

## Vpliv mikrostrukture na sposobnost jekla za hladno preoblikovanje

*Članek obravnava vpliv strukture jekla na sposobnost za hladno preoblikovanje. Preiskovali smo vpliv trakaste strukture in deleža krogljčnega perlita na hladno preoblikovalnost jekel Č. 1331, Č. 1531 in Č. 4131 in ugotovili, da je preoblikovalnost jekla v hladnem stanju v veliki meri odvisna od teh dveh faktorjev. V kolikor hočemo dobiti dobro preoblikovalnost v hladnem stanju, moramo s pravilno toplotno obdelavo jekla odpraviti trakasto strukturo in pretvoriti večino perlita v krogljčno obliko.*

*Ugotoviti smo hoteli tudi vpliv trakaste strukture in oblike oziroma deleža krogljčnega perlita na kontrakcijo.*

### UVOD

Jekla za hladno preoblikovanje običajno izdelujemo v Siemens-Martinovih in elektro obločnih pečeh. Poleg omenjenih dveh postopkov se v največjem času vedno več uporabljajo specialni konvertorski postopki.

Sposobnost jekla za hladno preoblikovanje zelo težko ocenjujemo. Slabo preoblikovalnost jekla dostikrat ugotovimo šele pri končni predelavi, ko na končnih produktih nastanejo razpoke. Sposobnost jekla za hladno preoblikovanje ni določena samo s kemijsko sestavo, ampak nanjo vpliva še vrsta drugih faktorjev, kot so: vsebnost oligoelementov v jeklu, pogoji dezoksidacije jekla, pogoji litja ingotov, površina ingotov in gredic, ogrevanje ingotov pred valjanjem, struktura jekla in drugi.

Pri določanju sposobnosti jekla za hladno preoblikovanje si v praksi običajno pomagamo s preizkusom krčenja v hladnem. Za ta preizkus uporabljamo probe višine  $L = 1,5 d$ , ki jih nato stiskamo na  $1/3$  višine. Pri preizkusu krčenja na stiskalnici nato z lupo opazujemo pojav razpok. Ko se pojavi prva razpoka, krčenje prekinemo. Iz tega lahko izračunamo stopnjo krčenja

$$\varphi = \ln \frac{L}{h} \text{ in samo krčenje } \epsilon = \frac{L-h}{L} \cdot 100 \%,$$

kjer je  $L$  — prvotna višina krčilne probe in  $h$  — višina probe po krčenju.

Pri raztržnem preizkusu je kontrakcija najbolj objektivni pokazatelj sposobnosti jekla za hladno preoblikovanje. Preoblikovalnost je običajno dobra pri veliki in slaba pri majhni kontrakciji. Predelovalna industrija zahteva kontrakcije 55—60 %, kar pa se v praksi težko z gotovostjo enakomerno dosega.

Odvisnost sposobnosti jekla za hladno preoblikovanje od kontrakcije pa ni popolnoma gotova. Dokazano je namreč, da trakasta struktura v jeklu zelo škodljivo vpliva na sposobnost jekla za hladno preoblikovanje. Lahko imamo torej slabo preoblikovalnost kljub temu, da ima jeklo zadovoljivo kontrakcijo<sup>1</sup>.

Med različnimi načini preiskav v praksi nudi preiskava strukture veliko pomoč pri ocenjevanju sposobnosti jekla za hladno oblikovanje<sup>2</sup>.

Pri jeklih, ki so namenjena za hladno preoblikovanje, je zelo važna oblika in razporeditev perlita. Lamelarni perlit in trakasta struktura zelo poslabšata sposobnost jekla za hladno preoblikovanje.

Med deležem krogljčnega perlita v jeklu in kontrakcijo obstaja medsebojna odvisnost. V primeru, ko je perlit pretežno v krogljčni obliki, dobimo tudi zadovoljivo kontrakcijo.

Pri jeklih, ki so namenjena za hladno preoblikovanje moramo s pravilno normalizacijo odpraviti trakasto strukturo in s pravilno izbiro žarjenja pretvoriti večino lamelarnega perlita v krogljčni perlit.

