

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA	Stran
Šegel Jože — Železarna Ravne UPORABA PROCESNEGA RACUNALNIKA V ELEKTROJEKLARNI	37
Prešern Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana V. Macur, A. Rodič — Železarna Ravne VPLIV MODIFIKATORJEV PRI IZDELAVI JEKLA NA VELIKOST AVSTENITNEGA ZRNA	49
Grešovnik Ferdo — Železarna Ravne RAZISKAVE FAZNIH PREMEN V BRZOREZ- NIH JEKLIH Z VISOKOTEMPERATURNO RENTGENSKO ANALIZO	57
TEHNIČNE NOVICE Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana INTERNACIONALNA KONFERENCA: EPŽ JEKLO — MATERIAL ZA PRIHODNOST	71
Prešern Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana 5. KONVENCIJA UPORABNIKOV CONCAST-OVIH LICENC	73

LETO 12 ŠT. 2-1978

ŽEZB BQ 12 (2) 37—76 (1978)



ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ZELEZARNE JESENICE, RAVNE, STORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 12

LJUBLJANA

JUNIJ 1978

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
stran	Seite	Page	
Segel Jože	Segel Jože	Segel Jože	Segel Jože
Uporaba procesnega računalnika v elektrojeklarni 1	Die Anwendung des Prozessrechners im Elektrostahlwerk 1	Approach to computer control in electric steel plant 1	Применение вычислительной машины для управления в электросталильном цехе 1
UDK: 669.669.168.1.31, 65.011.56	UDK: 669.669.168.1.31, 65.011.56	UDK: 669.669.168.1.31, 65.011.56	UDK: 669.669.168.1.31, 65.011.56
ASM-SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1-52, 18-74	ASM-SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1-52, 18-74	ASM-SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1-52, 18-74	ASM-SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1-52, 18-74
Prešern Vasilij, Macur Vlado, Rodič Alenka	Prešern Vasilij, Macur Vlado, Rodič Alenka	Prešern Vasilij, Macur Vlado, Rodič Alenka	Prešern Vasilij, Macur Vlado, Rodič Alenka
Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna 17	Einfluss der Impfmittel auf die Austenitkorngröße bei der Stahlerzeugung 17	Influence of modifying agents on the size of austenite grain in steel manufacturing 17	Влияние модификаторов при производстве стали на величину аустенитных зёрен 17
UDK: 669.18:620.18:669.046.558	UDK: 669.18:620.18:669.046.558	UDK: 669.18:620.18:669.046.558	UDK: 669.18:620.18:669.046.558
ASM-SLA: D11r, AD-r	ASM-SLA: D11r, AD-r	ASM-SLA: D11r, AD-r	ASM-SLA: D11r, AD-r
Grešovnik Ferdo	Grešovnik Ferdo	Grešovnik Ferdo	Grešovnik Ferdo
Raziskave faznih premen v brzoreznih jeklih z visokotemperaturno rentgensko analizo 23	Untersuchungen der Phasenumwandlungen in Schneldrehstählen mit der Hochtemperaturröntgenanalyse 23	Investigations of phase transformations in high-speed steel by high temperature X-ray analysis 23	Исследование превращения фаз в быстрорежущих сталях с рентгеновским анализом при высоких температурах 23
UDK: 548.736:669.112.227.3 669.14.018.252.3	UDK: 548.736:669.112.227.3 669.14.018.252.3	UDK: 548.736:669.112.227.3 669.14.018.252.3	UDK: 548.736:669.112.227.3 669.14.018.252.3
ASM-SLA: M22g, M23r, N8, TS-m	ASM-SLA: M22g, M23r, N8, TS-m	ASM-SLA: M22g, M23r, N8, TS-m	ASM-SLA: M22g, M23r, N8, TS-m
Tehnične novice 71	Technische Nachrichten 71	Technical News 71	Технические новости 71

**For Automation and Process
Technology from conceptual
design to turn key system**

Control systems for material,
materials management

Analyses laboratories

Electric arc furnaces

Basic oxygen furnaces

(BOF) SIP Converter,
AOD Converter

Energy dispatch and control

Pollution monitoring

Heat treating optimization

Tailor-made software and systems
for your specific requirements

**Za avtomacijo in procesno
tehnologijo od idejnih zasnov
do sistemov na ključ**

Kontrolni sistemi za
materialno gospodarstvo

Analitski laboratorij

Elektro obločne peči

Bazične kisikove peči

LD — konverter in kisikovi
žilavilni postopki s pihanjem
od spodaj

AOD — konverter

Kontinuirno litje

Sistemi razdelitve in kontrole
porabe energije

Krmiljenje čistilnih naprav

Optimizacija toplotne obdelave

Software in sistemi prilagojeni
vašim posebnim zahtevam

PROCESS CORPORATION

P. O. Box 11528

PITTSBURGH, PA 15238

For more detailed information please
contact the European representative:

Za podrobnejše informacije se, prosimo,
povežite z zastopstvom za Evropo:

USA

**INTECO — Internationale
Technische Beratung Ges. m. b. H.
Bahnhofstrasse 9
8600 Bruck/Mur, Austria
Telephone: (038 62) 53 1 10
Telex: 36 720**



proizvaja:

motorna olja za cestna vozila in traktorje

hidravlična olja

olja za cirkulacijsko podmazovanje

maziva za zobčnike

industrijska olja

specialna olja

specialna olja in tekočine za motorna vozila

tekočine za obdelavo kovin

masti za mazanja

antikorozijska sredstva



ŽELEZARNA JESENICE

Proizvaja:

debelo, sredno in tanko pločevino
dinamo trakove

hladno valjane-trakove

vlečeno, brušeno in luščeno jeklo

vlečeno žico

vlečeno žico — patentirano

pleteno patentirano žico za

prednapeti beton

hladno oblikovane profile

cestne varnostne ograje

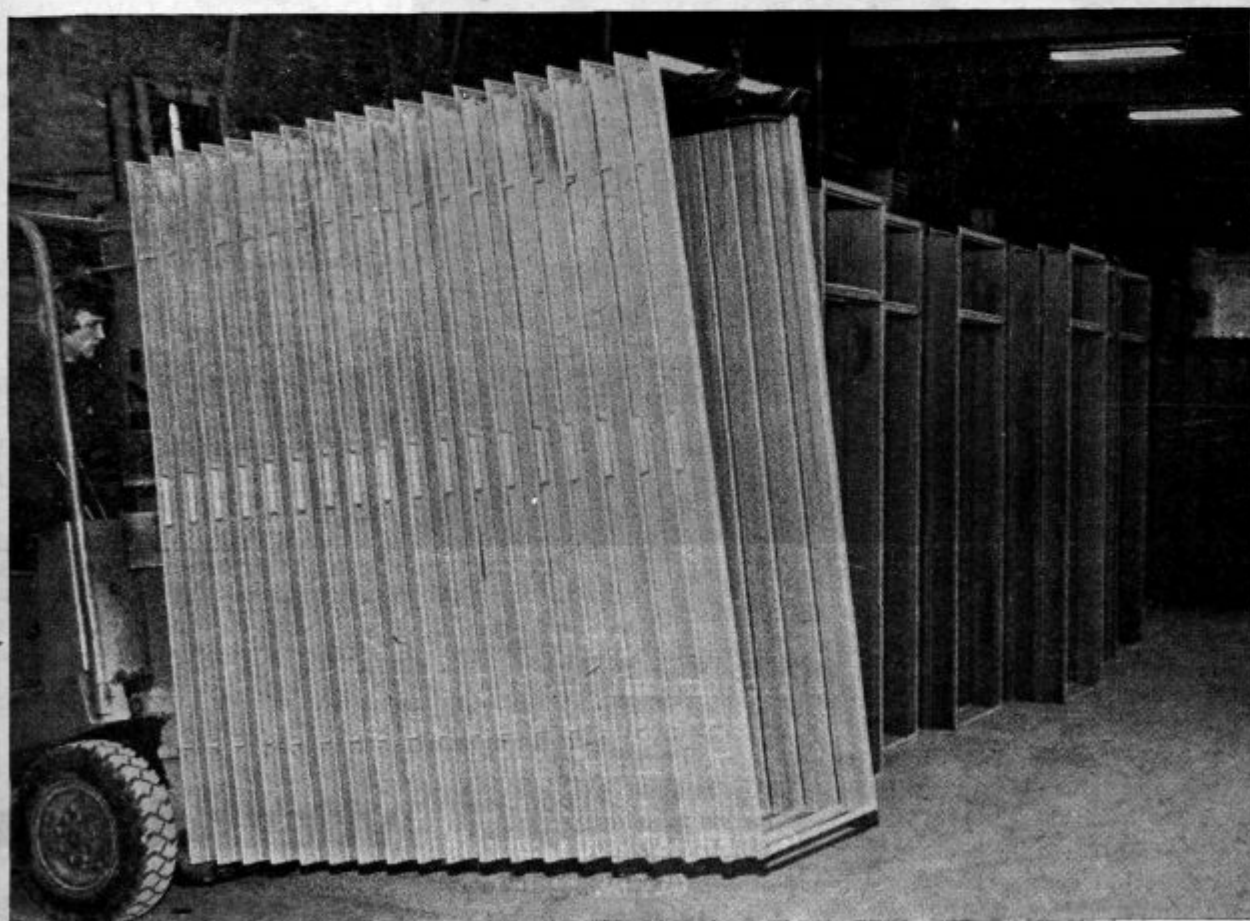
jeklene podboje za vrata

dodajni material za varjenje:

— tehnični plin ARGON

žičnike

jekleni sekanec



Vratni podboji izdelani v Železarni Jesenice

VÖEST-ALPINE

Hüttenwerksanlagen Plants for the Iron and Steel Industry



- jeglicher Größenordnung
 - Komplette Hüttenwerke
 - Erzaufbereitungsanlagen
 - Kalkwerksanlagen
 - Aufbereitungsanlagen für NE-Metalle
 - Pelletieranlagen
 - Sinteranlagen
 - Hochofen mit allen Nebenanlagen
 - Schlackenverwertungsanlagen
 - Direktreduktionsanlagen
 - LD-, OBM-, Elektrostahlwerke
 - LD-Tiegelanlagen
 - Tiegelwechsellwagen
 - Lanzeneinrichtungen
 - VP-Temperaturmeßblazen
 - Beschickungseinrichtungen
 - Hüttenfahrzeuge
 - Roheisenmischer
 - Dolomitsteinfabriken
 - Stranggußanlagen
 - Warmwalzanlagen
 - Kaltwalzanlagen
 - Komplette Walzwerke für Nicht-eisenmetalle
 - Rohr-, Profil- und Trägerstraßen (Kaltverformung)
- of any size
- Turnkey metallurgical plants
 - Ore dressing plants
 - Lime burning plants
 - Benefication Plants for non-ferrous metals
 - Pelletizing plants
 - Sintering plants
 - Blast furnaces with all ancillary plants
 - Slag processing plants
 - Direct reduction plants
 - LD-, OBM-, electric steel mills
 - LD-vessel plants
 - Vessel changing cars
 - Lance equipment
 - VP-temperature measuring lances
 - Charging equipment
 - Transfer cars
 - Hot metal mixers
 - Dolomite brick plants
 - Continuous casting plants
 - Hot rolling mills
 - Cold rolling mills
 - Complete rolling mills for non-ferrous metals
 - Tube, section and beam mills (Cold forming)

VÖEST-ALPINE

VEREINIGTE ÖSTERREICHISCHE EISEN-
UND STAHLWERKE – ALPINE MONTAN AG

AUSTRIA EUROPE
P.O. BOX 2, A-4010 LINZ, TEL. (0 73 2) 585
TELEX 02-1785

Uporaba procesnega računalnika v elektrojeklarni*

Jože Šegel

Slovenske železarne — ŽELEZARNA RAVNE proizvaja več sto vrst ogljikovih, nizko, srednje in visoko legiranih jekel za potrebe valjarne, kovačnice in jeklolivarne. Za izdelavo jekla se uporabljajo med drugim tudi štiri elektroobločne peči, od 15 do 45 ton kapacitet. Pri analizi možnosti uporabe procesnih računalnikov za zahtevno in raznoliko proizvodnjo je bilo ugotovljeno, da je mogoče s primerno računalniško opremo in programi AVTOMET firme Process Co iz Pittsburgha (ZDA) v precej kratkem času vključiti procesni računalnik v skoraj vse faze tehnološkega procesa izdelave jekla na elektroobločnih pečeh. Takšna pot je bila učinkovitejša kot lastni razvoj aplikacij.

Članek opisuje vsebino, obseg in prve rezultate projekta uvedbe procesnih računalnikov v jeklarne železarne Ravne. V začetku so prikazane matematične metode in modeli uporabe računalnika v posameznih fazah tehnološkega procesa.

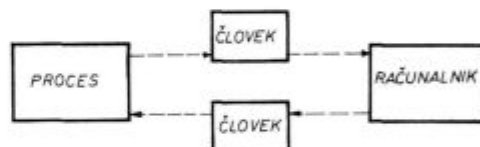
UPORABLJENI RAČUNALNIŠKI MODELI

Za vsak industrijski tehnološki proces je značilno, da vsebuje in povezuje tok materiala, energije ter informacij. Upravljanje in kontrola tehnološkega procesa je mogoča le ob primernem obsegu in nivoju informacij. Planiranje proizvodnje, nabavljanje surovin, vodenje in kontrola procesa, povratne informacije so področja, ki so tesno povezana z informacijskim sistemom. Računalnik se

v informacijski sistem in v upravljanje tehnološkega procesa lahko vključuje v obliki različnih modelov:

a) »OFF-LINE« model

Najpreprostejši model je »OFF-LINE«, ki ga kaže slika 1. Obdelani podatki se v obliki povratnih informacij vračajo v proces. Računalniku daje informacije o procesu človek. Takšen način upo-



Slika 1
Off-line model (ročno zbiranje podatkov)
Fig. 1
Off-line model (manual collecting data)

rabe računalnika se pogosto uporablja pri raziskavah in matematično statističnih analizah tehnoloških procesov v jeklarni. Model se uporablja predvsem pri prvih poizkusih uporabe računalnika v jeklarni, primeren pa je tudi kasneje za razvijanje in izboljšave avtomatizirane proizvodnje.

b) »IN-LINE« model

Pri tem modelu ročno zbiramo podatke o procesu, vnašamo podatke v računalnik preko terminala ali podobnega medija in obdelane podatke pregledamo. Po potrebi jih ročno obdelamo ter šele nato uporabimo pri upravljanju procesa (Slika 2).

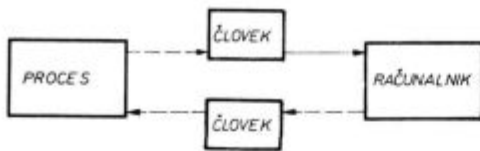
Model se uporablja tam, kjer ni mogoče avtomatsko zbiranje podatkov z merilnimi instrumenti ali pa je takšno zbiranje nerentabilno. Primer:

Pri uporabi računalnika za izračun optimalne sestave vložka tehnolog tekoče vnaša nove dohode na skladišče starega železa s terminalom.

Jože Šegel, dipl. inž. met. vodi službo za avtomatizacijo proizvodnih procesov v Železarni Ravne.

* Članek predstavlja slovenski prevod avtorjevega referata na »Third International Iron & Steel Congress« (April 1978, Chicago, ZDA)

** Uporaba procesnih računalnikov je še precej novo področje in zato za nekatere angleške izraze še nimamo ustreznega udomačenega slovenskega prevoda.



Slika 2

In-line model (pogosto in tekoče vnašanje podatkov v računalnik)

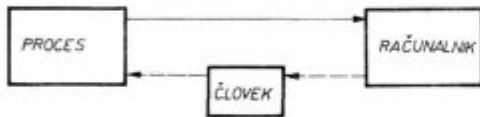
Fig. 2

In-line model (frequent and fluent data input in computer)

Izračunano sestavo vložka pregleda, po potrebi popravi in šele nato pošlje na pripravo vložka dokumente za tehtanje vložka.

c) »ON-LINE OPEN LOOP« model

Slika 3 kaže model neposredne zveze med procesom in računalnikom pri vnašanju podatkov v računalnik. Povratne informacije se obdelajo v računalniku in dajo na razpolago človeku kot pomoč za vodenje, spremembe ali izboljšave procesa.



Slika 3

On-line open loop model

Fig. 3

On-line open loop model

Takšen model nastopa v jeklarstvu takrat, kadar računalnik lahko neposredno dobiva povratne informacije, ne more pa neposredno vplivati na spremembe v tehnološkem procesu. Razlogov za to je lahko več. Navedimo primer:

Pri izračunu dodatka ferolegur dobiva računalnik podatke o kemijski sestavi prvega preizkusnega vzorca neposredno z izvrednotenjem kvantometrskih meritev in talilcu izračuna potrebne dodatke ferolegur. Talilec se odloči, ali bo izračun uporabil ali ne, saj le on ve, ali je izdelava šarže potekala normalno. Računalnik tega ne ve, ker veliko pomembnih tehnoloških parametrov ni mogoče dovolj zanesljivo, točno in hitro meriti.

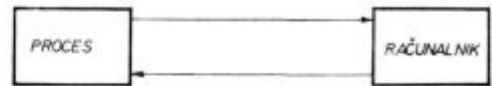
Podoben praktičen primer je tudi vključitev varnostnega sistema v računalniško kontrolo. Znak za nevarnost sprejme računalnik neposredno in ga ustrezno obdelata. Talilca pri peči dodatno opozori o znakih nevarnosti in mu svetuje, kaj naj ukrene.

d) »ON-LINE CLOSE LOOP« model

V tem modelu z zaprto zanko, ki ga kaže slika 4 računalnik sam upravlja s procesom, brez človekovih posegov. Sistem z zaprto zanko lahko upravlja proces neposredno ali s pomočjo krmilnih naprav, kjer samo spremeni nastavljene parametre. Ta sistem se lahko uporablja v procesu

samo za nekatere dele procesa od trenutka, ko operater sporoči računalniku, da je vse pripravljeno.

Pri vodenju raztaljevanja vložka ene košare v elektro obločni peči imamo primer, da talilec sporoči, da je košara založena in od tega trenutka dalje stopi v veljavo »ON-LINE CLOSE LOOP« model uporabe računalnika.



Slika 4

On-line closed-loop model

Fig. 4

On-line closed loop model

Raztaljevanje ene košare lahko smatramo za podproces, ki ga neposredno upravlja računalnik. Upravljanje se zaključi, ko je košara raztaljena.

Za celoten proces izdelave jekla v elektroobločnih pečeh je značilno, da lahko uporabljamo vse do sedaj naštetih modele. Proces razdelimo na podprocese in glede na tehnološki in informacijski nivo izberemo in vključimo enega od obravnavanih modelov uporabe računalnika.

Poleg različnih modelov uporabe računalnika imamo opraviti še s sistemom, ki mora upravljati več procesov. Računalnik mora biti istočasno na razpolago in delati za več peči, ki lahko delajo v isti ali v različnih tehnoloških fazah. Dokaj zahtevna naloga je v računalniku rešena s sistemom »Time Sharing«, ki omogoča istočasno delo za več tehnoloških procesov takrat, ko je to potrebno, ali kakor rečemo, v realnem času. V takem sistemu je nujno potrebno dodeliti posameznim programom uporabe določene prednosti, kajti nekateri deli tehnološkega procesa izdelave jekla so bolj nujni in važnejši od drugih.

Sistem upravljanja procesa s pomočjo računalnika lahko gledamo s stališča nadzora in ugotovimo, da imamo opraviti z izrazito uporabo povratnih informacij in napovedi z matematičnimi modeli. Tako na primer s pomočjo kemijske analize prvega preizkusnega vzorca nadziramo proces in ga z računalnikom popravljamo pri dodajanju ferolegur.

Na drugi strani v naprej napovedujemo, katere vrste in koliko vložnih surovin je potrebno nabaviti.

UPORABLJENE MATEMATIČNE METODE

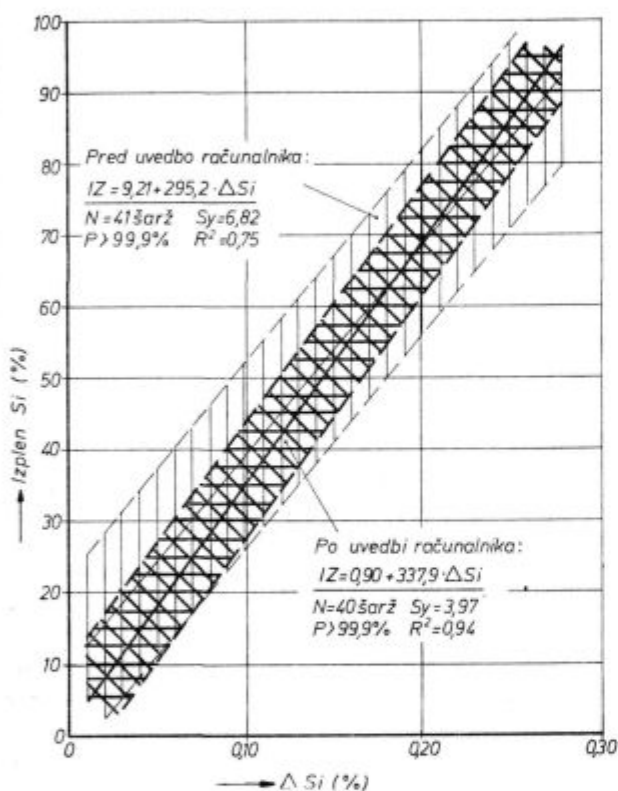
Za celoten koncept uporabe procesnega računalnika pri izdelavi jekla je značilno, da se je potrebno posluževati poleg različnih modelov uporabe računalnika tudi različnih matematičnih metod optimalnega izračuna. Še posebej izstopa kombinacija uporabe metod linearnega programi-

ranja in statičnih regresijskih enačb. Ta kombinacija se pojavlja pri:

- optimiranju naročanja vložnih materialov,
- izračun sestave vložka,
- izbiri jekla po raztalitvi vložka in
- izračunu dodatka ferolegur.

Matematičnemu modelu so dodane praktične omejitve. Model je dinamičen, saj je koristno in potrebno občasno iskati nove regresijske enačbe, ki morebiti pojasnjujejo novosti v tehnološkem procesu. Takšno novost predstavlja tudi uvedba procesnega računalnika za izračun dodatka ferolegur.

Na sliki 5 je prikazana regresijska odvisnost med odgorom Si in razliko % Si (prirastek % pri legiranju) pred uvedbo računalnika in po njem.



Slika 5

Primerjava regresijske enačbe izplena silicija pred in po uvedbi računalnika

Fig. 5

Comparison of the regression equation for silicon yield before and after the application of computer control.

Za uspešnost uvedbe računalnika za vodenje jeklarskih procesov so izredno pomembne dobre regresijske enačbe, ki pojasnjujejo zakonitosti v procesu in povečajo matematično determiniranost procesov in zanesljivost izračunov.

Pri iskanju regresijskih enačb odgorov smo se poslužili večstopenjske nelinearne analize regresije na IBM 370 računalniku. Za posamezne skupine jekel in elementov smo pripravili s pomočjo več tisoč šaržnih kartonov več kot 130 regresijskih enačb.

Pri dani željeni kemijski sestavi jekla in praktičnih omejitvah je ciljna funkcija linearnega programiranja: minimalni stroški. To pomeni, da je potrebno poiskati najcenejšo kombinacijo vložnih ali legirnih materialov. S pomočjo regresijskih enačb odgorov in drugih statističnih parametrov dosežemo natančnejši končni izračun posameznih materialnih komponent.

RAZDELITEV IN POVEZANOST SISTEMOV UPORABE RAČUNALNIKA NA ELEKTROOBLOČNIH PEČEH

Paket programov AVTOMET firme Process Co. iz ZDA posega posredno in neposredno v vse faze izdelave jekla na elektroobločnih pečeh.

