

PRETHODNO SAOPŠTENJE

G. Avramović-Cingara, I. Glavardanov\*

ISTRAŽIVANJE USLOVA I EFEKATA REKRISTALIZACIJE LIMA  
BUTAN BOCE

Rezime

*U radu je ispitivan kritičan stepen deformacije polaznog materijala za izradu butan boce (Š 1216) i nadjeno je da iznosi 6%. Istim eksperimentalnim postupkom je definisano gde na samoj boci egzistira takav kritičan stepen, tj. gde u procesu rekristalizacije može doći do pojave izrazito velikog zrna. Ispitivan je i uticaj vremena rekristalizacije (za kritičan stepen deformacije 6% i temperaturu  $695 \pm 5^\circ\text{C}$ ) na pojavu velikog zrna.*

Summary

*The critical amount of deformation was examined in a steel sheet plate (Š 1216) for production propan-butan cylinders. It was found that it is 6%. The same experimental procedure was used to find this critical amount of deformation on the cylinder, ie. the possibility of appearance of great grain size during the recrystallization process. It was examined the influence of time of recrystallization process to the appearance of great grain size for critical amount of deformation of 6% temperature of  $695 \pm 5^\circ\text{C}$ .*

1.0. UVOD

U procesu dugokog izvlačenja lima butan boce dolazi do deformacionog ojačavanja. Polutka butan boce pretrpela je vrlo složen proces plastične deformacije i stoga poseduje neujednačenu teksturu. Žarenjem takvog metala u odredjenom temperaturnom opsegu, kristalna rešetka se vraća u normalno stanje i poprima svoje ranije osobine, tj. dolazi do procesa rekristalizacije.

\*) Dr Gordana Avramović-Cingara, dipl.ing., docent; Glavardanov Ivan, dipl.ing., docent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V.Perića-Valtera 2.

Cilj ovoga rada bio je da utvrdi pod kojim uslovima u deformativno ojačanom materijalu butan boce dolazi do rekristalizacije. Ispitivanja su usmerena na definisanje kritičnog stepena deformacije, tj. stepena pri kome u toku rekristalizacije dolazi do naglog porasta zrna. Kritičan stepen deformacije definisan je prethodno na polaznom materijalu za izradu butan boce. Kvalitativnom metodom ukazano je u kom području boce postoji takav kritičan stepen deformacije, tj. gde se u toku rekristalizacionog žarenja može očekivati pojava izrazito velikog zrna. Veliko zrno, tj. nehomogena struktura nije povoljna osobina i proizvodne uslove, ili uslove repariranja treba birati tako da se ova pojava izbegne.

## 2.0. MATERIJAL

Hemijski sastav materijala od koga je napravljena butan boca dat je u tabeli 1.

						T.1.
C%	Si%	Mn%	S%	P%	Cu%	Al%
0,07	0,03	0,40	0,02	0,047	0,08	0,019

Prema hemijskom sastavu može se konstatovati da ispitivani čelik po JUS-u najpribližnije odgovara č 1216.

## 3.0. METALOGRAFSKO ISPITIYANJE TEKSTURE BUTAN BOCE

Butan boca se proizvodi postupkom dubokog izvlačenja i sastoji se od dve zavarene polutke. Polutka butan boce pretrpela je vrlo složen proces plastične deformacije, koji nije moguće opisati jednostavno metalografskom analizom. Medjutim, u ovom radu, obzirom na cilj istraživanja, tekstura je ispitivana metalografski, da bi se dobila kvalitativna informacija o usmerenosti i veličini zrna polutke butan boce.

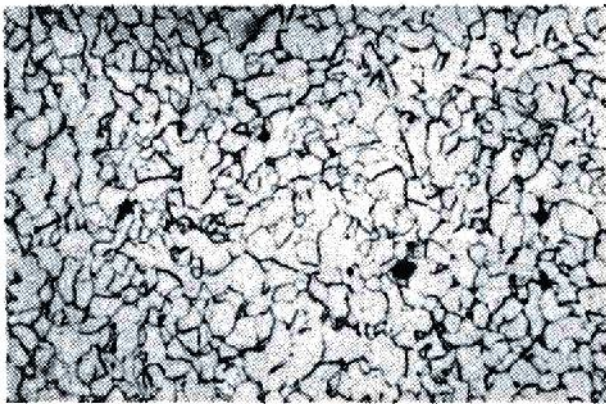
U tom smislu napravljeni su uporedni uzroci teksture polaznog materijala, koji su deformisani zatezanjem za poznati stepen deformacije. Stepenski odnos deformacije

$$\frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad \%/$$

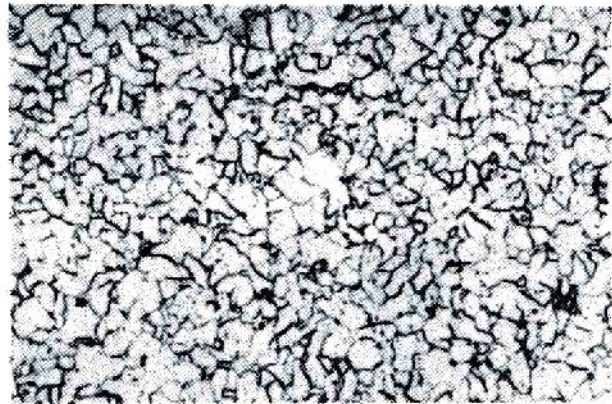
pri čemu je  $l_0$  - merna dužina uzorka a  $l_1$  - dužina posle deforma-  
cije. Struktura ovih uzoraka zatim je uporedjivana sa realnom tek-  
sturem polutke butan boce,

Uzorci su deformisani zatezanjem za sledeće stepene deforma-  
cije: 2,7%; 5,4%; 6,0%; 9,8%; 12,3%; 16,1%; 19,5%; 21% i 25,4%.  
Pri stepenu deformacije od 27,6% pojavljuju se prskotine.

