

Brzorezna jekla

II. del: Velikost karbidov v brzoreznih jeklih pred toplotno obdelavo

Drugi del članka o brzoreznih jeklih obravnava pogoje nastanka grobih karbidov v brzoreznem jeklu med ogrevanjem ingotov in cagljev pred kovanjem ali valjanjem. Podrobno obravnava vpliv temperature in časa ogrevanja. Za popraviljanje defektnih struktur z grobimi karbidi in grobim avstenitnim zrnom so dane le omejene možnosti s plastično deformacijo v vročem. Članek obravnava še nekaj rezultatov vzporednih preiskav — odgo-rek, razogljčenje, velikost avstenitnega zrna, kar-bidne izceje, trdote karbidov. Opisana je metoda določanja velikosti karbidov, kakršno uporablja železarna Ravne v tekoči kontroli kvalitete brzoreznih jekel. Podani so rezultati statistične analize velikosti karbidov za različne vrste brzoreznih jekel in dimenzijske skupine.

UVOD

Karbidi v brzoreznem jeklu v veliki meri odločajo o lastnostih in uporabnosti. V obširnem programu raziskav smo ločili raziskave problemov v zvezi z neenakomernostjo karbidnih izcej in z velikostjo ter obliko karbidov. Mnoge tehnološke in mehanske lastnosti orodij so neposredno odvisne od mikrostrukture brzoreznih jekel. Pri tem imata oblika in velikost karbidov poseben pomen. Preden obravnavamo posledice grobih karbidov v mikrostrukturi brzoreznega jekla, želimo spoznati pogoje, v katerih take defektne mikrostrukture nastajajo. Že v prvem delu (Železarski zbornik 1967, I., št. 3, str. 177—187) smo spoznali, da grobi in oglati karbidi lahko nastanejo zaradi pregretja pri kaljenju. To je poznana napaka. Mnogo manj smo vedeli o drugih pogojih nastanka grobih karbidov.

V tem II. delu članka se bomo omejili na pojav grobih karbidov, ki je v zvezi s postopkom vroče predelave. Spremljali bomo nastanek grobih karbidov pri ogrevanju ingotov in cagljev ter podrobneje analizirali vplive temperatur in časov ogrevanja.

V zvezi s temi raziskavami je bilo še spremljanje številnih vzporednih pojavov, o katerih bomo navedli le nekaj zanimivih odvisnosti.

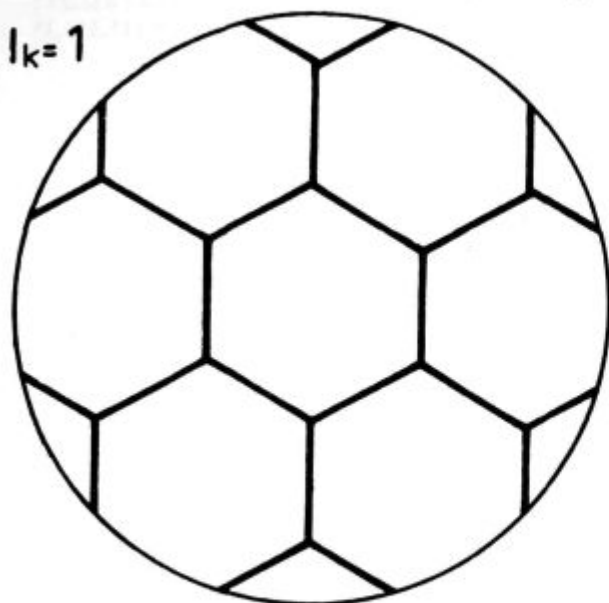
Posebne pozornosti so vredne ugotovitve o možnosti popraviljanja defektnih — pregretim mikrostruktur s plastično deformacijo v vročem.

METODA DOLOČANJA VELIKOSTI KARBIDOV V TEKOCI KONTROLI ŽELEZARNE RAVNE

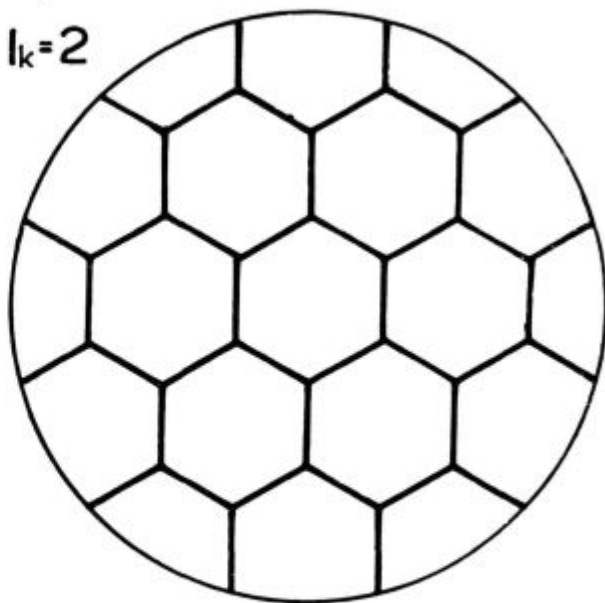
Praktične izkušnje iz tekoče kontrole brzoreznih jekel v železarni Ravne so pokazale, da je poleg rednega metalografskega ocenjevanja oblike in enakomernosti razporeditve karbidnih izcej ter velikosti avstenitnega zrna v brzoreznih jeklih nujno potrebno ocenjevati tudi velikost karbidov. Iz literature nam ni znana nikakršna metoda ocenjevanja velikosti karbidov, ki bi bila sprejemljiva za redno tekočo kontrolo v metalografskem laboratoriju. Poznane so metode neposrednega merjenja posameznih karbidnih zrn, njihove debeline, njihove sploščenosti, opisovanje oblike, planimetriiranje površin itd. Pri posameznih meritvah se tudi mi poslužujemo takih metod, za tekoče ocenjevanje velikosti karbidov v redni kontroli pa smo že leta 1961 uvedli posebno metodo, ki se je pri praktični uporabi dobro izkazala. Dovoljuje hitro ocenjevanje indeksa velikosti karbidov, ta pa dovoljuje tudi neposredno pretvorbo na naravno velikost karbida, izraženo v mikronih. Metoda je prilagojena sistemu redne metalografske kontrole velikosti avstenitnega zrna v kaljenem stanju, tako da se velikost zrna in velikost karbidov določata druga za drugo pri isti povečavi in na istem mestu metalografskega obrusa. Ocenjevanje velikosti karbidov po tej metodi vsekakor po točnosti zaostaja za neposrednim merjenjem posameznih karbidnih zrn, kljub temu pa omogoča orientacijsko primerjavo rezultatov z absolutnimi vrednostmi po katerikoli drugi metodi neposrednega merjenja. Za zagotovitev reproduktivnosti rezultata se ocenitev izvede na desetih zornih poljih mikroskopa. Iz teh meritev se določa srednja vrednost. Posebej moramo poudariti, da se pri tej metodi ocenjuje **velikost največjega karbidnega zrna v zornem polju mikroskopa in torej rezultat, izražen v obliki indeksa velikosti karbidov I_k , predstavlja srednjo vrednost velikosti največjih karbidov za 10 meritev**. Seveda se princip metode lahko prilagodi tudi drugačnim potrebam. V tekoči kontroli nam je šlo predvsem za signalizacijo in pravočasno omejitev pojava grobih karbidov, ne pa za ugotavljanje povprečne velikosti v splošni obliki. Preprosta izvedba ocenjevanja velikosti karbidov omogoča te meritve pri velikem številu vzorcev, s tem pa je dana možnost statističnih

0,04mm

$I_k=1$



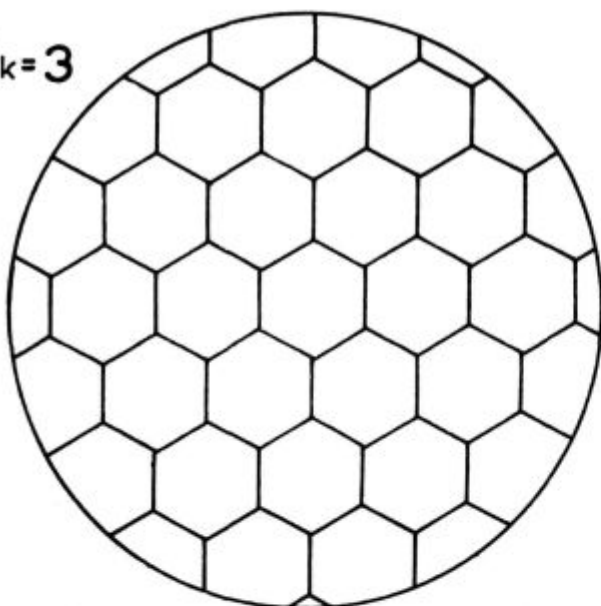
$I_k=2$



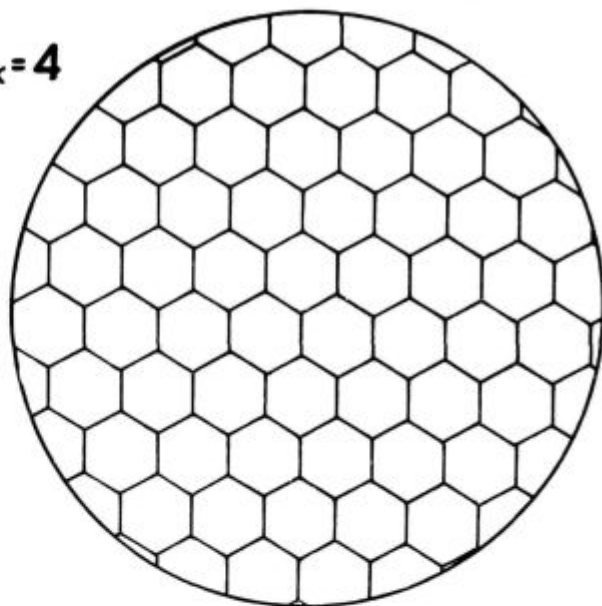
$$d = 50\mu \quad F = 2500\mu^2$$

$$d = 36\mu \quad F = 1250\mu^2$$

$I_k=3$



$I_k=4$



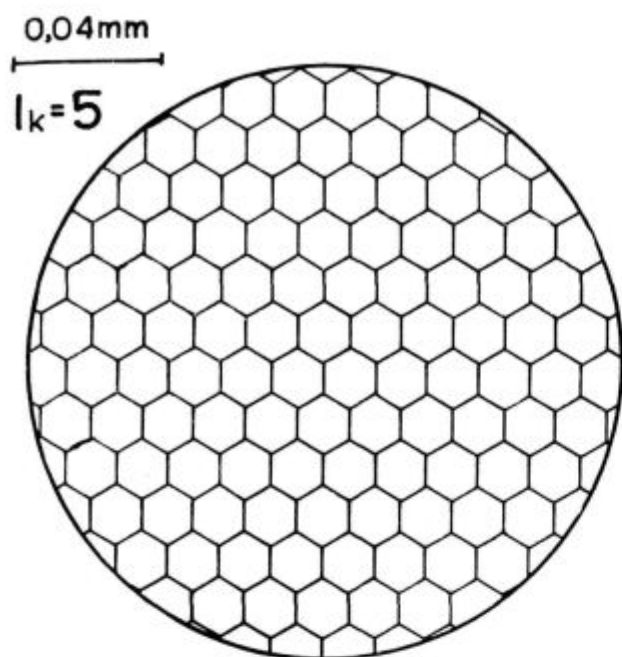
$$d = 24\mu \quad F = 625\mu^2$$

$$d = 17,6\mu \quad F = 312,5\mu^2$$

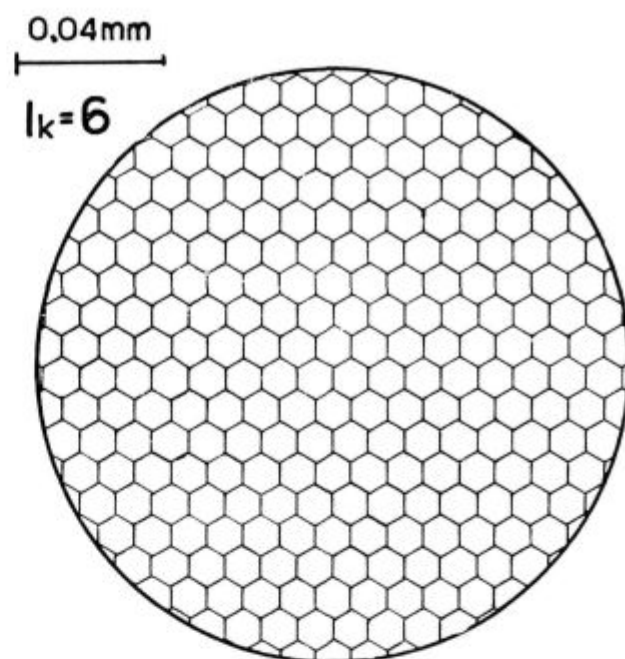
Merilo 0,04mm

Slika 1 a

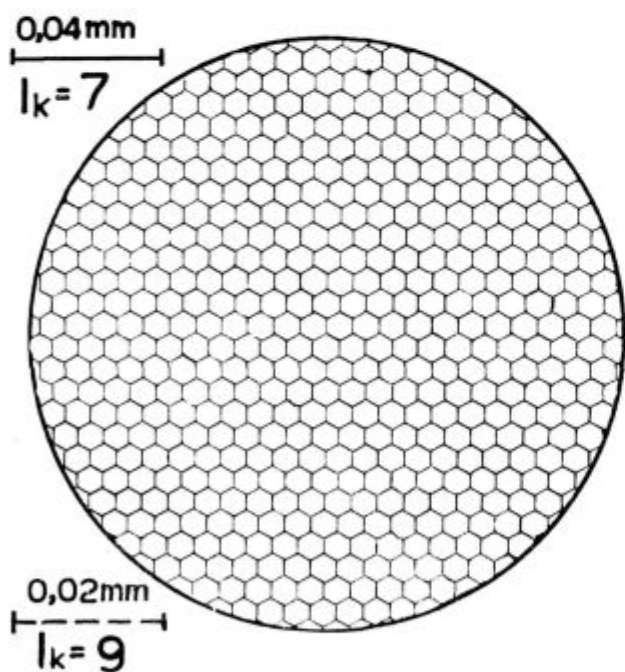
Tabela za ocenjevanje velikosti karbidov $I_k = 1$ do 4