### PREISKAVA VPLIVA MIKROSTRUKTURE NA SPOSOBNOST JEKLA ZA HLADNO PREOBLIKOVANJE

V ta namen je bilo izdelanih na elektro obločni peči 9 talin in sicer po tri taline jekla Č.1331 (1, 2, 3), tri taline jekla Č.1531 (4, 5, 6) in tri taline jekla Č.4131 (7, 8, 9). Jekla so tako izbrana, da smo lahko preizkusili jekla z nizkim in srednjim ogljikom ter nizkolegirana jekla.

Kemijska sestava preizkušanih talin je podana v tabeli 1.

Ingote smo prevaljali na palice  $\varnothing 30$  mm in  $\varnothing 18$  mm ter iz teh palic izdelali vzorce za preiskavo.

Tabela 1

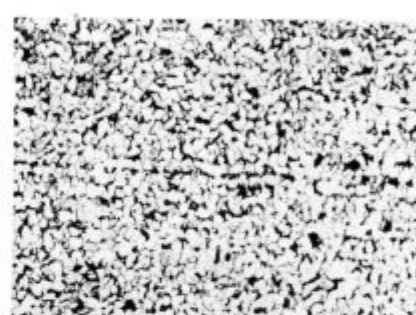
Talina	Vrsta jekla	Kemijska sestava v %							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
1	Č.1331	0,20	0,15	0,50	0,015	0,018	0,016	0,05	0,16
2		0,21	0,26	0,44	0,019	0,015	0,7	0,08	0,25
3		0,17	0,13	0,44	0,016	0,023	0,10	0,04	0,15
4	Č.1531	0,47	0,25	0,68	0,017	0,031	0,17	0,07	0,19
5		0,42	0,22	0,64	0,016	0,028	0,025	0,05	0,18
6		0,43	0,23	0,64	0,019	0,029	0,19	0,04	0,20
7	Č.4131	0,38	0,28	0,70	0,026	0,027	1,11	0,11	0,19
8		0,38	0,29	0,77	0,016	0,024	1,18	0,15	0,20
9		0,40	0,27	0,76	0,022	0,016	1,01	0,07	0,24



