

PRATEĆI ŠTETNI ELEMENTI i LEGIRAJUĆI ELEMENTI U ČELIKU

Emir Đulić
Univerzitet u Zenici
Mašinski fakultet

REZIME

Veoma je važno poznavati sastav i strukturu čelika radi njegove lakše klasifikacije. Prisutnost pojedinih elemenata u čeliku ima štetan uticaj na njegove mehaničke i druge osobine, dok postoje također i elementi koji, iste te osobine poboljšavaju. Danas se sve više poboljšavaju čelici dodavanjem različitih legirajućih elemenata da bi se dobio što kvalitetniji čelik a samim tim i gotov proizvod, pogotovo zbog toga što se smatra da će čelik biti vodeći građivni materijal i u ovom stoljeću.

Ključne riječi: legirajući elementi, štetni elementi u čeliku, segregacije, metalografija

1. UVOD

Opšti sastav čelika uslovljen je još pri samom postupku njegove izrade. Pored ugljika koji ulazi u sastav čelika u određenom procentu od 0.02 % tu su još i drugi mnogobrojni elementi. U prvom redu to su silicij, mangan, fosfor, sumpor, azot (dušik) i neki nemetalni uključci koji mogu biti sulfidne, oksidne i silikatne prirode. Osim toga u sastav čelika ulaze i vrlo male količine bakra, nikla, kroma, kiseonika, aluminija, vodonika i sl. Ovi elementi direktno utiču na kvalitet proizvoda kao i njihova količina i raspodjela.

1.1. Hemijski elementi koji se javljaju u čeliku

Hemijski elementi koji se javljaju u čeliku mogu se svrstati u prateće, skrivene, slučajne i legirajuće, tabela 1.

Tabela 1. Podjela hemijskih elemenata koji se javljaju u čeliku

HEMIJSKI ELEMENTI U ČELIKU				
Prateće primjese	Skrivene primjese	Slučajne primjese	Legirajući elementi	
Mangan, Mn	Azot-dušik, N	Bakar, Cu	Silicijum, Si	Molibden, Mo
Silicij, Si	Vodik, H	Olovo, Pb	Mangan, Mn	Vanadij, V
Aluminij, Al	Kisik, O	Kalaj, Sn	Krom, Cr	Kobalt, Co
Fosfor, P		Antimon, Sb	Nikal, Ni	Titan, Ti
Sumpor, S		Arsen, As	Volfram, W	

Prateće primjese u čeliku vode porijeklo iz rude željeza (mangan, silicij, fosfor); iz goriva (sumpor) i od sredstava za dezoksidaciju (mangan i silicij). Količina pratećih elemenata zavisi kako od polazne sirovine (rude, goriva, topitelja), tako i od samog postupka dobijanja čelika.

Skrivene primjese u čeliku (kisik, dušik i vodik) rastvaraju se iz atmosfere sa kojom rastopljeni čelik dolazi u dodir u procesu dezoksidacije. S obzirom da je kontrola njihovih sadržaja u čeliku veoma složena, to se ona praktično i ne vrši. Slučajne primjese u čeliku (bakar, olovo, kalaj, antimon i arsen) potiču iz polazne sirovine - željezne rude, a njihova pojava i sadržaj vezani su za vrstu rude.

Legirajući elementi u čeliku (silicij, mangan, krom, nikal, volfram, molibden, vanadij, kobalt, titan) namjerno se dodaju čelicima i prema EN 10020:2000 kreću se u sadržajima iznad vrijednosti datih u tabeli 2.

Tabela 2. Granica između nelegiranih i legiranih čelika (analize taline)

Specificirani element	Granična vrijednost (maseni %)	Specificirani element	Granična vrijednost (maseni %)
Al, aluminij	0,30	Ni, nikal	0,30
B, bor	0,0008	Pb, olovo	0,40
Bi, bizmut	0,10	Se, selen	0,10
Co, kobalt	0,30	Si, silicijum	0,60
Cr, krom	0,30	Te, telur	0,10
Cu, bakar	0,40	Ti, titan	0,05
La, lantanoidi(svaki)	0,10	V, vanadijum	0,10
Mn, mangan	1,65*	W, volfram	0,30
Mo, molibden	0,08	Zr, cirkonijum	0,05
Nb, niobijum	0,06	Ostali (izuzev C,P,S,N) (svaki)	0,10

*) Gdje je mangan specificiran samo kao maksimum, granična vrijednost je 1,80% i pravilo od 70% ne važi

Klasificiranje prema hemijskom sastavu, na osnovu standarda EN10020:2000, je bazirano na analizama taline, specificiranim u standardu za proizvod ili tehničkom zahtjevu i određeno je sa specificiranom minimalnom vrijednošću za svaki elemenat. Kada je u standardu za proizvod ili u njegovoj specifikaciji za neki elemenat naznačena samo jedna vrijednost (maksimalna), za klasifikaciju se mora uzeti vrijednost koja je 70% od te maksimalne vrijednosti (tabela 1.). Za mangan vidjeti primjedbu *)u tabeli 1.

