

O teksturi valjanja, razogljivenja in rekristalizacije v jeklu z 0.03 C, 1.8 Si in 0.3 Al

UDK: 621.771.62—415:669.14.018.5

ASM/SLA: F23 M28k, M26c, N5, J4a, AY, 4—53

F. Vodopivec, F. Grešovnik, F. Marinšek, M. Kmetič in O. Kürner

1. CILJ RAZISKAVE

Iz jekel s povečanim silicijem, visokim aluminijem ter nizkim ogljikom, manganom, nečistočami in rezidualnimi elementi se izdelujejo trakovi za elektroplöčevine. Proces izdelave trakov obsega vroče in hladno valjanje, žarjenje za razogljivenje in za rekristalizacijo ter nanos izolacijske prevleke. Merilo kvalitete trakov so vatne izgube, ki povedo, koliko energije je potrebno za spremembo smeri magneterja pri določeni indukciji. Čim manjša je ta energija, tem boljša je elektroplöčevina. Jekla za elektroplöčevine delimo po stopnji testure v dve veliki skupini, v neteksturirane in v teksturirane. Po teži prevladujejo prve, ki se izdelujejo iz jekla z od 0.6 do 2.6 silicija. Te vrste plöčevina mora biti izotropna, da so vatne izgube neodvisne od smeri, pod katero se glede na smer valjanja iz nje izrežejo lističi za magnetna jedra. Teksturirane plöčevine imajo tako teksturo, da so v ravnini valjanja le kristalna zrna z legama (110) ali (100), kristalna smer (100) pa se ujema s smerjo valjanja traka (1). Te vrste elektroplöčevine imajo nižje vatne izgube, ki so blizu tistim iz amorfnih kovin (2), vendar je zaradi teksturiranosti oz. anizotropije mogoče iz njih izdelati le magnetna jedra s posebno obliko za transformatorje.

Izhodišče za razvoj teksturirane elektroplöčevine je dejstvo, da je energija, potrebna za spremembo smeri magnetnega polja, odvisna od kristalne smeri in je največja v smeri (112) (3), najmanjša pa v smeri (100). Zato so z magnetnega stališča neugodna vsa kristalna zrna, pri katerih ploskev, ki te smeri ne vsebuje, leži v ravnini plöčevine, torej vse ploskve iz družine (111).

Lastnosti elektroplöčevin so, razen od lege zrn v ravnini traka, odvisne še od električne upornosti ter od oblike in velikosti kristalnih zrn in magnetnih domen. Na električno upornost je mogoče vplivati s sestavo jekla in z velikostjo zrn, na obliko in velikost domen pa z velikostjo zrn in z napetostnim stanjem ob površini elektroplöčevine. Vse nekontrolirane primesi v glavnem slabšajo lastnosti elektroplöčevin, tudi vključki, mikroskopski in submikroskopski precipitati, ker ovirajo spremembo smeri magnetenja. Precipitati so lahko tudi koristni, če jih uporabimo za preprečenje rasti zrn v nadaljevanju primarne rekristalizacije, s čimer se izvrši sekundarna rekristalizacija šele pri višji temperaturi, ko se lahko razvije koristna tekstura. Tudi nekateri raztopljivi elementi so lahko koristni v majhnih množinah: poročajo namreč, da površinsko aktivni elementi, na primer antimon in kositer, zavirajo rast zrn z lego (111) med primarno in med sekundarno rekristalizacijo (4).

Lastnosti elektroplöčevin so odvisne od mnogih dejavnikov, ki jih ne bi mogli predstaviti v obsegu tega dela. Zato se omejujemo na razpravo o teksturi in njeni povezanosti z osnovnimi fazami procesa izdelave trakov, vročim in hladnim valjanjem ter žarjenjem za razogljivenje.

Naša pozornost velja le neteksturirani elektroplöčevini, saj je proces izdelave teksturirane elektroplöčevine drugačen, drugačno pa tudi jeklo zanjo.

Delo predstavlja nadaljevanje dveh razprav, v katerih smo analizirali proces primarne rekristalizacije in selektivne rasti posamičnih rekristaliziranih zrn v jeklu iste vrste (5, 6).