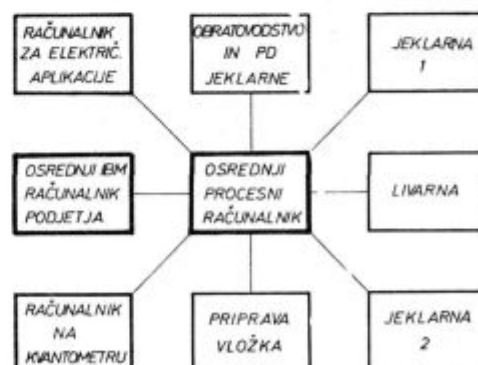
V posameznih fazah dela se uporabljajo različni sistemi uporabe računalnika.

Tabela 1 nam daje pregled uporabe računalnika za vse faze izdelave jekla. Vidimo, da je večina teh na nivoju »ON-LINE OPEN LOOP« in da je za celoten proces izdelave jekla na elektropečeh značilno, da ga ni mogoče obravnavati kot en model.

Ob uvajanju vseh naštetih vrst uporabe se vzporedno pojavlja problem enotnega sistema zbiranja, prenosa in uporabe informacij. Glavni procesni računalnik jeklarne mora zagotavljati ustrezno povezavo

- s pripravo dela in obratovodstvom jeklarne,
- s posamezno elektroobločno pečjo,
- s pripravo vložka,
- z računalnikom v kemijskem laboratoriju,
- z računalnikom za krmiljenje električne energije,
- z osrednjim računalnikom podjetja in
- posredno ter neposredno z nabavno službo.

Slika 6 kaže omenjeno povezanost v železarni Ravne, kjer se gradi enoten računalniški informacijski sistem za celo podjetje.



Slika 6

Informacijski računalniški sistem jeklarne v železarni Ravne

Fig. 6

Information computer system in the steelplant of Ravne Ironworks.

Tabela 1: Pregled uporabe procesnega računalnika po fazah izdelave jekla na elektroobločnih pečeh

OPERACIJA	UPORABA RAČUNALNIKA	MODEL UPORABE RAČUNALNIKA
Naročila	Vodenje knjige naročil	OFF-LINE
Nabava surovin	Optimalno naročanje surovin	OFF-LINE
Priprava vložka	Izračun sestave vložka	IN-LINE
Taljenje vložka	— Vodenje faze taljenja — Razdeljevanje razpoložljive električne energije	ON-LINE CLOSE LOOP ON-LINE CLOSE LOOP
Kemijska analiza 1. preizkusni vzorec	— Izvrednotenje meritev kvantometra* — Izbira jekla za izdelavo	ON-LINE CLOSE LOOP ON-LINE CLOSE LOOP
Oksidacija	Izračun količine in časa pihanja kisika	ON-LINE CLOSE LOOP
Kemijska analiza 2. preizkusnega vzorca	Izvrednotenje meritev kvantometra*	ON-LINE OPEN LOOP
Dezoksidacija in rafinacija	Izračun dodatkov za dezoksidacijo in rafinacijo	ON-LINE OPEN LOOP
Kemijska analiza 3. preizkusnega vzorca	Izvrednotenje meritev kvantometra	ON-LINE OPEN LOOP
Dodatek ferolegur	Izračun dodatkov ferolegur	ON-LINE OPEN LOOP
Litje	Vnašanje podatkov o izdelavi šarže	IN-LINE

(* Programi firme ARL)

Za lažjo rešitev opisane zahteve je paketu AVTOMET dodan novi programski produkt »TERMINALS MANAGER« za upravljanje terminalov, ki ima:

- nadzorno
- varnostno in
- servisno funkcijo.

Uporabniki s terminali ne morejo nekontrolirano neposredno klicati programov preko operacijskega sistema, ampak samo preko »TERMINALS MANAGERja«, ki dejansko dopolnjuje operacijski sistem (slika 7).

Celoten računalniški sistem dela v realnem času (24 ur na dan) in na osnovi »Time Sharing« uporabe računalnika. Več uporabnikov lahko hkrati uporablja računalnik ali celo isti program. Takšen sistem je nujen, kadar je na računalnik vezanih več peči, ki predstavljajo z informacijskega stališča neodvisne tehnološke procese.

V nadaljevanju bo na kratko opisana vsebina posameznih vrst uporabe procesnega računalnika v železarni Ravne.

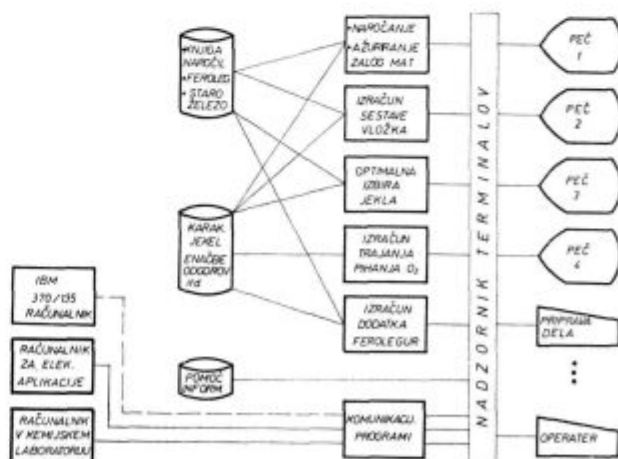
OPTIMALNO NABAVLJANJE VLOŽNIH SUROVIN

Po uvedbi računalniškega izračuna sestave vložka in dodatka ferolegur lahko jeklarna pri-

stopi k uvedbi optimalnega nabavljanja ferolegur, legiranih odpadkov in starega železa s pomočjo procesnega računalnika.

To uporabo uvajamo v treh stopnjah razvoja:

- a) Jeklarna vodi nabavno službo z zahtevami na osnovi nepredvideno porabljenega vložka.
- b) Za pomembnejše nabave vložnih surovin uporablja nabavna služba računalnik in posebna



Slika 7
V železarni Ravne uporabljeni AVTOMET programi
Fig. 7
AVTOMET programmes used in Ravne Ironworks.

programa: enega za legirane odpadke in staro železo, drugega za ferolegure.

c) Nabavna služba uporablja postopek nabavljanja, ki temelji na računalniškem izračunu potreb na osnovi plana proizvodnje in stanja zalog.

Za uspešnejšo uporabo računalnika pri izračunu sestave vložka in dodatka ferolegur je nujno, da nabavna služba upošteva potrebe jeklarne. Uporaba računalnika v jeklarni pospešuje porabo cenejših legiranih odpadkov in ferolegur. Klasičen način nabavljanja surovin za jeklaro temelji na povprečni porabi surovin v preteklem obdobju. Takšen način nabavljanja postane problematičen, saj računalniku pri izračunu sestave vložka ali dodatka ferolegur ne nudimo vse možnosti izbire surovin, ki jih ponuja trg. To predstavlja pri matematično optimalnem izračunu dodatno omejitev, katere posledica je dražja rešitev. Jeklarina mora pričeti uporabljati dražje surovine, če ji zmanjka cenejših. V takšnih situacijah prične jeklarina pospeševati nabavo cenejših surovin.

Temu sledi druga stopnja uporabe računalnika pri nabavljanju surovin. Uslužbenec nabavne službe ali priprave proizvodnje vnese v računalnik planirano proizvodnjo jekla in razpoložljive vrste surovin na trgu. Po potrebi lahko spreminja in poizkuša različne cene posameznih surovin. Pride do igre »kaj-če« pri kateri želi uslužbenec za dano situacijo dobiti najcenejšo in najsprejemljivejšo rešitev. To pride v poštev predvsem za pomembnejše nabave ali plane nabav.

Pri računanju optimalne nabave legiranih odpadkov in drugih vrst starega železa uporabljamo program, ki je podoben programu za izračun sestave vložka. Razširjen je toliko, da mu je dodana datoteka razpoložljivih vrst legiranih odpadkov in drugega starega železa na trgu. Naenkrat lahko izračunamo potrebno nabavo za eno vrsto jekla in poljubno število šarž.

Zato za posamezne skupine jekel izberemo predstavnike, ki pri izračunu tudi količinsko predstavljajo celo skupino.

Za optimalno planiranje in nabavljanje ferolegur se uporablja program, ki je podoben programu za izračun ferolegur. Pred uporabo tega programa se formira datoteka povprečne kemijske sestave jekla pred legiranjem in tekoča datoteka razpoložljivih vrst ter količin ferolegur na trgu. Program se lahko uporablja za kratkoročne in dolgoročne nabave ferolegur.

Naslednja stopnja uporabe računalnika na tem področju je popolna integralna uporaba računalnika pri nabavljanju surovin za celotno proizvodnjo jeklarne z upoštevanjem stvarnega stanja na trgu. Planirana proizvodnja jeklarne za različna obdobja se prenese iz osrednjega v procesni računalnik. Pri tem se vnese stanje na trgu in stanje zalog v podjetju ter dobi lista vložnih surovin za nabavo. Pride do skladne uporabe programov in opreme IBM ter procesnega računalnika.

IZRAČUN SESTAVE VLOŽKA

Za vložek pri izdelavi legiranih in visoko legiranih jekel se uporablja staro železo in znaten del legiranih odpadkov, t. j. staro železo z višjo vsebnostjo legiranih elementov.

Iz več deset ali celo sto vrst legiranih odpadkov je treba izračunati sestavo vložka tako, da bomo dobili po raztalitvi želeno kemijsko sestavo in težo jekla v peči. Ta cilj lahko dosežemo z različnimi kombinacijami količin in vrst legiranega odpadka, vendar je samo en izračun za določeno situacijo optimalen, kar pomeni najcenejši in tehnološko sprejemljiv.

Pri optimizaciji izračuna sestave vložka s pomočjo linearnega programiranja z računalnikom poiščemo najcenejšo mešanico vložka in pri tem upoštevamo:

- razpoložljive zaloge legiranih odpadkov, ferolegur in starega železa,
- ciljano kemijsko sestavo po raztalitvi vložka,
- ceno posameznih vložnih materialov in
- tehnološke omejitve.

Zaradi točnega in enotnega izračuna sestave vložka se delno zoži razsipanje kemijske sestave po raztalitvi, kar ugodno vpliva na vsakdanjo prakso izdelave jekla.

Pomembna je pravilna nastavitve ciljne kemijske sestave po raztalitvi. Pri legiranih elementih, ki ne odgorevajo, optimiramo ciljano kemijsko sestavo po raztalitvi. S tem ukrepom prihranimo drage ferolegure. To je delno mogoče izvesti tudi pri jeklih z visokim predpisanim % C za tiste elemente, ki zmerno odgorevajo (n. pr. Cr, Mn).

Za vsakdanjo uporabo je program za izračun vložka s procesnim računalnikom pripravljen tako, da delavec priprave dela jeklarne s terminalom pokliče računalniški program. Pred tem mora v računalnik vnesti dejansko stanje zalog na skladišču starega železa. Pri enem klicanju programa izračuna sestavo za eno ali več šarž ene vrste jekla.

IZBIRA JEKLA NA OSNOVI KEMIJSKE SESTAVE ŠARŽE PO RAZTALITVI VLOŽKA

V jeklarnah, kjer izdelujejo ogljikova in legirana jekla pretežno iz starega železa, nastopa resen problem, če staro železo ni dovolj dobro sortirano. Praktično nikoli ne vemo dovolj natančno, kakšna bo kemijska sestava šarže po raztalitvi. Zato je smotrno, da se šele takrat, ko vemo, s kakšno talino razpolagamo, dokončno odločimo, katero vrsto jekla bomo izdelali. Pri izbiri upoštevamo:

- naročene vrste jekla in jekla, ki jih delamo morebiti na zalogo,

— kemijsko analizo taline po raztalitvi vložka in
— proizvodne ter tehnološko kakovostne omejitve.

Zelo koristno orodje za hitro in optimalno rešitev tega problema je procesni računalnik, ki ima v programu postavljen naslednji osnovni cilj: **poiskati tisto jeklo iz spiska naročil, pri katerem bo najvišji odstotek znižanje variabilnih stroškov.**

Znižanje se nanaša na planske variabilne stroške. Znižanje variabilnih stroškov in istočasno stabilizacijo tehnološkega procesa pri izdelavi šarže dosežemo zaradi:

- skrajšanja časa pihanja kisika,
- izkoriščanja nizkega % Cu pri raztalitvi vložka za izdelavo zahtevnejših vrst jekla,
- upoštevanja in izkoriščanja legirnih elementov, ki jih je pokazal prvi preizkusni vzorec in
- uvedbe alternativne vrste jekla za primere reševanja izmečka zaradi kemijske sestave.

Skrajšanje časa pihanja kisika dosežemo zaradi upoštevanja % C in % Si v prvem preizkusnem vzorcu in iskanja tistega jekla, pri katerem bo zagotovljen tehnološko še dopusten minimalen padec ogljika med oksidacijo.

Slučajno nizek % Cu v prvem preizkusnem vzorcu predstavlja določeno vrednost, ki jo je dobro izkoristiti, in to tako, da od možnih vrst jekla izberemo tisto jeklo, pri katerem je v končni analizi nizek % Cu posebno pomemben.

Odstotek legiranih elementov v prvem preizkusnem vzorcu je močno odvisen od slučaja. Če je odstotek posameznega legirnega elementa relativno visok, je smotrno izdelati ustrezno legirano jeklo. Pri tem se poslužimo simulacije izračuna dodatka ferolegur, ki nam omogoča ocenitev prihranka ferolegur. V to simulacijo je avtomatsko vključen tudi linearni program.

Uporaba računalnika za obravnavano področje poteka v realnem času, tako da delovodja pri peči pokliče s terminalom program, vtipka vhodne podatke in počaka na računalniško rešitev.

Izpis računalniške rešitve je običajno v takšni obliki, da daje delovodji možnost lastne presoje in izbire jekla iz ožjega računalniškega izbora.

Priprava dela jeklarne dnevno vodi evidenco naročil v računalniku. Računalnik pa avtomatsko odšteva že izdelane šarže.

Pri celovitejši obdelavi podatkov celega podjetja nastopi za to uporabo posredna ali neposredna povezava procesnega računalnika z osrednjim računalnikom podjetja. V železarni Ravne je to IBM 370 računalnik, ki ima razvit paket programov za napovedovanje potreb. Priprava dela jeklarne dobi naročila drugih obratov preko IBM centra v procesni računalnik.

IZRAČUN KOLIČINE IN ČASA PIHANJA KISIKA

Pred fazo oksidacije jeklene taline lahko računalnik, ki dela v realnem času, izračuna količino in čas pihanja kisika.

Vhodni podatki za izračun obsegajo:

- kemijsko sestavo in temperaturo taline pred oksidacijo,
- vrsto jekla, ki ga želimo izdelati in
- težo šarže.

Z uporabo matematičnega modela in procesnega računalnika točneje izračunamo čas pihanja kisika in se s tem bolj približamo željeni kemijski sestavi po oksidaciji.

Ključni vpliv na izračunano količino kisika ima izračunan padec % C in % Si. Za posamezno jeklo ali grupo jekel imamo tehnološko predpisan najmanjši padec % C.

Računalnik izračuna količino ali čas pihanja kisika s pomočjo regresijskih enačb, ki so različne za različne grupe jekel. Podobno nam s pomočjo regresijskih enačb izračuna % Cr in % Mn po oksidaciji. To je koristna informacija za kasnejše legiranje.

Izračun količine in časa pihanja kisika lahko nastopi kot samostojen program ali kot sestavni del programa za izbiro jekla na osnovi kemijske analize po raztalitvi vložka.

V teku je posebna naloga za izboljšavo tehnologije pihanja kisika, ki bo povečala natančnost izračuna časa pihanja kisika in s tem povečala učinkovitost uporabe računalnika pri oksidaciji.

IZRAČUN DODATKA FEROLEGUR

S pomočjo procesnega računalnika, v jeklarni inštaliranih industrijskih računalniških terminalov in »time sharing« računalniškega sistema lahko optimalno, natančneje in hitreje izračunavamo dodatek ferolegur pri izdelavi jekla v elektropečeh.

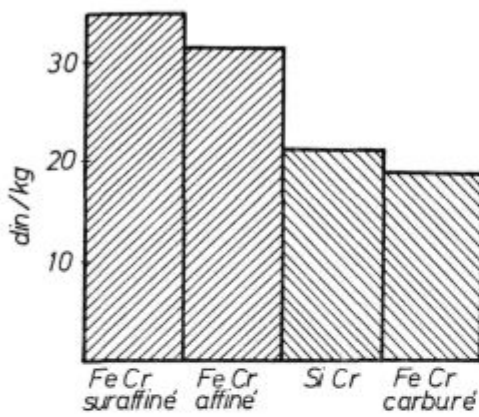
Pri tem želimo doseči naslednje cilje:

- znižati proizvodne stroške jekla,
- izboljšati enakomernost kakovosti jekla in
- znižati odstotek kemijsko zgrešenih šarž.

To dosežemo zaradi:

a) **Matematično optimalnega izračuna dodatka cenejših ferolegur na račun dražjih.** Večkomponentne ferolegure in ferolegure z višjim odstotkom ogljika so znatno cenejše, kot čiste enokomponentne ferolegure. Za ilustracijo razmerja cen čistega mangana v različnih ferolegurah si oglejmo sliko 8. Vidimo, da je Mn iz SiMn ali FeMn carburé kar 3-krat cenejši kot iz FeMn suraffinè.

Z računalnikom se uporablja za optimalni izračun matematična metoda linearnega programi-



Slika 8

Primerjava cene čistega metala v različnih ferolegurah

Fig. 8

Comparison of pure metal price in various ferroalloys.

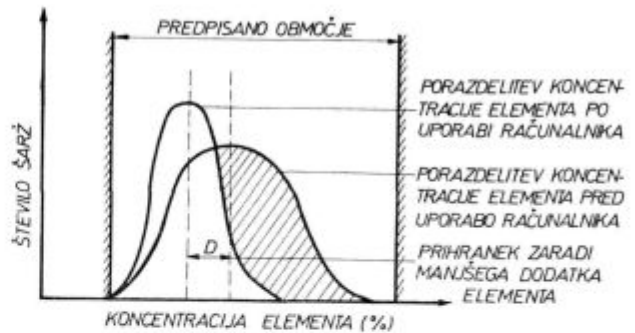
ranja, ki zaradi zahtevnosti brez računalnika sploh ni praktično izvedljiva.

b) Za vse uporabnike računalnika in programa za izračun dodatka ferolegur je **enoten postopek in enaka ciljana** sestava jekla v končni kemijski analizi.

Zaradi objektivnih in subjektivnih razlogov se pri »ročnem« izračunavanju dodatka ferolegur dogaja, da bi pri isti šarži različni delovodje izračunali različen dodatek ferolegur. Posledica tega je širše razsipanje končne kemijske sestave jekla.

Poleg matematičnega modela izračuna dodatka ferolegur so v računalnik vnesene regresijske enačbe izkoristkov — odgovor legirnih elementov in najboljša praksa glede tehnoloških posebnosti in omejitev.

Enačbe izkoristkov so razdeljene po tehnoloških postopkih in skupinah jekel. Dobljene so s pomočjo matematično-statistične analize regresije podatkov, zbranih v dokumentaciji več tisoč šaržnih kartonov. Takšna analiza je praktično izvedljiva le na večjem računalniku. Učinek uporabe računalnika pri legiranju je zoženje razsipanja končne kemijske sestave jekla.



Slika 9

Znižanje in zoženje koncentracije legirnega elementa ob uporabi procesnega računalnika

Fig. 9

Reduction and narrowing the concentration interval of the alloying element by application of the computer control.

Na sliki 9 vidimo, da lahko zaradi zožitve kemijske sestave premaknemo ciljno sestavo k nižjim vrednostim in s tem dosežemo premaknitev razsipanja bližje spodnji predpisani meji. Razlika med staro »ročno« srednjo vrednostjo in novo »računalniško« srednjo vrednostjo je ekvivalentna prihranku ferolegur.

c) Eliminirane so človeške napake pri rutinskem delu ročnega računanja dodatka ferolegur.

d) Računalnik naenkrat izračuna dodatek vseh ferolegur, tako da večkrat avtomatsko ponovi izračun. Pri tem se popravlja predpostavljena teža jekla po legiranju, kar je še posebej pomembno pri visoko legiranih jeklih.

e) V tehnoloških predpisih imajo dezoksidanti in nekatere ferolegure predpisan dodatek v kg/t jekla. Ta predpis je vključen v izračun legiranja na računalniku.

f) Računalnik nudi pomoč pri razredčitvenih izračunih šarže.

g) Delovodja dobi informativno podatek o pričakovanem padcu temperature zaradi legiranja.

Računalnik pri izračunu dodatka ferolegur upošteva zaloge, sestavo in ceno ferolegur in željeno kemijsko analizo po raztalitvi. Zato je potrebno zabeležiti zaloge ferolegur v računalnik.

BARŽA: 78091 JERLO: VCV150 CAS: 18:07 DATUM: 15-NOV-77			
MATERIAL	DODATI KG	ZE DOBANO KG	STROSKI
CASI	V PONDVCD 43.		1186,80
ALZV	26.		473,20
ALZV	V PONDVCD 7.		163,80
FEV	80.		18720,00
FESI	49.		779,70
FEMNC	139.		1028,60
FECRC	534.		6408,00
SIMN	313.		2817,00
SKUPAJI	1211.		32004,50

TEZA VLOZKA	47000.
TEZA ŠARŽE V PONDVCI 80	43357.
STROSKI LEGIRANJA (DIN/KG)	0,74
PADEC TEMPERATURE PRI LEGIRANJU	59.

Slika 10

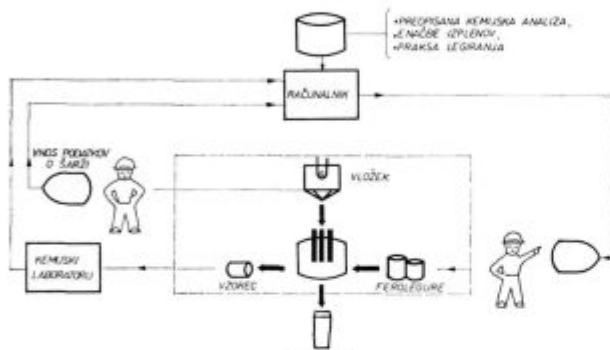
Primer rezultata izračuna dodatka ferolegur

Fig. 10

Example of calculation of a ferroalloy addition.

Delovodja pokliče program za izračun dodatka ferolegur preko terminala. Pokliče ga lahko kadarkoli. Običajno je to takrat, kot je pri ročnem izračunavanju pristopil k uporabi logaritemskega računalna. Delovodja preko terminala po načelu vprašanje — odgovor vtipka osnovne vhodne podatke, ki so nujni za izračun. Temu sledi računanje v računalniku in izpis rezultata na terminal. S posebno oznako v vhodnih podatkih je predlegiranje ločeno od glavnega legiranja, kajti izkoristki ferolegur in željena kemijska sestava pri predlegiranju ni enaka legiranju.

Slika 10 kaže primer izpisa rezultata izračuna dodatka ferolegur na procesnem računalniku železarne Ravne in slika 11 sistem uporabe računalnika pri tej aplikaciji.



Slika 11

Sistem uporabe računalnika pri legiranju (on-line, open loop system)

Fig. 11

Application of computer control in alloying (on-line open loop system).

KRMILJENJE PORABE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kontrola in vodenje porabe razpoložljive električne energije s pomočjo manjšega procesnega računalnika omogoča enakomernjšo porabo električne energije. Stroške električne energije je tako mogoče znižati, saj ima na ceno kWh močan vpliv najvišja urna poraba energije v tekočem mesecu. V primerjavi z ostalimi odjemalci so elektroobločne peči velik porabnik električne energije, zato se krmiljenje porabe električne energije v celem podjetju osredotoči na enakomerno porabo energije elektroobločnih peči in preprečevanje visokih konic porabe.

S stališča računalniškega krmiljenja se lahko uporablja sistem z zaprto zanko »on-line close loop«. Osrednjo vlogo ima procesni računalnik z vmesniki. Vhodni podatki so skupna poraba električne energije podjetja in posamezne elektroobločne peči. Računalnik računa trend skupne porabe energije. Pomembna vloga pri ukrepanju računalnika imajo prednosti posameznih peči. Te prednosti so dinamične in so odvisne predvsem od faze dela, v kateri je peč. Običajno ima prednost tista peč, ki je bližje izlivu šarže iz peči. Računalnik preprečuje preveliko porabo energije

tako, da izključi za določen čas peč z najnižjo prioriteto, če je to tehnološko dopustno, ali prepeči vključitev nove peči.