Sadržaj određenih elemenata u čeliku (Si,Mn,P,S i N) je različit i zavisi od načina izrade čelika. Metalografski postupci ispitivanja sadržaja čelika dobivenog Siemens-Martenovim postupkom i čelika dobivenog u elektro-pećima ne nude precizne rezultate. Ispitivanjem hemijskog sastava čelika dobivenog po ova dva različita postupka dolazimo do preciznih rezultata njihovog sadržaja. Tako Siemens-Martinov čelik odlikuje nizak sadržaj azota (0,001 – 0,008%), sumpora i fosfora dok čelik dobiven u elektro-pećima odlikuje povišen sadržaj azota (0,008 – 0,025%) ali i znatno manji sadržaj sumpora i fosfora (manje od 0,03 – 0,02% svakog). Pored ovih pokazatelja kvaliteta čelika dobivenog u elektro - pećima svakako je bitno istaknuti da je sadržaj nemetalnih sastojaka mnogo manji nego u čeliku dobivenom po Siemens-Martinovom postupku.

Prema sadržaju fosfora i sumpora, kao i prema čistoći, čelici su podjeljeni u tri kvalitetne grupe :

- **obični čelik** (P i S max. po 0,060% , P i S max. 0,100%)
- **kvalitetni čelik** (P i S max po 0,045%) i
- **plemeniti čelik** (P i S max po 0,035 % ili 0.030 %, pri tome odgovarajuća čistoća u pogledu uključaka troske) [1].

Elementi koji ulaze u sastav čelika mogli bi da se klasificiraju na :

- **štetne elemente** – *ostaci troske u čeliku* (Si ,Mn, P, S, N, H,O i neki nemetalni uključci)
- **korisne elemente** – *legirajući elementi* (Cr, Ni ,Mo, Cu, W, V, Al ,Ti).

2.ŠTETNI ELEMENTI U ČELIKU

2. 1. Sumpor - S

Sumpor je prvi od pratećih elemenata u čeliku koji se pretežno ubraja u štetne elemente i njegov sadržaj se nastoji što više sniziti prilikom proizvodnje. Izuzetak čine samo čelici za automate kod kojih se namjerno dodaje u količini od 0,2 do 0,3% u kojima izaziva stvaranje kraće strugotine, zbog krtosti. U zavisnosti od načina proizvodnje u čelicima uvijek ostaje 0,005do 0,006% (najviše do 0,007%) a kod livova i do 0,15% sumpora, S. Sumpor se vrlo malo rastvara u γ - željezu (do 0,07%), a u α - željezu vjerovatno ni malo.

Preobražajni procesi kod ternernih Fe-S-C legura još uvijek nisu dovoljno ispitani. Postojalo je mišljenje, da se ti procesi odvijaju potpuno isto kao i kod Fe-C legura, a s obzirom na nerastvorljivost sumpora u željezu. Novija ispitivanja su pokazala da se ipak sumpor rastvara u rešeci željeza. Tako na pr. γ - faza na 1000⁰ C rastvara oko 0,01% sumpora. Pretpostavlja se da bi na višim temperaturama ova količina bila nešto viša, mada se sa sigurnošću ne zna da li se rastvorljivost sumpora linearno mijenja sa temperaturom. Novi podaci o rastvorljivosti sumpora navode i na pomisao da se razlika između tzv. trgovačkih čelika i kvalitetnih čelika sličnog hemijskog sastava ogleda i po mjestu lociranja sumpora u metalnom matriksu. Naime, smatra se da je kod kvalitetnih čelika sumpor djelimično rastvoren u rešeci željeza, dok se kod trgovačkih kvaliteta on uglavnom nalazi u međukristalnom sloju.

Bilo ja dosta rasprava o tome da li količina ugljika utječe na rastvorljivost sumpora u željezu. Prema nekim autorima taj utjecaj je beznačajan. Treba još napomenuti da se smatra da sumpor može zamijenti i izvjestan broj atoma ugljika u rešeci cementita, što ga na neki način stabilizuje.

Sumpor za razliku od drugih pratilaca željeza, silicijuma, mangana i fosfora stvara već pri minimalnim koncentracijama jednu posebnu, karakterističnu fazu u mikrostrukturi željeza – sulfid željeza FeS. Ovaj je prljavožute boje i kao nemetalni uključak uočava se već na poliranom uzorku koji nije nagrizan.Prema dijagramu stanja trebao bi se već pri malom sadržaju sumpora očekivati pojavu (Fe + FeS)-eutektikuma sa niskom tačkom topljenja na granicama zrna (kristala željeza).

Većina čelika sadrži vrlo malo sumpora najviše do 0,060% (ako se ne uzmu u obzir čelici za automate). Dakle iako ne može doći do stvaranja (Fe + FeS)-eutektikuma koji se topi na 985 °C ipak postoji opasnost od preloma na temperaturi kovanja u slučaju da je sadržaj mangana također mali. Pri tome se razlikuje područje krtosti na temperaturama između 800 i 1000 °C u kome čelik postaje krt usljed neznatne plastičnosti FeS koji se nalazi u granicama zrna i područje krtosti u crvenom žaru na temperaturama iznad 1200 °C.

Da bi se sumpor učinio neškodljivim i da bi se isključila opasnost od krtosti u crvenom žaru, povećava se sadržaj mangana u legurama čelika. Mangan stvara sa sumporom sulfid MnS koji se topi tek na 1610 °C i koji se izdvaja iz rastopa kao primarni kristal i to u vidu sivoplavih kristala.

Izduživanje sulfida u vrijeme plastične deformacije ima za posljedicu da poslije laganog hlađenja sa temperature valjanja ili kovanja proeutektoidni ferit u podeutektoidnim čelicima kristališe na sulfidima pa se zbog toga izdvaja u nizovima. Austenit se pri tom potiskuje u međuprostore pa iz toga slijedi da je razdvajanje ferita i perlita u nizove jedna od posljedica izduživanja sulfida, tzv sekundarna linijska mikrostruktura. Brzim hlađenjem iz austenitne oblasti sekundarna linijska struktura može da se djelimično ili u potpunosti odstrani.