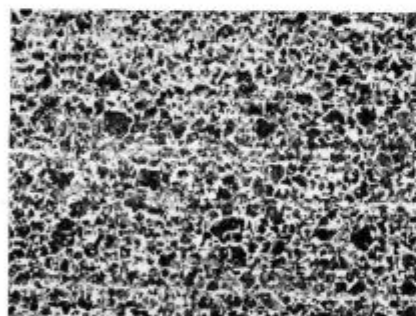
a) talina 1 × 100



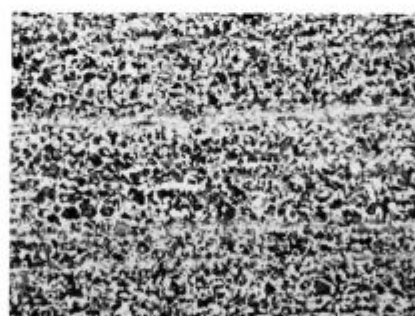
a) talina 4 × 100



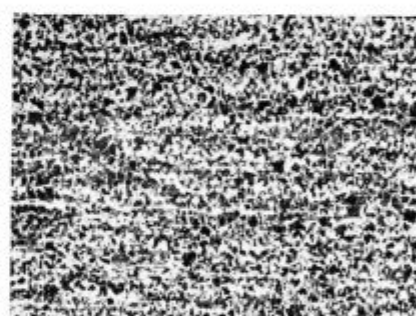
a) talina 7 × 100



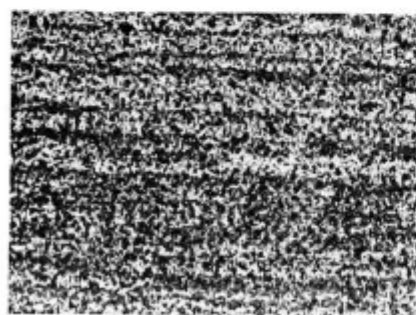
b) talina 2 × 100



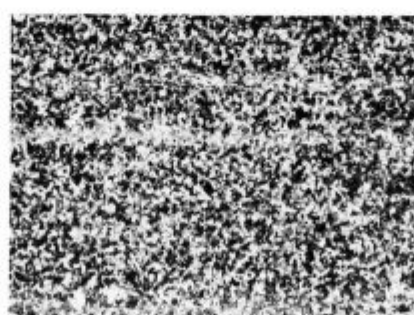
b) talina 5 × 100



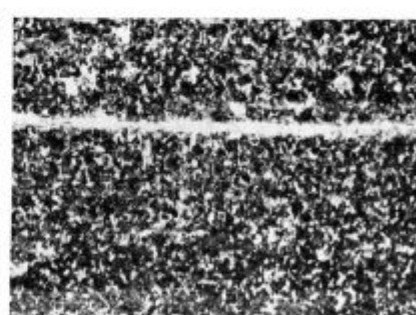
b) talina 8 × 100



c) talina 3 × 100



c) talina 6 × 100



c) talina 9 × 100

Slika 1  
Trakasta struktura v jeklu Č.1331

Slika 2  
Trakasta struktura v jeklu Č.1531

Slika 3  
Trakasta struktura v jeklu Č.4131

Pri metalografskem pregledu palic v valjanem stanju smo ugotovili pri vseh talinah trakasto strukturo. Ta je bila izražena v najmilejši obliki pri jeklih Č.1331, zelo močno pa pri jeklih Č.4131. Primeri trakaste strukture so podani na slikah 1—3. Pri metalografskem pregledu teh palic smo tudi ugotovili, da je v vseh talinah perlit pretežno v lamelarni obliki.

Vzorci, izrezane iz palic jekla Č.1531 (talina 4 in 6), smo žarili v temperaturnem območju 630 do 850° C, da bi ugotovili, pri katerih temperaturah dobimo največ krogličnega perlita. Žarili smo 3 ure na temperaturi, nato ohladili v peči do 500° C in nato nadalje na zraku. Največ krogličnega perlita smo dobili pri temperaturah žarjenja 680 in 700° C. Vsebnost krogličnega perlita je bila pri vzorcih, žarjenih na 680 in 700° C, ca. 50 %. Kot vidimo, to žarjenje ni dalo željenega učinka.

Iz vseh vzorcev, ki so bili žarjeni v območju temperatur 630—850° C, smo izdelali krčilne probe, ki smo jih nato krčili v hladnem stanju. Preizkus krčenja (na 1/3 višine) je izdržalo samo 39 % prob in še to večinoma tiste, ki so bile žarjene pri temperaturah 680 in 700° C.

Da bi ugotovili vpliv trakaste strukture na sposobnost jekla za hladno preoblikovanje smo primerjali med seboj rezultate krčenja vzorcev, ki so bili samo žarjeni, in vzorcev, ki so bili pred žarjenjem še normalizirani.

Primerjava strukture vzorcev, ki so samo žarjeni, in tistih, ki so bili pred žarjenjem normalizirani, nam kaže koristen vpliv normalizacije na odpravo trakaste strukture, posebno pri jeklih Č.1331 in Č.1531.

Primerjava deleža krogličnega perlita, trakaste strukture in krčenja je podana v tabeli 2.

Iz tabele 2 vidimo, da so krčilne probe dobre v primeru, ko odpravimo trakasto strukturo in ko dobimo perlit pretežno v kroglični obliki.

Metalografski pregledi so pokazali, da je temperatura normalizacije prenizka in čas držanja na tej temperaturi nekoliko prekratek. To velja tudi za temperaturo in čas žarjenja.

Vzorci smo normalizirali pri različnih temperaturah in različnih časih, da bi odpravili trakasto strukturo. V tabeli 3 so podani rezultati te preiskave.

Kot je razvidno iz tabele 3, smo trakasto strukturo popolnoma odpravili pri jeklih Č.1331 in Č.1531, medtem ko je pri jeklu Č.4131 ostala samo še rahlo izražena trakasta struktura.

Vzorci jekla Č.1331 normalizirane (900° C — 4 ure — zrak) in vzorcev jekel Č.1531 in Č.4131 normalizirane (870° C — 5 ur — zrak) smo žarili v območju temperatur 600 — 760° C. Vzorci so bili 5 ur na temperaturi žarjenja in nato ohlajani v peči.

Preizkusili smo tudi vpliv hitrosti ohlajevanja s temperature normalizacije na ta način, da smo vzorce jekel Č.1531 in Č.4131 s temperature 870° C (5 ur) ohladili v vodi. Tako ohlajene vzorce smo tudi žarili z ostalimi vzorci v območju temperatur 600 — 760° C.