2. METODA DELA

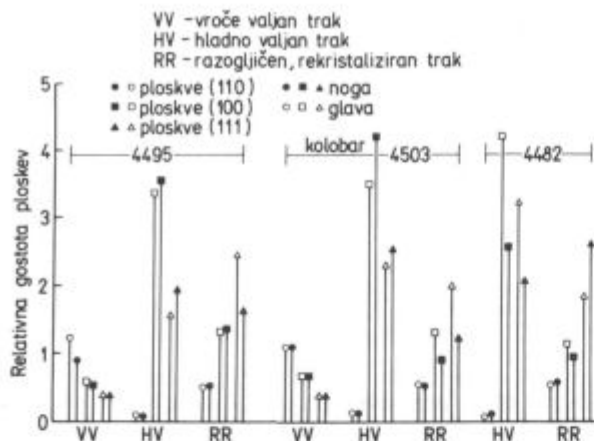
Analize in preiskave smo izvršili deloma na industrijskih trakovih, deloma na trakovih, ki so bili vroče izvaljani v laboratoriju v temperaturno deformacijskih pogojih, ki reproducirajo industrijsko valjanje. Mikrostrukture smo preverjali z opazovanjem v optičnem mikroskopu, teksturo pa smo sledili v strukturnem rentgenu po metodi določanja gostote gosto posedenih kristalnih ploskev (GPKP) (200), (110), (222) in drugih v ravnini plöčevine. Ploskvi (200) in (222) sta odseva drugega reda od ploskev (100) in (111), zato ju v nadaljevanju tako označujemo. Rezultate teksturne analize prikazujemo v obliki gostote GPKP, ki je razmerje med gostoto v analiziranem vzorcu in v teoretično izotropnem jeklu.

3. TEKSTURA PO VROČEM VALJANJU

Trakovi se iz slabov zvaljajo po postopku, ki vključuje zaporedje zmanjšanj debeline pri padajoči temperaturi. Eksperimentalnih podatkov o evoluciji mikrostrukture med valjanjem jekla z 1.8 Si ni na voljo, nekatere splošne zakonitosti pa lahko izpeljemo iz tega, kar se ve o procesih med valjanjem mehkega jekla (7, 8). Niso pa izključena odstopanja zaradi ev. vpliva silicija na hitrost statične rekristalizacije avstenita med vtiki in na proces poprave in poligonizacije ferita.

Osnovna razlika med valjanjem na reverzirnem stroju in na konti valjarni je v dejstvu, da se na konti napravah valjanje izvrši pri višji temperaturi, praktično le v področju obstojnosti avstenita, medtem ko je temperatura reverzirnega valjanja nizka in se velik del valjanja izvrši v področju obstojnosti ferita. Razlika je seveda manjša, če je sestava jekla taka, da je feritno v vsem temperaturnem razponu valjanja ali pa vsaj v prevladujočem delu tega razpona. Med jekla z zmanjšano stabilnostjo avstenita spada tudi jeklo z 1.8 % Si. V jeklu z 0.03 C in 1.8 Si je pri 950°C že 80 % ferita, v jeklu z 0.04 C pa je premenska temperatura 875°C. V tem jeklu se pojavi ferit med valjanjem pri temperaturi okoli 870°C (7), zato v prvem jeklu ferit nastaja v večjem deležu že pri cca 100°C višji temperaturi.

Osnovna razlika med ponašanjem avstenita in ferita med vročim valjanjem z zaporednimi vtiki in pri padajoči temperaturi izhaja iz dejstva, da je potrebna za sta-

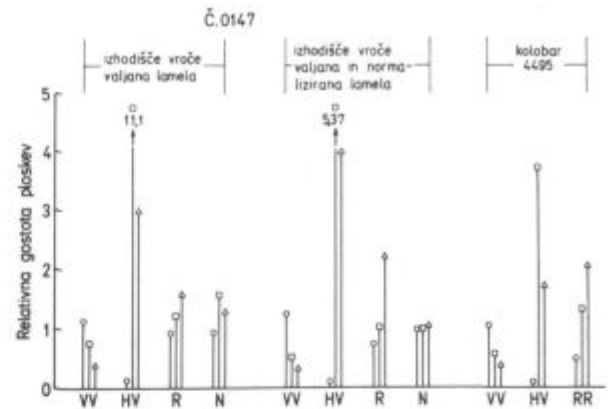


Slika 1
Relativna gostota GPKP vroče in hladno izvaljanem traku (VV in HV) ter v razogljčenem in rekristaliziranem traku (RR)