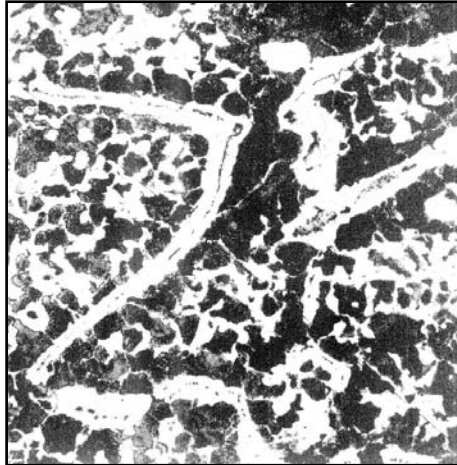


Sl.1. Uključak MnS u otkivku čelika sa 0,35%C

Na sl.1 je prikazan sulfidni nemetalni uključak MnS, u čeličnom otkivku koji je kaljen u ulju i popušten. Osnovna struktura se sastoji od sorbita opkoljenog mrežom ferita. Takođe se zapaža i izdvajanje ferita oko prikazanog uključka.

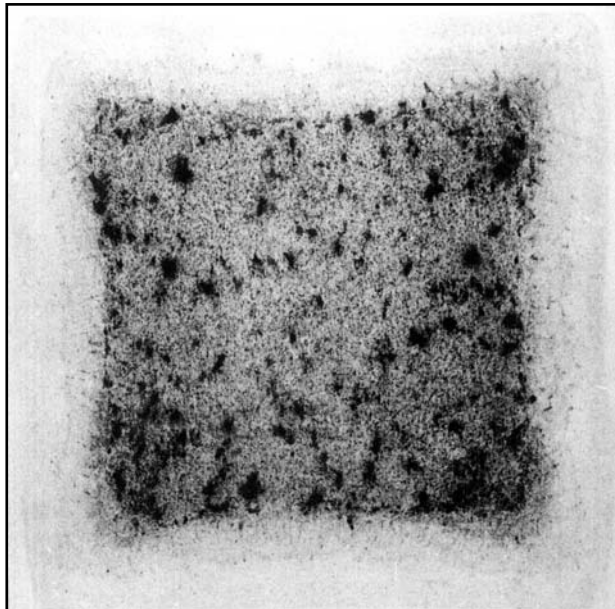
Na sl.2 je prikazan sulfidni film (FeS i MnS) u feritu u jednom livenom čeliku sa 0,4%C.

Kada čelik nije izrađen kao umiren, sumpor je slično fosforu u velikoj mjeri sklon segregaciji na mjestu gasnih mjehurića. U neumirenim čelicima za automate MnS-uključci u središnjoj zoni u kojoj je došlo do pojave segregacije znatno su grublji. Ovakav čelik dozvoljava stoga povećanu brzinu rezanja, usljed čega se poboljšava kvalitet površine. Na sl. 3 je prikazana makrostruktura segregacija sumpora.



HNO₃ x100

Sl.2. Sulfidni film (FeS i MnS) u feritu u čeliku sa 0,4%C



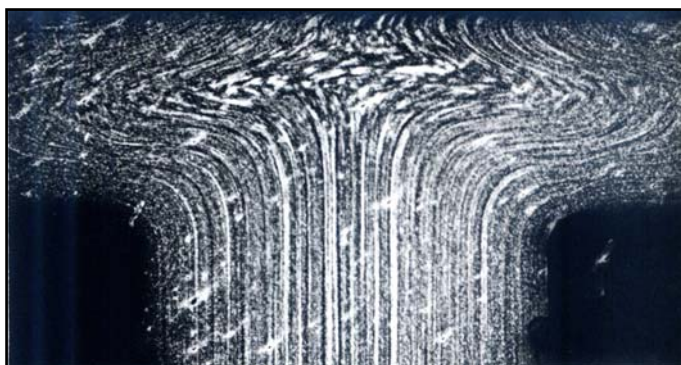
*Baumann otisak x1
Sl.3 Segregacije sumpora (Baumann otisak)*

2.2. Fosfor - P

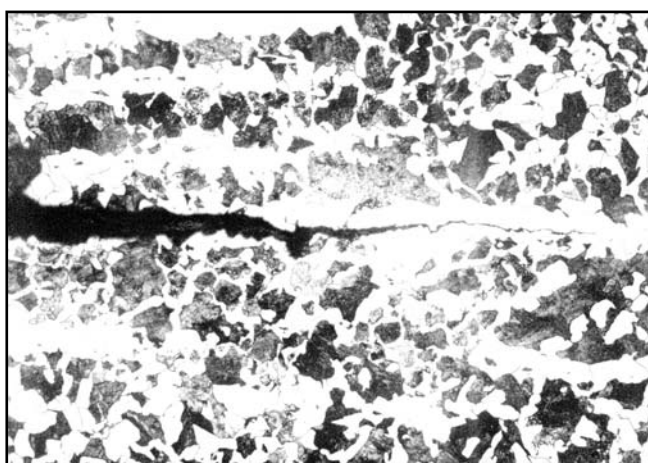
Fosfor pripada grupi elemenata koji sužavaju područje γ –područje željeza. Već počev od 0,6 % fosfora legure Fe-P bez ugljika su čisto feritne. Kristali austenita koji sadrže fosfor pokazuju izvanredno jaku sklonost prema pojavi segregacije u kristalu, što je uslovljeno velikom temperaturnom razlikom između likvidus i solidus linije, kao i malom brzinom difuzije fosfora u željezu. Da bi došlo do izjednačavanja razlika u koncentraciji fosfora unutar kristala γ -čvrstog rastvora, potrebno je dugo žarenje neposredno ispod solidus-temperature (difuziono žarenje).

