

Brzorezna jekla

I. del: ZNACILNOSTI METALOGRAFIJE BRZOREZNIH JEKEL

Brzorezna jekla so visoko legirana orodna jekla, ki se po svojih lastnostih močno razlikujejo od vseh drugih vrst jekel. Lastnosti orodij so v veliki meri odvisne od pogojev vroče predelave, toplotne obdelave in od mikrostrukture jekla. Zato članek v prvem delu obravnava metalografske značilnosti brzoreznih jekel.

Uvod

Brzorezna jekla predstavljajo med orodnimi jekli posebno skupino, ki se po svojih lastnostih razlikuje od vseh drugih vrst jekel.

Vsa brzorezna jekla so visoko legirana in močno kaljiva. Kalimo jih na zraku, v olju ali v termalni kopeli z visoke temperature v bližini tališča oziroma solidus temperature. Zaradi visoke kalilne temperature jih moramo ogrevati v solnih kopelih.

Najbolj značilna lastnost in glavna odlika brzoreznih jekel je njihova sposobnost, da obdržijo veliko trdoto do visokih temperatur.

Brzorezno jeklo se je prvič pojavilo leta 1900 in izzvalo pravo senzacijo na področju orodnih jekel. Jeklo Taylorja in Whita se je s skoraj nespremenjeno sestavo 18% W — 4% Cr — 1% V ohranilo do današnjih dni kot standardno. V desetletjih razvoja so se okrog tega osnovnega tipa razvila številna druga brzorezna jekla.

V tabeli 1 so navedena brzorezna jekla, ki jih izdeluje Železarna Ravne. Poleg smernih sestav je

navedena tudi oznaka po sistemu legiranja. V tej oznaki označujejo zaporedne številke povprečne odstotke volframa — molibdena — vanadija in kobalta. Odstotek kroma se v tej oznaki ne navaja, ker je v vseh brzoreznih jeklih približno enak — okrog 4%.

Že po kemijski sestavi teh jekel lahko pričakujemo heterogeno strukturo. Zato je metalografija brzoreznih jekel zelo zanimiva in kontrola mikrostruktur v tekoči kontroli zelo pomembna.

Poleg zbiranja izkušenj s tekočo kontrolo kvalitete brzoreznih jekel izvaja Železarna Ravne obširne raziskave na področju spoznavanja značilnosti, vzrokov nastajanja in posledic

- razporeditve karbidnih izcej,
- velikosti karbidov,
- velikosti in enakomernosti avstenitnega zrna.

V fizikalnem pogledu in po značilnih lastnostih so si vse vrste brzoreznih jekel zelo podobne, tako da njihove metalografske lastnosti in značilnosti lahko obravnavamo v splošni obliki.

Oglejmo si nekaj metalografskih osnov brzoreznih jekel, ki nam bodo olajšale obravnavanje posameznih problemov v nadaljevanjih tega članka.

Lito stanje

Brzorezna jekla imajo zaradi velikega deleža legiranih elementov razmeroma široko temperaturno območje strjevanja. Za molibdensko brzorezno jeklo tipa 6—5—2 (Č.7680 — BRM-2) nava-

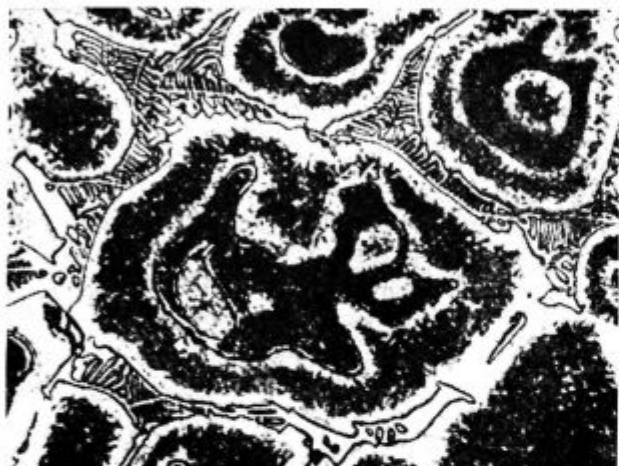
Tabela 1

Legirni tip jekla W — Mo — V — Co	Oznaka jekla		Smerna kemijska sestava					
	Železarna Ravne	J U S CB 0.002	C	Cr	W	Mo	V	Co
12 — 1 — 2	BRW-2	Č.6882	0,85	4	12,5	0,8	2	—
18 — 0 — 1	BRW	Č.6880	0,75	4	18	—	1	—
18 — 1 — 2 — 5	BRC	Č.6980	0,75	4	18	0,7	1,6	5
18 — 1 — 2 — 10	BRC-3	Č.9782	0,75	4	18	0,8	1,6	9,5
2 — 9 — 1	BRM-1	Č.7880	0,85	4	2	8,5	1,5	—
6 — 5 — 2	BRM-2	Č.7680	0,85	4	6,5	5	2	—
6 — 5 — 2 — 5	BRCMo	Č.9780	0,85	4	6,5	5	2	5
12 — 1 — 4	BRW-1	Č.6881	1,3	4	12	1	4	—
12 — 1 — 4 — 5	BRCV	Č.9781	1,3	4	12	1	4	5
10 — 4 — 3 — 10	BRU	Č.9783	1,25	4	10,5	4	3	10,5

Opomba: Prednostno tipizirana jekla so debelo tiskana.
Posebno tipizirana jekla so normalno tiskana.
Netipizirana jekla so kurzivno tiskana.

jajo razni avtorji razliko med likvidus in solidus temperaturo 110 — 140° C. Prehod prek tako širokega območja strjevanja povzroča močno izcejanje med litjem blokov ali ulitkov brzoreznega jekla. Torej nehomogenosti v strukturi teh jekel izvirajo pretežno že od pogojev strjevanja in jih zato ne moremo preprečiti. V vseh fazah tehnologije pa si prizadevamo, da bi nehomogenosti zmanjšali s čim bolj enakomerno porazdelitvijo strukturnih faz.

Prvi solidus vsebuje najmanjši odstotek ogljika. Zaradi izločanja maloogljičnega solidusa se odstotek ogljika v preostali tekoči fazi povečuje. Obenem z zniževanjem temperature med strjevanjem se nenehno spreminja kemijska sestava. Ob koncu preostane še ledeburitni evtektik, ki se strdi zadnji in v litem stanju v obliki mreže obkroža nehomogena primarna zrna (slika 1).



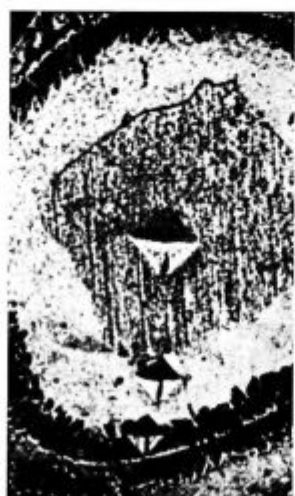
Slika 1

0,04 mm

Nehomogenost in plastoviti sestav primarnih zrn se posebno izraža v litem brzoreznem jeklu po kaljenju brez predhodnega žarjenja (slika 2). Takoj naj omenimo, da smo tak postopek upora-



0,1 mm



0,04 mm

Slika 2

bili namenoma za čim bolj izrazit prikaz plastovitosti primarnih zrn. Pri normalni toplotni obdelavi se tak način nikoli ne uporablja, saj je tudi pri litih orodjih iz brzoreznih jekel kaljenje brez predhodnega žarjenja velika napaka.

