

Uticaj statičkog deformacionog starenja na teksturu i faktore plastične anizotropije umirenog čelika

UDK 669, 14, 018:620, 187
ASM/SLA: N7a, M26c

V. Raič*, Dj. Drobnjak** i S. Malčić***

Uticaj statičkog deformacionog starenja (deformacija: 5–25 %; starenje: 10–200° C/h do 520° C) na teksturu koja se dobija hladnim valjanjem (70 %) i žarenjem (700° C) je određen tehnikom inverznih polarnih slika. Rezultati pokazuju da se udeo [111] komponente povećava a [100] smanjuje sa smanjenjem brzine zagrevanja odnosno povećanjem vremena starenja. Najveće promene se dešavaju kada se brzina smanji od 50 na 20° C/h odnosno vreme poveća od 10 na 25 časova. Ovako ponašanje je pripisano sve većoj efikasnosti AlN čestica koje povećavaju broj klica [111] orijentacije na račun klica [100] orijentacije. Primenom optimalne kombinacije prethodne deformacije (15 %) i brzine starenja (10° C/h) dobijen je srednji faktor plastične anizotropije oko dva.

UVOD

Uticaj disperznih faza na teksturu niskougledničkih čelika koji se preradjuju hladnim valjanjem i žarenjem je opisan u više radova. Utvrđeno je da je za dobijanje izražene [111] teksture, koja povećava sposobnost limova da se oblikuju dubokim izvlačenjem, potrebno da se čelik legira elementima koji obezbeđuju izdvajanje disperznih faza ili pre hladne deformacije ili pre rekristalizacije (1). U prvu grupu spadaju niobijum (2) i titan (3), koji obrazuju karbide, a u drugu aluminijum (4,5) koji obrazuje AlN (umireni čelik).

Najnoviji rezultati dobijeni na čistoj leguri Fe-Al-N pokazuju da aluminijum može biti efikasan i kada se izdvaja pre deformacije (6). Međutim, da li se ovaj efekat može iskoristiti i u komercijalnom umirenom čeliku nije poznato. Shodno tome, cilj ovoga rada je bio da se ispita uticaj AlN čestica koje se izdvajaju u osnovi pre deformacije na teksturu.

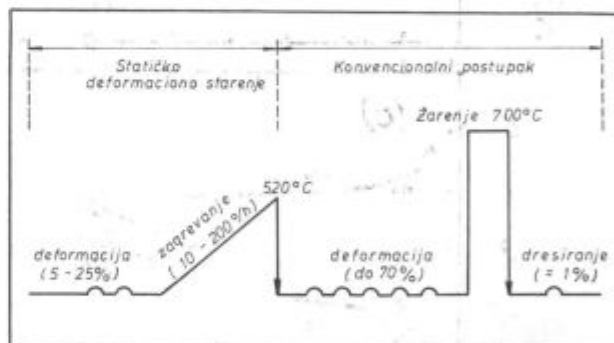
EKSPERIMENTALNI DEO

Materijal

Za ispitivanje je korišćen umireni čelik sledećeg hemijskog sastava: 0,04 % C; 0,32 % Mn; 0,014 % P; 0,019 % S i 0,055 % Al. Polazni materijal je bio u obliku toplo valjanog lima debljine 2 mm. Ranija ispitivanja (7) su pokazala da su pri toploj preradi ostvareni uslovi koji obezbeđuju dobijanje lima za duboko izvlačenje standardnog kvaliteta.

Termomehanička obrada

Primenjeni ciklus termomehaničke obrade je shematski prikazan na sl. 1.



Slika 1

Shematski prikaz ciklusa termomehaničke obrade

Fig. 1

Schematical presentation of the thermomechanical treatment cycle.