$d = 12,4 \mu$ $F = 156,25 \mu^2$

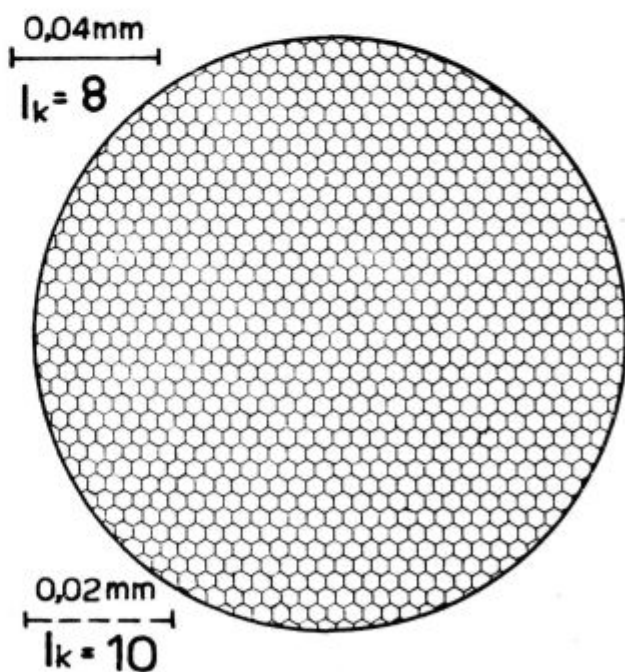


$d = 8,8 \mu$ $F = 78,12 \mu^2$



$d = 6,2 \mu$ $F = 39,08 \mu^2 (500\times)$

$d = 3,1 \mu$ $F = 9,8 \mu^2 (1000\times)$



$d = 4,4 \mu$ $F = 19,52 \mu^2 (500\times)$

$d = 2,2 \mu$ $F = 4,9 \mu^2 (1000\times)$

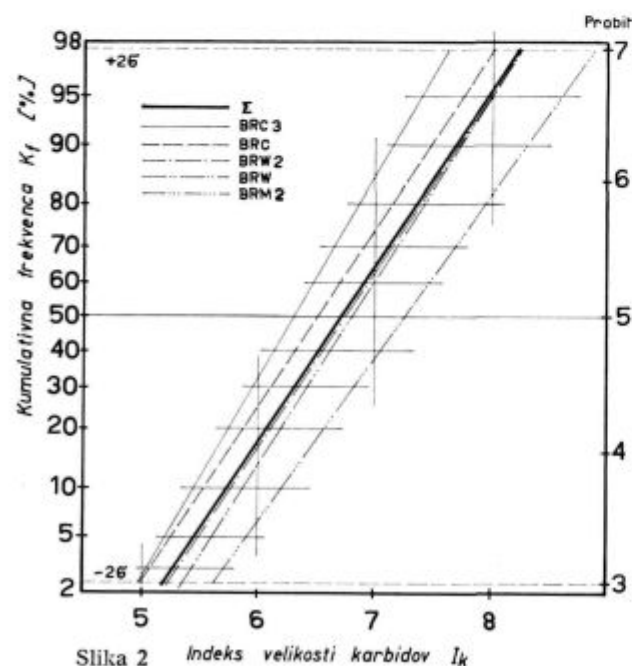
Slika 1 b
Tabela za ocenjevanje velikosti karbidov $l_k = 5$ do 10

vrednotenju rezultatov, kar v precejšnji meri kompenzira točnost posameznih neposrednih in dokaj zamudnih merjenj velikosti karbidnih zrn.

Kot primerjalna tabela za hitro ocenjevanje velikosti karbidov služi nekoliko modificirana skala ASTM za ocenjevanje zrn. Znan idealna mreža ASTM se uporabi pri povečavi $500\times$ in $1000\times$. Vse ostale podatke in ocene kažeta sliki 1a in 1b. Kolikor so posamezni karbidi nepravilne oblike (razpotegnjeni, oglati ali podobno), se na primeren način oceni ustrezna površina enakosnega zrna, ki se nato izrazi z indeksom I_k , oblika pa opiše v dodatni pripombi.

Tabela 1

Jeklo	18-0-1 BRW	12-1-2 BRW 2	18-1-2-5 BRC	18-1-2-10 BRC 3	6-5-2 BRM 2	Vse vrste
Dimenzije						
$d \leq 20 \text{ mm}$	$\bar{x} = 6,87$ $n = 135 \quad s' = 0,59$	$\bar{x} = 7,00$ $n = 79 \quad s' = 0,66$	$\bar{x} = 6,45$ $n = 434 \quad s' = 0,82$	$\bar{x} = 6,40$ $n = 81 \quad s' = 0,66$	$\bar{x} = 7,65$ $n = 91 \quad s' = 0,56$	$\bar{x} = 6,70$ $n = 820 \quad s' = 0,72$
$d = 21-50 \text{ mm}$	$\bar{x} = 6,87$ $n = 148 \quad s' = 0,76$	$\bar{x} = 6,80$ $n = 103 \quad s' = 0,80$	$\bar{x} = 6,60$ $n = 402 \quad s' = 0,71$	$\bar{x} = 6,30$ $n = 56 \quad s' = 0,56$	$\bar{x} = 7,25$ $n = 329 \quad s' = 0,79$	$\bar{x} = 6,85$ $n = 1038 \quad s' = 0,74$
$d > 50 \text{ mm}$	$\bar{x} = 6,60$ $n = 82 \quad s' = 0,85$	$\bar{x} = 6,70$ $n = 40 \quad s' = 0,52$	$\bar{x} = 5,95$ $n = 107 \quad s' = 0,79$	$\bar{x} = 5,75$ $n = 9 \quad s' = 0,62$	$\bar{x} = 6,95$ $n = 188 \quad s' = 0,81$	$\bar{x} = 6,58$ $n = 426 \quad s' = 0,78$
$\perp$	$\bar{x} = 6,70$ $n = 62 \quad s' = 0,50$	$\bar{x} = 6,67$ $n = 151 \quad s' = 0,82$	$\bar{x} = 6,60$ $n = 242 \quad s' = 0,73$	$\bar{x} = 5,95$ $n = 32 \quad s' = 0,80$	$\bar{x} = 7,20$ $n = 25 \quad s' = 0,57$	$\bar{x} = 6,62$ $n = 512 \quad s' = 0,75$
Vse dimenzije	$\bar{x} = 6,80$ $n = 434 \quad s' = 0,72$	$\bar{x} = 6,75$ $n = 373 \quad s' = 0,77$	$\bar{x} = 6,50$ $n = 1185 \quad s' = 0,76$	$\bar{x} = 6,30$ $n = 178 \quad s' = 0,66$	$\bar{x} = 7,25$ $n = 553 \quad s' = 0,825$	$\bar{x} = 6,72$ $n = 2723 \quad s' = 0,76$



Srednje vrednosti ($\bar{x}$), število prob (n) in standardna deviacija (s') indexov velikosti karbidov (I_k) za skupine dimenzij in vrste brzoreznih jekel iz tekoče proizvodnje

Podane so srednje vrednosti $\bar{x}$ standardne deviacije s' in število prob n . Že po grafičnem prikazu analize porazdelitve v verjetnostni mreži vidimo, da je nagib premic zelo podoben. To pomeni, da ni velikih razlik med standardnimi deviacijami posameznih vrst jekel, medtem ko pa se srednje vrednosti precej razlikujejo.

To ugotovitev potrjujejo tudi rezultati statistične analize variance, ki smo jo izvršili na elektronskem računalniku ZUSE Z 23.

Statistično pomembne razlike med variancami (primerjaj sliko 2) smo ugotovili le pri medsebojnih primerjavah:

BRM-2 : BRW
BRM-2 : BRC
BRM-2 : BRC-3
BRC : BRC-3

To so tudi tako različne vrste brzoreznic jekel, da so razlike varianc razumljive.

Statistične primerjave pomembnosti razlik za srednje vrednosti indeksa velikosti karbidov posameznih vrst jekel kažejo, da so:

— na nivoju verjetnosti 99,9 % pomembne razlike BRW : BRC; BRW : BRC-3; BRW : BRM-2; BRW-2 : BRC; BRW-2 : BRC-3; BRW-2 : BRM-2; BRC : BRM-2; BRC-3 : BRM-2,

— na nivoju verjetnosti 99 % pomembna razlika BRC : BRC-3,

— na nivoju verjetnosti 90 % pomembna razlika BRW : BRW-2.

Pri zadnjih dveh primerih manj pomembnih razlik gre za isti tip jekla, le z različno količino dodanih elementov, medtem ko gre v prvem primeru za primerjave različnih tipov. Tako je rezultat tehnično razumljiv in upravičen.

Tudi primerjave srednjih vrednosti za indekse karbidov po dimenzijskih skupinah so vse statistično pomembne, vendar nekoliko manj prepričljivo. Najdrobnejši so karbidi pri srednjih dimenzijah.

Srednja vrednost indeksa velikosti karbidov za vsa standardna brzorezna jekla skupaj znaša $\bar{I}_k = 6,72$, kar pomeni povprečno ploščino največjega karbida v zornem polju mikroskopa okrog $50 \mu^2$. S 95 % statistično gotovostjo pričakujemo indeks I_k v mejah od 5,20 do 8,25.

Iz tabele 1 in slike 2 vidimo, da so karbidi najfinejši pri molibdenovem brzoreznem jeklu tipa 6—5—2 (BRM-2), najbolj grobi pa pri kobaltovem brzoreznem jeklu tipa 18—1—2—10 (BRC-3). Srednja vrednost prvega je $\bar{I}_k = 7,25$, drugega pa $\bar{I}_k = 6,30$. Iz navedenih podatkov za vsako vrsto jekla in vsako dimenzijsko skupino lahko določimo srednje vrednosti in naravne meje tolerance — tako imenovane naravne tolerance.

Poleg teh standardnih vrst brzoreznic jekel smo določali velikost karbidov tudi za druge vrste posebnih brzoreznic jekel, za katere je bilo na razpolago manj podatkov. Prav zato te vrste jekel niso upošteevane v statistični analizi in so tudi rezultati manj zanesljivi. Po teh podatkih lahko skupino vanadijevih brzoreznic jekel primerjamo s skupino kobaltovih. Karbidi v jeklih z visokim odstotkom vanadija in kobalta so najbolj grobi med vsemi vrstami brzoreznic jekel.

Orientacijski podatki o velikosti karbidov v teh posebnih brzoreznic jeklih so sledeči:

Tip	Oznaka ZR	$\bar{x}$
12—1—4	BRW-1	6,35
12—1—2—3	BRC-1	6,50
12—1—2—5	BRC-2	6,20
6—5—2—5	BRCMo	6,50
12—1—4—5	BRCV	5,12

S približno statistično gotovostjo 95 % lahko pričakujemo v normalni proizvodnji indekse velikosti karbidov:

- pri kobaltovih jeklih $I_{k \min} = 5$
- pri volframovih jeklih $I_{k \min} = 5,2$
- pri molibdenovih jeklih $I_{k \min} = 5,6$

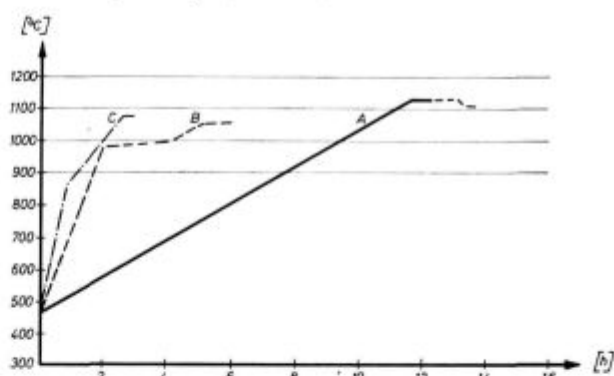
Vrednosti indeksov pod 4,5 oziroma 5 so popolnoma nenormalne in so posledica vpliva nedovoljenih vplivnih faktorjev v tehnološkem postopku.