Na sliki 2 se posamezne plasti močno razlikujejo tudi po trdoti, kar kažejo vtiski merjenja mikrotrdot. V jedru je trdota najmanjša zaradi najmanjšega odstotka ogljika. Mikrostruktura je pretežno sorbitna in ima po kaljenju trdoto okrog 35 HRC, po popuščanju pa okrog 30 HRC. Zrna obkroža ledeburitna mreža. Njena trdota skoraj ni odvisna od toplotne obdelave in znaša okrog 65 do 67 HRC. Prehodna plast med jedrom in ledeburitno mrežo je po kaljenju pretežno sestavljena iz različnih deležev martenzita in zaostalega avstenita. Trdota te prehodne plasti je po kaljenju okrog 58 — 60 HRC in se pri popuščanju največkrat nekoliko poveča zaradi premene zaostalega avstenita v martenzit.

S kaljenjem in popuščanjem ne moremo izboljšati homogenosti primarnih zrn, ker ne moremo zmanjšati mikroizcej.

Izoblikovanje ledeburitne mreže je v veliki meri odvisno od pogojev litja, predvsem od temperature litja, od velikosti ingota, položaja v ingotu, od načina ohlajevanja itd. Ledeburitna mreža in oblika ledeburitnega evtektika ima odločilen vpliv na stopnjo enakomernosti strukture v vseh tehnoloških fazah vroče predelave in toplotne obdelave. Nekaj značilnih oblik ledeburitnega evtektika kažejo slike 3 — 6.

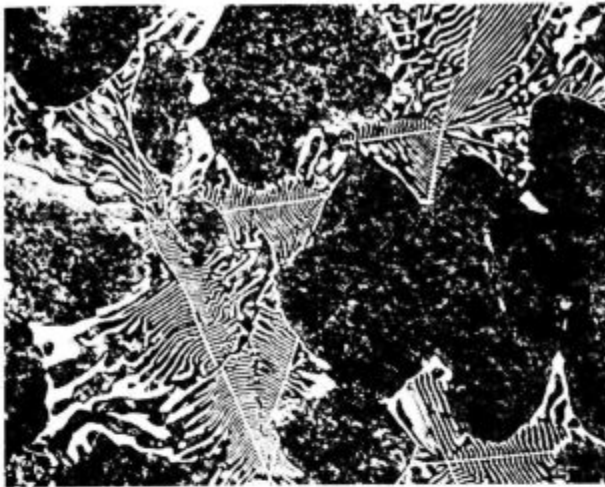
Zarjeno stanje

Z dobrim žarjenjem se že v litem brzoreznem jeklu doseže pomembno izboljšanje homogenosti v notranjosti primarnih zrn. Mikroizceje, posebno plastovite razlike koncentracij ogljika, se pri žarjenju z difuzijo vsaj delno izenačijo. Primarne ledeburitne mreže pa z žarjenjem ni mogoče spremeniti. Mikrostrukturo litega žarjenega brzoreznega jekla kaže slika 7.



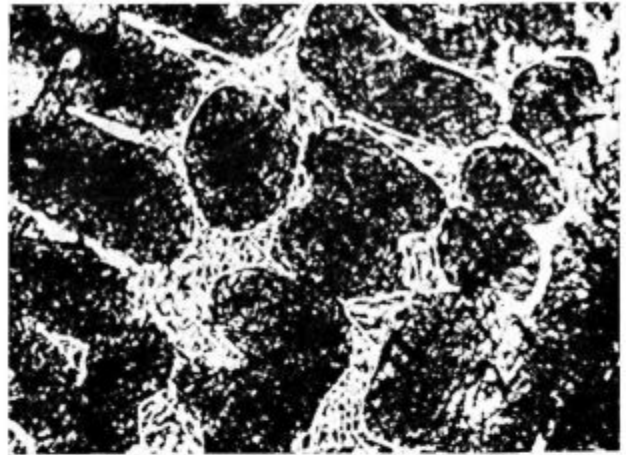
0,04 mm

Slika 3



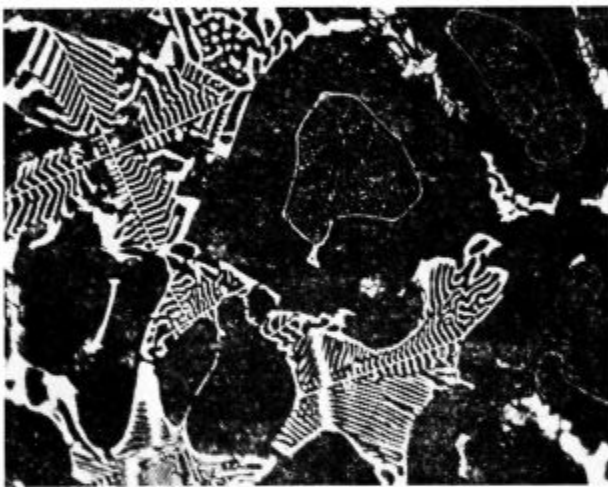
Slika 4

0,04 mm



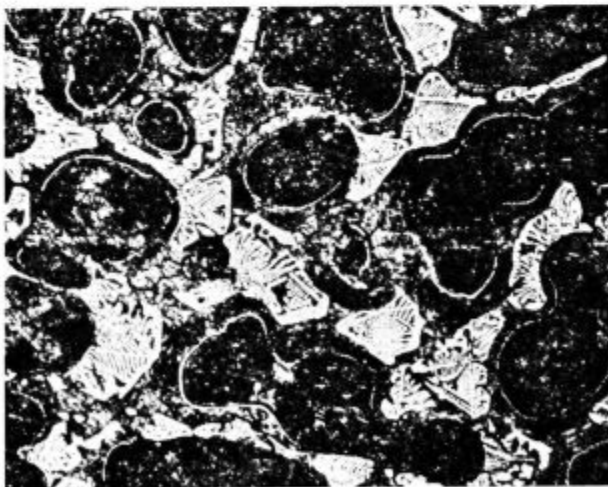
Slika 7

0,1 mm



Slika 5

0,04 mm



Slika 6

0,04 mm

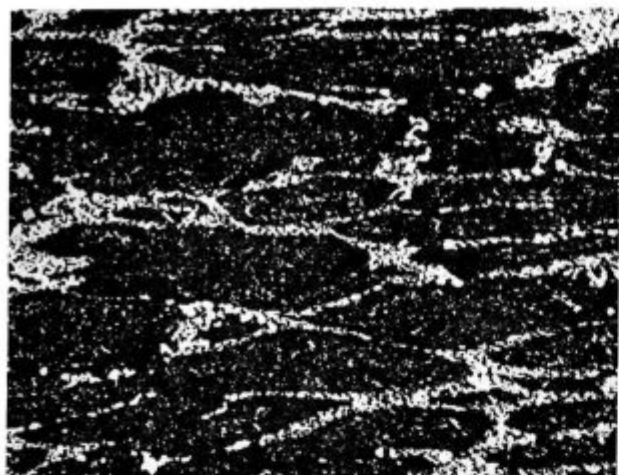
Pri normalni temperaturi žarjenja brzoreznega jekla ne moremo pričakovati, da bi z difuzijo mogli pomembno izenačevati makroizceje. Nehomogenosti strukture in kemijske sestave po preseku in višini blokov so odvisne od temperature litja, pogojev litja in ohlajevanja, predvsem pa od velikosti in oblike blokov.