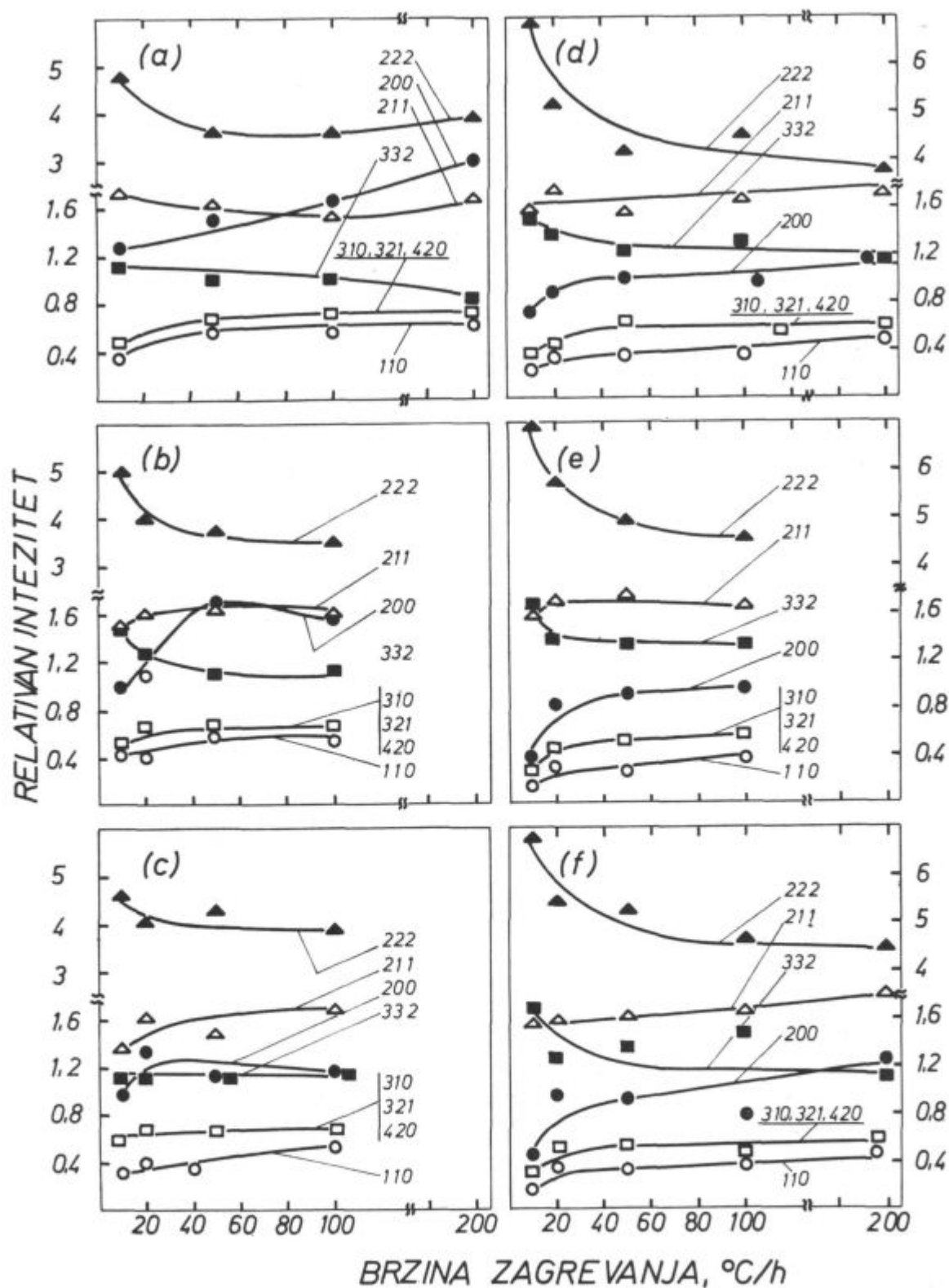
Statičko deformaciono starenje: Polazni materijal je deformisan valjanjem u jednom provlaku (5, 10, 15, 20 i 25 %), zagrevan u komornoj peći konstantnom brzinom (10, 20, 50, 100 i 200° C/h) do 520° C i hladjen na vazduhu.

Konvencionalni postupak: Posle statičkog deformacionog starenja materijal je hladno valjan u više provlaka do 70 % (računajući i prethodnu deformaciju) uz korišćenje ulja za podmazivanje. Step deformacije u svakom provlaku je iznosio