NASTANEK GROBIH KARBIDOV PRI OGREVANJU INGOTOV

Grobi karbidi, ki so se pojavljali od časa do časa kot nenormalne mikrostrukture pri redni metalografski kontroli brzoreznic jekel, so vzbudili dokaj upravičeno domnevo, da nastajajo zaradi nepravilnega načina ogrevanja pred vročo predelavo in med njo.

Hoteli smo se o tem prepričati in smo zato izvršili nekaj poizkusov s 30 kg in 250 kg težkimi ingoti. Te poizkuse smo povezali z ugotavljanjem najboljšega načina ogrevanja ingotov super brzoreznega jekla tipa 10—4—3—10 (oznaka železarne Ravne BRU — Č. 9783). Še preden navedemo nekaj podatkov o teh poizkusih, moramo poudariti, da je prav ta vrsta brzoreznega jekla posebno občutljiva za visoke temperature.

Za ogrevanje poizkusnih ingotov 30 kg s srednjim presekom kv. 100 mm smo izbrali tri različne načine ogrevanja (slika 3):



Slika 3
Načini ogrevanja poizkusnih ingotov

A — dolg čas ogrevanja in temperatura začetka kovanja nad 1100°C s časom držanja na tej temperaturi 1—2 uri;

B — krajši čas ogrevanja z izenačevanjem temperature pod 1000°C , nižja temperatura začetka kovanja in čas držanja na tej temperaturi največ 1 uro;

C — kratek čas ogrevanja, nižja temperatura začetka kovanja in zelo kratek čas držanja ingotov na tej temperaturi 10—20 minut.

Od dveh ingotov, ogrevanih po načinu A, je eden razpadel že po prvih rahlih udarcih kladiva, drugi pa je dobil močne prečne razpoke, tako da nadaljnje kovanje ni bilo mogoče.

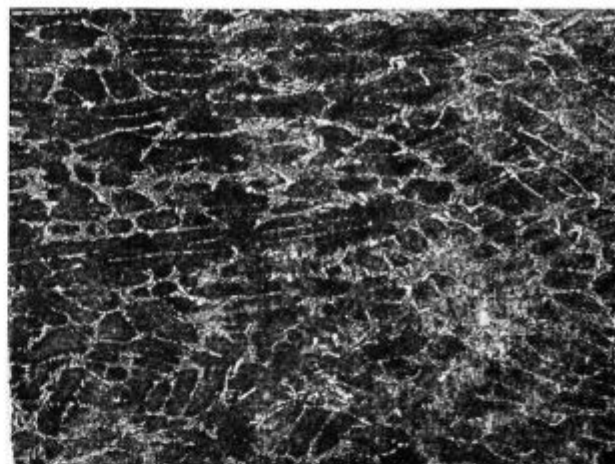
Ingot, ogrevan po postopku B, se je sorazmerno dobro koval in pri kovanju smo dosegli zadovoljiv izplen.

Po postopku C smo kovali dva ingota. Oba sta se kovala zelo dobro in dala zelo dober izplen.

Že iz teh poizkusov vidimo, da je vpliv pogojev ogrevanja na sposobnost za kovanje zelo izrazit in da previsoka temperatura pred začetkom kovanja (morda še prav posebno pri tej vrsti jekla) povzroča velike težave in nepopravljive posledice.

Zanimiva je metalografska primerjava mikrostruktur, ki potrjuje prej izraženo domnevo o nastanku grobih karbidov. Sliki 4a in b kažeta pri različnih povečavah mikrostrukturo ingota, ki je zaradi postopka ogrevanja A razpadel že po prvih udarcih kladi. Kljub temu, da pri kovanju praktično ni prišlo do nikakršne deformacije, ledebu-

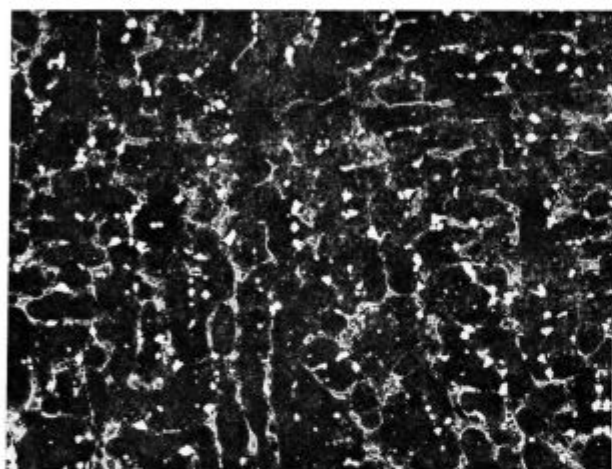
njem na vozliščih ledeburitnih mrež. Vmes je še ostala neizpremenjena oblika ledeburitnega evtektika.



Slika 5

0,2 mm

Slika 5 kaže mikrostrukturo ingota, ogrevanega z načinom B po začetni deformaciji s kovanjem. Ledeburitna mreža je zelo izrazita, vendar jasno vidimo, da ni prišlo do skepljanja karbidov. Po zadostni stopnji plastične deformacije, ki je za razbijanje take mreže nujno potrebna, dobimo ugoden razpored karbidov, kakršnega kaže slika 6 za palico kv. 25 mm, izdelano iz poizkusnega ingota s 16-kratnim zmanjšanjem preseka.



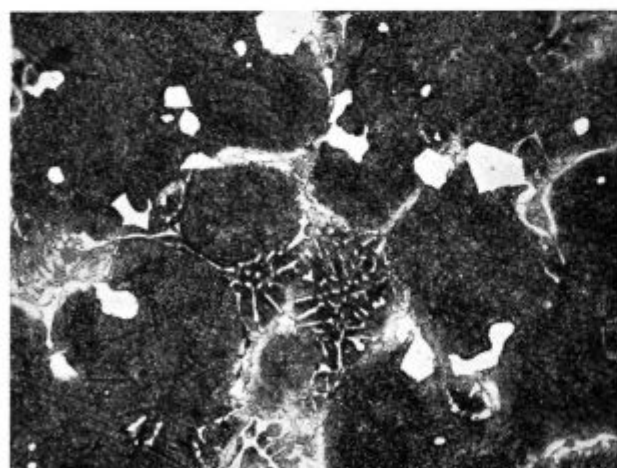
Slika 4 a

0,2 mm



Slika 6

0,2 mm



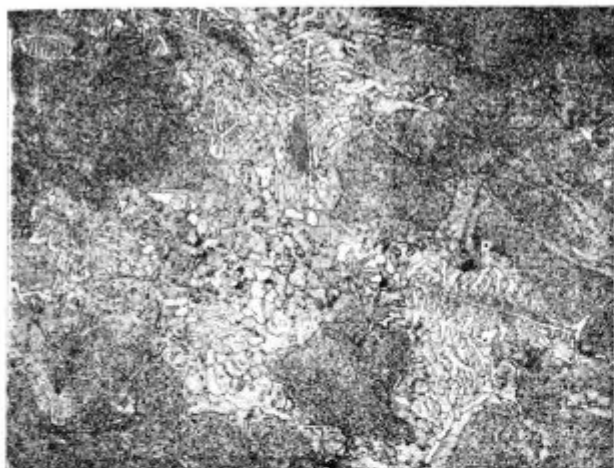
Slika 4 b

0,04 mm

ritna mreža ni tako izrazita kakor sicer. V mikrostrukturi vidimo enakomerno razporejene delce grobih karbidov, ki so nastali z delnim skeplja-

Poizkuse smo nadaljevali z normalnimi, 250 kg težkimi ingoti. Ker so pri teh ingotih glede na presek časi daljši, je vpliv časa in temperature na skepljanje karbidov še bolj jasno viden.

Slika 7 kaže mikrostrukturo, iz katere se vidi skoraj vse faze nastanka grobih karbidov zaradi



Slika 7

0,1 mm



Slika 8c

0,04 mm



Slika 8a

0,04 mm



Slika 8b

0,04 mm

predolgega ogrevanja na visoki temperaturi pred kovanjem. Naslednje slike 8a, b in c kažejo le posamezna mesta pri večji povečavi.

Na teh slikah jasno vidimo plastovitost mikrostrukture v surovem stanju. Notranjost zrn je posejana z zelo finimi sekundarnimi karbidi. Ob mejah ledeburitnih zrn je spremenjena plast osnovne strukture in v njej mreža ledeburitnega evtektika. Značilna rebrasta struktura se spreminja, tako da se več sosednjih reber spoji ali preprosto »zlije« v debelejšo vejo. Na križiščih in stičiščih nastajajo cele ploskve. Iz teh slik jasno vidimo, da zaradi neprimerne časa in temperature prav lahko nastanejo zelo groba karbidna zrna najrazličnejših oblik, okrogla, podolgovata, oglata itd. Iz teh slik tudi lahko vidimo, kako iz ledeburitne mreže nastanejo med seboj popolnoma ločena karbidna zrna. Če s tem se mreža razbije in z malenkostno deformacijo se ti karbidi med seboj premeščajo, tako da dobimo dokaj enakomerno porazdelitev. Vendar ne smemo pozabiti, da so ta karbidna zrna groba in da imajo taki grobi karbidi zelo slab vpliv na lastnosti orodij (ta vpliv bo obravnavan v nadaljevanjih).

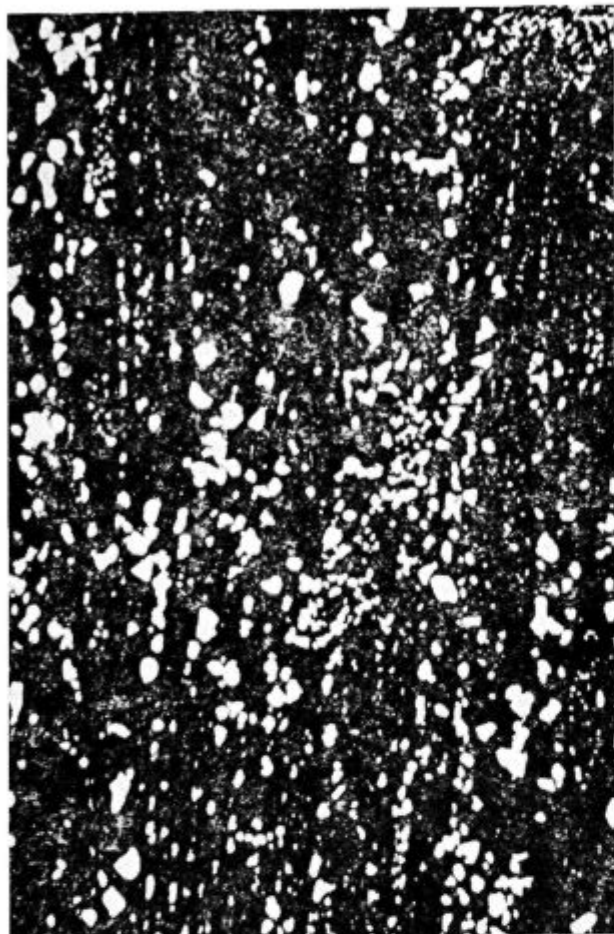
Tudi ingotov, ki smo jih ogrevali pod takimi pogoji, sploh ni bilo mogoče kovati in so razpadali ter pokali že pod zelo rahlimi udarci kladiva.

NASTANEK GROBIH KARBIDOV PRI OGREVANJU PREDKOVANIH CAGLJEV BRZOREZNEGA JEKLA TIPA 6—5—2 (BRM-2)

Podobno kakor pri ogrevanju ingotov smo opazili pojav grobih karbidov tudi pri tekoči kontroli prob iz predkovanih cagljjev.

Značilen pojav koagulacije karbidov v cagljih prikazuje slika 9. Primerjava slik 9a in b kaže, da so tik pod površino karbidi finejši kakor v sredini. Ta razlika je posledica deformacij med kova-

pod površino



Slika 9 a

0,2 mm

Pojav skepljanja karbidov v caglju 60 mm kvadrat

njem, ki so v bližini površine zelo močne, v sredini pa premalo učinkovite, da bi se groba karbidna zrna enakomerno razdrobila. Slika c pri večji povečavi jasno kaže nastanek grobih karbidov z združevanjem posameznih sosednjih karbidnih zrn v težnji za zmanjšanjem površine.

S posebnim programom raziskav smo skušali natančneje ugotoviti pod kakšnimi tehnološkimi pogoji nastajajo grobi karbidi pri ogrevanju cagljev pred kovanjem ali valjanjem in kakšni pojavi so še s tem v zvezi.