Pomembno izboljšanje homogenosti lahko dosežemo predvsem s pravilno in učinkovito plastično deformacijo v vročem — s kovanjem in valjanjem. Prav posebno pri brzoreznem jeklu velja ugotovitev, da ni edini namen vroče predelave preoblikovanje do določene dimenzije, ampak tudi kvalitativno izboljšanje jekla. Zaželena je čim večja stopnja plastične deformacije, pri čemer pa ne smemo pozabiti, da so izceje in ledeburitne mreže tem bolj grobe, čim večja je teža in velikost ingota. Ob najugodnejših pogojih strjevanja je treba doseči najugodnejšo kombinacijo začetnega formata ingota (odločilen je presek in konstrukcija kokile) in stopnje predelave s kovanjem in valjanjem. Tudi orodje pri kovanju in kalibracija pri valjanju pomembno vplivata na doseganje čim bolj enakomernih karbidnih izcej po preseku palic. Plastičnost brzoreznih jekel je slaba in ni lahko doseči globoke deformacije.

Pri vroči predelavi se mreže ledeburitnega eutektika pod vplivom udarcev kladiva ali pritiska valjev pri plastični deformaciji razbijajo in delci ledeburitnih primarnih karbidov se v odvisnosti od jakosti deformacij premeščajo. Mreže se deformirajo in trgajo, dokler se karbidna zrna ne razporedijo v vzdolžne trakove ali v karbidna zrna, ki so enakomerno razsejana po vsem preseku. Ta proces stopnjevanja enakomernosti glede razporeditve karbidnih izcej kažejo slike 8 — 11.

Stopnja enakomernosti v razporeditvi karbidnih izcej je pri brzoreznih jeklih ena izmed odločilnih zahtev v kvalitetnih prevzemnih pogojih. Za ocenjevanje te stopnje enakomernosti je v literaturi več primerjalnih tabel.

Železarna Ravne je izdala svojim jeklom prilagojeno primerjalno tabelo z desetimi stopnjami.



Slika 8

0,1mm



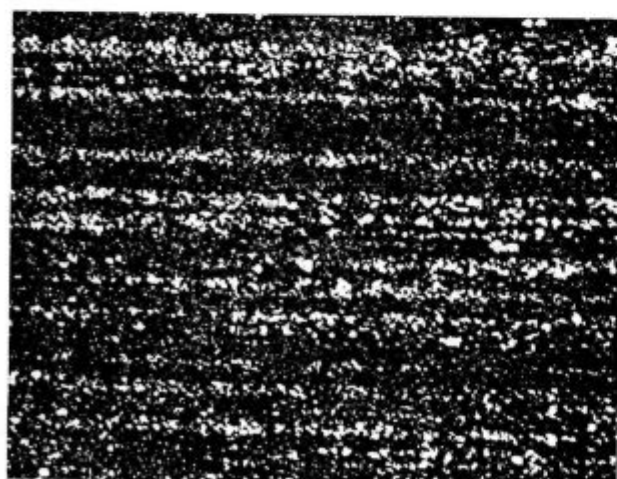
Slika 11

0,1mm



Slika 9

0,1mm



Slika 10

0,1mm

Po tej tabeli se ocenjuje le razporeditev karbidov, ne upošteva pa se različnih količin in velikosti karbidov pri posameznih vrstah brzoreznih jekel. Po tabeli železarne Ravne ustreza:

- slika 8 stopnji 9,
- slika 9 stopnji 6,
- slika 10 stopnji 4,
- slika 11 stopnji 2.

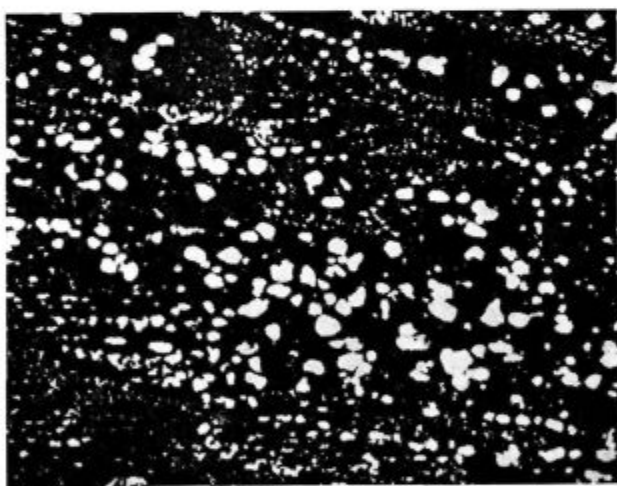
Omejitve po tej tabeli so odvisne od dimenzije in namenjene uporabe jekla. Določijo se sporazumno ob naročilu.

Vplivu razporeditve karbidnih izcej na mehanske in tehnološke lastnosti pripisujejo precej velik pomen. Verjetno vpliva neenakomerna razporeditev najbolj na občutljivost orodij pri toplotni obdelavi in na žilavost orodij, manj pa na rezalno sposobnost. Nekateri se bolj boje ostankov mrež, drugi pa trakaste razporeditve. Glede na taka različna mnenja so tudi zahteve v kvalitetnih pogojih za prevzem jekla zelo različne. Lahko rečemo, da je neposredni vpliv razporeditve karbidnih izcej na lastnosti brzoreznih jekel še dokaj nedokazan. Različna mnenja se več opirajo na bolj ali manj logična sklepanja in domneve kakor pa na rezultate objektivnih in sistematičnih raziskav. Mnenje o izredni škodljivosti karbidnih mrež, o katerih ne bi smelo biti po mnenju nekaterih niti sledov, vedno bolj izgublja svojo logično osnovo in upravičenost. V zadnjih letih se zelo razširja uporaba litih orodij iz najkvalitetnejših brzoreznih in super brzoreznih jekel. Ta imajo tako velik delež legirnih elementov in tako visok odstotek ogljika v sestavi, da so skoraj nepredelovalna. Zato je litje orodij iz nekaterih od njih skoraj edina možnost uporabe. Ugotavljajo odlične lastnosti takih orodij, vemo pa iz opisanih osnov, da imajo popolnoma sklenjeno karbidno mrežo ledeburitnega evtektika.

V železarni Ravne raziskujemo odvisnost enakomernosti razporeditve izcej od dimenzij in stop-

nje predelave ter vpliv razporeditve na nekatere lastnosti. O teh raziskavah bomo poročali v eni od naslednjih številčk *Zelezarskega zbornika*.

Za izboljšanje enakomernosti karbidnih izcej so različni raziskovalci predlagali več posebnih postopkov in sprememb v tehnologiji (predsferoidizacijsko žarjenje, cepljenje, vibracije med litjem ipd.). Noben od predlogov se ni posebno uveljavil. Predsferoidizacijsko žarjenje ingotov na visoki temperaturi je dalo pri raziskavah odlične rezultate glede enakomernosti razporeditve. S tem postopkom se da skoraj popolnoma odstraniti ostanke karbidne mreže. Praktična uporabnost postopka je bila že po izvedbi zaradi izredno visoke temperature in dolgih časov zelo dvomljiva. Postopek ima še eno slabo stran: enakomerna razporeditev se doseže s pomočjo difuzije, pri tem pa nastanejo groba karbidna zrna. Pri tem nastaja vprašanje, kaj je bolj škodljivo za lastnosti orodij, karbidne mreže ali grobi karbidi. Raziskave, ki bodo opisane v nadaljevanju tega članka, so pokazale zelo škodljivi vpliv grobih karbidov na lastnosti orodij. Ne samo pri posebnih postopkih, ampak tudi pri redni proizvodnji se je treba izogibati dolgim časom ogrevanja brzoreznih jekel pri visokih temperaturah. Tako namreč nastajajo grobi karbidi, kakršne kaže slika 12 za primerjavo s slikama 10 in 11 pri enaki (100-kratni) povečavi.