Ispitivan je uzdužni i poprečni presek navedenih uzoraka. Na  
slikama 1 do 6 prikazana je mikrostruktura uzdužnog preseka jednog  
broja uzoraka deformisanih zatezanjem. Mikrostrukturu čine svet-  
la zrna ferita sa karbidima po granicama zrna. Na nekim mestima na  
granicama zrna ima lamelarnog perlita. Analiza teksture ukazuje da  
se tek na procentu deformacije 12,3% zapaža slaba usmerenost zrna  
u uzdužnom pravcu. Ova usmerenost postaje izrazitija pri većim pro-  
centima deformacije.



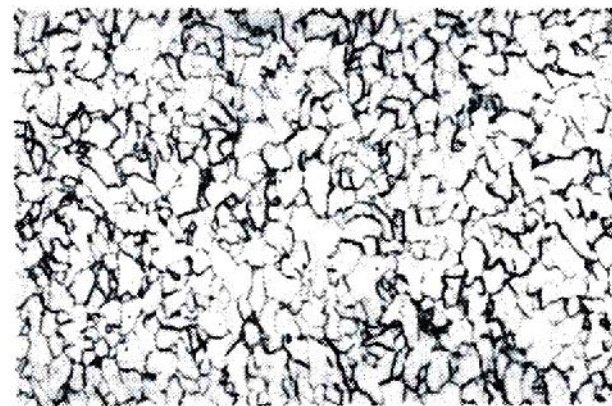
S1.1. 200x  
Stepen deformacije 5,4%



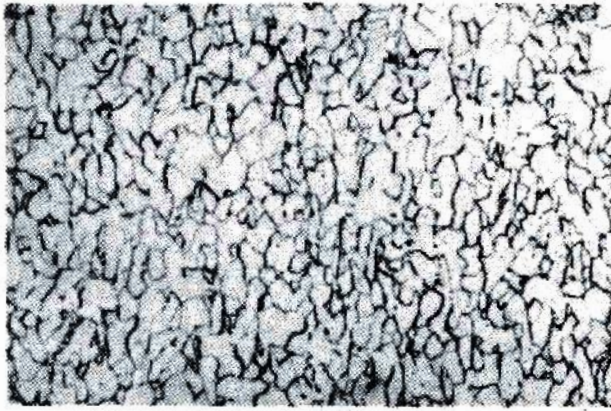
S1.2. 200x  
Stepen deformacije 9,8%



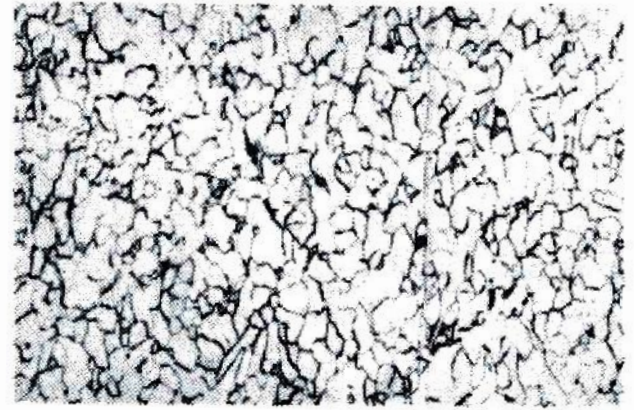
S1.3. 200x  
Stepen deformacije 12,3%



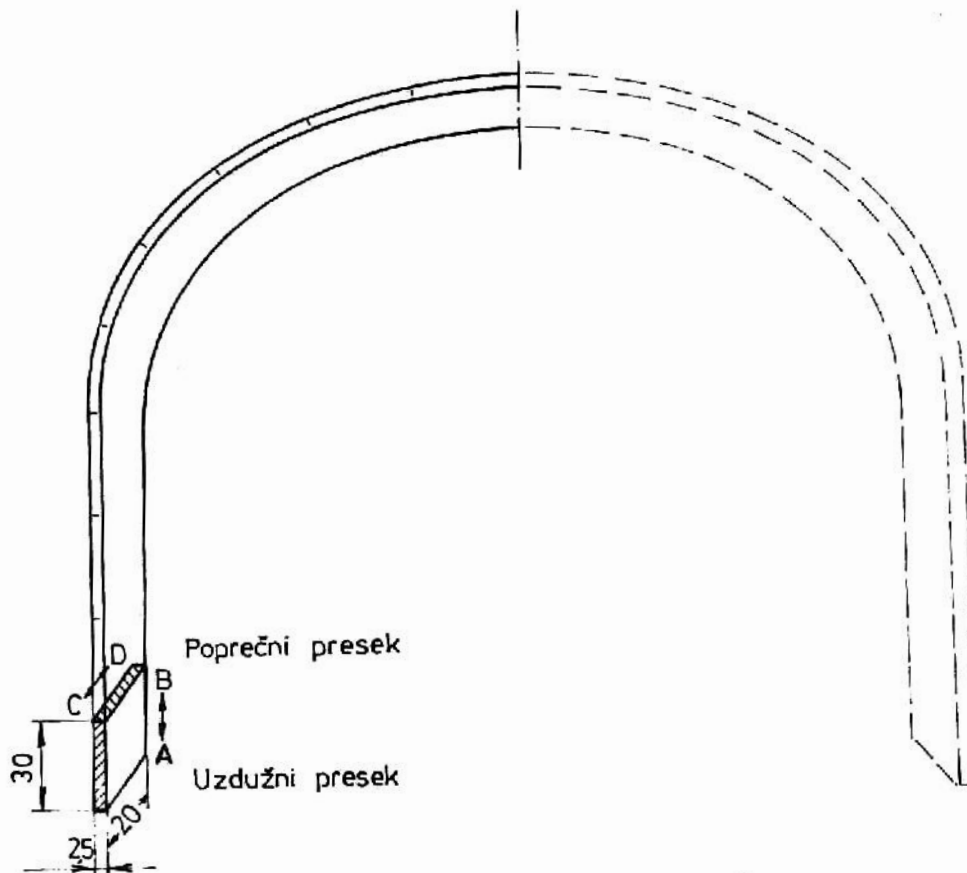
S1.4. 200x  
Stepen deformacije 19,5%



S1.5. 200x  
Stepen deformacije 21%



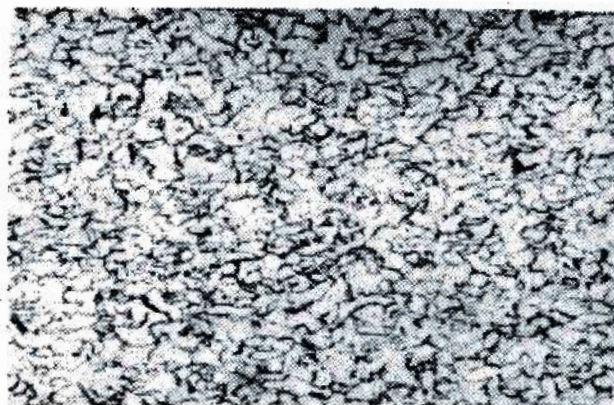
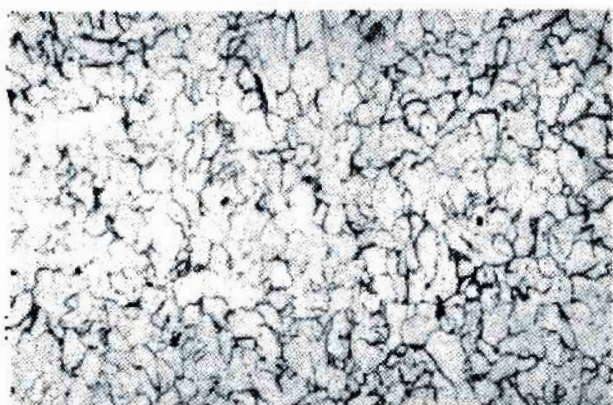
S1.6. 200x  
Stepen deformacije 27,6%



S1.7. Šematski prikaz polutke butan boce