Na osnovu ovoga, u čeliku se mogu otkriti dvije strukture: normalna **sekundarna struktura**, koja se razvija nagrizanjem azotnom ili pikrinskom kiselinom i koja se sastoji

iz ferita, perlita i sekundarnog cementita i ovom prekrivena **primarna struktura** koja se karakteriše pojavom segregacije fosfora i koja se može razviti primjenom sredstava po Oberhofferu.



Oberhoffer *x2,5*
Sl.4. Primarne segregacije fosfora u glavi vijka

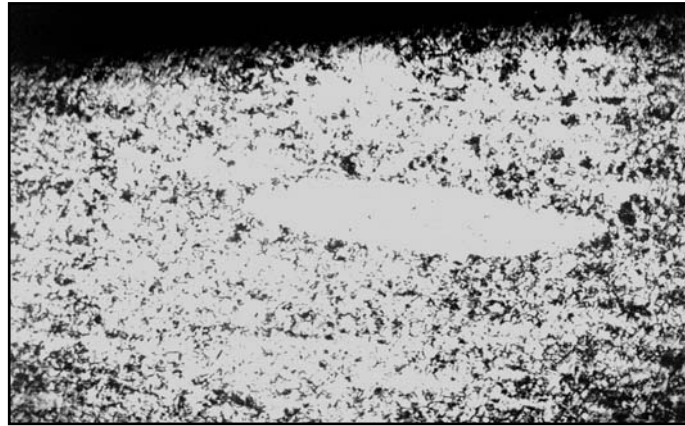


Sl.5. Usmjerenost mikrostrukture , sa pukotinom (sekundarna mikrostruktura)

Primarna segregacija fosfora utiče i na obrazovanje usmjerene, sekundarne feritno-perlitne mikrostrukture. Fosfor smanjuje rastvorljivost ugljika u austenitu. Ako se segregacija fosfora javlja u kristalima γ -čvrstog rastvora, ugljenik se potiskuje u područja kristala koja su siromašna fosforom. To znači da već u austenitu na visokim temperaturama dolazi do nehomogenosti u pogledu sadržaja ugljenika. Pri hlađenju se ferit prvenstveno izdvaja na mjestima koja su siromašna ugljenikom, tj. bogata fosforom, a perlit koji nastaje kasnije izdvaja se na mjestima bogatim ugljenikom, a siromašnim fosforom.

Poseban izvor opasnosti za čelične dijelove čine tzv.segregacije na mjestu gasnih mjehurića, sl.7 i 8, jer pri očvršćavanju tečnog čelika dolazi do oslobađanja gasova. Pored segregacije u kristalu i na mjestu gasnih mjehurića, fosfor učestvuje i u segregaciji

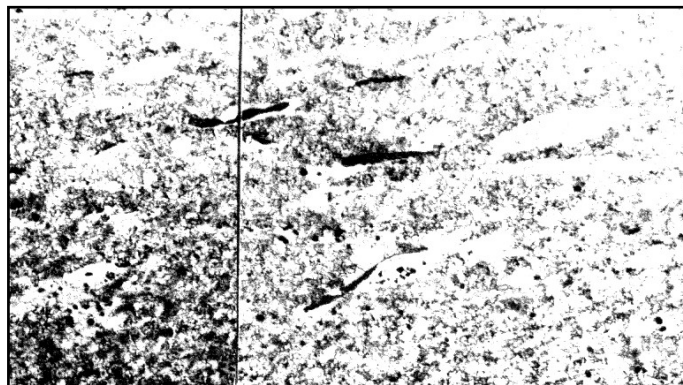
u bloku. Središte bloka bogatije je fosforom od površinskih slojeva, a glava bloka je bogatija od pete. Segregacija u bloku raste povećanjem veličine bloka i također se ne može izbjeći.



Oberhoffer

x10

Sl.6. Segregacija plinskog mjehura



Oberhoffer

x10

Sl.7. Segregacije plinskih mjehura sa pukotinama

Na priloženim slikama 6 i 7 prikazana je primarna, makrostruktura uzoraka puknute šine sa karakterističnim segregacijama plinskih mjehura .

Segregacije fosfora su nepoželjne u čelicima jer one predstavljaju štetnu nehomogenost strukture. Zone sa različitim sadržajem fosfora imaju različitu tvrdoću, čvrstoću i žilavost. Fosfor kod čelika izaziva i pojavu *krtosti u hladnom* koja se karakteriše porastom čvrstoće i padom žilavosti što je prikazano u tabeli 3 i sl.8.