Slika 12

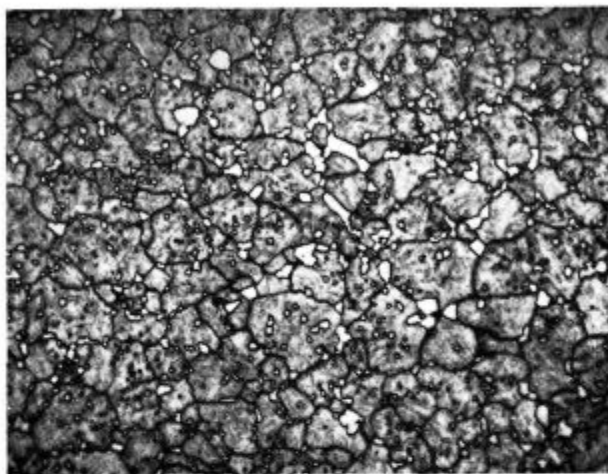
0,1mm

Kaljeno stanje

Značilne mikrostrukture v kontroli po kaljenju

Pri kaljenju se med avstenitizacijo delež sekundarnih karbidov raztoplja v avstenitu. Po ohladitvi s kalilne temperature nastane martenzitna struktura s precejšnjim deležem zaostalega avstenita in neraztopljenimi karbidi. Primarni karbidi ostanejo vedno neraztopljeni, delež preostalih neraztopljenih sekundarnih karbidov pa je odvisen od kalilnih pogojev — temperature in časa.

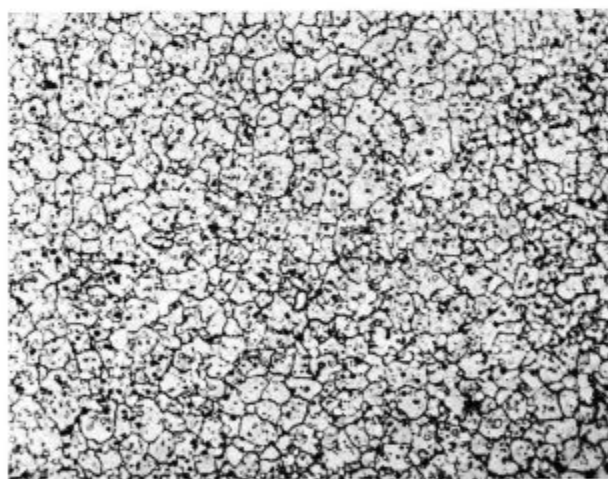
Po količini neraztopljenih karbidov in velikosti avstenitnega zrna lahko v kaljenem stanju z metalografskim pregledom dobro presojava pravilnost kalilnih pogojev. S primernim jedkanjem se v kaljenem stanju meje avstenitnega zrna zelo jasno izražajo. Velikost zrna je odvisna predvsem od temperature in časa avstenitizacije.



Slika 13

0,04mm

Slika 13 kaže normalno mikrostrukturo kaljenega brzoreznega jekla z razmeroma enakomerno velikostjo zrna in minimalnim ostankom neraztopljenih sekundarnih karbidov. Tako kaljeno jeklo je dobro popuščno obstojno in ima dobre rezalne sposobnosti, če ga pravilno popustimo.



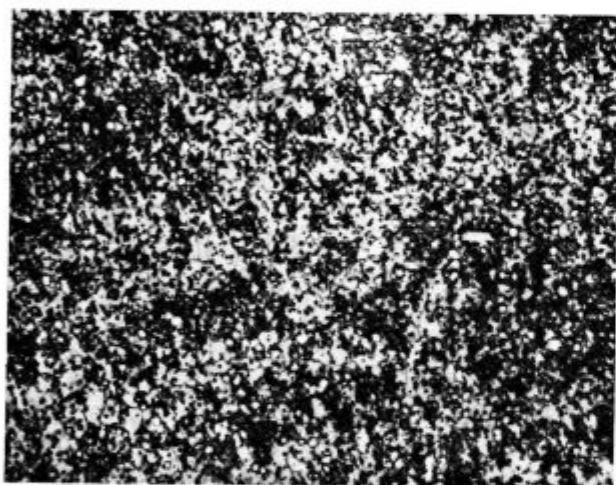
Slika 14

0,04mm

Na sliki 14 je prikazana mikrostruktura s finejšim avstenitnim zrncom, ki omogoča boljše žilavost orodja. Zaradi precejšnjega deleža neraztopljenih sekundarnih karbidov ni izkoriščen celoten delež legirnih elementov v jeklu z raztapljanjem v osnovi med avstenitizacijo. Tako jeklo ima na račun boljše žilavosti slabšo popuščno obstojnost. S primerjavo mikrostruktur na slikah 13 in 14

lahko nedvomno sodimo, da je zadnja mikrostruktura pripadala jeklu, kaljenemu z nižje temperature, ali pa je bil potopni čas v solni kopeli na kalilni temperaturi krajši.

Nižjo kalilno temperaturo, finejše avstenitno zrno, a s tem večji delež neraztopljenih finih karbidov izberemo normalno pri kaljenju finejših orodij, posebno če so izpostavljena neenakomernim in sunkovitim obremenitvam ali pa, če imajo tanke debeline in neugodno obliko s hitrimi spremembami preseka. S takimi ukrepi ne smemo pretiravati, ker dobimo s tem prenizko temperaturo ali s prekratkim potopnim časom kaj hitro nepravilno — »podkaljeno« mikrostrukturo z neizraženimi mejami avstenitnih zrn in zelo velikim deležem neraztopljenih finih karbidov (slika 15). Od orodja, ki ima po kaljenju tako mikrostrukturo, ne moremo pričakovati lastnosti, kakršne pripisujemo brzoreznim jeklom.