Vzporedno računalnik zbira, shranjuje in izpisuje na terminal v razdelilni postaji podatke o porabi električne energije.

Sistem upravljanja mora biti zgrajen tako, da je vedno mogoč preklon na ročno vodenje.

VODENJE ELEKTRIČNE MOČI ELEKTROOBLOČNE PEČI

Način vodenja električne moči na elektroobločni peči vpliva na specifično porabo električne energije, vzdržljivost obzidave in potrošnja elektrod. Še posebej pomembna je faza taljenja vložka. Za ročno vodenje je potrebno veliko strokovnega znanja in spretnosti, če želimo doseči dobre rezultate, ki pa še vedno zaostajajo za optimalnimi možnostmi.

Procesni računalnik vodi taljenje posamezne košare vložka po optimalni, praktično potrjeni poti s sistemom zaprte zanke »on-line close-loop«. Računalnik uravnava moč preko industrijskih vmesnikov in servo motorjev.

Povratne informacije o toku, napetosti, stopnji napetosti in $\cos \phi$ dobiva preko standardnih senzorjev in vmesnika.

Za posamezno peč je v računalniški sistem vključeno avtomatsko tekoče zbiranje pomembnejših podatkov, ki vključujejo tudi varnostni sistem.

PROCESNI RAČUNALNIŠKI SISTEM V ŽELEZARNI RAVNE

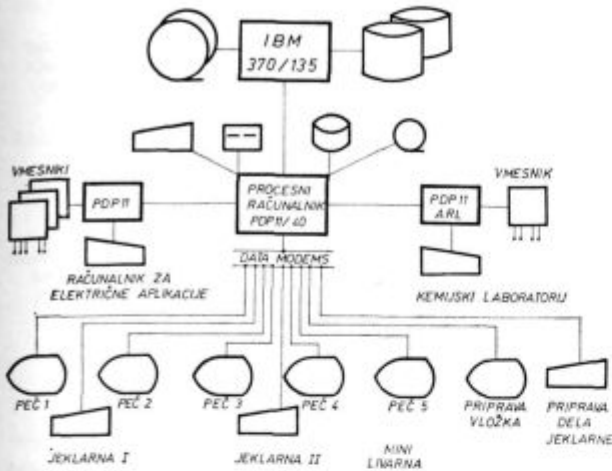
Za kompleksno uporabo procesnega računalnika pri izdelavi jekla v elektropečeh je potrebna primerna računalniška oprema, ki zagotavlja:

- 24-urno uporabo računalnika na dan,
- delo v realnem času,
- »Time Sharing« način uporabe računalnika,
- delo na principu prekinitvev,
- obdelavo digitalnih in analognih električnih veličin,
- uporabo terminalov in vmesnikov v industrijskih pogojih,
- povezavo med več procesnimi računalniki in osrednjim računalnikom,
- delo z enotami magnetnih diskov,
- programiranje v višjih jezikih in
- še druge posebne zahteve.

Železarna Ravne ima zgrajen sistem procesne računalniške opreme, ki ustreza navedenim zahtevam. Na sliki 12 je prikazana shema te opreme.

Računalniška oprema je izdelana pri DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION iz ZDA, z izjemo industrijskih video terminalov, ki so izdelek firme ADDS iz ZDA.

Na osrednjem procesnem računalniku in računalniku za električne aplikacije je inštaliran RSX-11M operacijski sistem.



Slika 12

Shema računalniške in terminalske mreže v ŽELEZARNI RAVNE

Fig. 12

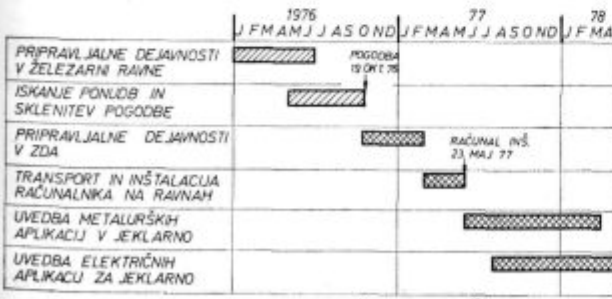
Scheme of computer and terminal net in Ravne Ironworks.

IZKUŠNJE IN PRVI REZULTATI V ŽELEZARNI RAVNE

Pri študiju možnosti in izbiri variante uvedbe procesnega računalnika v jeklarno smo prišli do zaključka, da bo učinkovitejša in bolj gospodarna tista varianta realizacije projekta, pri kateri bomo izkoristili v svetu že izdelane programske produkte in storitve izkušene firme. Lasten razvoj programov za posamezne aplikacije bi bil dosti daljši in manj zanesljiv.

Slika 13 prikazuje terminski plan, za katerega je značilno izredno kratko obdobje realizacije projekta od podpisa pogodbe do zaključka. V 18 mesecih so bile v vsakdanjo prakso uvedene vse predhodno opisane aplikacije. Tako se na primer na sliki 14 vidi napredovanje uporabe računalniškega izračuna dodatka ferolegur. Temu

Zaradi izredno obsežnega in kompleksnega dela pri uvajanju procesnega računalnika v jeklar-

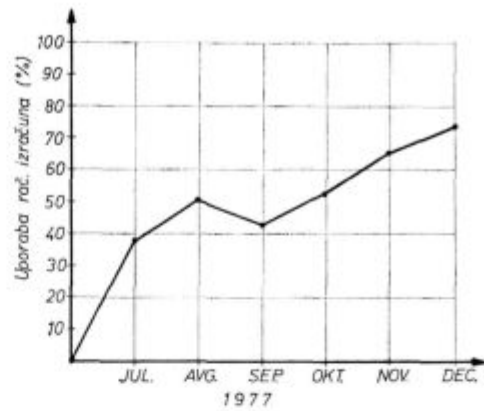


Slika 13

Terminski potek projekta

Fig. 13

Time-schedule of project.



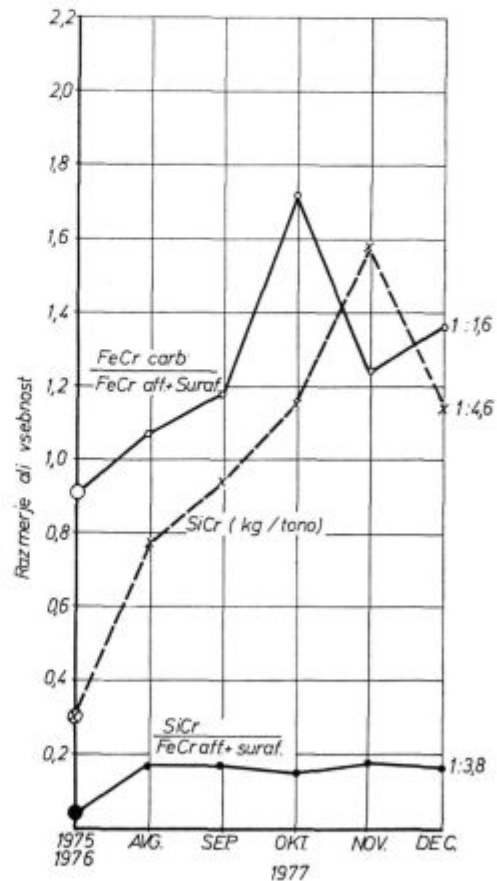
Slika 14

Odstotek uporabe kompletnega računalniškega izračuna pri legiranju

Fig. 14

Portion of the application of total computer system for the control of alloying.

no se je pokazala potreba po uporabi projektne organizacije posameznih aplikacij. Po inštalaciji računalnikov v železarni Ravne smo najprej odprli projekt za izračun dodatka ferolegur. Temu



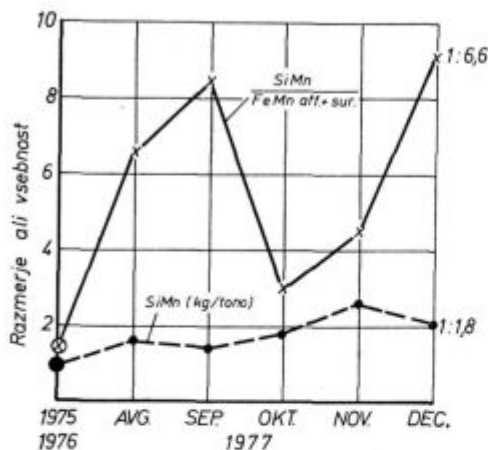
Slika 15

Porast porabe FeCr carburè in SiCr v primerjavi s porabo FeCr affiné in suraffiné

Fig. 15

Increased consumption of FeCr carbure and SiCr compared with the consumption of FeCr affiné and suraffiné.

so sledili projekt za izračun sestave vložka, izbire jekla po raztalitvi vložka, električne aplikacije in tako dalje. Šest tednov po instalaciji osrednjega procesnega računalnika se je pričela na štirih elektroobločnih pečeh uporaba računalnika pri izračunu dodatka ferolegur. Napredovanje uporabe se vidi iz že omenjene slike 14, prve učinke pa vidimo na sliki 15 in 16. Poraba cenejših ferolegur se je proti dragim čistim feroleguram močno povečala.



Slika 16

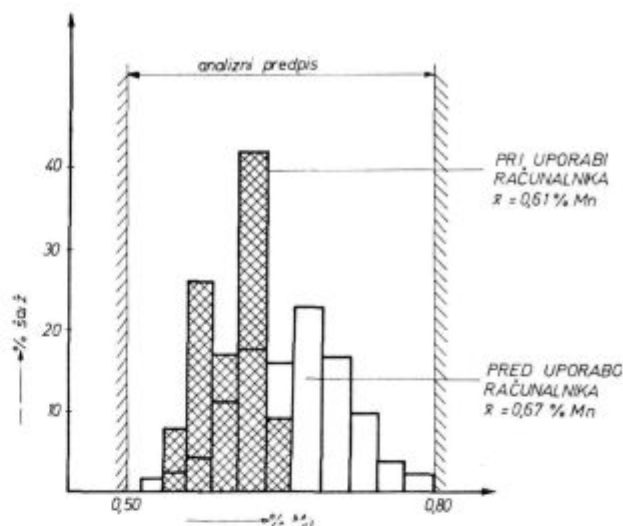
Porast porabe SiMn v primerjavi s porabo FeMn affiné in suraffié

Fig. 16

Increased consumption of SiMn compared with the consumption of FeMn affiné and suraffié.

Slika 17 kaže primer zoženja porazdelitve odstotka mangana v končni kemijski analizi ogljičnega jekla po prvih izdelanih šaržah s pomočjo procesnega računalnika. Očitno je, da je cilj pri izračunu dodatka mangana pomaknjen bližje k spodnji predpisani meji.

Računalnik se je pokazal učinkovit tudi pri izračunu sestave vložka in drugih aplikacijah in nas med uvajanjem opozarjal na nekatere tehnič-



Slika 17

Porazdelitev % Mn v jeklu Č. 1531 pred in po 4 mesečni uporabi računalnika v Jeklarni 2

Fig. 17

Manganese distribution in Č. 1531 steel before and after the 4-month application of computer control in Steel-plant No. 2.

ne pomanjkljivosti v jeklarni, ki zmanjšujejo učinkovitost uporabe računalnika. Uporaba računalnika nas vodi pri odstranjevanju teh pomanjkljivosti na osnovi ekonomskih računov. Omenjene pomanjkljivosti niso tako kritične, da bi ogrozile uspešno uvedbo računalnika, kažejo predvsem na skrite rezerve pri izboljšavah tehnološkega procesa in učinkovitejše izkoriščanje možnosti, ki jih daje procesni računalnik.

Literatura:

- Schroeder, D.L., »The Place of Time Sharing in Steel-making Avtomation« 1970 Electric Furnace Proceedings, Volume 28, stran 142-149.
- Schroeder, P.L. and Lendman, T.T. »Materials Management in Electric Furnace Steelmaking«, A. I. S. E. Steel Show, Cleveland, Ohio (Sept. 29. 1977).

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel werden folgende Anwendungsgebiete des Rechners im Elektrostahlwerk angegeben:

1. Open loop Applikation:

- Ausrechnung des metallischen Einsatzes (Stoffbilanz)
- Ausrechnung der Legierungszusätze
- Auswahl der erzeugenden Stahlsorte (auf Grund der chemischen Zusammensetzung nach dem Einschmelzen)
- Die Führung der Lagervorräte und Bestellung der Rohstoffe für das Stahlwerk

2. Closed loop applikation:

- Optimale Führung des Verbrauches der elektrischen Energie im Werk
- Die Führung der elektrischen Ofenleistung beim Einschmelzen

- Automatische Datensammlung und Einschliessung des Alarmsystemes in den Rechnersystem der Führung

3. Die angewendeten mathematischen Methoden:

- Stahastische Modelle
- Detreministische Modelle

4. Die Berücksichtigung der besonderen Stahlwerks-umwelt.

Alle aufgezählten Anwendungsgebiete sind schon, oder sind in der Endphase der Einführung, im Hüttenwerk Ravne, mit Hilfe verschiedener Elektronenrechner eingeführt worden. Der Artikel enthält auch eine Diskussion über die Planung, die Einführung und die preliminären Ergebnisse der Anwendung des Prozessrechners im Stahlwerk.

SUMMARY

The following fields of the computer application in an electric steel plant are presented in the paper:

1. Open loop applications:
 - calculation of the feed composition
 - calculation for adding ferroalloys
 - selection of steel to be manufactured (according to the chemical analysis after melting)
 - stock control and purchasing raw materials for steel plant
2. Closed loop applications:
 - control of optimal power consumption in the plant
 - input power control in melting

— data acquisition and automatic switch on of the alarming system in computer regulation

3. Applied mathematical models:
 - stochastic models (statistical feedback type)
 - deterministic models (fixed equations)
4. Consideration of special meltshop environments

All the above mentioned fields were introduced or they are in the final stage of introduction in the Ravne Ironworks using various computers. The paper presents the discussion on planing, introducing, and on preliminary results of application of computer control in a steel plant.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены следующие области применения счетчика в электросталеплавильном цехе:

1. Применение системы Open loop:
 - исчисление состава шихты;
 - исчисление добавки ферросплавов;
 - выбор стали намеченой для производства (на основании химического состава по расплавлению шихты);
 - руководство над наличием запасов и заказ сырья для сталелитейного цеха.
2. Применение системы Closed loop:
 - оптимальное управление над расходом электроэнергии в предприятии;
 - управление мощностью при расплавки шихты;

— автоматическая регистрация данных и приключения системы тревожной сигнализации к системе вычислительного управления.

3. Применение математических методов:
 - стохастические модели (мат. статистическая реверсивная петля);
 - детерминированные модели (фиксированные уравнения).
4. Учет над влиянием окружающей среды.

Все перечисленные области были введены в металлургическом заводе Железарна Равне и находятся теперь при помощи различных счетчиков в конечной фазе практического применения. В статье дискуссия о планировании, введении и о предварительных результатах употребления вычислительных машин для управления процессом в сталелитейном заводе.

Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna

UDK: 669.18:620.18

669.046.558

ASM/SLA: D11r, AD-r

Vasilij Prešeren, V. Macur, A. Rodič

2. del: VPLIV KOMBINACIJE ALUMINIJA IN TITANA TER KALCIJ-BARIJ-SILICIJA IN REDKIH ZEMELJ

Opisano je določevanje optimalne vsebnosti kombinacije aluminija in titana ter kalcij-barij-silicija in redkih zemelj za doseganje drobnozrnatega avstenitnega zrna.

Prikazan je vpliv kombinacije omenjenih elementov na čistost jekla in pojasnjeno spreminjanje čistosti jekla glede vsebnosti in razporeditve posameznih vrst nekovinskih vključkov.

Vse primerjave so izdelane v enakih pogojih, dobljeni rezultati pa so podani v obliki, ki je primerna za direktno uporabo pri industrijski izdelavi cementacijskih jekel z zahtevano velikostjo avstenitnega zrna in predpisanimi mehanskimi lastnostmi.

1. UVOD

V prvem delu tega članka smo poročali¹ o vplivu aluminija in titana na velikost avstenitnega zrna in ugotovili smo, da obstaja linearna odvisnost velikosti zrna od vsebnosti topnega aluminija in titana. Taka kombinacija omogoča, da lahko dosežemo drobno zrno tudi tam, kjer odpove afinacijski učinek premajhnih ali prevelikih vsebnosti aluminija.

Ker pa je znano, da je omejena uporaba titana za doseganje drobnega zrna zaradi tvorbe grobih titanovih oksidov in nitridov, smo poskušali nastale nekovinske vključke reducirati in razdrobiti z dodatkom močnih dezoksidacijskih, oziroma redukcijskih elementov, kot sta elementa kalcij in barij v zlitini kalcij-barij-silicij in elementi redkih zemelj v zlitini cer — »mish« metala.

Poskusi ugotavljanja omenjenih učinkov so bili del raziskovalne naloge², v kateri smo določali vplivne parametre na velikost zrna pri izdelavi cementacijskih jekel v električnih obločnih pečeh.

Da bi lahko ugotavljali vplive omenjenih parametrov, smo ustvarili konstantne pogoje v pogledu vsebnosti ostalih elementov v jeklu (vključno dušik in kisik) ter temperature jekla ter izdelali statistične analize vpliva spreminjanja vsebnosti aluminija, titana, kalcij-barij-silicija in redkih zemelj. Poleg vpliva teh elementov na velikost avste-

nitnega zrna smo zasledovali tudi njihov vpliv na vsebnost in obliko nekovinskih vključkov. V nadaljevanju bomo opisali izdelavo poskusov in opravljene statistične ter metalografske analize.

2. Izdelava poskusov

Da bi eliminirali tehnološke vplive in vplive ostalih elementov v jeklu, smo vse kombinacije izdelali na eni talini jekla, kvalitete Č. 4320, ki smo jo izdelali v 10-tonski električni obločni peči. Po udarimo naj, da smo tako dosegli, da je bila v izhodnem jeklu vedno enaka količina kisika in dušika.

Po oksidaciji smo talino v peči ogreli na 1900 K in jeklo izlili iz peči v prekucno livarsko ponev, ne da bi jeklo dezoksidirali. Iz te ponve, v kateri je bilo ca. 1000 kg jekla, smo v male livarske ponve pretakali po 20 kg jekla, dodajali različne količine modifikatorjev in jeklo odličali v 20-kilogramске kokile kvadratnega preseka. Kokile so bile postavljene v dve vrsti po 25 kokil. V prvo vrsto smo dodajali različne količine aluminija, titana in kalcij-barij-silicija, v drugo vrsto pa različne količine aluminija, titana in redkih zemelj. Količine dodatkov so razvidne iz tabel 1 in 2.

Dodatke smo izbrali tako, da jih je možno aplicirati tudi v praksi:

— Al	do 0,050 %
— Ti	do 0,200 %
— CaBaSi	do 4 kg/t
— redke zemlje	do 2 kg/t

Kljub težavam zaradi hitrega ohlajanja jekla v malih ponvah, nam je uspelo odliti vseh 50 vzorcev. Narejena kemijska analiza jekla je pokazala pravilnost dodajanja elementov in homogenost taline.

Ingote po 20 kg smo prekovali na okrogli prečez Ø 30 mm in vzeli naslednje vzorce jekla:

1. v dolžini po 20 mm za kemično analizo
2. izrez prečnega obrusa za določanje velikosti avstenitnega zrna po Mc Quaid Ehnu in metalografsko analizo vzorcev
3. izrez vzorca za določevanje žilavosti DVM
4. vzorce za trgalni poskus
5. vzorce za določevanje prekaljivosti »Jominy« poskus

Tabela 1: Taline modificirane z dodatki aluminija, titana in CaBaSi

		11	22	33	44	55	dodatek FeTi (g)
		0	1	2	3	4	kg CaSi/t
Dodatki Al (g)	0	1 Al _k = 0,001 Ti = 0,030 zrno 1—5	2 Al _k = 0,007 Ti = 0,040 zrno 1—5	3 Al _k = 0,005 Ti = 0,100 zrno 1—5	4 Al _k = 0,002 Ti = 0,060 zrno 1—5	5 Al _k = 0,001 Ti = 0,070 zrno 4—6	
	3	6 Al _k = 0,004 Ti = 0,040 zrno 1—6	7 Al _k = 0,014 Ti = 0,070 zrno 1—6	8 Al _k = 0,012 Ti = 0,067 zrno 1—7	9 Al _k = 0,009 Ti = 0,130 zrno 6	10 Al _k = 0,016 Ti = 0,113 zrno 7	
	6	11 Al _k = 0,024 Ti = 0,050 zrno 1—7	12 Al _k = 0,017 Ti = 0,040 zrno 1—7	13 Al _k = 0,031 Ti = 0,120 zrno 1—7	14 Al _k = 0,026 Ti = 0,180 zrno 1—7	15 Al _k = 0,049 Ti = 0,200 zrno 7	
	9	16 Al _k = 0,033 Ti = 0,030 zrno 1—7	17 Al _k = 0,015 Ti = 0,050 zrno 2—7	18 Al _k = 0,036 Ti = 0,100 zrno 7	19 Al _k = 0,047 Ti = 0,230 zrno 7	20 Al _k = 0,049 Ti = 0,120 zrno 7—8	
	13	21 Al _k = 0,040 Ti = 0,030 zrno 7—8	22 Al _k = 0,068 Ti = 0,071 zrno 7—8	23 Al _k = 0,031 Ti = 0,110 zrno 4—8	24 Al _k = 0,041 Ti = 0,140 zrno 7—8	25 Al _k = 0,055 Ti = 0,240 zrno 7—8	

Tabela 2: Taline modificirane z dodatki aluminija, titana in redkih zemelj

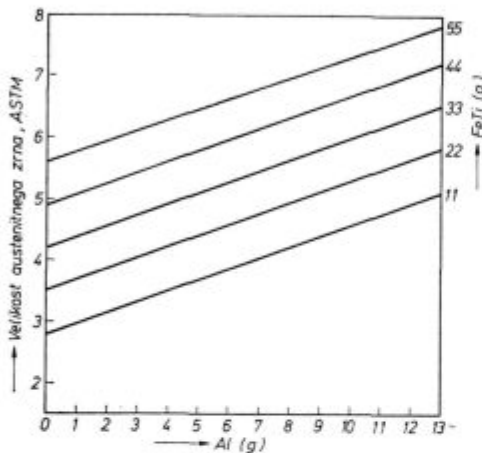
		11	22	33	44	55	dodatki FeTi (g)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	kg Cer-mish metala
Dodatki Al (g)	0	26 Al _k = 0,014 Ti = ∅ zrno 2	27 — — —	28 Al _k = 0,007 Ti = 0,050 zrno 2—5	29 Al _k = 0,010 Ti = 0,070 zrno 1—7	30 Al _k = 0,012 Ti = 0,110 zrno 8	
	3	31 Al _k = 0,002 Ti = ∅ zrno 1—2	32 Al _k = 0,020 Ti = 0,060 zrno 1—6	33 Al _k = 0,021 Ti = 0,082 zrno 7	34 Al _k = 0,013 Ti = 0,070 zrno 1—6	35 Al _k = 0,029 Ti = 0,160 zrno 8	
	6	36 Al _k = 0,014 Ti = ∅ zrno 1—6	37 Al _k = 0,038 Ti = 0,060 zrno 2—6	38 Al _k = 0,023 Ti = 0,060 zrno 2—7	39 Al _k = 0,032 Ti = 0,120 zrno 7	40 Al _k = 0,036 Ti = 0,140 zrno 8	
	9	41 Al _k = 0,022 Ti = 0,030 zrno 1—6	42 Al _k = 0,031 Ti = 0,040 zrno 1—6	43 Al _k = 0,030 Ti = 0,070 zrno 8	44 Al _k = 0,025 Ti = 0,064 zrno 7—8	45 Al _k = 0,026 Ti = 0,130 zrno 7—8	
	13	46 Al _k = 0,045 Ti = ∅ zrno 1—8	47 Al _k = ∅ Ti = 0,010 zrno 1—4	48 Al _k = 0,039 Ti = 0,063 zrno 1—7	49 Al _k = 0,044 Ti = 0,150 zrno 7—8	50 Al _k = 0,047 Ti = 0,130 zrno 8	

3. Velikost primarnega zrna

Analiza zrnatosti posameznih vzorcev je razvidna iz tabel 1 in 2. S statistično analizo dobljenih podatkov pa smo ugotovili linearno odvisnost velikosti avstenitnega zrna od vsebnosti aluminija in titana. Slika 1 to odvisnost prikazuje; zanimivo pa je, da smo s temi poskusi potrdili ugotovitve o linearni odvisnosti vpliva titana in aluminija pri analizi izdelave industrijskih talin, o čemer smo poročali v prvem delu članka.