Fig. 1
Relative density of close-packed crystal planes (CPCP) in hot and cold rolled strip (VV and HV), and decarburized and recrystallized strip (RR)

tično rekristalizacijo avstenita med vtiki 10 do 12 % deformacija, za statično rekristalizacijo ferita med vtiki pa deformacija okoli 62 % (9, 10). V deformiranem feritu sta zelo hitri poprava in poligonizacija (11), zelo hitra pa v feritu z malo ali brez silicija tudi deformacijsko inducirana rast zrn (7). To je neke vrste rekristalizacija »in situ«, pri kateri izredno hitro rastejo posamična zrna in požirajo pri tem poligonizirani ferit. Ker ni na voljo eksperimentalnih podatkov, ni mogoče oblikovati točnega modela procesa vročega valjanja jekla z 1.8 Si. Iz izkušenj pri maloogljčnih jeklih sklepamo, da je pri reverzirnem valjanju rekristalizacija praktično popolna med vtiki, ki se valja v avstenitnem področju, in da rekristalizacije sploh ni, ko se valja v feritnem področju. V dvofaznem področju, ki je tem širše, čim več je v jeklu ogljika, se obe fazi ponašata, kot je zanj značilno, torej avstenit rekristalizira, če je le temperatura zadostna, ferit pa sploh ne rekristalizira. Posledica prepletanja je, da se v jeklu z nizkim ogljikom velikost zrn najprej zmanjšuje, ko se znižuje temperatura valjanja, ko pa se pojavi ferit v primerni množini, velikost zrn, hitro raste pri nadaljnjem znižanju temperature valjanja. S tem nastane v jeklu tudi močna deformacijska anizotropija (7, 8).

Za lažjo oceno stopnje teksture v nadaljevanju te razprave, smo v tabeli 1 zbrali podatke o relativni povprečni gostoti GPKP v ravnini valjanja za tri stanja industrijske elektroplöčevine: vroče valjano, hladnovaljano ter razogljčeno in rekristalizirano. Podatki v tabeli so povprečje 5 meritev v glavi in nogi različnih kolobar-



Slika 2.
Relativna gostota GPKP v jeklu z 0.06 C, ki je bilo v laboratoriju izvaljano od 60 na 11 mm v temperaturnem intervalu med 900 in 790°C, hladno izvaljano na debelino 1,6 mm in na različne načine žarjeno.

Fig. 2
Relative density of CPCP in steel with 0.06 C being rolled in laboratory from 60 to 11 mm in temperature interval between 900 and 790°, cold rolled to 1.6 mm and in various ways annealed. VV — hot rolled, HV — cold rolled, RR — recrystallized, N — normalized

jev. Relativno majhno odstopanje od povprečja pove, da je gostota GPKP dokaj konstantna. Rezultate za posamične industrijske trakove prikazuje **slika 1**, **slika 2** pa za jeklo z 0.06 C, ki je bilo izvaljano v laboratoriju.

Po vročem valjanju je tekstura zadovoljiva, saj je relativno majhna gostota ploskev, ki so povezane s kristalnimi smermi, ki trošijo veliko energije za spremembo smeri magnetenja in je relativno velika gostota ploskev (110) in (100), ki sta magnetno mehki. Podobna tekstura nastane pri vročem valjanju mehkega jekla z 0.06 C, ki je praktično brez silicija. To pove, da je tekstura vročega valjanja neodvisna od sestave jekla in je zato izključno rezultat procesa vročega valjanja, ki poteka praktično skoraj brez rekristalizacije med vtiki. Z magnetnega stališča je tekstura po vročem valjanju dobra. To razlaga, zakaj so v preteklosti dosegali relativno dobre vatne izgube v elektroplöčevinah, ki so bile na majhno debelino vroče valjane v paketih.

Na sliki 3 vidimo, kako vplivajo pri približno enaki skupni redukciji na gostoto GPKP temperatura valjanja in parcialne redukcije. V sliko je vključen tudi rezultat za jeklo z 0.06 C. Primerjava s tabelo 1 in slikama 1 in 2 pokaže, da se pri laboratorijskem vročem valjanju razvije praktično identična tekstura, kot pri industrijskem vakljanju trakov. **Slika 3** kaže da temperatura valjanja in parcialne redukcije ne vplivajo pomembno na teksturo.

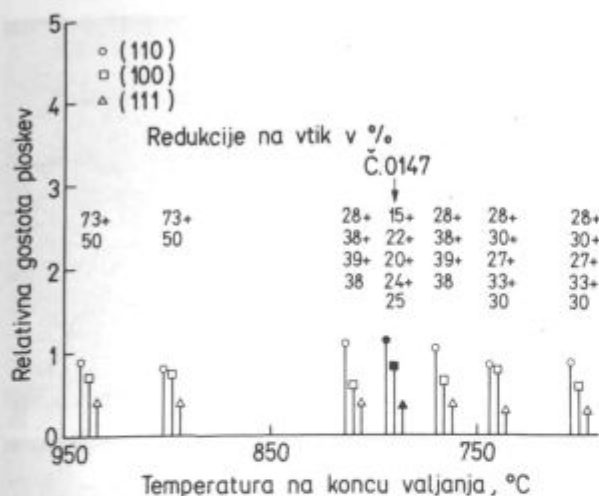
Tabela 1: Povprečje relativnih gostot vseh analiziranih ploskev v ravnini valjanja