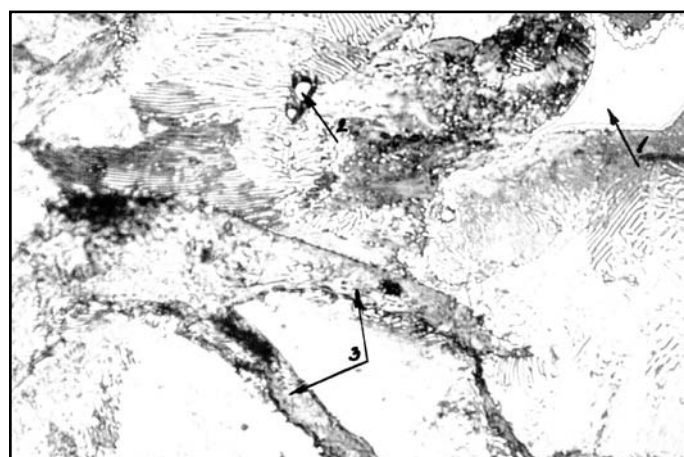
Tabela 3. Pojava krtosti u hladnom stanju u zavisnosti od sadržaja fosfora u čeliku

Sadržaj P-fosfora [%]	R_e (N/mm ²)	R_m (N/mm ²)	HB(N/mm ²)	Z (%)	ρ (J/cm ²)
0	280	340	1000	30	340
0,2	360	410	1250	30	200
0,4	440	480	1550	25	0



Sl.8. Prijelom nastao u hladnom stanju (neoksidiran)

U gvoždima se fosfor javlja u obliku eutektikuma izlučenog po granicama zrna koji kristalizira na temperaturi od 950⁰C kao ternerni eutektikum ($Fe_3C + Fe_3P + \gamma-Fe$) koji nema konstantan hemijski sastav.



1% HNO_3 x500

Sl.9. Fosfidni eutektikum u sivom gvožđu

Sl.9 pokazuje da osnovu mikrostrukture sačinjava perlit sa izlučenim fosfidnim eutektikumom (strelica 1) i rijetkim feritnim ostrvcima oko kojih se izlučio grafit (strelica 2). Na snimku se takođe vide i lamele grafita (strelica 3).

3. SKRIVENI, ŠTETNI ELEMENTI U ČELIKU

3.1. Azot - dušik (N)

Rastvorljivost azota u α -željezu je neznatna i iznosi najviše 0,10% na 590°C. Snižanjem temperature rastvorljivost se osjetno smanjuje i na sobnoj temperaturi pada na oko 10^{-5} %. Slično legurama željeza sa ugljenikom i legure željeza sa azotom pokazuju sposobnost kaljenja i starenja. Starenje izazvano azotom dovodi do znatnog povećanja krtosti čelika, što se uglavnom ispoljava u većoj osjetljivosti na udar, odnosno u padu udarne žilavosti.

Ako se ispituju mehaničke osobine čelika na povišenim temperaturama, ne nailazi se na neprekidan pad tvrdoće i čvrstoće i porast izduženja i kontrakcije, kao kod bakra nikla, bronzе, aluminija i drugih metala i legura. U slučaju mekih čelika tvrdoća i čvrstoća opadaju na nešto višim temperaturama, ali rastu ponovo između 200 i 300°C tj. u oblasti plave boje čelika. Ovaj interval između 200 i 300°C naziva se područjem *plave krtosti*.

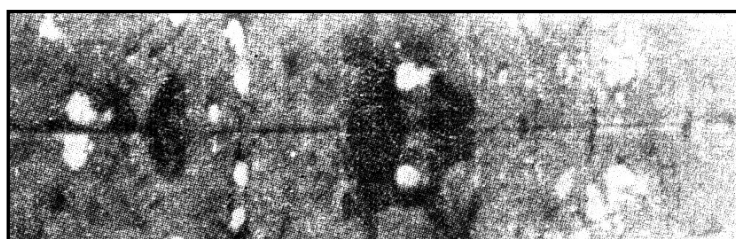
Čelici skloni starenju naginju pojavi tzv. *Lüdersovih linija*. Ove linije nastaju pri maloj deformaciji i predstavljaju područja u kojima pod dejstvom naprezanja dolazi do lokalnog klizanja.

Krtost u alkalnim rastvorima je uzgredna pojava starenja koja se naročito javlja kod kotlovskih limova. Pod ovim se podrazumijeva interkristalna korozija, koja nastaje kada se čelik koji je sklon starenju, a nalazi se pod zateznim naprezanjem, izloži dejstvu vrućeg, slabo kiselog ili alkalnog rastvora.

3.2. Vodik - vodonik (H)

I vodik pripada primjesama čelika iako se ne javlja neposredno u mikrostrukturi, već može samo da se dokaže po svom štetnom dejstvu. Vodik u čelik najčešće dopijeva iz dodataka ili iz nedovoljno osušenog zida peći ili lonca. Željezo i čelik u čvrstom stanju rastvaraju vodik iz pećnih gasova pri žarenju. Obično se vodik nalazi u željezu u atomarnom obliku i stvara sa željezom intersticijski čvrst rastvor, slično ugljiku i azotu.

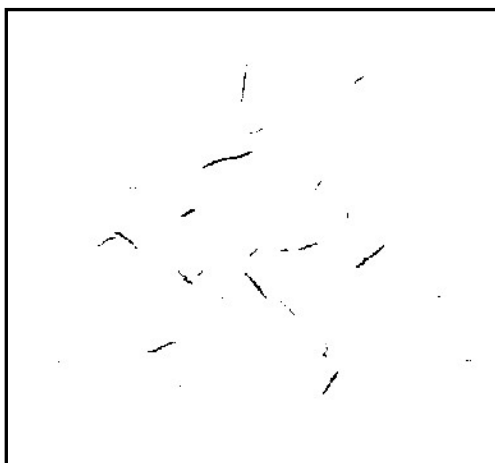
Pukotine usljed naprezanja prouzrokovane vodikom nazivaju se *bijele pjege*. One se javljaju pri hlađenju poslije kovanja ili valjanja uz temperaturu oblasti oko 200 °C. Opasnost od pojave ovih pukotina naročito je velika u slučaju kada se veliki otkivci suviše brzo hlade, tako da se vodonik iz vremenskih i prostornih razloga ne može osloboditi. Na izbruscima upravnim na pravac plastične deformacije bijele pjege se poslije luženja u HCl javljaju u vidu pravih ili savijenih pukotina, dugih nekoliko mm ili cm (slika 10).



