

## Izkušnje s homogenizacijo brzoreznih jekel\*

Jože Rodič, Alenka Rodič

*Pri vroči predelavi brzoreznih jekel se večkrat postavlja vprašanje: homogenizacija da ali ne? Raziskave v železarni Ravne so dale dokaj jasen odgovor: homogenizacija ima škodljive posledice za nekatere odločilne lastnosti orodij iz brzoreznih jekel, zato ni priporočljiva, četudi bi dosegli večjo stopnjo homogenosti in enakomernjšo porazdelitev karbidov. Učinkovita homogenizacija neizogibno povzroča nastanek grobih karbidov, ti pa poslabšajo popuščno obstojnost, rezalno sposobnost, žilavost in še druge pomembne tehnološke lastnosti.*

Brzorezna jekla imajo vrsto značilnih lastnosti, po katerih se bistveno razlikujejo od vseh drugih vrst orodnih in konstrukcijskih jekel, le z orodnimi jekli ledeburitnega tipa na bazi visokega ogljika in visokega kroma imajo nekaj podobnosti.

Prav te osnovne karakteristike zahtevajo kontrolirane pogoje v celotnem procesu vroče predelave, pri katerih moramo upoštevati, da je mikrostruktura v litem stanju izrazito heterogena. Primarna zrna so obdana s sklenjeno mrežo eutektika, tipične ledeburitne oblike, ki ima visoko trdoto in je zelo krhek (slika 1). Tudi notranjost zrn ni homogena in v ekstremnih primerih najdemo v teh zrnih plastovite izceje ogljika in legirnih elementov (slika 2). Te izceje povzročajo tudi plastovito konfiguracijo mikrostruktur v notranjosti zrna, ki je odvisna od pogojev ohlajeva-

nja litega brzoreznega jekla, tako da najdemo v notranjosti zrn lahko vse tipične mikrostrukture, od zaostalega avstenita preko martenzita in sorbita do značilne perlitne mikrostrukture.



Slika 1

Mikrostruktura brzoreznega jekla v litem stanju s primarnimi in sekundarnimi karbidi, martenzitom in zaostalim avstenitom (povečava 100 ×)

Fig. 1

Microstructure of the high-speed steel, as cast, with primary and secondary carbides, martensite and retained austenite (magnification 100×).



Slika 2

Mikroizceje v dendritnih žepih (povečava 500 ×)

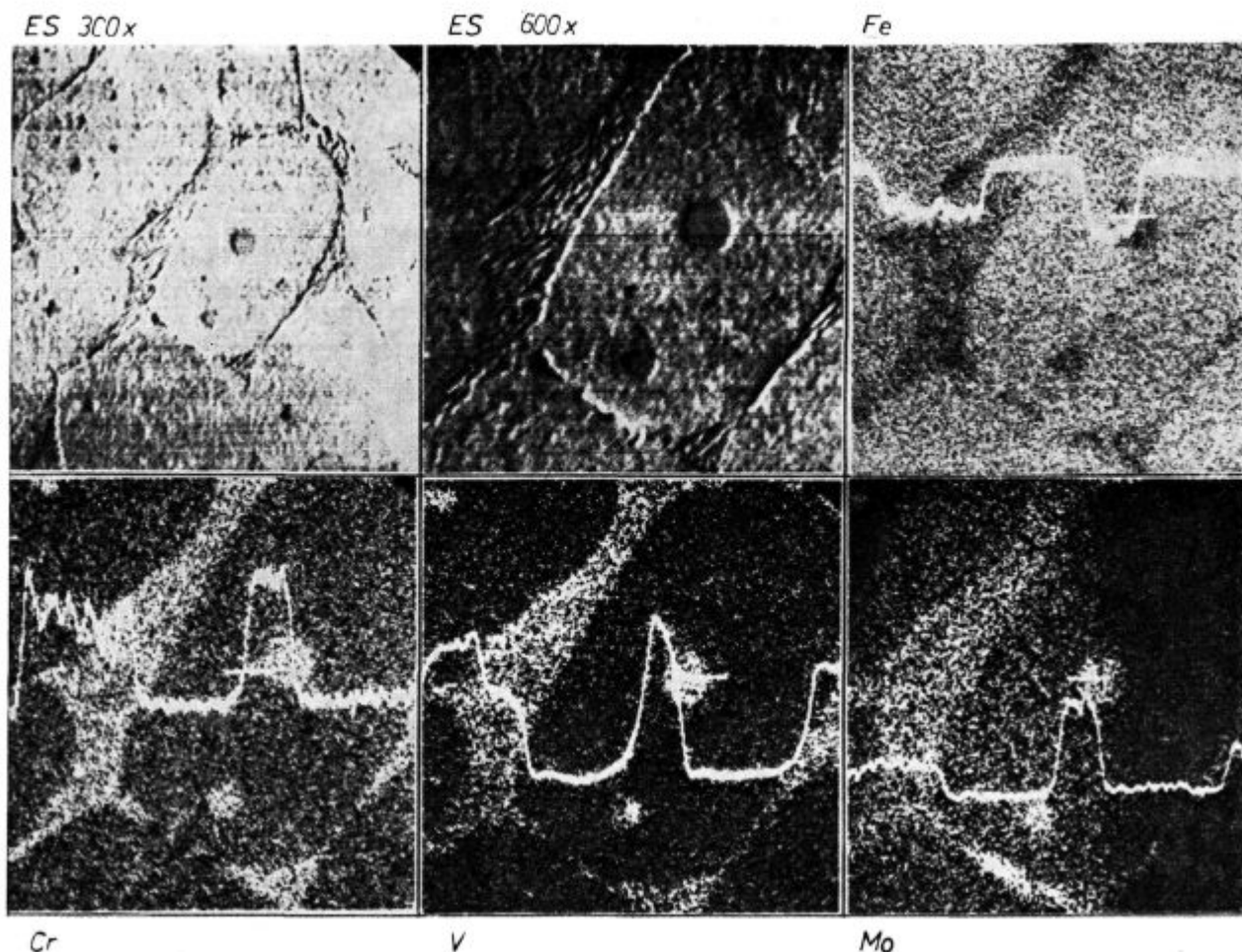
Fig. 2

Microsegregations in the dendrite pockets (magnification 500×).

\* Referat na 1. mednarodnem strokovnem posvetovanju »FREIFORMSCHMIEDEN« 11.—13. oktobra 1977. Tharandt, NDR

Jože Rodič je diplomirani inženir metalurgije in vodja službe za razvoj tehnologije, izdelkov in metalurške raziskave v železarni Ravne.

Alenka Rodič je diplomirana inženirka metalurgije in vodja metalografskih laboratorijev v železarni Ravne.



Slika 3

Elektronska posnetka pri povečavah 300 × in 600 ×, specifični X-posnetki in profili koncentracij železa, kroma, vanadija in molibdena za jeklo z 1,5 % C — 12 % Cr — 1 % V — 1 % Mo

Fig. 3

Electron picture at the magnifications 300 × and 600 ×, specific X-ray pictures and concentration profiles of iron, chromium, vanadium, and molybdenum for steel with 1.5 % C, 12 % Cr, 1 % V, 1 % Mo

Seveda najdemo v notranjosti zrn tudi primarne in sekundarne izločane karbide. V bistvu podobne značilnosti mikrostruktur najdemo v brzoreznih in tudi v ledeburitnih orodnih jeklih z visokim kromom in ogljikom, ki imajo večkrat še dodatke karbidotvornih elementov molibdena, vanadija in volframa. Z mikrosondo ugotavljamo značilne profile koncentracij najpomembnejših elementov v kemijski sestavi.

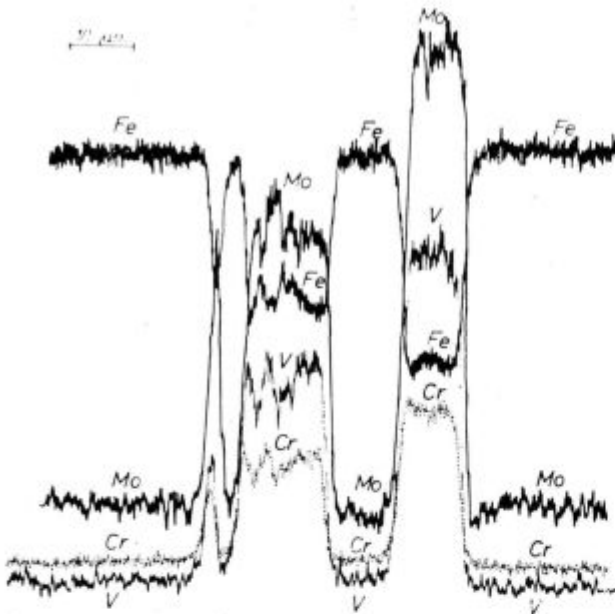
Slika 3 kaže za ledeburitno orodno jeklo tipa 1,5 % C — 12 % Cr — 1 % V — 1 % Mo elektronska posnetka pri dveh različnih povečavah, specifične X-posnetke in profile koncentracij železa ter karbidotvornih legirnih elementov kroma, vanadija in molibdena. Profili koncentracij na teh slikah jasno kažejo značilno zgradbo eutektika na stičiščih zrn.

