

Rast rekristaliziranih zrn v zlitini Fe in Si

Recrystallized Grain Growth in Fe and Si Alloy

D. Hajnže, Železarna Ravne, Ravne na Koroškem
in

F. Vodopivec, M. Jenko, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, Ljubljana

Cilj raziskave je bil določiti kinetiko rasti rekristaliziranih zrn v hladno valjanem traku jekel za neorientirano elektro pločevino z in brez dodatka antimona.

V ta namen smo s taljenjem v indukcijski peči izdelali iz enakih surovin dve vrsti jekel za neorientirano elektro pločevino. Vzorce neorientiranih pločevin obeh sestav smo žarili v svinčevi kopeli od 30 sekund do 60 minut pri temperaturah od 675 do 825°C. Izmerili smo poprečno velikost zrn, trdoto in koncentracijo ogljika, ter študirali vpliv antimona na kinetiko rasti rekristaliziranih zrn.

The aim of investigation was to determine the kinetics of recrystallized grain growth in cold rolled nonoriented sheets antimony microalloyed and in comparing steel without antimony. The samples of both steels were heated in lead bath from 30 seconds up to 60 minutes at the temperatures from 675 to 825°C. The average grain size, hardness, carbon content and the kinetics of recrystallized grain growth were measured.

1 Uvod

Elektro pločevino uporabljajo za izdelavo električnih strojev in naprav. Izdelana je iz jekel z 0.8 do 3.2% Si. Ta element poveča specifično električno upornost in s tem zmanjša izgube zaradi vrtnčastih tokov. Osnovno merilo za kvaliteto elektro pločevine so vodne izgube. Te predstavljajo vsoto energije, potrebne za spremembo smeri magnetenja pri določeni indukciji in energije, ki se porabi za vrtnčaste tokove. Čim manjša je ta energija, tem boljša je elektro pločevina.

Antimon je površinsko aktivni element, ki segregira po kristalnih mejah in po prostih površinah. Z dodatkom antimona v jeklo za neorientirano elektro pločevino dosežemo izboljšanje teksture in zmanjšanje vodnih izgub (1-6). Dodatek antimona je znašal 0,052% pri različnih časih segrevanja od 0.5 do 60 minut.

V delu opisujemo kinetiko rasti rekristaliziranih zrn v temperaturnem intervalu od 615-825°C v nelegiranem jeklu, ki smo ga vzeli kot primerjalno jeklo ter v jeklu, mikrolegiranim z antimonom.

2 Eksperimentalno delo

Obe jekli, primerjalno in mikrolegirano z antimonom, sta bili izdelani s taljenjem v laboratorijski indukcijski peči na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije in uliti v ingote 60×60 mm, ki so bili vroče izvaljani v trak debeline 2.5 mm in nato še hladno izvaljan do končne debeline 0.5 mm. Vzorce trakov obeh pločevin smo nato žarili v svinčevi kopeli. Raziskali in izmerili smo vpliv temperature in časa segrevanja na mikrostrukturo, velikost zrn, trdoto ter analizirali vsebnost C.

Velikost zrna smo določili z metodo poprečne površine zrn. Za kontrolo hitrosti procesa rekristalizacije in za kontrolo zmanjšanja deformacijske utrditve s popravo smo izmerili trdoto po Vickersu.