Tabela 2

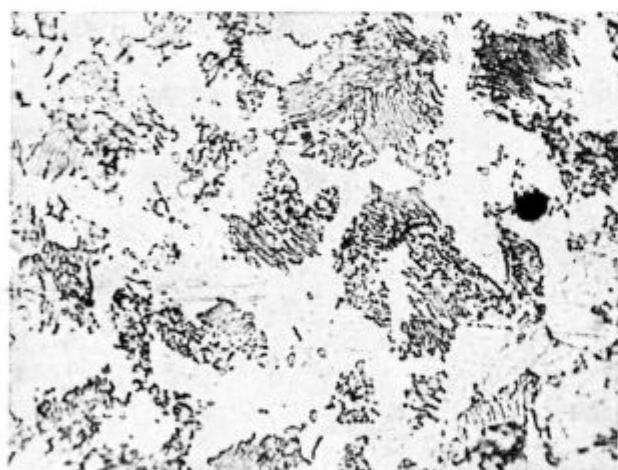
Talina	Vrsta jekla	Toplotna obdelava	Trakasta struktura	Oblika perlita	Krčilne probe
1	Č.1331	Žarjenje 680° C (4 ure)	Ostanki trakavosti	Pretežno kroglični	Slabe
2			Ostanki trakavosti	Pretežno kroglični	Slabe
3			Ostanki trakavosti	Pretežno kroglični	Slabe
1	Č.1331	Normalizacija 880° C (3 ure)	Ni trakavosti	Pretežno kroglični	Dobre
2		Žarjenje 680° C (4 ure)	Ni trakavosti	Pretežno kroglični	Dobre
3			Ni trakavosti	Pretežno kroglični	Dobre
4	Č.1531	Žarjenje 680° C (4 ure)	Trakasta struktura	Pretežno lamelarni	Slabe
5			Trakasta struktura	Pretežno lamelarni	Slabe
6			Trakasta struktura	Pretežno lamelarni	Slabe
4	Č.1531	Normalizacija 865° C (3 ure)	Rahla trakavost	Pretežno lamelarni	Slabe
5		Žarjenje 680° C (4 ure)	Rahla trakavost	Pretežno lamelarni	Slabe
6			Rahla trakavost	Pretežno lamelarni	Slabe
7	Č.4131	Žarjenje 680° C (4 ure)	Trakasta struktura	Lamelarni + kroglični	Slabe
8			Trakasta struktura	Lamelarni + kroglični	Slabe
9			Trakasta struktura	Lamelarni + kroglični	Slabe
7	Č.4131	Normalizacija 865° C (3 ure)	Trakasta struktura	Lamelarni + kroglični	Slabe
8		Žarjenje 680° C (4 ure)	Trakasta struktura	Lamelarni + kroglični	Slabe
9			Trakasta struktura	Lamelarni + kroglični	Slabe



Tabela 3

Vrsta jekla	Normalizacija		Trakasta struktura
	Temperatura ogrevanja °C	Cas ogrevanja ure	
Č.1331	900	4	Ni trakavosti
		6	Ni trakavosti
Č.1531	870	5	Ni trakavosti
	880	4	Ni trakavosti
	880	6	Ni trakavosti
Č.4131	870	5	Rahla trakavost
	870	7	Zelo rahla trakavost
	880	4	Zelo rahla trakavost
	880	6	Zelo rahla trakavost

Najbolj ugodno razporeditev krogličnega perlita smo dobili v območju temperatur 680 — 720° C, kjer je pretežni del perlita v kroglični obliki. Največji del krogličnega perlita smo dobili pri vzorcih, ki so bili ohlajeni v vodi. Nekatere strukture, ki smo jih dobili v območju temperatur žarjenja 680 — 720° C so podane na slikah 4 — 8 za jeklo Č.1531 in na slikah 9 — 10 za jeklo Č.4131.