Slika 4 kaže za isto jeklo neposredno primerjavo koncentracij, dobljenih z linijsko analizo na elektronskem mikroanalizatorju.

Slika 5 pa kaže za isti vzorec jekla rezultate točkovne kvantitativne analize na elektronskem mikroanalizatorju, pri čemer med posameznimi fazami mikrostrukture ugotavljamo velike razlike koncentracije glavnih elementov.

S torzijskim poskusom v vročem dobimo zanimive podatke o predelavni sposobnosti, izraženi s številom N obratov do preloma, z maksimalnim momentom  $M_{max}$  in s predelavno trdnostjo  $k_f$  pri različnih temperaturah.

Slika 6 kaže rezultate takih meritev za dve vrsti brzoreznega jekla, tipa 6-5-2 in tipa 10-4-3-10. Vidimo, da ima superbrzorezno jeklo 10-4-3-10 znatno slabšo predelavno sposobnost. Ti torzijski poskusi so bili izvajani pri 74 obratih na minuto in s preizkušanci  $\varnothing 6 \times 50$  mm. Črtkani krivulji na desni strani slike 6, ki pripadata preizkušancem v litem, nepredelanem stanju, kažeta precejšnje odstopanje od črtkanih območij, v katerih dobimo rezultate z običajnim preizkušanjem



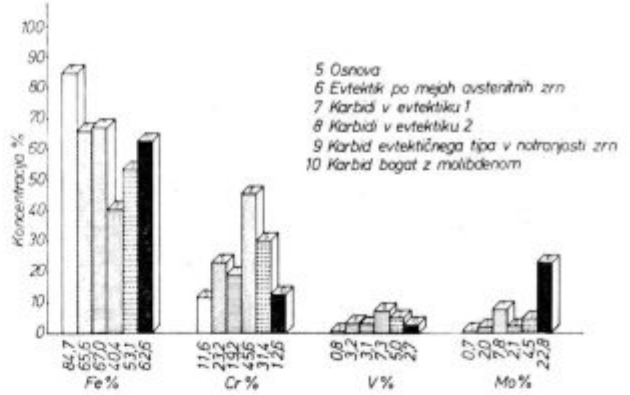
Slika 4

Profili koncentracij glavnih elementov registrirani z linijsko analizo na elektronskem mikroanalizatorju za vzorec z X-posnetki na sliki 3

Fig. 4

Concentration profiles of the main constituents registered by the line analysis of the electron microanalyzer for the sample of Fig. 3

vzorcev, izdelanih iz paličastega brzoreznega jekla. Torej dobimo s takim poizkusom bolj malo neposrednih informacij, ki jih želimo in potrebu-



Slika 5

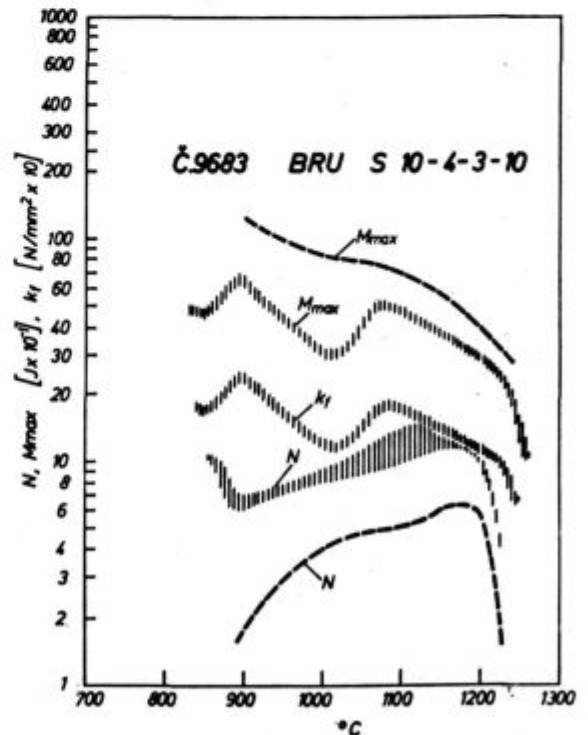
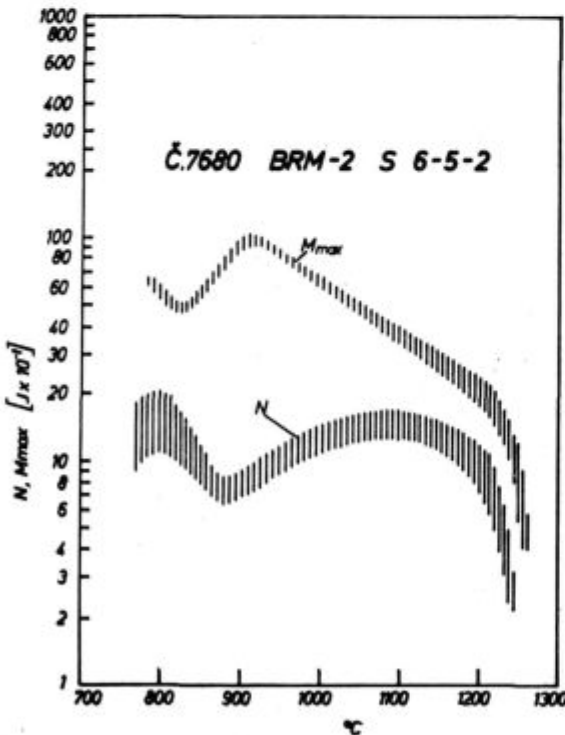
Rezultati kvantitativne analize na elektronskem mikroanalizatorju za vzorec, obravnavan na slikah 3 in 4

Fig. 5

Results of quantitative analysis of the sample of Fig. 3 made by the electron microanalyzer

jemo prav za spoznavanje obnašanja jekla v začetnih fazah vroče predelave.

Pri izbiri temperaturnega režima za ogrevanje pred vročo predelavo in za potek deformacij ugotovitvam torzijskega poizkusa v vročem ne smemo pripisovati prevelikega pomena. Če bi namreč iskali neposredno iz teh rezultatov preizkušanja optimalno območje temperatur samo na osnovi sposobnosti za deformacije, bi gotovo izbrali temperaturni režim v območju tako visokih temperatur, da bi že pri ogrevanju pred vročo predelavo kakovost jekla močno pokvarili. Prav

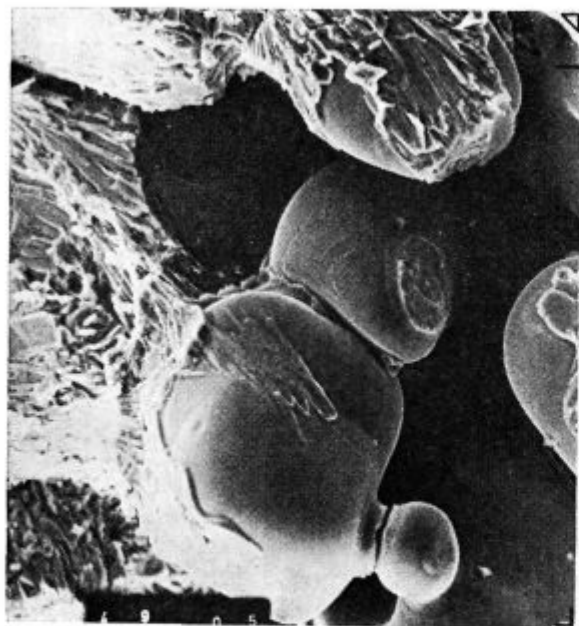


Slika 6

Rezultati meritev predelavne sposobnosti dveh vrst brzoreznih jekel s poizkusom torzije v vročem

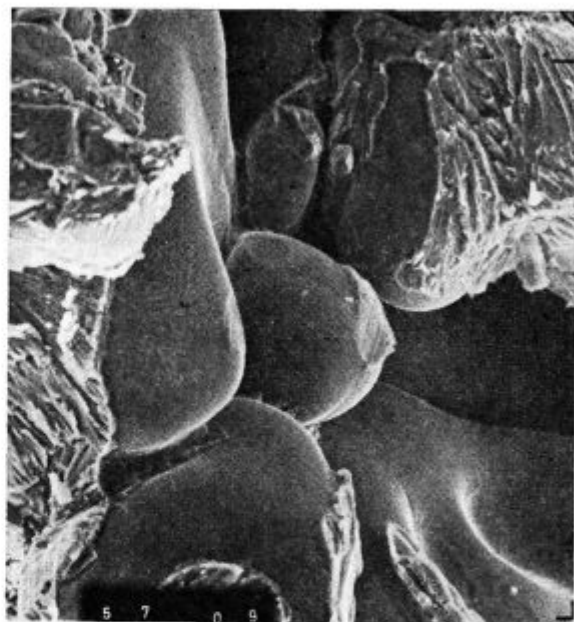
Fig. 6

Results of measuring workability of two high-speed steels by a hot torsion test.



