

Bogdan Stocca

## UVOD

Članek obravnava številne faktorje, ki vplivajo na mehanske in tehnološke lastnosti jekel za globoki vlek. Opisani so vplivi elementov v jeklu, vplivi vroče in hladne predelave ter vplivi staranja na omenjene lastnosti.

Naj bo naloga tega članka vsaj delno pojasniti, kakšna so ta jekla, kakšne mehanske in tehnološke lastnosti imajo, kaj lahko vpliva na njihovo večjo ali manjšo preoblikovalno sposobnost v hladnem in končno, kaj lahko od teh jekel pričakujemo.

Jekla za globoki vlek, ki se na tržišču pojavljajo predvsem v obliki hladno valjanih trakov, se izdelujejo v Siemens- Martinovih pečeh in v konvertorjih, predvsem po LD postopku.

Glede na način izdelave se ta jekla delijo v pomirjena in v nepomirjena. Kakor bomo kasneje videli, so lastnosti teh jekel v marsičem odvisne prav od načina izdelave. Pravimo, da so pomirjena jekla kvalitetnejša od nepomirjenih. Vzroke za to moramo iskati v večji čistoči jekla, v večji strukturni homogenosti in v enakomerniši razporeditvi spremljajočih elementov.

Ce se nekovinski vključki, ki jih srečamo v slehernem jeklu nahajajo v večjih količinah in v neprimernih obliki, zelo kvarno vplivajo na kvaliteto jekla. Največ vključkov zasledimo gledano po preseku, v sredini valjanih proizvodov, medtem ko so njihove površine zelo čiste. Še več, njihova koncentracija se, posebno pri nepomirjenih jeklih, spreminja tudi po dolžini hladno valjanih trakov. Tako zasledimo praviloma prekomerno količino vključkov na tistih delih trakov, ki pripadajo zgornjemu delu odlitkov, in manjšo na tistih delih trakov, ki pripadajo spodnjemu delu odlitkov. Vzroke za to nehomogenost moramo iskati v načinu izdelave in strjevanja teh jekel.

Iz hladno valjanih trakov, oziroma iz pločevine se izdelujejo s preoblikovanjem v hladnem najraz-

ličnejši predmeti, kot so ohišja za pralne stroje, ohišja za električne števec, žarometi, avtomobilske karoserije itd.

V železarni Jesenice izdelujemo dvoje vrst jekel, katerih smerno sestavo elementov predpisuje jugoslovanski standard C.B4.016, (glej tabelo I), smerne mehanske in tehnološke lastnosti pa standard C.B3.521. To sta jekli Č 0147 v nepomirjeni obliki in Č 0148 v pomirjeni obliki.

## Vpliv legirnih elementov

Vsaka prekomerna količina elementov v jeklih za globoki vlek negativno vpliva na njihovo plastičnost. Prav zaradi tega dejstva mora biti vsebnost nekaterih elementov, razen mangana, kar se da nizka. V teh jeklih vsi prisotni elementi tvorijo z železom zmesne feritne kristale ali pa tvorijo spojine, kot so karbidi, nitridi, sulfidi itd. Poznano je, da so številni avtorji s preizkusi dokazali, da meja plastičnosti, ki vpliva na globoki vlek, skoraj linearno narašča z naraščajočo količino elementov, posebno če so ti raztopljeni v feritu.

Najvplivnejši element v jeklih za globoki vlek je ogljik zaradi njegovega vpliva na mehanske in tehnološke lastnosti. Glej slike 21 in 22. Njegova vsebnost se običajno giblje med 0,03—0,08 %. Manjšo količino ogljika srečamo le pri tistih jeklih za globoki vlek, ki se uporabljajo za enoslojno emajliranje. Večja vsebnost ogljika od 0,08 % pa kvarno vpliva na globoki vlek.

Ogljik se pri sobni temperaturi nahaja v jeklu skoraj izključno vezan v perlit ali v cementit. Prikazali bomo nekaj primerov. Slika 1 prikazuje normalizirano strukturo jekla, v kateri so vidna homogena feritna zrna in fina ter homogena razpršena zrna perlita.

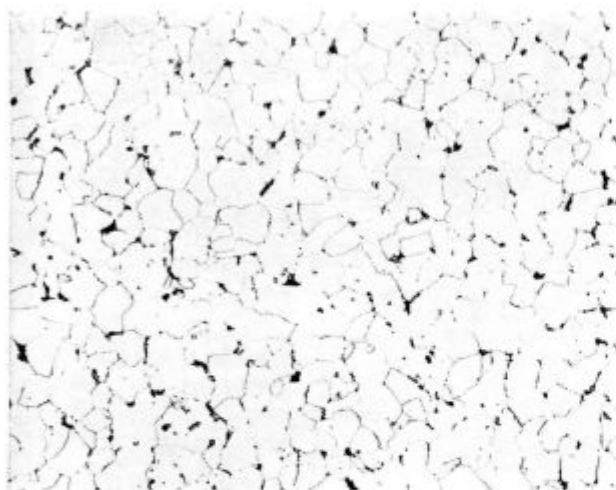
Slika 2 pa prikazuje normalno feritno strukturo z zrnatim cementitom, ki je nastal po rekristalizacijskem žarjenju.

Tabela I

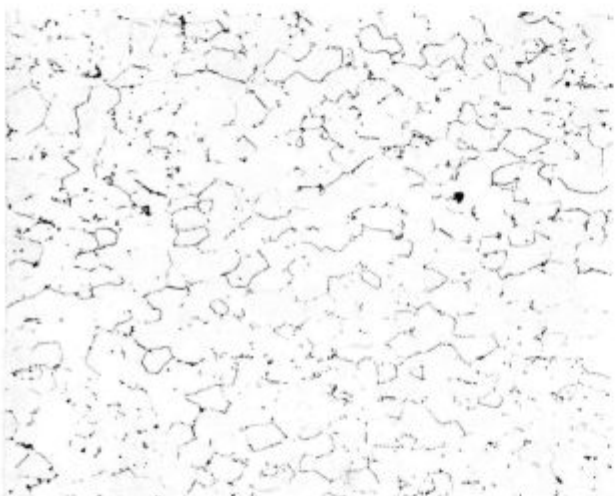
Kvaliteta	Sestava elementov v %					
	C	Si	Mn	P	S	Al
Č 0147	≤ 0,1	≤ 0,2	0,2—0,45	≤ 0,045	≤ 0,045	—
Č 0148	≤ 0,1	≤ 0,2	0,2—0,45	≤ 0,030	≤ 0,045	cca 0,05

Bogdan Stocca je diplomirani inženir metalurgije in višji strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice

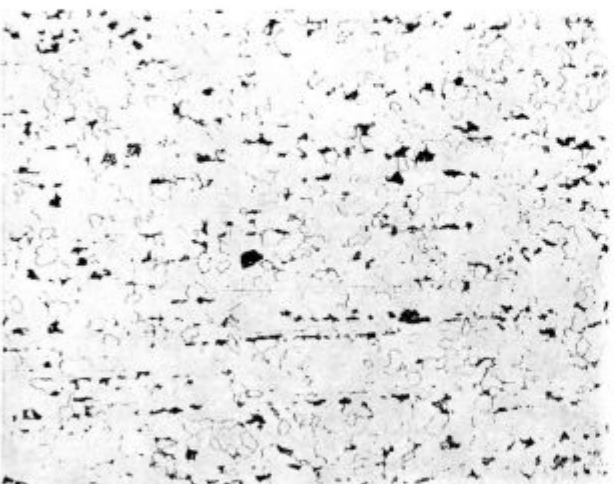
Kot posledica nepravilnega valjanja ali zaradi nečistoč se perlit lahko razporedi v trakove, katerih obliko prikazuje slika 3.



