

Določevanje globine razogljichenja pri različnih vrstah jekel

Razogljichenje povzroča v proizvodnji jeklenih izdelkov mnogo težav. Zato so zahteve v posameznih tehnoloških fazah zelo ostre in kontrola razogljichenja nujna. Celoten postopek ogrevanja je treba popolno obvladati in ga optimizirati.

Pri različnih vrstah je poleg kriterijev določanja globine razogljichenja večkrat problematična tudi tehnika odkrivanja razogljichenje plasti. Metalografski tehniki preiskave razogljichenja in značilnostim razogljichenja pri različnih vrstah jekla je namenjen večji del članka. Poleg nujno potrebnih osnovnih pojasnil o problematiki razogljichenja jekel je v članku podan kratek pregled različnih metod določevanja razogljichenja, podrobneje pa je obravnavana le metalografska metoda s pregledom mikrostrukture površinske plasti.

Prikazanih je nekaj posebnih primerov razogljichenja, naštetih nekaj najznačilnejših posledic razogljichenja pri uporabi jekel in podan kratek pregled najbolj običajnih ukrepov za preprečevanje razogljichenja.

Povod za predavanje oziroma ta članek so česti nesporazumi glede razogljichenja — popolnega in delnega — zaradi pomanjkanja jasnih standardov v naši državi ali zaradi pomanjkljivih navodil za določevanje kriterijev za odmerjanje globine razogljichenje plasti.

UVOD

Razogljichenje povzroča v proizvodnji jeklenih izdelkov mnogo težav. Največkrat razogljichenja ne moremo popolnoma preprečiti, lahko pa ga omejimo na dopustno mero. Temu pomaga natančna ter stalna kontrola globine in mikrostrukturne sestave razogljichenje plasti. Zelo pomembno je sistematično odkrivanje vzrokov, ki razogljichenje povzročajo.

Zahteve urejene tehnologije v posameznih fazah so zelo ostre in kontrola razogljichenja nujna. V kontroli pa je poleg natančnosti določanja globine razogljichenje plasti tudi sama tehnika odkrivanja plasti razogljichenja večkrat problematična in pri raznih vrstah jekla precej različna.

Do razogljichenja jekla pride pri ogrevanju na temperaturo valjanja ali kovanja, ker je jeklo dalj časa v območju visokih temperatur izpostavljeno

vplivu atmosfere v peči. Razogljichenje tako v tehnologiji vroče predelave kakor tudi v toplotni obdelavi jekel povzroča metalurgom več težav kakor marsikateri drug metalurški pojav. Posebno veliko nevšečnosti povzroča razogljichenje pri izdelkih, ki se po vroči predelavi ali po toplotni obdelavi mehansko ne obdelujejo z odvzemanjem materiala (npr. jeklo za izdelavo listastih vzmeti, pile in razna orodja).

Razogljichenje je v bistvu sprememba na površini jekla, ki je prav nasprotna dobro poznanemu procesu naogljichenja jekla pri cementaciji. Teoretične osnove obeh procesov so popolnoma identične, le reakcije potekajo v nasprotni smeri. Naogljichenje ali razogljichenje je odvisno od vsebnosti ogljika v jeklu, ogljikovega potenciala atmosfere, ki obdaja jeklo, in temperature. Sprejemanje ali oddajanje ogljika na površini jekla se ravna po znanih ravnotežnih pogojih (Boudouarda). Aktivnost narašča s povišanjem temperature, zato so problemi razogljichenja tem hujši, čim višje so temperature in čim daljši so potrebni časi ogrevanja. Razogljichenje se pojavlja na površini jekla vedno, kadar je ogljikov potencial vroče atmosfere, ki obdaja jeklo, nižji od ogljikovega potenciala vročega jekla.

Jekla, ki imajo višji odstotek ogljika, so navadno zaradi večjih razlik potencialov ogljika v jeklu in atmosferi peči močnejše nagnjena k razogljichenju pri ogrevanju v območju visokih temperatur. Pojav razogljichenja lahko opazimo tudi pri cementiranem jeklu, če je po cementaciji ponovno ogreto na visoko temperaturo ob pomanjkljivi zaščiti.

Vpliv legirnih elementov v jeklu

Zaradi ugotovitev iz prakse, da so nekatere vrste jekel posebno občutljive za razogljichenje, so dolgo smatrali, da nekateri elementi v jeklu neposredno pospešujejo razogljichenje. Natančne raziskave pa so pojasnile, da ne gre za neposredno povzročanje razogljichenja, ampak moramo pri obravnavanju vpliva legirnih elementov na razogljichenje upoštevati:

— da posamezni elementi pri različnih temperaturah sproščajo ogljik, da ta lahko difundira na površino in izhaja iz jekla,

— da je hitrost difuzije ogljika večja v feritu kot v avstenitu ali mešani strukturi med A_1 in A_3 ,

— da nekateri legirni elementi pospešujejo izločanje ferita in s tem posredno dajejo vtis močnejšega razogljichenja.

Opomba: Predavanje na XI. strokovnem posvetovanju ob metalurškem srečanju 2. in 3. oktobra 1969 na Bledu.

Z obsežnimi raziskavami je Payson¹ v veliki meri pojasnil različno nagnjenost posameznih vrst jekel k razogljčenju, ki je v praksi očitna. Na osnovi rezultatov številnih praktičnih poizkusov je razdelil elemente v tri skupine glede pospeševanja ali zaviranja izločanja ferita.

Največji vpliv na izločanje ferita ima silicij, podobno pa vplivata tudi aluminij in kobalt. Izločanje ferita zavirajo mangan, nikelj, krom in molibden, razmeroma nepomemben vpliv na izločanje ferita pa imajo vanadij, volfram in baker.

METODE DOLOČEVANJA RAZOGLJICENJA

Osnovne metode za določevanje globine razogljčenja so sledeče:

Tehnološki poizkusi

Pri kontroli v obratih se za odkrivanje razogljčenja večkrat poslužujemo raznih tehnoloških poizkusov, ki zahtevajo precej izkušenj. To so:

- iskrenje,
- krivljenje,
- lomljenje s pregledom prelomnih ploskev.

Vse te metode so precej nezanesljive in ne omogočajo točnejših meritev globine razogljčenja.

Merjenje trdote

Sama določitev trdote večkrat ne more predstavljati odločujoče ugotovitve razogljčenja. Manjša trdota je lahko tudi posledica številnih drugih faktorjev (npr. zaostali avstenit, nepravilna toplotna obdelava ipd.). Za določevanje razogljčenja predstavlja merjenje trdote dokaj nezanesljivo metodo. Pomagamo si s tem, da trdoto merimo na več načinov in z različnimi obremenitvami. Večkrat merimo trdoto po predhodnem odbrusnjenju površinske plasti do različnih globin in iz razlik v trdotah sklepamo na globino razogljčenja. Z merilci trdot z majhno obtežbo lahko merimo trdoto površinskega sloja na prečni ploskvi. (slika 1)

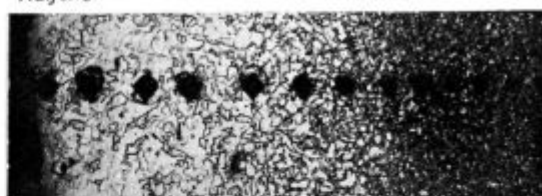
Elektromagnetne metode

Elektromagnetne metode so zelo zanimive. Določanje razogljčenja temelji na spremembah feromagnetnih lastnosti. Taka meritev se odlikuje po veliki občutljivosti in po možnosti hitre izvedbe. Na ta način je možno kontrolo avtomatizirati. Slaba stran pa je v tem, da na rezultate vplivajo številni faktorji, kot so spremembe v strukturi, trdoti, sestavi, prostornini in obliki ter razlike v stanju površine in v temperaturi. Taka metoda pride v poštev predvsem pri kontroli veliko serijske proizvodnje, ko za enake kose iz enakega jekla merilne instrumente umerimo.

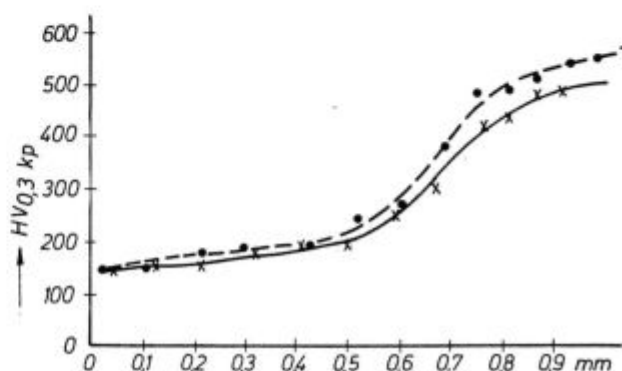
Kemična analiza

S struženjem jeklenih palic po plasteh z odvzemi po 0,1 mm in kemijsko analizo ogljika v ostružkih lahko določimo krivuljo vsebnosti ogljika v površinskem sloju. Tako lahko zelo natančno ugotovimo globino razogljčenja. Le pri neenakomernem razogljčenju po obodu se pri določanju

Kaljeno —●—●—●—



Normalizirano —x—x—x—x—



Slika 1
Meritve trdot $HV_{0,3\text{ kp}}$ v razogljčeni plasti jekla Č. 4731 v normaliziranem in v kaljenem stanju.

globine pojavljajo težave. Slaba stran te metode je v tem, da je draga in zamudna ter zato pride v poštev bolj pri raziskavah, redkokdaj pa pri redni kontroli.

Znane so tudi spektrokemične metode.

Rentgenska analiza

Ta metoda ni posebno razširjena, ker je priprava vzorcev za ta način določevanja precej natančna in zamudna, analiza pa draga.