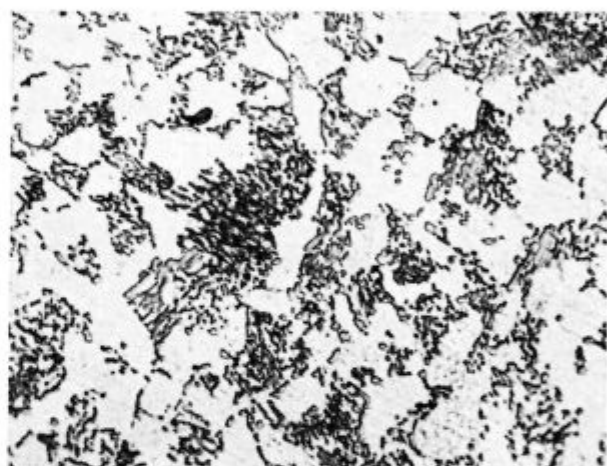


Slika 4  
850-krat, Č.1531

Normalizacija 870° C (5 ur) — zrak  
Žarjenje 680° C (5 ur)

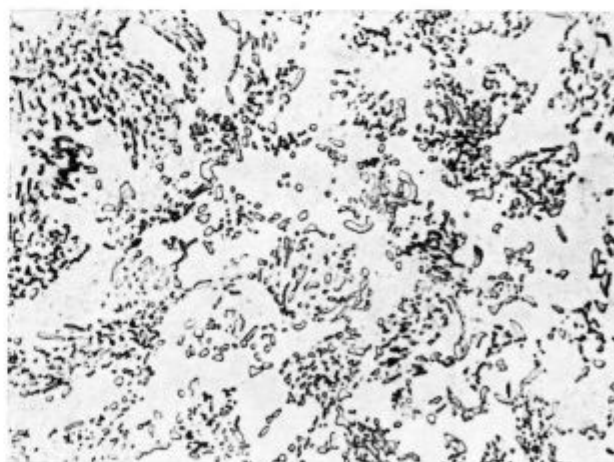
Na diagramu slike 11 je podana odvisnost deleža krogličnega perlita od temperature žarjenja pri različno toplotno obdelanih vzorcih (za Č.1531). Primerjali smo vzorce, ki pred žarjenjem niso bili toplotno obdelani, z vzorci, ki so bili normalizirani na zraku in vzorci, ki so bili ohlajeni v vodi. Iz diagrama (slika 11) vidimo, da je pri vzorcih, ki so bili ohlajeni v vodi skoraj ves perlit v kroglični obliki.

Na diagramu slike 12 je prikazan vpliv temperature žarjenja ter toplotne obdelave pred žarje-



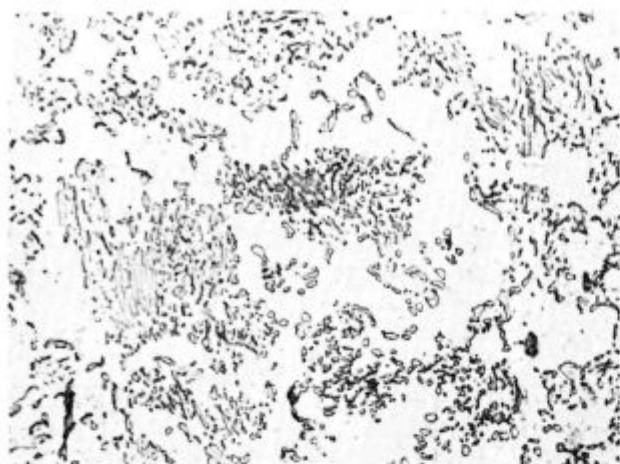
Slika 5  
850-krat, Č.1531

Normalizacija 870° C (5 ur) — zrak  
Žarjenje 700° C (5 ur)



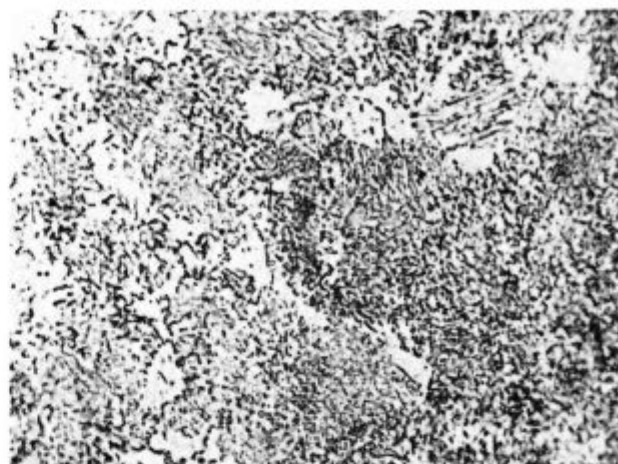
Slika 6  
850-krat, Č.1531

Normalizacija 870° C (5 ur) — zrak  
Žarjenje 710° C (5 ur)