Na šematskom prikazu polutke butan boce (s1.7.) označen je način uzimanja uzoraka. Uzorci su uzimani na svakih 30 mm, počev od polovine boce (mesto gde se zavaruje), idući ka dnu boce. Ispitivan je uzdužni i poprečni presek svakog uzorka.

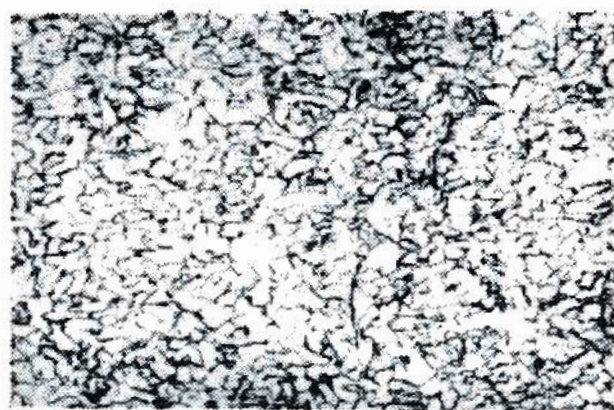
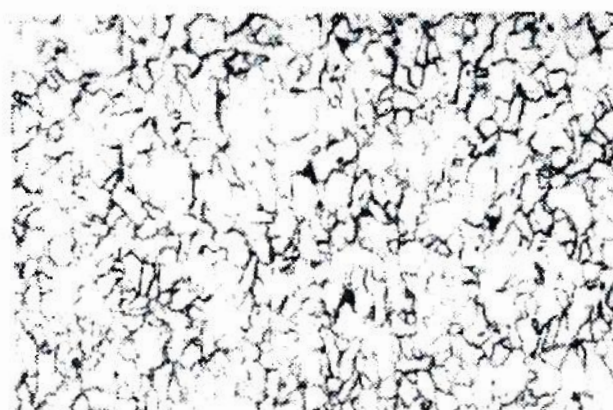
Na slikama 8. i 9. prikazana je mikrostruktura uzdužnog i poprečnog preseka uzorka 1. U uzdužnom pravcu postoji neznatna usmerenost zrna. Sl.9. ukazuje na izrazitu usmerenost zrna u pravcu CD, tj. po debljini lima. Ova vrsta teksture ne može se direktno upoređivati sa zateznom, obzirom da se radi o mnogo kompleksnijoj vrsti plastične deformacije, no poredjenje sa slikom 6. ipak prikazuje da se radi o velikom stepenu plastične deformacije.



Sl.8. Uzdužni presek (200x)

Sl.9. Poprečni presek (200x)

U z o r a k 1.



Sl.10. Uzdužni presek (200x)

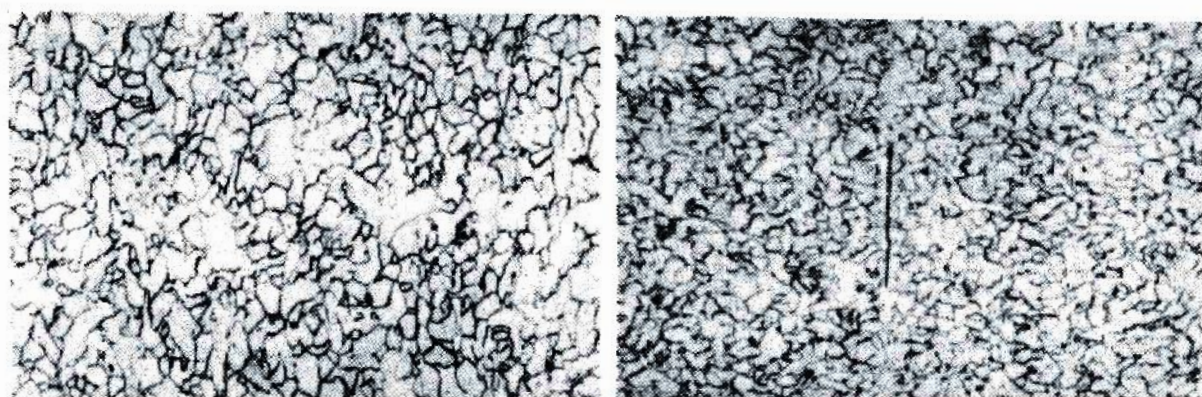
Sl.11. Poprečni presek (200x)

U z o r a k 2.

Na slikama 10. i 11. data je mikrostruktura uzorka 2. Zrna su neznatno usmerena u pravcu AB. Izrazita je, međutim, usmerenost duž pravca CD, tj. po debljini lima.