3 Rezultati in diskusija

3.1 Mikromorfologija rasti zrn

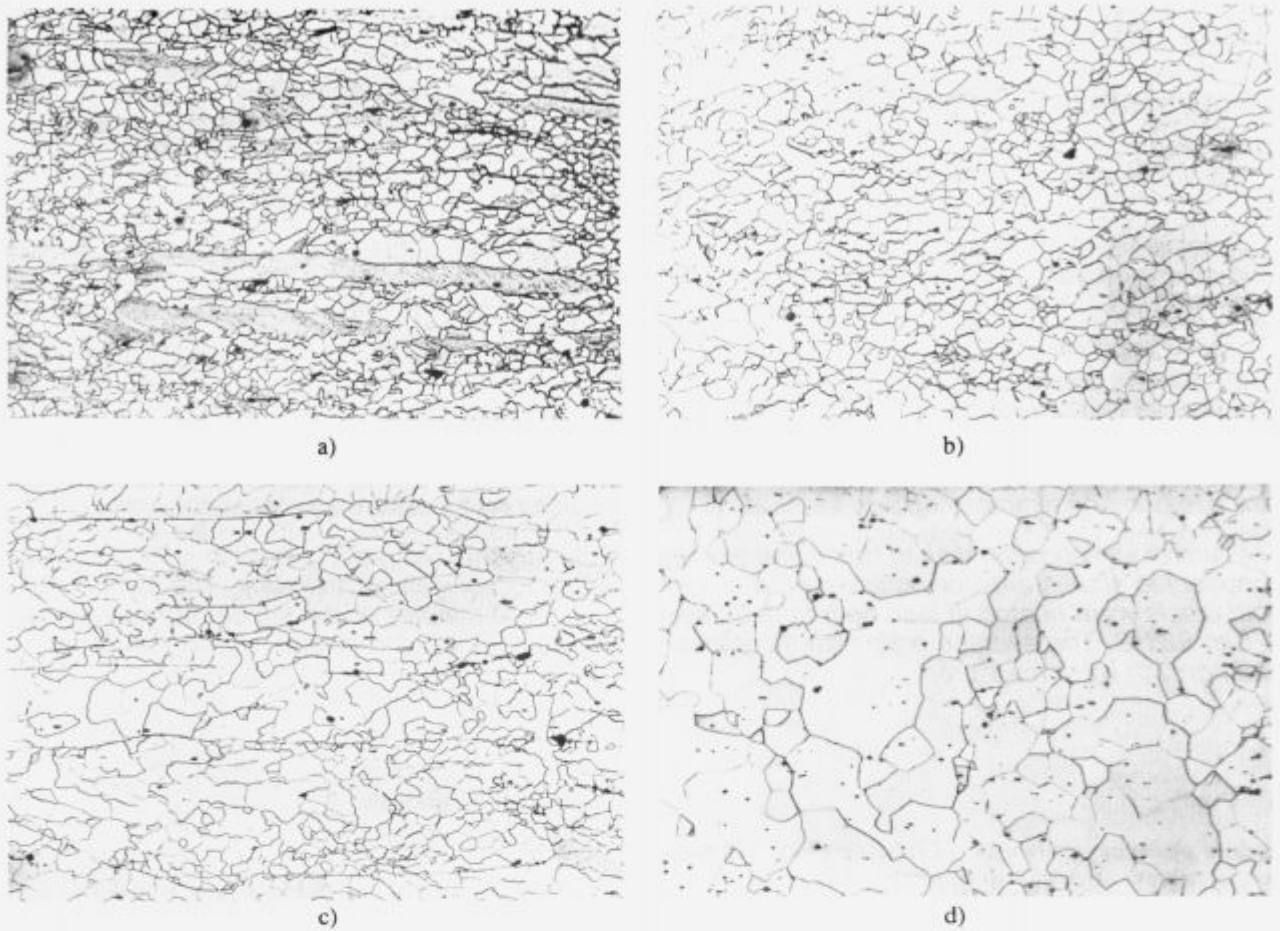
Po hladnem valjanju je mikrostruktura v nelegiranem primerjalnem jeklu, kot tudi v jeklu z dodatkom antimona, iz podolgovatih zrn ferita (sliki 1, 2).



Slika 1. Mikrostruktura hladno valjanega, nelegiranega jekla, povečava 200×.

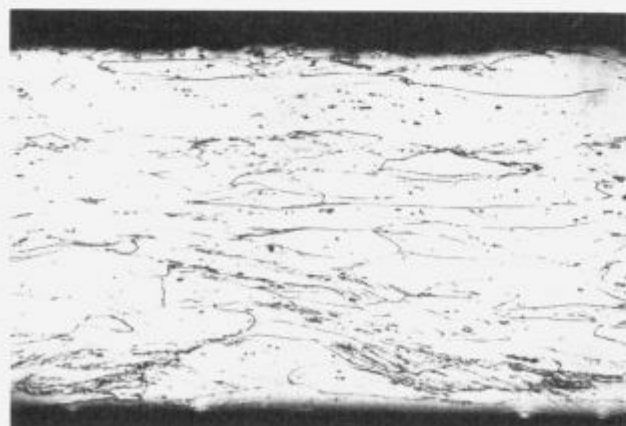
Figure 1. Microstructure of cold rolled nonalloyed steel, magnification 200×.

