

Poprava, rekristalizacija in rast zrn v jeklu z 2% Si - 0,3% Al - 0,003% C

Recovery, Recrystallization and Grain Growth in a 2% Si - 0,3% Al - 0,003% C Steel

Steiner Petrovič D.¹, M. Jenko, F. Vodopivec, IMT Ljubljana

Vzorci razogljščene in nerazogljščene neorientirane elektro pločevine laboratorijske izdelave smo žarili v svinčevi kopeli v temperaturnem območju od 550 do 800°C. Spremljali smo procese, ki v deformiranih kovinah potekajo med žarjenjem - popravo, rekristalizacijo in rastjo rekristaliziranih zrn. Izmerili smo trdoto vzorcev, ki smo jih žarili pri temperaturah, ko poteka poprava. Na podlagi mikrostruktur smo spremljali nastanek rekristalizacijskih kali, ocenili velikost zrn in določili kinetiko rekristalizacije. Industrijsko izdelano jeklo je rabilo v primerjalne namene.

Ključne besede: poprava, rekristalizacija, rast zrn, rekristalizacijske kali

The decarburized and undecarburized cold rolled electrical steels were annealed in a deoxidized lead bath in the temperature range from 550 to 800°C. The microstructure was examined and the average grain size assessed. The process of recovery was investigated on specimens annealed at lower temperatures by hardness measurements. Industrially manufactured samples of non-oriented sheets were used as comparison.

Key words: recovery, recrystallization, grain growth, recrystallization nuclea

1. Uvod

Elektro pločevine so eden najpomembnejših materialov, ki se uporabljajo v proizvodnji električnih strojev. Njihove mehanske lastnosti so odvisne predvsem od sestave in velikosti kristalnih zrn. Da bi dosegli optimalno velikost kristalnega zrna in da bi zmanjšali količino ogljika, ki povzroča staranje materiala in spremembe električnih in magnetnih lastnosti, moramo pločevino žariti za popravo, rekristalizacijo in rast rekristaliziranih zrn.

2. Eksperimentalno delo

V vakuumski indukcijski peči smo iz relejnega železa, silicija in aluminija izdelali dve jekli (N4, D1) ter za primerjavo vzeli dve jekli industrijske izdelave (L0, L1). Kemijske sestave preiskovanih jekel podaja **tabela 1**.

Tabela 1: Kemijske sestave preiskovanih jekel v masnih %

Table 1: Chemical composition of investigated steels in mass contents in %

	C	Si	Mn	Al	P	S
N4	0,031	1,78	0,22	0,28	0,001	0,001
D1	0,0035	2,12	0,22	0,28	0,001	0,001
L0	0,017	2,00	0,27	1,00	0,020	0,003
L1	0,011	2,02	0,255	1,00	0,014	0,003

Ingote laboratorijske izdelave, debeline 40 mm, smo vroče izvaljali v trakove z debelino 2,5 mm, odškajali, hladno izvaljali na debelino 1,2 mm, rekristalizacijsko žarili v vakuumski peči pri 840°C 30 minut in hladno izvaljali na končno debelino 0,5 mm. Industrijske trakove z debelino 2,3 mm smo odškajali in nato hladno valjali do 1,2 mm. Polovico teh trakov smo žarili za rekristalizacijo in razogljščanje do nizke vsebnosti ogljika (0,0035% C) in valjali na končno debelino 0,5 mm. Po vročem valjanju je bila mikrostruktura obeh laboratorijskih jekel iz podolgovatih kristalnih zrn, katerih oblika in velikost sta kazali odsotnost procesa rekristalizacije med končnim valjanjem. Po hladnem valjanju na 1,2 mm in po rekristalizaciji je bila mikrostruktura iz poliedričnih zrn ferita, posamičnih majhnih zrn perlita in cementitnih zrn.

Po vmesnem žarjenju za rekristalizacijo je bila mikrostruktura v vseh analiziranih jeklih zelo podobna, z izjemo razogljščenega jekla, ki je imelo večjo povprečno velikost zrn in ni imelo perlitnih in cementitnih zrn.