Analiza na mikrosondi

Ta metoda je najnatančnejša in najnovejša ter nam bo marsikateri do sedaj še nepojasnjeni fenomen razogljčenja razčistila.

Makroskopska metoda

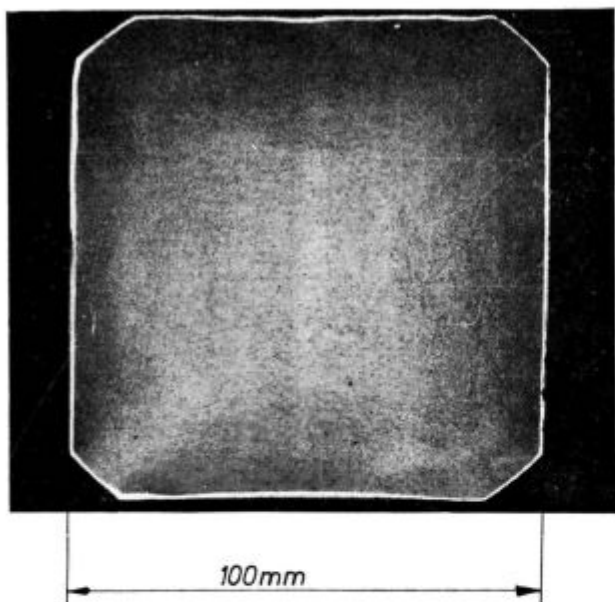
Z makrojedkanjem lahko v nekaterih primerih že po razmeroma grobem brušenju precej dobro ugotovljamo globino razogljčene plasti. Ta metoda je le orientacijska in nezanesljiva. Točnost merjenja ni zadovoljiva. Odkrije nam predvsem močno razogljčenje. Naslednje slike 2—5 nam kažejo nekaj primerov močnega razogljčenja po makrojedkanju grobo brušenih ali celo nebrušenih vzorcev.

Zaradi teh značilnosti se ta metoda pri praktičnem delu največ uporablja in jo bomo tudi v nadaljevanju članka podrobneje obravnavali.

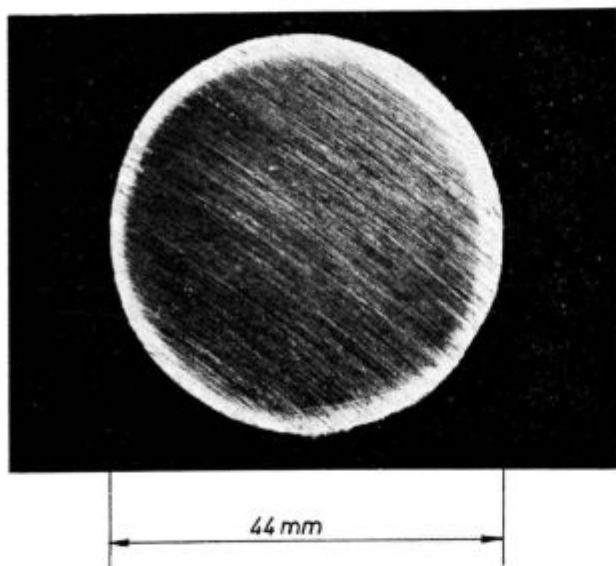
KRITERIJI IN NORME PRI DOLOČANJU GLOBINE RAZOGLJICENJA

Večkrat prihaja pri določevanju razogljicenja posebno pri kriterijih do nesporazumov. V vseh tehnično razvitih državah so s posebnimi normami bolj ali manj natančno predpisali metodiko ugotavljanja in enotne kriterije za oceno razogljicenja^{5,6,7,8}.

Pri nas tak standard že močno pogrešamo. Za metalografsko določevanje obstaja samo začasni interni standard⁴ Združenja jugoslovanskih železarn iz leta 1964, ki pa je skoraj neuporaben. Že v sami definiciji razogljicenja je izredno pomanjkljiv, saj pravi: »Globina razogljicenja je tista debelina površinskega sloja, v katerem je znatno manjša količina ogljika od poprečne vsebnosti ogljika v preiskovanem jeklu.« Še precej bolj pomanjkljivo je navodilo za določitev globine razogljicenja.



Slika 2
Makrojedkana brušena plošča gredice 100 mm × 100 mm brzoreznega jekla BRM-2, razogljicenega pri kovanju.



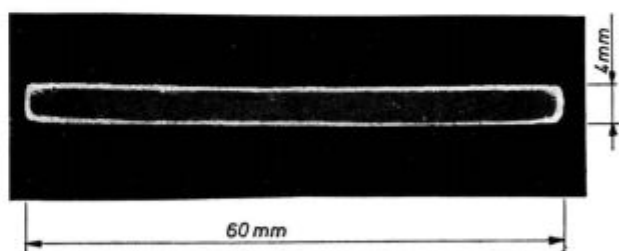
Slika 3
Razogljíčena kovana palica Ø 44 mm. Ploščica brzoreznega jekla BRM-2 je makrojedkana po odrezu na krožni žagi brez brušenja

Metalografska metoda s pregledom mikrostrukturne površinske plasti

Ta metoda je po svoji natančnosti popolnoma zadovoljiva in po stroških ter izvedljivosti sprejemljiva tudi v redni kontroli kvalitete jekel. Posebna prednost te metode je tudi v tem, da omogoča nedvoumno in jasno fotodokumentacijo, ki je pri atestih, prevzemih in reklamacijah večkrat nujno potrebna. Upoštevati moramo, da razogljícenje le ni pogosto tako izrazito kakor na slikah 2—5.



Slika 4
Razogljíčena valjana palica Ø 18 mm orodnega jekla OC 100.
Makrojedkan metalografski obris.



Slika 5
Razogljíčeno valjano orodono jeklo za pile preseka 60 mm × 4 mm.

Prav te pomanjkljivosti so bile povod za ta članek, s katerim želimo opozoriti na nujnost preciznejšega definiranja kriterijev za oceno razogljíčenja in prikazati nekaj specifičnosti v problematiki določevanja razogljíčenja.

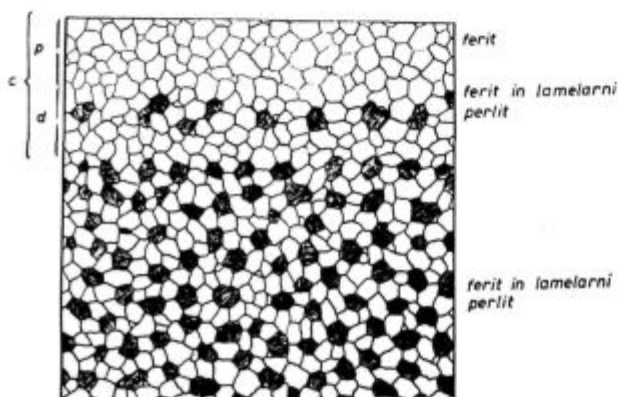
Za razliko od omenjenega internega standarda smatrajo ostale norme za globino razogljíčenja celotno plast, ki ima nižji ogljik od osnovne sestave preiskovanega jekla.

Vse norme ločijo:

- plast popolnega razogljíčenja do čistega ferita in
- plast delnega razogljíčenja z znižano vsebnostjo ogljika v primerjavi z normalno sestavo jekla.

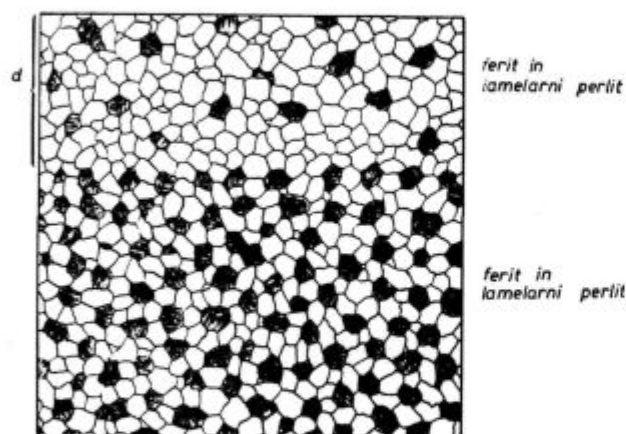
Obe plasti skupaj nam predstavljata razogljíčeni sloj, ki ga moramo odmeriti.

Metalografsko problematiko in kriterije mikroskopskega določevanja razogljíčenja najprecizneje obravnavajo italijanske norme⁵, zato iz njih povzamemo sheme razogljíčenih plasti, ki jih na naslednjih slikah prikazujemo.



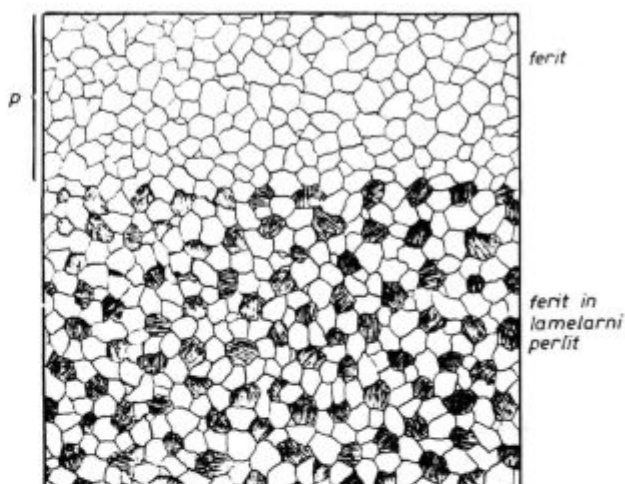
Slika 6

Shema⁵ razogljíčenih plasti podevtektoidnega jekla. Celotna globina razogljíčenja (c) je razdeljena na plast popolnega razogljíčenja (p) in plast delnega razogljíčenja (d).



