

## OČKUJÚCI ÚČINOK LÁTKOK S VYSOKOU TEPLOTOU TAVENIA V RÝCHLOREZNÝCH OCELIACH

A.S. CHAUS<sup>1</sup>

Katedra zlievarenstva MTF STU Trnava, ul. Paulínska 16, 917 24 Trnava, Slovensko

### ABSTRAKT

Článok sa venuje štúdiu vplyvu disperzných látok s vysokou teplotou tavenia menovite drveného ferovolfrámu, práškoveho kovového volfrámu, karbidu volfrámu WC a diboridu titánu TiB<sub>2</sub> a taktiež volfrámu vo forme odpadovej triesky na štruktúru a vlastností rýchlorezných ocelí na odlievané rezné nástroje. Boli stanovené závislosti medzi štruktúrnymi parametrami a mechanickými vlastnosťami s kvalitatívnym a kvantitatívnym vyhodnotením vplyvu faktorov štruktúrnej dedičnosti s hľadiska mechanických vlastností očkovaných ocelí.

*Key words: high-speed steel, inoculating, structure, mechanical properties*

### 1. ÚVOD

V poslednom období záujem o výrobu rezných nástrojov odlievaním stále stúpa. Čiastočne je to spojené s tým, že pri použití presných spôsobov odlievania dosahujeme priamu úsporu nástrojového materiálu, podmienená znižovaním hmotnosti odliatku. Znížením objemu mechanickej práce pri obrábaní klesá energetická náročnosť a prácnosť výroby nástroja. Najhlavnejšie je ale to, že zlievarenská technológia dovoľuje hospodárnejšie využívať drahú rýchloreznú oceľ použitím nástrojového šrotu a odpadov tejto ocele pri pretavovaní. Avšak na úspešné uplatnenie odlievaných nástrojov je potrebné zlepšiť najmä rázovú húževnatosť liatych rýchlorezných ocelí. Vo všeobecnosti sa používajú rôzne komerčné spôsoby zjemnenia štruktúry, ktoré zaručujú zlepšenie vlastností RO. Použitie očkovadiel a povrchovo aktívnych modifikátorov patrí medzi najvýznamnejšie. Použitie operácie očkovania vo výrobnom postupe dovoľuje zabezpečiť tvorbu jemnozrnnej štruktúry tak matrice aj karbidov a dôsledkom takýchto

---

<sup>1</sup> Doc. Ing. DrSc., [chaus@mf.stuba.sk](mailto:chaus@mf.stuba.sk)

štruktúrnych zmien aj zlepšenie mechanických vlastností rýchloreznej ocele. Na základe horeuvedeného bolo cieľom predloženej práce preskúmať vplyv látok s vysokou teplotou tavenia na štruktúru a vybrané vlastnosti rýchlorezných ocelí typu STN 41 9830 po odliatí kovu do pieskových a kovových foriem.

## 2. MATERIÁLY A METODIKA EXPERIMENTOV

Experimentálne ocele sa tavili v elektrickej indukčnej peci s kyslou výmurovkou. Po roztavení vsádzky rýchloreznej ocele typu STN 41 9830 sa tavenina dezoxidovala najprv FeMn a FeSi množstvom dezoxidovadla  $\acute{a} = 0,2$  hm. %. Prídavky očkovača sa pridávali do taveniny v množstvách podľa rozpisu uvedeného v tab. č. 2. Napokon sa roztavený kov dezoxidoval prídavkom 0,1 hm. % hliníka hmotnosti vsádzky.

Kov sa odliat pri teplote  $1480$  až  $1520 \pm 5^\circ\text{C}$ , ktorá sa kontrolovala pomocou W - Mo termočlánku, do pieskových a kovových foriem. Ingoty sa uvoľnili z foriem až po úplnom stuhnutí. Z ingotov sa odoberali vzorky na metalografickú a RTG-analýzu a vyhotovili sa telieska pre mechanické skúšky. V stave po odliatí sa rezali ingoty vodným lúčom, po žihaní a ďalšom tepelnom spracovaní – karborundovým kotúčom.