Slika 7  
850-krat, Č.1531

Normalizacija 870° C (5 ur) — zrak  
Žarjenje 720° C (5 ur)



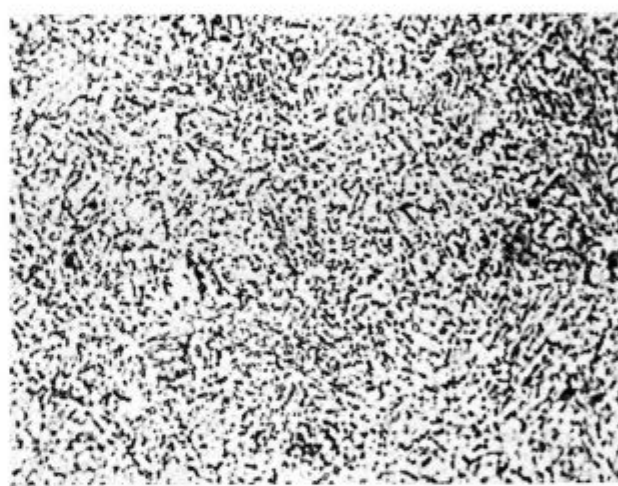
Slika 9  
850-krat, Č.4131

Normalizacija 870° C (5 ur) — zrak  
Žarjenje 700° C (5 ur)



Slika 8  
850-krat, Č.1531

Kaljenje 870° C (5 ur) — voda  
Visoko popuščanje 720° C (5 ur)



Slika 10  
850-krat, Č.4131

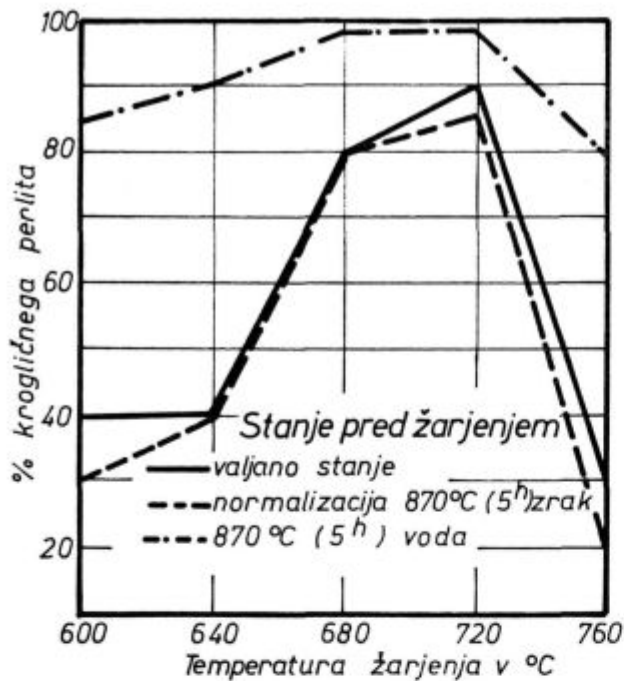
Kaljenje 870° C (5 ur) — voda  
Visoko popuščanje 680° C

njem in s tem posredno vpliv deleža krogličnega perlita na kontrakcijo pri jeklu Č.1531. Tudi kontrakcije so največje pri vzorcih, ki so bili s temperature normalizacije ohlajeni v vodi. Iz diagrama (slika 12) tudi vidimo, da v območju temperatur žarjenja 680 — 720° C, v katerem dobimo največji delež krogličnega perlita, ni bistvene razlike med kontrakcijami vzorcev, ki so bili samo žarjeni in tistimi, ki so bili pred žarjenjem še normalizirani. Vidimo torej, da trakasta struktura ne kaže bistvenega vpliva na kontrakcijo. Isto smo opazili tudi pri jeklu Č.4131, kjer so bile kontrakcije samo žarjenih vzorcev višje od tistih, ki smo jih dosegli pri vzorcih, ki so bili normalizirani in žarjeni.

Primerjava rezultatov krčenja in struktur, dobljenih pri temperaturah žarjenja 680°C in 700° C, je podana v tabeli 4.