1000x

10µm



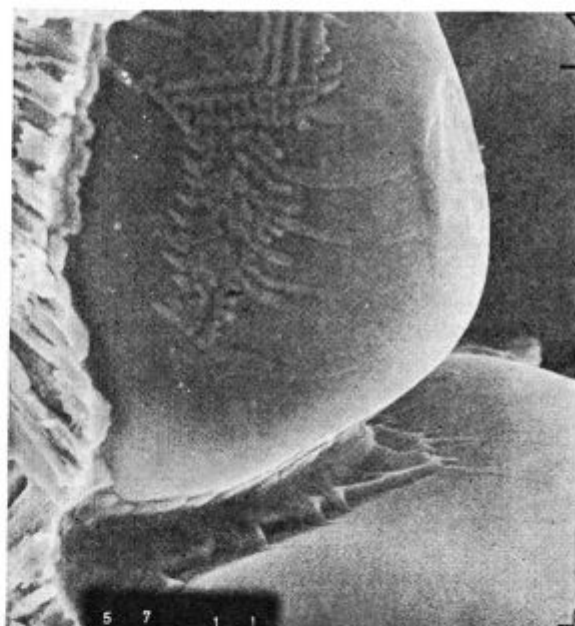
1000x

10µm



300x

100µm



3000x

10µm

Slika 7

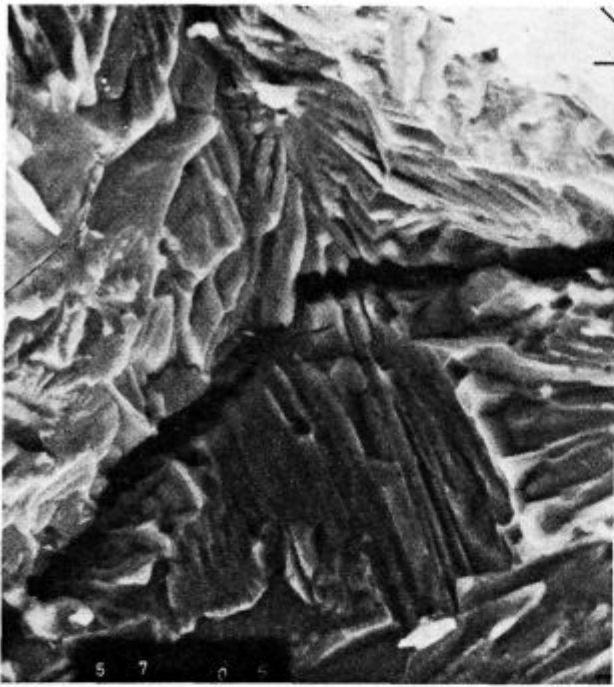
REM posnetki prelomne ploskve orodnega jekla tipa 1,5% C — 12% Cr — 1% V — 1% Mo s sklenjeno mrežo evtektika pri različnih povečavah

Fig. 7

SEM pictures of the fracture area of the tool steel with 1.5% C, 12% Cr, 1% V, and 1% Mo, which has continuous eutectic net. Various magnifications

pri tovrstnih jeklih najbolj velja, da s kovanjem ali valjanjem ne dajemo tem jeklom samo potrebne oblike, ampak moramo zagotoviti tudi ali pa celo predvsem čimboljšo stopnjo enakomernosti strukture, od katere so bistveno odvisne uporabne lastnosti orodij, izdelanih iz teh jekel. Mreža

ledeburitnega evtektika je krhka, kar nazorno prikazujejo posnetki prelomne ploskve z rasterskim elektronskim mikroskopom (slika 7). Ledeburitno orodno jeklo, ohlajeno z visokih temperatur s sklenjeno mrežo evtektika, se lomi izrazito integranularno, tako da se ob minimalnih



3000x

10  $\mu$ m

Slika 8

REM posnetek preloma z razpoko, ki poteka po meji med avstenitnimi zrni, obdanimi s krhkim eutektikom

Fig. 8

SEM pictures of the fracture with a crack on a boundary of austenite grains enveloped by a fragile eutectic



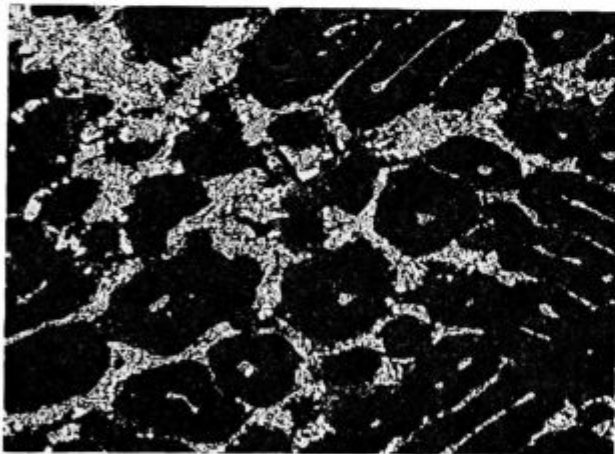
Slika 10

Fig. 10



Slika 11

Fig. 11



Slika 9

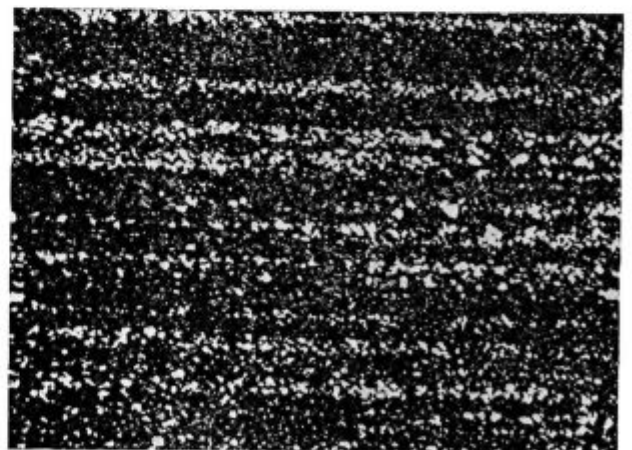
Fig. 9

Slike 9—12

Različne stopnje neenakomernosti karbidnih izcej pod vplivom različnih stopenj predelave s kovanjem ali valjanjem

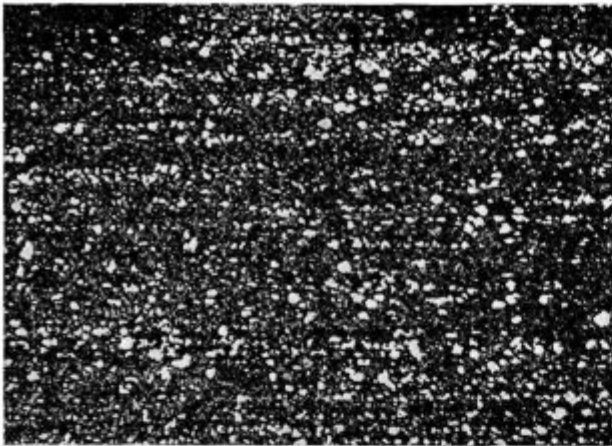
Figs. 9—12

Various degrees of non-uniform carbide segregations influenced by various degrees of forming with forging or rolling

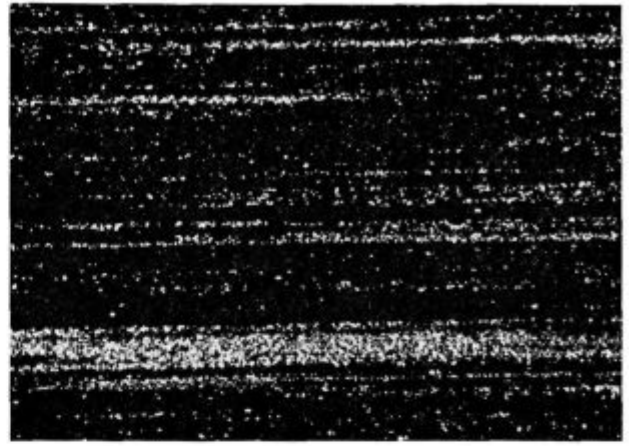


Slika 12

Fig. 12



Slika 13  
Fig. 13



Slika 14  
Fig. 14

Sliki 13 — 14

Primerjava enakomerne in trakaste porazdelitve karbidov

Figs. 13—14

Comparison of uniform and banded distribution of carbides

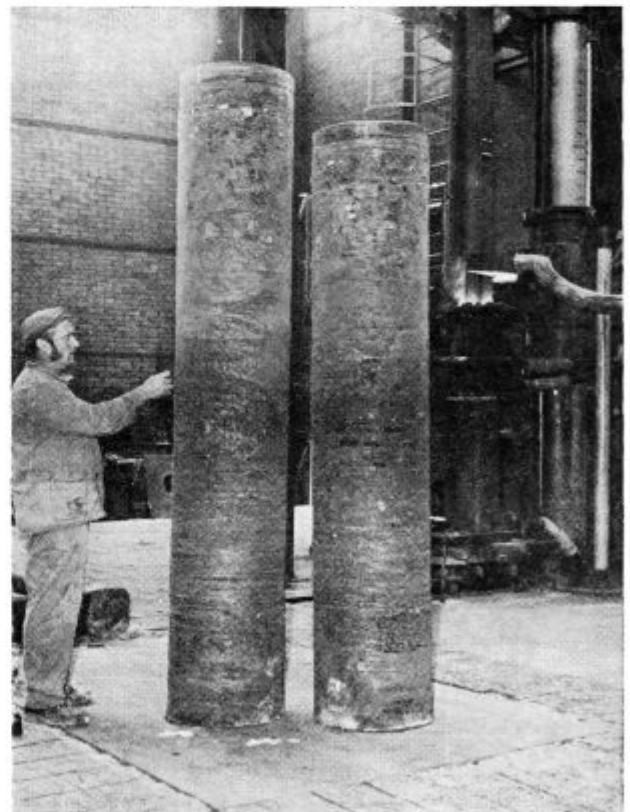
deformacijah drobi trdi in krhki evtektik, avsternitna zrna pa ostanejo skoraj nedotaknjena.