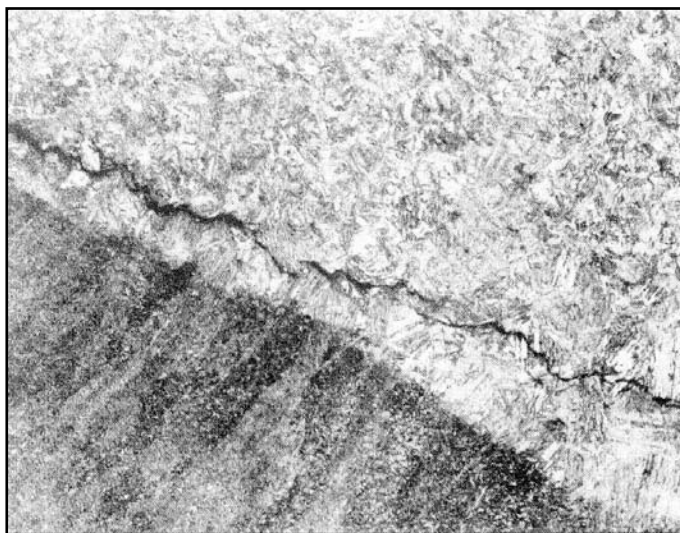
1:1

Sl. 10. Bijele pjege (proba plavog loma)

Na sl.10. prikazana je proba plavog loma čelika 37 MnV7 sa bijelim pjegama. Čelik je prije preloma zakaljen sa 850°C i otpušten na 350°C kako bi se postigla sitnozrna struktura prijeloma u kojoj se lako uočavaju grubokristalične i sjajne, okrugle bijele pjege. Jedanput nastale bijele pjege mogu se pod određenim u slovima ponovo zavariti kovanjem ili valjanjem na visokim temperaturama u slučaju kada su zidovi pukotine metalno sjajni i neoksidirani. Vodik prisutan u čeliku dovodi pod određenim uslovima do znatnog povećanja krtosti. Čvrstoća se nešto povećava, dok opadaju žilavost i naročito broj prevoja i kontrakcija kao i izduženje.



Sl.10. Pukotine usljed vodika (flokne)



HNO₃

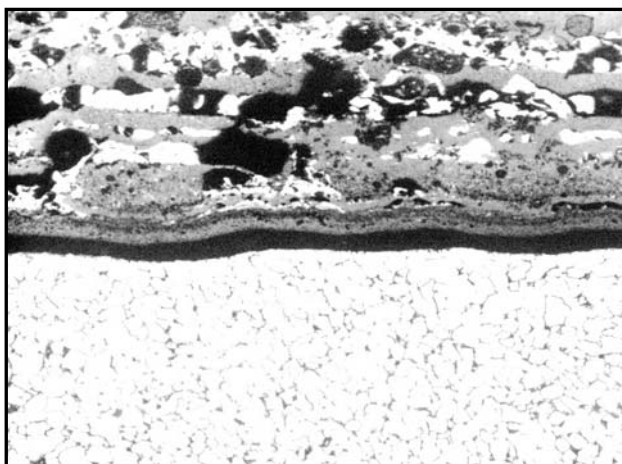
x5

Sl.11. "Hladna" pukotina u zavarenom, niskolegiranom čeliku

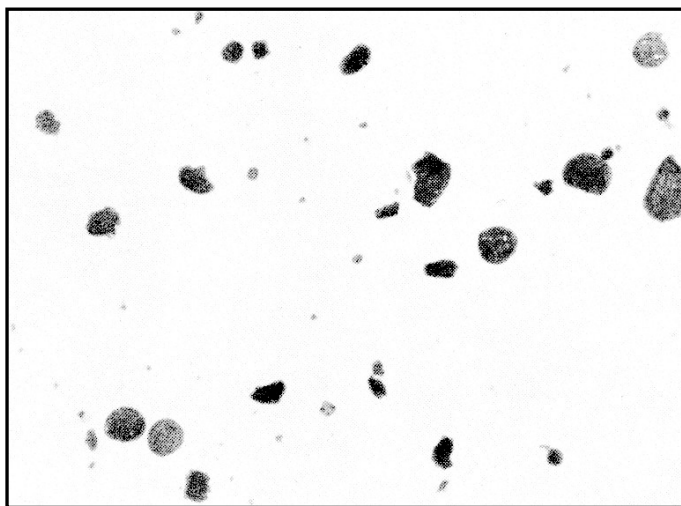
Pukotina u varu, prikazana na sl.11 je uzrokovana vodikom na temperaturama ispod 300°C u zoni uticaja toplote jednog niskolegiranog čelika. U donjem dijelu fotografije se primjećuje tipično fino-zrnasti, stubasto očvrnuti var metala.