Slika 15

0,04 mm

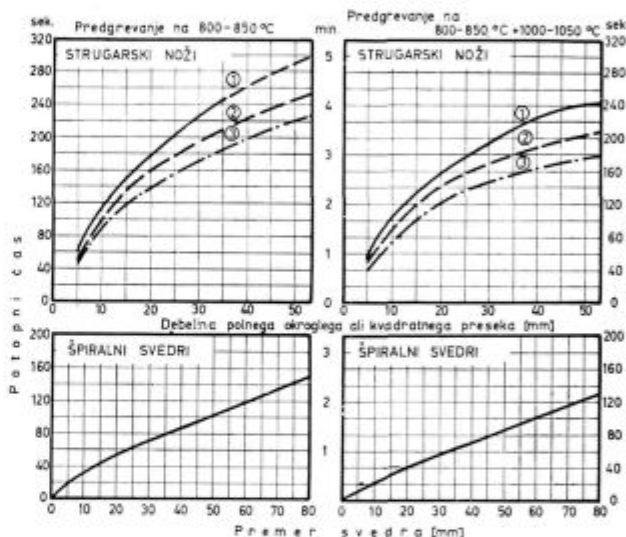
S previsoko kalilno temperaturo in s predolgim potopnim časom lahko brzorezno jeklo pokvarimo, tako da ga s ponovno toplotno obdelavo ni mogoče več popraviti. Čim višja je kalilna temperatura, tem večja je velikost avstenitnega zrna. Takoj ko se raztopi v avstenitni osnovi celotna količina sekundarnih karbidov, začne avstenitno zrno zelo hitro naraščati in postaja grobo, neenakomerno. Za preprečevanje takih napak in nepopravljive škode moramo upoštevati omejitve kalilnih temperatur, ki jih za posamezne vrste brzoreznih jekel priporoča proizvajalec (npr. tabela 2). Pri tem moramo upoštevati, da se kalilne temperature na zgornji meji navedenega območja uporabljajo le za orodja preprostih oblik, namenjena grobi obdelavi. Pri takih pogojih dela je zaradi močnega segrevanja rezila odločilna popuščna obstojnost in obstojnost trdote ter rezalne sposobnosti do visokih delovnih temperatur.

Tabela 2 — Kaljenje brzoreznih jekel

	Temperatura kaljenja v °C za groba in preprosta orodja	za finejša orodja kompliciranih oblik
BRW-2	1240—1270	1210—1240
BRW	1260—1290	1230—1260
BRC	1270—1300	1240—1270
BRC-3	1280—1310	1250—1280
BRM-1	1180—1220	1170—1200
BRM-2	1200—1240	1170—1200
BRCMo	1210—1250	1180—1210
BRW-1	1240—1270	1210—1240
BRCV	1250—1280	1220—1250
BRU	1220—1270	1190—1240

Zelo važna je natančna kontrola potopnih časov — t. j. časov ogrevanja v solni kopeli na kalilni temperaturi (tabela 3).

Potopni časi za kaljenje v solni kopeli



Pripomba:

Diagram daje le splošne napotke. Potopni čas je odvisen od teže vložka, toplotne kapacitete kopeli in karakteristik peči

Krivulja ① BRC, BRC-1, BRC-2, BRC-3, BRCV
BRW, BRW-1, BRW-2, BRU

Krivulja ② BRM-1, BRM-2, BRCMo

Krivulja ③ BRM, BRW-3

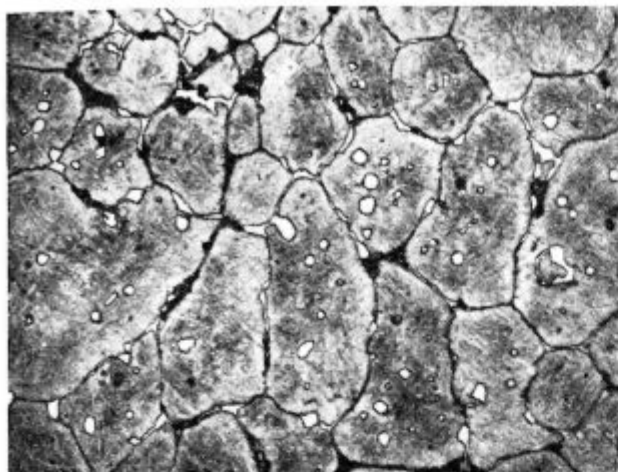
Poglejmo si nekaj značilnih mikrostruktur, ki so posledica napak pri kaljenju. Take napake so lahko:

- previsoka temperatura,
- predolg čas,
- kombinacija obeh napak.

Znaki pregretja pri kaljenju v mikrostrukturi

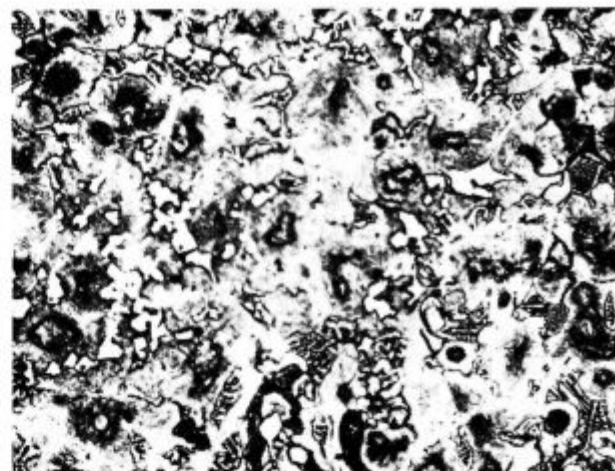
Slike 16 — 21 prikazujejo stopnjevanje posledic pregretja pri kaljenju zaradi previsoke temperature in predolgega časa.

Mikrostruktura na sliki 16 je nedvomni znak pregretja zaradi grobega zrna, praktično popolne odsotnosti sekundarnih karbidov in zbiranja kar-