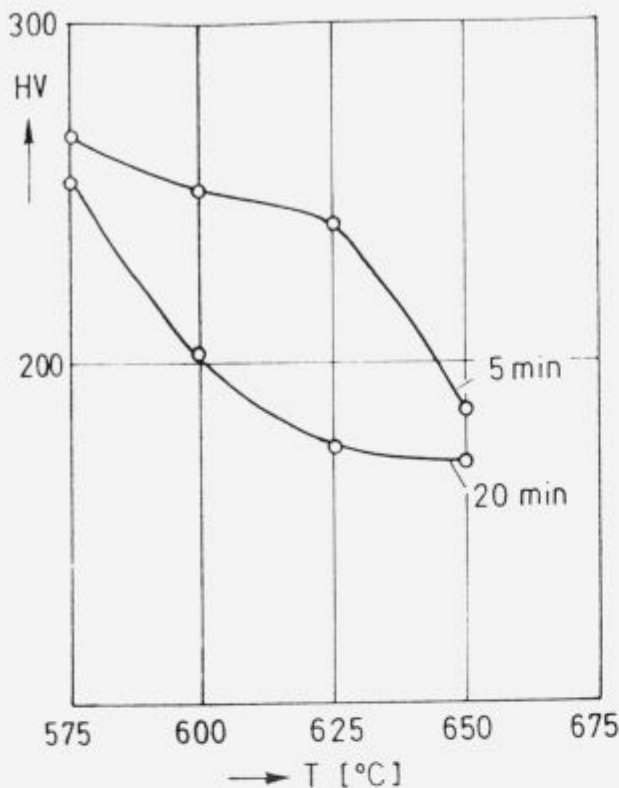
Po hladnem valjanju do 0,5 mm smo vzorce žarili v dezoksidirani svinčevi kopeli pri temperaturah od 550 do 800°C. Mikrostrukturo smo opazovali z optičnim mikroskopom. Trdoto smo merili na vzorcih, ki so bili žarjeni pri nižjih temperaturah.

3. Rezultati in diskusija

Jekla, ki smo jih preiskovali, spadajo med tista z zmanjšano stabilnostjo avstenita. Npr. mikrostruktura jekla N4, ki ima 0,031% C in 1,8% Si, vsebuje po

¹ Darja STEINER PETROVIČ, dipl.inž.
Inštitut za kovinske materiale in tehnologije
61000 Ljubljana, Lepi pot 11

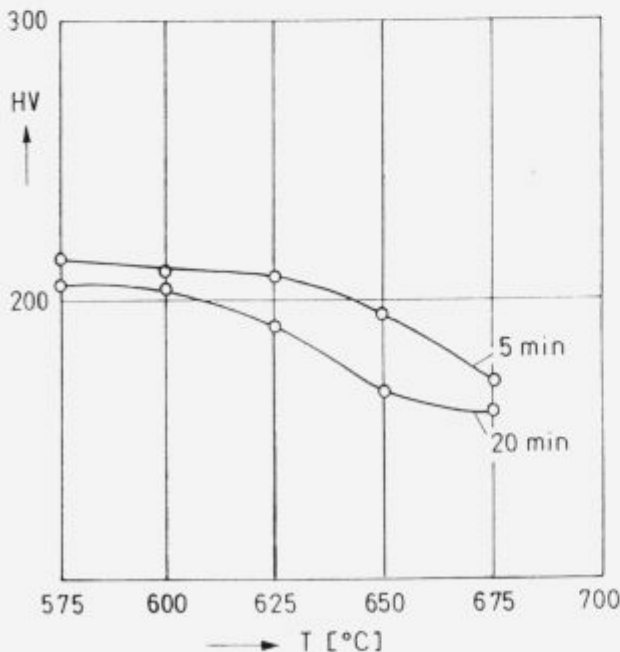
N 4



Slika 1: Vpliv časa in temperature žarjenja na trdoto nerazogljčenega laboratorijskega jekla (N4)

Figure 1: The effect of annealing time and temperature on hardness for non decarburized laboratory steel (N4)

D 1



Slika 2: Vpliv časa in temperature žarjenja na trdoto razogljčenega laboratorijskega jekla (D1)

Figure 2: The effect of annealing time and temperature on hardness for decarburized laboratory steel (D1)

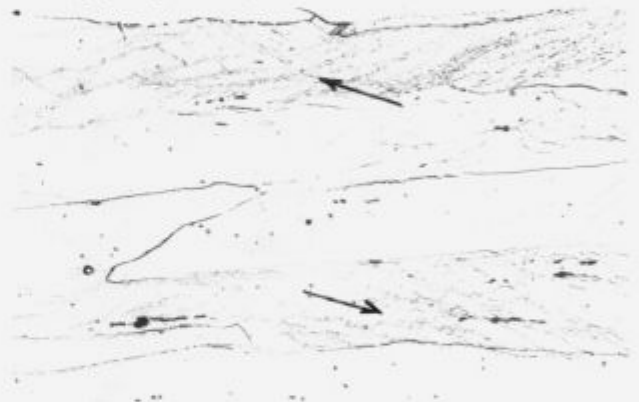
vročem valjanju pri 950°C 80% ferita¹. Za statično rekristalizacijo ferita pa je potrebna deformacija 62%^{2,3}

Procesa poprave in poligonizacije sta v deformiranem feritu zelo hitra¹.