$R = 0,710$
 $R^2 = 0,505$
 $S_y = 1,402$
 $P > 99,9\%$
 $N = 50$

izračunana enačba:
 zrno (ASTM) = $2,087 + 0,064 \cdot \text{FeTi (g)} + 0,176 \cdot \text{Al (g)}$



Slika 1

Vpliv kombinacije Al in Ti na velikost avstenitnega zrna po ASTM tabeli

Fig. 1

Influence of Al and Ti combination on the size of austenite grain according to ASTM Scale.

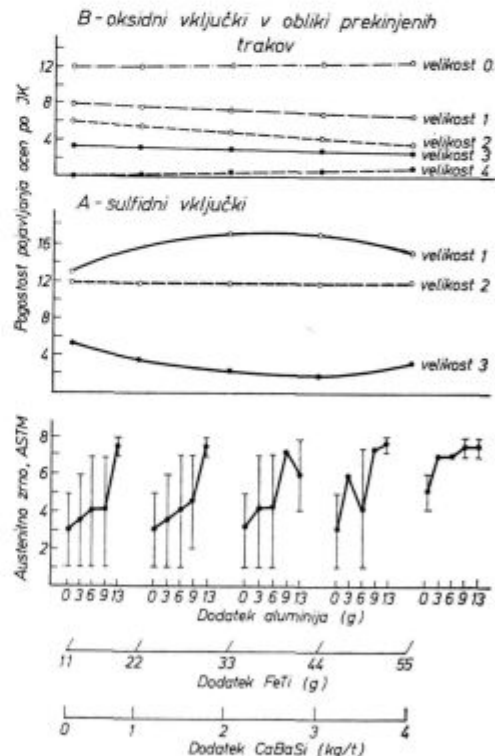
Povprečno velikost zrna 5 in več smo dosegli z vsebnostjo 0,010 % Al_k in 0,100 % Ti. Primerjava z rezultati analize industrijskih talin pa pokaže, da so te vrednosti precej višje kot pri že opisanih rezultatih¹. Vzroki so v večji neenakomernosti zrna, ki je razvidna iz slike 2 za dodatke Ti, Al in CaBaSi ter slike 3 za dodatke Ti, Al in redkih zemelj. Navpične črte na slikah predstavljajo razliko med minimalno in maksimalno oceno velikosti zrna pri različnih dodatkih modifikatorjev.

Ni dvoma, da aluminij odločilno vpliva na velikost zrna. Dodatek aluminija v količinah 0 do 13 g v 20-kg talino zmanjšuje velikost zrna pri vseh dodatkih titana. Pri tem je zrno drobnejše pri višjih dodatkih titana. Z naraščajočo količino teh dodatkov se zmanjšuje tudi enakomernost.

Najdrobnejše zrno dosežemo pri dodatku 55 g FeTi in vsaj nekaj Al. To ustreza vsebnosti 0,150 % Ti in vsaj 0,010 % Al_k.

Pri poskusih smo uporabili elemente z veliko afineteto do kisika in žvepla. Zato smo pričakovali delno redukcijo aluminijevih in titanovih spojin s kisikom in žveplom ob tvorbi spojin z veliko prosto entalpijo in s tem drobnih vključkov.

Uspeh smo dosegli pri razbijanju (drobljenju) sulfidnih vključkov (tip A po JK tabeli), in to z dodatki elementov cera in drugih redkih zemelj (tabela 3 in slika 3). Od 30 metalografsko pregledanih mest pri vsakem vzorcu so imeli vzorci brez dodatka redkih zemelj in najmanjšim dodatkom titana povprečno 6 mest z oceno sulfidnih vključkov 1 (povprečje zajema vzorce z dodatki 0, 3, 6, 9 in 13 g Al). Pri največjem dodatku Ti (55 g) in redkih zemelj (2,0 kg/t), je pogostost pojavljanja ocen 1 povprečno 22, pogostost pojavljanja ocen 4 pa se je zmanjšala od 4 na 2. Zal pa je situacija nasprotna pri razpotegnjenih oksidnih vključkih tipa B (aluminati, titanovi oksidi in titanovi karbonitridi) — število ocen 2 in 3 se je povečalo na račun zmanjšanja ocen 0 in 1. Nastanek večjega števila grobih vključkov tipa B pa je imel bolj škodljive učinke na mehanske lastnosti jekla, kot pa pozitivni vpliv razbijanja sulfidnih vključkov.

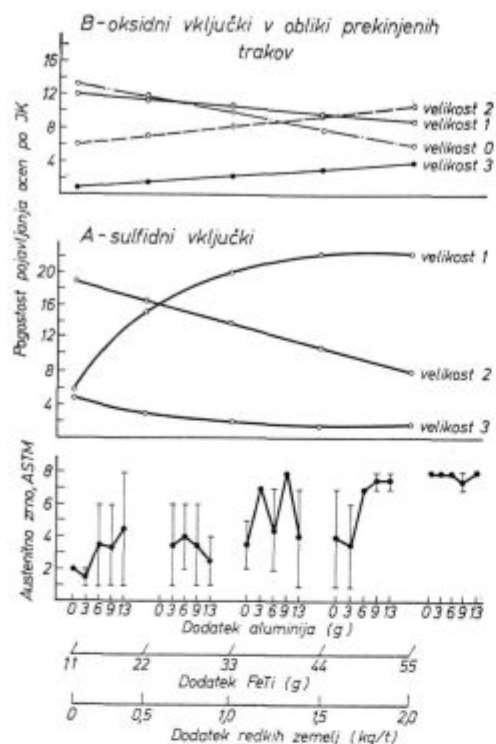


Slika 2

Vpliv dodatkov Al, Ti in CaBaSi na velikost avstenitnega zrna po ASTM tabeli, število sulfidnih vključkov (tip A po JK) in število oksidnih vključkov (tip B po JK)

Fig. 2

Influence of Al, Ti, and CaBaSi additions on the size of austenite grain according to ASTM Scale, number of sulphide inclusions (type A by JK), and number of oxide inclusions (type B by JK).



Slika 3

Vpliv dodatkov Al, Ti in redkih zemelj na velikost avstenitnega zrna po ASTM tabeli, število sulfidnih vključkov (tip A po JK) in število oksidnih vključkov (tip B po JK)

Fig. 3

Influence of Al, Ti, and rare earth additions on the size of austenite grain by ASTM Scale, number of sulphide inclusions (type A by JK), and number of oxide inclusions (type B by JK).

Manj uspešna pri drobitvi sulfidnih vključkov pa je bila uporaba CaBaSi (slika 2). Po drugi strani pa nismo zasledili povečanja števila oksidnih vključkov.

Večja količina drobnih sulfidnih vključkov ne vpliva na velikost avstenitnih zrn. Z naraščajočo količino titana pada velikost zrna približno enako pri dodatku CaBaSi kot pri dodatku redkih zemelj, ne glede na to, da se v prvem primeru nastali vključki niso spremenili, v drugem primeru pa so nastali tipi Ce- in La-sulfidov, ki so se količinsko in po obliki precej spremenili.

4. Nekovinski vključki

Vzorci z dodatkom CaBaSi, Al in Ti

Nekovinske vključke v vzorcih z oznakami od 1 do 25 smo ocenjevali po JK primerjalni tabeli: metodi povprečja ter ocenitev najslabšega mesta posameznega tipa vključkov. Vključke smo ocenjevali po obliki in ne po sestavi. Zato ne moremo govoriti n.pr. o aluminatnih vključkih tipa B, ker se v obliki prekinjenih trakov pojavljajo tudi vključki oksidov Ti, Zr, Ca in Ba. Okside teh elementov pa najdemo tudi v globularni obliki tipa D po JK tabeli. V obliki B in D smo opazili

Tabela 3: Rezultati metalografskih raziskav

Št. vzorca	Poprečje po JK skali				A+B+C+D	Max. ocena				Velikost ASTM
	A	B	C	D		A	B	C	D	
1	1,86	0,63	0	2,20	4,69	3	3	0	3	1-5
2	1,70	0,53	0	1,53	3,80	3	2	0	3	1-5
3	1,27	2,0	0	1,67	4,94	3	5	0	3	1-5
4	1,86	0,63	0,1	2,06	4,65	3	2	1	3	1-5
5	1,83	0,67	0	1,43	3,93	3	3	0	3	4-6
6	1,70	1,17	0	2,03	4,90	3	2	0	3	1-6
7	1,80	1,10	0	1,73	4,63	3	3	0	3	1-6
8	1,67	1,20	0	1,87	4,74	3	3	0	3	1-7
9	1,27	0,57	0	1,50	3,34	2	3	0	3	6
10	1,83	1,40	0	1,30	4,53	3	4	0	3	7
11	1,87	0,97	0	1,67	4,51	4	3	0	3	1-7
12	1,53	1,20	0	1,77	4,50	3	4	0	3	1-7
13	1,73	1,30	0	1,77	4,80	3	4	0	3	1-7
14	1,57	1,07	0	1,87	4,51	3	4	0	3	1-7
15	1,30	1,40	0	1,70	4,40	2	4	0	3	7
16	1,67	1,23	0	2,00	4,90	3	3	0	3	1-7
17	1,83	0,73	0	1,70	4,26	3	2	0	3	2-7
18	1,17	0,80	0	1,80	3,77	2	4	0	3	7
19	1,30	1,17	0	1,67	4,14	2	4	0	3	7
20	1,57	0,80	0	1,67	4,04	3	2	0	3	7-8
21	1,57	1,43	0	1,70	4,70	3	3	0	3	7-8
22	1,57	1,37	0	2,17	5,11	3	4	0	3	7-8
23	1,53	0,93	0	1,57	4,03	3	3	0	2	4-5
24	1,53	1,30	0	1,90	4,73	3	4	0	3	7-8
25	1,40	1,03	0	1,77	4,20	2	3	0	3	7-8
26	1,73	0,60	0	1,50	3,83	3	3	0	2	2
28	1,23	0,97	0	1,57	3,77	2	3	0	3	2-5
29	1,30	0,90	0	1,63	3,83	2	4	0	3	1-7
30	1,43	0,87	0	1,53	3,83	2	3	0	3	8
31	2,00	0,93	0,10	1,60	4,63	3	2	1	3	1-2
32	2,33	0,77	0	2,07	5,17	3	2	0	3	1-6
33	1,87	0,99	0	2,00	4,86	3	2	0	3	7
34	1,63	1,63	0	2,10	5,36	2	4	0	3	1-6
35	1,47	2,43	0	2,20	6,10	2	5	0	3	8
36	2,13	0,93	0	1,63	4,69	4	2	0	2	1-6
37	1,47	1,43	0	2,13	5,03	2	4	0	3	2-6
38	1,20	2,27	0	2,27	5,74	2	5	0	3	2-7
39	1,17	1,70	0	2,33	5,20	2	4	0	3	7
40	1,87	0,93	0	2,03	4,83	3	2	0	3	8
41	2,17	0,53	0	1,83	4,53	4	2	0	2	1-6
42	1,60	1,37	0	2,00	4,97	3	3	0	3	1-6
43	1,40	1,47	0	2,07	4,94	4	3	0	3	8
44	1,27	1,90	0	2,20	5,37	2	4	0	3	7-8
45	1,00	1,50	0	2,30	4,80	1	3	0	3	7-8
46	1,87	1,20	0,03	1,43	4,53	3	3	1	2	1-8
47	1,83	0,43	0,03	1,67	3,96	3	2	1	2	1-4
48	1,33	1,33	0	2,23	4,89	2	3	0	3	1-7
49	1,00	1,83	0,03	2,30	5,16	1	4	1	3	7-8
50	0,93	1,43	0	2,20	4,56	1	5	0	3	8

Tabela 5: Analiza porazdelitve nekovinskih vključkov v vzorcih modificiranih z dodatki redkih zemelj, Al in Ti

		A	B	D	Σ
število podatkov	N	25	25	25	25
srednja vrednost	X	1,493	1,299	2,008	4,810
standardni odklon	S	0,3983	0,542	0,2715	0,6175
koeficient variacije	V	26,67	41,73	13,53	12,84
območje 95 % verjetnosti	$x - 1,96 \cdot S$				
	$x + 1,96 \cdot S$				

Ti kot karbonitrid, ki ima pod mikroskopom svojo značilno barvo.

Z mikroanalizatorjem smo ugotovili, da nastopajo kot vključki tipa A predvsem Ca in Ti sulfidi, mnogo manj pa je v sulfide vezanega Mn.

Povprečno število vseh vključkov se je z dodatki CaBaSi zmanjšalo. Dodatek CaBaSi je bil tem večji, čim več smo dodali Ti. Jasno je, da nam Ti ne zmanjšuje števila vključkov. To je zasluga redukcijske sposobnosti elementov Ca in Ba, ki sta vplivala predvsem na zmanjšanje števila globularnih vključkov (od 1,90 na 1,60), delno pa tudi na zmanjšanje sulfidnih vključkov.

Analizo porazdelitve nekovinskih vključkov v vzorcih, modificiranih s CaBaSi, Al in Ti, prikazuje tabela 4.

Vzorci z dodatkom redkih zemelj, Al in Ti

Z dodajanjem redkih zemelj, Ti in Al je naraščala povprečna vsota števila vključkov, čeprav so n. pr. nastali sulfidni vključki izredno drobnji.

Pri analizi vključkov na mikroanalizatorju smo opazili sulfidne vključke redkih zemelj, ločene od titanovih sulfidov, kar priča o zelo hitri vezavi teh elementov, in ni moglo priti do redukcije titanovih sulfidov.

Tudi vzorce z oznakami 26 do 50 smo metalografsko pregledali in določili čistost jekla po JK tabeli. Titanovi in aluminijevi oksidni vključki so se pojavljali v oblikah B in D skupno z oksidi redkih zemelj. Titan se je pojavljal še kot titanov karbonitrid.

Tabela 4: Analiza porazdelitve nekovinskih vključkov v vzorcih modificiranih z dodatki CaBaSi, Al in Ti

		A	B	D	Σ
število podatkov	N	25	25	25	25
srednja vrednost	X	1,597	1,067	1,742	4,430
standardni odklon	S	0,2135	0,3432	0,2484	0,4326
koeficient variacije	V	13,37	32,18	14,26	9,77
območje 95 % verjetnosti	$x - 1,96 \cdot S$				
	$x + 1,96 \cdot S$				

Razvidno je, da je število vključkov skupine B močno naraščalo v odvisnosti od količine dodatkov Al, Ti in redkih zemelj. Z dodatkom do 0,050 % Al_k je narasla povprečna ocena od 0,80 na 1,70. Poudarimo pa naj, da nismo imeli možnosti kvantitativno ocenjevati vključkov. JK tabela ne zajema namreč niti dolžin posameznih vključkov, niti širine prekinjenih trakov, kar pa je izredno pomembno pri proučevanju jeklarskih variant, posebno pri izdelavi ene in iste vrste jekla.

V vzorcih 26 do 50 je mnogo več globularnih vključkov tipa D, kot smo jih zasledili v vzorcih 1—25. Dodatek Al do 0,050 % je povečal njihovo količino od 1,60 na 2,30.

Večje število oksidnih vključkov pri dodatku redkih zemelj si razlagamo zaradi večje specifične teže oksidov teh elementov. Zaradi zelo hitrega ohlajanja v kokili taki vključki niso utegnili izplavati. Analizo porazdelitve vključkov prikazuje tabela 5.

5. ZAKLJUČKI

Namen opisanih raziskav je bil ugotavljanje afinacijskega vpliva kombinacije aluminija in titana ter dezoksidantov kalcij-barij-silicija in redkih zemelj.

Dokazali, oziroma ponovno potrdili smo linearno odvisnost velikosti avstenitnega zrna od vsebnosti aluminija in titana — povprečno velikost zrna 5 po ASTM smo dosegli z vsebnostjo 0,010 % Al_k in 0,100 % Ti, najbolj drobno zrno v

velikosti 7—8 po ASTM tabeli pa smo dosegli z najmanj 0,010 % Al_k in 0,150 % Ti.

Z dodatki elementov redkih zemelj smo uspešno razbili sulfidne vključke, žal pa so nastali tudi grobi oksidni vključki v obliki trakov in v globularni obliki, ki se zaradi visoke specifične teže in slabih pogojev izločanja niso mogli izločiti iz taline. Posledice močno onesnaženega jekla so bile slabše mehanske lastnosti, kar se je najbolj odrazilo na kontrakciji.

Dodajanje CaBaSi do 4 kg/t ni bistveno vplivalo na spremembo povprečnega števila posameznih vrst vključkov. Skupno število povprečnih vsebnosti vseh vključkov po JK tabeli pa je bilo približno enako rezultatom analiz cementacijskih jekel redne proizvodnje brez dodatka titana. To pa pomeni, da sta Ca in Ba uspešno reducirala aluminatne in titanove vključke (okside in sulfide), ki so nastali pri dodajanju do 0,200 % Al. Take koli-

čine Ti in Al pa so zagotavljale drobno avstenitno zrno. Ker imamo v redni proizvodnji možnost prepihovanja talin z inertnimi plini, pričakujemo še boljše rezultate pri izločanju vključkov.

Na osnovi dobljenih rezultatov vzorcev, modificiranih z Al, Ti in CaBaSi lahko sklepamo, da bomo dosegli drobno avstenitno zrno z:

- dodatkom 4 kg/t kalcij-barij-silicija
- vsebnostjo nad 0,010 % Al_k
- vsebnostjo 0,100 do 0,150 % Ti

Literatura:

1. Prešern V., V. Macur: »Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna, 1. del: Vpliv aluminija in titana«, Železarski zbornik 4 (1977).
2. Macur V., V. Prešern, A. Rodič, V. Strahovnik, F. Kandare: »Vpliv parametrov pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna«, Poročilo metalurškega inštituta v Ljubljani št. 481, Ljubljana, april 1977.

ZUSAMMENFASSUNG

Um den Einfluss der kombinierten Anwendung von Aluminium, Titan, Kalzium-Barium-Silizium und der seltenen Erden auf die Austenitkorngröße und Reinheitsgrad des Stahles festzustellen, haben wir Proben mit fünfzig verschiedenen Kombinationen dieser Elemente hergestellt.

Durch die Bewertung der Ergebnisse könnte die Feststellung aus dem ersten Teil dieses Artikels über die lineare Abhängigkeit der Korngröße vom Aluminium- und Titangehalt (Bild 1) bestätigt werden.

Durch die Zugabe von CaBaSi und seltenen Erden wollten wir eine teilweise Reduktion der Aluminium und Titanverbindungen mit Sauerstoff und Schwefel erzielen. Aus den Bildern 2 und 3 ist die Wirkung dieser Zugabe ersichtlich.

Die Zusätze der Elemente der seltenen Erden haben die Zersetzung der sulfidischen Einschlüsse zur Folge. Auf der anderen Seite verursachte die Anwendung dieser Elemente die Entstehung grober oxydischer Einschlüsse in Form von Fasern und globularer Form, welche wegen des hohen spezifischen Gewichtes und der schlechten Ausscheidungsbedingungen aus der Schmelze nicht ausgeschle-

den werden könnten. Die Folgen der starken Verschmutzung mit diesen Einschlüssen waren schlechtere mechanische Eigenschaften was sich am stärksten an der Einschnürung geäußert hat.

Der Zusatz von Kalzium-Barium-Silizium hat die Zahl der einzelnen Einschlussorten, im Vergleich zu den Industriefertigten Einsatzstähle ohne Titangehalt, nicht wesentlich beeinflusst. Das bedeutet, dass Kalzium und Barium die Aluminate und titanhaltige Einschlüsse, entstanden durch Zusatz von 0,200 % Titan und über 0,010 % Aluminium, erfolgreich reduziert haben. Diese Mengen an Titan und Aluminium sind aber die Garantie für genügend kleine Austenitkorngröße.

Auf Grund der erhaltenen Ergebnisse sind wir der Meinung, dass die vorgeschriebene Austenitkorngröße, mehr als 5 nach ASTM Richtreihe, erreicht werden kann durch:

- Zusatz von 4 kg/t CaBaSi - Legierung
- einen Gehalt von über 0,010 % gelöstem Aluminium
- einem Titangehalt von 0,100 bis 0,150 %.

SUMMARY

Samples with 50 various combinations of aluminium titanium, calcium-barium-silicon, and rare earths were prepared in order to determine the influence of the combination of these elements on the size of austenite grain and the purity of steel.

At first, the analysis of results confirmed the findings presented in the first part of the paper on linear relationship between the grain size and the aluminium and titanium content (Fig. 1).

CaBaSi and rare earths additions should achieve partial reduction of aluminium and titanium compounds with oxygen and sulphur. Figs. 2 and 3 present the effect.

Additions of rare earths successfully disintegrated sulphide inclusions but they caused coarse oxide inclusions in form of bands or nodules. These inclusions could not precipitate from the melt due to their high density and unsuitable conditions for precipitation. Thus highly

impure steel had worse mechanical properties which was especially expressed in worsened contraction.

Addition of CaBaSi did not essentially influence the number of single type of inclusions compared with the industrial production of steel for case hardening without titanium. This means that calcium and barium successfully reduced aluminate and titania inclusions which were formed after 0,200 % titanium and over 0,010 % aluminium was added. These amounts of titanium and aluminium, on the other hand, guaranteed enough fine austenite grains.

According to the obtained results, the prescribed ASTM grain size (more than 5) can be obtained by:

- addition of 4 kg/t calcium-barium-silicon
- with over 0,010 % soluble aluminium
- and with 0,100 to 0,150 % titanium in steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для того, чтобы определить важные комбинации алюминия, титана, кальций-барий-кремния и редких земель на величину аустенитных зерен и на чистоту стали приготовлены в 50-х различных комбинациях этих элементов образцы для исследования. При анализе результатов оказалось, что данные о линейной зависимости величины зерен от содержания алюминия и титана в расплаве, рассмотренные в первой части этой работы правильны (рис. 1).

С добавлением CaBaSi и редких земель желали получить частичное восстановление алюминатов и соединений титана с кислородом и серой. Воздействие этого приведено на рис. 2 и 3.

С добавкой элементов редких земель успешно разбили главным образом сульфидные включения, но как следствие применения этих элементов получены крупнозернистые включения окислов в шаровидной форме и в форме полос. Эти включения, вследствие высокого удельного веса не могли выделиться из расплава. Последствие сильного загрязнения стали с такими

включениями отразилось в уменьшении механических свойств в особенности на конструкциях.

Добавка кальций-барий-кремний существенно не повлияла на количество отдельных видов включений цементуемой стали без титана при сравнении с промышленным производством. Из этого можно заключить, что кальций и барий повлияли положительно на восстановление включений титана и алюминатов, которые образовались при добавках до 0,200 % титана и свыше 0,010 % алюминия. Такие количества титана и алюминия гарантировали достаточную мелкозернистость аустенитных зерен.

На основании полученных результатов заключаем, что требуемую величину аустенитных зерен по таблицы ASTM (свыше 5-н) можно получить при условиях:

- с добавлением 4 кг/т кальций-барий-кремния;
- при содержании плавкого алюминия свыше 0,010 % и
- при содержании титана от 0,100 до 0,150 %.