Cilj teh raziskav je bila ugotovitev temperaturnih območij in časov ogrevanja, pri katerih se pojavljajo grobi karbidi. Zato je bilo treba pred začetkom praktičnih poizkusov natančno pregledati uporabljeno jeklo. Izbrati in definirati je bilo treba pogoje preizkušanja, ki naj bi se čimbolj približevali pogojem ogrevanja v kovačnici. Le na tak način smo lahko pričakovali praktične zaključke, kakršne smo potrebovali za redno, enakomerno in kvalitetno proizvodnjo.

Pri taki raziskavi so zelo ugodne priložnosti za spremljanje cele vrste vzporednih pojavov, ki so za tehnologijo tako zanimivi, da jih nismo smeli zanemariti in se omejiti le na glavni cilj raziskave.

Pregled uporabljenega jekla

Za preizkuse smo uporabili caglje kv. 80 mm brzoreznega jekla tipa 6—5—2 (BRM-2) iz tekoče proizvodnje v mejah normalne kemijske sestave.

Pregledali smo 9 makro jedkanih plošč in pri tem ugotovili, da jeklo nima nedopustnih napak.

Površina cagljev je bila razogljíčena, zato smo površinsko razogljíčeno plast temeljito odstranili z brušenjem.

Na vzdolžnih metalografskih obrusih smo po primerjalni tabeli železarne Ravne za ocenjevanje neenakomernosti karbidnih izcej ugotovili povprečno stopnjo 8, kar je za to dimenzijo in stopnjo deformacije normalno.

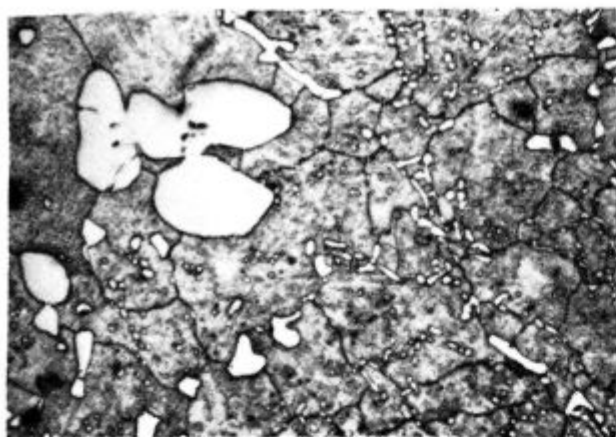
v sredini



Slika 9 b

0,2 mm

Pojav skepljanja karbidov v caglju 60 mm kvadrat



Slika 9 c

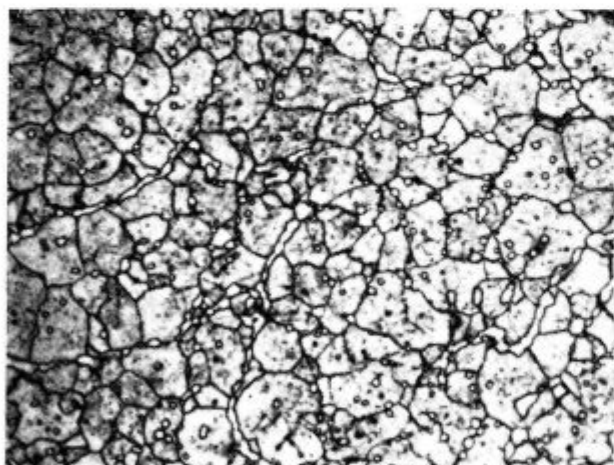
0,04 mm

Pojav skepljanja karbidov v caglju 60 mm kvadrat

Velikost karbidov po opisani metodi smo ocenili z indeksom I_k v mejah 6,5 do 8, kar je za to vrsto jekla popolnoma normalno.

Po normalnem kaljenju smo na prečnih metalografskih obrusih določili velikost avstenitnega zrna po metodi Snyder-Graff. Te ocene so bile v mejah 10–14 SG.

Povprečno mikrostrukturo uporabljenega jekla v kaljenem stanju prikazuje slika 10.



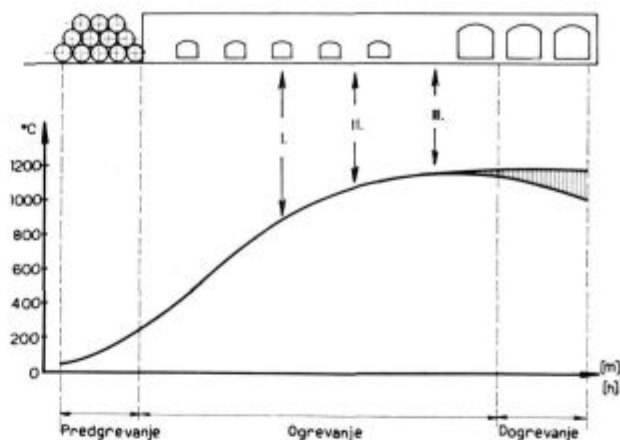
Slika 10

0,04 mm

Pogoji preizkušanja

Poizkuse ogrevanja smo izvajali v kotalni peči kovačnice med redno proizvodnjo. Shemo in temperaturni režim v peči prikazuje slika 11.

Za ogrevanje vzorcev smo izbrali v peči položaje I., II. in III., v katerih smo izmerili temperature s sledečimi območji:



Slika 11

Temperaturni režim v ogrevni peči

- I. 800—900° C,
- II. 1000—1050° C,
- III. 1100—1150° C.

V posameznih temperaturnih območjih smo probe ogrevali:

24, 48, 72, 96, 120 in 135 ur.

Daljši časi v tej seriji so seveda pretirano dolgi in v praktičnem delu ne pridejo v poštev. Pri raziskavi smo jih namenoma izbrali, da bi lažje in bolj nedvomno ugotovili vplive in težnje.

Pri normalnem delu ingoti potujejo skozi peč in se pri tem postopoma ogrevajo, kakor prikazuje krivulja ogrevanja. Poleg izotermnega ogrevanja z različnimi časi v posameznih temperaturnih območjih smo preizkusili še prehode prob skozi peč z enakomerno hitrostjo. Pri tem so bili celotni časi prehoda skozi peč:

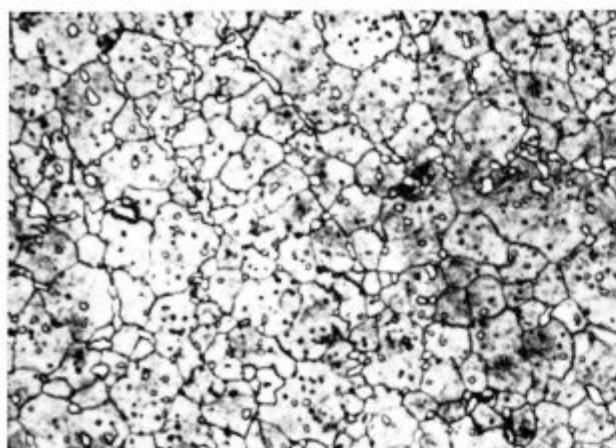
24, 31 in 50 ur.

Vpliv temperature in časa ogrevanja na velikost karbidov

Te vplive bomo pojasnili z nekaj slikami iz obširne serije poizkusov.

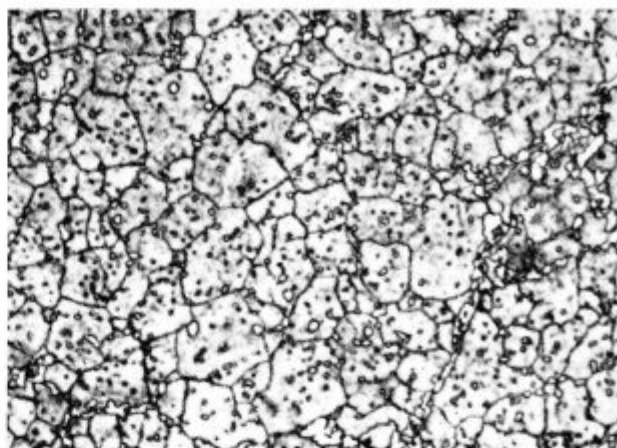
Na sliki 12 vidimo, da v temperaturnem območju 800—900° C sploh ni opaziti sprememb v velikosti karbidov. V temperaturnem območju 1000—1050° C smo pri dolgem času ogrevanja na nekaterih vzorcih opazili lokalno začetek skepljanja karbidov, ki pa v nobenem primeru še ni bilo kritično.

Povišanje temperature za 50 do 100° C daje povsem drugačno sliko. Tako visoka temperatura pri vseh preizkušanih časih povzroča nastanek grobih karbidov, kar kaže slika 13. Pri ogrevanju na začetno temperaturo kovanja moramo biti zelo previdni. Pri daljših časih se posebno na mejah in stičiščih avstenitnih zrn s koagulacijo tvorijo zelo grobi karbidi, ki so s podaljševanjem časa vedno bolj oglatih oblik. Po obliki in razporedu so ti karbidi zelo podobni onim, ki jih poznamo pri pregretem kaljenem brzoreznem jeklu. Seveda je v tem primeru temperatura nižja, čas pa neprijemno daljši. Če upoštevamo izmenjalni učinek temperature in časa, nam je podobnost pojavov skoraj razumljiva.



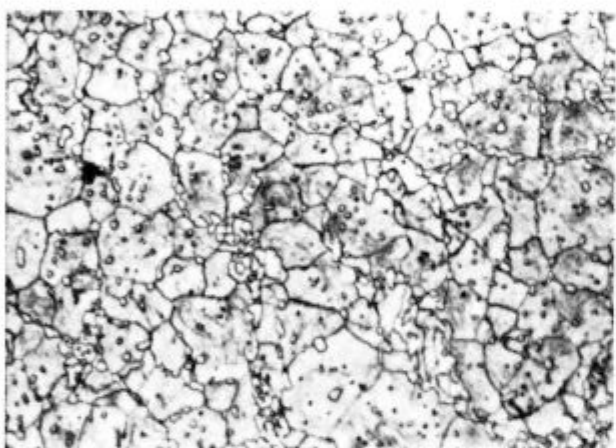
800 - 900 °C

48 ur



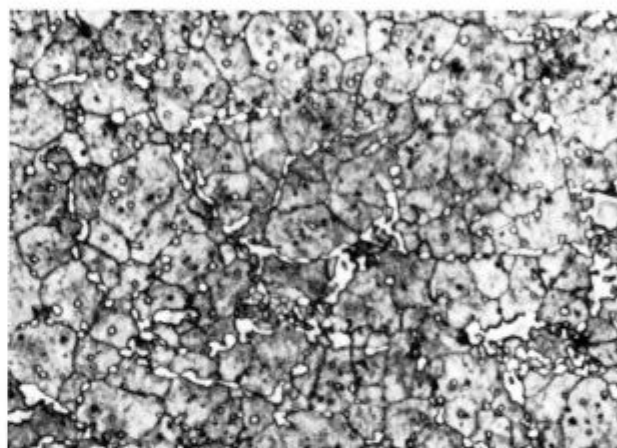
1000 - 1050 °C

48 ur



800 - 900 °C

135 ur



1000 - 1050 °C

135 ur

0,04 mm

Slika 12

Iz primerov na slikah 12 in 13 ter iz številnih pregledov smo prišli do trdnega zaključka, da temperature do 1000° C pri ogrevanju brzoreznega jekla 6—5—2 (BRM-2) še ne kažejo škodljivih vplivov in pomembnega poslabšanja mikrostrukture. Ta trditev je morda nekoliko negotova le pri najdaljših časih, ki pa v praksi sploh ne pridejo v poštev.

Daljšje zadrževanje jekla v temperaturnem območju nad 1000° C je lahko škodljivo. Pri temperaturah okrog 1100° C se jeklo lahko pri nepotrebno dolgem času tako pokvari, da ga s sledečo predelavo sploh ni mogoče več popraviti.

Na lastnosti jekla ne vpliva samo velikost karbidov, ampak še bolj njihova oblika. Hargue in sodelavci³ so raziskovali pogoje nastanka oglatih karbidov pri kaljenju jekel 18—0—1 in 6—5—2 pri dveh temperaturah avstenitizacije. Ocenjevali so naraščanje deleža oglatih karbidov v mikrostrukturi pod vplivom časa držanja na temperaturi (slika 14). Omenjeni avtorji navajajo ocene deleža oglatih karbidov za čase 8 do 24 ur. V naših raziskavah so zajeti časi od 24—135 ur. Pri pri-

bližnem ocenjevanju deleža oglatih karbidov smo ugotovili pri posameznih vzorcih zelo velike razlike. V glavnem so bile ocene v okviru šrafitiranega območja na sliki 15. V tem območju bi ležali tudi rezultati, katere bi pričakovali na osnovi ugotovljene orientacijske zakonitosti omenjenih avtorjev.