Slika 1  
Feritno perlitna struktura — 100 ×



Slika 2  
Struktura ferita z zrnatim cementitom — 100 ×



Slika 3  
Trakasta razporeditev perlita — 100 ×

Slika 4 pa prikazuje strukturo s trakastim zrnatim cementitom, ki je nastala iz trakasto razporejenega perlita, po rekristalizacijskem žarjenju

Zelo sta škodljivi tudi obliki terciarnega cementita (slika 5) in oblika degeneriranega perlita (slika 6). Terciarni cementit nastane kot posledica nepravilne vroče predelave, oziroma nepravilne temperature žarjenja, degeneriran perlit pa kot posledica nepravilne temperature vroče predelave.



Slika 4  
Trakasta razporeditev zrnatega cementita — 100 ×



Slika 5  
Terciarni cementit — 100 ×

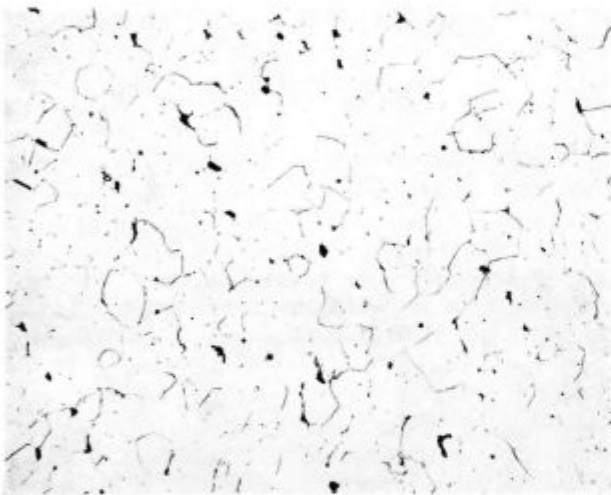
Glede na to, da so izceje ogljika na zgornjem delu blokov večje, lahko naletimo pri nepomirjenih jeklih, oziroma trakovih na dve po vsebnosti perlita popolnoma različni strukturi, odvisni pač od tega, kateremu delu blokov trakovi pripadajo. Na sliki 7 je razvidna struktura toplovaljanih trakov, ki pripada spodnjim delom blokov, na sliki 8 pa struktura z veliko količino perlita v trakasti obliki, ki pripada zgornjim delom blokov. Gledano po preseku se ta trakasti perlit nahaja v večjih



Slika 6  
Degeneriran perlit — 100 ×



Slika 8  
Struktura z veliko količino perlita — 100 ×



Slika 7  
Struktura z malo perlita — 100 ×



Slika 9  
Naogljčena sredina — 100 ×

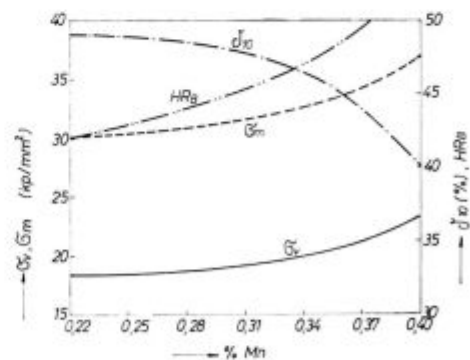
količinah le v sredini po debelini trakov, medtem ko imajo plasti na zunanjih površinah normalno količino in razporeditev perlita. Tako razporeditev imenujemo naogljčena sredina.

Slika 9 pa prikazuje strukturo naogljčene sredine po hladnem valjanju in po rekristalizacijskem žarjenju. Zunanje plasti so skoraj brez cementita, medtem ko je sredina močno naogljčena.

Ker je ta neenakomerna razporeditev perlita predvsem poudarjena pri nepomirjenih jeklih, je jasno, da bodo pri teh jeklih mehanske in tehnološke lastnosti podvržene močnemu nihanju.

Silicij je element, ki je v nepomirjenem in v pomirjenem jeklu za globoki vlek zelo nezaželen. Ta element ima to slabo lastnost, da močno dvigne trdnost in posebno mejo plastičnosti ter da poslabša sposobnosti jekla za globoki vlek. Silicija naj ne bi bilo v jeklu več kot 0,03 %.

Tretji zelo pomemben element v teh jeklih je mangan. Vsebnost mangana se giblje med 0,28 in



Slika 10  
Vpliv mangana na mehanske lastnosti

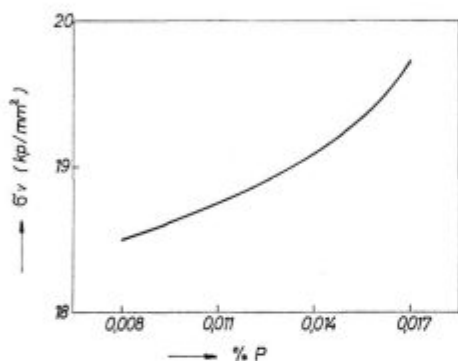
0,45 %. Njegov vpliv je raznolik. V jeklu se veže na žveplo in kisik ter tvori nekovinske vključke.

Del mangana se substitucijsko raztoplja v feritu. Vpliv tega raztopljenega mangana na mehanske lastnosti rekristalizacijsko žarjenih trakov prikazuje diagram na sliki 10.

Vse ostale elemente, ki se nahajajo v jeklu, smatramo kot nečistoče, razen seveda aluminija, ki ga namerno dodajamo pomirjenemu jeklu za globoki vlek. Zaradi navedenega je zaželeno, da je teh škodljivih elementov v jeklu čim manj. Vse norme zato predpisujejo za nekatere od teh elementov njihovo maksimalno dovoljeno vsebnost.

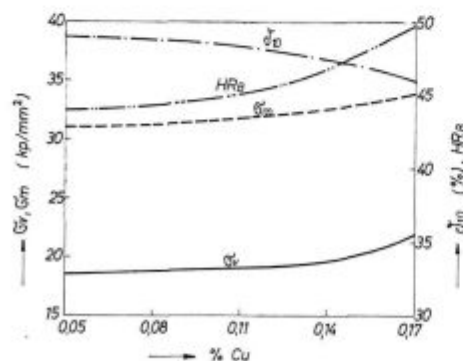
Med vsemi temi elementi izstopa žveplo, ki močno poslabša plastične lastnosti pomirjenih in nepomirjenih jekel. Žveplo tvori podolgovate lasnate sulfidne vključke, ki so razpotegnjeni v smeri deformacije. Posebno nevarno je žveplo pri nepomirjenih jeklih zaradi blokovnih izcej. Vsebnost žvepla naj ne bi pri obeh jeklih presegala vrednost 0,025 %.

Zelo nezaželen element v jeklu je tudi fosfor, katerega vsebnost naj bi bila manjša od 0,020 %. Fosfor poslabša mehanske lastnosti rekristalizacijsko žarjenih trakov. Njegov vpliv na mejo plastičnosti je prikazan v diagramu slike 11.



Slika 11  
Vpliv fosforja na mejo plastičnosti

Kakor je iz slike 12 razvidno, poslabša baker mehanske lastnosti rekristalizacijsko žarjenih trakov. Menimo, da baker vse do vsebnosti 0,15 % nima bistvenega vpliva na globoki vlek, vendar le pod pogojem, da jeklo ne vsebuje istočasno več kot 0,30 % Mn. Baker je tako kot nikelj raztopljen v feritni osnovi.