Raziskave faznih premen v brzoreznih jeklih z visokotemperaturno rentgensko analizo

Ferdo Grešovnik

1. UVOD

Pri predpisovanju tehnologije toplotne obdelave jekla je treba upoštevati kinetiko strukturalnih sprememb, ki se dogajajo v materialu med držanjem pri določenih temperaturah ali med spreminjanjem temperature. Na ta način dosežemo tako strukturo, ki bo zagotavljala najugodnejše lastnosti jeklenih izdelkov. Strukturne spremembe v jeklu so najpogosteje vezane na transformacijo osnovne mase v materialu, to je na fazno premeno $\alpha \rightarrow \gamma$. Fazi α in γ imata različno kristalno mrežo, poleg tega pa se razlikujeta še v drugih lastnostih: magnetnih, električnih, imata različno gostoto itd. Vse to lahko izkoristimo pri proučevanju kinetike premene $\alpha \rightarrow \gamma$. Najpogosteje uporabljamo v ta namen dilatometrično metodo, pri kateri spremljamo spremembe v specifičnem volumnu vzorca v odvisnosti od temperature in časa. Največkrat so dilatometri prirejeni za raziskave pri temperaturah do 1100 °C. V nekaterih primerih je tudi težko razložiti, kateri strukturalni premeni ustreza določena sprememba specifičnega volumna vzorca.

Rentgenska strukturalna analiza pri visokih temperaturah je v tem pogledu ugodnejša. Fazne sestave vzorcev lahko raziskujemo vse do solidus temperature vzorca. Identifikacija prisotnih faz je dokaj zanesljiva, če je le vsebnost teh faz zadostna. V literaturi je mogoče najti mrežne parametre za posamezne faze in ti podatki služijo že kot standardi za identifikacijo kristaliziranih faz. Seveda pa tudi rentgenska metoda določanja kinetike faznih sprememb ni uspešna v vseh primerih. Nekaj takih problemov bo obravnavanih v nadaljevanju članka.

Za preiskavo smo izbrali dve različni kvaliteti brzoreznega jekla. Znano je, da so normalne temperature avstenitizacije za brzorezna jekla zelo visoke, zato je dilatometrična metoda za raziskavo kinetike premene faze γ v fazo α manj uporabna. Z mikroskopom je mogoče v glavnem ugotoviti le stanje po toplotni obdelavi, med njo pa ne. Med visokotemperaturno rentgensko analizo drži-

UDK: 548.736, 669.112.227.3, 669.14.018.252.3
ASM/SLA: M 22 g, M 23 r, N 8, TS-r

mo vzorce v vakuumu. Tak postopek zaščite pred oksidacijo se vedno bolj uporablja tudi pri kaljenju brzoreznih jekel v obratih.

Rentgenska strukturalna analiza pri visokih temperaturah se v principu ne razlikuje od rentgenske analize pri sobni temperaturi. Upoštevati pa je treba, da se pri spreminjanju temperature vzorca spreminja sipalna sposobnost posameznih faz zaradi nihanja kristalne mreže. Poleg tega se spreminjajo dimenzije osnovnih celic kristalnih zrn. Posledica tega je, da se rentgenskim uklonskim črtam spreminjata intenzivnost in lega na rentgenogramu.

2. RENTGENSKA STRUKTURALNA ANALIZA PRI VISOKIH TEMPERATURAH

Energijski tok P''_{α} rentgenske svetlobe, ki pripada določeni uklonski črti na fazi α , je v primeru polkristalnega večfaznega vzorca enak:

$$P''_{\alpha} = \frac{K_2 R_{\alpha} C_{\alpha}}{2 \mu_{\alpha}}, \quad (1)$$

kjer je C_{α} volumski delež faze α v vzorcu, μ_{α} je linearni absorpcijski koeficient za uporabljeno rentgensko svetlobo v vzorcu, K_2 je konstanta, ki je odvisna predvsem od eksperimentalnih pogojev:

$$K_2 = \frac{j_0 (2a)^2 \lambda^3 S}{32 \pi R}, \quad (2)$$

kjer je j_0 gostota energijskega toka primarnega curka rentgenske svetlobe s presekom S , λ je valovna dolžina monokromatske rentgenske svetlobe, R je razdalja od vzorca do detektorja, a pa klasični polmer elektrona. R_{α} je faktor, ki je odvisen od kristalnih značilnosti faze α :

$$R_{\alpha} = \frac{1}{V_{\alpha}^2} \left[(S \cdot F_{\alpha})^2 p_{\alpha} \frac{1 + \cos^2 2\vartheta_{\alpha}}{\sin^2 \vartheta_{\alpha} \cos \vartheta_{\alpha}} \right] e^{-2W_{\alpha}}, \quad (3)$$

V_{α} je volumen osnovne celice faze α , $S \cdot F_{\alpha}$ je strukturalni faktor faze α , p_{α} je število tipov mrežnih ravnin z različnimi Millerjevimi indeksi, a enako medsebojno razdaljo, 2ϑ je kot med smerjo primarnega curka rentgenske svetlobe in

Dr. Ferdo Grešovnik, dipl. inž. fizike je znanstveni sodelavec v metalografskih laboratorijih službe metalurških raziskav v Železarni Ravne.

smerjo detektiranega sipanega curka rentgenske svetlobe na fazi α . e^{-2W_α} je temperaturni ali Debye-Wallerjev faktor, ki upošteva nihanje kristalne mreže, kar je v neposredni zvezi s temperaturo vzorca². S poenostavljenim modelom nihanj kristalne mreže dobimo za W_α izraz:

$$W_\alpha = \frac{3}{2} \frac{h^2 k^2 s^2 T}{M_\alpha k_B T_{D\alpha}} \quad (4)$$

h je z 2π deljena Planckova konstanta, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

je valovni vektor rentgenske svetlobe, s je razlika med enotskima vektorjema na sipanem in primarnem curku rentgenske svetlobe, T je temperatura vzorca, M_α masa osnovne celice kristala faze α , k_B Boltzmannova konstanta in $T_{D\alpha}$ Debyeova temperatura, ki meri energijo fononov z najkrajšo valovno dolžino. Enačba (4) velja le v primeru, ko temperatura vzorca presega Debyeovo temperaturo. V tem območju energijski tok uklonjene rentgenske svetlobe eksponentno pada z rastočo temperaturo, če se fazna sestava vzorca ne spreminja.

Poglejmo še, kako vpliva temperaturno raztezanje dimenzij osnovnih celic v kristalih določene vrste! Če se spremeni velikost osnovnih celic, se spremenijo tudi razdalje d_α med zaporednimi mrežnimi ravninami določene vrste in s tem se premaknejo rentgenske uklonske črte. Spremembe so sorazmerno majhne in jih matematično lahko obravnavamo z diferenciali. Po diferenciranju Braggove enačbe za interferenčne črte prvega reda

$$2d_\alpha \sin \vartheta_\alpha = \lambda \quad (5)$$

sledi

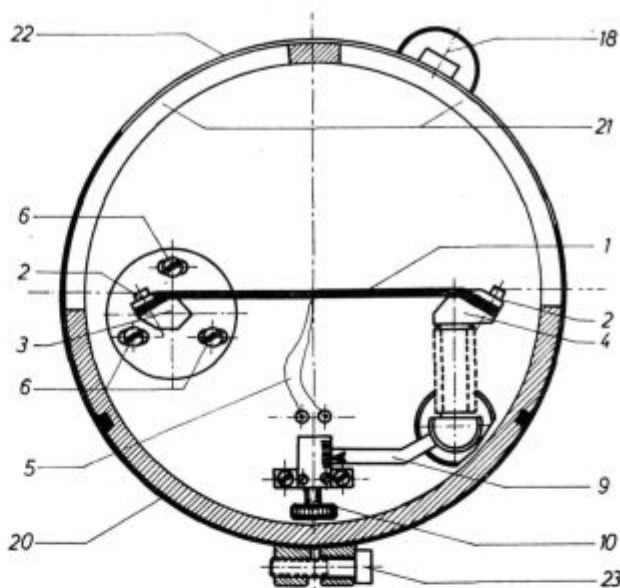
$$\frac{\Delta d_\alpha}{d_\alpha} = -\operatorname{ctg} \vartheta_\alpha \Delta \vartheta_\alpha$$

Temperaturni koeficient raztezka razdalj med mrežnimi ravninami α' v kristalih faze α je

$$\begin{aligned} \alpha'_\alpha &= \frac{1}{d_\alpha} \cdot \frac{\Delta d_\alpha}{\Delta T} = -\operatorname{ctg} \vartheta_\alpha \frac{\Delta \vartheta_\alpha}{\Delta T} = \\ &= -\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \vartheta_\alpha \frac{\Delta (2\vartheta_\alpha)}{\Delta T} \end{aligned} \quad (6)$$

Kovine imajo pozitiven koeficient α' in se refleksi s povišanjem temperature premikajo k manjšim Braggovim kotom 2ϑ .

Vzorci smo analizirali tako, da smo jih vlagali v visokotemperaturno kamero po Lihlu. Ta je izdelana tako, da jo je mogoče pritrčiti na goniometer rentgenskega difraktometra namesto običajnega držala za preizkušance. Kamera (sl. 1) omogoča rentgenske strukturne raziskave pri temperaturah do 1500°C . Sestavljena je iz nosilne cevi, s katero je pritrjena na goniometer, iz osnovne plošče, na katero so pritrjeni vpenjalna glava za grelni element, hladilne glave, naprave za justiranje višine, vtičnice za termoelement in priključka za napajanje grelnega elementa z električnim



Slika 1
Prerez visokotemperaturne kamere.

Fig. 1
Cross section of the high-temperature camera

tokom ter iz ohišja, s katerim tesno zapremo celo kamero, v kateri imamo lahko normalno atmosfero, vakuum ali zaščitni plin.

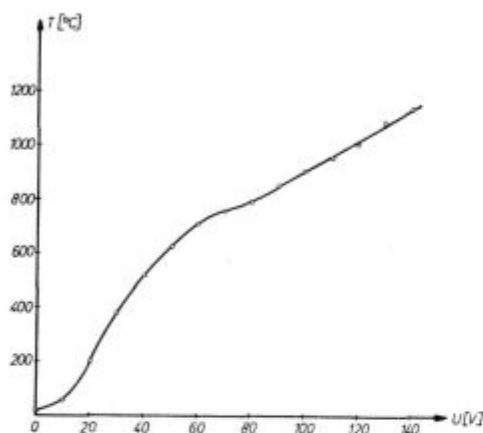
Nosilna cev ima na enem koncu ploščo, na katero je pritrjena osnovna plošča kamere, tako da je še možno justiranje višine kamere za ± 3 mm. Na ta način lahko spravimo gornjo površino preizkušance, ki hkrati služi za grelni element, natančno v os goniometra. Grelni element (1) je na eni strani z vijakom (2) vpet v togi (3), na drugi pa v gibljivi (4) vpenjalni kljun. Z vijakom (10) nastavimo preko ročice (9) določeno prednapetost grelnega elementa. S tem dosežemo, da ostane grelni element raven kljub raztezanju med segrevanjem. Togo vpenjalo je z vijaki (6) tako pritrjeno na osnovno ploščo, da je od nje električno izolirano. Ohišje kamere je tudi hlajeno z vodo. Na plašču ima izreza (21) za prehod primarnega in sipanega curka rentgenske svetlobe. Izrez je pokrit z mylar folio (22), ki je z gumijasto vrvico in obročem (20) s pomočjo vijaka (23) tesno pritisnjena ob ogrodje ohišja. Celotno ohišje lahko snamemo z osnovne plošče s pomočjo vijaka (18).

Za evakuiranje kamere smo uporabljali kombinacijo difuzijske in rotacijske črpalke ter dosežali vakuum 10^{-8} bar. S tem smo tudi precej zmanjšali absorpcijo rentgenske svetlobe na poti skozi kamero.

Vzorec, ki hkrati služi za grelni element, ima dimenzije $140 \text{ mm} \times 9 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$. Na vsaki strani mora imeti prepogib, da ga lahko dobro vpenemo. Temperatura je na srednjem delu površine, ki jo obsevamo z rentgensko svetlobo, enakomerna vsaj na $\pm 3^\circ\text{C}$, proti obema koncema pa pada. Termoelement (5) smo privarili na spodnji strani grelnega elementa pod obsevano površino. Ugoto-

vili smo, da je razlika med temperaturo na obsevani strani in tam, kjer smo jo merili, zanemarljivo majhna.

Grelni element je priključen na sekundarno navitje transformatorja, pri katerem spreminjamo napetost na primarni strani s pomočjo avto-transformatorja. Odvisnost dosegljive temperature sredine grelnega elementa od napetosti na primarni strani transformatorja za grelni element iz brzoreznega jekla Č 7680 (BRM 2) je prikazana na sliki 2. Iz oblike krivulje je mogoče sklepati, da se pri temperaturi okrog 800 °C spremenijo električne lastnosti tega jekla.



Slika 2

Karakteristika grelnega elementa iz jekla Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 2

Characteristic of the Č. 7680 (BRM 2) steel heating element.

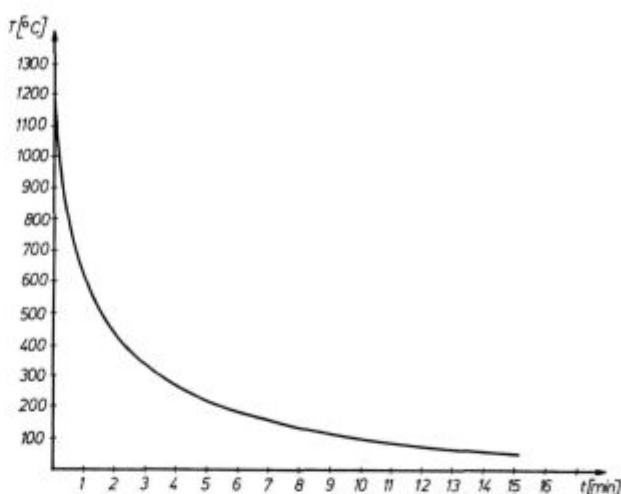
Temperaturo na sredini vzorca smo kontinuirno registrirali s kompenzografom. Ugotovili smo, da je grelni element mogoče segreti do temperature 1200 °C v manj kot eni minuti. Za izdelavo diagramov TTT je še bolj pomembno, kako hitro lahko ohladimo preizkušance. Pri naši aparaturi je mogoče najhitreje ohlajati tako, da prekinemo električni tok skozi vzorec. Ohlajevalna krivulja za tak primer je prikazana na sliki 3, grelni element pa je bil v tem primeru iz jekla Č 9683 (BRU).

Rentgenogrami smo posneli z rentgensko cevjo z anodo iz Mo. Karakteristična črta K_{α} je zato imela valovno dolžino 0,710 Å. Hitrost papirja na kompenzografu za registracijo pogostosti sunkov iz detektorja rentgenske svetlobe smo uskladili s hitrostjo papirja na kompenzografu za registracijo temperature.

3. Potek poskusov

Za preizkuse smo uporabili brzorezni jekli Č 7680 (BRM 2) in Č 9683 (BRU) s takimi kemijskimi sestavami v ut. %:

	C	S	Si	Cr	Ni	V	W	Co	Mn	Cu	Mo	P
Č 7680	0,85	0,015	0,26	4,09	0,17	1,82	6,36	—	0,24	0,29	5,11	0,030
Č 9683	1,26	0,013	0,27	4,04	0,23	3,30	10,5	10,3	0,15	0,24	3,48	0,036



Slika 3

Ohlajevalna krivulja vzorca po izkloplitvi el. toka.

Fig. 3

Cooling curve of the sample after switching off the current.

Pred izdelavo preizkušancev sta bili jekli plastično predelani v vročem stanju in žarjeni.

Premeno $\alpha \rightarrow \gamma$ je najlažje spremljati pri izotermnih pogojih, saj v tem primeru ostanejo uklonske črte posameznih faz pri določenih Braggovih kotih. S spreminjanjem vsebnosti faz se spreminja le intenziteta uklonskih črt. Če pa se med meritvijo poteka premene temperatura vzorca spreminja, se uklonske črte premikajo skladno z enačbo (6). To pomeni, da bi bilo treba goniometer rentgenskega difraktometra med meritvijo premikati. Ročno premikanje je nevarno zaradi sevanja, pač pa je na goniometer pritrjen sistem stikal, s pomočjo katerega goniometer niha med dvema vnaprej določenima kotoma $2\vartheta_1$ in $2\vartheta_2$. Ta rešitev je ugodna le pri počasnih premenah.

Kadar je temperaturni interval premene sorazmerno ozek, npr. manj kot 200 °C, je premeno možno spremljati pri konstantni nastavitvi goniometra, saj je v tem primeru premik črt majhen glede na širino črt. Pri mnogih jeklih dobimo že s snemanjem premene pri izotermnih pogojih in pri snemanju poteka premene v ožjih temperaturnih intervalih dokaj jasno sliko o kinetiki premene. Med taka jekla spadata tudi tisti, ki smo si ju izbrali za naše poskuse.

Premeno $\alpha \rightarrow \gamma$ smo raziskali tako, da smo pri določenih temperaturah v kritičnem območju posneli del rentgenograma, na katerem je ena izmed uklonskih črt na fazi γ in ena izmed uklonskih črt na fazi α . V obeh brzoreznih jeklih je veliko karbidov, katerih uklonske črte sovpadajo z uklonskimi črtami faze α in γ . Iz rentgenograma karbidnega izolata jekla Č 7680 (BRM 2)⁴ se da ugo-

toviti, da se z uklonskimi črtami karbidov še najmanj prekrivata črti α (211) in γ (220). Nadaljnji poskusi so pokazali, da je za proučevanje preme $\alpha \rightarrow \gamma$ dovolj, če pri nekaj temperaturah v kritičnem območju posnamemo le črto α (211). Rezultati takih raziskav dajo sliko o premeni $\alpha \rightarrow \gamma$ pri zelo počasnem ogrevanju. Da bi ugotovili, kakšne so posledice hitrejšega ogrevanja, smo premeno raziskali še tako, da smo goniometer nastavili na sredino črte α (211), temperaturo pa dvigali in hkrati merili višino črte α (211).

Premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ smo natančneje proučevali v izotermnih pogojih, točko Ms smo določili med kontinuirnim ohlajanjem, poleg tega pa smo premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ proučevali med kontinuirnim ohlajanjem še pri nekaterih posebnih oblikah termičnih ciklov. Preden smo se lotili raziskav pretvorbe faze γ v fazo α , smo posneli rentgenograme jekel pri raznih temperaturah, še posebej pa nas je zanimala lega uklonske črte α (211). Na ta način smo dobili približno orientacijo, na kateri kot je treba nastaviti goniometer, da bomo lahko spremljali časovni potek nastajanja faze α . Med izotermnim držanjem smo torej merili odvisnost višine uklonske črte α (211) od časa. Pri takih meritvah smo imeli precej težav; kljub vsem ukrepom se je grelni element med ohlajanjem delno deformiral, s tem pa se spremeni Braggov kot 2θ , pri katerem ima določena uklonska črta svoj maksimum. Izmerjeno povečevanje intenzitete uklonske črte je bilo zato manjše, kot bi bilo v primeru, če bi se vzorec ne deformiral.

Po končanem izotermnem držanju smo preizkušance ohladili do sobne temperature. Med ohlajanjem smo merili intenziteto uklonske črte α (211) pri konstantnem Braggovem kotu. S tem smo lahko dokaj zanesljivo ugotovili, če se med ohlajanjem še povečuje vsebnost faze α ali ne.

Za vsak vzorec smo po ohladitvi posneli del rentgenograma, iz katerega je mogoče razbrati fazno sestavo vzorca po končani toplotni obdelavi. Pri določanju vsebnosti faze γ smo upoštevali, da je v jeklu Č 7680 (BRM 2) okrog 14 vol. % karbidov, v jeklu Č 9683 (BRU) pa okrog 20 vol. % karbidov. Energijski tok P''_{γ} (220) smo korigirali zaradi sovpadanja črt γ (220) s karbidnimi črtami tako, da smo odšteli prispevek karbidov; ta je razviden iz rentgenograma jekla v žarjenem stanju.

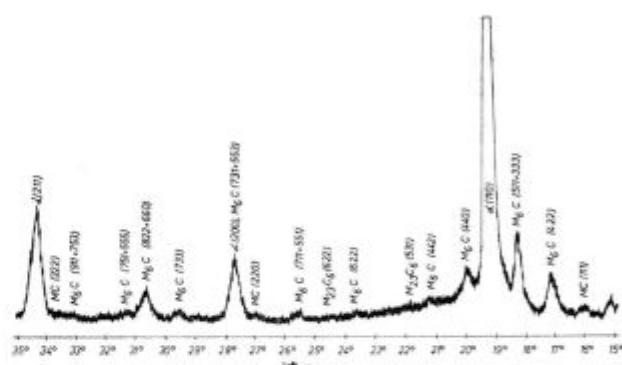
Vzorec, ki smo ga kontinuirno ohladili do sobne temperature, smo potem ponovno segreti do raznih temperatur in nato posneli rentgenogram v kotnem območju $15^{\circ} \leq 2\theta \leq 35^{\circ}$. S tem smo dobili še informacije o strukturnih spremembah med popuščanjem.

4. REZULTATI MERITEV

a) Jeklo Č 7680 (BRM-2)

Na sliki 4 je prikazan rentgenogram jekla BRM 2 pri sobni temperaturi v žarjenem stanju

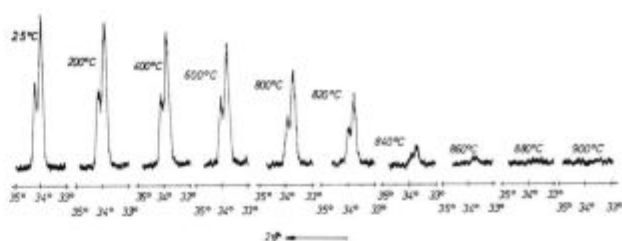
po brušenju. Osnovo strukture tega jekla predstavlja faza α , poleg tega so prisotni še trije tipi karbidov: M_6C , MC in $M_{23}C_6$.



Slika 4
Rentgenogram jekla BRM 2 v žarjenem stanju.

Fig. 4
X-ray picture of BRM 2 steel, as annealed.

Temperaturno odvisnost Debye-Wallerjevega faktorja za fazo α smo ugotovili tako, da smo pri nekaj temperaturah posneli črto α (211) (sl. 5). Pri raziskavi Debye-Wallerjevega faktorja moramo biti previdni. Uklonske črte se namreč lahko spreminjajo tudi zaradi sprememb v popačitvi kristalne mreže⁵. Na ta problem se bomo še povrnili pri obravnavi jekla BRU. Iz slike 5 je razvidno, da

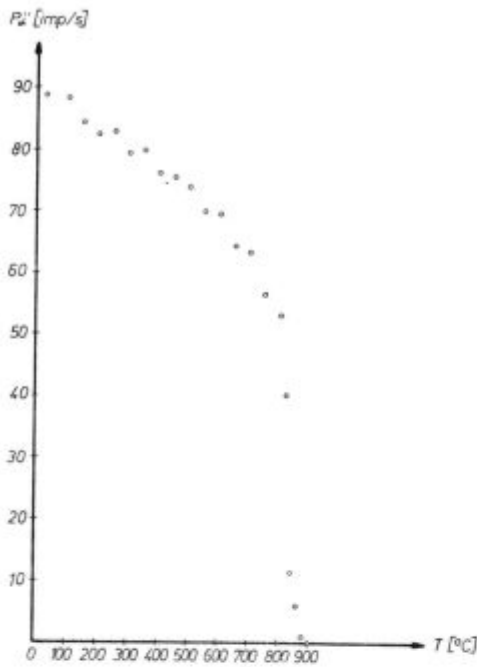


Slika 5
Črta α (211) pri raznih temperaturah; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 5
 α (211) line at various temperatures; Č. 7680 (BRM 2) steel.

se z naraščanjem temperature spreminja le višina uklonskih črt, medtem ko ostane širina nespremenjena. Ploščine uklonskih črt na rentgenogramih so zato sorazmerne višinam teh črt. Od tod pa tudi sledi, da je Debye-Wallerjev faktor sorazmeren višini uklonske črte pri ustrezni temperaturi. Ploščina uklonske črte je tudi sorazmerna toku P''_{α} sipane rentgenske svetlobe, ki se je uklonila na določenem tipu mrežnih ravnin¹. Odvisnost te količine od temperature je prikazana na sliki 6. Iz meritev, ki so prikazane na sliki 6, je mogoče približno določiti tudi Debyeovo temperaturo $T_{D\alpha}$ za fazo α . Z upoštevanjem enačb (1), (3) in (4) dobimo $T_{D\alpha} = 251$ K.