Slika 8 kaže potek razpoke po meji med zrnji, obdanimi s krhkim evtektikom.

Razumljivo je, da želimo evtektično mrežo čimbolj razbiti, da bi zagotovili strukturo s čimbolj enakomerno razporeditvijo trdih karbidnih zrn, vloženi v relativno žilavi osnovi. Karbidi so nosilci obrabne obstojnosti orodij, osnova pa mora prenašati vse druge obremenitve. Serija slik 9 do 13 prikazuje različne stopnje neenakomernosti razporeda karbidnih izcej v odvisnosti od stopnje predelave pri vroči deformaciji. Študije statističnih korelacij teh odvisnosti za različne formate ingotov in pogoje litja, ki opredeljujejo izhodno lito stanje, so za oblikovanje celotnega tehnološkega postopka izredno pomembne. Zaradi velike občutljivosti konfiguracije mikrostrukture in predvsem evtektične mreže od pogojev litja opažamo pri polizdelkih (gredicah) precej različne stopnje neenakomernosti karbidnih izcej. Z računalniško dokumentacijo in banko vseh podatkov redne kontrole imamo možnosti, da s korelacijami stopnje neenakomernosti karbidnih izcej v gredicah in končnih profilih statistično ugotovimo kriterije za medfazno kontrolo polizdelkov, na osnovi katerih odločamo o dispoziciji nadaljnje potrebne stopnje predelave za zagotavljanje zahtevane kakovosti z ustrezno statistično zanesljivostjo.

Kovačnica in valjarna tudi z optimalnimi pogoji predelovalne tehnologije ne moreta sami dovolj zagotavljati ustrezne stopnje enakomernosti karbidnih izcej. Precej je namreč za to odgovorna tudi jeklarna, kjer pod različnimi pogoji litja nastajajo zelo različne izhodne strukture. Iz ingotov, ki imajo izredno grobo primarno zrno

in v mreži evtektika koncentrirane karbide, lahko pri optimalnih pogojih predelave dosežemo le trakasto strukturo (slika 14), ki za uporabne lastnosti orodij nikakor ni ugodna, če je zelo izrazita.



Slika 15

EP2 ingoti  $\varnothing$  500 mm teže 3,5—4 t v železarni Ravne

Fig. 15

ESR ingots  $\varnothing$  500 mm, weight 3.5 to 4 t in Ravne Iron-works

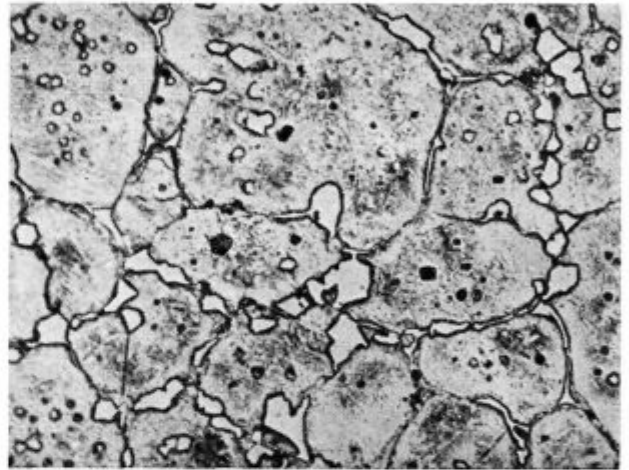
Povsem razumljivo je, da bo struktura v ingotu tembolj groba in neugodna, kolikor večji je format, zato je in bo v klasični tehnologiji proizvodnje brzoreznih jekel glavna problematika kakovosti in zagotavljanja lastnosti vezana na velikost in konstrukcijo kokil, iskanje optimalnih pogojev izdelave in litja ter uskladitev izhodnih formatov ingotov s stopnjo predelave.

Najnovejši postopki na osnovi prahaste metalurgije imajo namesto teh povsem druge, a tudi številne probleme.

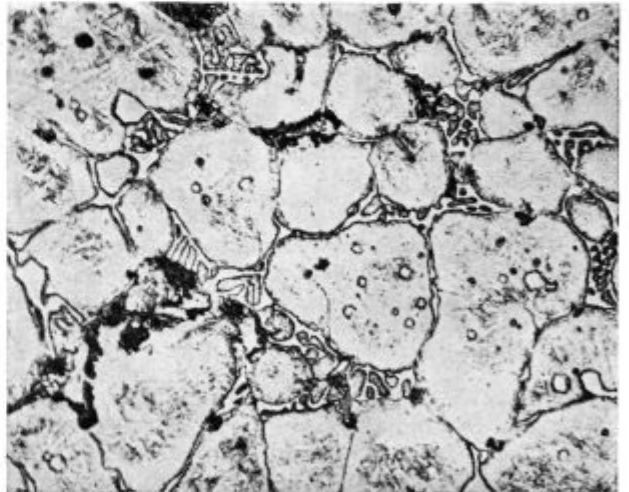
V konvencionalni proizvodnji brzoreznih jekel so običajno največji formati ingotov okrog 500 do 700 kg in le v redkih primerih dosegajo in presegajo teže ene tone. To predstavlja veliko omejitev pri možnostih izdelave paličastega jekla večjih dimenzij, če hočemo zagotoviti potrebno stopnjo predelave za doseganje enakomernosti. Zato so največja orodja, kot so npr. odvalni rezkarji modulov okrog 20 in celo več, dolga leta izdelovali le iz vsestransko kovanih pogač brzoreznega jekla, katere so bili sposobni dobavljati le najbolj specializirani proizvajalci brzoreznih jekel. Če se zamislimo v tehnologijo vsestranskega kovanja takih pogač, prav lahko ugotovimo, da ima tudi ta tehnologija obilo slabosti.

Na področju kovanja največjih dimenzij brzoreznega jekla je odprl povsem nove možnosti postopek električnega pretaljevanja pod žlindro z možnostmi kontroliranega strjevanja. Na ta način lahko danes železarna Ravne s svojo tehnologijo proizvaja brzorezno jeklo v paličasti izvedbi do premera 350 mm  $\varnothing$  in teže do 3,5 tone (slika 15). Dimenzije do ca. 250 mm  $\varnothing$  se redno proizvajajo v večjih količinah in s to proizvodnjo smo si nabrali toliko izkušenj, da smo se v zadnjem času posebej specializirali za kovanje največjih dimenzij brzoreznih jekel, ker prav za to področje ni mnogo proizvajalcev brzoreznih jekel z ustreznimi možnostmi.

Poleg problematike enakomernosti, oziroma neenakomernosti karbidnih izcej je prav tako aktualno področje problematike, vezane na velikost karbidov. Številne raziskave, analize rezultatov in posebna zapažanja v redni kontroli nedvorno potrjujejo ugotovitev, da se karbidi značilnih oblik kot sestavni del ledeburitnega evtektika pri predelavi lomijo in tako zmanjšujejo, medtem ko pa karbidov bolj ali manj krogličaste oblike pri predelavi skoraj ni mogoče razbijati in pričakovati, da bi se njihova velikost s stopnjo predelave bistveno zmanjševala. To je razumljivo, saj se med predelavo trdi karbidni delci pod vplivom deformacijskih sil preprosto le prerivajo v relativno mehki osnovi.



Slika 17  
Fig. 17

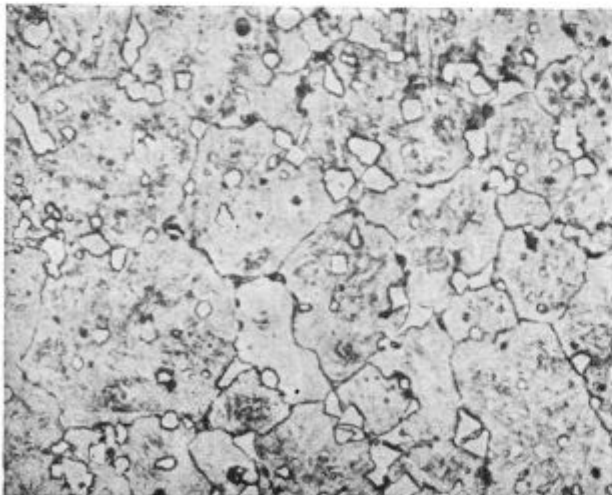


Slika 18  
Fig. 18

Slike 16—18  
Nastanek grobih karbidov zaradi pregretja pri kaljenju  
(povečava 500  $\times$ )

Figs. 16—18

Formation of coarse carbides due to overheating in  
quenching (magnification 500  $\times$ )