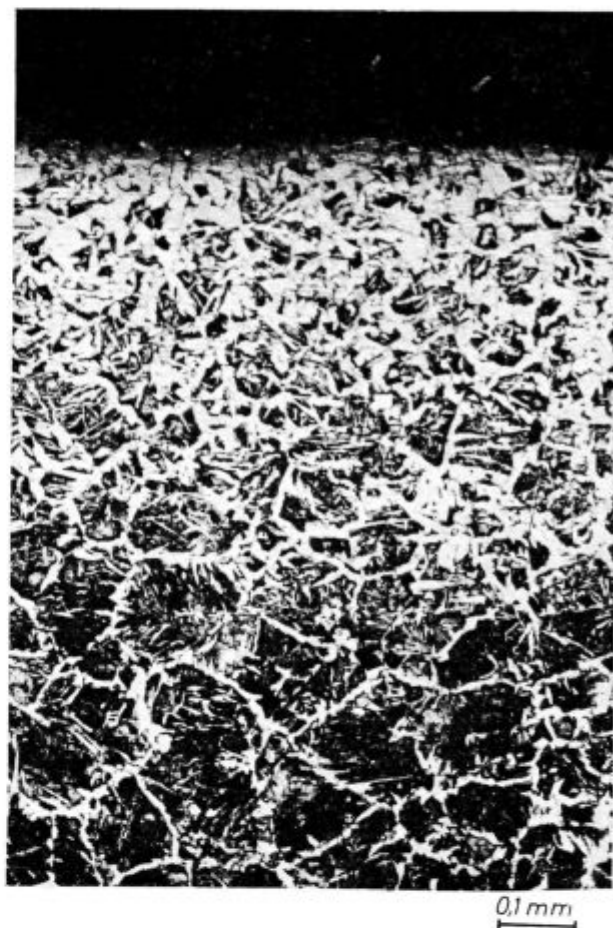
Slika 7

Shema⁵ delno razogljíčenih plasti (d) podevtektoidnega jekla.



Slika 8

Shema⁵ razogljíčenih plasti podevtektoidnega jekla. V tem primeru med plastjo popolnega razogljíčenja (p) in osnovno mikrostrukturo jekla ni izrazite prehodne plasti delnega razogljíčenja.



Slika 9
Razogljíčeno jeklo Č. 1530
(C 45)

Značilnosti metalografske preiskave razogljíčenih plasti

Normalno preiskujemo razogljíčenje jekla v žarjenem stanju, kar je tudi najbolj priporočljivo.



Slika 10
Razogljčeno jeklo Č. 1730
(C 60)

Pri določevanju razogljčene plasti v kaljenem jeklu mora biti metalograf mnogo bolj več in pripravljen na več različnih anomalij izgleda mikrostrukture v površinskem sloju jekla. Tako na primer daje v odvisnosti od sestave jekla in od drugih tehnoloških značilnosti lahko mikrostruktura v razogljčeni plasti po kaljenju v nekaterih primerih vtis podkaljenega jekla, v drugih primerih pa vtis pregretega jekla. Ti pojavi toliko motijo določanje razogljčenja, da se v kaljenem stanju pregleduje razogljčenje le v izjemnih primerih.

Značilnosti metalografskega določanja razogljčenja si oglejmo najprej za osnovne skupine nelegiranih in malolegiranih podevtektoidnih, evtektoidnih in nadevtektoidnih jekel, nato pa še posebej za visoko legirana posebna jekla in nekatere specialne primere.

Podevtektoidna jekla

Mikrostruktura podevtektoidnih jekel v žarjenem ali normaliziranem stanju sestoji ob normalni sestavi v osnovi iz ferita in perlita. Če se to jeklo razogljči do čistega ferita, dobimo največkrat celotno razogljčeno plast sestavljeno iz popolno razogljčene plasti čistega ferita in delno razogljčene plasti s feritno-perlitno strukturo, v kateri pa

je delež ferita večji kot v osnovnem jeklu (slika 6). Dva taka praktična primera sta prikazana na slikah 9 in 10.

Včasih se jeklo ne razogljči do čistega ferita in dobimo na površini le tanko delno razogljčeno plast (slika 7). Tako delno razogljčeno plast spoznamo po manjši količini perlita in večji količini ferita v primerjavi z razmerjem teh mikrostruktur v jeklu osnovne sestave. Globino delno razogljčene plasti odmerimo od tiste meje, do koder znamo te razlike. Pri nekaterih jeklih mora imeti za tako odmero metalograf precej izkušeno oko.

Primer na sliki 11 kaže delno razogljčeno plast, ki pa jo zaradi zelo rahlega razogljčenja dobro odkrijemo šele pri nekoliko večji povečavi.

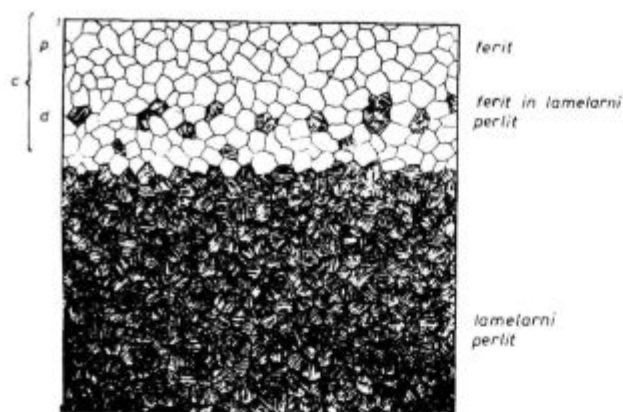
V nekaterih posebnih primerih ob močnem oksidacijskem ali razogljčevalnem vplivu dobimo lahko popolno razogljčeno plast čistega ferita, ki skoraj ali popolnoma brez delno razogljčene plasti prehaja v osnovno mikrostrukturo jekla (slika 8).

Evtektoidna jekla

Pri razogljčenih evtektoidnih jeklih so možno sti variant v sestavi razogljčene plasti podobne.

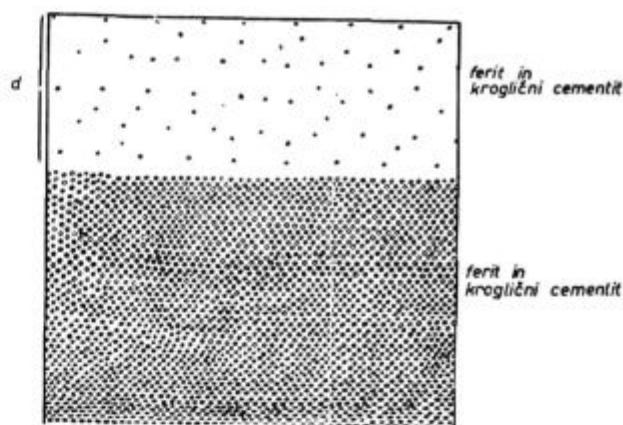


Slika 11
Razogljčeno jeklo Č. 1730
(C 60)



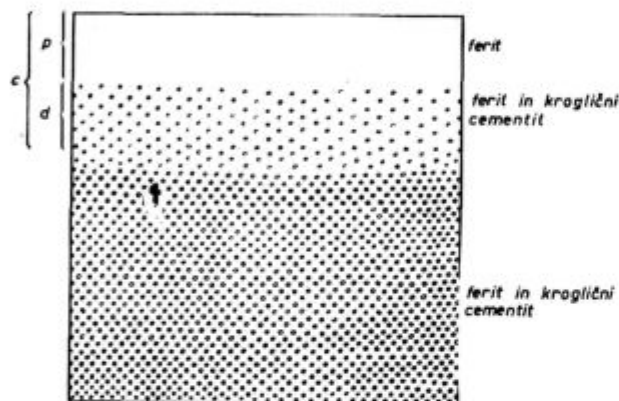
Slika 12

Shema⁵ razogljicene plasti evtektoidnega jekla z osnovno mikrostrukturo lamelarnega perlita. Celotna globina razogljicjenja (c) je razdeljena na plast popolnega razogljicjenja (p) in plast delnega razogljicjenja (d).



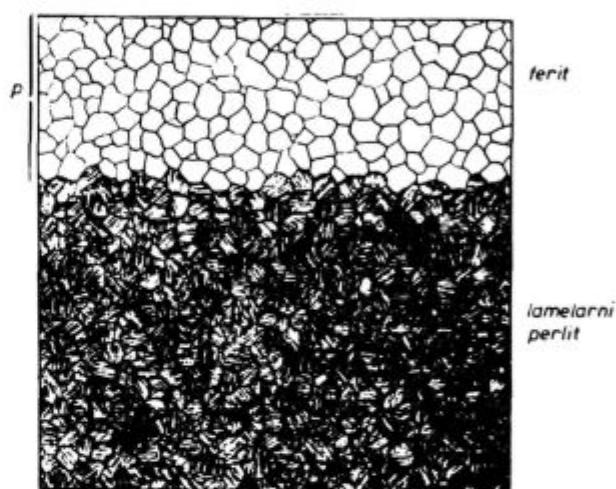
Slika 15

Shema⁵ delno razogljicene plasti (d) evtektoidnega jekla, žarjenega na kroglični cementit.



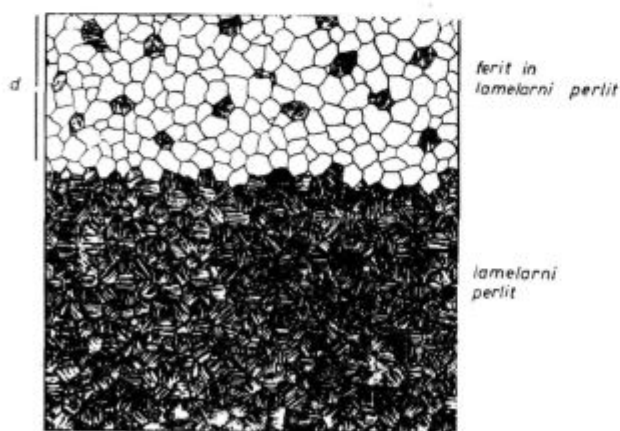
Slika 13

Shema⁵ razogljicene plasti evtektoidnega jekla, žarjenega na kroglični cementit. Celotna globina razogljicjenja (c) je razdeljena na plast popolnega razogljicjenja (p) in plast delnega razogljicjenja (d).