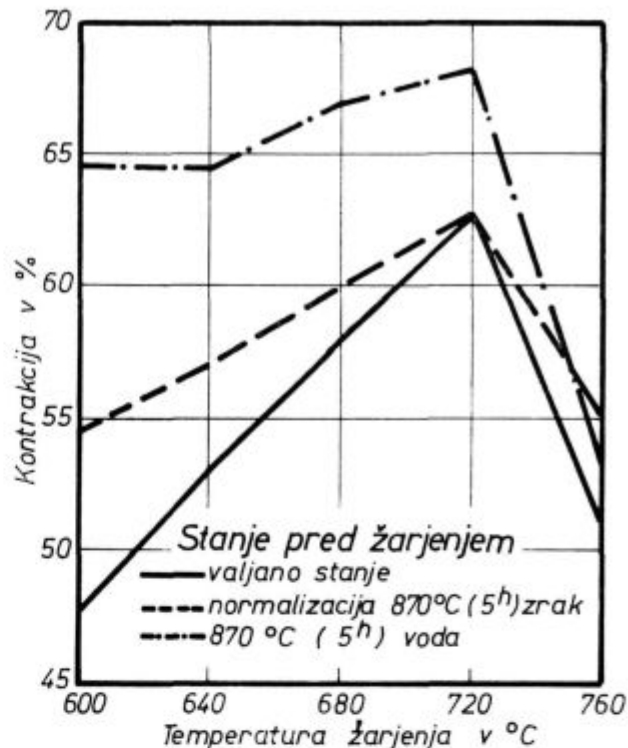
Kot vidimo iz tabele 4, so bile krčilne probe vse dobre (slika 13), razen pri talini 6, kjer je bilo pri krčenju nekaj vzorcev slabih, vendar ne zaradi strukture, ampak zaradi napak na površini, nastalih pri valjanju (zavaljanje). Primer teh krčilnih prob je podan na sliki 14. Krčilne probe, izdelane iz vzorcev, ki so bili s temperature normalizacije ohlajeni v vodi in nato žarjeni, so bile dobre pri jeklu Č.1531, medtem ko so pri jeklu Č.4131 nekatere popokale in to v glavnem zaradi površinskih napak, ki so se pri ohlajevanju v vodi zaradi napetosti še povečale.

Primerjava rezultatov preizkusa krčenja v hladnem stanju in strukture kaže, da je sposobnost jekla za hladno preoblikovanje precej odvisna od strukture jekla in seveda tudi od površine valjanih palic.



Slika 11

Vpliv temperature žarjenja na delež krogličnega perlita v jeklu Č.1531

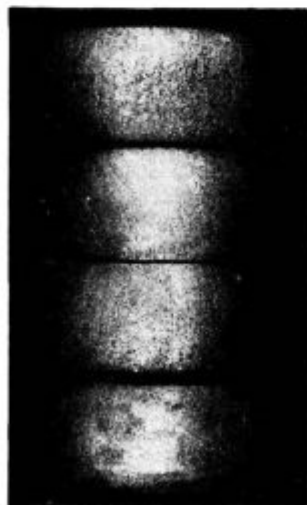


Slika 12

Vpliv različne toplotne obdelave na kontrakcijo pri jeklu Č.1531

Tabela 4

Talina	Trakasta struktura	Oblika perlita	Krčilne probe
1	ni	Pretežno kroglični	Dobre
2	ni	Pretežno kroglični	Dobre
3	ni	Pretežno kroglični	Dobre
4	ni	Pretežno kroglični	Dobre
5	ni	Pretežno kroglični	Dobre
6	ni	Pretežno kroglični	Slabe
7	Zelo rahla trakavost	Pretežno kroglični	Dobre
8	Zelo rahla trakavost	Pretežno kroglični	Dobre
9	Zelo rahla trakavost	Pretežno kroglični	Dobre



Slika 13

Krčilne probe — dobre



Slika 14

Porušitev krčilnih prob zaradi napak na površini

## ZAKLJUČEK

Preiskava kaže, da ima struktura jekla velik vpliv na sposobnost jekla za hladno preoblikovanje. Jeklo, pri katerem s pravilnim režimom toplotne obdelave odpravimo trakasto strukturo in dobimo perlit pretežno v kroglični obliki, ne povzroča težav pri hladnem preoblikovanju, seveda v kolikor je površina vzorcev brez napak.

Ugodno strukturo dosežemo s pravilno toplotno obdelavo, ki obsega normalizacijo, s katero odpravimo trakasto strukturo in žarjenje, s katerim dosežemo ugodno količino in razporeditev krogličnega perlita.