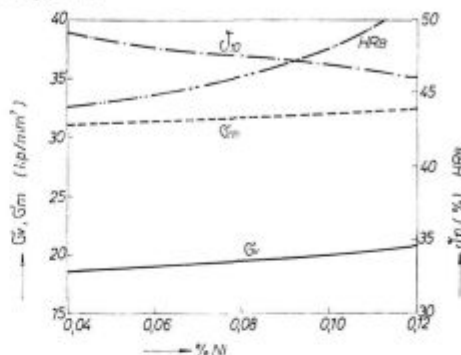


Slika 12  
Vpliv bakra na mehanske lastnosti

Približno enak vpliv na mehanske lastnosti in na plastičnost kot baker ima še nikelj, katerega koli-

čina v jeklu naj ne bi presegala vrednosti 0,08 %. Vpliv niklja na mehanske lastnosti žarjenih trakov prikazuje diagram na sliki 13.

Arzen in kositer tudi smatramo za škodljiva elementa, čeprav nastopata v zelo majhnih količinah. Oba elementa sta delno topna v feritu in zato poslabšata mehanske lastnosti jekel za globoki vlek. Kot posebno škodljiv se smatra kositer. Kositra naj bi bilo v jeklu največ 0,020 %, arzena pa največ 0,03 %.



Slika 13  
Vpliv niklja na mehanske lastnosti

Aluminij zasledimo le pri kvaliteti Č 0148, in to v količinah, ki se gibljejo v mejah 0,03 — 0,06 %. Aluminij se nahaja v jeklu delno v obliki nekovinskih vključkov, delno pa raztopljen v feritu.

Za preprečitev pojavov staranja dodajajo nekaterim jeklom za globoki vlek namesto aluminija vanadij, ki se podobno kot aluminij veže na dušik in tvori obstojni VN. V bistvu so to nepomirjena jekla za globoki vlek.

Nekaterim jeklom za globoki vlek, ki so bila namenjena za emajliranje, so včasih dodajali titan, vendar se ta jekla več ne izdelujejo. Zamenjala so jih razogljivena jekla z manj kot 0,005 % C.

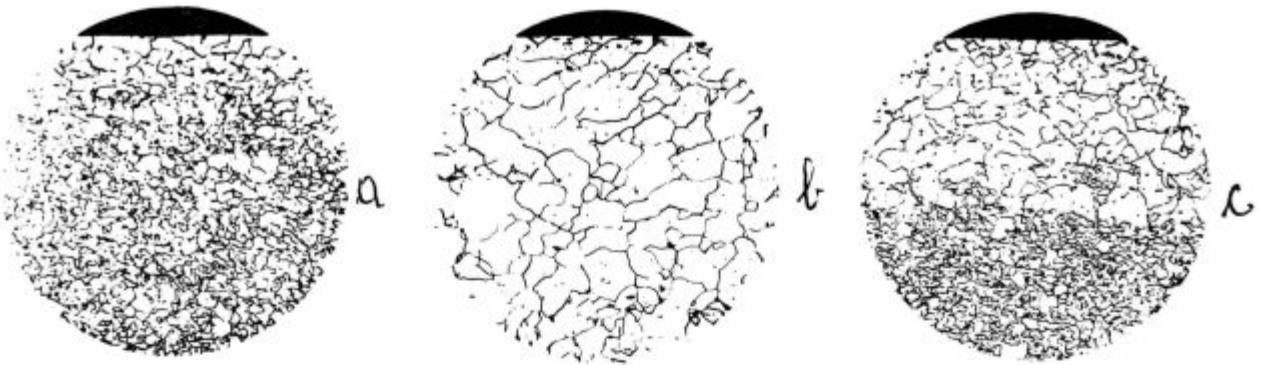
Na koncu opisa vpliva elementov na mehanske lastnosti obravnavanih jekel navajamo še tabelo II, ki nam prikazuje maksimalne dovoljene vrednosti kisika, vodika in dušika. Nekaterne norme predpisujejo maksimalno količino teh elementov (Japonska, ZDA) zato, da bi tem jeklom zagotovile maksimalno plastičnost v hladnem stanju.

Tabela II

Kvaliteta jekla	Vsebnost elementov v %		
	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Nepomirjena	0,02—0,03	0,0002—0,0004	0,001—0,002
Pomirjena	0,01—0,02	0,0002—0,0004	0,002—0,003

**Topla predelava**

Nič manj pomembna kot izdelava jekla, oziroma kot vsebnost elementov je vroča predelava. Za doseganje dobrih mehanskih lastnosti in lastnosti globokega vleka hladno valjanih trakov je izredno pomembna končna temperatura valjanja in tempe-



Slika 14

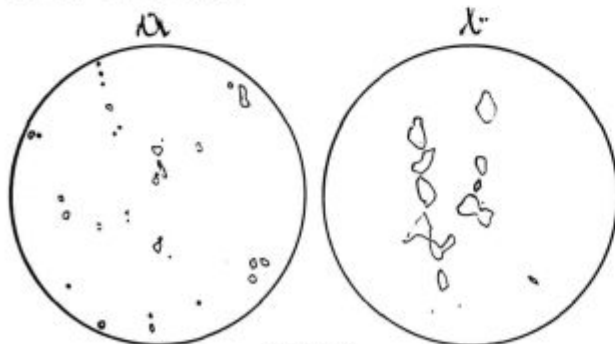
Vpliv temperature valjanja nad ali pod  $A_c$  na velikost feritnega zrna — 100 ×

ratura navijanja toplo valjanih trakov. Obe temperaturi imata namreč odločujoč vpliv na strukturo materiala. Pri vročem valjanju ni glede na končno temperaturo valjanja trakov nobenih razlik med pomirjenimi in nepomirjenimi jekli za globoki vlek. Ta temperatura se mora gibati nad  $870^{\circ}\text{C}$ , valjanje se mora torej prenehati nad točko Ar 3. Če prenehamo z valjanjem v čistem avstenitu, nastanejo po velikosti zelo homogena feritna zrna, seveda pod pogojem, da navijamo kolobarje pri temperaturah pod  $670^{\circ}\text{C}$ . Slika 14a.

Valjanje globoko pod kritično temperaturo, torej v območju dveh faz, pa pušča v materialu določene napetosti, zaradi katerih nastanejo pri rekristalizacijskem žarjenju groba zrna. Če se deformacija vrši pri prenizkih temperaturah in če je deformacija dovolj velika, nastanejo groba zrna po celem preseku (slika 14 b), če pa je manjšega obsega, pa nastanejo groba zrna le na zunanjih površinah trakov (slika 14 c).

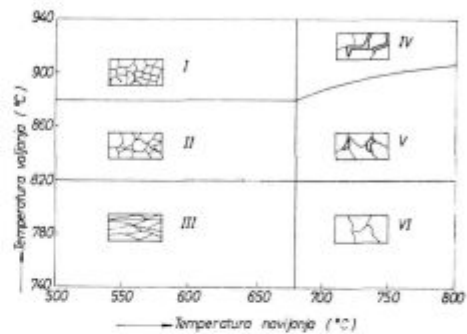
Višina končne temperature valjanja in temperature navijanja vplivata tudi na razporeditev in na velikost karbidnih zrn. Tako nastanejo pri končni temperaturi valjanja nad  $870^{\circ}\text{C}$  in temperaturi navijanja pod  $670^{\circ}\text{C}$  v rekristaliziranem traku drobni in homogeno razpršeni karbidi (slika 15 a), pri isti končni temperaturi valjanja in temperaturi navijanja nad  $670^{\circ}\text{C}$  pa grobi karbidi (slika 15 b).