Stanje traka	Kristalna ploskev					
	(110)	(200)	(222)	(211)	(310)	(321)
VV ¹	1,11 ± 0,14	0,61 ± 0,05	0,38	0,59 ± 0,05	0,68 ± 0,1	0,56 ± 0,05
HV ²	0,11 ± 0,03	3,84 ± 0,37	2,27 ± 0,58	1,49 ± 0,1	0,25 ± 0,05	0,22 ± 0,05
RR ³	0,54 ± 0,03	1,16 ± 0,19	1,96 ± 0,52	0,92 ± 0,13	0,66 ± 0,09	0,32 ± 0,05

1 — VT — 4495 in 4503, G in N

2 — HT — 4482, 4495 in 4503, G in N

3 — RR — 4482, 4495 in 4503, G in N



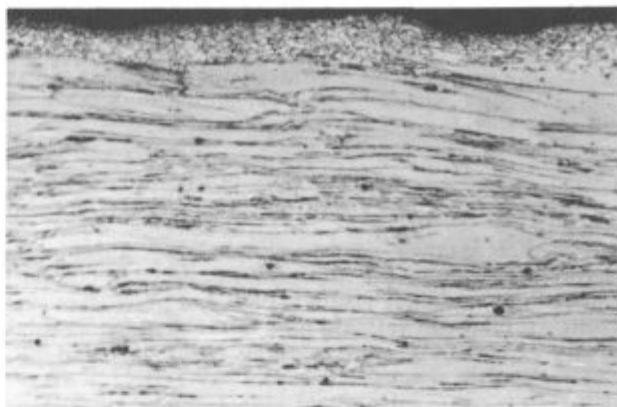
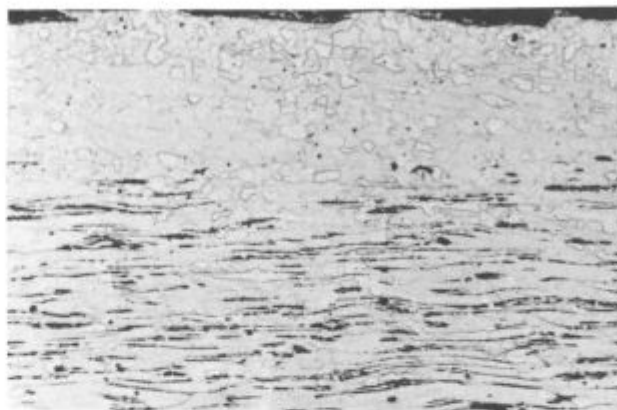
Slika 3

Relativna gostota GPKP v odvisnosti od končne temperature valjanja za enako končno debelino, doseženo z različnimi redukcijami na vtik. V sliko je vrisan tudi podatek za jeklo z 0,06 C.

Fig. 3

Relative density of CPCP depending on the final rolling temperature for equal final thicknesses achieved by various reductions per pass. Also the data for steel with 0.06 C is plotted.

Poglejmo, kakšna je povezava med teksturo in mikrostrukturo izvaljalnega jekla, torej z obliko in velikostjo zrn v izvaljanem traku. Slike 4, 5 in 6 kažejo mikrostrukturo ob površini trakov, ki so bili izvaljani v laboratoriju pri različni končni temperaturi in redukciji. V notranjosti vseh vzorcev vidimo podolgovata zrna, ki so znak, da jeklo med valjanjem ni rekristaliziralo, ob površini pa različno debel sloj drobnih rekristaliziranih zrn. Na vzorcih za rentgensko analizo se je s površine odbrusila cca 0.1 mm debela plast, torej približno plast drobnih zrn na sliki 6. Zato lahko sklepamo, da se mikrostruktura ob površini ne odraža na teksturi, ki jo določimo z rentgensko analizo. Pač pa je plast drobnih rekristaliziranih zrn zelo pomembna za preoblikovanost jekla s hladnim valjanjem (12). Za nastanek plasti drobnih zrn ob površini še ni bila predložena konsistentna razlaga glede na dejstvo, da rekristalizacijo sproži le deformacija 62 % na vtik, oz. ustrezna kumulativna deformacija iz več vtikov s pogojem, da se med vtiki utrditev zaradi poprave preveč ne zmanjša. Mogoče je naslednja razlaga: jeklo ob površini traka se v stiku z valji nekoliko ohladi, toliko, da je v njem poprava manj učinkovita, kot v bolj vroči notranjosti. Zato se ob površini kumulira utrditev, ki doseže tako stopnjo, da se sproži proces rekristalizacije, ko je valjanje končano, in se dvigne temperatura ob površini traka na račun toplote iz notranjosti. Da je tekstura praktično neodvisna od mikrostrukture jekla ob površini vroče izvaljanih trakov, potrjuje tudi mikrostruktura jekla v industrijskih trakovih. Tu najdemo ob površini zrna različne oblike, od rekristaliziranih do bolj ali manj deformiranih in z različno velikostjo (slike 7, 8, 9 in 10), gostota GPKP pa je v vseh primerih zelo podobna. Drugačno gostoto GPKP pa lahko pričakujemo, če je sloj drugačne mikrostrukture ob površini trakov globlji, toliko debel, da predstavlja pomemben delež globine prodiranja rentgenskega sevanja pri analizi. Mogoče je prav tu razlaga, zakaj je gostota GPKP na istem kolobarju različna v glavi in nogi.