*Istraživački centar, Metalurški kombinat Smederevo

**Zavod za fizičku metalurgiju, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

***Laboratorija za materijale, Institut »Boris Kidrič«, Vinča



Slika 2

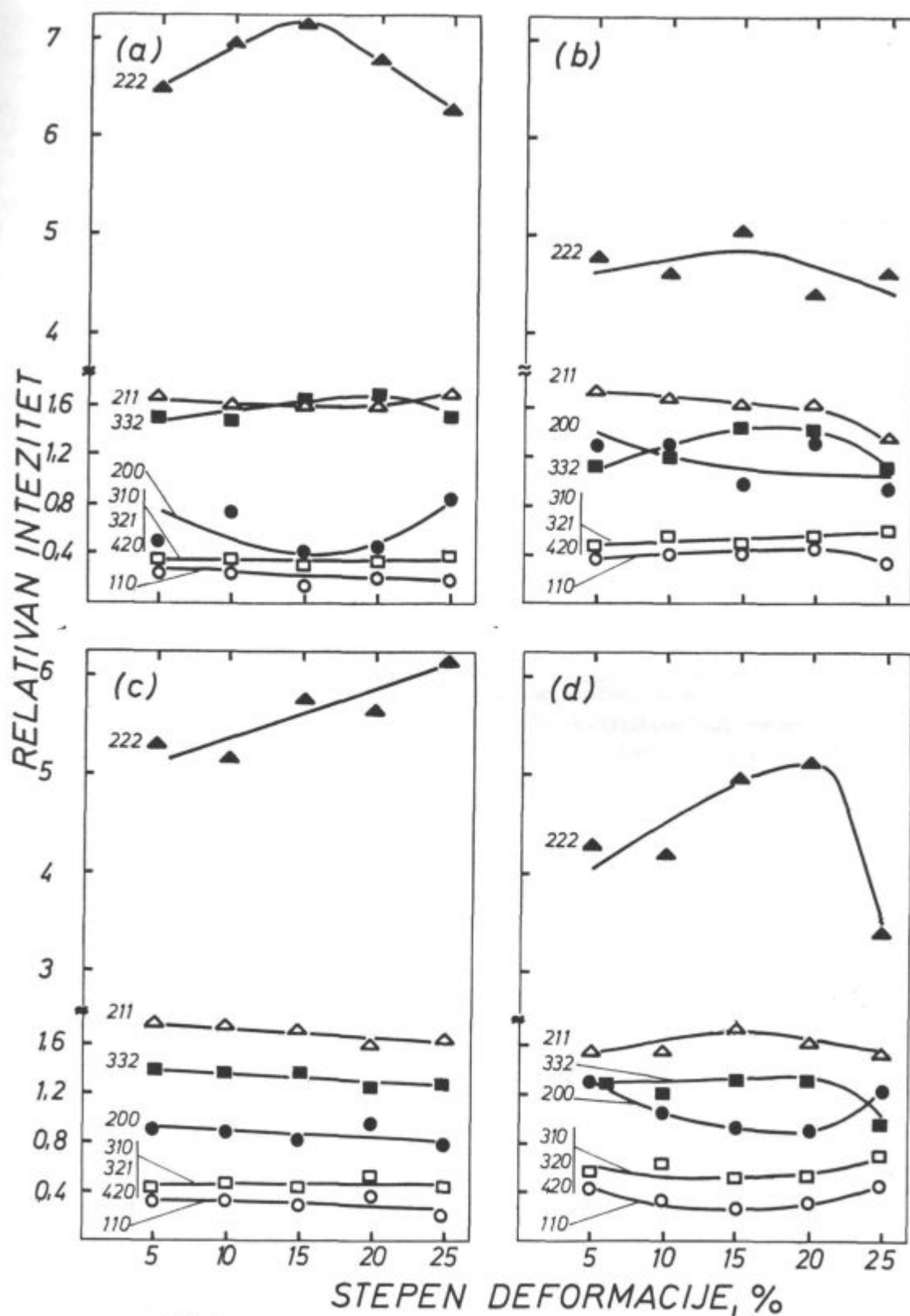
Uticaj brzine starenja na relativan intenzitet

- a) 5 % deformacije pre starenja; 15 minuta na 700° C
- b) 15 % deformacije pre starenja; 15 minuta na 700° C
- c) 25 % deformacije pre starenja; 15 minuta na 700° C
- d) 10 % deformacije pre starenja; 21 h na 700° C
- e) 15 % deformacije pre starenja; 21 h na 700° C
- f) 20 % deformacije pre starenja; 21 h na 700° C

Fig. 2

Influence of the ageing rate on the relative intensity

- a. 5 % deformation before ageing; 15 minutes at 700° C
- b. 15 % deformation before ageing; 15 minutes at 700° C
- c. 25 % deformation before ageing; 15 minutes at 700° C
- d. 10 % deformation; 21 hours at 700° C
- e. 15 % deformation; 21 hours at 700° C
- f. 20 % deformation; 21 hours at 700° C



Slika 3

Uticaј deformacije koja predhodi starenju na relativan intenzitet

- a) brzina starenja 10° C/h; 21 h na 700° C
- b) brzina starenja 10° C/h; 15 min. na 700° C
- c) brzina starenja 20° C/h; 21 h na 700° C
- d) brzina starenja 50° C/h; 21 h na 700° C

Fig. 3

Influence of deformation preceding the ageing on the relative intensity

- a. ageing rate 10° C/h; 21 h at 700° C
- b. ageing rate 10° C/h; 15 min at 700° C
- c. ageing rate 20° C/h; 21 h at 700° C
- d. ageing rate 50° C/h; 21 h at 700° C.