Po 30 sek. segrevanja pri 675°C je v primerjalnem jeklu mikrostruktura iz rekristaliziranih zrn in posameznih velikih nerekrystaliziranih zrn (slika 3a). Po dveh minutah žarjenja najdemo le še posamične nerekrystalizirane ostanke (slika 3b). Po petih minutah žarjenja je rekristalizacija popolnoma končana. Pri temperaturi 825°C opazimo po daljšem času žarjenja anormalno rast posameznih zrn (slika 3d), zaradi anizotropije v gibljivosti kristalnih mej. Značilno za ta proces anormalne rasti so posamična velika zrna v matriksu majhnih zrn.



Slika 3. a) Mikrostruktura primerjalnega jekla, žarjenega na 675°C 30 sekund, povečava 200×. b) Mikrostruktura nelegiranega jekla, žarjenega na 675°C 2 minuti, povečava 200×. c) Mikrostruktura legiranega jekla z Sb, žarjenega na 675°C 2 minuti, povečava 200×. d) Mikrostruktura jekla legiranega z sb, žarjenega na 825°C 60 minut, povečava 100×.

Figure 3. a) Microstructure of comparing steel heated 30 seconds at 675°C, 200×. b) Microstructure of comparing steel heated 2 minutes at 675°C, 200×. c) Microstructure of antimony alloyed steel, heated 2 minutes at 675°C, 200×. d) Microstructure of antimony alloyed steel, heated 60 minutes at 825°C, 100×.



Slika 2. Mikrostruktura hladno valjanega jekla, legiranega z antimonom, povečava 200×.

Figure 2. Microstructure of cold rolled antimony alloyed steel, magnification 200×.

V jeklu, mikrolegiranem z antimonom je evolucija mikrostrukture pri žarjenju podobna, le-da opazimo nerekrystalizirani matriks do nekoliko daljšega časa žarjenja. Pomembnejšega obsega anormalne rasti nismo opazili tudi po 60 min. žarjenja pri 825°C, ko je bila takšna rast v primerjalnem jeklu že precej izrazita.

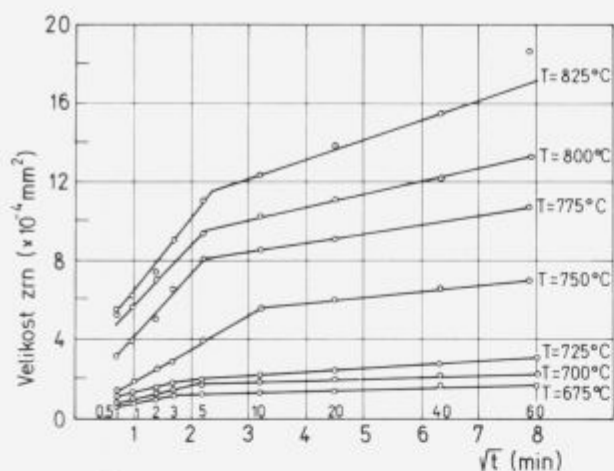
3.2 Kinetika rasti zrn

Odvisnost med trajanjem segrevanja in velikostjo zrn je prikazana na slikah 4 in 5. Kinetiko rasti rekristaliziranih zrn v primerjalnem jeklu opisujeta dve paraboli z obliko enačbe:

$$VZ = K_1 + K_p \cdot t e^{1/2},$$

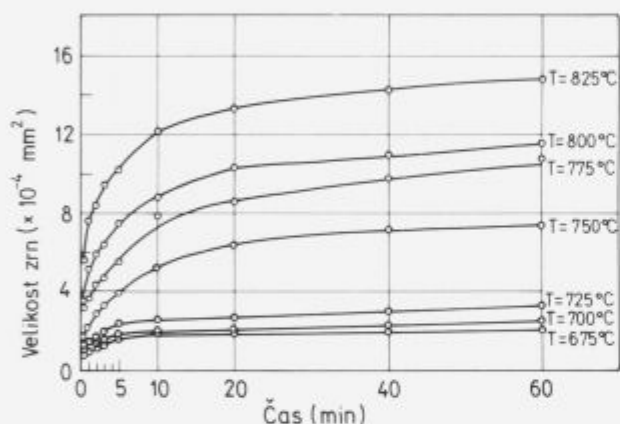
kjer je:

VZ	velikost zrn,
K_1	konstanta,
K_p	parabolična konstanta rasti,
t	čas segrevanja.