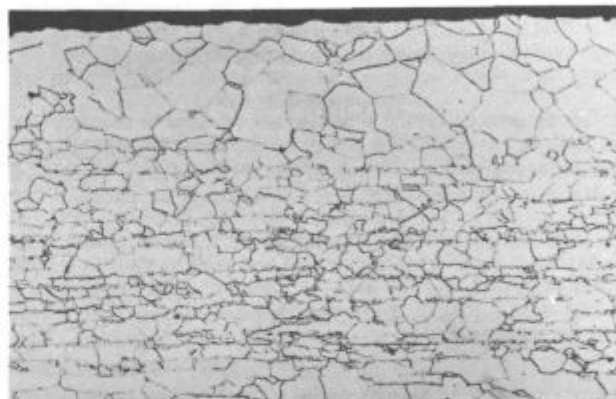
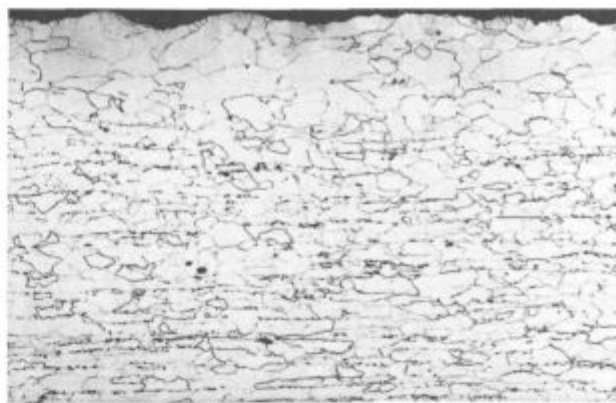
Slika 4, 5 in 6, pov 100x:

Mikrostruktura jekla z 1,8 % Si, ki je bilo v laboratoriju iz predtraka 18 mm izvaljano v platino z debelino 2,3 mm, s temperaturami na koncu valjanja 938°C, 810°C in 710°C.

Fig. 4, 5, 6.

Magn. 100 X: Microstructure of steel with 1.8 % Si being rolled in laboratory from flat billet of 18 mm into billet of 2.3 mm at final rolling temperatures of 938, 810, and 710°C

Našo razpravo lahko v tej točki zaključimo z ugotovitvijo, da med vročim valjanjem, ki poteka brez rekristalizacije med vtiki, nastane v jeklu tekstura, ki jo karakterizira specifična porazdelitev gostot GPKP v ravnini valjanja. Ta porazdelitev je neodvisna od temperature valjanja in od parcialnih redukcij. To je očiten znak, da gre za teksturo, ki je produkt vroče deformacije brez rekristalizacije med vtiki, in z izločanjem deformacijske utrditve iz jekla s popravo, poligonizacijo in deformacijsko inducirano rastjo kristalnih zrn ferita.



Slika 7, 8, 9 in 10, pov. 100x

Mikrostruktura ob površini industrijskih trakov, na katerih so bile izvršene analize gostote GPKP.

Fig. 7, 8, 9, and 10.

Magn. 100 \times : Microstructure close to the surface in industrial-rolled strip for which the analysed of the density of CPCP were made