20–25 %. Deformisani uzorci su žareni na 700° C ili u sonom kupatilu (15 min) ili u komornoj peći (21 čas) a zatim dresirani ~ 1 %.

U cilju sprečavanja prekomerne oksidacije i razugljenisanja uzorci žareni u komornoj peći su ili zatapani u kvarcne ampule ili stavljeni u kutiju od nerđajućeg čelika zajedno sa absorberima za kiseonik pa zatim žareni.

Ispitivanje

Tekstura: Za ispitivanje su korišćeni uzorci koji su prethodno hemijskim putem stanjeni do polovine početne debljine. Udeo pojedinih komponenti u teksturi je određen tehnikom inverznih polarnih slika (8). Sa svakog uzorka je meren integralni intenzitet osam refleksija: 110, 200, 211, 310, 222, 321, 420 i 332. Intenzitet svake refleksije, I_{hkl} , je poredjen sa intenzitetom iste refleksije sa uzorka bez teksture, $I_{r,hkl}$. Relativan intenzitet je određen prema izrazu:

$$P_{hkl} = \frac{(\Sigma N_{hkl}) (I_{hkl}/I_{r,hkl})}{\Sigma [N_{hkl} (I_{hkl}/I_{r,hkl})]}$$

gde je N_{hkl} faktor umnožavanja.

Faktori plastične anizotropije: Merenje faktora plastične anizotropije, $R = \epsilon_w/\epsilon_t$ (ϵ_w i ϵ_t su stvarne deformacije po širini i debljini epruvete koje se dobijaju pri dostizanju 15 % izduženja) je izvršeno na uzorcima sečenim pod uglom od 045 i 90° u odnosu na pravac valjanja.

Srednji ili normalni faktor plastične anizotropije, $\bar{R}$, je određen na osnovu izraza:

$$\bar{R} = (R_0 + 2R_{45} + R_{90})/4$$

dok je faktor ravanske plastične anizotropije određen na osnovu izraza:

$$\Delta R = (R_0 + R_{90} - 2R_{45})/2$$

REZULTATI

Tekstura

Uticaj brzine zagrevanja na relativan intenzitet pojedinih refleksija je prikazan na sl. 2. Refleksije [310], [321] i [420] su prikazane zbirnom krivom. Sa povećanjem brzine zagrevanja [322] i njoj bliske [322] komponente se smanjuju dok se [200], [211], [110], [310], [321] i [420] povećavaju. Najviše se menjaju [111] i [200] komponente u intervalu od 10 do 50° C/h. Sa daljim povećanjem brzine zagrevanja promene su znatno manje izražene.

Uticaj stepena deformacije koji prethodi starenju na relativan intenzitet pojedinih refleksija je prikazan na sl. 3. Slični rezultati se dobijaju sa brzinama starenja 100 i 200° C/h. [222] refleksija pokazuje maksimum a [200] minimum na 15 do 25 % deformacije. Ponašanje ostalih komponenti nije tako jasno definisano verovatno zbog toga što se po pravilu malo menjaju.

Poredjenje ovih dijagrama na sl. 2 i 3 pokazuje da je udeo povoljnih komponenti [222], [211] i [332] koje povećavaju sposobnost čelika da se oblikuje dubokim izvlačenjem (7) veći a udeo nepovoljnih manji u materijalu koji je žaren 21 čas na 700° C u odnosu na materijal koji je žaren 15 min. S druge strane u svim uzorcima koji su prethodno deformaciono starenjeni udeo povoljnih komponenti je veći a nepovoljnih manji u odnosu na materijal koji nije deformaciono staren već samo deformisan valjanjem 70 % i žaren na 700° C. U tablici 1 su prikazani rezultati koji omogućuju poredjenje.