Slika 16  
Fig. 16

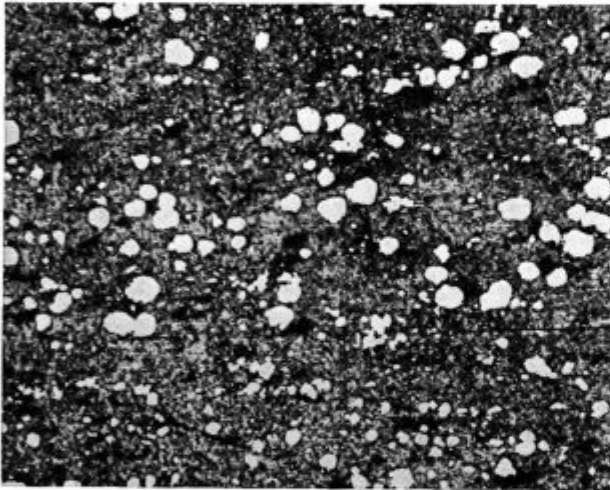


Slika 19

Zelo drobni enakomerno porazdeljeni karbidi (povečava 100 ×)

Fig. 19

Very fine uniformly distributed carbides (magnification 100 ×)



Slika 20

Zelo grobi karbidi nastali pri ogrevanju za vročo predelavo (povečava 100 ×)

Fig. 20

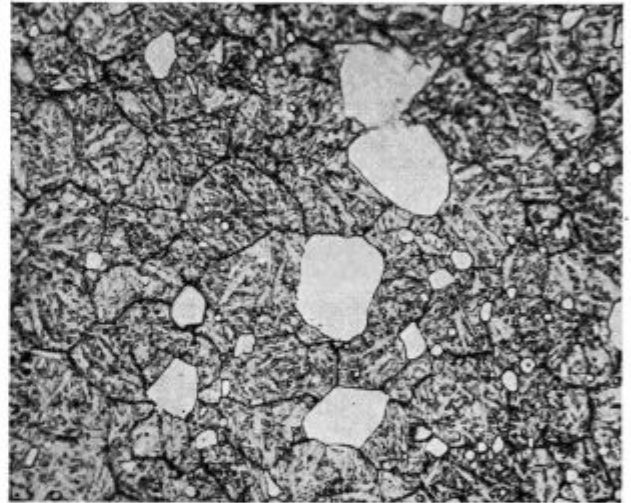
Very coarse carbides which were formed during annealing before hot working (magnification 100 ×)

V preteklih letih smo s sistematičnimi raziskavami ugotavljali posledice prisotnosti in pogoje nastajanja grobih karbidov. Pri tem ne mislimo na tiste grobe karbide oglatih oblik, ki nastajajo s pregretjem pri kaljenju in so dobro poznani (slike 16 — 18). Prav dobro lahko od takih oglatih grobih karbidov ločimo grobe karbide, ki so nastali ob neustreznih pogojih temperaturnega režima pri ogrevanju za kovanje ali valjanje. Primerjava slik 19 in 20 nam kaže očitno razliko velikosti karbidov že pri stokratni povečavi. Še bolj nazorni pa so posnetki pri večji povečavi 500 × (slike 21 — 23). Zadnja slika kaže, da

povzroča nastanek grobih karbidov tudi v obdajajoči osnovi velike razlike trdot.

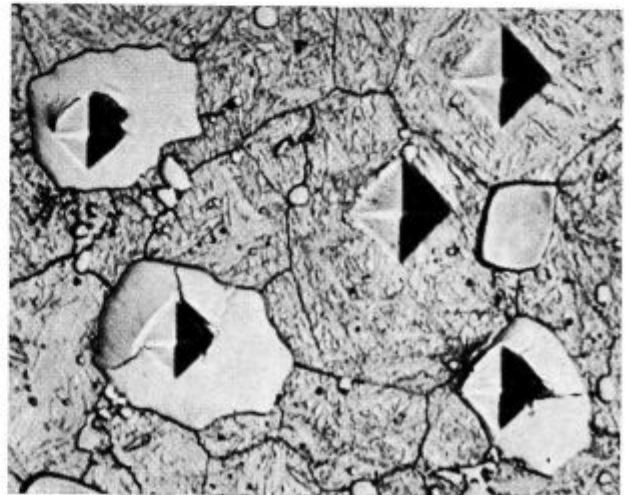
Večkrat so prav očitni pojavi skepljanja, oziroma združevanja sosednih karbidnih zrn. Pred nekaj leti smo z obsežnimi raziskavami v železarni Ravne hipoteze o nastanku grobih karbidov eksperimentalno potrdili s tem, da smo pri ekstremnih pogojih, ki pa so povsem možni ob nekaterih izrednih prilikah v proizvodnji povzročili grobe karbide, kakršne prikazujejo primeri mikroposnetkov pri 100 × povečavi na sliki 24 in pri 500 × povečavi na sliki 25. Na obeh slikah je nazorno prikazan proces skepljanja sosednjih karbidov.

Ob teh slikah o nastanku grobih karbidov ne more biti nikakršnega dvoma, zato pogledimo najprej, kako prisotnost grobih karbidov vpliva na značilne kakovostne in uporabne lastnosti brzoreznil jekel. Ko bomo nato spoznali še pogoje nastajanja takih karbidov, se bomo prav lahko opredelili pri presoji tehnologije ogrevanja za



Slika 21

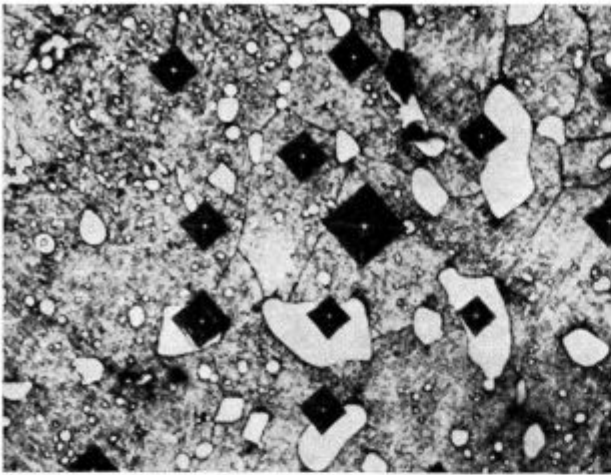
Fig. 21



Slika 22

Fig. 22





Slika 23

Fig. 23

Slike 21—23

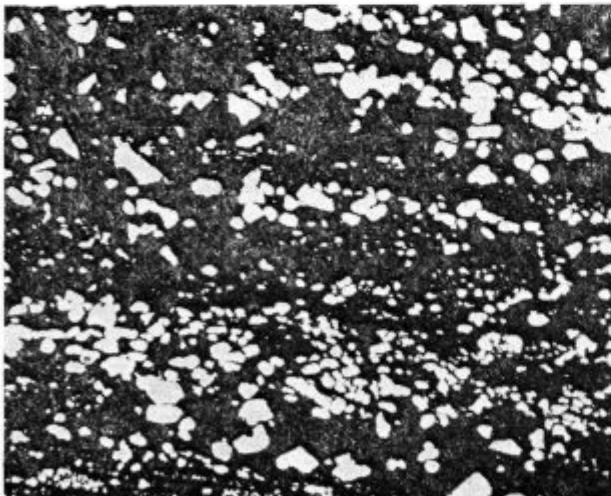
Grobi karbidi, nastali pri ogrevanju pred vročo predelavo (povečave 500 ×)

Figs. 21—23

Coarse carbides formed during annealing before hot working (magnification 500 ×)

vročo predelavo brzoreznih jekel in posebej ocenili visokotemperaturno homogenizacijo.

V rutinsko kontrolo in raziskave brzoreznih ter ledeburitnih orodnih jekel smo že pred več kot petnajstimi leti uvedli lastno metodo železarne Ravne za oceno velikosti karbidov, ki se je v praksi zelo dobro obnesla. Velikost karbidov po tej metodi izražamo z indeksom velikosti karbidov, pri čemer naj le za orientacijo omenimo gradacijo, po kateri označuje



Slika 24

Lokalno skepljanje karbidov v trakovih pri dogrevanju že predelanega brzoreznega jekla (povečava 100 ×)

Fig. 24

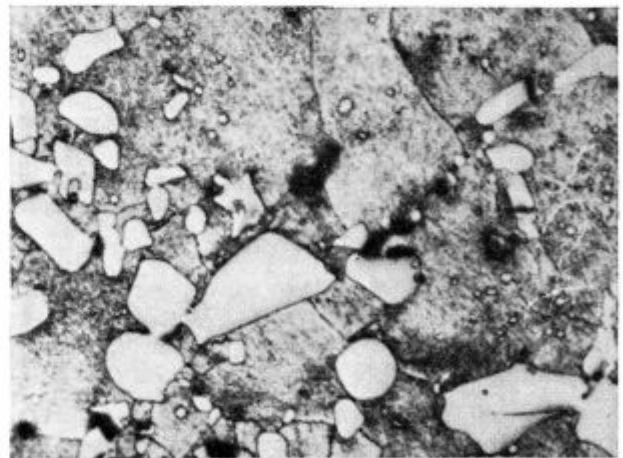
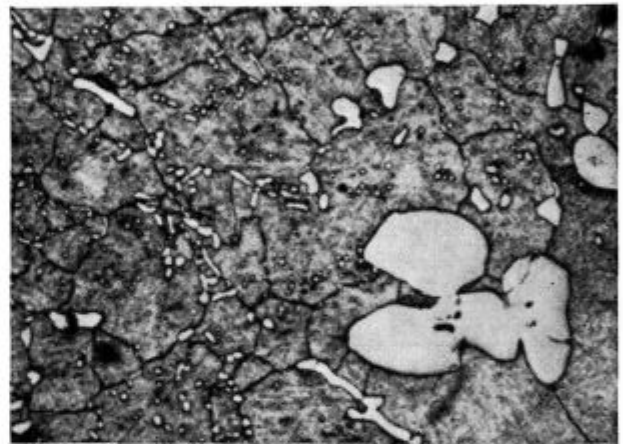
Local coagulation of carbides in the bands during the additional annealing of the worked high-speed steel (magnification 100 ×)

grobe karbide, — indeks  $I_k$  pod 5 . . . . .  
srednje karbide, — indeks  $I_k$  5—7 . . . . .  
fine karbide. — indeks  $I_k$  nad 7 . . . . .