Slika 4. Časovna odvisnost velikosti zrn po žarjenju za nelegirano jeklo.

Figure 4. Relationship between average grain size and heating duration for nonalloyed steel.



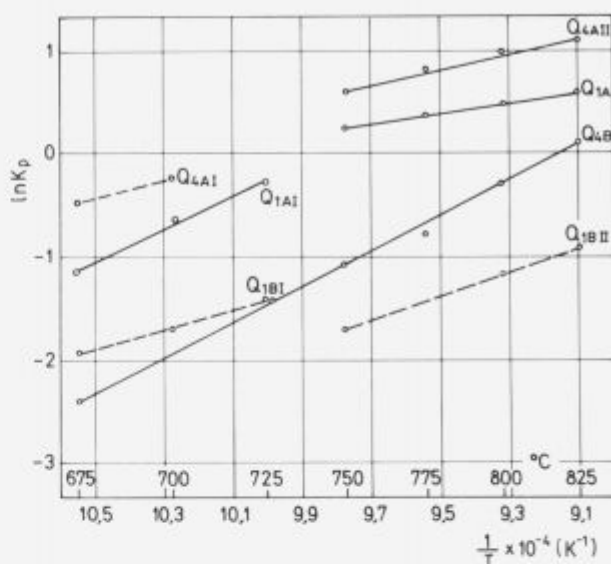
Slika 5. Časovna odvisnost velikosti zrn za jeklo z antimonom.

Figure 5. Relationship between average grain size and heating duration for antimony alloyed steel.

Pri vseh temperaturah je na parabolični krivulji prelom, po katerem je hitrost rasti manjša. Zanesljive razlage preloma še nimamo. Pred časom je bila predložena hipoteza, da se hitrost rasti rekristaliziranih zrn v jeklu z 0.3% Al in 2% Si zmanjša, ko doseže količina C v raztopini ferita neko določeno vrednost (8). Kinetiko rasti v jeklu z dodatkom antimona opisuje parabola podobne oblike, le da se pojavlja prelom pri nekoliko večji velikosti zrn. To bi se ujemalo z razlago, da je ta prelom odvisen od vsebnosti ogljika v raztopini, kajti razogljčenje v jeklu z antimonom je manjše kot v primerjalnem jeklu.

Na sliki 6 je prikazana odvisnost med recipročno vrednostjo temp. in log vrednosti paraboličnih konstant rasti Kp , ki so izračunane iz naklona kinetičnih krivulj. Dobljene eksperimentalne točke so povezane s premico po Arheniusovi odvisnosti, katere naklon je proporcionalen aktivacijski energiji procesa rasti zrn. Samo v enem primeru, to je v primerjalnem jeklu v počasnejši fazi rasti (faza B) ležijo vse točke na isti premici, ki ustreza aktivacijski energiji $Q_{4B} = 186.2 \text{ kJ/molK}$.

Vrednosti za aktivacijsko energijo kažejo, da segregacija antimona po mejah zrn nima zaznavnega vpliva na proces migracije mej in s tem na proces rasti zrn.



Slika 6. Odvisnost med logaritmom vrednosti paraboličnih konstant rasti zrn in recipročno vrednostjo temperature.

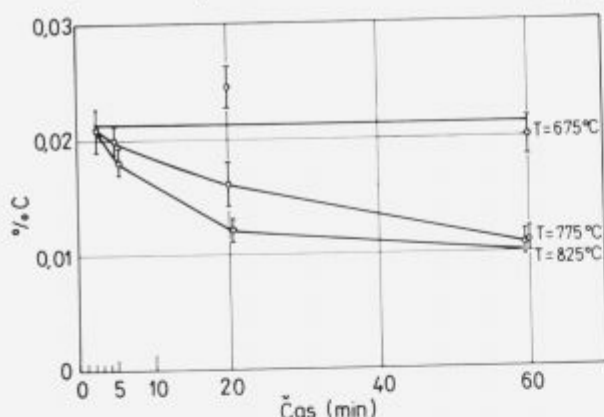
Figure 6. Relationship between logarithm values of parabolic constants and mutual value of temperature.