Tablica 1. Relativni intenziteti

No.	deformac. starenje	Konvencionalni postupak	Relativan intenzitet, p							
			110	200	211	310	222	321	420	332
1.		70 % def. 15 min. na 700° C	0.67	2.91	1.39	1.37	2.44	0.51	0.59	0.80
2.		70 % def. 21 čas na 700° C	0.56	1.68	1.56	1.08	3.51	0.50	0.46	1.07
3.	15 % def. 10° C/h	70 % def. (ukupno) 15 min. na 700° C	0.42	0.99	1.5	0.77	5.03	0.45	0.27	1.47
4.	15 % def. 10° C/h	70 % def. (ukupno) 21 čas na 700° C	0.14	0.38	1.58	0.36	7.23	0.37	0.18	1.61
5.	20 % def. 10° C/h	70 % def. (ukupno) 21 čas na 700° C	0.19	0.45	1.56	0.45	6.79	0.36	0.17	1.68

Faktori plastične anizotropije

Rezultati su prikazani u tablici 2. Može se videti da je faktor normalne plastične anizotropije jednak 2 (tablica 2, No 5) kada se primeni režim

starenja koji daje najpovoljniji odnos [222] komponente prema [200] komponenti (tablica 1, No. 4). Čim se ovaj odnos smanji (tablica 1. No. 5) faktor R se, takodje smanji na približno 1,7 (tablica 2, No 5).

Tablica 2. Faktori plastične anizotropije

No.	deformac. starenje	Konvencionalni postupak	R_0	R_{45}	R_{90}	R	ΔR
4.	15 % def. 10° C/h	70 % def. (ukupno) 21 čas na 700° C	1.58	1.22	2.66	1.66	0.90
5.	20 % def. 10° C/h	70 % def. (ukupno) 21 čas na 700° C	2.22	1.22	3.34	2.00	1.56

DISKUSIJA

Ranija istraživanja (6) su pokazala da deformaciono starenje povoljno utiče na razvoj [111] teksture u čistoj leguri Fe-Al-N. Ispitivanja izvršena u ovom radu omogućuju da se ovaj zaključak potvrdi i proširi na komercijalni umireni čelik. Treba naglasiti da se režim deformacionog starenja i dalje prerade, koji daju optimalan odnos [111] i [100] komponenti bitno razlikuje u dva materijala. Međutim mehanizam obrazovanja izražene [111] teksture je najverovatnije sličan. Može se pretpostaviti da AlN čestice koje se izdvajaju pre deformacije utiču na isti način kao i kada se izdvajaju pre rekristalizacije. Teorijska razmatranja (1) pokazuju da fino dispergovane čestice proporcionalno menjaju brzinu stvaranja klica novih rekristalisanih zrna svih orijentacija. Vremenska razlika između klica [111] orijentacije koje se stvaraju prve i klica [100], koje se stvaraju poslednje se povećava, zbog čega se u potpuno rekristalisanj strukturi povećava broj zrna [111] orijentacije a smanjuje broj zrna [100] orijentacije. Međutim, zrna [111] orijentacije nisu samo brojnija već su i veća, pošto u prisustvu sekundarnih faza imaju više vremena da rastu. Kada se rekristalizacija završi dolazi do rasta zrna. Velika zrna [111] orijentacije rastu na račun malih zrna [100] orijentacije zbog čega se [111] tekstura dalje pojačava. Uticaj rasta zrna se jasno iskazuje kada se vreme žarenja poveća od 15 min na 21 čas.

Rezultati koji pokazuju da se udeo [111] komponente povećava a udeo [100] smanjuje sa smanjenjem brzine zagrevanja i povećanjem stepena deformacije koji prethodi starenju, omogućuje da se pretpostavi da je za maksimalne efekte s jedne strane postići veoma finu disperziju AlN čestica, a s druge strane stvoriti izraženu čeliastu substrukturu sa izraženim subzrnima koja kasnije postaju klice novih rekristalisanih zrna.

Optimalni režim deformacionog starenja tj. optimalna kombinacija deformacije i brzine zagrevanja omogućuje dobijanje teksture u kojoj je

u odnosu na standardni postupak (7), [111] komponenta zastupljena u približno istom iznosu, komponente [211] i [332] su pojačane dok je [100] znatno smanjena. Direktna posledica je da se dobija veći faktor normalne plastične anizotropije; $R = 2$ (tablica 2) u odnosu na 1,6 (7); koji pokazuje da sposobnost oblikovanja dubokim izvlačenjem treba da bude veća. Međutim, treba naglasiti da faktor ravanske plastične anizotropije je veći od uobičajenog što govori o znatnoj tendenciji ka stvaranju ušica pri dubokom izvlačenju.