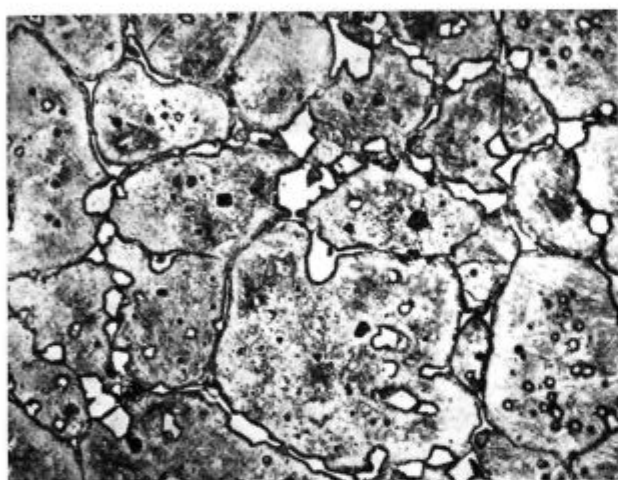
Slika 16

0,04 mm



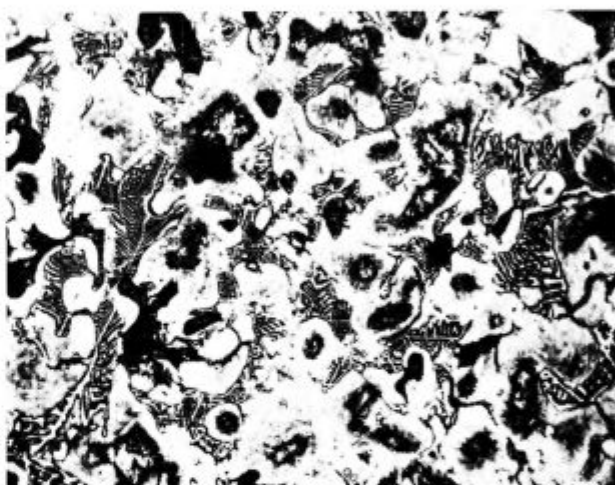
Slika 19

0,04 mm



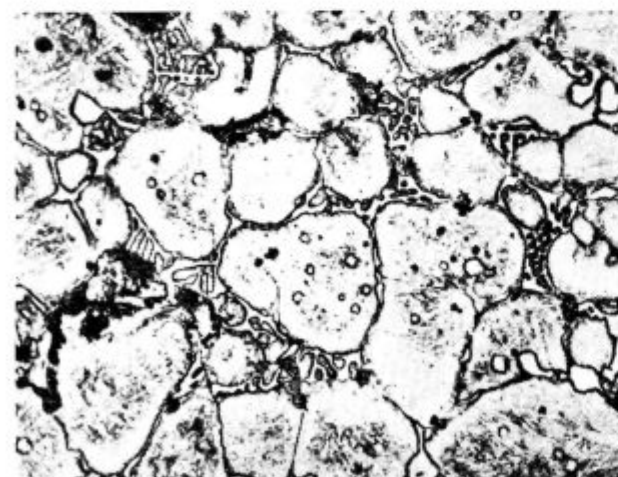
Slika 17

0,04 mm



Slika 20

0,04 mm



Slika 18

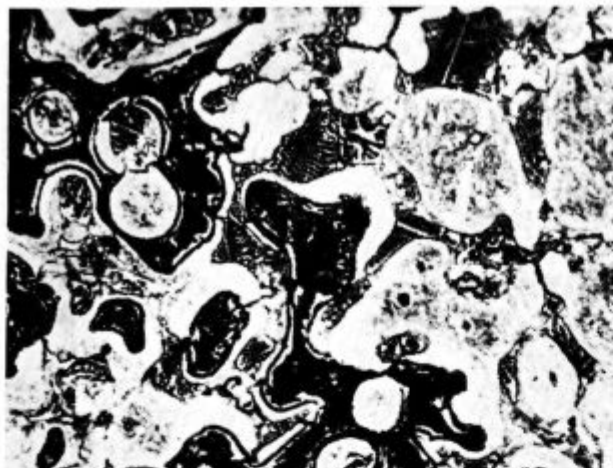
0,04 mm

bidov v obliki sklenjene mreže po mejah zrn. Taka oblika mreže nastane lahko le z delnim nataljevanjem ledeburitnega evtektika. Na stičiščih zrn se pojavljajo zaradi nataljevanja ledeburitnega evtektika večje ploskve — oglati karbidi na sliki 17.

Grobo zrno je lahko posledica predolgega potopnega časa na kalilni temperaturi. Kakor hitro pa se pojavijo na stičiščih zrn oglati karbidi ali pa še jasnejši znaki nataljevanja ledeburitnega evtektika, je to jasen znak previsoke temperature kaljenja. Do pojavov nataljevanja pride lahko le s prekoračitvijo solidus temperature v posameznih plasteh mikroizcej.

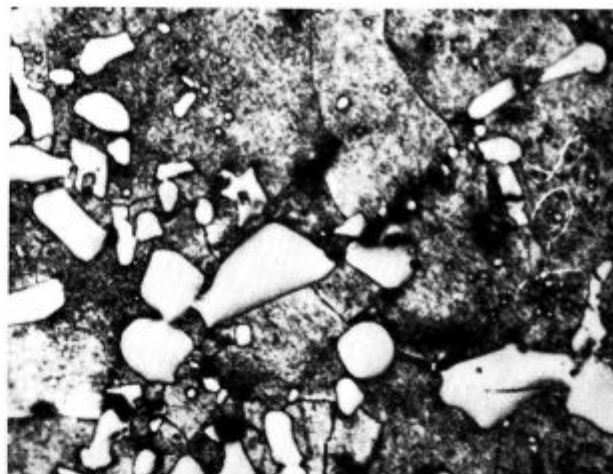
Se jasnejši znak pregretja s pojavom taljenja izcejanih plasti z evtektno sestavo je pojav značilne rebraste oblike ledeburitnega evtektika na slikah 18 — 21. Na sliki 18 jasno vidimo, kako rebrasti evtektik nastaja iz grobih ledeburitnih karbidov.

Na slikah 19 — 21 je bilo pregretje tako močno, da je prišlo do splošnega taljenja večjih plasti v tolikšni meri, da meja zrn praktično ni več videti.



Slika 21

0,04 mm



Slika 22

0,04 mm

Tako jeklo je prežgano in popolnoma uničeno. Take mikrostrukture s toplotno obdelavo ni več mogoče popraviti.

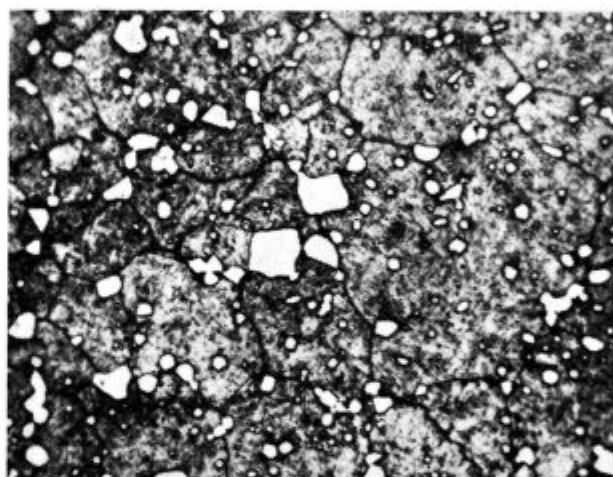
Primerjava mikrostruktur nam omogoča zanimive zaključke. Če bi primerjali mikrostrukturi na slikah 17 in 18, bi sodili, da sliki 17 ustreza nekoliko nižja temperatura in daljši čas, sliki 18 pa krajši čas in višja temperatura. Do teh sklepov pridemo zato, ker je v prvem primeru zrno bolj grobo, v drugem primeru pa ledeburitni eutektik kaže jasnejše posledice taljenja. Podobno lahko sklepamo, da je bila v primeru slike 19 temperatura višja, čas pa lahko krajši, kakor v primeru na sliki 18.

Vse to so za toplotno obdelavo zelo pomembni zaključki.

Grobi in oglati karbidi

Že na sliki 12 so bili prikazani grobi karbidi v žarjenem stanju. Še pogosteje srečamo pri metalografskih pregledih grobe karbide v kaljenem stanju. Vedno ni mogoče sklepati z gotovostjo o njihovem izvoru. Vsekakor je to nezaželena strukturna napaka, ki pa je lahko posledica nepravilnega ogrevanja pri vroči predelavi ali pa posledica napak pri kaljenju.

Slike 22 — 25 prikazujejo nenormalne karbide v kaljenem stanju. Karbidi v teh primerih se razlikujejo po velikosti in obliki. Na sliki 22 vidimo zelo grobo zrno in zelo grobe karbide, od katerih so nekateri okrogli, drugi pa podolgovati, niso pa preveč oglati. Za take karbide ni mogoče z gotovostjo trditi, da so posledica nepravilnega kaljenja. Lahko so bili taki že pred kaljenjem zaradi posledic nepravilnosti med vročo predelavo. V takem primeru lahko nastane grobo zrno tudi pri pravilnem kaljenju. Posebno zanimivo je pri tej mikrostrukturi nakazano združevanje sosednjih karbidov, kar lahko privede do karbidnih zrn izrednih velikosti.