Diagram na sliki 16 grafično prikazuje za obe vrsti jekel strukture, ki jih dosežemo pri različnih temperaturah valjanja in navijanja toplo valjanih trakov v kolobarje.



Slika 15

Vpliv temperature navijanja na velikost cementitnih zrn — 100 ×



Slika 16

Vpliv temperature valjanja in navijanja na strukturo

I — Enakomerna velikost zrn ferita z drobnim izločenim cementitom

II — Neenakomerna velikost zrn ferita. Na površini so zrna ferita večja

III — Razpotegnjena zrna ferita zaradi valjanja pri prenizkih temperaturah

IV — Enakomerno groba zrna ferita z grobimi zrnimi cementita

V — Neenakomerna zrna ferita z zelo grobimi zrnimi na površini in grobim cementitom

VI — Prekomerno groba zrna ferita.

Iz vsega navedenega je jasna pomembnost temperatur valjanja in navijanja.

Pri ohlajevanju trakov po valjanju se zaradi načina ohlajevanja (vodne prhe) površina mnogo hitreje ohlaja od sredine (debeline) trakov. Ker pa mora temperatura po celem preseku pasti pod prej navedeno kritično temperaturo ohlajevanja in ker se pri valjanju v bistvu meri le temperatura ohlajene površine, se morajo trakovi (v resnici površina trakov) dejansko ohlajevati na mnogo nižje temperature. V obratnem slučaju bi obstajala nevarnost, da bi se trakovi, ko bi bili naviti v kolobarje, zaradi višje akumulirane toplote trakov (višje temperature sredine) ponovno ogreli nad kritično temperaturo, kar bi imelo za posledico poslabšanje strukture.

Pomirjeni trakovi pa se morajo zelo hitro ohladiti na temperaturno območje  $550^{\circ}\text{C}$  tudi zaradi preprečevanja izločanja AlN. Kakor bo kasneje raz-

vidno, imajo aluminijevi nitridi odločujočo vlogo pri oblikovanju feritnih zrn, ki nastanejo pri rekristalizacijskem žarjenju hladno valjanih trakov.

Končna temperatura valjanja in navijanja močno vplivata tudi na mehanske lastnosti toplo valjanih trakov. S padajočo temperaturo valjanja (pri konstantni temperaturi navijanja) in padajočo temperaturo navijanja (pri konstantni temperaturi valjanja), naraščata meja plastičnosti in trdnost, pada pa raztezek. Naslednja tabela prikazuje te vrednosti v odvisnosti od navedenih temperatur za jeklo z 0,07 % C in 0,35 % Mn.

Tabela III

Temperatura °C		$\sigma_s$	$\sigma_n$	$\delta_{10}$	$\delta_2$	HRB
konec valjanja	navijanja	Kp/mm <sup>2</sup>	kp/mm <sup>2</sup>	%	%	
Vplivi temperature valjanja						
800	540	31,5	42,0	26,9	35,1	63
820	540	29,7	41,1	27,8	35,9	63
850	550	27,5	37,1	29,1	37,1	61
880	540	26,0	36,0	31,2	39,3	59
Vplivi temperature navijanja						
870	550	26,4	36,2	31,0	38,6	60
880	610	25,0	34,9	31,5	39,3	57
880	650	23,4	33,7	33,1	40,1	54
880	710	21,1	31,0	34,0	43,1	52

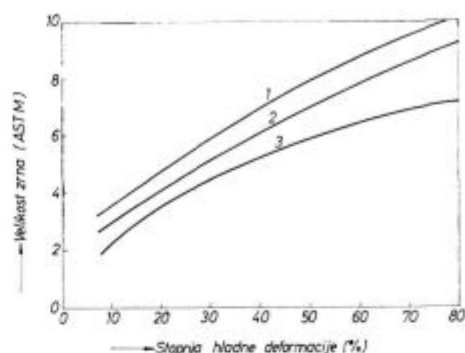
### Luženje

Toplo valjane trakove pred hladnim valjanjem obvezno lužimo. Produkti oksidacije se lahko odstranjujejo na različne načine, vendar se toplo valjani trakovi skoraj praviloma lužijo v 10 do 15 % HCl kislini pri temperaturah 70–80° C ali v 15–20 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kislini pri temperaturah 90–95° C. Čas luženja v navedenih kislinah ne sme biti večji od 60 sekund, seveda pod pogojem, da je bila pri vročem valjanju odstranjena z brizganjem (120 atm.) vsa primarna in sekundarna škaja. Na kvaliteto in debelino šlake in s tem na hitrost odstranjevanja šlake pa močno vpliva tudi temperatura navijanja toplo valjanih trakov. Pri končni temperaturi valjanja 880° C in pri temperaturi navijanja 550° C znaša debelina šlake cca 14 μ.

### Hladno valjanje

Namen hladnega valjanja ni le v tem, da se doseže zaželena debelina in ožje dimenzijske tolerance ter gladka površina trakov, temveč tudi, da dobijo trakovi s primerno stopnjo deformacije in z rekristalizacijskim žarjenjem ter poznejšim dresiranjem strukturo, ki naj bi zagotavljala čim višjo stopnjo preoblikovanja v hladnem.

Med mikro strukturo toplo in hladno valjanih trakov obstaja določena zveza. Kakor je iz naslednjega diagrama razvidno (slika 17), je velikost rekristaliziranega feritnega zrna hladno valjanih trakov odvisna od stopnje hladnega valjanja in od izhodne velikosti zrn toplo valjanih trakov.



Slika 17

Krivulja 1 izhodna velikost zrn ferita po ASTM 8  
Krivulja 2 izhodna velikost zrn ferita po ASTM 7  
Krivulja 3 izhodna velikost zrn ferita po ASTM 6

Iz navedenega diagrama je razvidno, da cca 50 % deformacija nima bistvenega vpliva na spremembo velikosti izhodnega zrna toplo valjanih trakov. Večji vpliv na velikost zrna zaznamujemo pri višjih stopnjah deformacije, in to v smeri dobivanja finejšega zrna in pri nižjih stopnjah deformacije v smeri dobivanja bolj grobega feritnega zrna.

Obnašanje perlita pri hladnem valjanju je odvisno od njegove oblike in razporeditve v toplo valjanih trakovih. Tako bodo ostala groba perlitna zrna, ki imajo kepasto obliko, po deformaciji skoraj nedotaknjena, medtem ko se bo perlit, ki je izločen po kristalnih mejah, pri hladni deformaciji drobil in razporedil v smeri valjanja.

Hladno valjanje vpliva tudi na obliko vključkov. Tako se razpotegnjeni sulfidni vključki pri hladnem valjanju drobijo in jih zato v strukturi hladno valjanih trakov težko opazimo. Kljub temu pa ostajajo ti vključki izredno škodljivi za globoki vlek. Kepasti oksidni vključki pa obdržijo, v kolikor niso preveč veliki, po hladnem valjanju svojo prvotno obliko.

Hladno valjanje močno vpliva na mehanske lastnosti trakov. Tako z naraščajočo stopnjo deformacije narašča trdnost, pada pa raztezek. V tabeli IV so navedene vrednosti za določeno stopnjo hladnega utrjevanja, ki jih okvirno predpisujejo standardi JUS C.B3.521.

### Zarjenje hladno valjanih trakov

Po hladnem valjanju, če ni drugače zahtevano, se trakovi rekristalizacijsko žarijo. Najpogosteje se tesno naviti ali odmotani kolobarji (open coils) žarijo v zvonastih pečeh in to v zaščitnih atmosferah.

