

<https://doi.org/10.24867/JPE-1989-06-143>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

L. Šidjanin\*

## MIKROSTRUKTURA DVOFAZNIH FERITNO-MARTENZITNIH ČELIKA

### Rezime

*U ovom radu prikazani su rezultati mikrostruktura dvofaznih čelika primenom različitih vrsta termičkih obrada. Dobijene su tri morfologije martenzita. Kod svake morfologije transmissionom elektronskom mikroskopijom utvrđen je tip martenzita, dislokacioni ili dvojniovani.*

## MICROSTRUCTURE OF FERRITE-MARTENSITE DUAL PHASE STEELS

### Summary

*This paper presents the results of dual phase steel microstructures produced by different heat treatments. Three types of the martensite morphologies were obtained. The character of the martensite, either dislocated lath or twinned plate was determined by transmission electron microscopy.*

### 1. U V O D

Dvofazni feritno-martenzitni čelici obično su niskolegirani čelici sa malim sadržajem ugljenika (1) koji, kaljeni iz dvofazne oblasti  $\alpha+\gamma$  stvaraju dve glavne faze ferit i martenzit.

Ako se njihova mikrostruktura detaljno izanalizira, videće se da ti čelici ne sadrže samo dve faze, nego više, a koliko, zavisi od termičkog tretmana i od vrste legirajućih elemenata.

Mehaničke karakteristike dvofaznih čelika su: niska granica tečenja, visoka zatezna čvrstoća, visoka početna brzina deformacionog ojačavanja, dobra duktilnost i odlična deformabil-

\* Šidjanin dr Leposava, dipl.ing., docent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

nost (2-6). Zbog takvih karakteristika i jednostavnog hemijskog sastava dvofazni čelici su veoma atraktivan materijal.

U prethodnom radu (6) bilo je utvrđeno da se sa različitim termičkim tretmanom dvofaznih feritno-martenzitnih čelika dobijaju pored klasičnog globularnog martenzita dve nove morfologije martenzita. U ovom radu prikazani su detaljni rezultati elektronsko mikroskopskih ispitivanja njihovih mikrostrukture.

## 2. EKSPERIMENTALNI RAD

Za ispitivanje je korišćena klasa čelika Fe/2Si/0,1C sa hemijskim sastavom koji je prikazan u tabeli 1.

%						
C	Si	Mn	P	S	Al cel.	N
0,08	1,9	0,32	0,004	0,004	0,033	0,0015

Da se dobije različita morfologija martenzita u feritno-martenzitnoj strukturi čelika, uzorci prečnika 10 mm i dužine 100 mm različito su termički tretirani i to:

a. - uzorci čelika sa feritno-perlitnom polaznom strukturom zagrejeni su u  $\alpha+\gamma$  područje na  $910^{\circ}\text{C}$  i kaljeni su u vodi sa ledom - postupak jednostrukog kaljenja;

b. - uzorci čelika sa feritno-perlitnom strukturom prvo su zagrejeni u austenitnom području na  $1150^{\circ}\text{C}$  i okaljeni su u vodi sa ledom, da se dobije potpuno martenzitna struktura. Nakon toga uzorci su ponovo zagrejeni, ali sada u  $\alpha+\gamma$  područje na  $910^{\circ}\text{C}$  i ponovo kaljeni u vodi sa ledom - postupak dvostrukog kaljenja;

c. - uzorci čelika sa feritno-perlitnom strukturom zagrejeni su u austenitnom području na  $1150^{\circ}\text{C}$  i trostepeno su kontrolisano valjani. Prvo su valjani u području rekristalizacije austenita, zatim u području gde austenit ne rekristalizira i na kraju u  $\alpha+\gamma$  području, da bi na kraju sa temperature  $910^{\circ}\text{C}$  bili okaljeni u vodi sa ledom - postupak kontrolisanog valjanja.