Tepelné spracovanie ingotov a experimentálnych vzoriek zahŕňalo žihanie, kalenie a popúšťanie. Kalenie sa robilo z teploty  $1210^\circ\text{C}$  a trojnásobné popúšťanie na teplote  $560^\circ\text{C}$  s výdržou 1 h. Odolnosť voči opotrebeniu sa hodnotila meraním intenzity opotrebenia pri trení oceľového kotúča  $\varnothing 0,05$  m a šírkou 0,05 m o vzorku zo skúmanej ocele pri namáhaní 100 N a rýchlosti otáčania kotúča 880 o/h (2,3 m/s).

## 3. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNYCH PRÁČ A DISKUSIA

Bolo zistené, že po odliatí základnej ocele typu STN 41 9830 a jej variantov očkovaných FeW a volfrámovou trieskou Wtr v množstve 0,1; 0,3 a 0,6 hm. %, práškovým Wpr (0,3 a 0,6 hm. %), WC (0,1; 0,3 a 0,6 hm. %) a  $\text{TiB}_2$  (0,3 hm. %) do pieskových zlievarenských foriem bola matrica týchto ocelí tvorená bainitom, austenitom a pri niektorých tavných aj určitým množstvom  $\delta$ -eutektoidu, ktorého podiel výrazne závisel na druhu a množstve použitej prísady [1-4]. S takouto štruktúrou boli v súlade aj namerané hodnoty tvrdosti skúmaných ocelí po odliatí a to v intervale 53,0 až 56,0 HRC. Podľa údajov rtg-analýzy boli v štruktúre ocelí v stave po odliatí pozorované karbidy  $\text{M}_6\text{C}$  a MC, ktoré vytvárali karbidickú sieťovinu po hraniciach primárnych zŕn tuhého roztoku. Sledované karbidy boli eutektického a sekundárneho pôvodu. Eutektikum sa tvorilo predovšetkým na báze karbidu  $\text{M}_6\text{C}$  – prevládajúcej karbidickej fázy všetkých skúmaných zliatin. Na základe karbidu  $\text{M}_6\text{C}$  sa vyskytuje najmä eutektikum tyčinkovitej morfológie, kolónie ktorého sú vytvorené relatívne jemnými tyčinkami tohto karbidu. Spolu s eutektikom tyčinkovitej morfológie sa pozoruje v štruktúre sledovaných ocelí typu STN 41 9830 aj skeletovité eutektikum ako druhé v poradí, ktoré sa tvorí tak isto na základe karbidu  $\text{M}_6\text{C}$ . Primárne karbidy MC v štruktúre očkovaných ocelí boli sústredené najmä pri eutektických útvaroch na základe karbidov  $\text{M}_6\text{C}$  a v porovnaní s nimi sa líšili zreteľne hrubšou stavbou.

Vanádové eutektikum na základe karbidu vanádu typu MC sa pozorovalo len v štruktúre neočkovanej ocele typu STN 41 9830 [4].

Porovnanie štruktúry základnej ocele s očkovanými preukázalo, že očkovanie spôsobilo kvantitatívne a kvalitatívne zmeny primárnej štruktúry. Čo sa týka kvantitatívnych zmien, šlo predovšetkým o zmenu veľkosti primárneho zrna matrice. S použitím metód štatistickej metalografie bolo stanovené, že očkovanie látkami s vysokou teplotou tavenia dôsledkom zväčšenia množstva kryštalizačných zárodkov v tavenine počas primárnej kryštalizácie výrazne prispievalo k tvorbe oveľa jemnejšej matrice (Tab 1). Vplyvom očkovania dochádzalo aj k zjemneniu karbidických útvarov vylučujúcich sa z taveniny počas eutektickej reakcie a takisto k zmene podielov jednotlivých fáz a štruktúrnych zložiek, akými sú primárne karbidy MC,  $\delta$ -eutektoid, tyčinkovité a skeletovité eutektikum [1-4].

Kvalitatívne zmeny sa prejavovali v prvom rade prechodom od typickej dendritickej štruktúry matrice u ocele základného chemického zloženia k štruktúre s prevažne bunkovou morfológiou u očkovaných ocelí [2-4]. Ku kvalitatívnym patrili aj zmeny morfológie karbidických útvarov eutektického pôvodu. V základnej oceli a vo väčšine ocelí očkovaných 0,1 % prídavkom FeW, volfrámovej triesky, prášku W a WC prevládalo tyčinkovité eutektikum, ako druhé v poradí podľa výskytu bolo skeletovité eutektikum, až potom – vejárovité. Zvyšovaním množstva použitého očkovačla objemový podiel skeletovitého eutektika výrazné stúpala a to na úkor tyčinkovitého. V štruktúre ocelí očkovaných 0,6 % prídavkom už dominovalo skeletovité eutektikum.