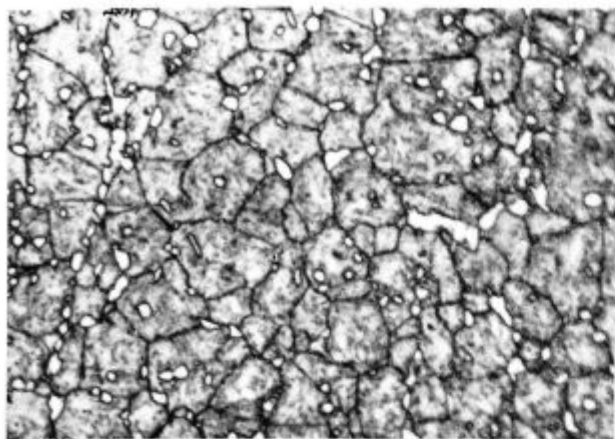
SPREMLJANJE VZPOREDNIH POJAVOV PRI POTEKU RAZISKAVE

Vzporedno z raziskavo nastanka grobih karbidov pri ogrevanju cagljav pred kovanjem smo zasledovali vplive temperatur in časov ogrevanja na:

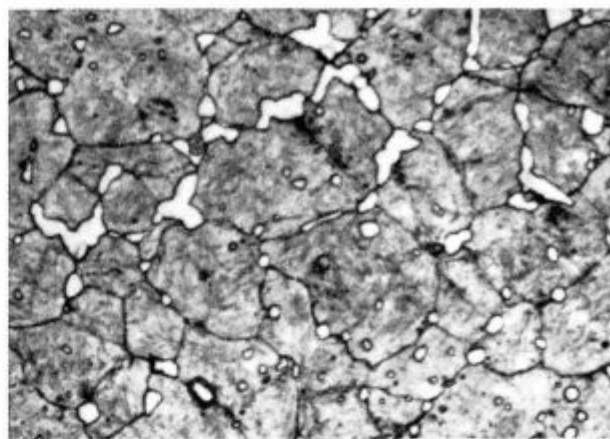
- velikost in enakomernost avstenitnega zrna,
- karbidne izceje,
- odgorek in razogljichenje.

Velikost in enakomernost avstenitnega zrna

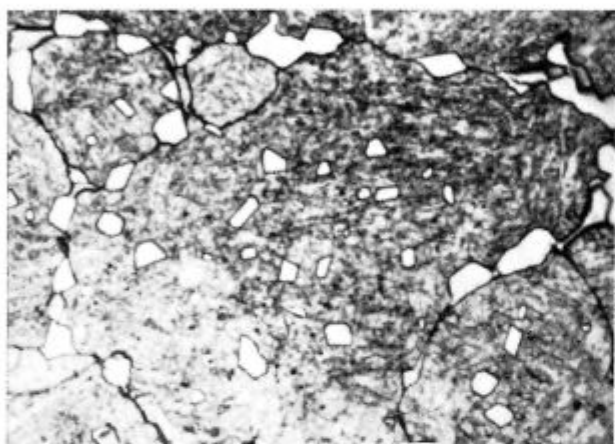
Po določenih časih ogrevanja v posameznih temperaturnih območjih smo probe počasi ohladili. Po mehkem žarjenju smo iz njih izrezali



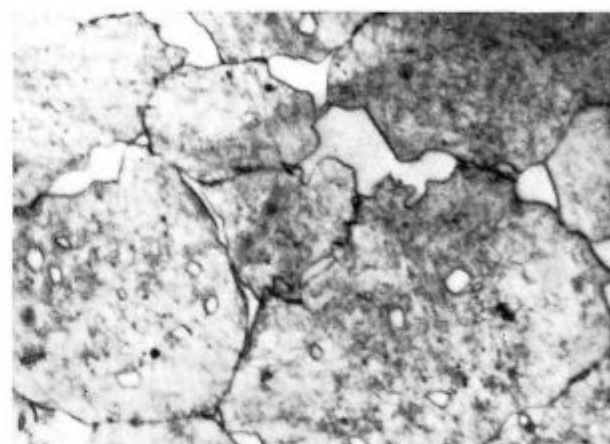
24 ur



48 ur

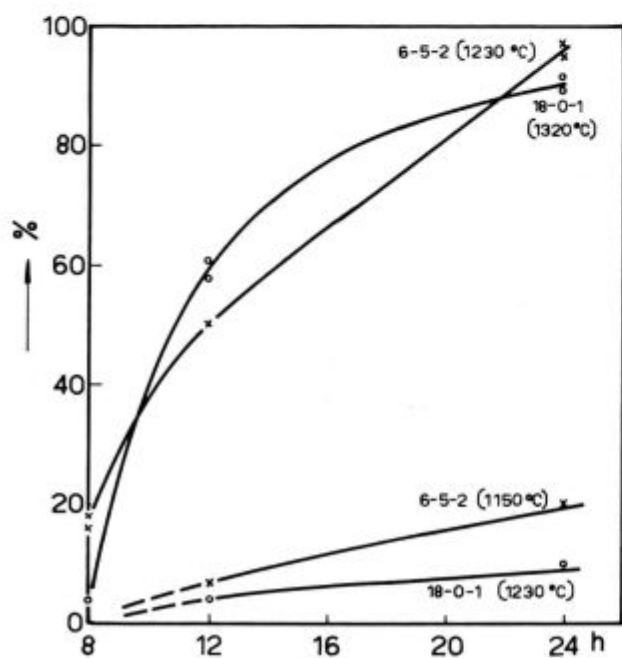


96 ur

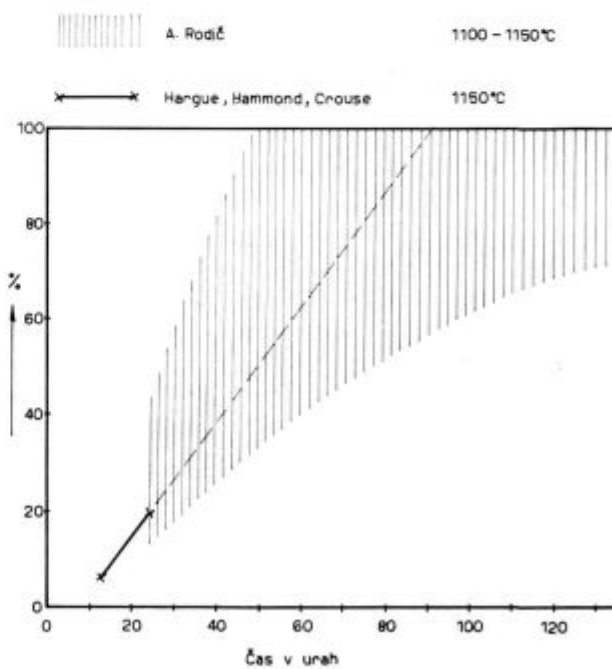


135 ur

Slika 13
Temperatura 1100—1150° C



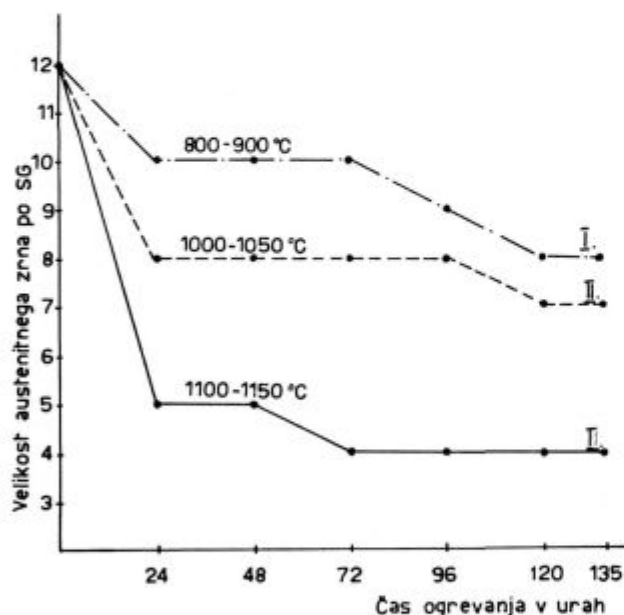
Slika 14
Odstotek karbidov oglate oblike¹



Slika 15
Odstotek karbidov oglate oblike pri ogrevanju na 1100 do 1150° C

probe za metalografsko določanje velikosti avstenitnega zrna. Te probe smo vse na enak način normalno kalili, prelomili in na prelomni ploskvi izdelali prečne metalografske obruse. Velikost avstenitnega zrna smo določali po metodi Snyder-Graff in na ta način ugotavljali vpliv pogojev ogrevanja na velikost in enakomernost avstenitnega zrna. Vse probe smo kalili na enak način kot probe jekla pred začetkom preizkusov.

Odvisnost velikosti zrna od pogojev ogrevanja dobro kažeta sliki 12 in 13. Pri tem moramo pripomniti, da so bile omenjene slike izbrane kot posamezni primeri za prikaz značilnih oblik karbidov in odvisnosti velikosti karbidov od pogojev ogrevanja. Glede velikosti avstenitnega zrna te slike dajejo le ilustracijo, ne prikazujejo pa povprečnih velikosti avstenitnega zrna pri posameznih pogojih. Pri višjih temperaturah in daljših časih so mikrostrukture sploh zelo neenakomerne. To še posebej velja za velikost avstenitnega zrna, ki je lokalno zelo različno in neenakomerno. Ker je bilo pregledano veliko število obrusov, so srednje vrednosti velikosti avstenitnega zrna vseh prob za posamezne kombinacije pogojev zbrane v diagramu (slika 16).



Slika 16

Velikost avstenitnega zrna po normalnem žarjenju in kaljenju

Pred poizkusi je bila povprečna velikost avstenitnega zrna 12 SG.

Rezultati teh poizkusov kažejo zelo kvaren vpliv dolgotrajnega ogrevanja več ali manj v vsakem temperaturnem območju. Posledice ogrevanja na velikost avstenitnega zrna so še po žarjenju in kaljenju zelo izrazite.

Pri tem moramo poudariti, da probe po ogrevanju niso bile kovane in torej ogrevanju ni sledilo plastično preoblikovanje kakor v normalnem

tehnološkem postopku. Zato ti poizkusi ne omogočajo neposrednih zaključkov, čeprav so zelo zanimivi.

Karbidne izceje

Iz vseh različno ogrevanih prob smo izdelali vzdolžne obruse za normalen metalografski pregled stopnje enakomernosti karbidnih izcej.

Tudi na vzdolžnih obrusih smo jasno opazili koagulacijo karbidov, ki je tem močnejša, čim daljši je čas. Spremembe izoblikovanja karbidnih izcej so že pri območju 1000–1050 °C mnogo bolj izrazite kakor spremembe velikosti karbidov.

Jasno izražene deformirane mreže karbidov pri višjih temperaturah in daljših časih vedno bolj izgubljajo izrazito obliko zaradi sferoidizacije. Ta pojav so v bistvu opisovali že razni avtorji^{1,2}, čeprav pri nekoliko drugačnih pogojih — večinoma pri višjih temperaturah in krajših časih.

Omejimo se le na prikaz karbidnih izcej štirih prob. (slika 17)

Odgorek in razogljčenje

Pri poizkusih ogrevanja na različnih temperaturah z različnimi časi se nam je ponudila priložnost za ugotavljanje odvisnosti odgorka in površinskega razogljčenja od temperature in časa ogrevanja.

Pazljivo očiščene gredice smo razrezali na kocke 80 × 80 × 80 mm s približno težo 10 kg. Kocke smo stekali in jih vložili po programu preizkušanja v peč. Po določenih časih smo jih jemali iz peči. Po mehanskem čiščenju škafe in luženju smo kocke ponovno tehtali in iz razlik teže določali odstotek odgorka.

Poudariti moramo, da ugotavljanje odgorka ni bil osnovni namen teh raziskav. Rezultate teh stranskih poizkusov navajamo le zaradi splošne zanimivosti in relativnih vplivov časa in temperature. Kocke so bile vsestransko izpostavljene oksidacijskemu vplivu v peči, zato se pogoji ogrevanja kock precej razlikujejo od pogojev ogrevanja blokov ali gredic v proizvodnji. Ugotovljeni odgorki nikakor ne ustrezajo odgorkom v redni proizvodnji, pač pa nam dobro ponazarjajo vplive temperature in časa ogrevanja na relativno povečanje odgorka izpostavljenih površin.

Uporabljene kocke imajo glede na svojo majhno težo (10 kg) izredno veliko izpostavljenost površino.

Odvisnost odstotka odgorka od temperature in časa ogrevanja kaže slika 18 A.