Uvedba kvantitativne metalografije v rutinsko kontrolo s klasificiranjem karbidov po velikosti in določevanjem deležev po razredih kaže na tem področju zelo pomemben napredek.

Računalniška obdelava velikih serij podatkov iz redne kontrole kakovosti s pomočjo organizirane banke podatkov in matematično statističnih analiz nas je privedla do zanimivih ugotovitev in medsebojnih odvisnosti, katere želimo samo v zvezi z velikostjo karbidov na kratko povzeti:

— karbidi so pri molibdenovih brzoreznih jeklih (BRM-2 Č 7680 S 6-5-2) v poprečju skoraj za cel indeks finejši od brzoreznih jekel z visoko vsebnostjo kobalta (BRC-3 Č 9682 S 18-1-2-10). Med tema ekstremoma so razvrščena volframova in vsa druga brzorezna jekla (slika 26).



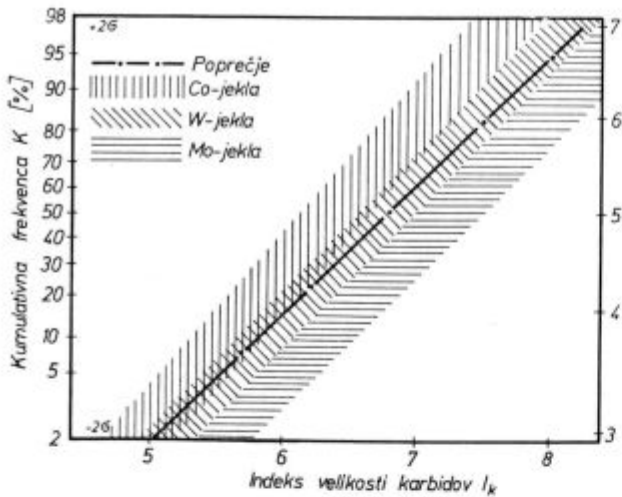
0,04mm

Slika 25

Značilni pojavi skepljanja (koagulacije) karbidov

Fig. 25

Characteristic phenomena of coagulation of carbides.

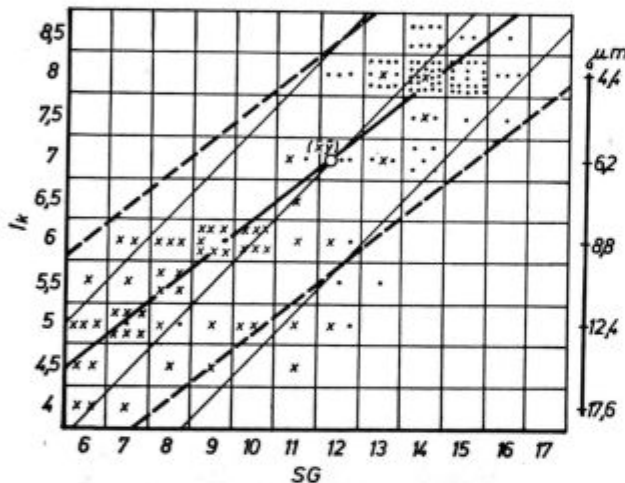


Slika 26

Statistične distribucije velikosti karbidov za različne vrste brzoreznih jekel

Fig. 26

Statistical distribution of sizes of carbides for various high-speed steel.



Slika 27

Korelacija velikosti avstenitnega zrna (SG) in velikosti karbidov ( $I_k$ ) v kaljenem brzoreznem jeklu tipa 6-5-2

Fig. 27

Correlation between the size of austenite grains (SG) and the size of carbides ( $y_1$ ) in the quenched 6-5-2 high-speed steel

— Grobi karbidi povzročajo grobo in neenakomerno (x) avstenitno zrno, medtem ko so ob finih enakomerno razporejenih karbidih tudi avstenitna zrna drobna in enakomerna (slika 27).

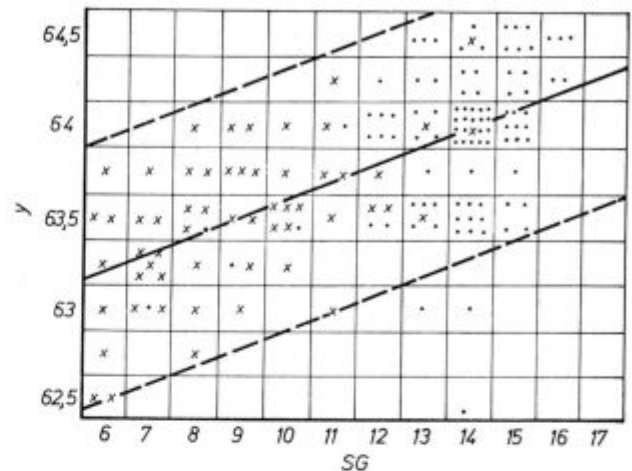
— Grobi karbidi v neposredni korelaciji z grobim ter neenakomernim avstenitnim zrnom (x) povzročajo nezadovoljivo doseganje trdot v kaljenem stanju (slika 28).

— Grobi karbidi posebno pri nižjih temperaturah kaljenja močno poslabšajo popuščno obstojnost (slika 29).

— Grobi karbidi v neposredni korelaciji z grobim in neenakomernim avstenitnim zrnom izred-

no poslabšajo žilavost brzoreznega jekla, ki je pri mnogih orodjih zelo problematična in razmeroma nizka (slike 30—32).

— Grobi karbidi zelo poslabšajo raztezek in kontrakcijo (slika 33) brzoreznega jekla pri raz-

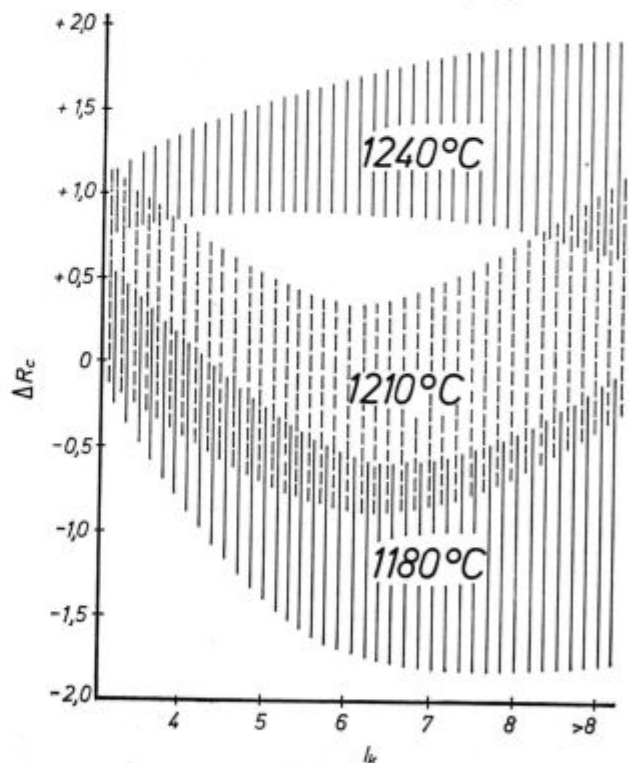


Slika 28

Regresija velikosti avstenitnega zrna (SG) in trdote (HRC-y) v kaljenem stanju za brzorezno jeklo tipa 6-5-2

Fig. 28

Regression of the austenite grain size (SG) and the hardness (HRC-y) in the quenched 6-5-2 high-speed steel



Slika 29

Vpliv velikosti karbidov na popuščno obstojnost, izraženo z razliko trdote, če trdoto v kaljenem stanju odštejemo od trdote v popuščnem stanju

Fig. 29

Influence of the carbide size on the tempering stability expressed by the hardness difference (the hardness of the quenched state is subtracted from the hardness in tempered state)