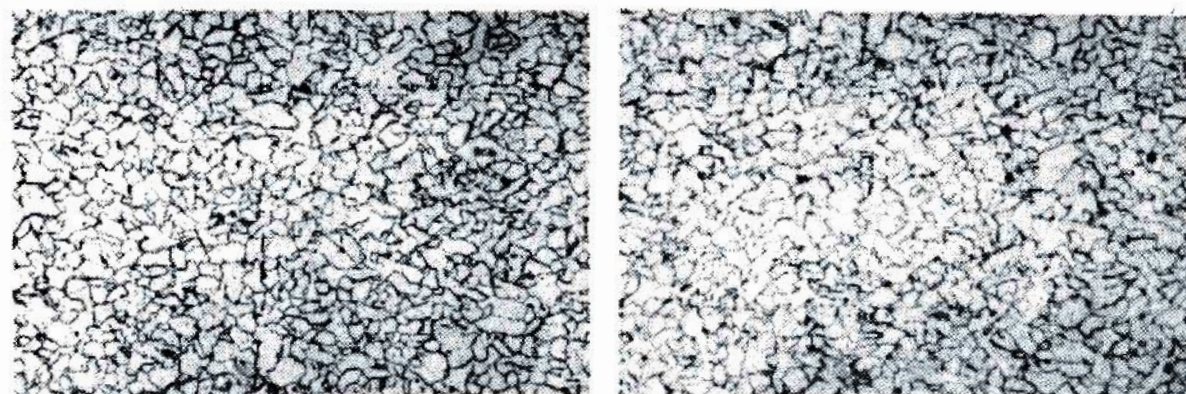
Slike 12. i 13. pokazuju teksturu uzorka 3. Usmerenost zrna u ovom slučaju manja je od prethodna dva.

Kod uzorka 4. (slike 14. i 15.) zapaža se takodje neznatna



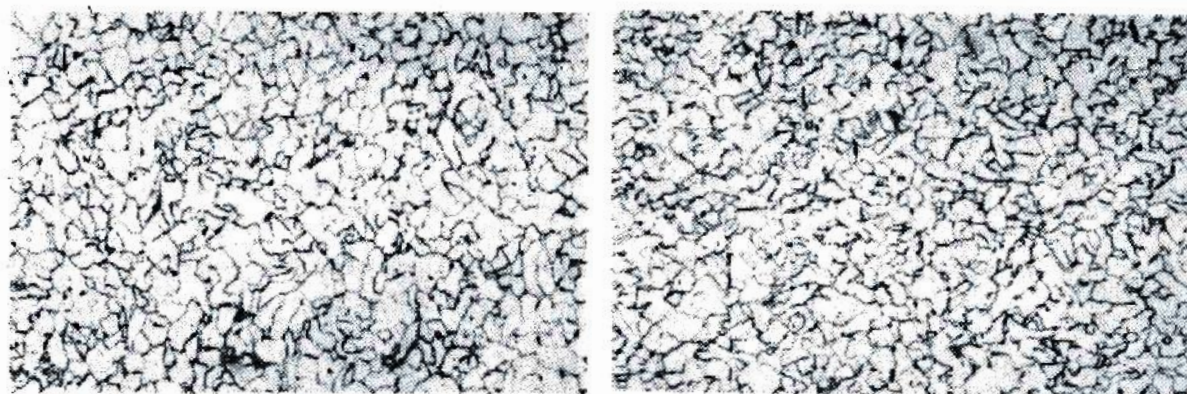
S1.12. Uzdužni presek (200x)      S1.13. Poprečni presek (200x)

U z o r a k 3.



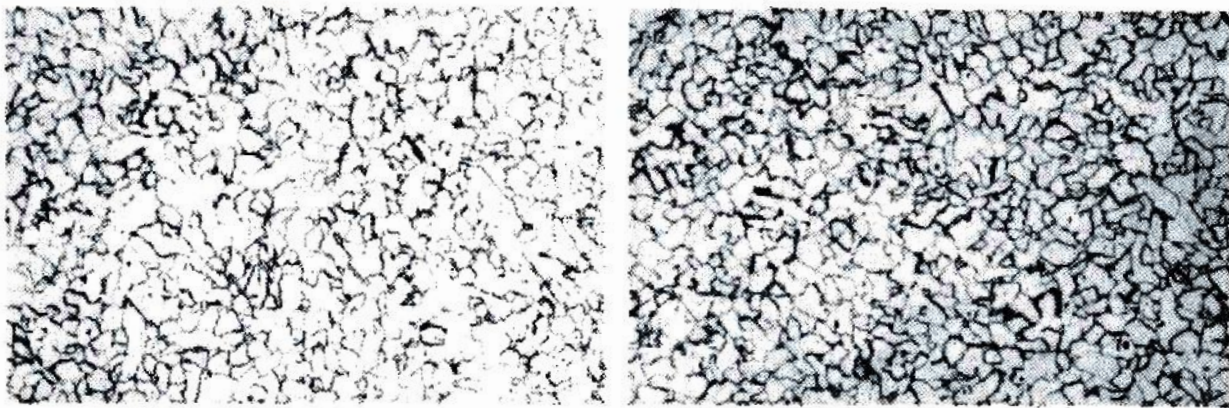
S1.14. Uzdužni presek (200x)      S1.15. Poprečni presek (200x)

U z o r a k 4.



S1.16. Uzdužni presek (200x)      S1.17. Poprečni presek (200x)

U z o r a k 5.



Sl.18. Uzdužni presek (200x)

Sl.19. Poprečni presek (200x)

U z o r a k 6.

usmerenost zrna u uzdužnom, odnosno poprečnom pravcu. Mikrostruktura uzdužnog i poprečnog preseka uzorka 5. data je na slikama 16. i 17. Nema usmerene orijentacije zrna.