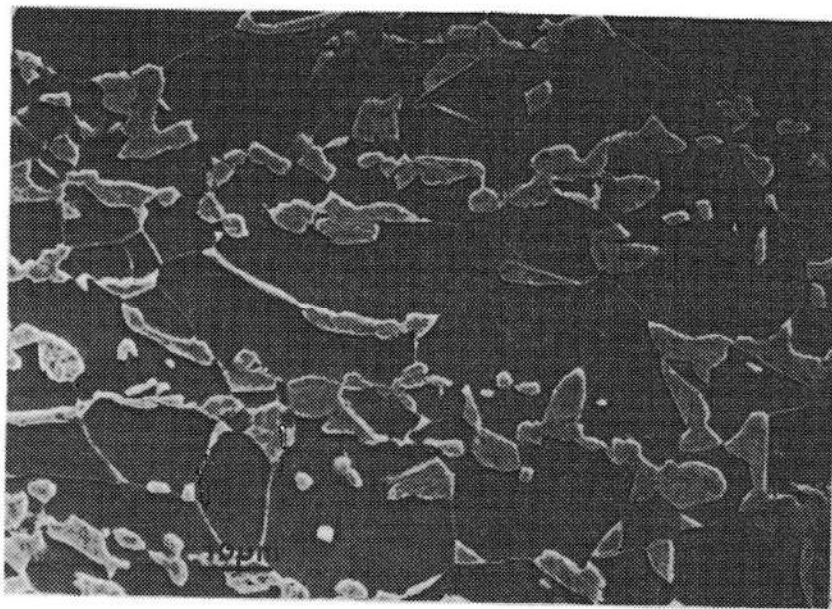
Temperatura kaljenja  $910^{\circ}\text{C}$  kod svih uzoraka obezbedjuje količinu martenzita od 20%.

Morfologija i karakterizacija mikrostrukture ispitivana je skening elektronskim mikroskopom (SEM), tipa JSM 35 CF sa  $\text{LaB}_6$

katodom i radnim naponom 25 kV i transmisionim elektronskim mikroskopom (TEM), tipa Phillips 301 i radnim naponom 100 kV. Za SEM korišćena je klasična metalografska priprema uzoraka, s tim što su uzorci na kraju napareni zlatom debljine 20 nm. Na TEM-u su ispitivani diskovi prečnika 3 mm, koji su nakon brušenja elektrolitički polirani u uređaju za automatsko poliranje, tipa Struers Tenupol-2 i rastovru 5%  $\text{HClO}_4$ , 25%  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  i 70%  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  na temperaturi od  $-15^\circ\text{C}$  i naponu od 11 V.

### 3. REZULTATI

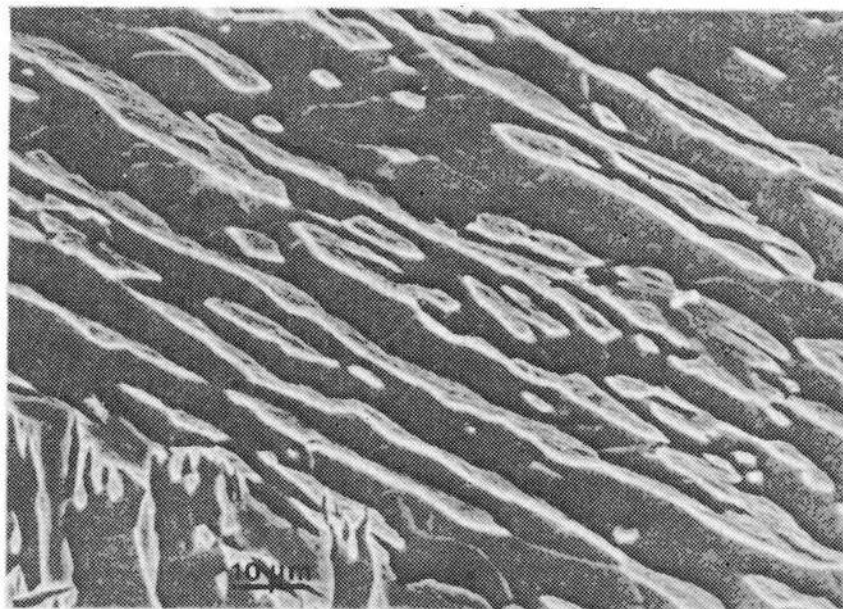
Mikrostrukture dvofaznih čelika nakon različitih termičkih