ZAKLJUČAK

1. Statičko deformaciono starenje povećava udeo [111] a smanjuje udeo [100] komponente u teksturi u odnosu na njihov udeo u čeliku koji je samo hladno valjan i žaren.

2. Udeo [111] komponente se povećava a udeo [100] smanjuje sa smanjenjem brzine zagrevanja odnosno povećanjem vremena starenja. Najveće promene se dešavaju kada se brzina smanji od 50 na 20° C/h odnosno vreme poveća od 10 na 25 časova. Ovakvo ponašanje je pripisano većoj efikasnosti AlN čestica da u fino dispergovanom obliku povećaju veličinu i broj zrna [111] orijentacije.

3. Primenom optimalnog režima deformacionog starenja (deformacija: 15 %; brzina zagrevanja: 10° C/h) i dugotrajnog žarenja na 700° C (21 h) dobijen je veoma povoljan odnos [111] i [100] komponenti odnosno veoma visok faktor normalne plastične anizotropije koji je približno jednak dva.

Literatura:

1. W. B. Hutchinson, Met. Sci., 8 (1974) 185
2. R. R. Mould and J. M. Gray, Met. Trans., 3 (1972) 3121
3. R. H. Goodenow and J. F. Held, Met. Trans., 1 (1970) 2507
4. W. C. Leslie et al., Trans. ASM, 46 (1954) 1470
5. J. T. Michalak and R. D. Schone, Trans. AIME, 242 (1968) 1149
6. H. Endo et al., Trans. ISI Japan, 15 (1975) 205
7. Dj. Drobnjak et al., Met. Tech., 1 (1974) 371
8. R. M. S. B. Horta et al., Trans. AIME, 245 (1909) 2525

ZUSAMMENFASSUNG

Einfluss der statischen Reckalterung (Verformung: 5–25 %; Alterung: 10–200° C/h bis 520° C) auf die Textur erhältlich durch Kaltwalzen (70 %) und Glühen (700° C) ist mittels der Technik der inversen Polarbilder bestimmt worden. Die Ergebnisse zeigen dass der Anteil der Komponente [111] grösser wird und der Anteil der Komponente [100] mit der Erwärmungsgeschwindigkeit bzw. mit der Verlängerung der Alterungszeit kleiner wird. Die grössten Änderungen geschehen bei der Verminderung der Alterungsgeschwindigkeit von 50 auf 20° C/h bzw. bei der

Verlängerung der Glühzeit von 10 auf 25 Stunden. Ein solches Betragen wird der immer grösseren Wirksamkeit der AlN Teilchen zugeschrieben, durch welche die Zahl der Keime der Orientierung [111] auf das Konto der Keime der Orientierung [100] grösser wird. Mit der Anwendung der optimalen Kombination einer Verformung von 15 % und der Alterungsgeschwindigkeit von 10° C/h kann ein mittlerer Faktor der plastischen Anisotropie rund 2 erreicht werden.

SUMMARY

The effect of static strain aging (strain: 5–25 %; aging: 10–200° C/h to 520° C) on texture development during subsequent cold rolling (70 %) and annealing (700° C) has been studied by means of an inverse pole figures technique. The results show that the [111] component increases and the [100] decreases with decreasing heating rate i.e. increasing aging time, the effect being most

pronounced on passing from 50 to 20° C/h i.e. from 10 to 25 hours. This has been attributed to an increased efficiency of AlN precipitates in developing recrystallization nuclei with [111] orientation on expenses of [100] orientation. An average plastic strain ratio of about two is experienced if an optimum combination of prior strain (15 %) and aging rate (10° C/h) is applied.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние статического деформационного старения (деформация: 5–25 %, старение: 10–200° C/ч до 520° C) на текстуру, полученную холодной прокаткой (70 %) и отжигом при 700° C определено с техникой инверсных полярных изображений. Результаты показывают, что доля [111] компоненты увеличивается, а доля [100] уменьшается с быстротой отжига, т.е. с увеличением времени старения.

Самые большие изменения происходят, когда быстрота

отжига уменьшается с 50° C/ч, т.е. длительность отжига увеличивается с 10 на 25 часов. Такое поведение можно приписать более сильной эффективности частиц AlN, которые увеличивают число зародышей ориентировки [111] на счет зародышей ориентировки [100]. При применении оптимальной комбинации предыдущей деформации (15 %) и быстроты старения (10° C/ч), получим как средний фактор пластической анизотропии значение, которой составляет величину 2.