Pri normalizaciji je potrebno, da so vzorci dovolj dolgo na temperaturi, ker je normalizacija le v tem primeru učinkovita.

Najbolj ugodno razporeditev krogličnega perlita smo dosegli v območju temperatur žarjenja 680 do

720° C s pripombo, da je nad temperaturo 720° C perlit zopet pretežno v lamelarni obliki.

Kontraktija je visoka tudi v primeru, ko je v jeklu prisotna trakasta struktura. Zato kontraktija ne more biti popolnoma objektivni, predvsem pa ne edini kriterij za ocenjevanje sposobnosti jekla za hladno preoblikovanje.

## Literatura

1. Peltzer O., Stahl und Eisen 1944, str. 442/45
2. Billigmann J., Untersuchungen über die Kennzeichnung des Formänderungsvermögens von Kaltstauchstählen, Stahl und Eisen 16 1951, str. 826
3. Billigmann J., Draht 1 1950, str. 29/34
4. Diergarten H., Gefügerichtreihen im Dienste der Werkstoffprüfung, Berlin 1940

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei den Stählen welche für die Kaltverformung bestimmt sind treten oftmals grosse Schwierigkeiten auf.

Die Kaltverformung der Stähle wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Wir versuchten bei diesen Untersuchungen den Einfluss von einem dieser Faktoren des Gefüges, festzustellen.

Das Bericht behandelt den Einfluss des Zeilengefüges und des Anteils an kugelförmigen Perlit auf die Fähigkeit der Stähle, für die Kaltverformung. Die Untersuchungen zeigten, dass der Einfluss des Zeilengefüges und der Anteil des Kugeligensperlits auf die Kaltverformbarkeit ganz gross ist. Der Stahl wird kaltverformbar, wenn das Zeilengefüge abgeschafft ist und wenn der Perlit überwiegend in

kugelliger Form auftritt. Wenn auch der Perlit überwiegend in eine kugelige Form übergeht, das Zeilengefüge aber noch bestehen bleibt, so ist der Stahl noch nicht kaltverformbar. Das Zeilengefüge und der Anteil an kugeligem Perlit sind eng miteinander verbunden und gemeinsam beeinflussen die Kaltverformbarkeit.

Die Einschnürung ist stark abhängig von dem Anteil des kugeligen Perlits im Stahl.

Das Zeilengefüge zeigt keinen wesentlichen Einfluss auf die Einschnürung. Die Einschnürung ist demnach kein objektives Kriterium für die Beurteilung der Kaltverformbarkeit eines Stahles.

## SUMMARY

Great troubles often appear with steels for cold working. Many factors influence steel cold workability. In our investigations influence of one of those factors — of the structure was analyzed. The paper deals with the influence of banded structure and of spherical pearlite portion on the steel cold workability. Investigations show that banded structure and spherical pearlite portion have great influence on the steel cold workability. Steel is coldly workable when banded structure is eliminated and when majority of pearlite is in spherical form, at the same time. When majority of pearlite is already in spherical

form, but banded structure is still present, the steel cold workability is still bad. The banded structure and spherical pearlite content are closely related and they influence in common the steel cold workability.

Reduction depends upon the spherical pearlite portion in steel, banded structure does not show any essential influence on reduction.

Reduction, therefore, is not completely impartial criterion for estimation of the steel cold workability.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При стали назначенной для холодной деформации появляются часто большие затруднения. На способность холодной деформации имеет влияние целый низ фактов. Цель описаного исследования была определить влияние одного из фактов т. е. структуры. Поэтому рассмотрено влияние полосовой структуры и присутствие шаровидного перлита на способность холодной деформации. Сталь способна для холодной деформации лишь тогда, когда отстранена полосовая структура и одновременно получен перлит преимущественно в шаровидной форме. Если же удастся получить только

шаровидный перлит а сталь все ещё содержит полосовую структуру, то эта сталь не годится для холодной деформации.

Следует, что полосовая структура и шаровидный перлит между собой в узком отношении и совместно влияют на способность холодной деформации. От содержания шаровидного перлита зависит контракция; полосовая же структура не показывает существенного влияния, на контракцию.

Следует, что контракция не достаточно объективный критерий за оценку способности холодной деформации стали.