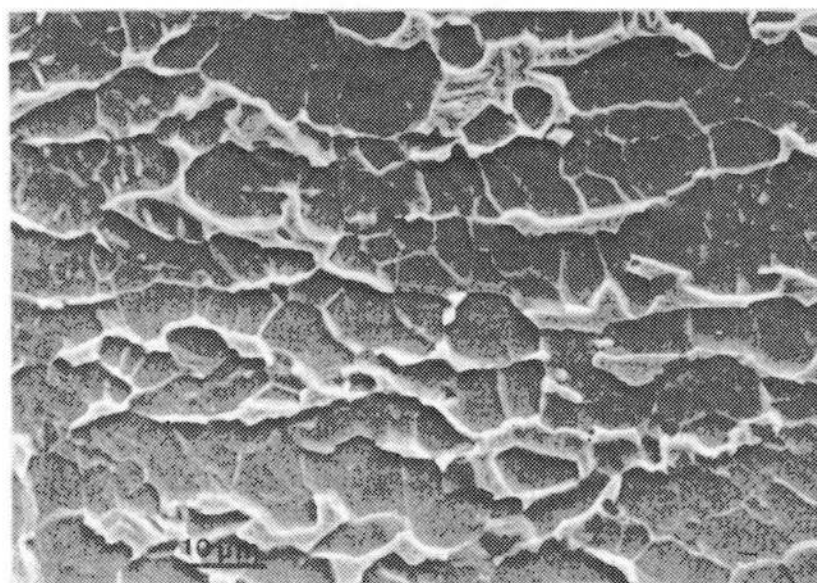
S1.1 Mikrostruktura jednostruko kaljenog uzorka (SEM)

tretmana prikazane su na slikama 1 do 3. Na ovim slikama svetla faza je martenzit, a tamna osnova je ferit.

Kod jednostruko kaljenih uzoraka globularna zrna martenzita smeštena su po granicama feritnih zrna - slika 1, dok kod dvostruko kaljenih struktura sastoji se iz paketa vlaknastog martenzita smeštenog u osnovi ferita - slika 2. Medjutim, kod kontrolisano valjanih uzoraka izdužena zrna martenzita okružena su okruglim sitnim zrnima ferita - slika 3.

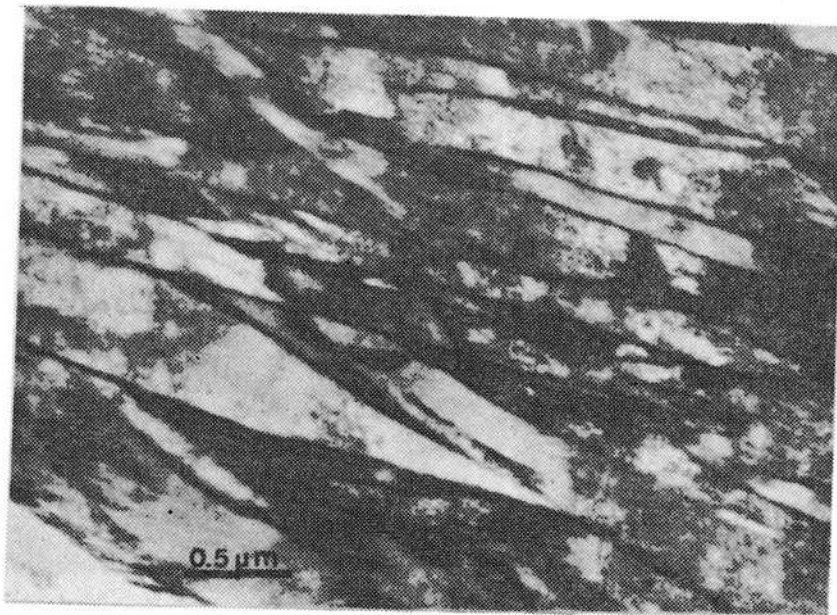


S1.2 Mikrostruktura dvostruko kaljenog uzorka (SEM)



S1.3 Mikrostruktura kontrolisano valjanog uzorka (SEM)

Morfologija martenzita, dobijena transmisivnim elektronskim mikroskopom, prikazana je na slici 4.