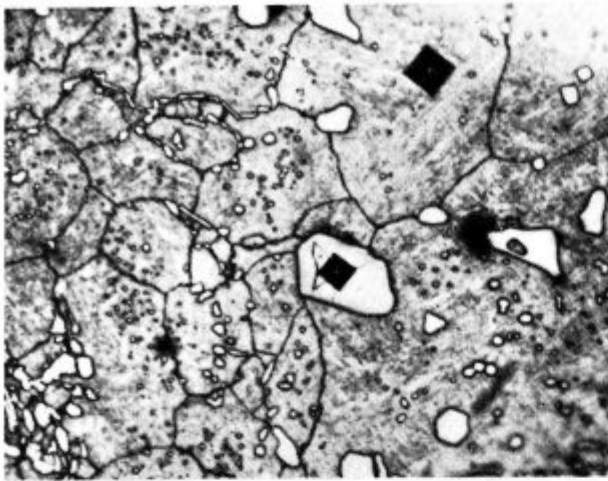
Slika 23

0,04 mm



Slika 24

0,04 mm



Slika 25

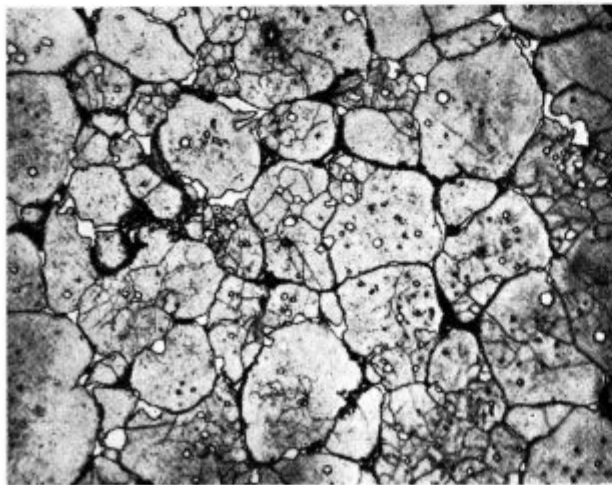
0,04 mm

Tudi v primeru mikrostrukture na sliki 23 ne moremo povsem gotovo sklepati o izvoru grobih karbidov. Včasih namreč tudi pri normalnem kaljenju dobimo grobo in neenakomerno avstenitno zrno zaradi grobih in neenakomerno razporejenih karbidov po vroči predelavi in žarjenju.

Na slikah 24 in 25 s precejšnjo gotovostjo lahko trdimo, da je pri kaljenju prišlo do pregretja jekla. To sodimo v primeru slike 24 zaradi izredno oglatih karbidov po mejah in na stičiščih zrn, v primeru slike 25 pa zaradi zelo grobega in neenakomernega zrna in verig karbidnih zrn po mejah nekaterih avstenitnih zrn.

»Podzrno«

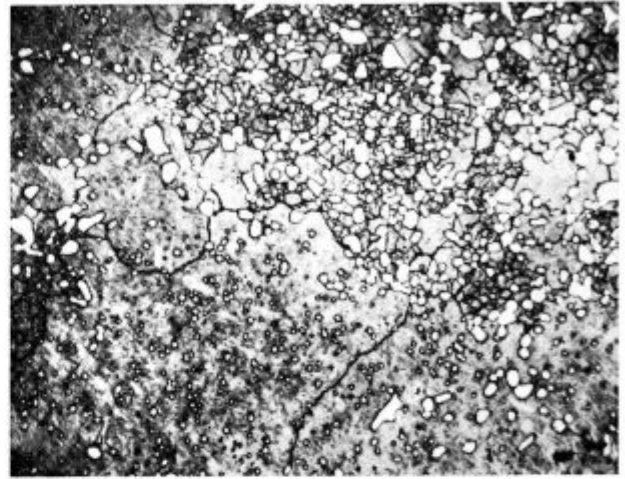
Posebna vrsta nenormalnosti v mikrostrukturi kaljenega brzoreznega jekla je pojav tako imenovanega podzrna. V notranjosti jasno izraženih grobih zrn pregretega brzoreznega jekla se pojavljajo meje finih zrn, kakor kaže slika 26.



Slika 26

0,04 mm

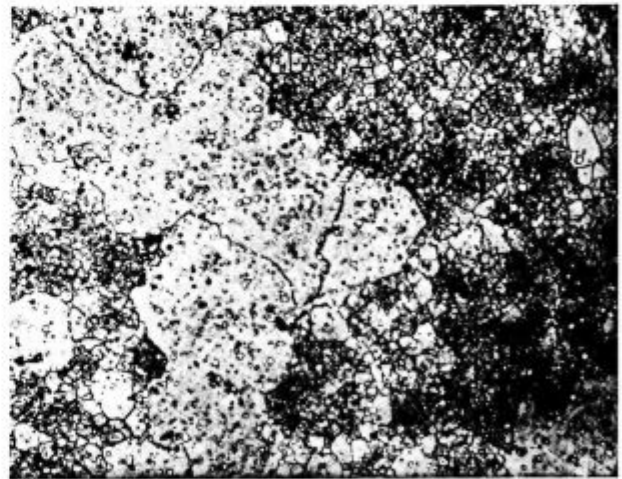
Neke vrste podzrno se pojavlja tudi v zvezi z neenakomerno razporeditvijo karbidov. V področjih mikrostrukture z večjim številom karbidov je zrno fino, kjer pa karbidov ni toliko, ni ovir za rast zrna in avstenitno zrno je izredno grobo. Tak primer mikrostrukture prikazuje slika 27.



Slika 27

0,04 mm

Podzrno v podobni obliki se pojavlja tudi v zvezi s pojavom »naftalinskega preloma« in pri dvakratnem kaljenju brez vmesnega žarjenja. V takih primerih so posamezna zelo groba zrna obkrožena s področji zelo finih zrn (slika 28). V tem primeru ni razporeditev karbidov vzrok neenakomernega zrna in tudi drugih znakov pregretja ni.



Slika 28

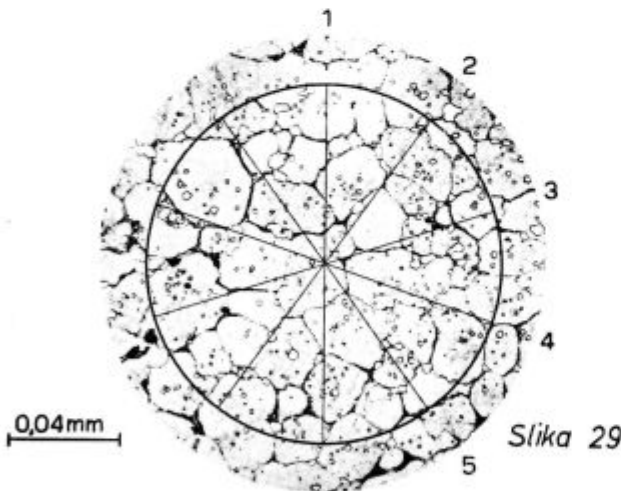
0,04 mm

Podzrno v takih in drugačnih oblikah se lahko pojavlja še kot posledica drugih vplivov. To je razmeroma zapleten pojav, ki ga bomo posebej obravnavali v enem od nadaljevanj.

Metalografsko določevanje velikosti avstenitnega zrna

Določevanje velikosti avstenitnega zrna z mikroskopom pri povečavi 500-krat ali večji je izredne važnosti za kontrolo toplotne obdelave. Ocenjevanje zrnatosti prelomov na oko lahko odkrije precejšnje napake (pregreto in prežgano jeklo), za splošno oceno pravilnosti kaljenja pa je preveč nezanesljivo. Prenizko kaljene strukture skoraj ni mogoče opaziti na oko, ker je prelom največkrat prav tako fino zrnat kakor pri pravilnem kaljenju.