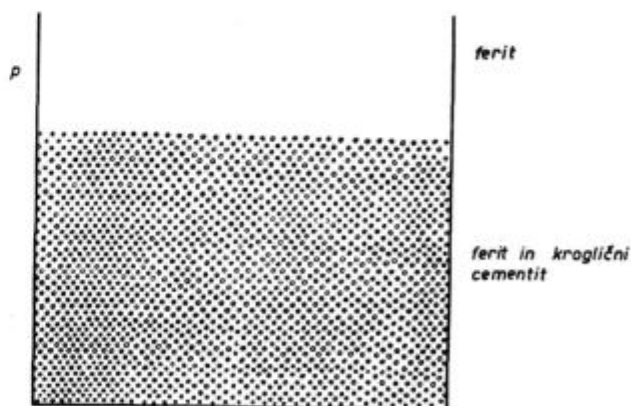
Slika 16

Shema⁵ razogljicene plasti evtektoidnega jekla z osnovno mikrostrukturo lamelarnega perlita. V razogljiceni plasti med popolno razogljiceno plastjo (p) in osnovno mikrostrukturo jekla ni izrazite prehodne plasti delnega razogljicjenja.



Slika 14

Shema⁵ delno razogljicene plasti (d) evtektoidnega jekla z osnovno mikrostrukturo lamelarnega perlita.



Slika 17

Shema⁵ razogljicene plasti evtektoidnega jekla, žarjenega na kroglični cementit. Popolno razogljicena plast (p) prehaja brez vmesne delno razogljicene plasti v osnovno mikrostrukturo jekla.

Ta skupina jekel ima po vroči predelavi ali po žarjenju mikrostrukturo perlita — evtektoidne sestave. Perlit ima lahko lamelarno obliko, po posebnem postopku žarjenja pa dobimo zrnati perlit, ki predstavlja mikrostrukturo enakomerno porazdeljenih kroglic cementita v feritni osnovi. Na naslednjih slikah so shematično prikazane razlike v razogljiveni plasti za jeklo z osnovno mikrostrukturo lamelnarnega ali krogličnega perlita.

Pri razogljivenju do čistega ferita dobimo običajno plast popolnega razogljivenja in plast delnega razogljivenja. Celotno plast razogljivenja odmerimo do mesta, kjer se začne osnovna sestava jekla s čisto perlitno mikrostrukturo brez znakov izločenega ferita ali z nezmanjšano količino cementitnih kroglic v feritni osnovi (sliki 12 in 13). Mikrostrukturo, ki ustreza shemi na sliki 12 prikazuje slika 18.



Slika 18
Nelegirano evtektoidno jeklo s popolno in delno razogljiveno plastjo.

Sliki 14 in 15 kažeta le delno razogljiveno plast, sliki 16 in 17 pa ostro popolno razogljiveno plast čistega ferita brez izrazite prehodne delno razogljiveno plasti.

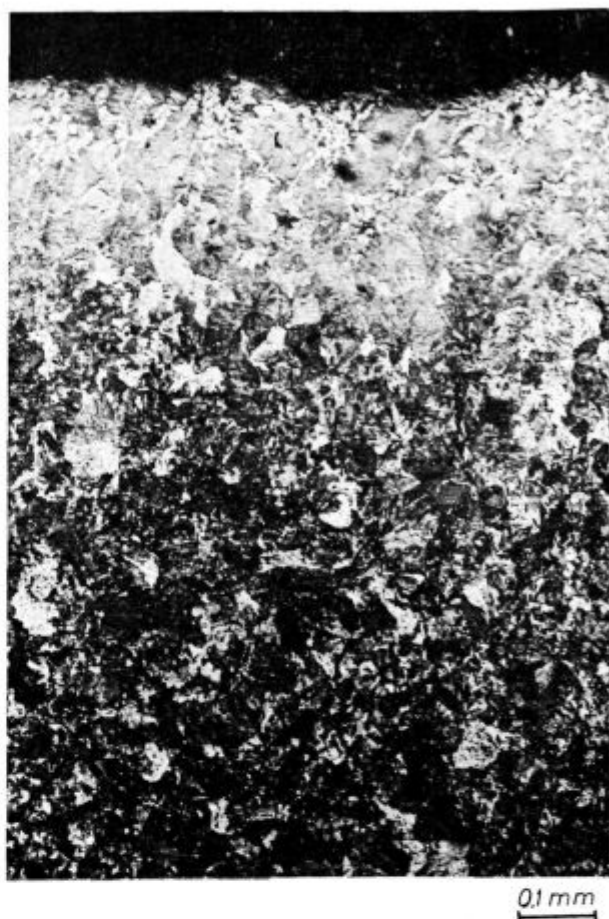
Slika 19 prikazuje primer delno razogljivenega nizkolegirane jekla približno evtektoidne sestave.

Mimogrede naj na tem mestu omenimo, da bi pri evtektoidnem nelegiranem jeklu z 0,8 % C delnega razogljivenja do 0,6 % C z merjenjem trdote v žarjenem ali v kaljenem stanju sploh ne opazili, čeprav bi razogljiveno orodje gotovo ne dosegalo pričakovanih lastnosti.

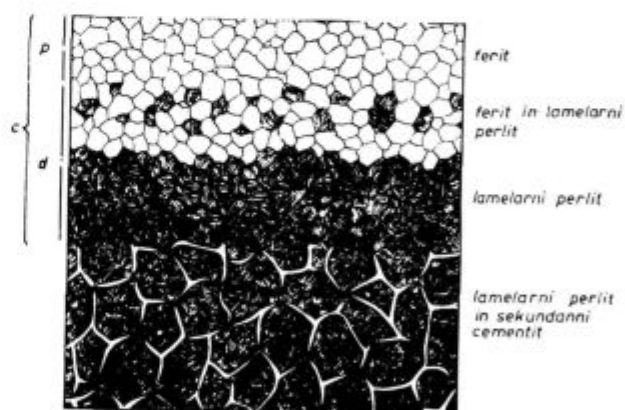
Nadevtektoidna jekla

Pri nadevtektoidnih jeklih čisti perlit v površinskem sloju že predstavlja delno razogljiveno plast.

Nadevtektoidna jekla sestojijo iz perlita in sekundarnega cementita v različnih oblikah. Pri popolnem razogljivenju dobimo na površini čisti ferit kakor pri vseh drugih vrstah jekel. Delno

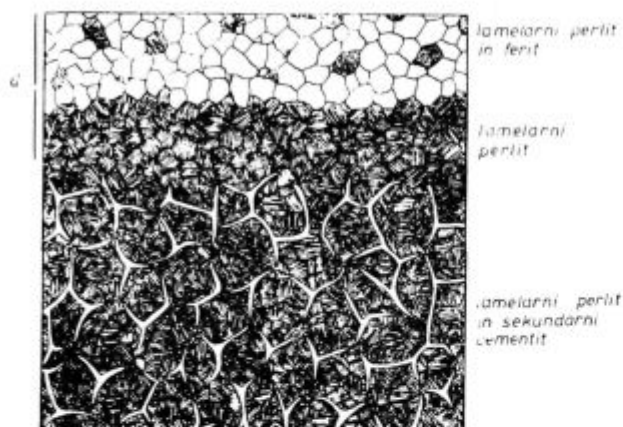


Slika 19
Delno razogljiveno nizko legirano jeklo približno evtektoidne sestave.



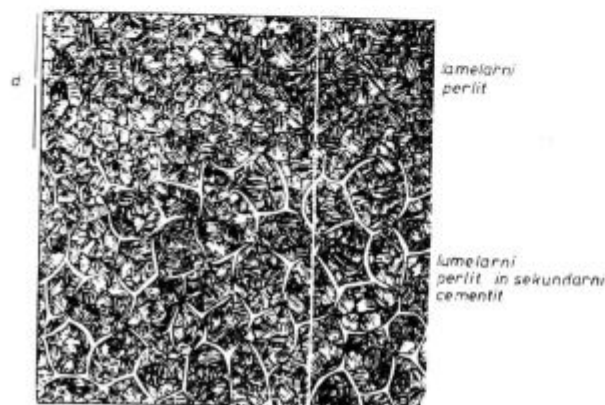
Slika 20
Shema⁵ razogljivenja nadevtektoidnih jekel. Celotna globl-
na razogljivenja (c) sestoji iz popolno razogljiveno plasti
(p) in delno razogljiveno plasti (d), v kateri pa razlikuje-
mo delno razogljiveno plast s feritno — perlitno mikro-
strukturo in delno razogljiveno plast s perlitno mikro-
strukturo.

razogljivena plast pa pri teh jeklih večkrat sestoji iz dveh delno razogljivenih plasti — iz plasti ferita in perlita in iz plasti čistega perlita z evtektoidno sestavo.



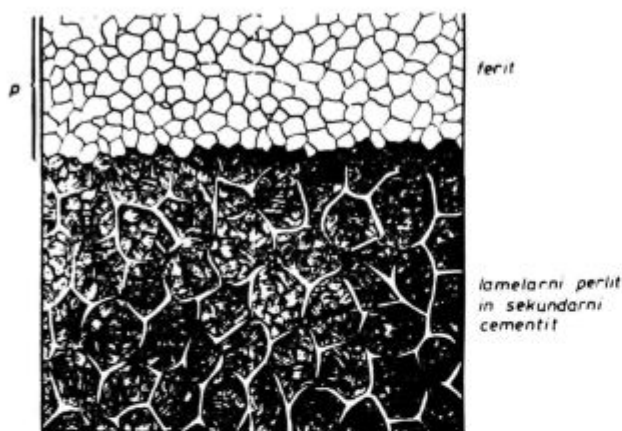
Slika 21

Shema¹ mikrostrukture delno razogljčene plasti (d) nadevtektoidnega jekla. Delno razogljčena plast sestoji iz dveh plasti, enako kakor na sliki 20.