3.3. Kisik - kiseonik (O)

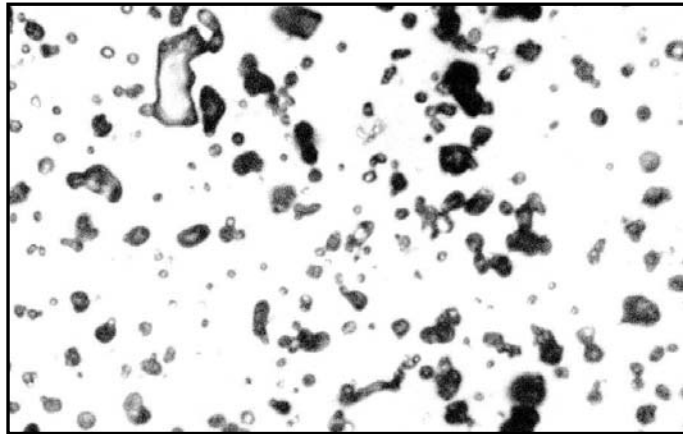
Kisik je apsolutno štetni prateći elemenat u čeliku i pri proizvodnji čelika se uvijek nastoji njegov sadržaj svesti na što manji iznos. Skoro sav sadržaj kisika nalazi se u čeliku u obliku oksida Fe, Mn, Si i Al (sl. 12,13,14) ovisno od korištenih sredstava za dezoksidaciju čelika, a kreće se od 0,005 do 0,060% O. Oksidi navedenih elemenata su nemetalni uključci koji djeluju u čeliku kao zarezi smanjujući čvrstoćne karakteristike, žilavost i deformabilnost, naročito u poprečnom smjeru []. Željezo stvara sa kiseonikom tri oksida (sl.12): romboedarski Fe_2O_3 , kubni Fe_3O_4 i kubni FeO , koji sadrži najviše željeza i prisutan je samo ponekad u čeliku kao mikrokonstituent pod nazivom vistic.



Sl. 12. Mješoviti sloj oksida na površini kotlovske cijevi



Sl.13. Uključci FeO izdvojeni metodom elektrolize



Nenagriženo

x 1500

Sl.14. Uključci Al_2O_3 (korund)

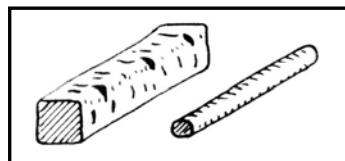
Vistit (Sl.13.) se u mikrostrukturi čelika nalazi u obliku sićušnih globula koje su ili statistički raspoređene, ili su raspoređeni duž granica zrna primarnih kristala austenita. U slučaju raspodjele duž granica zrna postoji opasnost od interkristalnih pukotina i preloma za vrijeme tople plastične deformacije.

Čelik koji je pri preradi zagrijavan do visokih temperatura (1000 i 1200⁰C) i to tako dugo da je kiseonik prodro u površinske slojeve smatra se **pregorjelim. Pregorjeli čelik** (sl.15) je krhak (krt) raspada se pri plastičnoj deformaciji i mora se stoga odbaciti.



Sl.15. Mikrostruktura pregorjelog čelika

Sl.15 prikazuje mikrostrukturu pregorjelog čelika. Na toj slici se jasno vidi da oksidacija pri nepravilnom zagrijavanju i razaranje materijala pri valjanju, se odvija po granicama zrna. Sl.16 prikazuje šematski izgled pregorjele gredice i okruglog profila.



Sl.16. Šematski prikaz pregorjele gredice i okruglog profila

4. KORISNI ELEMENTI – LEGIRAJUĆI ELEMENTI U ČELIKU

4.1. Nikl - Ni

Nikl proširuje oblast postojanja γ -čvrstog rastvora na dijagramu stanja Fe-Fe₃C. Nikl kao element koji stvara grafit, nalazi se u čvrstom rastvoru u feritu, znatno povećavajući njegovu čvrstoću bez primjetnog snižavanja žilavosti.

Nikl ima naročito velik uticaj na hemijska i fizička svojstva čelika. Niklov čelik koji sadrži 12-20 % nikla, stabilan je prema nagrizanju organskih kiselina i slabih lužina. Niklov čelik koji sadrži 5% nikla stabilniji je prema koroziji u slatkoj i morskoj vodi od ugljeničnog čelika.

Pri sadržaju 45-48 % nikla, koeficijent linearnog toplotnog širenja feroniklene legure (koja se naziva platinit) jednak je koeficijentu linearnog toplotnog širenja platine. Platinit se upotrebljava za izradu kontakta koji se leme za staklo.

4.2. Mangan - Mn

Mangan je jedan od veoma značajnih legirajućih elemenata. Čelik sa sadržajem od 15 % mangana se nalazi u austenitnom stanju i na sobnoj temperaturi (20⁰C), što znači da mangan znatno utiče na povećanje stabilnosti austenita i povećava njegov stepen podhlađivanja. Manganov čelik za mašinogradnju sadrži 0,1 – 0,7 % ugljenika i 1-2 % mangana.

Prednost Mn čelika u poređenju sa običnim čelikom je u povećanoj prokaljivosti, povećanoj čvrstoći i sniženoj tački hlađenja. Brojne prednosti manganovih čelika u odnosu na ugljenični čelik, javljaju se na polju habanja gdje mangan čelik daje veće povećanje čvrstoće pri deformaciji. Površinski sloj koji se obrazuje veoma je tvrd i otporan prema habanju.