Tudi standardne metalografske metode za ocenjevanje velikosti zrna so premalo občutljive za majhne razlike velikosti in neenakomernosti zrna. Že majhne razlike so lahko dragoceno opozorilo za pravočasno odpravljanje manjših nepravilnosti. Zaradi tako velike važnosti in omenjenih značilnosti se za ocenjevanje velikosti finega avstenitnega zrna skoraj izključno uporablja posebna metoda po Snyder - Graffu. Indeks velikosti zrna SG je povprečno število zrn, ki jih preseka daljica naravne dolžine 0,005 col. Z upoštevanjem povečave se na medlici mikroskopa uporabi ustrezno merilo. Za določitev srednje vrednosti SG se priporoča 5 ali 10 štetij na različnih mestih metalografskega obrusa. V tekoči kontroli je zelo praktično na medlici vgravirano merilo z daljicami za štetje zrn v petih različnih smereh, kar prikazuje slika 29.



Za orodja finejših vrst je indeks velikosti zrna navadno SG 14 — 20, za bolj groba orodja pa SG 10 — 14.

Velikost avstenitnega zrna je v postopku kaljenja odločilen kontrolni kriterij. V dobavne pogoje za kakovost jekla pa proizvajalec omejitve velikosti avstenitnega zrna ne more sprejeti, ker je ta mnogo bolj odvisna od pogojev kaljenja kakor od kakovostnega stanja jekla.

Popuščeno stanje

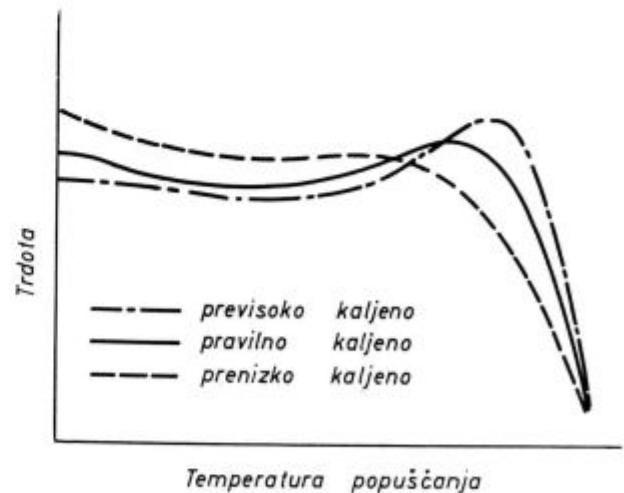
Popuščanje normalnega in normalno kaljenega brzoreznega jekla daje fino martenzitno strukturo z minimalno količino zaostalega avstenita. V strukturi je določena količina primarnih in sekundarnih karbidov, tistih, ki se med avstenitizacijo niso raztopili, ali pa so se pri popuščanju izločili. V taki fini, pravilno popuščeni mikrostrukturi se meja zrn normalno ne vidi.

Brzorezno jeklo ima v kaljenem stanju precejšnjo količino zaostalega avstenita (normalno okrog 20 %), ki se pri prvem popuščanju spremeni v martenzit. Ta ne sme ostati nepopuščen, zato je nujno potrebno brzorezna jekla vedno dvakrat popuščati.

Vse nepravilnosti predhodnih faz tehnološkega postopka povzročajo nenormalnosti v popuščenem stanju. Vse nenormalnosti pa je v mikrostrukturi popuščenega jekla najtežje ugotoviti. S popuščanjem lahko v precej širokih mejah spreminjamo trdoto kaljenega jekla, ne moremo pa s popuščanjem popravljati napak kaljenja in dosegati normalnih mehanskih in tehnoloških lastnosti z defektnim jeklom. Tako npr. krhkosti pregretega brzoreznega jekla ne odpravimo, četudi pri popuščanju močno znižamo trdoto.

Pri popuščanju brzoreznih jekel se pojavlja značilni efekt »sekundarne trdote« v temperaturnem območju okrog 550°C. Vrh sekundarne trdote v krivulji popuščanja se ob zniževanju kalilne temperature znižuje in obenem pojavlja pri nižji temperaturi popuščanja (glej sliko 30).

Pojav sekundarne trdote pripisujejo spremeni zaostalega avstenita v martenzit in izločanju sekundarnih karbidov. Čim višja je kalilna temperatura, tem večja je količina zaostalega avstenita po kaljenju, tem večji je delež raztopljenih karbidov in



Slika 30: Popuščne krivulje (shema)

obenem tudi večja popuščna obstojnost martenzitne osnove zaradi večje vsebnosti legirnih elementov.

Pri enaki trdoti v popuščenem stanju dobimo lahko tako različne mikrostrukture in s tem posredno mehanske ter tehnološke lastnosti, da se prav lahko prepričamo, kako majhno vrednost ima

merjenje trdote v popuščenem stanju kot kriterij za oceno pravilnosti toplotne obdelave. Do enake trdote lahko pridemo v postopku toplotne obdelave po različnih »poteh« — dobrih in slabih.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Schnelldrehstähle unterscheiden sich nach ihren Eigenschaften stark von der übrigen Stahlsorten. Die Eigenschaften der Werkzeuge sind zum Grossteil von den Bedingungen der heissen Verarbeitung, der Wärmebehandlung und der Mikrostruktur des Stahles abhängig. Deswegen behandelt der Artikel im ersten Teile die metallographischen Eigenheiten der Schnelldrehstähle.

Es sind die Charakteristiken der Mikrostruktur in gegossenem Zustand mit Aufzeichnung der verschiedenen Formen des Ledeburiteutektikums aufgezeigt.

Die Mikrostruktur des Stabstahles im weichgeglühten Zustande ist vom Verarbeitungsgrad in der Wärme abhängig. Es sind die verschiedenen Gleichmässigkeitsstufen in der Karbidverteilung aufgezeigt. Das Auftreten von

Grobkarbiden ist nur erwähnt, weil dieses Problem genauer in den Forsetzungen behandelt wird.

Die metallographische Kontrolle der Schnelldrehstähle zeigt nach dem Härten gut die Unregelmässigkeiten, deswegen sind die typischen Beispiele der richtigen und defekten Mikrostrukturen aufgezeigt.

Der Erfolg des Anlassens ist von der richtigen Wahl der Anlassstemperatur abhängig, die Defekte der Mikrostrukturen sind aber in der Hauptsache die Folge von Unregelmässigkeiten der vorgehenden technologischen Phasen.

Im zweiten und dritten Teil werden die Folgerungen aus den Untersuchungen der Ursachen und Bedingungen des Entstehens grober Karbide und ihre Folgen auf die mechanischen und technologischen Eigenschaften beschrieben.

SUMMARY

Upon their characteristics high speed steel differ completely from all other kinds of steel. Characteristics of tools depend a great deal on conditions of hot working, heat treatment and microstructure of steel. Therefore the first part of the article deals with metallographic characteristics of high speed steels.

Characteristics of microstructures in as-poured condition and different forms of ledeburite eutetic are shown.

Microstructure of soft annealed rod steel depends on degree of hot deformation. Different degrees of carbides uniformity are shown. Phenomenon of coarse carbides is

mentioned only, since further discussion of this problem is to be continued later.

Defects of high speed tool steels can be well discovered by metallographic control and therefore typical examples of correct and incorrect microstructures are shown.

Success of tempering depends on correct tempering temperature, while defects of microstructure result mainly as a consequence of previous incorrect technology.

In second and third part the reasons and conditions for coarse carbide forming and their influence on mechanical and technological properties will be described.