Slika 22

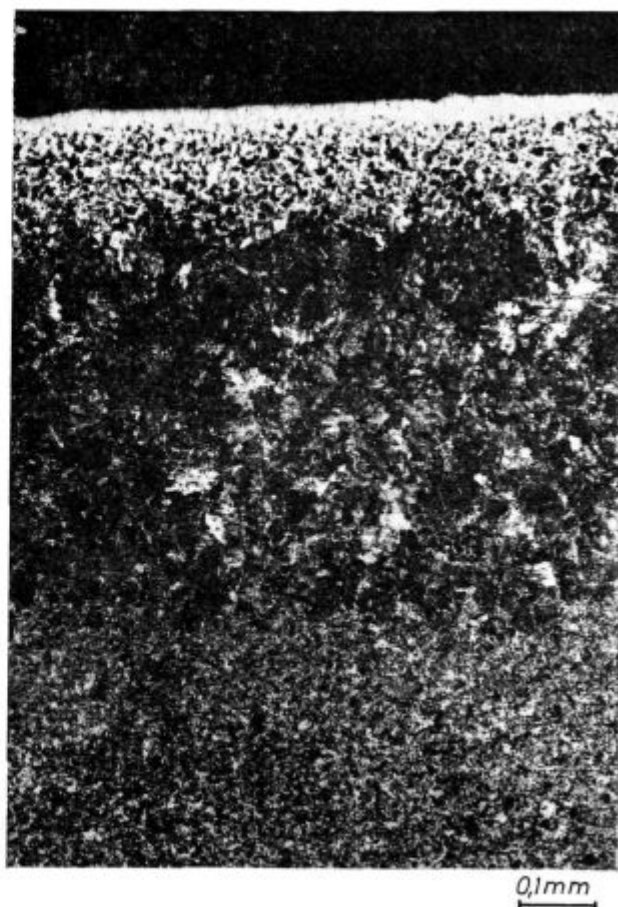
Shema¹ mikrostrukture delno razogljčene plasti (d) s čisto perlitno mikrostrukturo pri nadevtektoidnem jeklu. Z meritvijo trdote takega razogljčenja ne odkrijemo,



Slika 23

Shema¹ razogljčenja nadevtektoidnega jekla, pri katerem mikrostruktura popolno razogljčene plasti (p) zelo ostro prehaja v mikrostrukturo osnovnega jekla. Taka razogljčena plast je posledica izredno močnih razogljčevalnih vplivov.

Vse te tri plasti — popolno razogljčena in dve delno razogljčeni — predstavljajo plast celotnega razogljčenja.



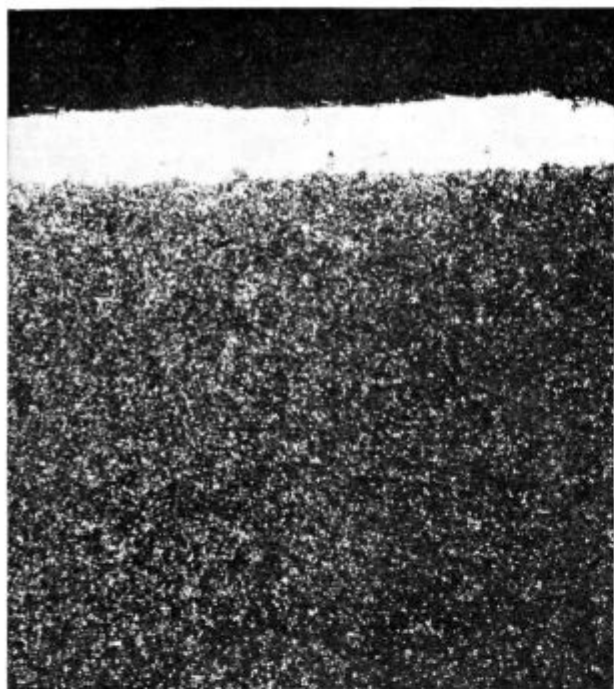
Slika 24

Primer zelo močno razogljčenega nadevtektoidnega nizko legiranega kromovega orodnega jekla C. 4143. Pod plastjo popolnega razogljčenja s čisto feritno mikrostrukturo sta zelo jasna izraženi dve plasti delnega razogljčenja.

Na slikah 20—23 so prikazane sheme štirih različnih variant razogljčene plasti, ki se lahko pojavljajo pri nadevtektoidnih jeklih, sliki 24 in 25 pa kažeta dva praktična primera razogljčenih nadevtektoidnih jekel. Na sliki 24 je prikazan primer popolno razogljčene površinske plasti z dvema zelo izrazitima plastema delnega razogljčenja. Slika 25 pa kaže zelo zanimiv primer nadevtektoidnega jekla, pri katerem plast popolnega razogljčenja skoraj brez prehodne plasti delnega razogljčenja meji na mikrostrukturo osnovnega jekla.

Omenili smo že pomanjkljivosti internega standarda UJZ za metalografsko določevanje razogljčenja. Ta daje tudi za odmero globine razogljčene plasti takole pomanjkljivo navodilo:

»Na mestih največjih debelin svetlejše plasti, ki jih odkrijemo s prostim očesom, izmerimo globino razogljčenja mikroskopsko pri povečavi 100 : 1...« Po tem navodilu plasti perlita v nadevtektoidnem jeklu ne bi smatrali za razogljčeno, kar bi potrdili celo z meritvami trdot. Kemična analiza ogljika po plasteh in natančen metalografski pregled po gornjem opisu pa bi nam dala drugačen odgovor. Jasno je, da lastnosti osnovnega



Slika 25

Primer razogljíčenja nadevtektoidnega nelegiranega orodnega jekla C. 1940 z izredno ostrim preходом od popolno razogljíčene plasti s čisto feritno mikrostrukturom osnovnega jekla.

jekla z npr. 1,3 % C, ki se uporablja za trde pile, in lastnosti jekla z eutektoidno sestavo v delno razogljíčeni plasti z 0,8 % C ne morejo biti enake, pa četudi je trdota enaka.

Visoko legirano avstenitno manganovo jeklo

Posebno visoko legirano jeklo, ki je znano pod imenom Hadfieldovo jeklo, z osnovno sestavo okrog 1,2 % C in okrog 12 % Mn z različnimi dodatki se v mogih lastnostih močno razlikuje od vseh drugih vrst jekel. Tudi glede razogljíčenja ga moramo posebej obravnavati.

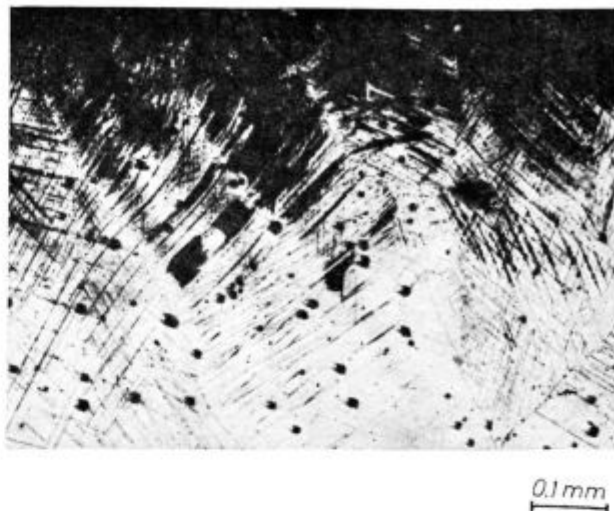
Po gašenju je osnovna mikrostruktura tega jekla avstenitna, razmeroma mehka (znana je lastnost utrjevanja tega jekla pod vplivom deformacij) in nemagnetna. Razogljíčena plast postane martenzitna, trša, krhka in magnetna.

Po metalografskem jedkanju postane površinska razogljíčena plast pri tem jeklu temna, kar je prav nasprotno kot pri drugih jeklih (slika 26).

Brzorezna jekla in orodna jekla z visokim kromom in visokim ogljikom

Pri visoko legiranih ledeburitnih jeklih, kakršna so vsa brzorezna jekla in vse vrste orodnih jekel z visokim kromom in visokim ogljikom, z veliko količino posebnih karbidov, je določanje razogljíčenja precej težavno. Večkrat razogljíčenje sploh težko odkrijemo, še težje pa natančno izmerimo globino razogljíčene plasti.

V zadnjem času se pri brzoreznih jeklih v žarjenem stanju za odkrivanje razogljíčenja z uspe-



Slika 26

Primer razogljíčene plasti avstenitnega visoko legiranega jekla C. 3160 z 1,2 % C in 12,5 % Mn.

hom uporablja poseben način jedkanja, ki daje pri pregledu pod mikroskopom v razogljíčeni plasti barvni spekter⁹. Čim globlje je razogljíčenje in čim večja je razlika v odstotku ogljika med površinsko plastjo in osnovno sestavo jekla, tem bolj izrazit je barvni spekter razogljíčene plasti.

Normalno metalografsko jedkanje z nitalom in podobnimi jedkali za metalografski pregled nam sicer včasih — posebno pri zelo močnem razogljíčenju ali v surovem nežarjenem stanju — dobro omogoča določitev globine razogljíčenja, kakor kaže slika 27.