Zistilo sa, že vplyvom očkovania sa menil aj charakter precipitácie sekundárnych drobných karbidov respektíve hustota ich precipitácie a charakter rozloženia. Napríklad, pre štruktúru ocele podrobenú očkovaniu diboridom titánu bola obzvlášť pozoruhodným faktorom prítomnosť väčších precipitátov špecifického hranatého tvaru uprostred primárnych zŕn kovovej matrice, ktorými boli pravdepodobne fázy  $TiB_2$  [3]. Druhou zvláštnosťou bola prítomnosť defektov dislokačného pôvodu v štruktúre tejto ocele, ktorých rozmer prevyšoval rozmery primárnych zŕn matrice a pozdĺž ktorých sa vylučovali drobné karbidy [3].

Veľmi dôležitá je tá skutočnosť, že kombinovanie očkovania so zvýšenou rýchlosťou ochladzovania pri tuhnutí odliatku v kovovej forme zabezpečovalo ešte jemnejšiu a rovnomernejšiu štruktúru skúmaných ocelí v porovnaní s ocelami odliatymi do pieskových foriem [1]. Jemná štruktúra matrice ocelí (pozri Tab. 1) po odliatí do kovových foriem bola tvorená martenzitom a zvyškovým austenitom, čomu zodpovedala tvrdosť 62,5 až 64 HRC. Na báze karbidu  $M_6C$  sa tvorilo tyčinkovité eutektikum. Pozorovali sa aj primárne karbidy MC.

Štruktúra skúmaných ocelí po žíhaní bola tvorená legovaným feritom, eutektickými karbidmi a sferoidizovanými eutektoidnými a sekundárnymi karbidmi [5, 6]. Tvrdosť ocelí po žíhaní bola v rozmedzí 29 - 35 HRC. Pomocou rtg-analýzy sa zistilo, že karbidickú zložku ocelí zastupujú fázy  $M_6C$ , MC a  $M_{23}C_6$ . V oceli očkovanej diboridom titánu sa navyše pozoroval borid chrómu  $Cr_5B_3$ . Diskontinuálna karbidická sieť, ktorá bola vytvorená po hraniciach primárnych zŕn tuhého roztoku pri tuhnutí odliatku,

zostala v štruktúre vyžíhaných ocelí praktický bez výrazných zmien. Avšak sa pozorovali stopy koagulácie karbidov  $M_6C$ , najmä v zložení tyčinkovitého eutektika.

Po zakalení boli základnými štruktúrnymi zložkami skúmaných ocelí martenzit, zvyškový austenit a karbidy vo forme zvyšovej sieťoviny a podstatne menšieho množstvo sekundárnych, drobných precipitátov globulárneho tvaru, ktoré precipitovali z presýteného tuhého roztoku počas ochladzovania ocelí z teplôt austenitizačnej výdrže. Tvrdosť kalených ocelí bola v rozmedzí 60 až 66 HRC. Pre všetky očkované ocele až na výnimku ocele očkovanej  $TiB_2$  bolo typickým znakom oveľa jemnejšie pôvodné austenitické zrno než u základnej ocele. Štruktúra ocelí po popúšťaní bola tvorená popusteným martenzitom, zvyškovým austenitom a karbidmi eutektického a sekundárneho pôvodu. V štruktúre všetkých očkovaných ocelí bola prítomná karbidická sieťovina, ktorá sa dedila po úplnom tepelnom spracovaní a určovala štruktúrnú heterogenitu ocelí. K tomu prispieval nielen dedičný faktor respektíve samotný vplyv jednotlivých prísad očkovačov na tvorbu karbidov počas primárnej kryštalizácie, ale aj kinetika rozpúšťania fáz a zmena ich morfológie v dôsledku procesov koagulácie pri rôznych etapách tepelného spracovania ocelí. Práve tieto procesy boli zodpovedné za výslednú transformáciu primárnej štruktúry ocelí po tepelnom spracovaní.