4.3. Krom - Cr

Uspješna primjena kromnih konstrukcionih i alatnih čelika, vezana je u prvom redu sa time što krom, povećavajući stabilnost austenita, povećava prokaljivost, potpomaže dobijanje visoke i ravnomjerne tvrdoće, površine otporne na habanje i povećava stabilnost čelika protiv otpuštanja.

Poboljšavanje strukture čelika dobija se legiranjem hroma i nikla. Zajedničko prisustvo hroma i nikla predodređuje visoka eksploataciona svojstva cementiranih proizvoda zbog velike tvrdoće i otpornosti prema habanju cementiranog sloja u kome se nalaze karbidi hroma, visoke žilavosti, finog zrnastog i kaljenog jezgra pod uticajem nikla prisutnog u čeliku.

Široku upotrebu imaju i niskolegirani čelici. Oni se proizvode najčešće u obliku kovanih ili presovanih u kalupima elemenata i podvrgavaju termičkoj obradi.

Racionalnim legiranje putem neznatnog dodavanja niza elemenata dobijaju se znatna poboljšanja eksploatacionih i tehnoloških karakteristika niskolegiranog čelika u poređenju sa običnim ugljeničnim čelikom:

- a) povećavaju se mehanička svojstva (čvrstoća, plastičnost)
- b) povećava se prokaljivost ,
- c) smanjuju se unutrašnji naponi i krivljenje usljed primjene mekše sredine kaljenja,
- d) povećava se elastičnost ,
- e) poboljšavaju se ekpolatacioni kvaliteti u uslovima složenog naponskog stanja itd.

4.4. Volfram - W

Volfram ima ograničenu rastvorljivost u željezu, u čvrstom stanju: 1540⁰C u α -željezu rastvara se oko 30 % volframa, a pri 20⁰C, 4-5 %. Pri 6%, oblast postojanja čvrstih rastvora na bazi γ - željeza je zatvorena i legure sa većim sadržajem volframa od 6 % nemaju nikakve polimorfne transformacije u cijelom intervalu temperatura, od sobne do temperature topljenja.

Povoljni uticaj volframa na strukturu i osobine čelika sastoji se :

- a) u ukupnom snižavanju brzine svih difuznih procesa što dovodi do velike stabilnosti tvrdoće pri otpuštanju;
- b) u povećanju tvrdoće čelika na račun obrazovanja složenih karbida;
- c) u smanjenju naklonosti prema porastu zrna pri termičkoj obradi, usljed zadržavajućeg uticaja nerastvorenih, u čvrstom rastvoru stabilnih karbida.

Budući da potpomaže dobijanje i zadržavanje visoke tvrdoće, volfram se široko koristi u proizvodnji alatnog čelika gdje su zahtjevi povećane tvrdoće presudni.

4.5. Molibden - Mo

Molibden djeluje na osobine čelika već kod 0,2%. Znatno povećava zateznu čvrstoću čelika na povišenim temperaturama i trajnu čvrstoću na 400-600⁰C (sprječava puzanje čelika). Također sprječava i krtost popuštanja, tj smanjenje žilavosti pri popuštanju u temperaturnom području 475-600⁰C kod čelika legiranih hromom i manganom ili hromom i niklom. U konstrukcionim čelicima nalazi se u količinama 0,2 do 5%.

Molibden proširuje područje stabilnosti ferita i doprinosi hemijskoj stabilnosti čelika u korozivnim sredinama koje su jako zasićene jonima klora. Snižava sklonost austenitnih čelika prema pojavi pukotina. Pri zagrijavanju molibdenovih čelika u oksidnoj atmosferi, molibden pri povećanom njegovom sadržaju "izgori", zato ga pri zagrijavanju treba naročito pažljivo čuvati od oksidacije.

4.6. Vanadij - V

Djeluje slično kao molibden. Već pri 0,058 % povećava otpornost čelika prema starenju. Poboljšava stabilnost čelika pri popuštanju. Kao i volfram, vanadij se upotrebljava kao mikrolegirajući element kod čelika povišene visoke čvrstoće. Vanadij je aktivni dezoksidator i degazator, čime utiče na prečišćavanje čelika i poboljšava zavarljivost na račun vezivanja ugljenika u karbide i gasova u okside i nitride.

Napomena: primjere mikrostruktura legiranih čelika pogledati u metalografskoj fotogaleriji, na istoj WWW stranici!

5. LITERATURA

- [1] Hadžipašić A.: Materijali u Mašinstvu, Dom štampe Zenica, Zenica 2000.
- [2] Haračić N.: Inženjerski metalni i nemetalni materijali, Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet, Zenica - 2005.
- [3] Henkel D.: Structure and properties of ingeneering materials, fifth edition, MCGRAW-HILL series in material science, 2002
- [3] Pašić Z., Hadžihasić E.: BH ČELIK –Vrste i karakteristike čelika za kovane i valjane proizvode prema svjetskim standardima, Zenica,maj 2000. godine
- [4] Schumann H.: Metalografija-Tehnološko-Metalurški fakultet, Beograd ,1981.
- [6] Vitez I.: Materijali I i II -Sistemi legiranja, vrste i namjena čelika, Mašinski fakultet u Zenici, 1993.
- [7] *** Inženjersko tehnički priručnik u šest knjiga - ŠESTA KNJIGA - „Materijali“, Izdavačko preduzeće „Rad“,Beograd ,1979.
- [8] * * * BAS EN 10 020:2000 IDT - Definiranje i klasificiranje vrsta čelika