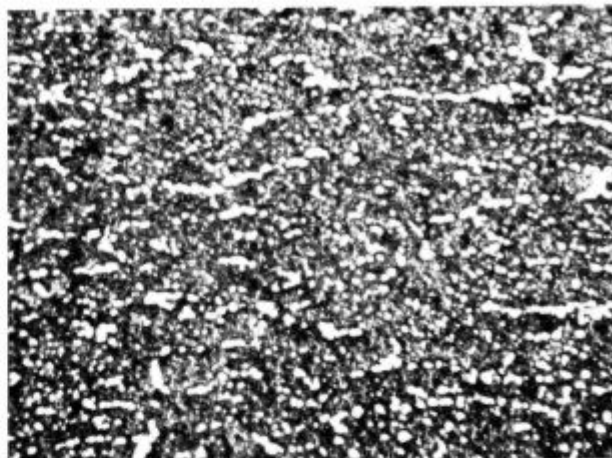
Odstotek odgorka smo ugotavljali tudi za različne čase kontinuiranega prehoda skozi peč. Pri že opisanem temperaturnem režimu v peči so bili rezultati sledeči:

čas prehoda skozi peč	povprečni odgorek v %
24 ur	10,5
31 ur	15,3
50 ur	15,8



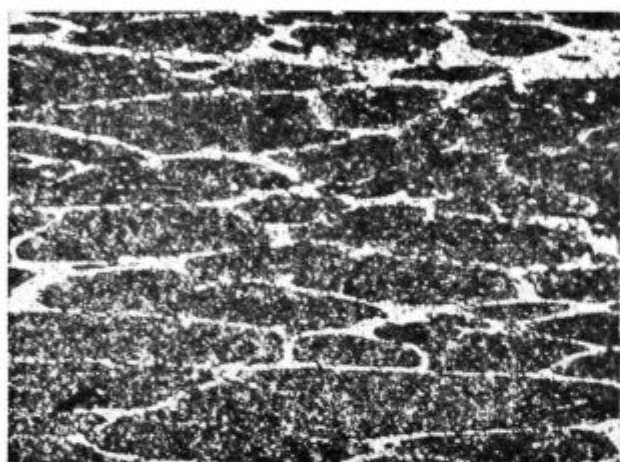
800 - 900 °C

72 ur



1100 - 1150 °C

72 ur



800 - 900 °C

135 ur

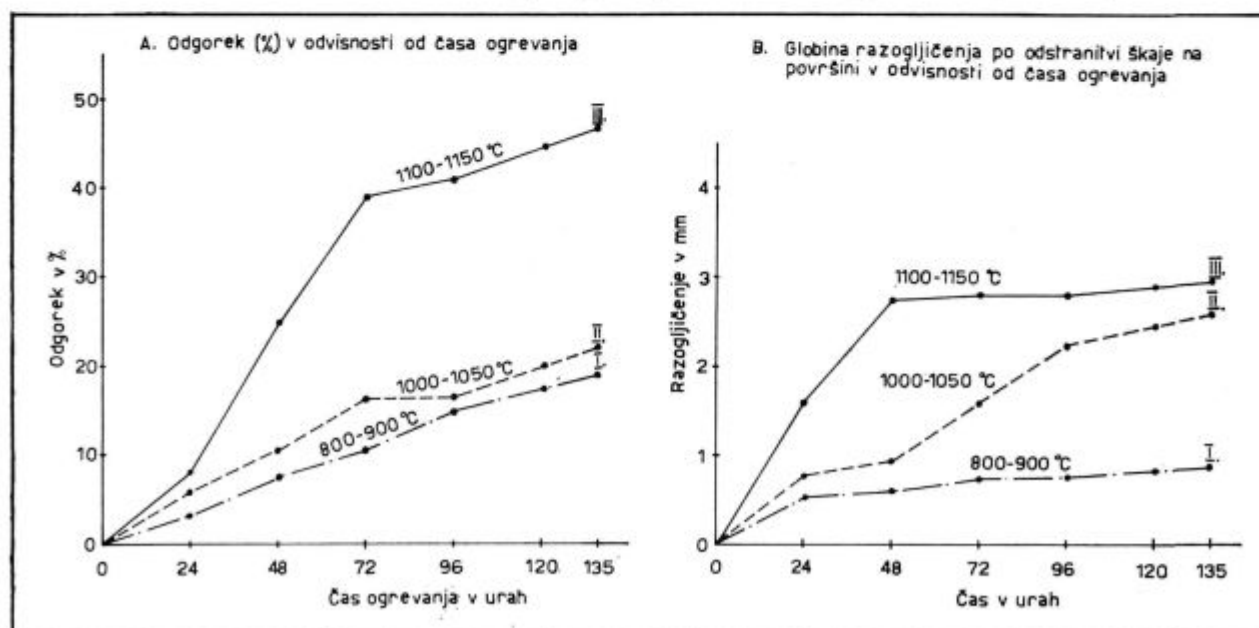


1100 - 1150 °C

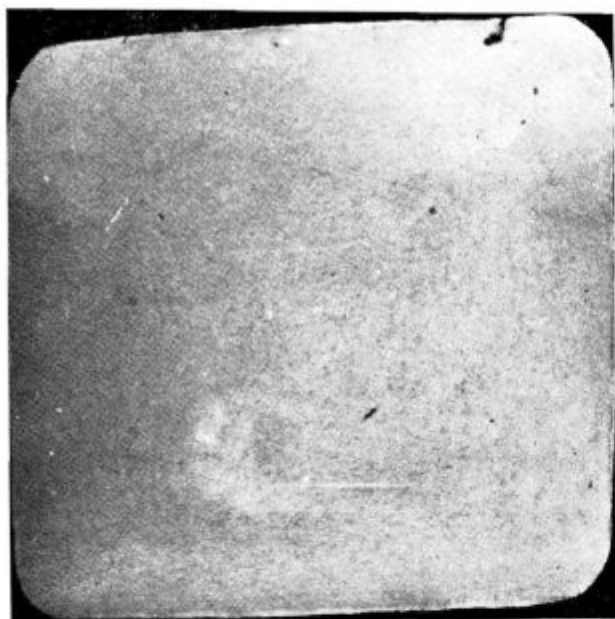
135 ur

Slika 17 Vpliv ogrevanja na karbidne izceje

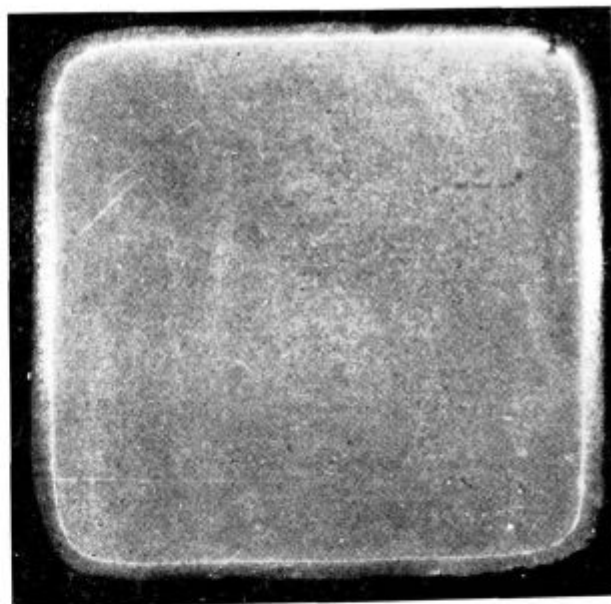
0,2 mm



Slika 18 A in B Ogrevanje kock s stranico ≈ 80 mm in težo ≈ 10 kg



800 - 900 °C

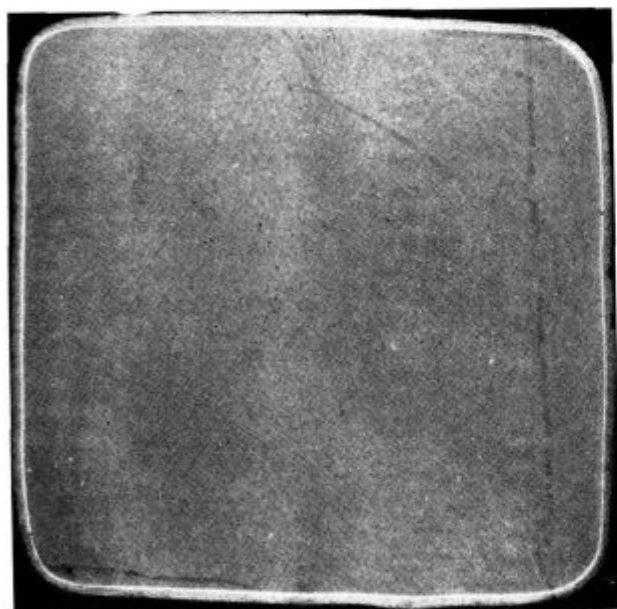


1100 - 1150 °C

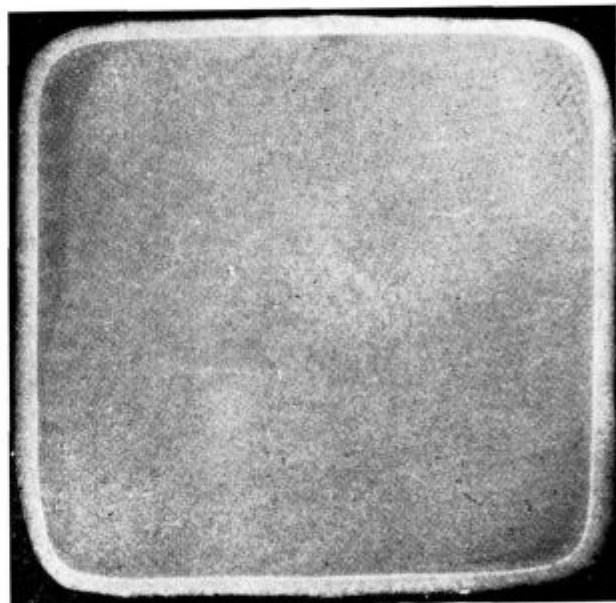
1cm

1cm

Slika 19 Čas ogrevanja 48 ur



48ur



135ur

1cm

1cm

Slika 20 Temperatura 1000—1050° C

Po končanem tehtanju smo vse kocke ob primerni zaščiti na kratko odžarili in od vsake odrezali 10 mm debelo ploščo. Po globokem jedkanju smo približno določili enakomernost in povprečno globino razogljíčenja stranic.

Sliki 19 in 20 kažeta nekaj primerov jedkanih plošč. Pri tem nas razpoke ne smejo motiti, ker so nastale zaradi prehitre ohladitve.

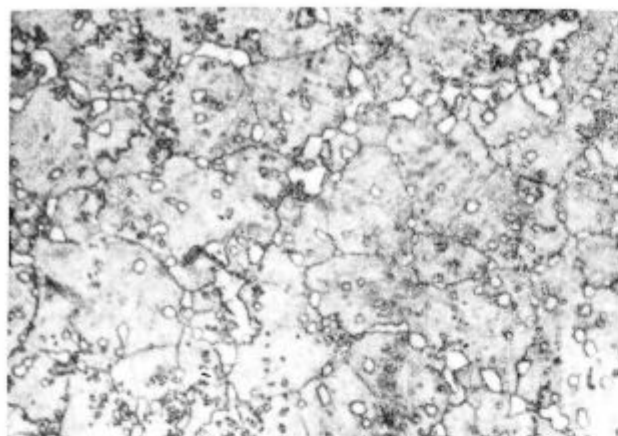
Po pregledu in grobi oceni jedkanih plošč smo izrezali obruse za metalografsko določanje po-

vpredne globine razogljíčenja. Rezultate teh meritev prikazuje slika 18B.

V močno razogljíčeni plasti zrno izredno naraste, kar prikazuje primerjava na sliki 21.

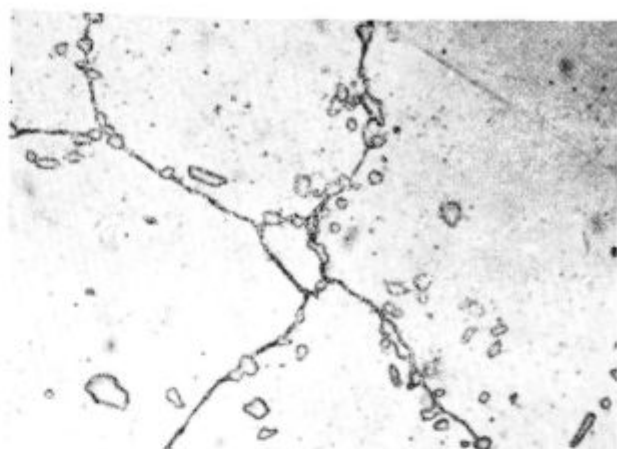
Trdote grobih karbidov in osnovne strukture

Pri raziskavi nastanka grobih karbidov so nas zanimala tudi nekatere značilne lastnosti teh grobih karbidov. Primerjali smo trdoto grobih



Osnova

0,04 mm



Razogljčeno

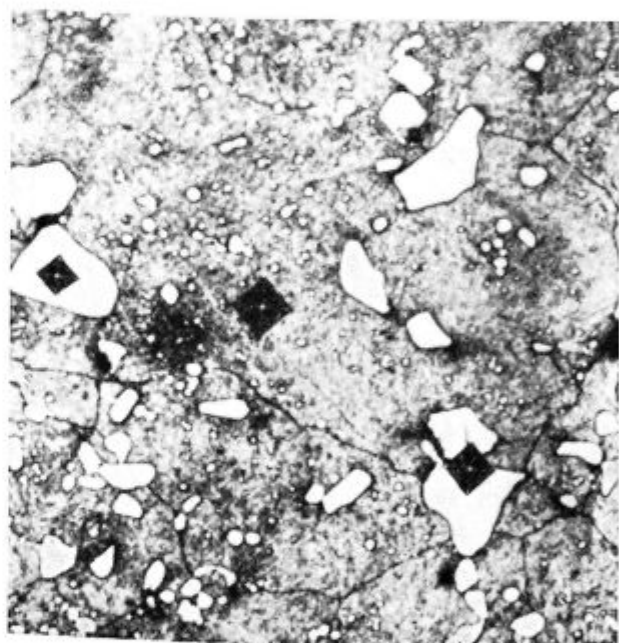
0,04 mm

Slika 21
Primerjava osnovne in razogljčene mikrostrukture

karbidov s trdoto osnovne mase. Po končani toplotni obdelavi smo s serijo meritev na merilcu trdote Zwick z majhno obtežbo določili srednje vrednosti:

- za grobe karbide $1125 \text{ HV}_{1 \text{ kg}}$,
- za osnovno maso $858 \text{ HV}_{1 \text{ kg}}$.