Tabela IV

Stopnja utrjevanja		$\sigma_{0.2}$ kp/mm <sup>2</sup>	$\delta_{10}$ %	Stopnja deformac. %	Erichsen (mm) za 0.75 mm
predelava	kvaliteta				
mehko žarj.	HT 28	28 — 40	≥ 25	—	C 0147 ≥ 9.73 C 0148 ≥ 10.3
ojačano	HT 30	30 — 42	≥ 23	0,5 — 3,0	—    —
$\frac{1}{8}$ trdo	HT 32	32 — 44	≈ 16	1 — 20	ni zahtevan
$\frac{1}{4}$ trdo	HT 40	40 — 50	≈ 10	12 — 30	ni zahtevan
$\frac{1}{2}$ trdo	HT 45	45 — 55	≈ 5	20 — 40	ni zahtevan
$\frac{3}{4}$ trdo	HT 55	55 — 65	≈ 3	40 — 70	ni zahtevan
trdo	HT 60	≥ 60	≈ 2	≥ 65	ni zahtevan

Tehnologija žarjenja pomirjenih in nepomirjenih hladno valjanih trakov je običajno različna. Po enem postopku ogrevamo trakove počasi in kontinuirno do temperature žarjenja 680° C, po drugem, tako imenovanem stopničastem postopku, pa ogrevamo material najprej do temperature 600° C, ga zadržujemo na tej temperaturi in ga nato ogrevamo do temperature 680° C. Po končanem žarjenju se trakovi počasi ohlajajo v peči. Po prvem postopku se žarijo nepomirjeni in lahko tudi pomirjeni trakovi, po drugem postopku pa le pomirjeni trakovi jekel za globoki vlek.

Struktura, ki jo dobimo po kontinuirnem postopku nepomirjenih jekel, je razvidna na sliki 18, struktura po stopničastem postopku pa na sliki 19 in 20.

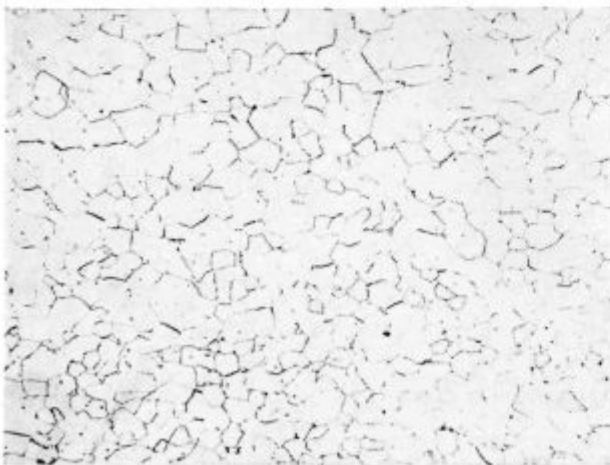
Razpotegnjena feritna zrna, ki so najbolj prikladna za globoki vlek, nastanejo, kakor je bilo že

rečeno, kot posledica prisotnosti AlN v pomirjenem jeklu. Pri tej strukturi naj bi bilo razmerje med dolžino in širino zrna 3—4 : 1.

Mehanski rezultati rekristalizacijsko žarjenih trakov so odvisni v precejšnji meri tudi od stopnje hladne deformacije in od vsebnosti ogljika v jeklu. Potek teh lastnosti za nepomirjeno jeklo v odvisnosti od navedenih parametrov podajata sliki 21 in 22.

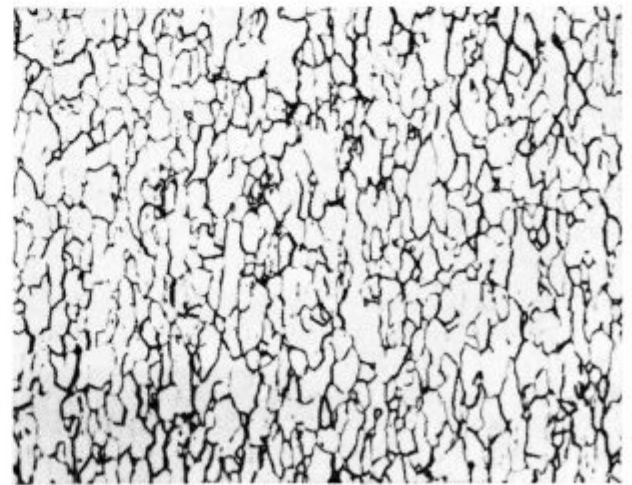
### Dresiranje

Po končanem zadnjem rekristalizacijskem žarjenju imajo trakovi pomirjenih in nepomirjenih jekel zelo ugodne mehanske lastnosti in odlični globoki vlek. Vendar se tako obdelani trakovi skoraj praviloma dresirajo z namenom, da bi dosegli



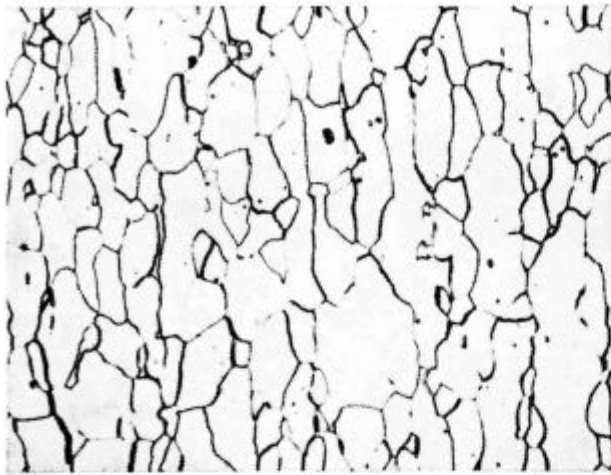
Slika 18

Rekristalizirana struktura nepomirjenega jekla — 100 ×

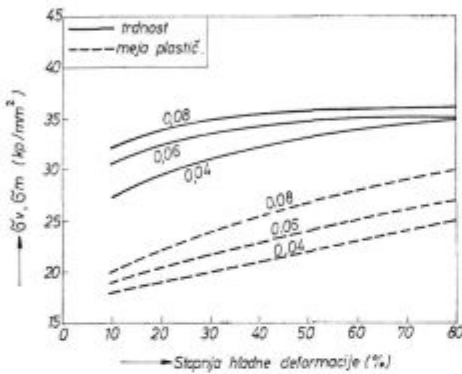


Slika 19

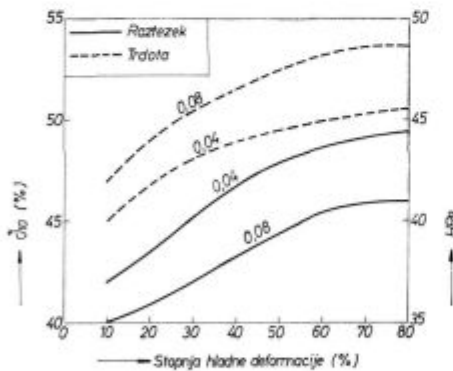
Rekristalizirana struktura pomirjenega jekla — 100 ×



Slika 20  
Rekristalizirana struktura pomirjenega jekla — 500 ×



Slika 21  
Vpliv stopnje deformacije in vsebnosti ogljika na mejo plastičnosti in trdnost



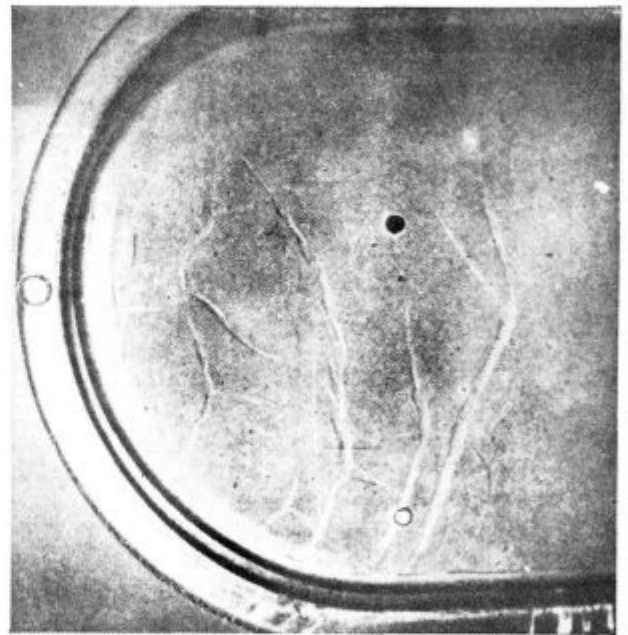
Slika 22  
Vpliv stopnje deformacije in vsebnosti ogljika na raztezek in trdoto

čim bolj gladko površino trakov, da bi preprečili prepogibanje površine »klecanje« in da bi se izognili pojavom lezenja pri globokem vleku.