Rezultati nam povedo, da je trdota med popravo in rekristalizacijo padala (sliki 1 in 2). Mehčanje materiala v jeklih je bilo opaženo med 575 in 675°C.

Rekristalizacijske kali so se v laboratorijskih jeklih pojavljale vzdolž drsnih lamel (slika 3), nismo pa jih opazili na kristalnih mejah. Rekristalizacija se je nadaljevala s tvorjenjem novih kali in rastjo prvotnih znotraj zrn.

Hitra rast kali je potekala pri temperaturi 600°C, ko je trdota hitro upadala. Pri nižjih temperaturah je bila rast kali komaj zaznavna. Deformacijsko utrjevanje se je v vseh zrnih zmanjševalo z enako hitrostjo, tj. v rekristaliziranih in v onih, kjer z optično mikroskopijo rekristalizacije še nismo opazili. Zrna, kjer je bila rekristalizacija počasnejša zaradi daljše inkubacijske dobe, ki je potrebna za nastanek kali, so rekristalizirala pri višjih temperaturah. To potrjuje domnevo⁴, da t.i. zakasnjena rekristalizacija poteka z rastjo poligonizacijskih subzrn.



Slika 3: Rekristalizacijske kali v nerazogljčenem laboratorijskem jeklu pri 550°C (Nital, 500x)

Figure 3: Recrystallization nuclei in non decarburized laboratory steel (N4) at 550°C (Etchant: Nital, 500x)

V mikromorfologiji nastajanja rekristalizacijskih kali ni bilo razlik med laboratorijsko izdelanimi jekloma. V nerazogljčenem jeklu industrijske izdelave so rekristalizacijske kali nastajale, podobno kot v laboratorijskem jeklu s podobno sestavo, na deformacijskih črtah. V nerazogljčenem jeklu so se prve kali pojavile na stičiščih treh feritnih zrn, vzdolž kristalnih meja in v notranjosti kristalnih zrn. V nerazogljčenem industrijskem jeklu se je proces rekristalizacije odvijal podobno kot v nerazogljčenem laboratorijskem jeklu, z rastjo novih rekristaliziranih zrn znotraj kristalnih zrn, medtem ko je v razogljčenem jeklu rekristalizacija potekala tudi na stičiščih feritnih zrn in so nova zrna rasla neodvisno od prvotnih kristalnih mej.

Najvišja temperatura žarjenja je bila 800°C, ker pri višjih temperaturah že pride do pojava anomalne rasti zrn⁵. Svinčevo kopel smo dezoksidirali, da bi tako preprečili dodatno razogljčenje med žarjenjem

za rekristalizacijo, saj količina ogljika bistveno vpliva na mikromorfologijo in kinetiko rasti rekristaliziranih zrn⁶. V identičnih razmerah je bila stopnja rekristalizacije manjša v razogljichenem industrijskem jeklu, podobno, kot v obeh jeklih laboratorijske izdelave.

3. Sklepi

1. Analiza jekel je pokazala, da rekristalizacijske kali v nerazogljicheni laboratorijski in industrijski elektro pločevini nastajajo znotraj deformiranih zrn. Nukleacije na kristalnih mejah nismo opazili.

2. Rekristalizacijske kali rastejo znotraj deformiranih zrn. Mikrostruktura je bila po nepopolni rekristalizaciji iz rekristaliziranih zrn in iz tistih, kjer so potekali samo procesi, ki potekajo med popravo in imajo notranjo substrukuro, ki je z optičnim

mikroskopom ni moč zasledovati. Obe fazi mikrostrukture sta imeli podobne trdote.

3. Po razogljichenju je v elektro pločevinah hitrost nastajanja rekristalizacijskih kali manjša, hitrost rasti rekristaliziranih zrn pa v primerjavi z nerazogljichenim jeklom naraste.

4. Literatura

¹ F. Vodopivec et al., *Železarski zbornik*, 3, 1987, 113

² T. Tanaka et al., *Micro Alloying*, 75, Union Carbide Corporation, New York, 1977, 32

³ S. Gohda, T. Watanabe, J. Hashimoto, *Transactions ISIJ*, 21, 1981, 6

⁴ F. Vodopivec, F. Marinšek, *Steel Research*, 57, 1986, 531

⁵ H. Atkinson, *Acta Metal.*, 36, 1988, 469

⁶ D. Steiner Petrovič, M. Jenko, F. Vodopivec, *Kovine, zlitine, tehnologije*, 29, 1995, 1-2, 62