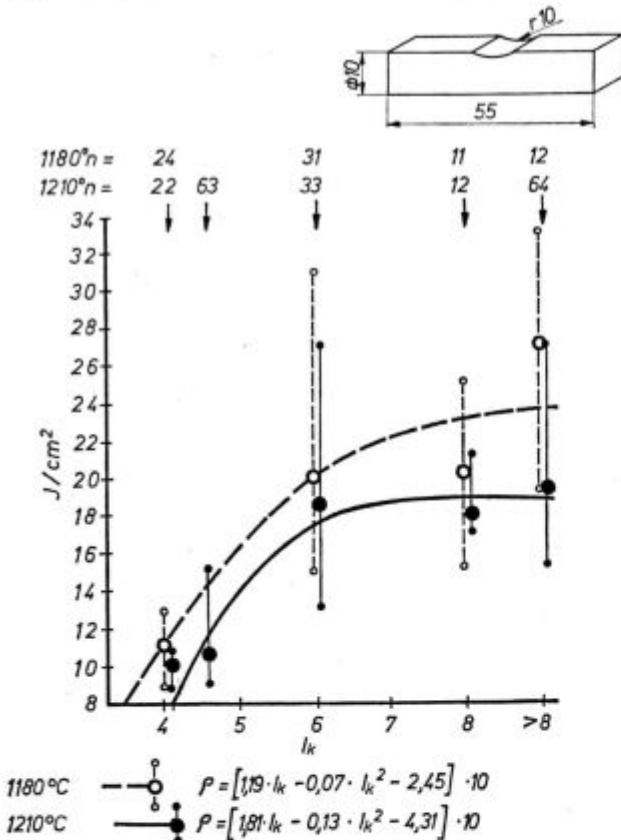
tržnem poizkusu, kar pomeni slabo sposobnost za hladno vlečenje.

— Na sliki 34 je prikazan povzetek zelo obsežnega preizkušanja rezne obstojnosti strugar-skih nožev v odvisnosti od grobih ali finih karbidov.

**Zaključki:**

Ta zelo zgoščeni povzetek večletnih raziskav jasno kaže, da prisotnost grobih karbidov bistveno poslabša vse pomembnejše lastnosti brzoreznih jekel. Zato smo se posebej posvetili študiju tehnoloških pogojev, pri katerih nastajajo grobi karbidi, ki presegajo mejo škodljivih vplivov. Ugotovitev mejnih pogojev je izredno pomembna, odvisna pa je od dejanskih karakteristik in specifičnih tehnoloških pogojev, zato ni mogoča obravnava v splošni obliki.

Pred nekaj desetletji so v splošnem pripisovali daleč največji pomen pri kontroli kakovosti brzoreznih jekel karbidnim trakovom in mrežam evtektika v mikrostrukturi. To je vzpodbudilo mnoge raziskovalce k iskanju posebnih postopkov, ki naj bi zagotovili čimbolj enakomerno in ugodno porazdelitev karbidnih izcej pri strjeva-

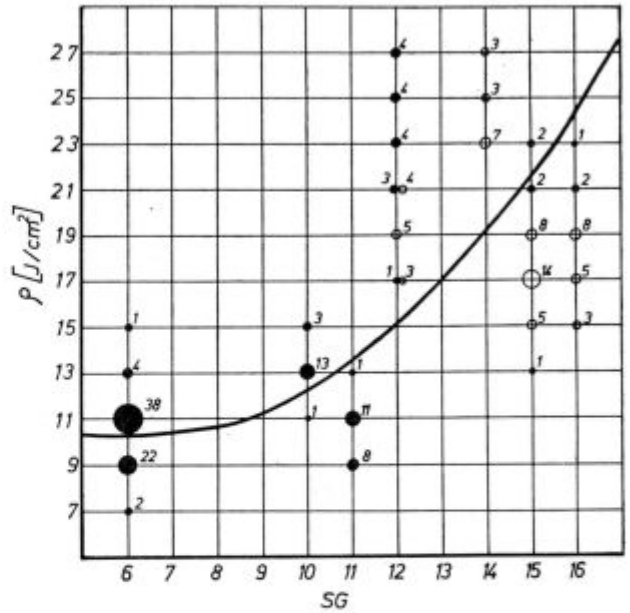


Slika 30

Vpliv velikosti karbidov in temperature kaljenja na žilavost brzoreznega jekla tipa 6-5-2

Fig. 30

Influence of the carbide size and the quenching temperature on the toughness of the 6-5-2 high-speed steel

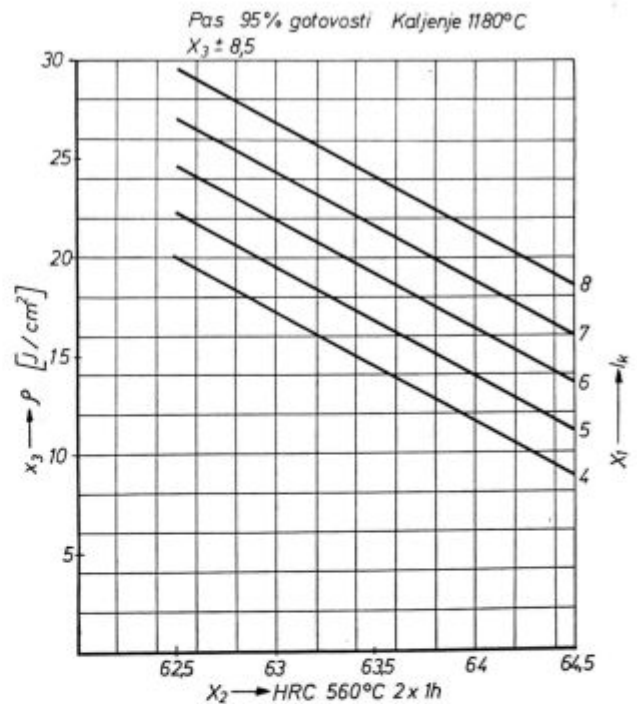


Slika 31

Žilavost v odvisnosti od velikosti in enakomernosti avstenitnega zrna (polni krogi pomenijo neenakomerno zrno, prazni pa enakomerno zrno, številke označujejo frekvenco povezav)

Fig. 31

Toughness related to the size and uniformness of austenite grain (full circles represent non-uniform grains, circles uniform grains, while figures mark the frequency of interrelations)



Slika 32

Žilavost v odvisnosti od velikosti karbidov in trdote ( $R = 0,80$ ,  $R^2 = ,064$ ,  $S_y = 0,43$ ,  $\alpha = 5$ ; 1; 0,1 %)

Fig. 32

Toughness related to the size of carbides and to the hardness ( $R = 0.80$ ,  $R^2 = 0.64$ ,  $S_y = 0.43$ ,  $\alpha = 5$ ; 1; 0.1 %)

$$\delta\% = f(l_k) \quad \psi\% = f(l_k)$$

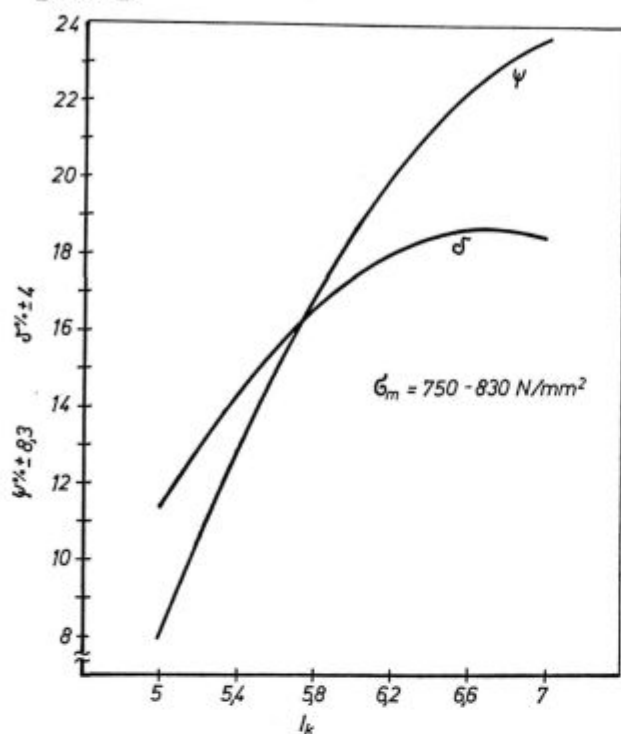
$$R^2 = 0,46 \quad R = 0,68 \quad R^2 = 0,51 \quad R = 0,72$$

$$\alpha = 5; 1; 0,1\% \quad \alpha = 5\%$$

Č.4736  $\sigma_m = 920 \text{ N/mm}^2$   $\alpha = 8$   $\gamma = 15^\circ$   $\lambda = 0^\circ$   
 $\beta = 90^\circ$   $\alpha = 60^\circ$   $r = 1 \text{ mm}$   $V = 22 \text{ m/min}$   
 $a = 2 \text{ mm}$   $s = 0,5 \text{ mm/vrt}$



[P=95%]



Slika 33

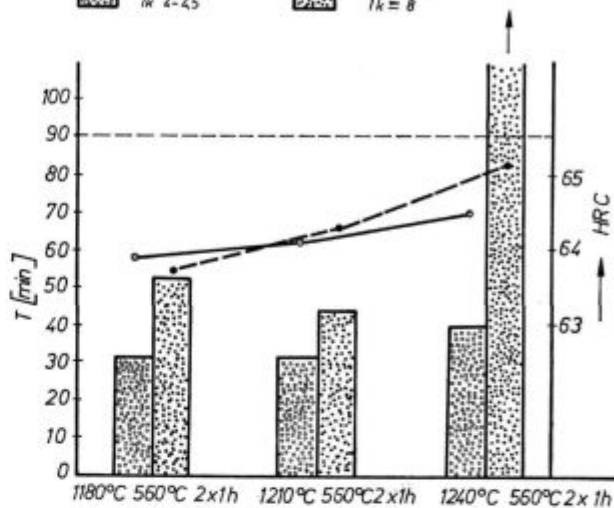
Vpliv velikosti karbidov na raztezek in kontrakcijo pri trganju brzoreznega jekla

Fig. 33

Influence of carbide size on the elongation and the contraction in the rupture test of high-speed steel

nju ali pa naj bi spremenili že obstoječe neugodne mrežaste mikrostrukture. To zadnje je popolnoma uspelo angleškimi raziskovalcem (BISRA — postopek »PRESFEROIDIZING«), ki so z dolgotrajnim držanjem brzoreznega jekla na ekstremno visokih temperaturah popolnoma odpravili mreže evtektika in tudi trakavost ter dosegli dokaj enakomerno porazdelitev karbidov. Te ugotovitve ter postopek odprave evtektične mreže so potrdili tudi nekateri sovjetski raziskovalci, ki pa so posebej poudarjali, da ni raziskan vpliv take toplotne obdelave na lastnosti brzoreznega jekla.