4. TEKSTURA PO HLADNEM VALJANJU

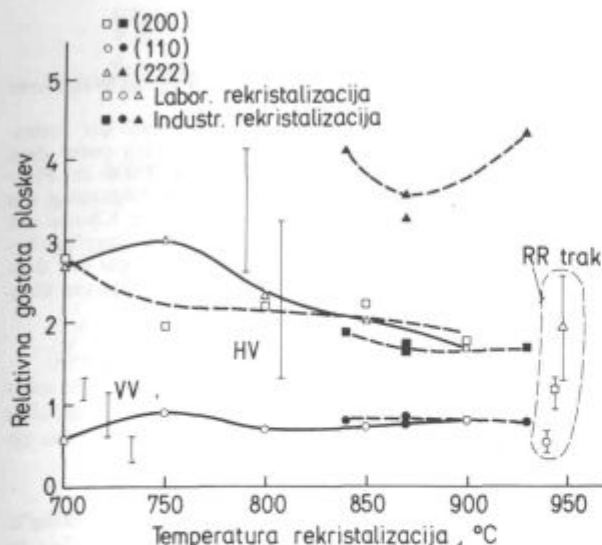
Rezultati v tabeli 1 ter na slikah 1 in 2 kažejo, da ustvari deformacija pri hladnem valjanju popolnoma drugačno porazdelitev gostot GPKP, kot po vročem valjanju. Po hladnem valjanju najdemo v ravnini valjanja močno povečano gostoto ploskev (100), posebno pa (111), in močno zmanjšano gostoto ploskev (110). To se ujema z literaturnimi podatki (13). Gostota zrn z lego (100) oz. (111) v ravnini pločevine se poveča okoli 6-krat, gostota zrn z lego (110) pa se zmanjša okoli 10-krat. V jeklu z 0.06 C, ki je bilo izvaljano v laboratoriju z večjo celotno redukcijo, je tekstura istega tipa, vendar še močnejša. Tekstura je podobna, ko se je jeklo z 0.06 C hladno izvaljalo z izhodiščem v vroče valjanem stanju in v normaliziranem stanju. Pri tem je bila po vročem valjanju v jeklu prisotna že opisana tekstura, po normalizaciji pa je bilo jeklo skoraj izotropno. To je dokaz, da je tekstura, ki nastane v procesu hladnega valjanja, praktično neodvisna od stopnje anizotropnosti jekla pred valjanjem. Pri industrijskem valjanju se trakovi iz debeline okoli 2.2 mm izvaljajo na debelino 0.5 mm v 5 prehodih, pri laboratorijskem valjanju pa se je lamela iz jekla z 0.06 C izvaljala v 12 prehodih iz debeline 10 na debelino 1.6 mm. Med obema vzorcema je razlika v skupni in v parcialnih redukcijah, kljub temu najdemo v obeh primerih enako teksturo, le gostota ploskev (100) in (111) je večja v mehkem jeklu.

5. TEKSTURA PO REKRISTALIZACIJI

Rezultati analiz industrijsko izdelanih trakov in trakov, ki so bili rekristalizirani v laboratoriju, so prikazani v tabeli 1 ter na slikah 1 in 2. Pred začetkom razprave o rezultatih je potrebno vedeti, da se pri industrijskem žarjenju prepletata rekristalizacija in razogljčenje, pri laboratorijskem žarjenju pa poteka le rekristalizacija.

Razogljčenje in rekristalizacija v povprečju izboljšata teksturo v primerjavi z hladnim valjanjem, povečana je gostota ploskev (110), vendar je precej zmanjšana gostota ploskev (100). Gostota ploskev (111) pa je zmanjšana najmanj in je zato po rekristalizaciji precej nad tisto, ki jo najdemo po vročem valjanju. V industrijskih trakovih dosega gostota ploskev (110) približno 50 % nivoja izotropnosti, gostota ploskev (100) je nekoliko nad tem nivojem, gostota ploskev (111) pa je cca 2-krat večja kot v izotropnem jeklu. Podobno ostaja relativno velika tudi gostota drugih ploskev iz družine (111). V povprečju je gostota teh ploskev cca 3.2-krat večja, gostota ploskev družin (110) in (100) pa je cca 60 % večja od nivoja izotropnosti. Iz tega sklepamo, da lahko pričakujemo izboljšanje lastnosti elektroplōčevine od vsakega ukrepa, ki bi zmanjšal v ravnini valjanja gostoto ploskev družine (111) in povečal gostoto ploskev (110) in (100).

Na sliki 11 je prikazano, kako temperatura rekristalizacije v laboratoriju vpliva na gostoto GPKP. V sliko



Slika 11.

Odvisnost med temperaturo laboratorijske rekristalizacije in relativno gostoto GPKP. V diagramu so vrisane tudi povprečne gostote GPKP industrijskih trakov in rezultati doseženi z variacijo temperature industrijske rekristalizacije po razogljčenju.

Fig. 11

Relationship between the temperature of recrystallization in laboratory and the relative density of CPCP. The plot gives also the average densities of CPCP for industrial strips, and the achieved of CPCP for industrial strips, and the achieved results obtained by varying recrystallization temperature in industrial conditions after decarburisation.

so vrisani tudi podatki za poizkus variacije temperature pri industrijski rekristalizaciji po razogljčenju in povprečne rezultate analize industrijskih trakov. Temperatura žarjenja smo pri laboratorijski rekristalizaciji omejili na območje med 700 in 900 °C, ker je v tem območju poprava praktično zanemarljiva in dobimo mikrostrukturo, ki je produkt primarne rekristalizacije jekla. Že nad 850 °C, posebno pa nad 900 °C, pa se tudi pri laboratorijskem žarjenju pojavlja sekundarna rekristalizacija, ki se kaže v anormalno hitri rasti posamičnih zrn ferita.