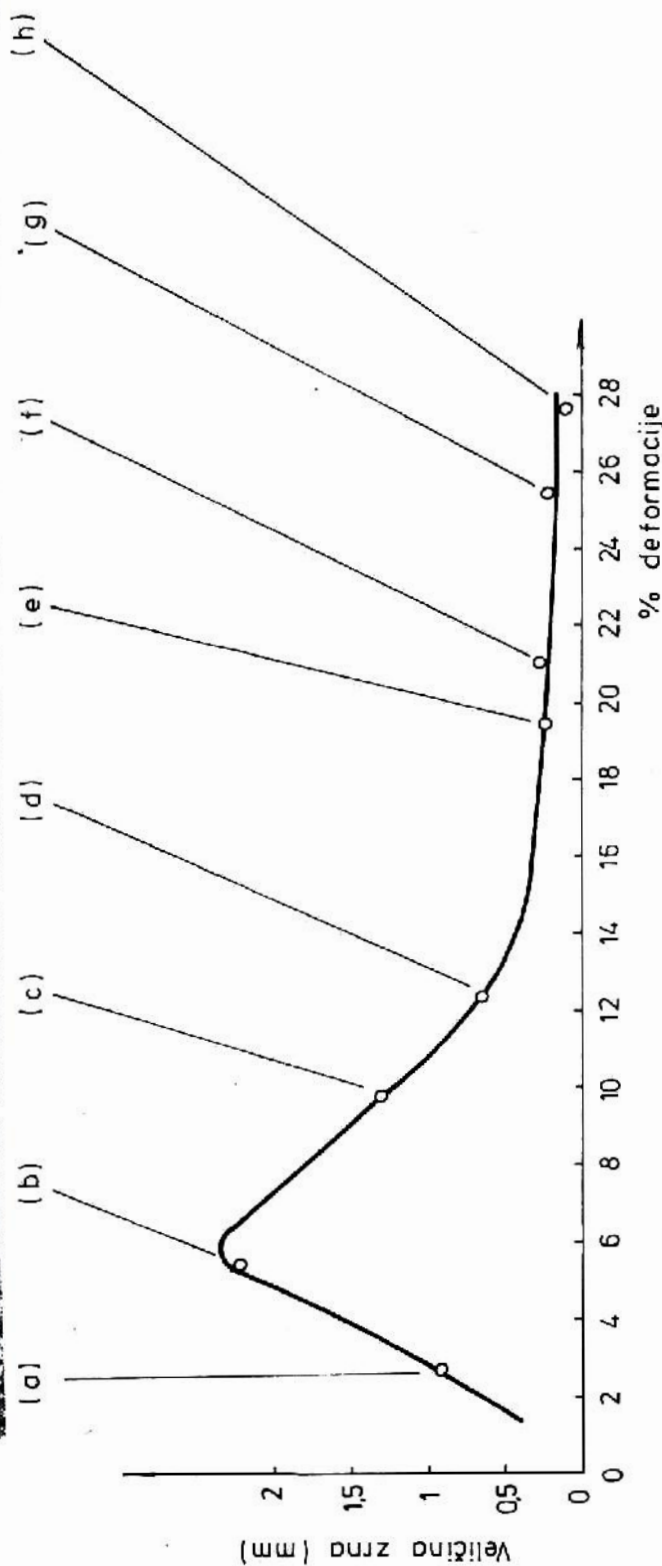
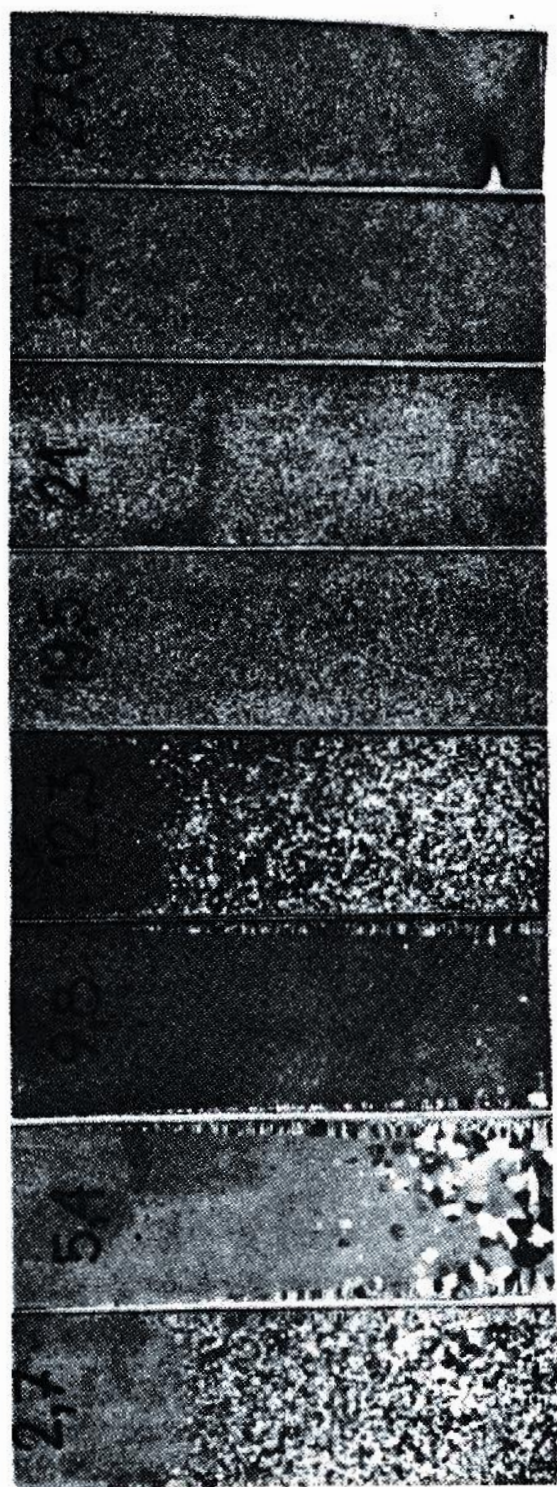
Analiza mikrostruktura uzdužnog i poprečnog preseka uzoraka 6., 7., 8., 9. i 10. pokazala je da se na njima metalografski ne zapaža usmerenost zrna.

#### 4.0. ODREĐIVANJE KRITIČNOG STEPENA DEFORMACIJE

Vrednost kritičnog stepena deformacije, tj. iznalaženje uslova pri kome dolazi do naglog porasta zrna izvedeno je sledećim eksperimentalnim postupkom: Uzorci, (deformisani za različite stepene deformacije) merne dužine 100 mm potapani su odredjenom brzinom u sono kupatilo. Temperatura soli iznosila je  $695 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Na početku eksperimenta uzorci svojom donjom ivicom samo dodiruju površinu soli. Brzina potapanja uzorka iznosila je 0,42 mm/min, tako da je u toku od 4<sup>h</sup> merna dužina uzorka od 100 mm potpuno potopljena u so. Uzorci su zatim hladjeni na vazduhu. Makronagrivanje je izvedeno u 20% nitalu.