3.3 Razogljčenje jekla med žarjenjem v svinčevi kopeli

Hitrost rasti rekristaliziranih zrn je odvisna tudi od količine ogljika, ki je v raztopini. Na sliki 7 je prikazana vsebnost ogljika po različnih časih in temperaturah žarjenja. V primerjalnem jeklu pri nižjih temperaturah praktično ni razogljčenje. Pri temperaturah 775° in 825°C pa je razogljčenje že precej izrazito in poteka po parabolični krivulji. V jeklu z antimonom je razogljčenje manjše (slika 8). Najverjetnejša razlaga za vpliv antimona na proces razogljčenja je v zvečanju aktivnosti ogljika v raztopini ferita. Zaradi povečane aktivnosti je zmanjšana koncentracija ogljika v trdni raztopini in manjši je gradient koncentracije iz notranjosti proti površini. S tem je tudi manjši tok atomov ogljika, ki prehajajo iz notranjosti na površino pločevine, kjer se vežejo v ogljikov monoksid.

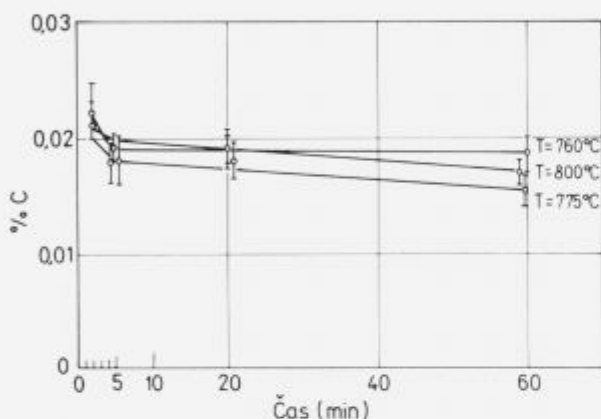
3.4 Vpliv temperature in časa žarjenja na trdoto

Na slikah 9 in 10 je prikazan vpliv temperature in časa žarjenja na trdoto. V primerjalnem jeklu se trdota precej zniža že po 30 sek. žarjenja pri 675°C, konstantno vrednost doseže po 5 min. žarjenja, pri temperaturi 750°C pa že po 1 minuti žarjenja. V jeklu z dodatkom antimona je trdota po 30 sekundah žarjenja pri nizkih temperaturah precej višja kot v primerjalnem jeklu (nad 190 HV) in doseže konstantno vrednost po daljšem žarjenju. Iz rezultatov, ki so na voljo ni jasno, ali je temu vzrok počasnejša poprava, ali pa kasnejša nukleacija rekristaliziranih zrn. To bi lahko ugotovili le s pomočjo poskusov pri nizkih temperaturah, kjer bi lahko jasno razločili obe fazi procesa izločanja deformacijske energije, popravo in rekristalizacijo.



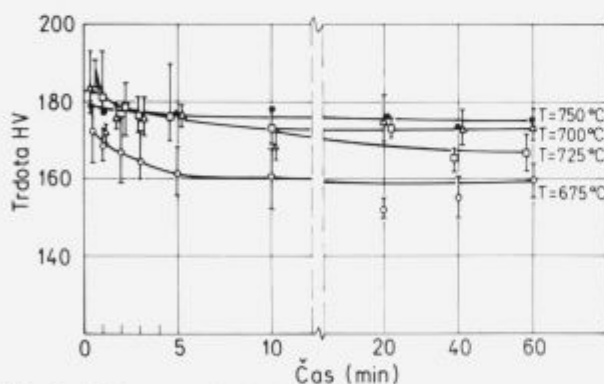
Slika 7. Vsebnost ogljika po različnih časih žarjenja na temperaturah 675, 775 in 825°C za nelegirano jeklo.

Figure 7. Carbon contents after different heating time at temperatures: 675, 775 and 825°C for nonalloyed steel.



Slika 8. Vsebnost ogljika po različnih časih žarjenja na temperaturah 750, 775 in 800°C za jeklo z antimonom.