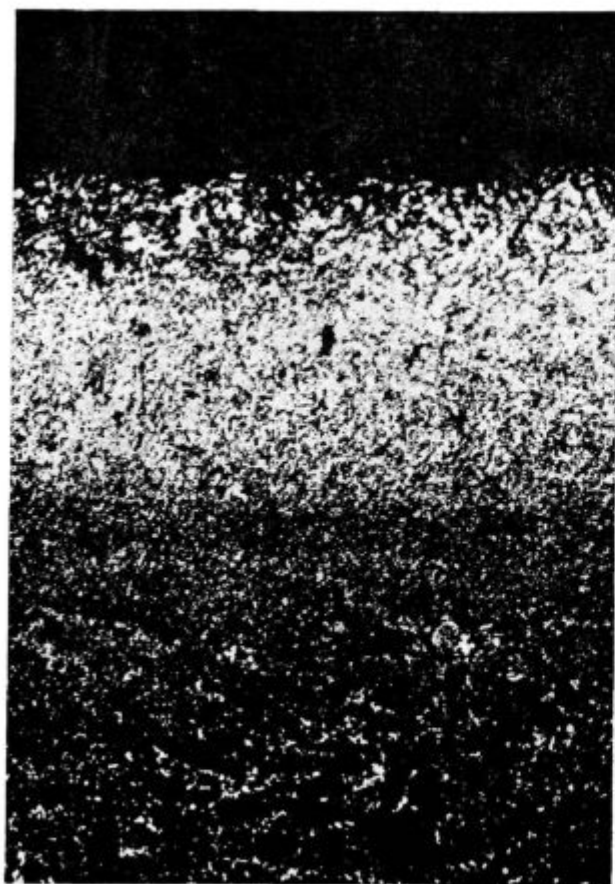
Pri manj izrazitem in delnem razogljíčenju taka metoda ni dovolj zanesljiva in zahteva za določitev globine veliko izkušnost metalografa. Dva taka primera prikazujeta sliki 28 in 29.

Pri ugotavljanju razogljíčenja brzoreznih jekel često zelo motijo tudi izločeni volframidi, ki jih v razogljíčeni plasti zlahka zamenjamo s karbidi.

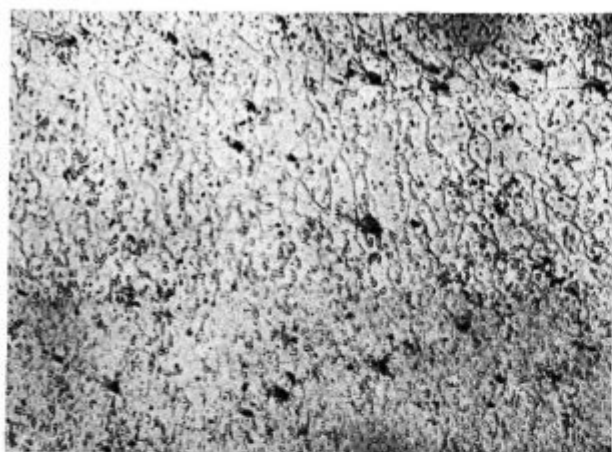
Zelo zanimiva je posebna metoda določevanja razogljíčenja po Sadvovskem¹⁰, ki jo bomo zaradi originalnosti nekoliko podrobneje opisali. V principu je splošno uporabna, vendar je najbolj poznana zaradi uporabnosti pri določevanju razogljíčenja brzoreznih jekel in ledeburitnih orodnih jekel. Pri teh je namreč kvantitativna določitev razogljíčenja včasih zelo težavna, medtem ko pri drugih jeklih ta metoda skoraj ne pride v poštev, ker je razmeroma komplicirana in nepotrebna, če se razogljíčena plast lahko preprosto določi.

Določitev razogljíčenja po tej metodi temelji na znanem dejstvu, da se temperatura začetka tvorbe martenzita (M_s) z zviševanjem odstotka ogljika v jeklu znižuje. Torej je temperatura M_s pri nižji vsebnosti ogljika (npr. v razogljíčeni plasti) višja od temperature M_s za osnovno sestavo jekla z višjim ogljikom. (Glej shemo na sliki 30!)

Pri kaljenju v solni kopeli ali v olju, katerega temperatura je tik nad martenzitno točko M_s , se tvori martenzit samo v razogljíčeni plasti. Tako



Slika 27
Primer razogljicene površine brzoreznega jekla tipa 6-5-2 (Č. 7680 - BMR - 2) v surovem — valjanem stanju

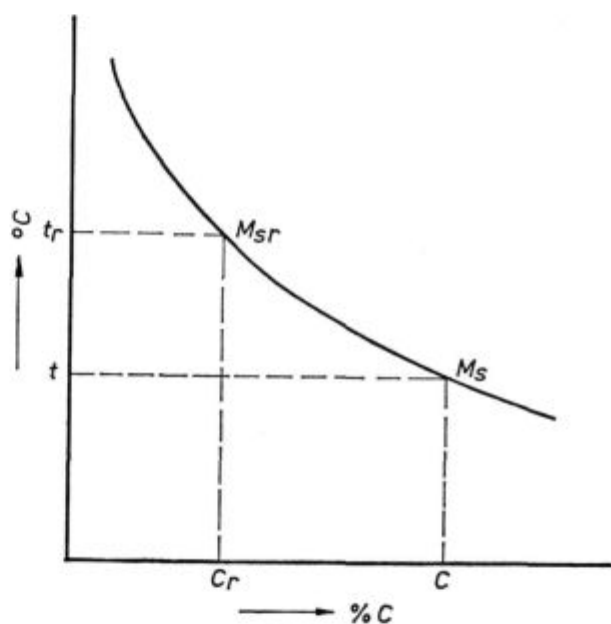


Slika 28
Primer razogljicene plasti brzoreznega jekla tipa 6-5-2 (Č. 7680 - BRM-2).

po kaljenju sledi popuščanje, s čimer se popusti prej nastali martenzit v razogljiceni plasti, v jedru pa ostane nepopuščeni martenzit. Pri jedkanju



Slika 29
Primer razogljicene plasti orodnega jekla Č. 4150 - OCR 12.



Slika 30
Odvisnost temperature začetka tvorbe martenzita v odvisnosti od vsebnosti ogljika v jeklu. Indeks r označuje vrednosti, ki pripadajo razogljiceni plasti.

obrusa s 5 % nitalom ostane nepopuščeni martenzit v jedru svetel, popuščeni martenzit v razogljiceni plasti pa je po jedkanju temen. Ta razlika omogoča določitev globine razogljicene plasti.

Izvedba postopka, ki je shematično prikazana na sliki 31 je sledeča:

Kaljenje izvršimo z normalnim postopkom ogrevanja na temperaturo kaljenja v solni kopeli. Temperaturo kaljenja izberemo na zgornji meji normalnega kalilnega območja, ali pa vzorec pri kaljenju namenoma nekoliko pregrejemo pri višji temperaturi.

Ohlajevalno sredstvo pri kaljenju je solna kopel ali olje s temperaturo tik nad poznano temperaturo M_s točke preizkušane jekla. Ta tempera-

tura mora biti zelo natančna, ker prav na njej temelji celotna metoda določanja razogljíčenja. Za različne vrste brzoreznih jekel je temperatura olja v območju 160—200° C, kar pa je treba za vsako vrsto jekla posebej natančno določiti.

V solni kopeli ali v olju zadržimo vzorec 5—10 minut, nato pa ga takoj popustimo na 560—580° C z zadržanjem v solni kopeli okrog 10 minut, v komorni peči pa nekoliko daljši čas. Zelo moramo paziti, da med postopkom temperatura vzorca ne pade pod temperaturo M_s . Po popuščanju ohladimo vzorec na zraku do sobne temperature in nato pripravimo obrus za mikroskopski pregled po jedkanju z nitalom.

Vzorec za določitev razogljíčenja naj bo čim manjši, ker pri postopku precej vpliva toplotna kapaciteta in konstantnost temperature v ohlajevalni solni kopeli ali olju. Na vzorcu mora biti ena ploskev, za katero z gotovostjo vemo, da ni razogljíčenja. Če bi tudi na tej ploskvi ugotovili opisane znake razogljíčenja, je to znak nepravilne izvedbe postopka, pri katerem je prišlo do razogljíčenja ali še bolj verjetno nepravilno izbrane temperature tople ohlajevalne kopeli.

V razogljíčeni plasti dobimo temno jedkani popuščeni martenzit. Razogljíčena plast se konča s posameznimi iglicami temno jedkanega martenzita in preide v tipično mikrostrukturo kaljenega brzoreznega jekla z mejami avstenitnega zrna, znotraj katerih so karbidi, zaostali avstenit in nepopuščeni martenzit (slika 32).

Posebni primeri

Pri vsaki vrsti jekla se razogljíčenje pojavlja v bolj ali manj značilni obliki. Teh posebnosti ne bomo obravnavali, ker z ozirom na metodiko ne predstavljajo posebnosti.