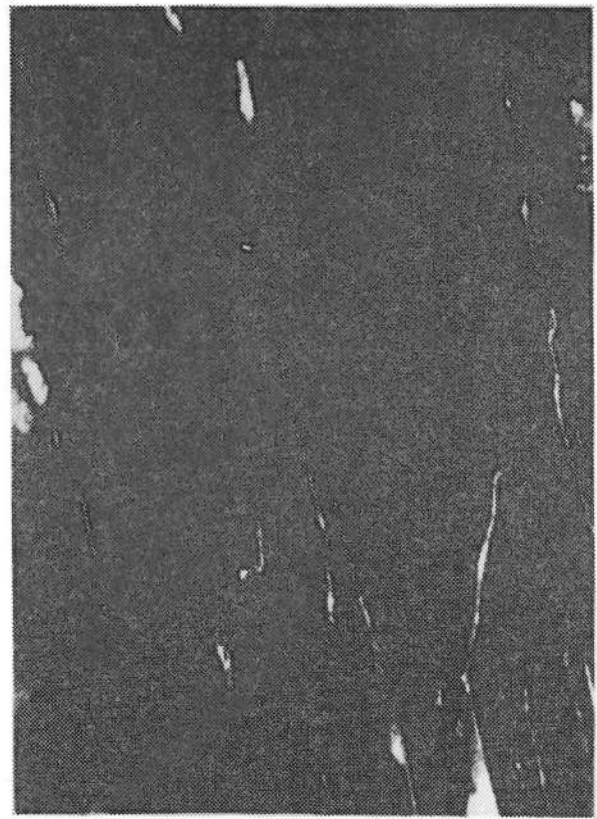
S1.4 Martenzitna struktura (TEM)

Potpuno dislokaciona martenzitna struktura sa tankim filmom zadržanog austenita dobijena je samo kod uzoraka dvostruko kaljenih - slika 5, a kod jednostruko kaljenih i kontrolisano valjanih uzoraka, pored dislokacionog, prisutan je i dvojnikovani martenzit - slika 6.

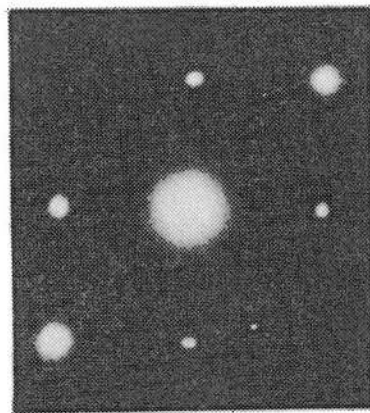
Feritna osnova u kontrolisano valjanih uzoraka prikazana je na slici 7.



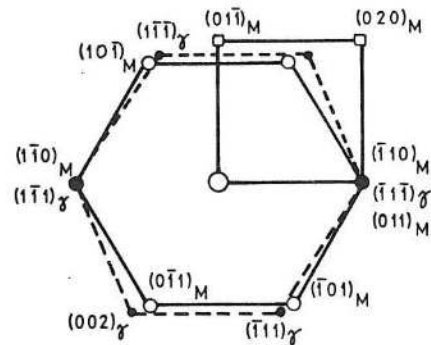
a.



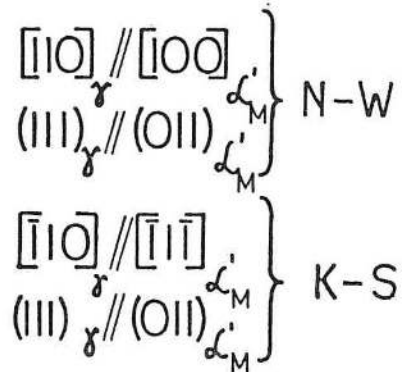
b.



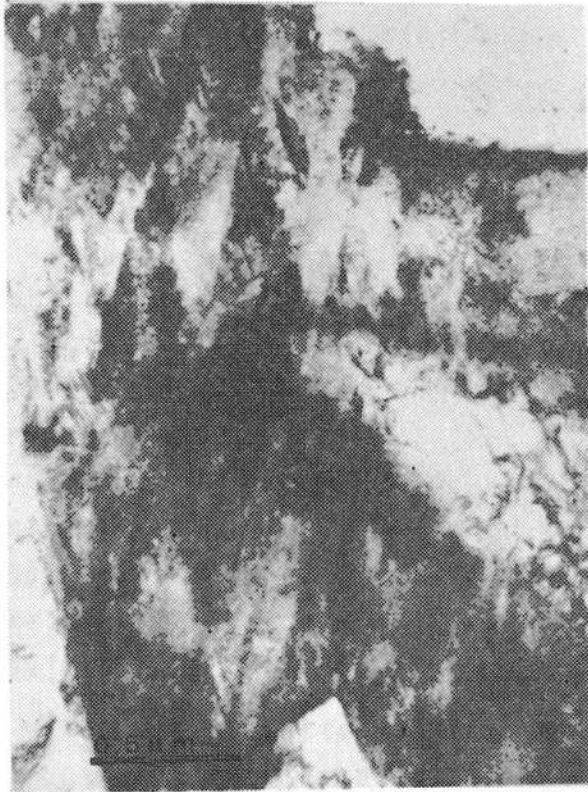
c.



d.