Primenjena eksperimentalna metoda predstavlja jedan od načina dobijanja monokristala.

Temperatura rekristalizacije za ovaj čelik, prema literaturnim podacima iznosi 500 do  $700^{\circ}\text{C}$ . Obzirom da je cilj ovoga rada bio definisanje uslova za dobijanje velikog zrna, izabrana je najviša



Sl. 20. Promene veličine zrna u zavisnosti od stepena deformacije



temperatura kupatila, u navedenom opsegu temperatura.

Prethodno je izvedeno određivanje kritičnog stepena deformacije polaznog materijala za izradu butan boca. Uzorci deformisani za napred navedene stepene deformacije (2,7%, 5,4%, 6,0%, 12,3%, 16,1%, 19,5%, 21% i 27,6%), čija je tekstura prikazana na slikama 1 do 6. potapani su u sono kupatilo po napred navedenom eksperimentu.

Ovaj termički tretman, kao što je već rečeno predstavlja jedan od načina dobijanja monokristala kod čistih metala gde je kinetika rekristalizacije drugačija. U ovom materijalu, obzirom na prisustvo legirajućih elemenata, nije dobijen monokristal, ali je za vrednost kritičnog stepena deformacije postignuta izrazita razlika u veličini zrna, što je i bio cilj eksperimenta.

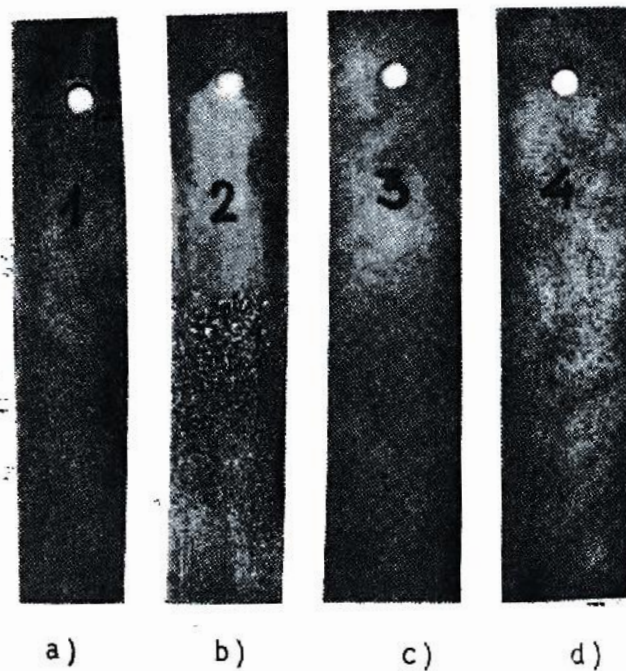
Ekstremno čisti metali poseduju veliku brzinu rekristalizacije. Dodatak malog procenta legirajućih elemenata povećava temperaturu rekristalizacije. Legirajući elementi smanjuju pokretljivost međupovršina i utiču na brzinu rasta zrna i brzinu nukleacije. Ako se nečistoće smeštaju po granicama zrna, one deluju kao inhibitori za rast zrna.

Na slici 20. prikazan je dijagram promene veličine zrna u zavisnosti od stepena deformacije. Na slikama 20. (a,b,c,d,e,f,g,h) prikazana je makrostruktura uzoraka polaznog lima butan boca na kojima je izveden postupak rekristalizacije. Analiza navedenih makro fotografija pokazuje da kritičan stepen deformacije iznosi u ovom slučaju oko 6% (sl.20.b).

Isti eksperiment koji je izveden sa uzorcima polaznog lima za izradu butan boca, ponovljen je na uzorcima koji su direktno isečeni iz boce. To su trake dimenzija 20x95mm, sečene duž polutke boce, po šemi na slici 7. Uzorci su označeni oznakama 1,2,3 i 4., (uzorak 1. je uz zavareni spoj). Ovi uzorci, kako je to kvalitativno analizirano u poglavlju 3. ovog rada, poseduju različite teksture.

Makrostruktura uzoraka butan boca, posle potapanja u sono kupatilo brzinom 0,42 mm/min na temperaturi  $695 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , prikazana je na sl.21 (a,b,c,d). Analiza navedenih mikrofotografija pokazuje da uzorak 21.b poseduje izvestan porast zrna u odnosu na ostale. To znači da se na polutki butan boca, na približno 13 cm od mesta zavarenog spoja može očekivati pojava kritičnog stepena deformacije. Ana-

liza tekstura je pokazala da postoji usmerenost zrna po debljini lima. Predpostavljamo da je to razlog što se eksperimentom potapanja nije dobilo veće zrno. Dobijena informacija je kvalitativne prirode, a za detaljnije i preciznije informacije u ovoj oblasti treba nastaviti istraživanje.



Sl.21. Makrostruktura uzoraka butan boce posle rekristalizacije potapanjem

#### 5.0. VREME REKRISTALIZACIJE

U napred iznetim rezultatima nadjeno je da kritičan stepen deformacije za ispitivani čelik iznosi 5,5%, a usvojena je temperatura rekristalizacije  $695 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