Pri najnižji preverjeni temperaturi 700 °C nastane tekstura, ki ima določeno gostoto posamičnih GPKP v ravnini valjanja. S povečanjem temperature do 800 °C se rahlo poveča gostota ploskev (110) in zmanjša gostota ploskev (100) in (111). Po rekristalizaciji pri 800 °C in višje je gostota GPKP podobna kot v industrijskih trakovih, vendarle je v laboratorijskem jeklu nekoliko večja gostota ploskev (100) in (110). Povedali smo že, da se na industrijski liniji izvršita vzporedno razogljčenje in rekristalizacija jekla, pri laboratorijskem žarjenju pa le rekristalizacija. Zato razlagamo razliko v gostoti GPKP med industrijskim in laboratorijskim jeklom z vplivom razogljčenja. V že omenjenih delih smo pokazali, da se v razogljčenem jeklu odvija proces sekundarne rekristalizacije jekla v obliki zelo hitre rasti posamičnih zrn iz jeder, ki nastanejo s koalescenco drobnih zrn, ki so nastala pri primarni rekristalizaciji in imajo podobno prostorsko lego (5,6). Ker je po primarni rekristalizaciji največ zrn z lego (111), je razumljivo, da bo tudi največ začetkov sekundarne rekristalizacije s to lego v ravnini pločevine. To se končno pokaže v povečanem deležu teh zrn v industrijski pločevini. Pri industrijskem preizkusu, s katerim smo hoteli preveriti vpliv temperature

rekristalizacije, ki sledi razogljčenju, smo dobili teksturo, ki močno odstopa od teksture po standardni obdelavi. Gostota ploskev (110) in (100) se je sicer sprejemljivo ujemala s povprečjem, gostota ploskev (111) pa je bila mnogo višja. Razlaga je lahko dvojna: gre lahko za šaržo jekla z drugačnim rekristalizacijskim ponašanjem, ali pa je bil poizkus izvršen v pogojih, ki so omogočili intenzivnejšo sekundarno rekristalizacijo. Analiza razpoložljivih podatkov je pokazala, da drži druga razlaga. Nauk iz tega poskusa je, da je tekstura zelo občutljiva na spremembe parametrov razogljčenja in rekristalizacije. Ta proces naj se vodi tako, da bo čim manj sekundarne rekristalizacije.

SKLEPI

Izvršeni so bili različni preizkusi in analize, da bi opredelili, kako se razvija tekstura v osnovnih fazah izdelave dinamo trakov, vroče in hladno valjanje ter razogljčenje in rekristalizacija. Poizkusi in analize so bili izvršeni delno na industrijskih trakovih, delno pa na trakovih, ki so bili izvaljani in rekristalizirani v laboratoriju. Teksturo smo opredelili kot razmerje med gostoto kristalnih ploskev (100), (110) in (111) po določeni termotehnični obdelavi in gostoto v teoretično izotropnem jeklu. Na osnovi vrste in evolucije teksture in mikrostrukture smo prišli do naslednjih sklepov in ugotovitev:

— pri vročem valjanju nastane določena tekstura; temperatura na koncu valjanja v razponu med 938 in 710 °C in velikost redukcije na vtik ne vplivajo zaznavno na to teksturo;

— hladno valjanje ustvari teksturo, ki je bogata s ploskavami (100) in (111) v ravnini valjanja traku, zmanjšana pa je gostota ploskev (110) v primerjavi s stanjem po vročem valjanju;

— po razogljčenju in rekristalizaciji se tekstura izboljša v primerjavi s stanjem po hladnem valjanju, vendar pa je še vedno manj ugodna kot po vročem valjanju, ker je gostota ploskev (111) v ravnini valjanja še vedno največja;

— temperatura rekristalizacije v razponu med 800 in 900 °C ne vpliva na teksturo, pač pa se lahko tekstura močno poslabša, če razogljčenje sproži sekundarno rekristalizacijo, pri kateri hitro rastejo predvsem zrna z lego (111) v ravnini valjanja.