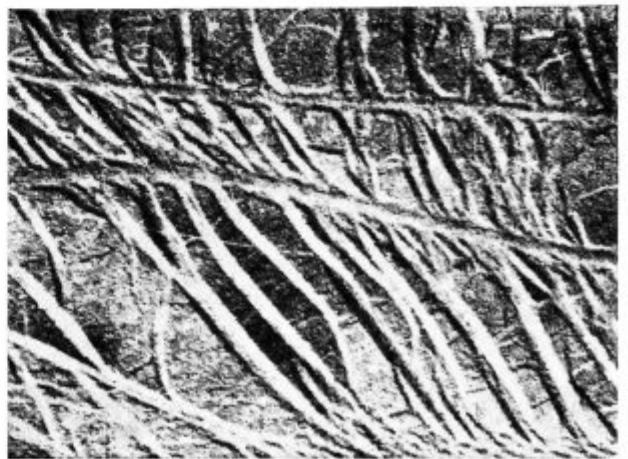
Prepogibanje ne vpliva na mehanske in druge lastnosti trakov, je pa nezaželeno. Prepognjena mesta so z očesom zelo vidna, tako da izredno vplivajo na videz površine trakov, kakor tudi na videz površine preoblikovanih in izdelanih predmetov, posebno tistih, ki se galvanjsko prevlečejo. Ta

prepognjena mesta je nemogoče odpraviti z dresiranjem, potrebna je večja stopnja deformacije, ki pa jo je zaradi predpisanih dimenzij že izdelanih trakov nemogoče izvesti.

Kakor je bilo že omenjeno, se ojačanje izvede tudi z namenom, da preprečimo nastajanje Lüdersovih figur na površini hladno izoblikovanih predmetov, slika 23 a in 23 b. Te figure nastanejo kot posledica prevelikega podaljška materiala v območju lezenja. To območje lezenja pa je mogoče odstraniti z rahlo deformacijo žarjenih trakov. Vpliv manjših deformacij na obliko krivulj trganja in s tem na območje lezenja prikazuje diagram na sliki 24. Izrazito območje lezenja imajo diagrami žarjenih in staranih nepomirjenih trakov. Pri pomirjenih hladno valjanih trakovih pa zasledimo to območje lezenja na žarjenih trakovih in na trakovih, ki so bili umetno starani pri temperaturah nad 250° C.

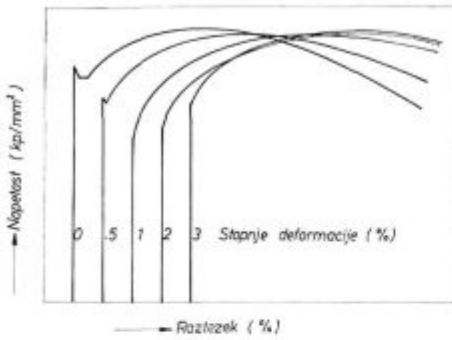


Slika 23 a



Slika 23 b  
Lüders-ove figure





Slika 24  
Oblika krivulj trganja v odvisnosti od stopnje hladne deformacije

V Železarni Jesenice smo vse preiskave vpliva dresiranja na mehanske lastnosti in poznejšega staranja izdelali na pomirjenih in nepomirjenih trakovih, katerih vsebnost elementov se je gibala v navedenih mejah:

Č 0147		Č 0148	
C	0.04—0.08 %	C	0.04—0.07 %
Si	sledi	Si	sledi
Mn	0.31—0.34 %	Mn	0.28—0.32 %
P	0.009—0.015 %	P	0.011—0.014 %
S	0.017—0.023 %	S	0.015—0.020 %
Cu	0.15—0.19 %	Cu	0.17—0.19 %
Cr	0.04—0.07 %	Cr	0.05—0.07
Sn	0.017—0.022 %	Sn	0.015—0.019 %
Ni	0.08—0.09 %	Ni	0.07—0.08 %

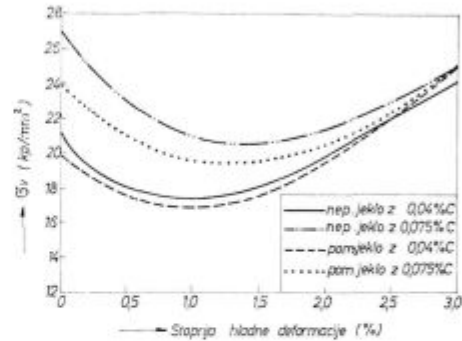
Toplo valjani trakovi so se hladno deformirali od debeline 3 mm na debelino hladno valjanih trakov 0.75 mm. To 75 % hladno deformacijo smo si izbrali zato, ker nam ta deformacija posebno pri nepomirjenih jeklih zagotavlja doseganje najbolj ugodnih lastnosti globokega vleka.

Po hladnem valjanju so se trakovi rekristalizacijsko žarili v zvonastih pečeh, in to nepomirjeni trakovi pri temperaturi 680° C, pomirjeni trakovi pa stopničasto pri 600 in 680° C.

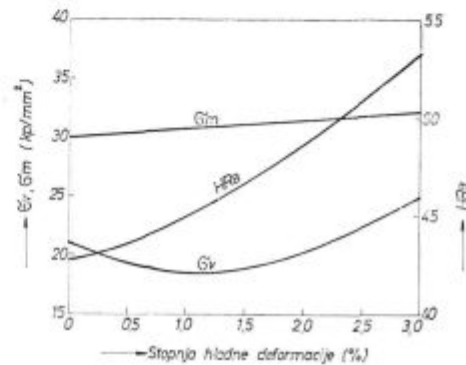
Po rekristalizacijskem žarjenju smo izdelali še metalografske preiskave, ugotovili smo zelo ugodno feritno strukturo z drobnim in enakomerno izločenim zrnatim cementitom. Na žarjenih pomirjenih in nepomirjenih trakovih smo izdelali pred dresiranjem tudi preiskave trdnosti, meje plastičnosti in raztezka ter preiskave globokega vleka po Erichsenu. Rezultati teh preiskav v odvisnosti od vsebnosti ogljika so razvidni v posameznih diagramih, ki sledijo.