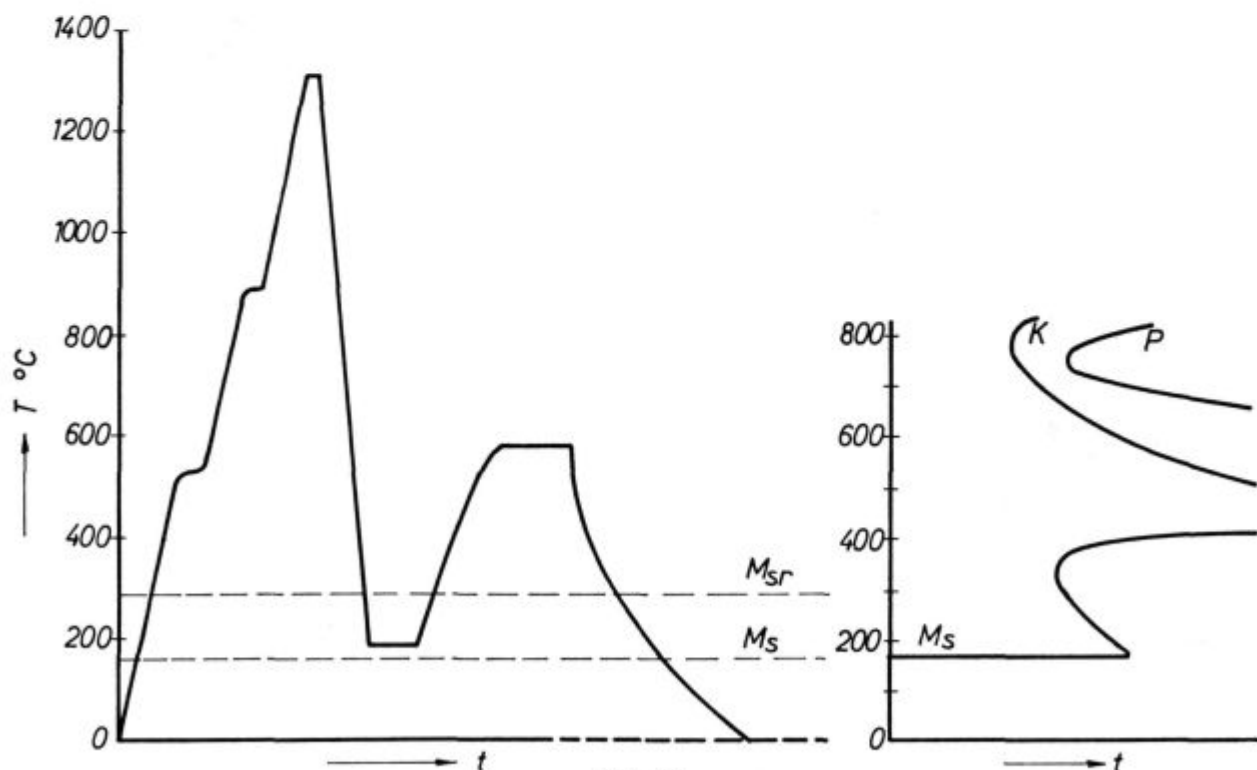
Razogljíčenje je večkrat ozko povezano z ugotavljanjem raznih napak v jeklu in njihovega nastanka. Poglejmo brez posebne sistematike nekaj zanimivih primerov.

Slika 33 kaže močno razogljíčeno razpoko v orodnem jeklu Č. 4751 — Utop Mo 1 za delo v vročem stanju. Iz razogljíčenja razpoke po vsej globini sklepamo, da je bila razpoka v jeklu že, preden je nastopila možnost razogljíčenja. Taka ugotovitev nam lahko precej pomaga pri ugotavljanju tehnološke faze, ki je povzročila razpoko.

Nasprotno na sliki 34 jasno vidimo, da je prav razogljíčenje krivo za površinsko razpoko orodnega jekla Č. 6440 — Merilo ekstra. Razogljíčena plast zaradi svoje manjše trdnosti ni zdržala natezne obremenitve pri hladnem vlečenju. Globina razpoke je tolikšna, kolikršna je globina razogljíčenja. Jeklo je bilo preveč razogljíčeno, zato je na površini pokalo.

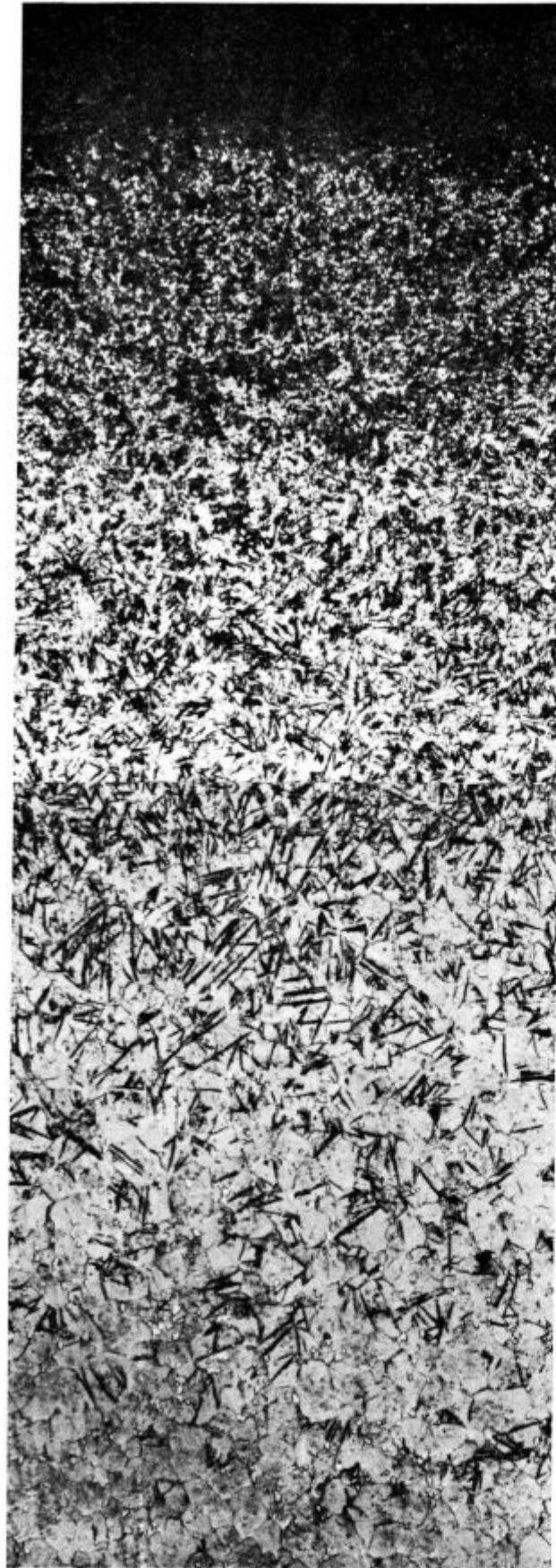
Naslednja slika 35 kaljenega jekla za poboljšanje Č. 4732 kaže, da razpoke v močno razogljíčeni površinski plasti nastanejo pogosto tudi zaradi termičnih napetosti pri kaljenju brez drugih mehanskih obremenitev.

Sliki 36 in 37 nam kažeta dva zanimiva primera notranjih razogljíčenih plasti, kakršne lahko na-



Slika 31

Shema postopka za določevanje globine razogljíčenja na osnovi različnih temperatur M_s v razogljíčeni plasti in v osnovnem jeklu.



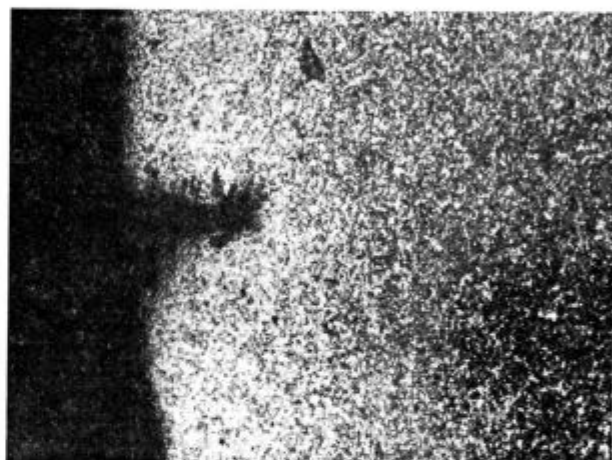
Slika 32

Primer določanja globine razogljichenja pri brzoreznih jeklih na osnovi različnih temperatur M. v razogljicheni plasti in v osnovnem jeklu.



Slika 33

Razogljichena razpoka v jeklu Č. 4751 — Utop Mo 1.



Slika 34

Razpoka v razogljicheni plasti pri jeklu Č. 6440 — Merilo ekstra. Ø 9 mm.

stanejo samo pri vroči predelavi z valjanjem ali kovanjem, ko se razpoke, preplate, škaja ali podobno zavaljajo ali zakujejo.

POSLEDICE RAZOGLJICHENJA

Razogljichena orodja ali razogljicheni konstrukcijski, posebno pa funkcionalni strojni deli ne dosežejo zahtevane trdote na površini. Posebno pri popolnem razogljichenju nastala plast mehkega čistega ferita na površini ne omogoča doseganja zahtev, ki jih od izbranega jekla pričakujemo.

Tudi pri delno razogljichenem jeklu je utrditev površinske plasti jekla nezadovoljiva in neenakomerna.

Često povzroča delno razogljichenje več težav kot popolno razogljichenje do čistega ferita, ker hitreje nastane in ga težje odkrijemo. Delnega



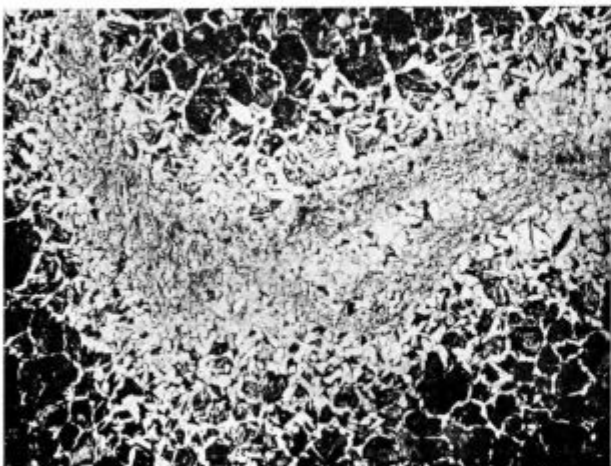
0,1 mm

Slika 35
Razpoka v razogljiveni plasti jekla Č. 4732 nastala zaradi termičnih napetosti pri kaljenju.