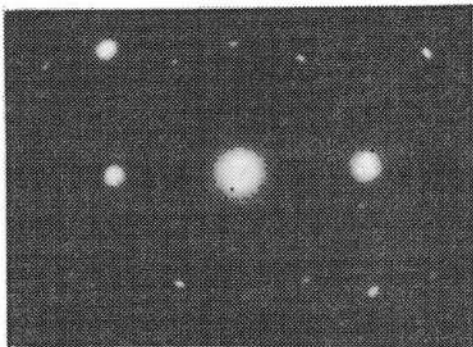
S1.5 Dislokacioni martenzit (TEM): a)svetlo polje, b)tamno polje, c)difrakciona slika, d) indeksiranje difrakcione slike



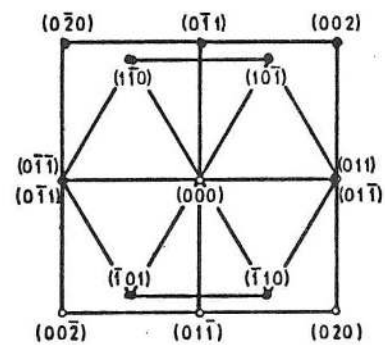
a.



b.

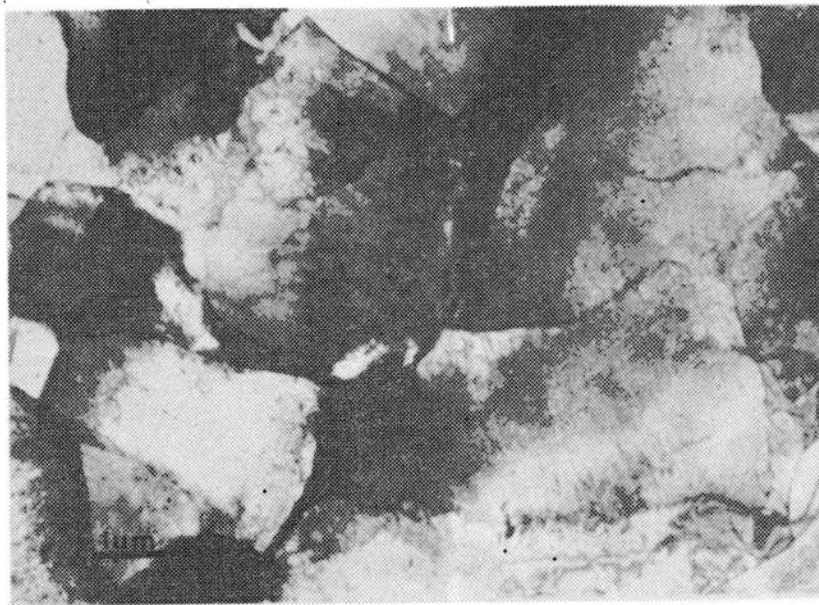


c.



d.

Sl.6 Dvojniovani martenzit (TEM): a) svetlo polje, b) tamno polje, c) difrakciona slika, d) indeksiranje difrakcione slike



S1.7 Feritna osnova (TEM)

#### 4. DISKUSIJA

Različita termička i termomehanička obrada dvofaznih čelika stvorila je različitu morfologiju martenzita. Kod jednostruko kaljenih uzoraka prisutan je globularni martenzit, kod dvostruko kaljenih, vlaknasti martenzit, dok kod kontrolisano valjanih uzoraka prisutna su izdužena zrna martenzita.

Različita morfologija martenzita je dalje prouzrokovala u strukturi prisustvo različitog tipa martenzita, dislokacionog ili dvojnikanog, a to je dovelo do različite kristalografske orijentacije izmedju susednih feritno/martenzitnih zrna.