Iz slike 6 je tudi razvidno, da začne moč uklonjene rentgenske svetlobe P''_{α} pri temperaturi 810° C naglo padati. To ni posledica mrežnih nihanj, ampak pretvarjanja faze α v fazo γ . Pri temperaturi 885° C pade moč P''_{α} na 0. Iz teh podat-

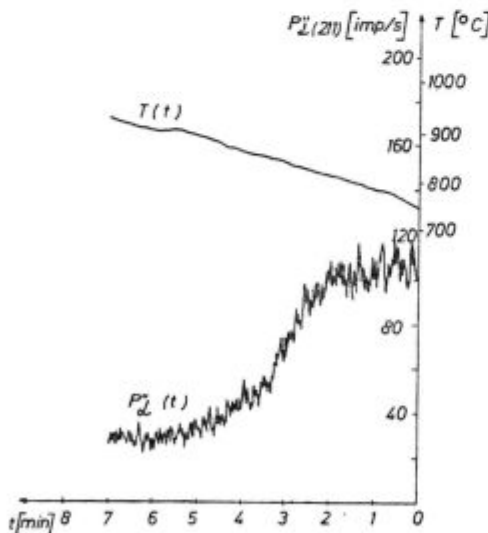


Slika 6
Energijski tok uklonjene rentgenske svetlobe P''_{α} za uklonsko črto α (211) v odvisnosti od temperature; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 6
Energy flow of diffracted X-rays, P''_{α} , for the α (211) diffraction line depending on the temperature; Č. 7680 (BRM 2) steel.

kov povzamemo: pri zelo počasnem ogrevanju so premenske točke $Ac_1 = 810^{\circ}C$, $Ac_3 = 885^{\circ}C$.

Pri hitrejšem ogrevanju smo premenske točke določili tako, da smo hkrati snemali odvisnost

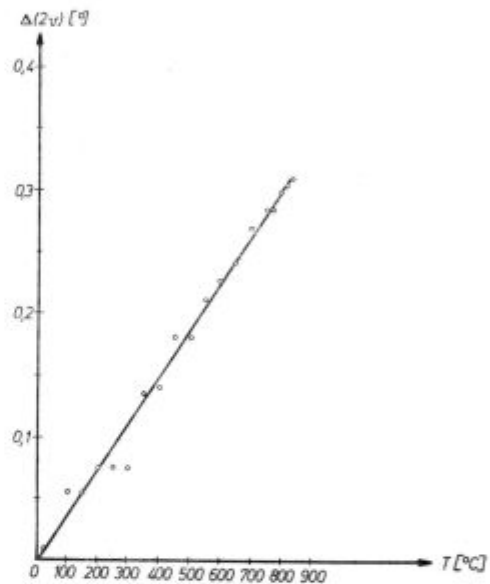


Slika 7
Sinhrono snemanje temperature vzorca iz jekla Č. 7680 (BRM 2) in intenzitete rentgenske uklonske črte α (211) v odvisnosti od časa.

Fig. 7
Synchronous recording of the Č. 7680 (BRM 2) steel sample temperature and the intensity of the (211) X-ray diffraction line as a function of temperature.

temperature vzorca od časa in odvisnost višine uklonske črte α (211) od časa (sl. 7). Ugotovili smo, da sta pri ogrevalni hitrosti $25^{\circ}C/min$ premenski točki $Ac_1 = 815^{\circ}C$, $Ac_3 = 900^{\circ}C$. Večja ogrevalna hitrost ima za posledico premik premenskih točk k višjim temperaturam.

Drugi pojav, ki ga lahko analiziramo s snemanjem uklonske črte α (211) pri raznih temperaturah, je odvisnost razdalje med zaporednimi mrežnimi ravninami od temperature. Absolutne vrednosti premikov $\Delta(2\theta)$ glede na lego uklonske črte pri sobni temperaturi so prikazane na sliki 8. Vrisana je še premica, katere potek smo računsko določili z metodo najmanjših kvadratov. Temperaturni koeficient raztezka razdalj med mrežnimi ravninami (211) faze α izračunamo po obrazcu (6) in znaša $\alpha'_{\alpha} = 10,7 \cdot 10^{-6} C^{-1}$.

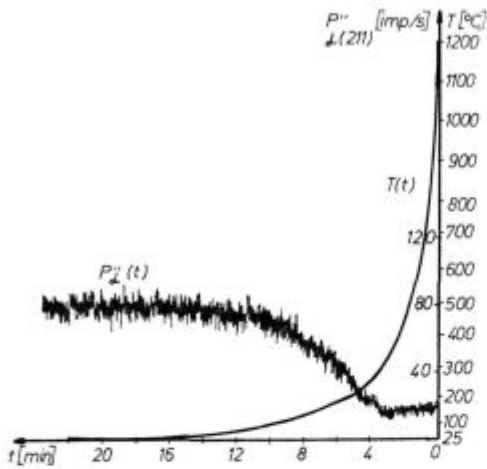


Slika 8
Sprememba Braggovega kota $\Delta(2\theta)$ za uklonsko črto α (211) v odvisnosti od temperature; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 8
Variation of Bragg angle $\Delta(2\theta)$ for the α (211) diffraction line depending on the temperature; Č. 7680 (BRM 2) steel.

Premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ smo spremljali po avstenitizaciji 2 sekundi pri temperaturi $1190^{\circ}C$ v izotermnih pogojih. Tako kratek čas avstenitizacije smo si izbrali zato, da bi spoznali vpliv časa avstenitizacije na kinetiko premene faze γ v fazo α . Za daljše čase avstenitizacije je mogoče najti podatke o poteku premene $\gamma \rightarrow \alpha$ v literaturi⁶.

Najprej smo s kontinuirnim ohlajanjem določili temperaturo M_s . Goniometer smo nastavili na Braggov kot 2θ , pri katerem smo pričakovali črto α (211) martenzita. Med ohlajanjem smo merili temperaturo vzorca in moč P''_{α} (sl. 9). Začetek premene $\gamma \rightarrow \alpha$ je pri $270^{\circ}C$, vendar sprva energijski tok P''_{α} počasi narašča. Pri temperaturi $210^{\circ}C$ se na ohlajevalni krivulji pojavi koleno, na krivulji $P''_{\alpha}(t)$ pa točka preloma. Iz tega sklepamo, da se najprej tvori faza α v bainitnem področju, medtem ko je $M_s = 210^{\circ}C$.



Slika 9

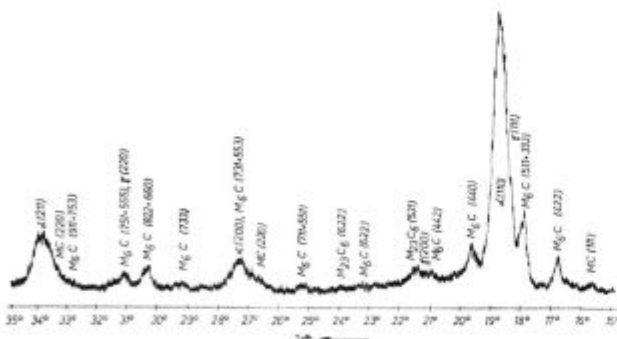
Sinhrono snemanje temperature vzorca iz jekla Č.7680 (BRM 2) in intenzitete rentgenske uklonske črte α (211) v odvisnosti od časa ohlajanja od temperature avstenitizacije do sobne temperature.

Fig. 9

Synchronous recording of the Č.7680 (BRM 2) steel sample temperature and the intensity of the α (211) X-ray diffraction line depending on the cooling time from the temperature of austenitisation to the room temperature.

Na sliki 10 vidimo rentgenogram jekla BRM 2 v kaljenem stanju. Uklonske črte faze α so široke, ker je ta faza zastopana z martenzitom. Poleg tega je v strukturi 9 % zaostalega avstenita, karbidov pa le malo manj kot v žarjenem stanju. Vzorec smo po kaljenju še segreti na razne temperature in posneli rentgenogram: sl. 11 (400°C), sl. 12 (600°C) in sl. 13 (1100°C). Iz teh slik je mogoče razbrati, da je zaostali avstenit gotovo še prisoten, če vzorec po kaljenju popuščamo pri temperaturi, ki je manjša kot 400°C, medtem ko po popuščanju pri 600°C zaostalega avstenita skoraj ni več. Pri temperaturi 1100°C je osnovna masa jekla BRM 2 zastopana z avstenitom, karbidi pa so še vedno prisotni.

Pri snemanju odvisnosti energijskega toka P''_{α} od časa izotermnega držanja pri 800°C po avstenitizaciji pri 1190°C (sl. 14a) smo opazili, da se je avstenit začel pretvarjati v fazo α šele po 170 mi-

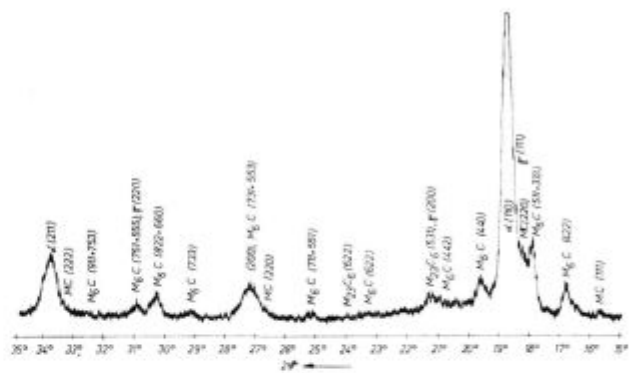


Slika 10

Rentgenogram jekla Č. 7680 (BRM 2) v kaljenem stanju.

Fig. 10

X-ray picture of Č. 7680 (BRM 2) steel, as hardened.

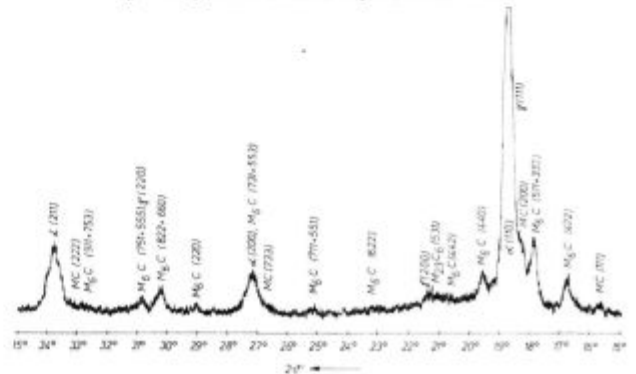


Slika 11

Rentgenogram jekla Č. 7680 (BRM 2) pri temperaturi 400 °C; snemano z rentgensko cevjo z anodo iz Mo.

Fig. 11

X-ray picture of Č. 7680 (BRM 2) steel at 400 °C; recorded by X-ray tube with molybdenum anode.

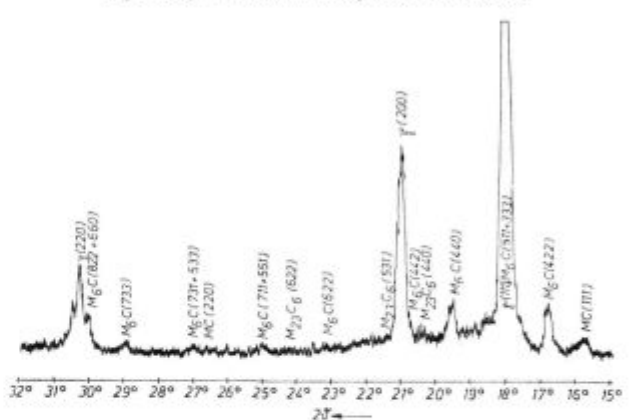


Slika 12

Rentgenogram jekla Č. 7680 (BRM 2) pri temperaturi 600 °C; snemano z rentgensko cevjo z anodo iz Mo.

Fig. 12

X-ray picture of Č. 7680 (BRM 2) steel at 600 °C; recorded by X-ray tube with molybdenum anode.



Slika 13

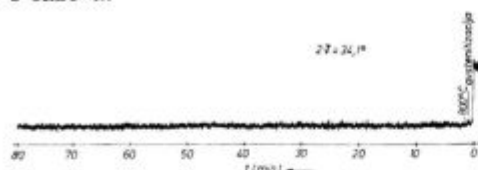
Rentgenogram jekla Č. 7680 (BRM 2) pri temperaturi 1100 °C; snemano z rentgensko cevjo z anodo iz Mo.

Fig. 13

X-ray picture of Č. 7680 (BRM 2) steel at 1100 °C; recorded by X-ray tube with molybdenum anode.

nutah in se je po 532 minutah držanja pretvorilo v fazo α komaj 10 % avstenita. Po preteku tega časa smo začeli vzorec ohlajati (sl. 14 b). Premena $\gamma \rightarrow \alpha$ se je takoj nadaljevala, najintenzivnejša pa

je bila pri 420° C. Pri tej temperaturi je na ohlajevalni krivulji izrazita zastojna točka, na krivulji $P''_{\alpha}(t)$ pa točka preloma. Po ohladitvi smo posneli kratek rentgenogram (sl. 14 b), iz katerega je razvidno, da je v vzorcu osnovna masa zastopana samo s fazo α .

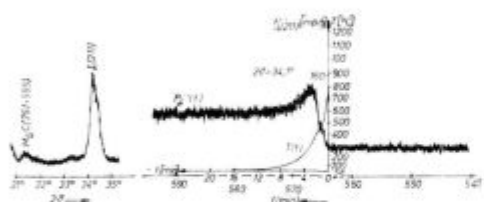


Slika 14a

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med izotermno premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ pri temperaturi 800 °C; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 14a

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during isothermal $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation at 800 °C; Č. 7680 (BRM 2) steel.



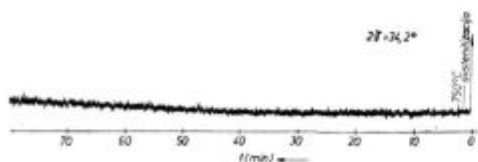
Slika 14b

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med ohlajanjem po končanem izotermnem držanju in del rentgenograma pri sobni temperaturi.

Fig. 14b

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during cooling after completed isothermal holding, and a part of the X-ray picture at room temperature.

Med izotermnim držanjem pri 750° C (sl. 15 a) se začne premena $\gamma \rightarrow \alpha$ po 28 minutah izotermnega držanja, premena poteče 50 % po 96 minutah in se konča po 251 minutah. Iz poteka krivulje $P''_{\alpha}(t)$ med naknadnim ohlajanjem (sl. 15 b) se da sklepati, da goniometer ni bil natančno nastavljen na pravi Braggov kot med izotermnim držanjem; kljub temu se je potek premene dal spremljati. Po ohladitvi je uklonska črta $\alpha(211)$ zelo ostra, kar pomeni, da je kristalna mreža faze α malo popačena in so zrna te faze sorazmerno velika. Zaostalega avstenita seveda ni.

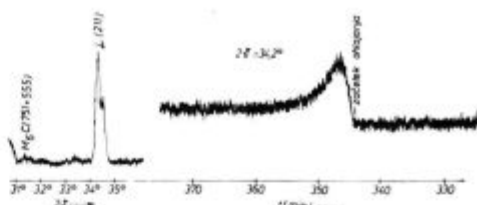


Slika 15a

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med izotermno premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ pri temperaturi 750 °C; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 15a

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during isothermal $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation at 750 °C; Č. 7680 (BRM 2) steel.



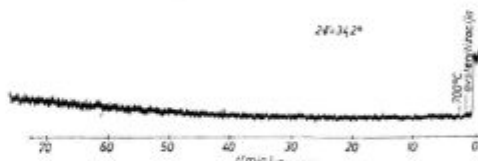
Slika 15b

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med ohlajanjem po končanem izotermnem držanju in del rentgenograma pri sobni temperaturi.

Fig. 15b

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during cooling after completed isothermal holding, and a part of the X-ray picture at room temperature.

Med izotermnim držanjem pri 700° C (sl. 16 a) se začne premena po 14 minutah izotermnega držanja. Premena poteče 50 % po 111 minutah, konča pa se po 234 minutah izotermnega držanja. Med končnim ohlajanjem (sl. 16 b) se je energijski tok takoj začel manjšati, ker se je uklonska črta premikala k večjemu kotu 2θ . Po ohladitvi tvori osnovo strukture spet faza α .

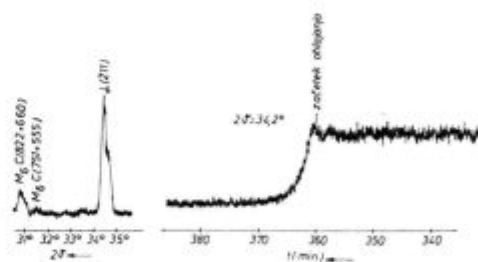


Slika 16a

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med izotermno premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ pri temperaturi 450 °C; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 16a

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during isothermal $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation at 700 °C; Č. 7680 (BRM 2) steel.



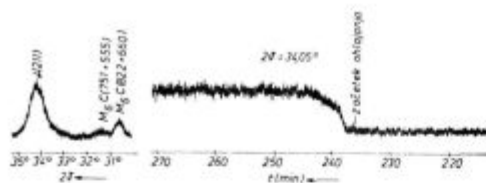
Slika 16b

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med ohlajanjem po končanem izotermnem držanju in del rentgenograma pri sobni temperaturi.

Fig. 16b

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during cooling after completed isothermal holding, and a part of the X-ray picture at room temperature.

Med izotermnim držanjem pri 650° C (sl. 17 a) se začne premena po 50 minutah izotermnega držanja, potem pa poteka zelo počasi. Po 234 minutah držanja poteče le 10 %. Med naknadnim ohlajanjem (sl. 17 b) se začne premena šele pri tempe-

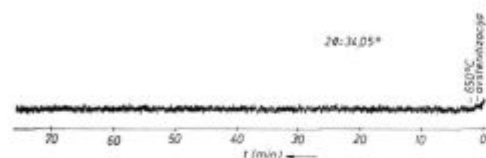


Slika 17a

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med izotermno premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ pri temperaturi 700 °C; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 17a

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during isothermal $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation at 650 °C; Č. 7680 (BRM 2) steel.



Slika 17b

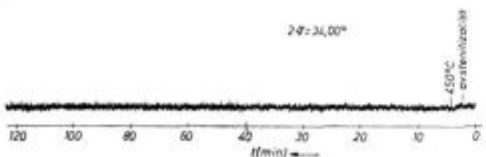
Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med ohlajanjem po končanem izotermnem držanju in del rentgenograma pri sobni temperaturi.

Fig. 17b

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during cooling after completed isothermal holding, and a part of the X-ray picture at room temperature.

raturi 395° C, zastojna točka na ohlajevalni krivulji in točka preloma na krivulji $P''_{\alpha}(t)$ sta pri temperaturi 310° C. Po ohladitvi faza γ ni prisotna, pač pa je uklonska črta (211) faze α precej široka, kar kaže, da ima ta faza drobna zrna in verjetno tudi popačeno kristalno mrežo. To je tipično za fazo α , ki se izloči v bainitnem področju.

Če vzorec iz jekla BRM 2 po avstenitizaciji držimo v temperaturnem območju med 400° C in 600° C, premene ni opaziti niti po 500 minutah držanja (sl. 18 a). Za ilustracijo podajamo izsledke raziskave premene $\gamma \rightarrow \alpha$ med naknadnim ohlajanjem vzorca po 656-minutnem izotermnem držanju pri 450° C (sl. 18 b). Začetek premene je pri 320° C, zastojna točka na ohlajevalni krivulji, oziroma točka preloma na krivulji $P''_{\alpha}(t)$ pa sta pri 240° C. Po ohladitvi je v vzorcu 6 % zaostalega avstenita, faza α pa je tetragonalno popačena, to-rej gre za martenzit.

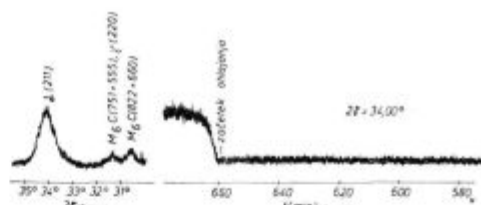


Slika 18a

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med izotermno premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ pri temperaturi 650 °C; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 18a

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during isothermal $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation at 450 °C; Č. 7680 (BRM 2) steel.



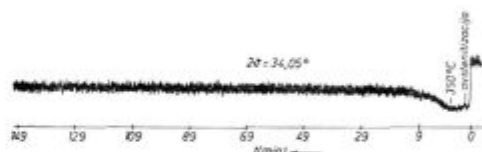
Slika 18b

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med ohlajanjem po končanem izotermnem držanju in del rentgenograma pri sobni temperaturi.

Fig. 18b

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during cooling after completed isothermal holding, and a part of the X-ray picture at room temperature.

Vzorec doseže temperaturo 350° C šele po 2,5 minute ohlajanja s temperature avstenitizacije pri 1190° C. Premena $\gamma \rightarrow \alpha$ se začne po 0,4 minute izotermnega držanja (sl. 19 a) in se po 15 minutah držanja pri 350° C ustavi. Do tega trenutka se pretvori v fazo α okrog 40 % avstenita. Med naknadnim ohlajanjem se premena $\gamma \rightarrow \alpha$ nadaljuje (sl. 19 b). Po ohladitvi je v vzorcu še 18 % zaostalega avstenita, kristalna mreža faze α je popačena.

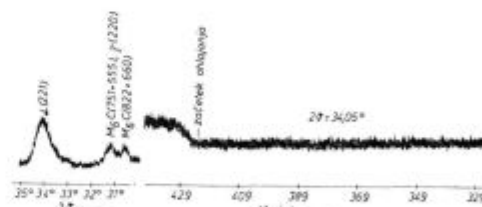


Slika 19a

Spreminjanje intenzitete uklonske črte $\alpha(211)$ med izotermno premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ pri temperaturi 350 °C; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 19a

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during isothermal $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation at 350 °C; Č. 7680 (BRM 2) steel.



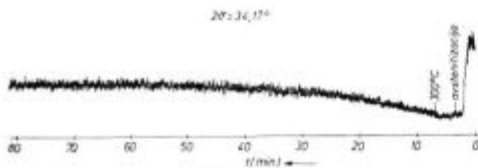
Slika 19b

Spreminjanje intenziteta uklonske črte $\alpha(211)$ med ohlajanjem po končanem izotermnem držanju in del rentgenograma pri sobni temperaturi.

Fig. 19b

Variation of the intensity of the $\alpha(211)$ diffraction line during cooling after completed isothermal holding, and a part of the X-ray picture at room temperature.

Ohlajanje vzorca od temperature avstenitizacije do 300° C traja 3,3 minute. Iz slike 20 a je razvidno, da se premena $\gamma \rightarrow \alpha$ začne že med ohlajanjem pri temperaturi 335° C. Po 86 minutah izotermnega držanja se premena zaustavi. Do tega trenutka se pretvori v fazo α blizu 70 % avstenita.

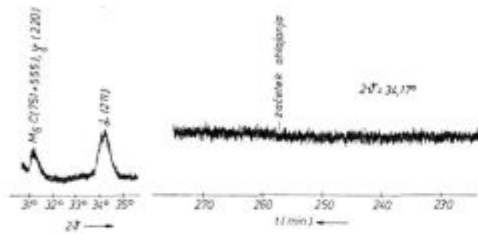


Slika 20a

Spreminjanje intenzitete uklonske črte α (211) med izotermno premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ pri temperaturi 300 °C; jeklo Č. 7680 (BRM 2).

Fig. 20a

Variation of the intensity of the α (211) diffraction line during isothermal $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation at 300 °C; Č. 7680 (BRM 2) steel.