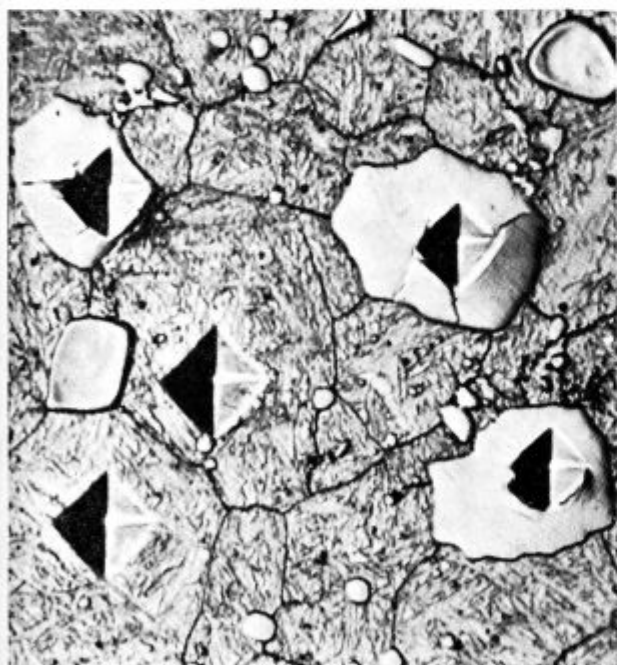
Pri teh meritvah smo opazili, da so karbidi pri merjenju skoraj vedno počili zaradi velike krhkosti (sl. 22 in 23). Zaradi tega dejstva meritve trdot niso zanesljive in rezultati kažejo veliko razsi-panje. Izmerjene trdote so nerealne in največkrat prenizke. Pri finejših karbidih razpoke niso vedno



Slika 23

0,04 mm

Mikrotrdota karbidov in osnove



Slika 22

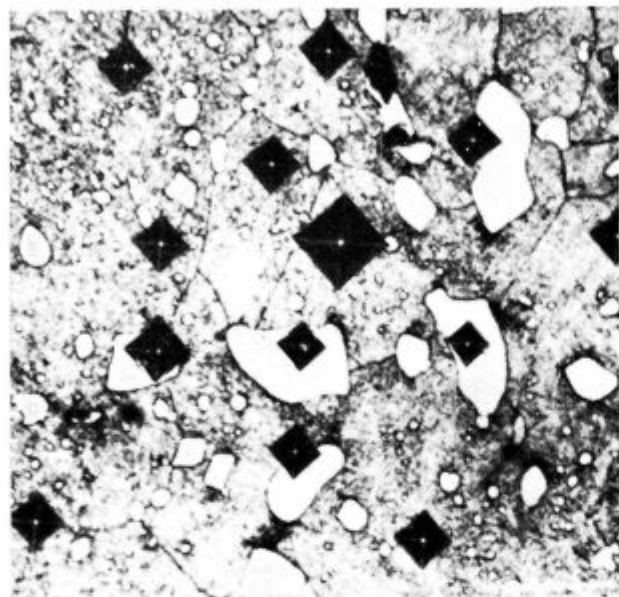
0,04 mm

Mikrotrdota karbidov

tako jasno izražene kakor pri grobih karbidih, čeprav verjetno prav tako nastopajo.

V literaturi se podatki raznih avtorjev o trdotah karbidov zelo razlikujejo. Verjetno je, da so tako različne ugotovitve prav posledica omenjenega pojava in meritev z različnimi obtežbami. S tega stališča bi priporočali za meritve trdot karbidov čim manjše obtežbe. Nasprotno pa meritve trdot z majhnimi obtežbami niso primerne za ugotavljanje trdote posameznih orodij iz brzo-reznih jekel, ker ne dajejo zadovoljive povprečne trdote. Merilec pritiska na različna trda mesta — na karbid ali na osnovno maso. Opazili smo celo,

da se trdote osnovne strukture zelo razlikujejo kljub meritvam v neposredni bližini (sl. 24). Metalografsko enako jedkana in na oko homogena struktura ima često različne trdote v posameznih zrnih.



Slika 24
Mikrotrdota osnove 0,04 mm

PRAKTIČNE MOŽNOSTI POPRAVLJANJA DEFEKTHIH MIKROSTRUKTUR

Brzorezno jeklo z grobimi karbidi in grobim avstenitnim zrnom je defektno. Mikrostrukturo, ki je posledica previsoke temperature ali predolgega časa ogrevanja pred vročo predelavo, lahko primerjamo z mikrostrukturo pregretega brzoreznega jekla, kakršno poznamo pri toplotni obdelavi. Samo po sebi se vsiljuje vprašanje:

ali lahko defektno mikrostrukturo takega jekla popravimo. Na to vprašanje smo iskali odgovor z dodatnim programom raziskave.

Ostanke kock s stranico 80 mm smo po končanih preiskavah stopenjsko prekovali na:

kv. 50 mm, kv. 30 mm, kv. 20 mm,
kakor kaže skica na sl. 25.



Slika 25
Skica kovanja prob

S tem prekovanjem smo skušali ugotoviti možnosti zmanjšanja velikosti karbidov in velikosti avstenitnega zrna v pregretem brzoreznom jeklu.

Po prekovanju smo probe normalno žarili in kalili ter pregledali vzdolžne in prečne metalografske obruse. Vzdolžne obruse smo za pregled karbidnih izcejev še visoko popuščali po postopku redne tekoče kontrole.

Na slikah 26 in 27 vidimo, da jekla z grobimi karbidi ne moremo učinkovito popraviti. Grobih karbidov ne moremo učinkovito zdrobiti niti s precejšnjo stopnjo predelave, posebno če so karbidi bolj ali manj krogličaste oblike in se pri gnetenju le premeščajo po osnovni masi. Nekoliko bolj učinkovito je zmanjšanje velikosti karbidov, če so ti sploščeni, podolgovati, oglati in sploh take oblike, da se pri predelavi lomijo. S pregledom mikrostruktur smo sicer ugotovili pri veliki večini prob povprečno zmanjšanje karbidnih zrn, vendar so tudi tako zmanjšani karbidi ostali v vseh primerih bolj grobi od normalnih. Primerjave na slikah kažejo vpliv temperature ob enakem času ogrevanja. Pri vseh stopnjah predelave so karbidi pri nižji temperaturi finejši.

Na sliki 27 se jasno vidi vpliv predelave na zmanjšanje avstenitnega zrna.

Znano je, da je velikost avstenitnega zrna v brzoreznom jeklu odvisna vsaj od štirih vplivnih faktorjev:

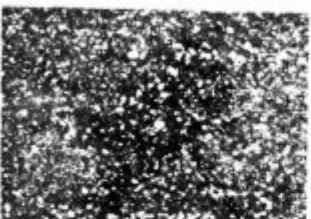
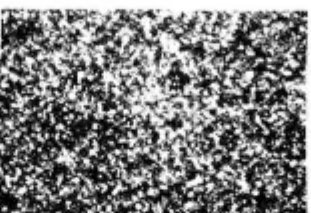
- od temperature kaljenja,
- od časa zadržanja na temperaturi kaljenja,
- od sestave jekla,
- od vrste in porazdelitve neraztopljenih karbidov.

Manj znano in upoštevano je dejstvo, da tudi stopnja redukcije od ingota do palice močno vpliva na velikost zrna. To sicer lahko do neke mere povežemo z vplivom porazdelitve neraztopljenih karbidov. Veliko število finih karbidov učinkovito preprečuje rast zrn.

Harvey⁶ opozarja, da se pri obravnavanju velikosti zrna redkokdaj upošteva dimenzije palic, ali pa se ta vplivni faktor ne upošteva enakovredno z drugimi. Posebno brzorezna jekla z velikim odstotkom molibdena kažejo močan vpliv stopnje redukcije na velikost zrna.

Te trditve popolnoma potrjujejo tudi naši poskusi, pri katerih so bili prvi trije od zgoraj omenjenih vplivnih faktorjev konstantni.

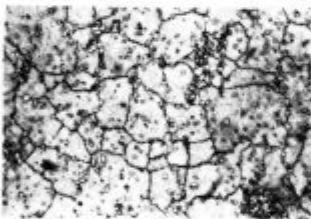
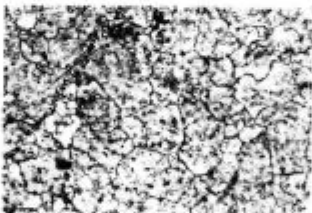
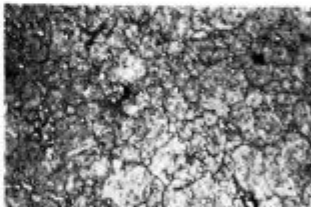
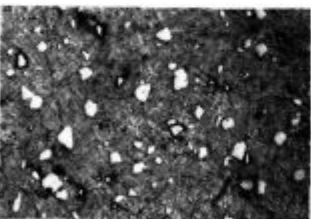
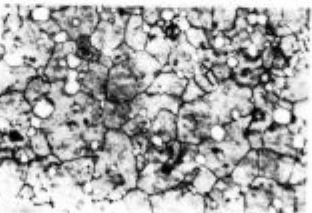
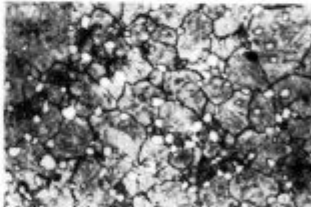
Sliki 28 in 29 kažeta nekaj značilnih primerov mikrostruktur močno pregretega jekla in mikrostruktur po stopenjskem prekovanju. Na teh slikah vidimo očitno zmanjšanje karbidnih zrn, vendar moramo upoštevati, da je bilo to jeklo pred kovanjem tako močno pregreto, da so bili karbidi sploščeni in zbrani po mejah zrn. Če prej smo ugotovili, da se taki karbidi med kovanjem lomijo in drobijo. Popolnoma razumljivo je učinkovito zmanjšanje karbidov, rezultat pa je še vedno nezadovoljiv — mikrostruktura s karbidi nenormalne velikosti in nenormalnih oblik. Za nadaljnje drobljenje karbidnih zrn ni možnosti (upanja), ker so bolj ali manj okrogla, trda in vložena v plastični osnovi. Za nadaljnje drobljenje ni potrebne opore.

	ϕ 50mm	ϕ 30mm	ϕ 20mm
1000 - 1050 °C 72 ^h	 9763	 9762	 9765
1100 - 1150 °C 72 ^h	 9769	 9729	 9766

Slika 26

Vpliv temperature in časa ogrevanja kock 80 mm kvadrat na karbidne izceje v ponovno ogretem in prekovanem jeklu

0,2 mm

	ϕ 50mm	ϕ 30mm	ϕ 20mm
1000-1050 °C 72 ^h	 9748	 9746	 9778
1100-1150 °C 72 ^h	 9777	 9741	 9755

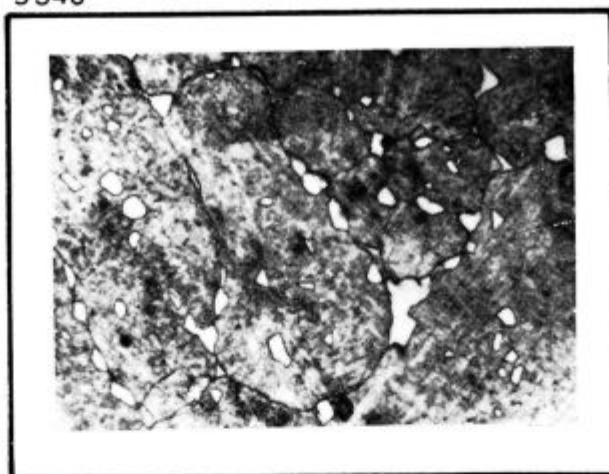
Slika 27

Vpliv temperature in časa ogrevanja kock 80 mm kvadrat na velikost zrna in velikost ter obliko karbidov v ponovno ogretem in prekovanem jeklu

0,04 mm

Izhodne mikrostrukture nepredelanega pregretega jekla so bile zelo različne, kar je v skladu z diagramom na sliki 15. Včasih je imela mikrostruktura po 72 urah videz mnogo bolj pregretega jekla kakor po 135 urah.