Tabuľka 1. Aritmetický priemer primárneho zrna a mechanické vlastnosti skúmaných ocelí po tepelnom spracovaní

Table 1. Arithmetical diameter of primary grains and mechanical properties of the steels studied after heat treatment

Očkovač/ Tavba	Primárne zrno [ $\mu m$ ]	Tvrdosť [HRC]	Tepelná odolnosť <sup>1</sup> [HRC]	Intenzita opotre- benia <sup>2</sup> $\times 10^{-7}$	Rázová húževnatosť [MJ/m <sup>2</sup> ]
— / 0	65,87	63,5	60,0	0,84	0,05
0,1%FeW/11	51,55	64,5	60,0	0,58	0,090
0,3%FeW/12	55,22	64,0	60,5	0,58	0,070
0,6%FeW/13	50,30	64,0	60,5	0,52	0,065
0,1%FeW/11K	15,53	64,5	60,0	0,62	0,145
0,3%FeW/12K	15,97	63,5	60,0	0,69	0,140
0,6%FeW/13K	16,84	64,5	60,5	0,56	0,135
0,1%WC/21	59,73	64,0	60,0	0,62	0,095
0,3%WC/22	44,27	64,0	60,0	0,59	0,105
0,6%WC/23	59,97	64,5	60,0	0,53	0,085
0,1%WC/21K	13,21	63,5	60,5	0,65	0,140
0,3%Wpr/32	44,86	63,0	60,5	0,53	0,070
0,6%Wpr/33	46,22	63,5	61,0	0,59	0,075
0,1%Wtr/41	36,70	64,0	60,0	0,51	0,10
0,3%Wtr/42	31,98	63,5	60,5	0,59	0,11
0,6%Wtr/43	49,51	64,0	61,0	0,52	0,08
0,3%TiB <sub>2</sub> /5	56,59	64,0	60,5	0,59	0,12

<sup>1</sup>Hodnotila sa meraním tvrdosti pri izbovej teplote po dodatočnom popúšťaní na 620 °C, 4 h.

Zistilo sa, že najväčšiu náchylnosť ku koagulácii mali karbidy  $M_6C$  tyčinkovitého eutektika, kým karbidy  $M_6C$  v zložení skeletovitého eutektika sa správali počas tepelného spracovania ocelí oveľa stabilnejšie. Najstabilnejšími boli karbidy MC. Bolo stanovené, že transformácia primárnej štruktúry ocelí počas tepelného spracovania bola sprevádzaná difúznym prerozdelením legujúcich prvkov medzi matricou a karbidmi, následkom čoho sa menili aj mriežkové parametre matrice ocele.

V práci sa získali závislosti medzi mechanickými vlastnosťami a štruktúrnymi parametrami s kvalitatívnym a kvantitatívnym vyhodnotením vplyvu faktorov štruktúrnej dedičnosti na mechanické vlastnosti očkovaných ocelí. Bolo zistené, že v dôsledku štruktúrnych zmien, vyvolaných očkovaním, sa podstatne ovplyvňujú finálne vlastnosti. Tvorba oveľa jemnejšej a rovnomernejšej štruktúry vplyvom očkovania najmä pri použití takých prísad, akými sú 0,1 % prídavky FeW, WC a W triesky a 0,3 % prídavky W triesky, W a  $TiB_2$  zabezpečuje zvýšenie rázovej húževnatosti ocelí o 50 až 80 %. Ešte vyššia rázová húževnatosť bola dosiahnutá pri kombinovaní očkovania so zrýchleným ochladzovaním ocelí pri odlievaní do kokily (Tab. 1).

Ďalším výrazným prínosom bolo zlepšenie oteruvzdornosti očkovaných ocelí najmä pri použití 0,6 % prísad volfrámových očkovadiel všetkých druhov a 0,3 % prídavku  $TiB_2$ . Očkovaním odolnosť voči opotrebeniu stúpa o 20 až 30 % (Tab. 1). Ako to preukázali tribologické skúšky vzoriek očkovaných ocelí a metalografické štúdium ich opotrebených povrchov, na odolnosť ocelí voči opotrebeniu výrazne vplyva objemový podiel, morfológia a charakter rozloženia eutektických karbidov v štruktúre ocelí po úplnom tepelnom spracovaní.

Na základe získaných výsledkov boli pre praktické overenie navrhnuté najúčinnnejšie očkovadlá zo skúmaných látok, ktorými sú W (trieskový a práškový), FeW, WC a  $TiB_2$ .