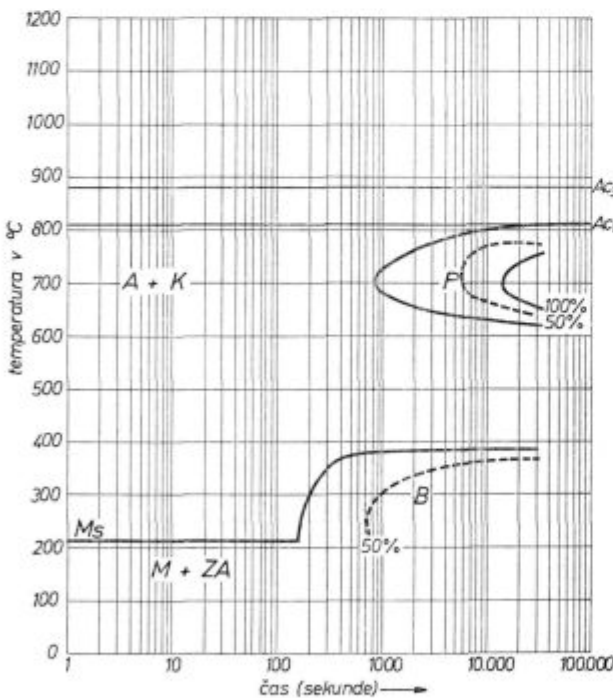


Slika 20b

Spreminjanje intenziteta uklonske črte α (211) med ohlajanjem po končanem izotermnem držanju in del rentgenograma pri sobni temperaturi.

Fig. 20b

Variation of the intensity of the α (211) diffraction line during cooling after completed isothermal holding, and a part of the X-ray picture at room temperature.



Slika 21

Izotermni TTT diagram za jeklo Č. 7680 (BRM 2); avstenizacija 1190 °C, 2 sekundi.

Fig. 21

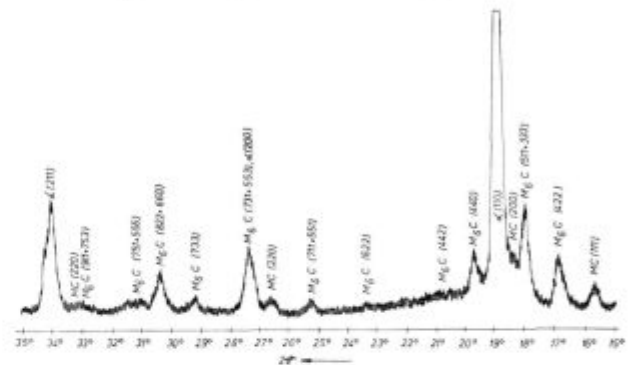
Isothermal TTT diagrams for Č. 7680 (BRM 2) steel; austenitisation 1190 °C, 2 seconds.

Med naknadnim ohlajanjem se premena $\gamma \rightarrow \alpha$ le še malo nadaljuje (sl. 20 b). Rentgenogram pri sobni temperaturi kaže, da je v vzorcu 22 % ostalega avstenita, faza α pa ima drobna zrna s popačeno kristalno mrežo. Večina faze α je sestavni del bainita.

Iz gornjih ugotovitev je mogoče skonstruirati izotermni TTT diagram, ki ga vidimo na sliki 21.

b) Jeklo Č 7680 (BRU)

Na sliki 22 je prikazan rentgenogram jekla BRU pri sobni temperaturi v žarjenem stanju. Osnovo strukture tega jekla predstavlja faza α , poleg tega sta prisotna še karbida M_6C in MC. Karbida MC je v tem jeklu več kot v jeklu BRM 2.

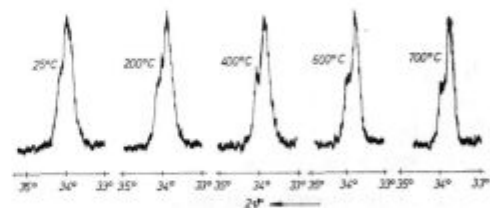


Slika 22

Rentgenogram jekla Č. 9683 (BRU) pri sobni temperaturi v žarjenem stanju

Fig. 22

X-ray picture of Č. 9683 (BRU) steel at room temperature, as annealed.



Slika 23

Spreminjanje intenzitete uklonske črte α (211) v odvisnosti od temperature; jeklo Č. 9683 (BRU) v mehansko obdelanem stanju.

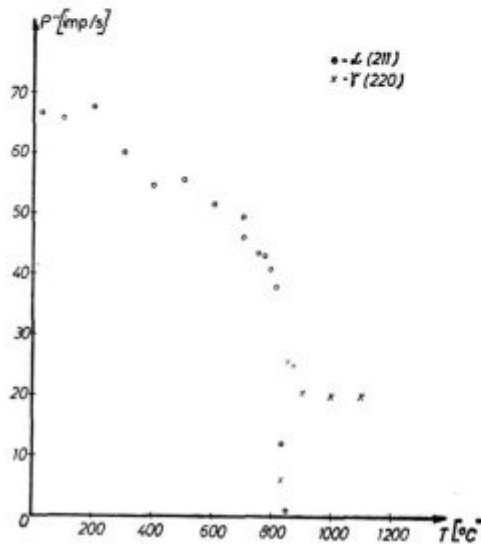
Fig. 23

Variation of the intensity of the α (211) diffraction line depending on the temperature; Č. 9683 (BRU) steel, as machined.

Temperaturno odvisnost Debye-Wallerjevega faktorja za fazo α smo spet ugotavljali tako, da smo pri nekaj temperaturah posneli črto α (211). Posnetki so bili narejeni na vzorcu, ki smo ga po mehanski obdelavi žarili pri 750 °C. S tem smo odpravili posledice hladne utrditve na popačenost kristalne mreže. Če to žarjenje opustimo, skoraj ni opaziti razlike med intenziteto črte α (211) pri raznih temperaturah (sl. 23). Povišanje temperature ima namreč dva učinka: zaradi povečanja termičnega nihanja se zmanjša Debye-Wallerjev fak-

tor, zaradi rekristalizacije (zmanjšanja popačenosti kristalne mreže) pa se ostrina črte α (211) poveča. Učinka sta nasprotna.

Odvisnost toka P''_{α} rentgenske svetlobe, ki se je sipala na žarjenem vzorcu, od temperature je prikazana na sliki 24. Ta diagram hkrati kaže odvisnost Debye-Wallerjevega faktorja od temperature. Na isti sliki so prikazani ustrežni rezultati še za uklonsko črto γ (220) na fazi γ , ki se pojavi šele pri višjih temperaturah.



Slika 24

Integralna intenziteta uklonskih črt α (211) in γ (220) v odvisnosti od temperature; jeklo Č. 9683 (BRU).

Fig. 24

Integral intensity of the α (211) and γ (220) diffraction lines depending on the temperature; Č. 9683 (BRU) steel.

Tudi v primeru jekla BRU smo na osnovi temperaturne odvisnosti Debye-Wallerjevega faktorja določili Debyeovo temperaturo; za fazo α znaša 263°K , za fazo γ pa 134°K .

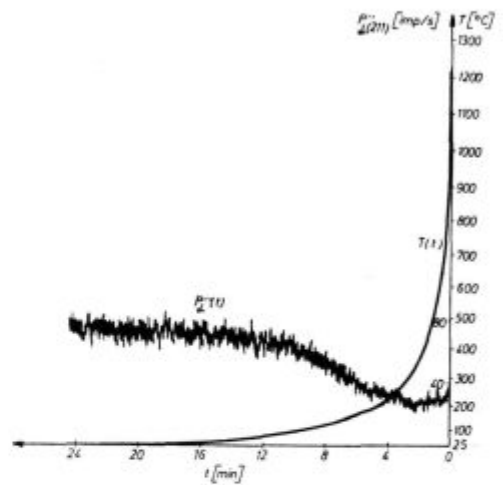
Iz slike 24 je mogoče na podoben način kot pri jeklu BRM 2 prebrati te premenske točke za jeklo BRU:

$$Ac_1 = 810^{\circ}\text{C}, Ac_3 = 860^{\circ}\text{C}.$$

Tudi pri jeklu BRU smo merili odvisnost razdalje med zaporednimi mrežnimi ravninami α (211) od temperature. Temperaturni koeficient raztezka razdalj med omenjenimi mrežnimi ravninami znaša

$$\alpha' = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}.$$

Premeno $\gamma \rightarrow \alpha$ smo spremljali po avstenitizaciji pri temperaturi 1210°C v izotermnih pogojih. Z namenom, da bi ugotovili, če naša visokotemperaturna kamera omogoča dovolj hitro ohlajanje do temperatur izotermnega držanja, smo najprej določili točko Ms s kontinuirnim ohlajanjem. Goniometer smo nastavili na Braggov kot 2θ , pri katerem smo pričakovali črto (211) martenzita. Med ohlajanjem s temperature avstenitizacije



Slika 25

Potek premene $\gamma \rightarrow \alpha$ med ohlajanjem vzorca iz jekla Č. 9683 (BRU) od temperature avstenitizacije do sobne temperature.

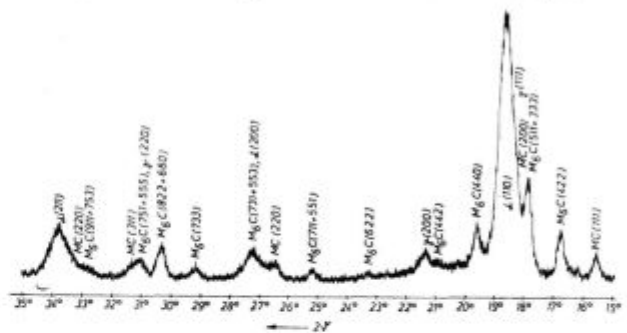
Fig. 25

Course of the $\gamma \rightarrow \alpha$ transformation during the cooling of the sample made of Č. 9683 (BRU) steel from the austenitisation to the room temperature.

smo merili časovno odvisnost temperature vzorca in energijskega toka P''_{α} (sl. 25). Začetek premene $\gamma \rightarrow \alpha$ je pri temperaturi 340°C ; zastojna točka na ohlajevalni krivulji in točka preloma na rentgenogramu sta pri temperaturi 190°C . Med omenjenima temperaturama je bainitno območje, v katerem se pretvori okrog 10 % avstenita v fazo α , medtem ko je

$$Ms = 190^{\circ}\text{C}.$$

Po 2-sekundni avstenitizaciji jekla BRU pri temperaturi 1210°C je ohlajanje v kameri prepočasno, da bi se izognili bainitnemu območju.



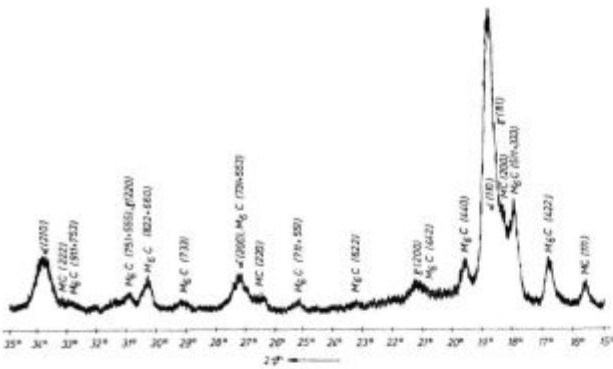
Slika 26

Rentgenogram jekla Č. 9683 (BRU) v kaljenem stanju; avstenitizacija 2 s pri temperaturi 1210°C , ohlajanje v vakuumu.

Fig. 26

X-ray picture of Č. 9683 (BRU) steel, as hardened; austenitisation 2 sec at 1210°C , cooling in vacuum.

Slika 26 kaže rentgenogram jekla BRU v kaljenem stanju. Osnovo strukture takega jekla tvori tetragonalno popačena faza α -martenzit, ki ima zelo široke uklonske črte. Zaostalega avstenita je

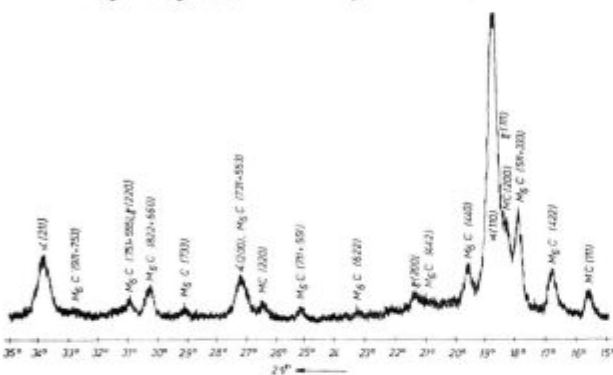


Slika 27

Rentgenogram jekla Č. 9683 (BRU) pri temperaturi 400 °C; snemano z rentgensko cevjo z anodo iz Mo.

Fig. 27

X-ray picture of Č. 9683 (BRU) steel at 400 °C; recorded by X-ray tube with molybdenum anode.

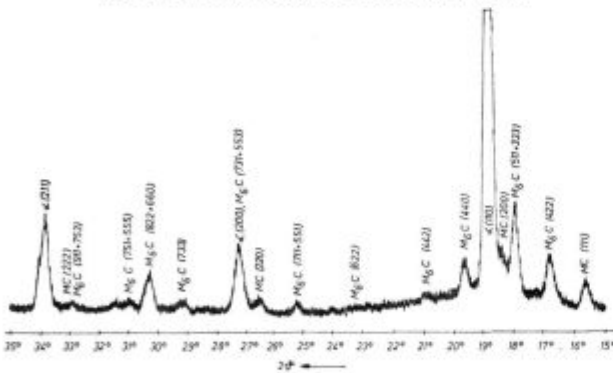


Slika 28

Rentgenogram jekla Č. 9683 (BRU) pri temperaturi 600 °C, snemano z rentgensko cevjo z anodo iz Mo.

Fig. 28

X-ray picture of Č. 9683 (BRU) steel at 600 °C; recorded by X-ray tube with molybdenum anode.



Slika 29

Rentgenogram jekla Č. 9683 (BRU) pri temperaturi 700 °C, snemano z rentgensko cevjo z anodo iz Mo.

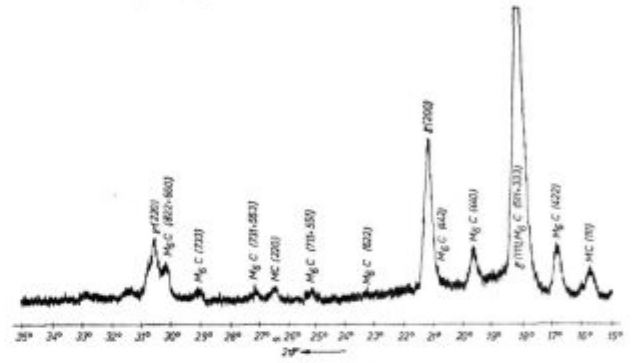
Fig. 29

X-ray picture of Č. 9683 (BRU) steel at 700 °C; recorded by X-ray tube with molybdenum anode.

14 %, prisotna pa sta tudi še oba karbida: M_6C in MC. Vzorec smo po kaljenju še segreli na razne temperature in posneli rentgenogrami, ki jih vidimo na teh slikah: sl. 27 (400 °C), sl. 28 (600 °C), sl. 29 (700 °C) in sl. 30 (1050 °C). Tudi za jeklo BRU smo ugotovili, da je zaostali avstenit gotovo še

prisoten, če popuščna temperatura ne preseže 600 °C, medtem ko ga s popuščanjem pri temperaturah nad 600 °C povsem odpravimo. Pri 1050 °C je osnovna masa zastopana z avstenitom, karbida M_6C in MC pa sta še povsem obstojna.

Meritve časovnega poteka premene $\gamma \rightarrow \alpha$ med izotermnim držanjem po avstenitizaciji pri temperaturi 1210 °C so pokazale, da ima tudi jeklo BRU ločeni feritno in bainitno območje. Izotermni diagram TTT je za to jeklo prikazan na sliki 31. Zanimivo je, da tudi to jeklo vsebuje tem več zaostalega avstenita po ohlavitvi na sobno temperaturo, čim bliže je temperatura izoternega držanja točki Ms (sl. 32).

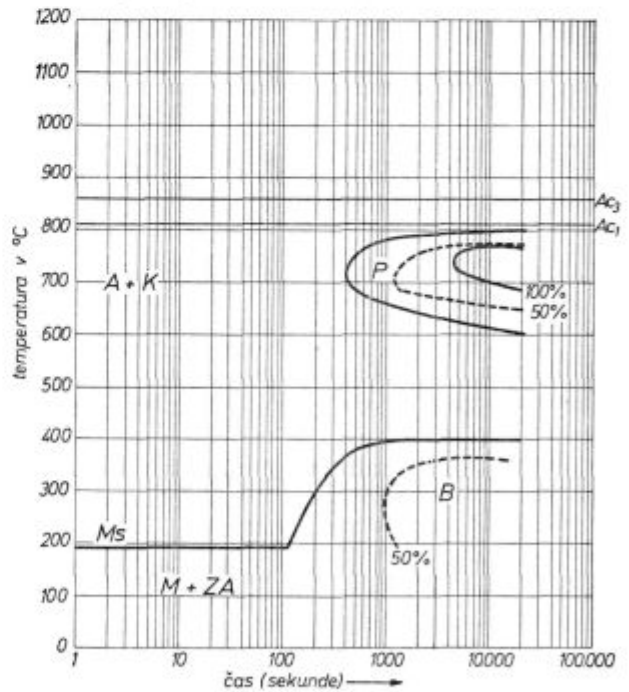


Slika 30

Rentgenogram jekla Č. 9683 (BRU) pri temperaturi 1050 °C, snemano z rentgensko cevjo z anodo iz Mo.

Fig. 30

X-ray picture of Č. 9683 (BRU) steel at 1050 °C; recorded by X-ray tube with molybdenum anode.

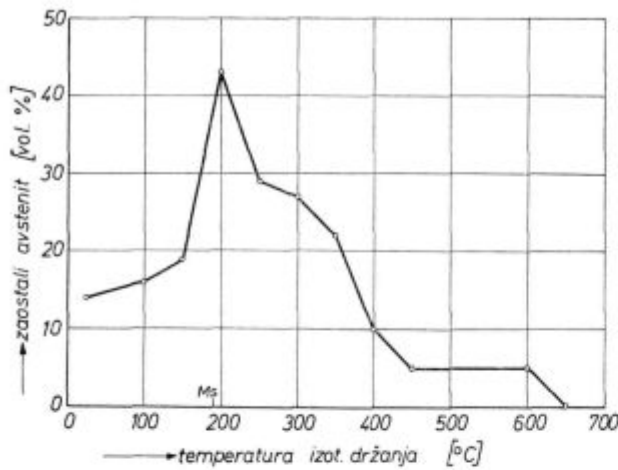


Slika 31

Izotermni TTT diagram za jeklo Č. 9683 (BRU); avstenitizacija 1210 °C, 2 sekundi.

Fig. 31

Isothermal TTT diagram for Č. 9683 (BRU) steel; austenitisation 1210 °C, 2 seconds.



Slika 32

Vsebnost zaostalega avstenita v jeklu Č. 9683 (BRU) po ohladitvi na sobno temperaturo v odvisnosti od temperature 5-urnega izotermnega držanja.

Fig. 32

Content of retained austenite in Č. 9683 (BRU) steel after cooling to room temperature depending on the temperature of 5-hour isothermal holding.

5. SKLEPI

Preiskave poteka faznih premen z visokotemperaturno rentgensko strukturo analizo so pokazale, da je ta metoda zelo uspešna, če spremljamo spremeno pri konstantni temperaturi. Med kontinuirnim segrevanjem ali ohlajanjem je s to metodo tudi mogoče spremljati fazne premene, vendar moramo računati s tem, da se lahko kakšen poskus ponesreči, ker ne nastavimo goniometra rentgenskega difraktometra na pravi kot in tako »zgrešimo« uklonsko črto. Ta problem je pri jeklih, ki so nagnjena k izrazitim deformacijam med toplotno obdelavo, še hujsi. Poskusi, pri katerih kontinuirno spreminjamo temperaturo, dajo še en rezultat; med segrevanjem in ohlajanjem namreč spremljamo odvisnost temperature vzorca od časa. Na takem termogramu pa se prav tako izražajo fazne premene v obliki kolen. Gre torej za enostavno termično analizo. Pri poskusih z brzoreznima jekloma BRM 2 in BRU smo spoznali, da visokotemperaturna kamera ne omogoča dovolj velikih ohlajevalnih hitrosti, da bi lahko natančno ugotovili začetek premene v bainit pri določenih temperaturah izotermnega držanja.

Drugi faktor, ki prav tako lahko popači rezultate visokotemperaturne rentgenske analize, je sprememba kemijske sestave površinske plasti vzorcev. Površinska plast, ki jo analiziramo, je podvržena razogljčenju, poleg tega pa imajo tudi nekateri kovinski legirni elementi pri temperaturah nad 1100°C tolikšen nasičen parni tlak, da je njihovo izhajanje iz vzorca zaznavno. Po poskusih pri visokih temperaturah smo na hladnih mestih visokotemperaturne kamere opazili plasti nepar-

jene kovine. Med takimi legirnimi elementi literatura navaja predvsem krom.

Temperaturna koeficienta raztezka razdalj med zaporednimi mrežnimi ravninami α (211) α' za jekli BRM 2 in BRU sta manjša kot temperaturna koeficienta dolžinskega raztezka za ti dve jekli. Z dilatometrom izmerimo za jeklo BRM 2 povprečni temperaturni koeficient dolžinskega raztezka med 20°C in 800°C $12,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, za jeklo BRU pa v istem temperaturnem intervalu $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.⁷ Zanimivo je, da je tudi temperaturni koeficient α' , ki ga izmerimo z rentgensko metodo, za jeklo BRM 2 večji, kot za jeklo BRU. Razlika med makroskopsko izmerjenim temperaturnim koeficientom dolžinskega raztezka in temperaturnim koeficientom raztezka razdalj med zaporednimi mrežnimi ravninami določenega tipa za osnovno fazo v materialu ni samo rezultat slučajnih in sistematskih napak, ampak je tudi posledica defektov v kristalni mreži. Rentgenska metoda določanja raztezka razdalj med zaporednimi mrežnimi ravninami ima določeno prednost; z njo lahko določimo temperaturni koeficient α' za vsako fazo posebej.

Premenski točki A_{c1} in A_{c3} , ki smo ju za jeklo BRM 2 določili z visokotemperaturno rentgensko strukturo analizo, se dobro ujemata z ustreznima vrednostima, ki sta bili določeni z dilatometrično metodo.⁷ Poskusi so pokazali, da se pri večji ogrevalni hitrosti točki A_{c1} in A_{c3} pomakneta k višjim temperaturam.

Če primerjamo izotermni TTT diagram, ki je bil za jeklo BRM 2 narisano na osnovi rezultatov visokotemperaturne rentgenske strukturo analize, z ustreznim diagramom v literaturi,⁶ opazimo te zakonitosti:

— Krajši čas avstenitizacije povzroči, da se premena podhlajenega avstenita v perlit pomakne h krajšim časom, še opaznejši pa je premik območja premene podhlajenega avstenita v bainit h krajšim časom.

— Črta, ki ponazarja začetek premene avstenita v martenzit (Ms), se zaradi krajšega časa avstenitizacije pomakne k večji temperaturi. Z dodatnimi raziskavami smo ugotovili, da lahko enak efekt dosežemo tudi z znižanjem temperature avstenitizacije.

Zanimivi so tudi rezultati meritev vsebnosti zaostalega avstenita v brzoreznih jeklih BRM 2 in BRU po različnih postopkih toplotne obdelave. Pri določenih pogojih avstenitizacije vsebuje brzorezno jeklo po ohladitvi na sobno temperaturo največ zaostalega avstenita takrat, če ga med ohlajanjem izotermno držimo tik nad temperaturo Ms. Tudi izotermno držanje pri drugih temperaturah v območju bainitne premene povzroči, da ima jeklo po ohladitvi precejšnjo vsebnost zaostalega avstenita. Veliko manj povečuje vsebnost zaostalega avstenita izotermno držanje v območju martenzitne premene. Kljub temu, da pri naših

poskusih jekla BRU nismo avstenitizirali pri čisto enaki temperaturi kot jeklo BRM 2, lahko trdimo, da bi po enaki toplotni obdelavi jeklo BRU vsebovalo več zaostalega avstenita kot jeklo BRM 2.