Ti trakovi so se po žarjenju dresirali v območju od 0—3 %, in to v intervalu od 0.5 %. Slika 25 prikazuje vpliv različnih stopenj hladne deformacije na potek meje plastičnosti pomirjenih in nepomirjenih jekel z 0,04 % in 0,075 % C. Kakor je iz diagrama razvidno, te vrednosti padajo z naraščajočo stopnjo dresiranja, vendar le do neke določene vrednosti, po kateri začnejo naraščati. Ta naj-

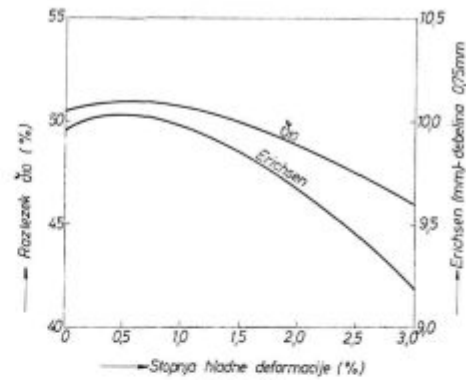
nižja vrednost meje plastičnosti se giblje med 0,8 in 1,5 % hladne deformacije, odvisno pač od vsebnosti ogljika v jeklu.



Slika 25  
Vpliv stopnje deformacije na vrednosti meje plastičnosti



Slika 26  
Vpliv stopnje deformacije na mejo plastičnosti, trdnost in trdoto



Slika 27  
Vpliv stopnje deformacije na vrednosti raztezka in globokega vleka po Erichsenu

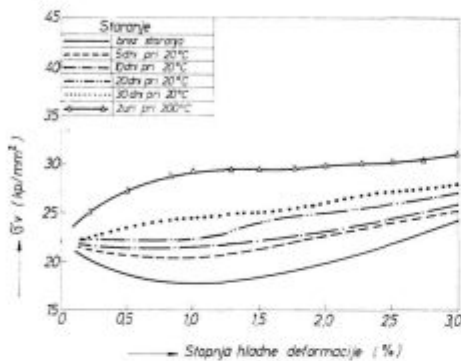
Iz navedenega diagrama je tudi razvidno, da imajo pomirjeni trakovi pri enakih stopnjah deformacije in enakih procentih ogljika nižje vrednosti od nepomirjenih trakov. Te vrednosti so bolj izrazite pri nižjih deformacijah, manjše pa pri večjih deformacijah.

Diagrama na slikah 26 in 27 prikazujeta vpliv stopnje deformacije med 0 in 3 % na mejo plastičnosti, raztezek, trdnost, trdoto in na vrednost globokega vleka po Erichsen-u nepomirjenega jekla z 0,045 % C. Posebno poudarjen je vpliv dresiranja na vrednosti raztezka in globokega vleka.

**Staranje**

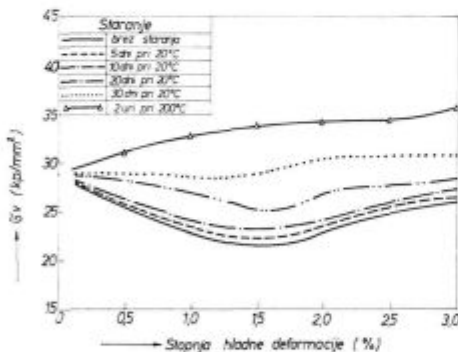
Da bi ugotovili, kako vplivajo različne stopnje dresiranja na staranje hladno valjanih trakov, smo za vsako stopnjo deformacije posebej izdelali preiskave spremembe mehanskih in tehnoloških lastnosti po 5, 10, 20 in 30 dneh naravnega staranja in umetnega staranja pri 200°C/2h. Rezultate, ki smo jih pri tem dosegli, ponazarjajo diagrami od 28 do 32.

Diagram na sliki 28 prikazuje potek meje plastičnosti nepomirjenih jekel z vsebnostjo 0,04—0,05 % C v odvisnosti od stopnje deformacije po naravnem in umetnem staranju. Iz diagrama je razvidno, da vrednosti meje plastičnosti z naraščajočim časom naravnega staranja več ali manj konstantno naraščajo, ne glede na stopnjo deformacije. Zelo pa vpliva na naraščanje meje plastičnosti umetno staranje, ne glede na stopnjo deformacije. Na splošno vzeto pa so vrednosti meje plastičnosti sorazmerno nizke zaradi nizke vsebnosti ogljika v trakovih.



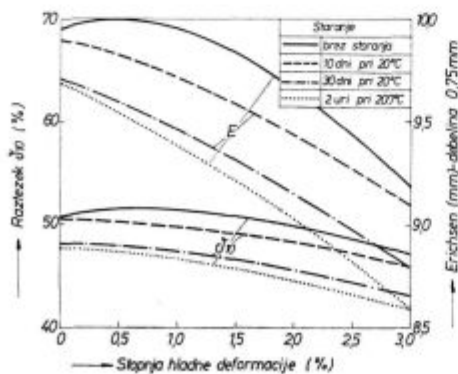
Slika 28

Vpliv staranja na mejo plastičnosti nepomirjenega jekla z 0,04—0,05 % C.



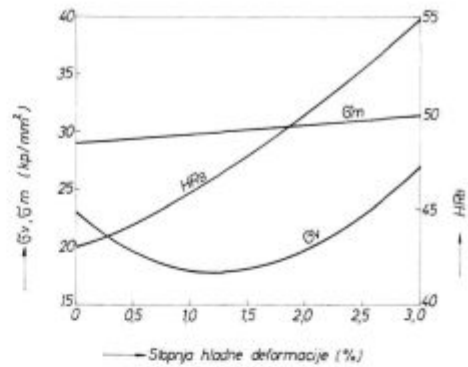
Slika 29

Vpliv staranja na mejo plastičnosti nepomirjenega jekla z 0,07—0,08 % C.



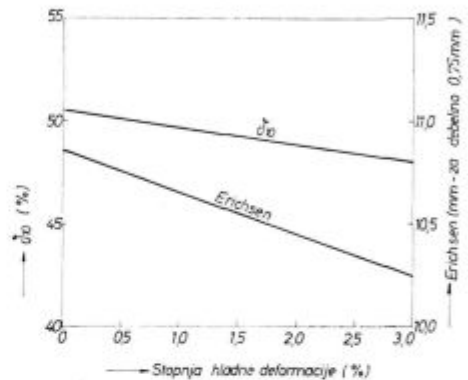
Slika 30

Vpliv staranja na raztezek in na globoki vlek



Slika 31

Mehanske lastnosti nestaranih in staranih pomirjenih trakov



Slika 32

Mehanske lastnosti nestaranih in staranih pomirjenih trakov

jočim časom naravnega staranja več ali manj konstantno naraščajo, ne glede na stopnjo deformacije. Poslabšanje lastnosti je opazno že po petih dneh naravnega staranja. Zelo pa vpliva na naraščanje meje plastičnosti umetno staranje, ne glede na stopnjo deformacije. Na splošno vzeto pa so vrednosti meje plastičnosti sorazmerno nizke zaradi nizke vsebnosti ogljika v trakovih.

Nekoliko spremenjeno lego in obliko imajo na sliki 29 krivulje meje plastičnosti po naravnem in umetnem staranju nepomirjena jekla z 0,07—0,08 % C. Iz navedenega diagrama je razvidno, da so vrednosti meje plastičnosti v primerjavi z vrednostmi v diagramu 28 precej višje zaradi višje vsebnosti ogljika.

Pri primerjavi krivulj obeh diagramov, to je krivulj staranja trakov z različno vsebnostjo ogljika, je razvidno, da so trakovi ne glede na vsebnost ogljika skoraj enako podvrženi naravnemu staranju.

Izdelali smo tudi preiskave vpliva staranja na trdnost nepomirjenih jekel za globoki vlek. Rezultati so pokazali, da se z naraščajočim časom staranja trdnost dvigne le za 2—3 kp/mm². Zaradi navedenega omenjenih vrednosti nismo vnesli v diagram.