#### 4. ZÁVER

1. Boli preskúmané fázové zloženia a mikroštruktúra rýchlorezných ocelí na odliavané rezné nástroje základného chemického zloženia podľa STN 41 9830 a dodatočne očkovaných latkami s vysokou teplotou tavenia v množstve 0,1; 0,3 a 0,6 hm. % a odliatych do pieskových a kovových foriem.

2. Metalografické štúdium preukázalo, že očkovanie takýmito prísadami spôsobuje kvantitatívne aj kvalitatívne zmeny primárnej štruktúry rýchloreznej ocele typu STN 41 9830. Kvantitatívne zmeny sa týkajú predovšetkým veľkosti primárneho zrna matrice a jemnosti karbidických útvarov precipitujúcich počas eutektickej reakcie a sekundárnej kryštalizácie ocele, a tiež zmien podielu jednotlivých fáz a štruktúrnych zložiek vplyvom očkovania. Kvalitatívne zmeny sa prejavujú v prvom rade prechodom od typickej dendritickej štruktúry matrice u oceli základného chemického zloženia k štruktúre s prevažne bunkovou morfológiou u ocelí podrobených očkovaniu. Ku kvalitatívnym zmenám patria aj zmeny spojené so zmenou morfológie karbidických útvarov najmä eutektického pôvodu.

3. Tvorba oveľa jemnejšej a rovnomernejšej štruktúry vplyvom očkovania zaručuje zvýšenú rázovú húževnatosť. Ďalším výrazným prínosom je zlepšenie oteruvzdornosti

očkovaných ocelí najmä pri použití 0,6 % prísad volfrámových očkovačiek všetkých druhov a 0,3 % prídavku TiB<sub>2</sub>.

#### **Pod'akovanie**

Autor ďakuje grantovej agentúre VEGA za podporu grantu 1/0306/03, v rámci ktorého tento príspevok vznikol.

#### **LITERATÚRA**

- [1] A.S. Chaus: *High-speed steels and technologies of treatment for cast metal-cutting tools*. In: Zborník prednášok 13. medzinárodnej konferencii „CO-MAT-TEC 2005“, Bratislava: 2005, STU, 2005, s. 424-434 .
- [2] A.S. Chaus: *Štúdium tvorby primárnej štruktúry v rýchloreznej ocele typu STN 41 9830 očkovanej volfrámom vo forme prášku a triesky*. In: Acta Metallurgica Slovaca, 2005, vol. 11, č. 3, s. 13 – 18.
- [3] J. Chovanec, M. Legerská, A.S. Chaus: *Vplyv očkovania volfrámom na tvorbu liatej štruktúry v rýchloreznej oceli STN 41 9830*. In: Zborník prednášok 9. medzinárodnej konferencii „Technológia 2005“, Bratislava: STU, 2005, s. 312 - 316.
- [4] M. Legerská, J. Chovanec, A.S. Chaus: *Vplyv očkovania WC a TiB<sub>2</sub> na tvorbu liatej štruktúry v rýchloreznej oceli STN 41 9830*. In: Zborník prednášok 9. medzinárodnej konferencii „Technológia 2005“, Bratislava: STU, 2005, s. 353-358.
- [5] J. Chovanec, M. Legerská, A.S. Chaus: *Effect of annealing on structure of M2 type high-speed steel inoculated by tungsten*. In: Zborník prednášok 13. medzinárodnej konferencii „CO-MAT-TEC 2005“, Bratislava: 2005, STU, 2005, s. 442-447.
- [6] M. Legerská, J. Chovanec, A.S. Chaus: *Effect of annealing on structure of M2 type high-speed steel inoculated by WC and TiB<sub>2</sub>*. In: Zborník prednášok 13. medzinárodnej konferencii „CO-MAT-TEC 2005“, Bratislava: 2005, STU, 2005, s. 713-717.

#### **INOCULATING EFFECT OF ADDITIONS WITH HIGH MELTING TEMPERATURE IN HIGH-SPEED STEELS**

#### **SUMMARY**

In the paper effect of disperse additions with high melting temperature namely milled FeW, powder of W, WC, and TiB<sub>2</sub> as well as wastes of tungsten chips on the structure and mechanical papers of high-speed steels for cast cutting tools have been studied. The relationships between the structural parameters and mechanical properties of the steels treated have been established with qualitative and quantitative evaluation of the inheritance effect in term of working properties.

Recenzował: Doc. L`udovit Bobok