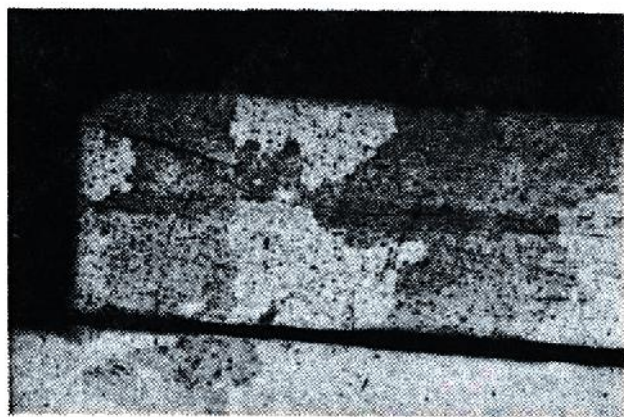
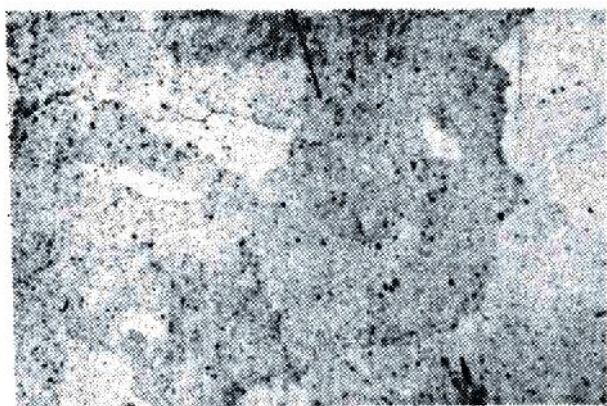
U ovom eksperimentu istraživani je uticaj vremena rekristalizacije na strukturu polaznog materijala za izradu butan boca. Uzorci deformisani za kritičan stepen deformacije (5,5 do 6%) žareni su izotermno u peći, bez zaštitne atmosfere, na  $695 \pm 5^{\circ}\text{C}$  za sledeća vremena: 24<sup>h</sup>, 9<sup>h</sup>, 7<sup>h</sup>, 5<sup>h</sup>, 2<sup>h</sup>, 30 min, 20 min i 10 min. Hladje-

nje je izvedeno na vazduhu.

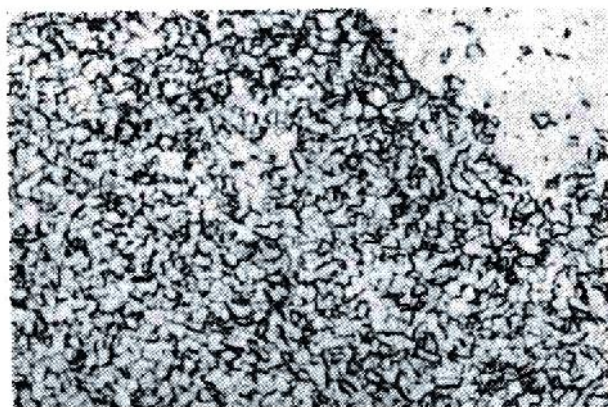
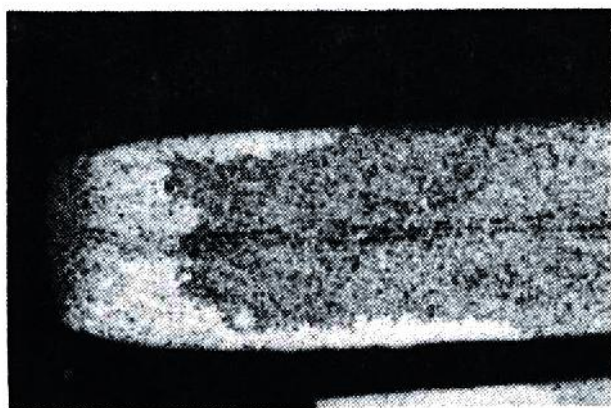
Metalografskom analizom ispitivan je poprečni presek i površina svih uzoraka.

Na slici 22 (a i b) prikazana je mikrostruktura uzorka žarenog 24<sup>h</sup>. Pri ovom vremenu rekristalizacije dobijeno je izrazito veliko zrno po celom preseku, tj. sve je rekristalisano. Nema tragova malih zrna.

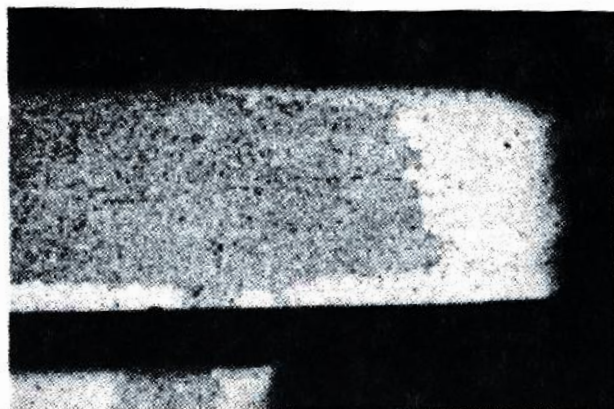
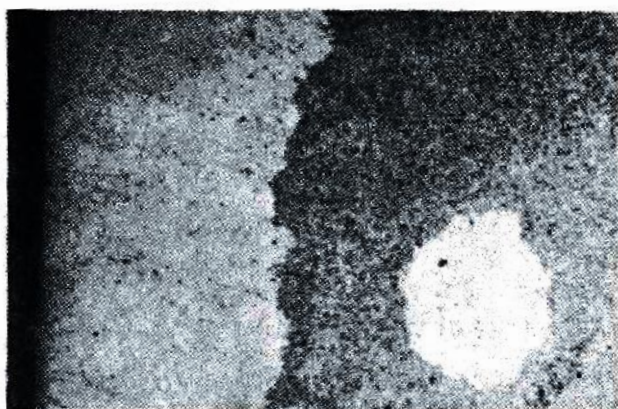
Na sl.23. data je mikrostruktura uzorka žarenog 9<sup>h</sup>. Nije postignuto veliko zrno po celom uzorku, već samo na njegovoj površini. Slika 23.b pokazuje da su mala zrna ostala nepromenjena, tj. ovde nema rekristalizacije.