0,1 mm

Slika 36
Razogljivenje v zvezi z napakami pri vroči predelavi jekla (Č. 4830).



0,1 mm

Slika 37
Razogljivenje v zvezi z napakami pri vroči predelavi jekla (Č. 1530).

razogljivenja večkrat sploh ne moremo odkriti z merjenjem trdote in z metodami brez porušitve. Večkrat kljub delnemu razogljivenju doseže jeklo normalno trdoto po kaljenju, ne dosega pa zahtevanih lastnosti pri uporabi.

Vzemimo za primer jeklo z 1,30 % C za pile. Če se razogljivi do 0,60 % C, to ne bo bistveno vplivalo na trdoto, dejansko pa ima površina bistveno drugačne lastnosti od pričakovanih. Orodje ne bo zadostilo namenu.

Razogljivena plast poslabša splošno kaljivost jekla, obenem pa močno poveča nevarnost pokanja pri kaljenju. Nepopolno kaljenje razogljivene plasti je zvezano z manjšim povečanjem prostornine v primerjavi s popolno kaljenim jedrom. Zaradi tega se toplotnim napetostim pridružijo še velike napetosti zaradi spremembe prostornine.

Jeklo z razogljiveno površino zelo slabo prenaša kakršnekoli dinamične obremenitve. Prosti ferit v razogljiveni plasti ima zelo nizko trdnost in posebno slabo obstojnost proti utrujanju. Napake in drobne razpoke v površinski plasti predstavljajo inicialne, ki se hitro širijo in privedejo do porušitev.

Če se z mehansko obdelavo razogljiveno plast popolnoma odstrani, ne bo posebnih težav in ne bo opaziti zmanjšanja obstojnosti.

Škodljivost razogljivenja se najbolj kaže na jeklenih delih, ki se mehansko ne obdelujejo in se pri njih razogljivena plast sploh ne odstrani (vzmeti, pile itd.).

UKREPI ZA PREPREČEVANJE RAZOGLJIVENJA

Kjerkoli predstavlja razogljivenje večji problem, moramo v zvezi z ukrepi za preprečevanje razogljivenja zagotoviti natančno regulacijo peči, kontrolo temperature, časa in atmosfere v peči ter obvladati optimalni tehnološki postopek ogrevanja.

Kolikor mogoče se izogibamo predolga ogrevanja ter previsokih temperatur. Celoten proces ogrevanja naj ne bo predolg in čimbolj racionalno izbran. V območju nižjih temperatur, pri katerih še ni nevarnosti razogljivenja poskrbimo z zadržanjem za izenačevanje temperature po vsem preseku. Tako je potreben čas izenačevanja pri visokih temperaturah krajši in ogrevanje v območju visokih temperatur naj bo čimhitrejše, tako da je jeklo čim manj izpostavljeno razogljivenju.

Če nastopi v tehnološkem postopku kakršen koli zastoj, moramo temperaturo peči zaradi nepredvidenega podaljšanja časa ustrezno znižati, tako da jeklo ni izpostavljeno predolgo učinkovanju atmosfere peči pri visoki temperaturi.

Žarjenje večkrat izvajamo tako, da jeklo zaščitimo pred atmosfero peči z dobro zatesnjenimi cevmi, v katerih jeklo obdamo še z manjšo količino zaščitnih sredstev.

Pri žarjenju orodij se večkrat poslužujemo pakiranja v ostružke sive litine, ali pa v predhodno dobro žarjen kokosov zdrob.

Tudi pri zaščiti v kovaških pečeh pridejo v poštev za delno zaščito proti razogljčenju razna sredstva, ki vsebujejo ogljik z dodatki aktivatorjev.

Največkrat je primernejša bolj oksidacijska atmosfera, ki povzroča škajanje in s tem delno zaščito pred nadaljnjim razogljčenjem. Posebno nevarna je rahlo redukcijska atmosfera, če vsebuje vodik.

Najboljše je ogrevanje v vakuumu, ki pa se zaradi visokih stroškov in dragih naprav uporablja le v izjemnih primerih.

Pri žarjenju je priporočljiva uporaba varovalne ali nevtralne atmosfere v električnih pečeh. Take atmosfere, ki so posebej prilagojene različnim vrstam jekla, se dandanes uporabljajo že v velikih industrijskih pečeh.

Pri toplotni obdelavi v območju visokih temperatur je najboljše in najekonomičnejše ogrevanje v ustrezni solni kopeli. Tudi te kopeli je treba primerno vzdrževati, obnavljati, čistiti in dezoksidirati.

Normalno izdelano jeklo brez posebnih varovalnih ukrepov je po valjanju ali kovanju bolj ali manj razogljčeno. Zagotoviti moramo odstranitev dodatka za obdelavo, kakršnega priporočajo norme ali navodila proizvajalca.

Literatura

1. Payson P., Metal Progress, dec. 1960, str. 78—81.
2. Boyer H. E., Surface Decarburization — Partial and Total, Steel Processing, avg. 1956, str. 462—463.
3. Barz E., Entkohlungserscheinungen an Werkzeugen, Das Industrieblatt, 6., sept. 1960, zv. 9., str. 557—563.
4. UJZ — br. int. standarda 6.05 — januar 1964, Odredjanje odugljeničnosti površinskih slojeva čelika metalografskim ispitivanjem.
5. UNI 4839 — Mar. 1962: Misurazione della profondità di decarburazione superficiale negli acciai al carbonio — Metodo microscopico.
6. Stahl — Eisen Prüfblatt 1595 — April 1959: Microscopische Ermittlung der Randentkohlung von Werkzeug- und Schnellarbeitsstählen.
7. ASTM Standards Part 31 — Metallography.
8. GOST 1763—42: Metod opredelenija glubini obezuglerozivanja staljnih polufabrikatov i detalej mikroanalizom.
9. Powell J. R.: Measurement of a Decarburised Layer on High Speed Steel, Metallurgia, dec. 1964, str. 295 do 298.
10. GOST 5952—63 — priloženje 1. — Stalj instrumentalnaja bistrorežuščaja — Opredelenje obezuglerozenovo sloja metodom kontrolja mikrostrukture posle specialnoj termoobrabotki (metod Sadovskovo).

ZUSAMMENFASSUNG

Die Entkohlung verursacht bei der Herstellung von Stahlprodukten manche Schwierigkeiten. Deswegen sind die Forderungen in den einzelnen Produktionsphasen sehr streng und die Überwachung der Entkohlung ist dringend. Der ganze Erwärmungsvorgang muss vollkommen beherrscht und optimisiert werden.

Bei verschiedenen Stahlsorten ist neben den Kriterien für die Bestimmung die Entkohlungstiefe manchmal auch die Technik der Entdeckung der Entkohlten Schicht problematisch. Der grösste Teil dieses Artikels ist der Metallographischen Bestimmungstechnik der Entkohlung bei verschiedenen Stahlsorten gewidmet. Neben der dringend nötigen Erklärung über die Entkohlungsproblematik ist in dem Artikel eine kurze Übersicht der verschiedenen

Bestimmungsmethoden der Entkohlung gegeben. Im Einzelnen ist nur die metallographische Methode mit der Untersuchung des Mikrogefüges in der Oberflächenschicht beschrieben.

Es sind einige Sonderbeispiele der Entkohlung, mit den Charakteristischen Folgen dieser Entkohlung, bei der Verwendung solcher Stähle gegeben. Auch eine kurze Übersicht der üblichen Massnahmen zur Verhinderung der Entkohlung ist gegeben.

Der Anlass zu diesem Artikel sind die unzähligen Missverständnisse, in der Beziehung der Entkohlung, vorkommen oder teilweise. Wegen des Mangels an klaren Vorschriften und Standards in unserem Land, oder wegen der mangelhaften Anweisungen für die Bestimmung der Kriterien für die Bemessung der Entkohlungstiefe.

SUMMARY

Decarburization causes many troubles in production of steel products. Therefore demands in individual process phases are very strict and control of decarburization is necessary. The whole process of heating must be completely mastered and optimized.

Beside the criteriums of determining the depth of decarburization often also technics of discovering the decarburized layer in different steel types are dubious. The majority of paper deals with metallographic technics of investigating decarburization and decarburization characteristics in different steels. Beside the necessary basic explanations about decarburization of steel the paper gives a short review of various methods for determination of

decarburization. Only the metallographic method with the review of microstructures of the surface layer is discussed more in details.

Few special cases of decarburization are shown, some the most characteristic consequences of decarburization when steels used are enumerated, and a short review of the most common measures to prevent decarburization is presented.

Reason for this paper are frequent misunderstandings about the decarburization — complete or partial — due to lack of clear standards in our country or due to lack of instructions how to determine the depth of decarburized layer.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обезуглероживание изделий из стали во время производства причиняет много затруднений. Поэтому весьма строгие требования определения обезуглероживания необходимы во всех отдельных технологических фазах. Весь режим нагрева необходимо хорошо знать и усовершенствовать. При различных сортах стали кроме критерия определения обезуглероживания часто наступают затруднения при техники определения обезуглероженого слоя. Большая часть статьи посвящена металлографической техники определения обезуглероживания отдельных сортов стали. Кроме необходимых основных понятий о проблематике обезуглероживания стали дан короткий обзор разных методов определения

обезуглероживания; подробно же рассмотрен металлографический метод с осмотром микроструктуры слоя на поверхности изделия. Описаны некоторые специальные случаи обезуглероживания, упомянуто несколько характерных последствий обезуглероживания при стали и наконец дан краткий обзор наиболее обыкновенных мер за избежания обезуглероживания. Эта статья написана из за того что доходило до частых недоразумений что касается частичного или полного обезуглероживания вследствие недостатка ясных стандартов в нашей стране а также вследствие недостатка инструкций для определения критериев за измерения глубины обезуглероженого слоя.