LITERATURA

- G. Y. Chin: Journal of Magnetism and Magnetic Materials 9, 1978, 283.
- F. Bölling in M. Hastenrath: Stahl u. Eisen, 106, 1986, 57.
- S. Taguchi: Transactions ISIJ 17, 1977, 604.
- H. C. Fielder: Journal of Magnetism and Magnetic Materials 26, 1982, 22.
- F. Vodopivec, F. Marinšek in F. Grešovnik: Železarski Zbornik 21, 1987, 1, 29-37.
- F. Vodopivec in F. Marinšek: Steel Research 57, 1986, 531.
- F. Vodopivec, M. Gabrovšek in J. Žvokelj: Železarski Zbornik, 20, 1986, 3, 51.
- F. Vodopivec, M. Gabrovšek, M. Kmetič in A. Rodič: Metals Technology 11, 1984, 481.
- T. Tanaka, T. Habata, T. Hatomura in C. Shiga: Micro Alloying 75, Union Carbide Corporation, New York 1977, 32.
- S. Gohda, T. Watanabe, J. Hashimoto: Transactions ISIJ 21, 1981, 6.
- F. Vodopivec, F. Marinšek, M. Torkar in M. Grašič: Poročilo Metalurškega inštituta, Ljubljana, št. 86-033.
- M. Kmetič, F. Vodopivec in F. Marinšek: Poročilo Metalurškega inštituta, Ljubljana, št. 81-019 in št. 82-036.
- D. N. Hawkins: Metals Technology 5, 1978, 37.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Walzgefüge wurde als relative Dichte der Kristallflächen (100), (110) und (111) in der Walzebene definiert. Das Mikrogefüge aber wurde im optischen Mikroskop bestimmt. Nach dem Warmwalzen erhält das Blech ein Gefüge, das nach einer überdurchschnittlichen Dichte der Flächen (110) in der Walzebene charakteristisch ist. Das Gefüge ist praktisch unabhängig von der Endwalztemperatur im Bereich von 938 bis 710 °C, der Reihenfolge der Stichabnahme und vom Mikrogefüge von Stahl dicht an der Bandoberfläche. Bei den ähnlichen Walzbedingungen entsteht im Stahl mit 1,8 % Si ein ähnliches Walzgefüge wie im Stahl mit 0,06 %C. Nach dem Kaltwalzen

wird die Dichte der Flächen (100) und (111) in der Walzebene stark vergrößert.

Nach der Kristallisation nähert sich der Stahl der Isotropie, jedoch bleibt die Dichte der Flächen (110) unter dem Durchschnitt, und über dem Durchschnitt die Dichte der Flächen (111) in der Blechebene. Die Entkohlung begünstigt die sekundäre Rekristallisation bei welcher einzelne Körner mit der Lage nahe (111) sehr schnell wachsen. Das Walzgefüge bestimmt an Proben aus dem Betrieb stimmt sehr gut mit dem Gefüge erhalten bei laboratorischer Prozessführung überein.

SUMMARY

The texture was defined as relative density of crystal planes (100), (110), and (111) in the plane of rolling, while the microstructure was determined by optical microscope. After hot rolling the texture in plate is characterized by an overaverage density of (110) planes in the plane of rolling. The texture is practically independent of final temperature of rolling in the interval from 938 to 710 °C, on the reduction sequence in single passes, and on the microstructure of steel close under the strip surface. In similar rolling conditions a similar texture is obtained in steel with 1.8 % Si and in steel with 0.06 C. After cold rol-

ling the density of (100) and (111) in the plane of rolling is highly increased. After recrystallization steel approaches to isotropical state, but the underaverage density of (110) planes, and overaverage density of (111) planes in the plane of rolling remain. The decarburisation facilitates the secondary recrystallization in which single grains in position close to (111) grow rapidly. The texture determined in industrial samples is in a good agreement with the texture obtained in the laboratory treatment of steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Текстура была определена как относительная плотность кристаллических плоскостей (100), (110) и (111) в равнине прокатывания, а микроструктура в оптическом микроскопе. После горячей прокатки получает листовая сталь текстуру, которая примечательна по свыше средней густоте плоскостей (110) в равнине прокатки. Практически текстура не зависит от температуры конца прокатки в диапазоне от 938 до 710 °C от последовательности редукиции на пропуск и от микроструктуры стали сразу об поверхности ленты. При подобных условиях прокатки развивается подобная текстура в стали с содержанием 1,8 Si и в стали с 0,06 C.

После холодной прокатки сильно увеличина густота плоскостей (100) и (111) в равнине прокатки. После рекристаллизации сталь приближается изотропности, но остаётся свыше среднего густота плоскостей (110), а свыше среднего содержание густоты плоскостей (111) в равнине листа стали. Обезуглероживание улучшает вторичную рекристаллизацию, при которой быстро возрастают отдельные зёрна положения (111). Текстура, определена на промышленных образцах, хорошо согласуется с текстурой, которая получена в сталях лабораторным процессом.