Vlaknasti martenzit (slika 2) dobijen dvostrukim kaljenjem je samo dislokacioni (slika 5), dok je granična površina ferit/martenzit po celoj svojoj dužini potpuno koherentna. Uzrok tome je dvostruko kaljenje. Naime, po prvom kaljenju cela struktura je martenzitna. Ponovnim zagrevanjem u  $\alpha+\gamma$  području, nukleacija i rast austenita odvija se na graničnoj površini martenzitnih "letvica" i tankog filma zadržanog austenita. Pošto iz jednog dela martenzita nastane austenit, a ostatak se transformiše u ferit, tada paralelna izdužena zrna austenita i ferita koji ga okružuje, imaju istu kristalografsku orijentaciju. Ponovnim kaljenjem na feritno-martenzitnu strukturu, koherentnost granične površine potpuno se zadržava.



Kod procesa kontrolisanog valjanja početna velika austenitna zrna u toku plastične deformacije prvo rekristaliziraju u sitna austenitna zrna. Daljom plastičnom deformacijom na nižim temperaturama, ali još uvek iznad  $A_3$  temperature, austenitna zrna ostaju trajno deformisana i izdužena. Završnim valjanjem nešto ispod  $A_3$  temperature, granična površina između izduženih austenitnih zrna, je mesto početka stvaranja finih okruglih rekristaliziranih zrna ferita (slika 7). Direktnim kaljenjem iz tog područja ostatak izduženog austenita transformiše se u izdužena zrna martenzita (slika 3). Kod ovakve strukture nije moguće potpuno zadržati istu kristalografsku orijentaciju, pa stepen koherentnosti je nešto niži u odnosu na vlaknasti martenzit. Pored toga, obzirom na brzinu procesa uz stalno prisustvo dinamičke rekristalizacije, moguća je segregacija ugljenika čime se pospešuje pojava dvojnikovanog martenzita (slika 6).

Globularni martenzit (slika 1), dobijen jednostrukim kaljenjem, ima najnižu koherentnost sa feritom koji ga okružuje, jer polazna struktura ferit/perlit ima nekoherentnu visokoenergetsku graničnu površinu, a nukleacija austenita započinje na graničnoj površini ferit/cementit i raste ka perlitu.

Kakav će se tip martenzita u strukturi javiti zavisi od %C. Ako je martenzit nisko ugljenični (<0,4%C), onda je dislokacioni, ako je visokougljenični (>0,4%C), onda je dvojnikovani.

Identifikacija dislokacionog martenzita je potpuna, pošto je dobijena trojna difrakcija koja pokazuje i Kurdjumov-Sachs (K-S) i Nishiyama-Wasserman (N-S) orijentaciju (slika 5).

Za razliku od dislokacionog, dvojnikovani martenzit u tamnom polju daje svetlo-tamni fazni kontrast, a na difrakcionoj slici austenitna refleksija (002) nije prisutna (slika 6).

Treba naglasiti da rezultati ispitivanja zatezanjem pokazuju da kod uzoraka sa različitom morfologijom martenzita ne postoji bitna razlika u veličini granice tečenja, zatezne čvrstoće, izduženja i kontrakcije (6). Medjutim, prikazana razlika u mikrostrukturi ima bitan uticaj na graničnu obradivost pri višestepenom vučenju žice, mehaničkih osobina vičene žice i pri zamoru.

## 5. ZAKLJUČAK

Primenom različitih vrsta termičkih obrada dobijene su različite morfologije martenzita. Kod jednostruko kaljenih uzoraka prisutan je globularni martenzit, kod dvostruko kaljenih vlaknasti martenzit, dok kod kontrolisano valjanih uzoraka priustna su izdužena zrna martenzita.

Pored toga, vlaknasti martenzit je potpuno dislokacioni, dok kod globularnog i martenzita u vidu izduženih zrna, pored dislokacionog identifikovan je i dvojnikovani martenzit.

## 6. LITERATURA

1. Formable HSLA and Dual-Phase Steels, A.T.Devenport, Ed., TMS-AIME, New York, New York, (1978).
2. Structure and Properties of Dual-Phase Steels, R.A. Kot and J.W.Morris, Eds., TMS-AIME, New York, New York, (1979).
3. Fundamentals of Dual-Phase Steel, R.A.Kot and B.L.Bramfitt, Eds., TMS-AIME, Warrendale, PA, PA, (1981).
4. A.Nakagawa and G.Thomas, Metall. Trans., 16A, (1985), 831.
5. J.H.Ahn, Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, LBL-17099, (1986).
6. L.Šidjanin, S.Miyasato and G.Thomas, "Interwire 87", 57th Int.Conf., Atlanta, GA, (1987).