Posledice pregretja pred kovanjem zelo dobro kaže slika 29 z značilnim pojavom podzrna in z grobo iglasto ter neenakomerno martenzitno strukturo, ki je za normalno kaljeno brzorezno jeklo povsem neobičajna.

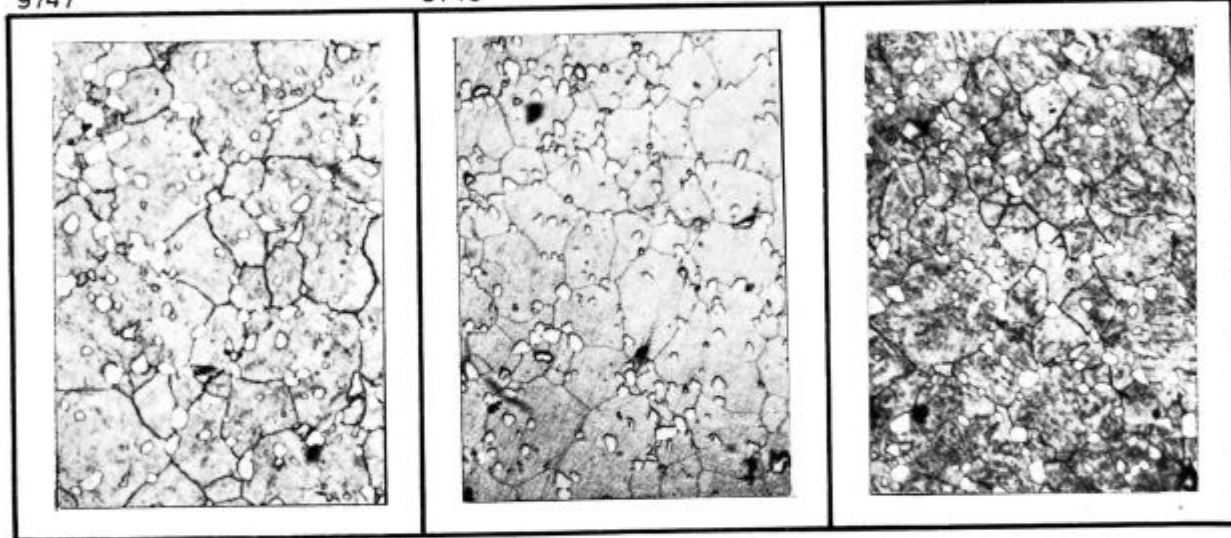


Pregreto nepredelano jeklo 80 mm kvadrat, ogrevano 96 ur na 1100–1150° C

9747

9746

9745



Prekovano na 50 mm kvadrat
Stopnja predelave $\approx 2,5 \times$

Prekovano na 30 mm kvadrat
Stopnja predelave $\approx 7 \times$

Prekovano na 20 mm kvadrat
Stopnja predelave $\approx 16 \times$

0,04 mm

Slika 28

Vpliv vroče predelave na zmanjšanje velikosti avstenitnega zrna in karbidov v pregretem jeklu

PRAKTIČNI ZAKLJUČKI

Velikost karbidov se pri posameznih vrstah brzoreznih jekel pomembno razlikuje. V molibdenovih brzoreznih jeklih so karbidi povprečno finejši od onih v volframovih, posebno pa še v kobaltovih in vanadijevih brzoreznih jeklih.

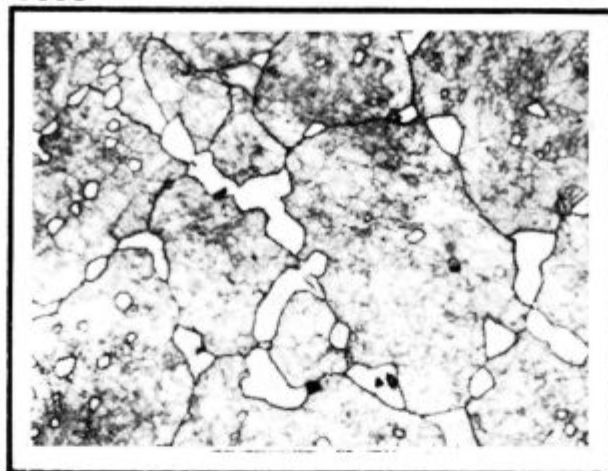
Grobi karbidi nastajajo pri temperaturah nad 1000° C in pri daljših časih ogrevanja. Nižje temperature tudi pri zelo dolgotrajnem ogrevanju še ne predstavljajo posebne nevarnosti za nastanek grobih karbidov in grobega avstenitnega zrna po kaljenju. Na odnos med deležema karbidov oglate in okrogle oblike vpliva izoblikovanje ledeburitnega evtektika v litem stanju, razpored karbidnih izcej in pogoji koagulacije ter začetka taljenja ledeburitnega evtektika pri ogrevanju. Okrogli

karbidi nastajajo s preprostim skepljanjem karbidnih zrn in združevanjem drobnejših sosednjih karbidnih zrn, oglati karbidi pa so posledica začetka taljenja ledeburitnega evtektika in zbiranja karbidov na mejah in stičiščih avstenitnih zrn. Čim višja je temperatura ogrevanja, tem večji je delež karbidov oglate oblike.

Na osnovi teh ugotovitev sledijo praktična navodila za ogrevanje pri vroči predelavi:

Počasno ogrevanje in daljše zadrževanje brzoreznega jekla pri temperaturah pod 1000° C še ne povzroča nastanka grobih karbidov in je torej s tega stališča neškodljivo, če ne upoštevamo odgoraka in razogljčenja.

Pri temperaturah nad 1000° C moramo preprečiti vsako nepotrebno zadrževanje jekla.

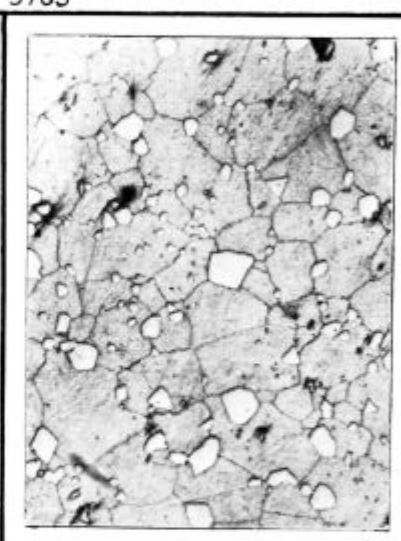
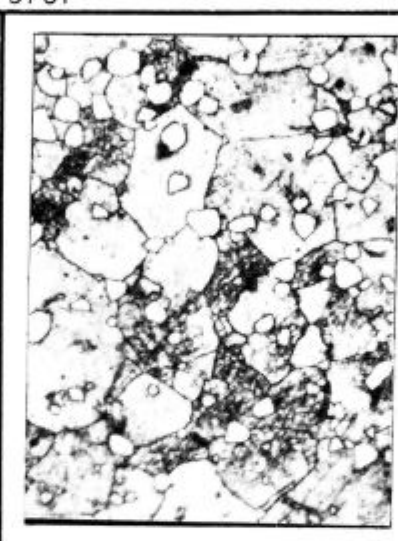
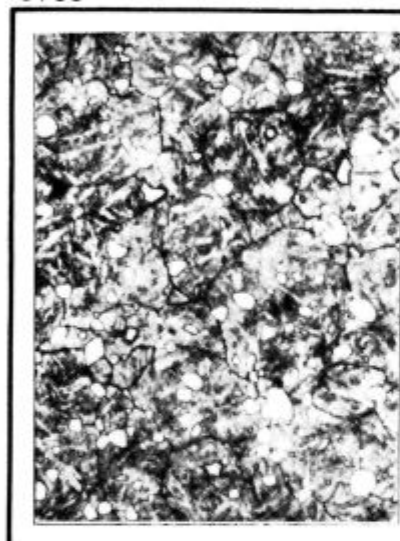


Pregreto nepredelano jeklo 80 mm kvadrat, ogrevano 72 ur na 1100–1150° C

9756

9751

9783



Prekovano na 50 mm kvadrat
Stopnja predelave $\approx 2,5 \times$

Prekovano na 30 mm kvadrat
Stopnja predelave $\approx 7 \times$

Prekovano na 20 mm kvadrat
Stopnja predelave $\approx 16 \times$

0,04 mm

Slika 29

Vpliv vroče predelave na zmanjšanje velikosti avstenitnega zrna in karbidov v pregretem jeklu

Mnogi raziskovalci so se ukvarjali s preprečevanjem nastanka ali z odpravljanjem izrazite ledeburitne mrežaste strukture. Le mimogrede naj omenimo ugotovitev nekaterih, da z dolgotrajnim ogrevanjem ingotov na visoki temperaturi lahko skoraj ali pa popolnoma odpravimo ledeburitno mrežo in dosežemo enakomerno razporeditev karbidnih zrn. To ugotovitev^{1, 2, 7} naši poizkusi potrjujejo, obenem pa tudi kažejo, da tak postopek odpravljanja ledeburitne mreže v litem brzoreznem jeklu za praktično tehnologijo ne pride v poštev, ker povzroča nastanek grobih karbidov.

Vpliv grobih karbidov na tehnološke in mehanske lastnosti orodij iz brzoreznih jekel bomo obravnavali v III. delu tega članka; že pri teh ključkih pa lahko omenimo, da grobi karbidi škodujejo kvaliteti brzoreznega jekla.

Literatura

1. BISRA Summary 151: Modification of the cast structure of high-speed steel — Prespheroidizing, The British Iron and Steel Research Association.
2. Geller J. A., V. K. Zablockij, L. S. Kremnev: Termičeska obrabotka bistrorežuščej stali dlja ulučšenja raspredelenja karbidov, Metalovedenje i termičeskaia abrabotka metalov No 9., 1967, str. 18–23.
3. Hargue C. J., J. P. Hammond, C. S. Crouse: The angular — appearing carbides in high speed tool steels, Trans. ASM, Vol. 46, 1954, str. 716–726.
4. Payson P.: The Metallurgy of Tool Steels, John Wiley & Sons, inc., New York, London 1962.
5. Gühring A.: Einfluss der Karbidausbildung auf die Leistung von Schnellstahl — Spiralbohrern, Härtereie — Technische Mitteilungen — Riebensahm, Bd. 8, Heft 2, str. 9–19.
6. Harvey R. J.: Grain Size of High Speed Steel — the Effect of Reduction, Steel Processing and Conversion, Jan. 1958, str. 33, 34.
7. Hoyle G.: Recent developments in high-speed steels, Metallurgical Reviews, 1964, Vol. 9., No 33, str. 63, 66–68.

ZUSAMMENFASSUNG

Im zweiten Teil dieses Artikels sind die Bedingungen der Entstehung der groben Karbide im Schnelldrehstahl während des Erwärmens von Blöcken und Knüppel vor dem Schmieden oder Walzen beschrieben.

Der Einfluss der Temperatur und der Anwärmungszeit sind eingehend beschrieben. Das defekte Gefüge mit groben Karbiden und grobem Austenitkorn kann nur begrenzt durch die plastische Warmverformung erholt werden. In dieser Arbeit sind auch noch einige Ergebnisse

der gleichlaufenden Untersuchungen wie der Abbrand, die Entkohlung, die Austenitkorngrösse, die Karbidseigerungen und die Karbidhärte angegeben. Es ist eine Methode der Karbidgrössenbestimmung beschrieben, welche im Hüttenwerk Ravne in der laufenden Qualitätskontrolle der Schnelldrehstähle angewendet wird. Es sind die Ergebnisse der Statistischen Analyse der Karbidkorngrösse für die verschiedenen Sorten der Schnelldrehstähle und ihre Dimensionsgruppen wiedergegeben.

SUMMARY

Second part of the article about high speed steels is dealing with conditions of formation coarse carbides in high speed steels during the heating of ingots and blooms previously to forging or rolling of them. Similary it is dealing with tmeperature and time of heating. To correct defective structures of coarse carbides and coarse austenitic grain there are only limited possibilities given for plastic hot deformation.

Article is dealing with some more results of parallel testing — burn off, carbon depleading, size of austenitic grain, segregation, hardness of carbides. The method of carbides size determination which is used in Zleezarna Ravne for instant of high speed steels control is described. The results of statistical analysis of carbide size for different kinds of high speed steels and dimensional groups are given.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены условия образования крупных карбидов в быстрорежущей стали во время нагрева слитков и заготовок доковки или прокатки. Подробно изложено влияние температуры и длительности нагрева.

Возможность поправки дефектной структуры с крупными карбидами и зернами аустенита при помощи пластической де-

формации в теплом состоянии ограничена. Рассмотрены также некоторые результаты исследования обезуглероживания, угара, ликвации и твердости карбидов. Описан метод металлургического завода Železarna Ravne (Югославия) определения величины карбидов при контроле серийного производства быстрорежущей стали. Изложены результаты статистического анализа величины карбидов для различных сортов стали и групп по размерам.