrev nad teplotu A₁, čo umožňuje vyrovnanie štruktúrnych pnutí, ktoré vznikajú zmenou mriežky, teda prekryštalizáciou. Uskutočňuje sa v soľnom kúpeli alebo vo vákuu;
- 3. stupeň ohrevu je na teplotu 1050 °C v soľnom kúpeli. Pri tejto teplote sa karbid M₂₃C₆ rozkladá na zložky, ktoré sa rozpúšťajú v austenite a uskutoční sa homogenizácia austenitu. Tento stupeň skraca dobu zotrvania na kaliacej teplote, a teda znižuje aj nebezpečenstvo zhrubnutia zrna;
- 4. stupeň ohrevu je na teplotu v intervale 1200 - 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 skraca 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 M_6C a MC (v množstve asi 5 - 10 %), vysokolegovaným zvyškovým austenitom (v množstve asi 40 - 70 %) a vysokolegovaným martenzitom (zvyšok do 100 %).

4. *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:

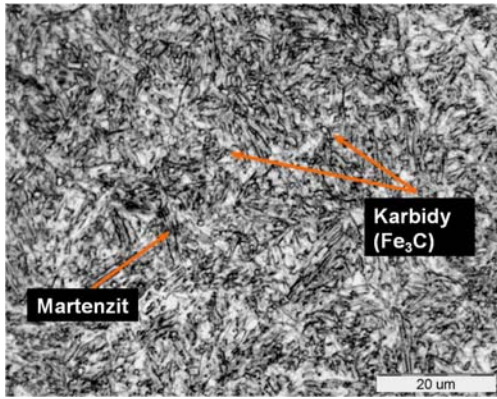
- po 1. popúšťaní - dochádza k popusteniu martenzitu, časť zvyškového austenitu sa premení na martenzit1, zostáva zvyškový austenit1, dochádza k precipitácii karbidov z popusteného martenzitu a zvyškového austenitu;
- po 2. popúšťaní - dochádza k popusteniu martenzitu1, časť zvyškového austenitu1 sa premení na martenzit2, zostáva zvyškový austenit2, dochádza k precipitácii karbidov z popusteného martenzitu1 a zvyškového austenitu1;
- po 3. popúšťaní - dochádza k popusteniu martenzitu2, časť zvyškového austenitu2 sa premení na martenzit3, zostáva zvyškový austenit3, dochádza k precipitácii karbidov z popusteného martenzitu2 a zvyškového austenitu2.

Tab. 7

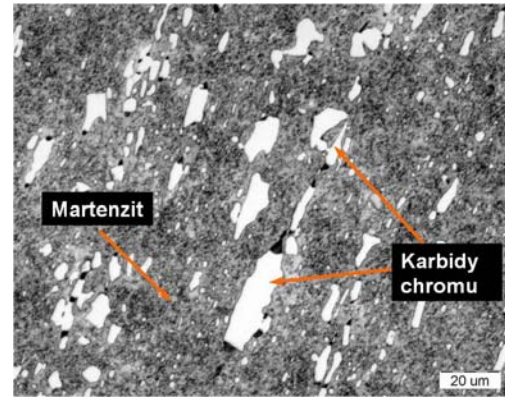
Druhy karbidov v nástrojových oceliach

Karbid	Tvrdosť [HV]	Prvky	Poznámka
M_3C	asi 950	Fe, Cr	Karbid cementitického typu, je relatívne mäkký.
$M_{23}C_6$	1000 - 1100	Cr	Pri ohreve na kaliacu teplotu sa úplne rozpustí, Cr prechádza do tuhého roztoku a zvyšuje prekaliteľnosť ocele.
M_6C	1200 - 1300	W	Pri ohreve na kaliacu teplotu sa čiastočne rozpúšťa v austenite, z časti zostáva zachovaný a obmedzuje rast austenitického zrna.
M_7C_3	1600 - 1800	Cr	
M_4C_3		V	Precipituje v štruktúre pri popúšťaní 500-600 °C.
M_2C	1700 - 1900	W, Mo	Precipituje v štruktúre pri popúšťaní 500-600 °C.
MC	2200 - 3000	V	Jemné veľmi tvrdé karbidy, ktoré sa pri austenitizácii len čiastočne rozpustia a zabraňujú zhrubnutiu austenitického zrna.

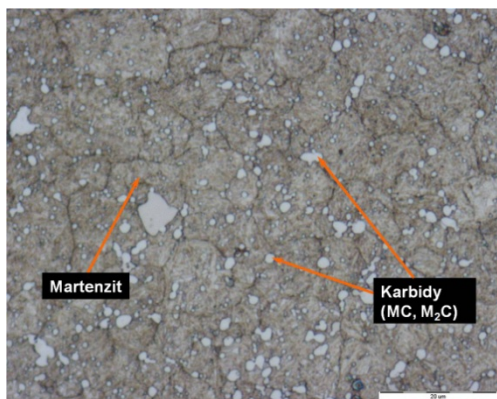
Popúšťanie nástrojov musí nasledovať v čo najkratšej dobe po ich zakalení, lebo základom štruktúry sú nerovnovážne fázy (martenzit + zvyškový austenit), ktoré sa vyznačujú vysokou hustotou dislokácií a bodových porúch.



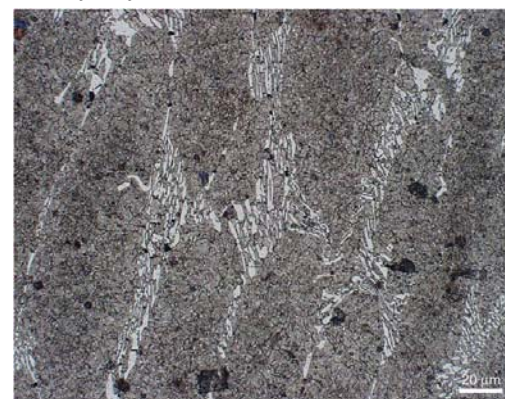
a) ocel' C105U (19 191), 850 °C/voda/200 °C



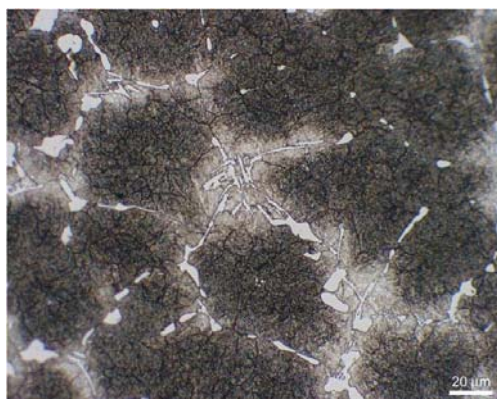
b) ocel' X210Cr12 (19 436), 980 °C/olej/200 °C
- ukážka štruktúry nevhodne tvárnenej nástrojovej ocele - karbidická riadkovitosť



c) ocel' HS 6-5-2 (19 830), 1200 °C/olej/550 °C



d) liata nástrojová ocel' 170WV6M3



e) liata nástrojová ocel' 170WV6M3



f) nástrojová ocel' vyrobená metódou PM - VANADIS 23

Obr. 40. Príklady mikroštruktúr nástrojových ocelí

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.

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 (tab. 7), takže zvyšujú odolnosť proti opotrebeniu. Ich vplyv je tým väčší, čím je vyššia ich tvrdosť a plocha povrchu.

Príklady mikroštruktúr nástrojových ocelí sú na obr. 40.