Slika 30 nam prikazuje vplive različnih stopenj deformacije ter vplive staranja na raztezek in na

vrednosti globokega vleka, nepomirjenih trakov z 0,04—0,05 % C. Obe vrednosti občutno padata z naraščajočo stopnjo deformacije in z naraščajočim časom staranja. Zanimiva je ugotovitev, da staranje rahlo vpliva na raztezke in globoki vlek žarjenih in nedresiranih trakov.

Preiskave staranja smo izdelali tudi na pomirjenih jeklih C 0148 z 0,04—0,06 % C. Tudi te trakove smo po hladnem valjanju in rekristalizacijskem žarjenju dresirali v območju od 0—3 %. Te trakove smo nato naravno starali (5 do 30 dni) in umetno starali pri 200° C/2<sup>h</sup>. Iz rezultatov, ki smo jih dosegli, je bilo razvidno, da pomirjeni trakovi niso podvrženi naravnemu staranju, medtem ko smo pri umetnem staranju beležili le rahlo naraščanje vrednosti meje plastičnosti in padanje vrednosti raztezka ter globokega vleka. Zato vrednosti, ki jih prinašata diagrama na sliki 31 in 32, odgo-varjajo obenem doseženim vrednostim v nestar-nem in staranem stanju.

## ZAKLJUČKI

1. Vsi elementi, ki se nahajajo v jeklu, negativno vplivajo na mehanske lastnosti, posebno pa elementi, ki so topni v feritni osnovi.

2. Na strukturo in s tem na mehanske in tehnološke lastnosti trakov izredno vpliva temperatura zadnjega odzema pri toplem valjanju in temperatura navijanja kolobarjev.

3. Velikost zrn hladno valjanih trakov je odvisna od izhodne velikosti tople valjanih trakov in od stopnje deformacije.

4. Na strukturo v rekristaliziranem stanju vpliva način žarjenja posebno pri pomirjenih jeklih.

5. Vsebnost ogljika zelo vpliva na mehanske in tehnološke lastnosti trakov.

6. Dresiranje v območju 0—3 % znižuje vrednosti raztezka in globokega vleka.

7. Vrednosti meje plastičnosti pri dresiranju padajo do nekega minimuma, ki je odvisen od vsebnosti ogljika.

8. Najnižje vrednosti meje plastičnosti se dosežejo pri nižji vsebnosti ogljika.

9. Vrednosti trdnosti se pri dresiranju zelo malo spremenijo.

10. Žarjeni pomirjeni in žarjeni ter starani nepomirjeni trakovi so zaradi izrazitega območja lezenja podvrženi nastanku Lüdersovih figur.

11. Že najmanjša stopnja deformacije vpliva na staranje nepomirjenih trakov.

12. Ne glede na stopnjo deformacije je poslabšanje lastnosti pri enakih pogojih staranja približno enako.

13. Največji vpliv na poslabšanje lastnosti nepomirjenih jekel ima umetno staranje.

14. Žarjeni in dresirani pomirjeni trakovi ne spremenijo svojih mehanskih in tehnoloških lastnosti po naravnem staranju, medtem ko je ta vpliv pri umetnem staranju pri 200° C komaj zaznaven.

## Literatura

1. M. Judin: Rulanni sposob proizvodstva holodnokatan-nih listov. Izdatelstvo METALLURG — Moskva, 1966
2. D. Litvinenko: Nekotarie osobennosti proizvodstva stali dlja glubokoi vutjažki. Stalj 1957/12/1121
3. B. Sauthworth: Deep drawing steel. American Institute of Mining — 1957
4. F. Fischer: Über den Einfluss kleiner Verformungsgrade auf die Streckgrenze kalt gewalzter tiefziehfähiger Band-stähle mit geringem Kohlenstoffgehalt. Stahl und Eisen 1956 — stran 82
5. L. Kosec: Jeklo za globoki vlek. Metal Institut — Ljub-ljana, 1971
6. B. Stocca: Tehnologija predelave tople valjanih trakov za globoki vlek. Poročilo raziskoval. odd. 1970

## ZUSAMMENFASSUNG

Um die Qualität der Tiefziehstähle richtig beurteilen zu können ist es dringend die Ursachen zu kennen, welche das Gefüge und damit die mechanischen und die technologischen Eigenschaften dieser Stähle beeinflussen.

Wir versuchten im Artikel alle wichtigen Faktoren welche im grösseren oder kleineren Umfang diese Eigenschaften, vor allem aber die Kaltumformung der kaltgewalzten Bänder beeinflussen einzufassen. Diese Einfluss-faktoren sind der Reihenfolge nach angegeben, welche von der Verfertigung und Verarbeitung bestimmt wird.

Für alle Elemente, auch Spurenelemente, welche sich in diesen Stählen befinden, ist eine kurze Übersicht von dessen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften ange-gaben.

Bei der Beschreibung der Warmband vorarbeitung ist der Einfluss der Endwalztemperatur und der Aufwickel-temperatur auf das Gefüge der Warm und Kaltbänder angegeben und bei der Beschreibung der Kaltbandver-arbeitung der Einfluss der gesamten Kaltformgebung und der Korngrösse auf die mechanischen Eigenschaften.

Ein besonderes Kapitel ist dem Einfluss des Dresie-rungsgrades und der späteren Alterung der rekristalisa-tionsgeglühten Bänder auf die mechanischen und techno-logischen Eigenschaften, vor allem der unberuhigten Stähle, gewidmet. Die Ergebnisse der natürlichen Alterung bis zu 30 Tagen und der künstlichen Alterung bei 200° C sind angegeben.

## SUMMARY

To estimate correctly the quality of steels for deep drawing the factors influencing the structure and thus mechanical and technological properties must be known.

The paper has intention to enclose all the most important factors which influence the properties to greater or smaller extent. The most important property is

cold workability of cold rolled strips. The influential factors are given in the order as they are met in manufacturing and processing the strips.

A short review of influence of elements (including tracers) which are in steel on mechanical properties is also enclosed.

In description of processing hot rolled strips the influences of the final rolling temperature and the coiling temperature on the structure of hot and cold rolled strips,

and in description of processing cold rolled strips the influence of total degree of cold working and grain size on mechanical properties are presented.

A special chapter is dedicated to the influence of degree of temper rolling and further ageing of recrystallized strips on mechanical and technological properties of strips made of mainly unkill steel. Results of natural ageing up to 30 days and artificial ageing at 200° C are given.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чтобы дать правильную оценку качества сталей для глубокой вытяжки необходимо знать причины, которые влияют на их структуру и, в связи с этим, на механические и технологические свойства этого сорта сталей. Автор пытался охватить все важные факторы которые, больше или меньше, влияют на свойства стали, в особенности на способность холодной деформации холодно-катаных полос.

Влиятельные факторы изнесены очерёдно в соответствии выделки и переработки полос. Для всех элементов, включая легирующие элементы, которые содержат эти стали, коротко рассмотрено их влияние на механические свойства стали. При описании пере-

работки горяче-катаных полос изнесено влияние конечной температуры прокатки и температуры полос во время наматывания на структуру горяче и холодно-катаных полос. При описании переработки холодно-катаных полос рассмотрено совокупное влияние всех факторов холодной переработки и величины зёрен на механические свойства стали.

В отдельной главе статьи рассмотрено влияние дресировки и позднейшее старение полос после рекристаллизационного отжига на механические и технологические свойства полос, в особенности из кипящей стали. Приведены результаты естественного старения до 30 дней, а также и искусственного при темп-е 200° Ц.