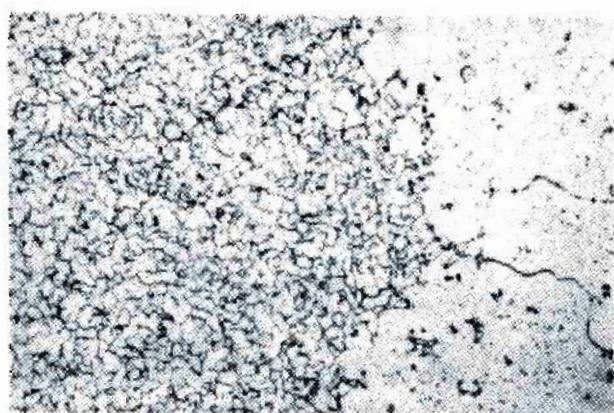
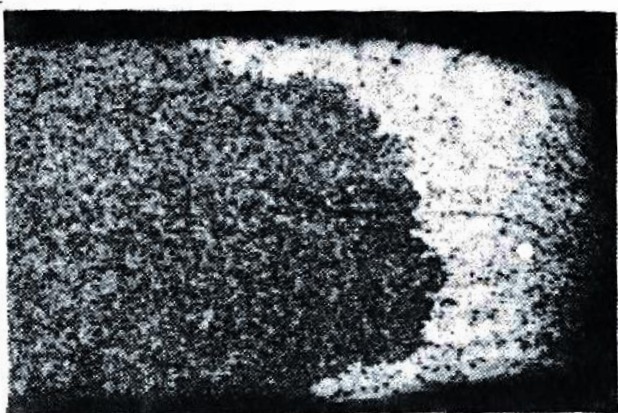
Sl.22.a Površina 12x Sl.22.b Poprečni presek 12x  
Sl.22. Vreme rekristalizacije 24<sup>h</sup>



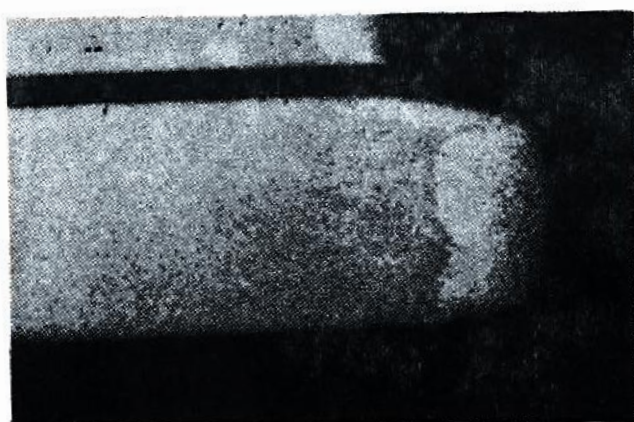
Sl.23.a Poprečni presek 12x Sl.23.b Površina 100x  
Sl.23. Vreme rekristalizacije 9<sup>h</sup>



S1.24.a Površina 12x S1.24.b Poprečni presek 12x  
S1.24. Vreme rekristalizacije 5<sup>h</sup>

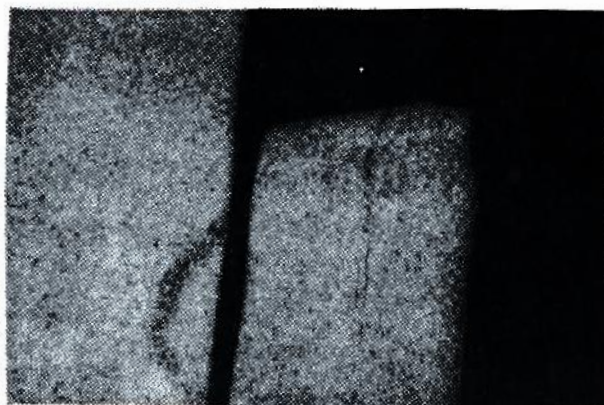


S1.25.a Površina 12x S1.25.b Površina 100x  
S1.25. Vreme rekristalizacije 2<sup>h</sup>



S1.26. Vreme rekristalizacije  
30 min, poprečni presek(12x)

S1.27: Vreme rekristalizacije  
20 min, poprečni presek(12x)



Sl.28. Vreme rekristalizacije 10 min,  
poprečni presek (12x)

Površina uzorka posle rekristalizacije od 5<sup>h</sup> prikazana je na sl.24.a, a njegov poprečni presek na sl.24.b. Rast zrna počinje sa površine uzorka. Medjutim, velika zrna se sreću i kao ostrva u sredini uzorka (sl.a).

Pri vremenu rekristalizacije od 2<sup>h</sup> manje od 1/3 površine uzorka je obuhvaćeno velikim rznima. Prostiru se na površini uzorka, ali ih ima i na sredini. Na sl.25.a prikazan je poprečni presek uzorka. Na sl.25.b data je mikrostruktura pod uvećanjem 100x.

Na sl.26. prikazana je mikrostruktura uzorka žarenog 30 min. Veliko zrno pojavljuje se i na površini uzorka žarenog 20 min.(sl. 27). Na sl.28. data je mikrostruktura uzorka žarenog 10 min. Ovde nema izrazite pojave velikog zrna, ali se uočavaju male nehomogenosti.

## 5.0. ZAKLJUČAK

1. Kritičan stepen deformacije za ispitivani čelik iznosi oko 6%. (Ovaj stepen deformacije kod uzoraka butan boce egzistira negde u zoni na 12 do 14 cm od mesta zavarenog spoja. Na temperaturi rekristalizacije tu se najpre može očekivati lom materijala).

2. Kvalitativno, metalografsko ispitivanje teksture polutke butan boce ukazuje da je usmerenost zrna najveća u zoni dugačkoj 6 do 9 cm od mesta zavarenog spoja.

3. Za sva ispitivana vremena žarenja (20 min, 30 min, 2<sup>h</sup>, 5<sup>h</sup>, 7<sup>h</sup> i 9<sup>h</sup>) pojavljuje se u mikrostrukturi veliko zrno. Proces počinje

na površini uzorka. Za vreme rekristalizacije od 24<sup>h</sup> ceo uzorak se sastoji od velikih zrna (uzorci nisu ispitivani u zaštitnoj atmosferi).

4. Parametri rekristalizacije koji dovode do pojave velikog zrna, tj. nehomogene strukture nepovoljne po osobine butan boce su sledeći:

- temperatura  $695 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ,
- kritičan stepen deformacije 6%,
- najkraće vreme žarenja 10 min.

Ovakve uslove treba izbegavati pri proizvodnji i reparaturi.

#### Literatura

- [1] J.D.Verhoeven: Fundamentals of Physical Metallurgy, New York (1975)
- [2] I.I.Novikov: Teorija termičeskoj obrabotki metallov, Moskva, (1978)
- [3] E.Bickel: Die Metalischen Werkstoffe des Maschinenbaues, Berlin (1961)
- [4] R.Reed-Hill: Physical Metallurgy Principles, New York (1964).