Danes vemo, da pri tako visokih temperaturah nastajajo izredno grobi in celo oglati karbidi, ki porazno delujejo na skoraj vse uporabne lastnosti. Lahko trdimo, da je s takim postopkom cilj



Slika 34

Primerjava povprečnih obstojnosti strgarskih nožev z grobimi in finimi karbidi, kaljenimi s treh različnih temperatur

Fig. 34

Comparison of the average wear resistance of cutting tool with coarse and fine carbides, quenched from three various temperatures

— odprava mreže in trakavosti ter relativno enakomerna porazdelitev karbidov — dosežen, da pa je jeklo glede na njegovo uporabnost skoraj uničeno.

Naše raziskave so pokazale, da vsako nepotrebno zadrževanje na visokih temperaturah povzroča nastanek bolj ali manj grobih karbidov. Ker smo spoznali slabe vplive prisotnosti grobih karbidov, je popolnoma razumljivo, da utemeljeno ocenjujemo vsako nepotrebno zadrževanje brzoreznega jekla na visokih temperaturah ogrevanja za vročo predelavo za neugodno in zato tudi visokotemperaturne homogenizacije v nobenem primeru ne priporočamo! V celotnem ciklusu vroče predelave niti pri brzoreznih jeklih, še manj pa pri ledeburitnih orodnih jeklih temperatura ne bi smela preseči 1150°C.

To je naša opredelitev na osnovi izkušenj s homogenizacijo brzoreznih jekel v normalnem postopku vroče predelave. Nekoliko drugačen je pomen visokotemperaturne homogenizacije pri litih brzoreznih orodjih, ki pa predstavljajo posebno področje problematike, katerega ob tej priliki ne želimo obravnavati.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Schnellstähle und Ledeburitische Werkzeugstähle unterscheiden sich nach ihren Eigenschaften stark von der übrigen Stahlsorten. Die Eigenschaften der Werk-

zeuge sind zum Grossteil von den Bedingungen der Verarbeitung, der Wärmebehandlung und der Mikrostruktur des Stahles abhängig.

Deswegen sind die metallographischen Eigenschaften sehr wichtig und in der Qualitätskontrolle entscheidend.

Die charakteristischen Mikrostrukturen in gegossenem, verarbeitetem und termisch behandeltem Zustand sind als Basis für eine Vergleichsmöglichkeit dargestellt.

Die Karbidverteilung und Karbidkorngrösse sind von Ausgangsformen des Ledeburiteutektikums und vom Verarbeitungsgrad weitgehend abhängig. Eine sehr entscheidende Rolle spielen noch die Erwärmungsbedingungen im Warmverarbeitungsprozess.

Das Homogenisieren mit längeren Zeiten bei hohen Temperaturen erleichtert entscheidend die Warmverformung selbst und es sind auch ähnliche vorgeschlagene Prozesse bekannt, welche eine Entfernung oder Umformung des ledeburitischen Karbidnetzes als Ziel gestellt haben. Aber was für eine Nachfolge haben solche Prozesse im Gefüge und auf die Haupteigenschaften?

Mit einer Reihe von Forschungsaufgaben ist der Einfluss von Ungleichmässigkeiten der Karbidverteilung und das Auftreten der Grobkarbide auf die Warmverform-

barkeit und auf die charakteristische Gebrauchseigenschaften der Stähle in einer Form von Grosszahlstatistischen Auswertungen verfolgt worden. Alle Werte von der Qualitätskontrolle und der Forschungen werden in einer computerisierten Datenbank laufend gesammelt — für die zusätzliche gezielte Experimentierung.

Besonders sind die Folgerungen aus den Untersuchungen der Ursachen und Bedingungen des Entstehens grober Karbide und ihre Folgen auf die mechanischen und technologischen Eigenschaften beschrieben.

Die zahlreichen Versuche sind bei der Erwärmung von Blöcken und Knüppel vor dem Schmieden oder Walzen von Schnelldrehstahl S 6-5-2 und von Kaltarbeitstahl auf Basis 1,6 % C — 12% Cr mit V- und Mo-Zusätzen systematisch durchgeführt werden.

Die im Erwärmungsprozess vor der Warmverformung entstehende Defekte im Gefüge mit groben Karbiden und grobem Austenitkorn können nur begrenzt durch die plastische Warmverformung erholt werden.

## SUMMARY

High-speed and tool steel of ledeburite type are essentially different by their characteristic properties from all the other steel.

Properties of tools depend mainly on conditions in working, and heat treatment, and on the microstructure of steel.

Therefore metallographic characteristics are very important and decisive for the quality control.

The characteristic microstructures in cast, worked, and heat-treated state are shown as the basis for possible mutual comparisons.

Distribution of carbides and the size of carbide grains is highly dependant on the configuration of ledeburite eutectic after solidification, and on the degree of hot forming. Also conditions of annealing during hot forming have decisive influence.

Homogenising with a long-period annealing at high temperatures essentially facilitates the hot forming. Similar proposed procedures to eliminate or transform the ledeburite structure are known. But it is a question to which extent such procedures influence the microstructure and basic characteristics of high-speed steel. In

series of research projects the influence of non-uniform distribution of carbides and of formation of coarse carbides on the workability and on the characteristic useful properties of high-speed steel was analyzed by great-series statistical analyses. All the data of the quality control and results of investigations were collected for some years in the computer bank of data. They were then treated by statistical methods and a trial was made to confirm the findings of analyses by programmed experiments.

Findings of investigations of formation of coarse carbides and their influence on mechanical and technological properties are separately described.

Several tests were made with variation of annealing conditions for ingots and billets before forging or rolling. Mainly 6-5-2 high-speed steel and tool steel with 1,6 % C, 12 % Cr and additions of vanadium and molybdenum were used.

Structure defects which appear in annealing before hot forming — coarse carbides and coarse austenite grain — can hardly be partially recovered by further hot plastic forming.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Быстрорежущие и инструментальные стали ледебуритного типа, на основании своих типичных свойств существенно отличаются от всех других сортов сталей.

Свойства инструментов зависят главным образом от тепловой обработки и от микроструктуры стали.

Поэтому metallografические характеристики весьма значительны и имеют решающее значение при контроле качества.

Рассмотрены типичные виды микроструктуры в отливном, переработанном и термически обработанном состоянии как основа для возможности выполнения взаимных сравнений.

Распределение карбидов и величина карбидных зёрен зависит от конфигурации ледебуритной эвтектики после затвердения и от степени горячей обработки. Решающее значение представляют ещё условия нагрева при процессе горячей обработки. Гомогенизация при продолжительных нагревах при высоких  $t$ -ах существенно упрощает горячую обработку, причем также известны похожие предложения процессов, при помощи которых можно устранить или преобразовать ледебуритную сетку. Вопрос же состоит в том, какие последствия таких способов на микроструктуру и на основные свойства быстрорежущих сталей? В работе рассмотрена целая серия исследований, в которых определяли влияния нерав-

номерности распределения карбидов и образования грубых карбидов на способность переработки и на характерные свойства применения быстрорежущих сталей при применении метода больших серий статистического анализа. Все полученные данные контроля качества и результаты многолетних исследований были собраны в банке вычислительной машины информации. Эти данные обработаны статистическими методами. При помощи программного эксперементирования стремимся полученные данные подтвердить.

Отдельно дано описание результатов исследований в связи с образованием крупных карбидов и вследствие этого на механические и технологические свойства сталей.

Многочисленные испытания выполнялись с изменением условий нагрева слитков и заготовок доковки или до прокатки главным образом с быстрорежущей сталью типа 6-5-2 и с инструментальной сталью с основным содержанием 1,6 % C — 12 % Cr, которая содержала добавочные количества ванадия и молибдена.

Структурные дефекты, которые образуются до горячей переработки, т. е. крупные карбиды и крупные аустенитные зерна едва возможно только частично поправить дополнительной пластической обработкой в горячем состоянии.