Figure 8. Carbon contents after different heating time at temperatures: 750, 775 and 800°C for antimony microalloyed steel.

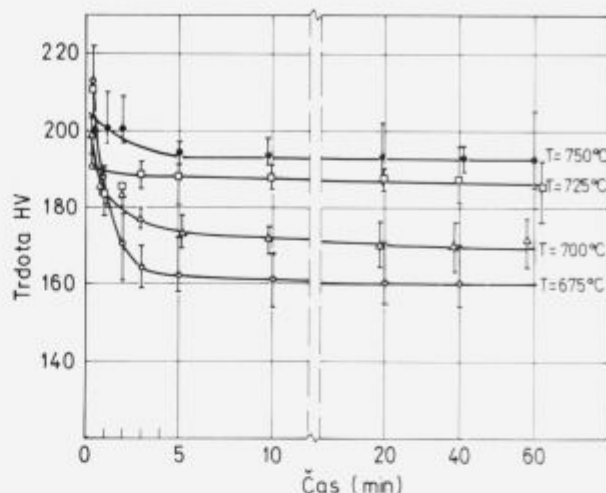


Slika 9. Odvisnost med trajanjem žarjenja in trdoto v temperaturnem področju 675 do 750°C za nelegirano jeklo.

Figure 9. Relationship between hardness and heating duration in the temperature range from 675 to 750°C for nonalloyed steel.

4 Zaključki

1. Antimon zmanjša hitrost razogljčenja jekla verjetno zato, ker povečuje aktivnost in zmanjšuje koncentracijo ogljika v trdni raztopini v feritu.



Slika 10. Odvisnost med trajanjem žarjenja in trdoto v temperaturnem področju 675 do 750°C za jeklo z antimonom.

Figure 10. Relationship between hardness and heating duration in the temperature range from 675 to 750°C for antimony microalloyed steel.

2. V obeh vrstah jekla smo našli dve fazi rasti zrn, hitrejšo pri kratkem času žarjenja in počasnejšo po daljšem času žarjenja. Rezultati dela in podatki iz literature ne omogočajo, da bi razložili, kaj je vzrok za različnost v hitrosti rasti rekristaliziranih zrn, gotovo pa ni v zvezi z legiranjem jekla z antimonom.
3. V nelegiranem jeklu je zmanjšanje deformacijske utrditve hitrejša, kar je lahko posledica počasnejše poprave ali pa kasnejše nukleacije rekristaliziranih zrn zaradi antimona.
4. Vpliv antimona se je pokazal le v tem, da so bila v enakih pogojih žarjenja zrna večja po kratkem času in manjša po daljšem času žarjenja v primerjavi z nelegiranim jeklom.

5 Literatura

- 1 H. Shimanaka, T. Irie, K. Matsumura, H. Nakamura: J. Mag. Mag. Mat. 19 (1980) 22
- 2 P. Marko, A. Solyom, V. Frič: J. Mag. Mag. Mat. 41 (1984) 74
- 3 G. Lyudkovsky, P.K. Rastogi: Metall. Trans. 15 A (1984) 257
- 4 M. Jenko, F. Vodopivec, F. Grešovnik, B. Praček, M. Kern: Poročilo Metalurškega inštituta, Ljubljana, 1989
- 5 F. Vodopivec, F. Marinšek, D. Gnidovec, B. Praček, M. Jenko: J. Mag. Mag. Mat. 97 (1991) 281
- 6 M. Jenko, F. Vodopivec, B. Praček: Študij segregacij Sb na površini jekel za neorientirano elektropločevino z metodo AES, Železarski zbornik 25 (3) 1991, 83
- 7 F. Marinšek: Železarski zbornik 19, (1985), 47-48
- 8 F. Vodopivec, F. Marinšek, F. Grešovnik, O. Kumer: Železarski zbornik, 21 1 (1987) 29
- 9 G.Y. Chin: J. Mag. Mag. Mat. 9 (1987) 283
- 10 H.V. Atkison: Acta Metall. 36, 3 (1988) 469
- 11 E.D. Hondros, M.P. Seah, R.W. Chan, P. Haasen: Physical Metallurgy, Nort Holland, Amsterdam 1983, 855
- 12 H.J. Grabke: ISIJ International 129 7 (1989) 529