Literatura:

1. J. Rodič: Razvoj metodike raziskav in kvantitativno analiziranje vplivov kemijske sestave, pogojev izdelave in predelave ter toplotne obdelave na karakteristične lastnosti visokolegiranih orodnih jekel ledeburitnega tipa. Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, naloga 237 SBK, Ljubljana 1974.
2. F. Grešovnik: Raziskave fazne premene $\alpha \rightarrow \gamma$ v nerjavcih in brzoreznih jeklih z visokotemperaturno rent-

gensko analizo. Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, naloga 432 RSS, Ljubljana 1976.

3. F. Lihl: Hochtemperaturkammer Modell HTK P-10 — Gebrauchsanweisung, A. Paar, Graz.
4. T. Lavrič, F. Grešovnik: Studij izolacije karbidov iz orodnih jekel. Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, naloga 371 RSS, Ljubljana 1976, str. 40.
5. F. Grešovnik: Razvoj in aplikacija metodike raziskav značilnosti kristalnih zrn osnovne faze v jeklih z rentgensko metodo. Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, naloga 232 SBK, Ljubljana 1974.
6. F. Wever in A. Rose: Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle (I. del), Max — Planck — Institut für Eisenforschung, str. II — 264 A/C, D, F.
7. Brzorezni čelici, Katalog elazarne Ravne 124/73.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Charakteristiken der Hochtemperaturröntgengefügeanalyse sind beschrieben. Mit dieser Methode sind die Phasenumwandlung in Schnelldrehstählen Č 7680 (BRM 2) und Č 9683 (BRU) untersucht worden. Es hat sich gezeigt, dass diese Methode sehr erfolgreich für die Untersuchung der Phasenumwandlungen in isothermen Bedingungen angewendet werden kann, während bei der kontinuierlichen Temperaturänderung einige Schwierigkeiten auftreten können; deswegen sind die Röntgenographische Messungen mit der thermischen Analyse ergänzt worden.

Die ausgemessenen Temperaturausdehnungskoeffizienten des Abstandes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ebenen (211) der Phase α sind für beide Stähle etwas kleiner als die makroskopisch bestimmten Temperaturlängenausdehnungskoeffiziente. Die Debye-Temperaturen für die α Phase sind bei beiden Stählen fast gleich.

Die Umwandlungspunkte A_c und A_{c_2} werden zu höheren Temperaturen verschoben, wenn die Erwärmungsgeschwindigkeit vergrößert wird. Eine kürzere Austenitisierungszeit verursacht, dass die Umwandlung des unterkühlten Austenites in Perlit und Bainit zu höheren Temperaturen verschoben wird.

Bei bestimmten Austenitisierungsbedingungen enthält der Schnelldrehstahl nach der Abkühlung auf die Zimmertemperatur dann die grösste Menge an Restaustenit wenn der Stahl während der Abkühlung knapp ober der M_s Temperatur isotherm gehalten wird.

Die röntgenographischen Beugungslinien der Karbide sind in den untersuchten Stählen auch bei den Temperaturen über 1100°C ausdrucksvoll.

SUMMARY

Characteristics of the high temperature X-ray structural analysis are described. This method was applied in investigations of the phase transformations in Č. 7680 (BRM 2) and Č. 9683 (BRU) high-speed steel. The method proved to be very successful in following the phase transformations in isothermal conditions while some difficulties appeared if the temperature was continuously varied; therefore X-ray analyses were completed by thermal analyses.

The measured coefficients of thermal dilatation between the consecutive (211) lattice planes of the α phase are slightly smaller from the macroscopically determined coefficients of thermal expansion for both steel. Debye

temperatures for the α phase are nearly equal for both steel.

A_c and A_{c_2} transformation temperatures are shifted to higher temperatures if the heating rate is increased. Shorter period of austenitisation causes that transformation of the undercooled austenite into pearlite and bainite is shifted to higher temperature.

In certain conditions of austenitisation, the high-speed steel contains after cooling to the room temperature the highest amount of retained austenite if it is isothermally kept just above the M_s temperature during cooling.

X-ray diffraction lines of carbides in the investigated steel are pronounced also above 1100°C .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дано описание характеристик высокотемпературного рентгеновского структурного анализа. С этим методом исследован превращение фаз в быстрорежущих сталях марок Č. 7680 (BRM 2) и Č. 9683 (BRU). Оказалось, что применение этого метода очень успешно при наблюдении превращения фаз при изотермических условиях, между тем при непрерывном изменении температуры оказались некоторые затруднения. Поэтому рентгеновские измерения дополнили с термическим анализом.

Измерения температурного коэффициента удлинения расстояния между последовательными сетчатыми плоскостями (211) фазы α показала, что при обеих сталях их величина меньше от величин температурных коэффициентов линейного измерения.

Дебаевские темп-ры для фазы α при обеих сталях приблизительно одинаковы.

С увеличением быстроты нагрева точки превращения A_c и A_{c_2} перемещаются в направлении к более высоким температурам. Замедление аустенитизации вызывает перемещение превращения переохлажденного аустенита в перлит и бейнит к более высоким температурам.

При определенных условиях аустенитизации содержит быстрорежущая сталь после охлаждения на комнатную температуру больше всего аустенита в том случае, когда во время охлаждения его задерживаем тесно при темп-ре выше M_s .

Дифракция рентгеновских лучей карбидов в исследованных сталях характерна также при темп-рах выше 1100°C .

Tehnične novice

Internacionalna konferenca: EPŽ jeklo — material za prihodnost?

University of Strathclyde, Glasgow — 30. in 31. marca 1978

B. Koroušič

1. Uvod

Osnovni namen konference je bil vloga EPŽ jekla (električno pretaljevanje pod žlindro) v sodobni industriji. Predstavljeni strokovni referati in celotna diskusija so bili usmerjeni na razširitev uporabnosti jekel, pretaljenih pod žlindro, ki zaostaja predvsem zaradi nezadostnega poznavanja aplikativnih možnosti, ki jih nudijo EPŽ-materiali.

V prvem delu programa so bila obdelana tri zelo velika področja aplikacije EPŽ-postopka:

- izdelava velikih kovaških ingotov,
- izdelava konstrukcijskih jekel s posebnim poudarkom na tehnološke značilnosti debele pločevine,
- tehnologija izdelave valjev.

Drugi del programa je bil namenjen diskusiji med uporabniki in proizvajalci jekel in je bil zato poudarek na aplikacijah in ekonomiki EPŽ-jekel, in sicer predvsem glede nadaljnjih možnosti, ki jih nudi jeklo, izdelano po EPŽ-postopku.

Pred pričetkom konference je bila organizirana enodnevna ekskurzija v Motherwell in Coatbridge, kjer so se udeleženci konference lahko seznanili z vrhunsko EPŽ-tehnologijo izdelave velikih EPŽ-slabov (jeklarna Dalzell Works, ki pripada British Steel Corporation in ki ima največjo EPŽ napravo na svetu za izdelavo slabov) in EPŽ-valjev (jeklarna R. B. Tennent Limited z Böhler-jevo EPŽ-napravo).

Internacionalne konference v Glasgowu se je udeležilo 127 strokovnjakov iz več kot 90 podjetij iz 10 držav Evrope. Konferenco je organiziralo Scottish Association for Metals skupaj z The Metals Society.

1. Povzetki referatov o EPŽ-jeklih

Marrison, T. in sodelavci (Firth Brown Ltd., Sheffield) so orisali v svojem plenarnem predavanju osnovne kvalitete značilnosti visokolegiranih EPŽ-jekel. Po njihovi opredelitvi lahko definiramo visoko kvaliteto jekla z naslednjimi karakteristikami: a) zelo gosta in homogena struktura jekla v litem stanju, b) odsotnost vseh večjih segregacij, c) izredno visoka stopnja čistosti jekla glede nekovinskih vključkov, d) kontrolirana vsebnost plinov in oligoelementov. Primerjava jekel, izdelanih s konvencionalnimi postopki in s t.i. sekundarnimi pretaljevalnimi postopki (VOP, EPŽ plazma...) daje nedvoumno prednost drugim, tj. pretaljevalnim postopkom, čeprav tudi pri teh obstajajo naravne meje in kvalitete specifičnosti. Pri Firth Brown Ltd. so uspešno prodrli z aplikacijo EPŽ-jekla na številna področja: industrijske in podmorniške plinske turbine (kovani diski), letalska industrija (zlasti na področju izdelave različnih konstruktivnih delov za avionske reaktivne motorje), valji za aluminijško industrijo, kroglični in valjni ležaji za posebne namene, super zlitine na osnovi niklja itd.

Bird, J. in sodelavci (A. M. T. E., Dunfermline) so poročali o dosežnih rezultatih na področju izdelave debele pločevine iz EPŽ-slabov. Gre predvsem za konstrukcijska jekla (0,18 % C, 0,40 % Mn, 0,35 % Si, max. 0,015 % S, 3,25 % Ni, 1,80 % Cr, 0,6 % Mo) z visokimi zahtevami glede mehanskih lastnosti. Raziskave so pokazale, da EPŽ-jeklo kaže znatno

večjo žilavost pri temperaturah pod 20° C, in sicer predvsem v prečni smeri valjane pločevine. Tudi vse ostale mehanske lastnosti so znatno boljše pri EPŽ-jeklu kot pri jeklu enake kemične sestave, izdelanem v elektroobločni peči. Zlasti zanimive so ugotovitve, da ima EPŽ pločevina, debeline do 76 mm, boljše plastične lastnosti kot standardna pločevina iz elektroobločne peči, debeline 50 mm, kar ima velik pomen za nekatere posebne konstrukcije. Cena EPŽ-jekla je ugodnejša kot pri jeklu iz elektroobločnih peči, če le-ta zahteva dodatno čiščenje pred termomehansko predelavo.

Choudhury, A. in R. Jauch (Röchling-Burbach Stahlwerke, Zah. Nemčija) sta v svojem referatu opisala tehnološke značilnosti izdelave velikih kovaških ingotov, premera do 2300 mm in teže okoli 200 ton. Gre predvsem za pretaljevanje jekel za rotorje (26NiCrMo V 14,5, 30CrMoNi V 4.11...), ki se uporabljajo v turbinah in generatorjih velikih moči. Praktični rezultati teh avtorjev so bili večkrat v literaturi objavljeni. Zanimivost predstavljajo novi rezultati glede kontrole vsebnosti vodika v kovinski kopeli in žlindri. S posebno tehnologijo so uspeli doseči zelo nizke vsebnosti vodika. Gibljejo se med 1,5 in 2 ppm v litem stanju.

Kubish, C. in sodelavci (VEW-Böhler, Avstrija) so poročali o nekaterih specifičnih področjih, pri katerih EPŽ-jekla prinašajo številne prednosti v primerjavi s konvencionalnimi jekli. Kot primer so obdelali valje za hladne valjarne, pri katerih se doseže znatno večja čistost jekla, ugodnejša mikrostruktura in druge mehanske lastnosti. Tudi ekonomika EPŽ procesa je zelo ugodna, zlasti če se uporablja posebna tehnika litja ali stari valji pretaljujejo v posebej oblikovanih kokilah. Svoje rezultate so podkrepi s številnimi praktičnimi izkušnjami.

Baird, J. D. in sodelavci (R. B. Tennent Ltd., Coatbridge) so imeli zelo zanimivo predavanje o lastnih izkušnjah pri izdelavi različnih tipov valjev po EPŽ-postopku. V tej jeklarni uporabljajo lite elektrode (teže do 2 tone) ali stare valje, ki jih direktno pretaljujejo v kristalizatorju. Zanimivost tehnologije je v uporabi posebne dozirne naprave, ki omogoča dodatek različnih zlitin med taljenjem. Termična obdelava valjev (sferoidizacija, kaljenje in tempranje) se izvaja preko indukcijskega ogrevanja (50/250 Hz) s kontroliranim premikom valja v vzdolžni smeri. Dosežena trdota znaša do 700 Hv na globini okoli 25 mm površine valja.

Uporaba EPŽ-valjev v kvatro valjarniškem orodju je pokazala, da je njihova življenjska doba skoraj dvakrat večja kot pri navadnih valjih (okoli 125.000 ton jekla). V zadnjem času so pričeli proizvajati EPŽ-valje v litem stanju, ki so pokazali zelo dobre rezultate, zlasti v hladnih valjarnah. Zanimiva je predvsem njihova tržna cena, ki je nižja kot pri kovanih valjih.

2. Diskusija o uporabnosti in ekonomiki EPŽ-materialov

Analiza sedanjega stanja, ki ga karakterizira močna recesija v jeklarski industriji zahodne Evrope, kaže, da so za plasman EPŽ-materialov in zlasti EPŽ-jekel trenutno zanimiva tri področja:

— nadaljnje prodiranje na že obstoječa EPŽ-tržišča,

- nadomeščanje produktov, ki se izdelujejo iz jekla standardne kvalitete z EPZ-jeklom, kar omogoča večje končne izkoristke,
- supstitucija obstoječega tržišča z EPZ-materiali, na katerem sedaj dominirajo materiali, izdelani z vakuumskim obločnim postopkom.

Na že uveljavljenem EPZ-tržišču obstaja dokajšnja konkurenca in ima zato prodiranje na ta tržišča številne težave. Predvsem sta važni dve stvari: visoka kvaliteta materiala in čim nižja prodajna cena. Visoko kvaliteto je mogoče zagotoviti le, če se uporabljajo najnovejša tehnološka dognanja (raziskovalno-inovacijski posegi) in nenehno spremlja tehnični razvoj na tem področju.

Pri proizvodni ceni nastanejo težave, ker je težko objektivno oceniti prednosti, ki jih prinaša EPZ-material, zlasti ko gre za EPZ-jeklo. Te prednosti so včasih na strani proizvajalca jekla, včasih pa na strani končnega uporabnika.

Na konferenci se je zelo veliko govorilo o tretjem aplikativnem področju, tj. nadomeščanju vakuumsko izdelanih materialov z EPZ.

Večina uporabnikov EPZ je dala kategorične izjave, da EPZ materiali pri številnih aplikacijah lahko delno ali v celoti nadomestijo vakuumsko izdelane materiale. Pri tem ima veliko vlogo poznavanje lastnosti EPZ-materialov, pa tudi pogosto premagovanje predsodkov konstrukterjev v nekaterih ključnih panogah, kot so: letalska procesna in obrambna industrija ter energetika (vključno nuklearna), ki še vedno dajejo prednost že preverjenim materialom.

Iz diskusije številnih strokovnjakov lahko potegnemo zaključke, da EPZ-materiali sicer nenehno prodirajo na številna področja, toda obstajajo določene razlike med aplikativnimi področji. Na splošno prevladuje mišljenje, da morajo proizvajalci EPZ-materialov vložiti še veliko truda, da bi bolj strogo definirali tehnične in ekonomske faktorje EPZ materialov. Šele takrat bo mogoče pričakovati znatno večjo uporabo novih materialov in zlasti EPZ-jekel v sodobni industriji.

5. Konvencija uporabnikov CONCAST-ovih licenc

Zürich (Švica) 30. in 31. marca 1978

V. Prešern, Metalurški inštitut Ljubljana

1. UVOD

Firma CONCAST je že petič sklicala konvencijo uporabnikov njihovih licenc. Te konvencije so praviloma vsaka tri leta. Njihov glavni cilj pa je, da uporabnike CONCAST kontilivnih naprav obveščajo o najnovejših dosežkih konti-litja, po drugi strani pa je omogočena široka izmenjava mnenj in idej med uporabniki CONCAST naprav iz vsega sveta. Konvencije se je letos udeležilo preko 40 predstavnikov različnih železarn iz preko 40 držav in med njimi tudi 6 udeležencev iz Jugoslavije, kjer že delujeta dve CONCAST kontilivni napravi (železarna Štore in Jadranska železarna Split), v železarni Boris Kidrič Nikšič pa bo taka naprava pričela obratovati leta 1979.

Konvencija je trajala 2 dni. Bili smo seznanjeni s sedmimi plenarnimi predavanji, v okviru 4 sekcij (Gredice, Bloomi, Slabi in Vzdrževanje) pa je bilo še 28 predavanj. Glavne probleme, oziroma teme predavanj bi lahko razdelili v naslednja področja:

1. Razvoj naprav za konti-litje jekla
2. Sekvenčno litje
3. Zaščita curka med litjem
4. Metalurški problemi pri litju gredic, slabov in bloomov
5. Čistost jekla, izdelanega na konti napravah
6. Avtomatizacija kontilivnega postopka
7. Ekonomičnost postopka glede na stroške, izkoristek in kvaliteto
8. Predvideni razvoj do leta 2000

Da bi lahko seznanili širši krog naših metalurgov z najvažnejšimi dognanji, bomo v nadaljevanju najprej poročali o plenarnih predavanjih, nato pa o predavanjih iz dveh sekcij, ki sem jima lahko sledil — Metalurgija gredic in Vzdrževanje.

2. PLENARNA PREDAVANJA

H. Weiss (predsednik firme CONCAST AG) je podal splošno sliko trenda razvoja kontilivnih naprav in kot najuspešnejše dosežke razvoja zadnjih let je omenil: — prvo »jumbo« konti napravo za odlivanje slabov v National Steel Corporation (ZDA) za dimenzije do 2640 × × 240 mm; — povečan izkoristek na konti napravah za litje gredic kot posledico uporabe MS-»multi-stage« kokile; — boljšo kvaliteto jekla zaradi zaščite curka (CONSPAL tehnika); — izboljšanje kvalitete z uporabo elektromagnetnih mešalcev (CONROTEL tehnika).

J. D. Young (British Steel Corporation, Workington and Barrow Works, Great Britain) je poročal o izdelavi tračnic iz konti odlitih bloomov. Pri tem je opisal mehanske in metalurške zahteve za jeklo, iz katerega izdelujejo tračnice in dal napotke za doseganje primerne metalurške strukture jekla, potrebne čistosti, kemične homogenosti, kvalitete površine in potrebnih mehanskih lastnosti jekla.

K. Tasaka in **K. Ushijima** (Research and Development Department, Sumitomo Metal Industries Ltd., Osaka, Japan) sta v svojem zanimivem predavanju o izkušnjah svoje firme, ki ima že 6 CONCAST konti naprav, poročala o metalurških dosežkih na tem področju. Pri tem sta se omejila predvsem na kvaliteto jekel in ekonomske efekte v zvezi z uporabo konti naprav. Trdita, da bo njuna firma že kmalu odlila več kot 50% jekel na konti napravah.

S. Senčič (podpredsednik železarne Štore) je v svojem zelo zanimivem in močno opaznem predavanju orisal do-

sedanji razvoj štorske jeklarne ter opisal dosežke pri izdelavi različnih vrst jekel na konti napravi. Zelo zanimivi so bili predvsem podatki o izdelavi vzmetnih jekel in splošno mnenje je bilo, da je železarna Štore glede na kvaliteto gredic, in predvsem doseženi izkoristek, med vodilnimi firmami na svetu, ki uporabljajo CONCAST konti naprave v ta namen.

D. Mc. Bride (predsednik Great Lakes Steel Division, National Steel Corporation, Ecorse, Michigan, U. S. A.) je podal natančen opis, delovanje in rezultate, dosežene pri odlivanju slabov na »jumbo« konti napravi, ki je trenutno največja na svetu. Predavanje je posvetil predvsem tehnološkim ukrepom za čimvečje število zaporednih (sekvenčnih) odlivanj. Orisal nam je tudi princip in razložil delovanje sistema avtomatskega vodenja, oziroma kontrole celotnega procesa ulivanja.

Zanimivo predavanje o stanju jeklarske industrije na svetu danes in o njenem razvoju do leta 2000 nam je podal **C. B. Baker** (glavni direktor International Iron and Steel Institute, Brussels). Po njegovem je jeklarska industrija še vedno v krizi in recesiji. Prihodnost je zato negotova, čeprav moramo vsi vedeti, da bo svet rabil več in več jekla. Že danes je namreč očitno, da se gradijo nove kapacitete, predvsem v razvijajočih se deželah, in da se vedno večji del proizvodnje odlije po konti postopku. Računajo, da bi leta 2000 odlili na ta način že ca. 40 do 50% jekla, oz. 600 do 700 milj. ton.

Povzetke plenarnih predavanj in njihov komentar je podal **H. Heck** (CONCAST AG). Poudaril je predvsem tri glavna področja iz plenarnih predavanj, in sicer: — kvalitete konti odlitega jekla s poudarkom na tekočem jeklu, — kvaliteto konti odlitega jekla s poudarkom na strjevanju (kristalizaciji) in končno kvaliteto konti izdelanih gredic, slabov ali bloomov.

3. METALURGIJA GREDIC

P. M. Rich (G. K. N/TREMORFA WORKS) je v svojem predavanju opisal 4 različne načine pričetka litja na 6-žilni kontilivni napravi za gredice in z neogrevano vmesno ponovco: a) predgrevanje izlivkov, opremljenih z azbestno vrvico in kromovim peskom, b) zaprtje izlivka z debelim jeklenim valjčkom, c) bakreni čep z dodatkom kromovega peska, d) kombinirani način — 2 žili pričeta s 3–10 mm ferosilicijem, ostale 4 žile pa po metodi a). Številni poskusi so potrdili uspešnost variante d).

O delovanju naprave in kvaliteti konti gredic na 2 CONCAST — kontilivnih napravah sta poročala **K. Kinoshita** in **H. Okawa** (Nakayama Steel, Punamachi Works, Japan). Za zmanjšanje števila velikih nekovinskih vključkov sta predlagala: 1. rafinacijo v električni obločni peči z dvo žilndernim postopkom, 2. zaščito curka med vmesno ponovco in kokilo, 3. zaščito curka med glavno in vmesno ponovco. V primerjavi z dosedanja prakso so na ta način dosegli zmanjšanje števila vključkov za skoraj 90%.

S stališča teorije procesa je bilo zelo zanimivo predavanje **T. Jarvis** in **B. S. Ramsdala** (Sheerness Steel). V prvem delu članka sta poročala o tehnologiji dezoksidacije in premešavanja jekla v ponvi, da se dobi dobra kvaliteta specialnih žic in okroglih gredic. V drugem delu sta opisala kontrolo temperature jekla v ponvi, optimizacijo geometrije kokile, da bi se zmanjšalo vzdolžno pokanje po robovih, in enotno hlajenje, da se zmanjša romboidnost gredic.

O različnih postopkih rafinacije za dosego kvalitetnejših gredic je poročal **D. Reiber** (Von Roll AG). Opisal je poskuse zaščite curka s tekočim dušikom, dodajanje aluminija v curek, vpliv vakuumiranja in vpihovanja kalcija. Po njegovem se dobi najboljša kvaliteta pri litju jekel z visoko vsebnostjo aluminija z vpihovanjem kalcija, zaščito curka, neogrevano bazično obzidavo v vmesni ponovci in cirkonijevimi izlivki.

E. Ristmäki (Ovako, Finland) je svoje predavanje usmeril na izkušnje pri metodah za preprečevanje reoksidacije, metalurgije v kokilah in kontroli strjevanja. Poročal je o rezultatih dodajanja Al-žice v ponev, o zaščiti curka s tekočim dušikom ter o vplivu elektromagnetnih mešalcev na kvaliteto gredic v pogledu usmerjenega strjevanja.

3. VZDRŽEVANJE

V sekciji o vzdrževanju konti naprav so bila 4 predavanja.

H. Marti (CONCAST AG, Zürich) je poročal o najnovejših dosežkih pri konstrukciji, vzdrževanju in obratovanju različnih delov konti livnega procesa: vmesna ponev, obzidave te ponve, voz za premikanje vmesne ponve, kokile

(za gredice, slabe in bloome), o sistemih vibriranja kokil, o sistemih hlajenja, ravnanja in rezanja gredic ter avtomatizacije procesa.

D. Ameling in **K. Walden** (Hamburger Stahlwerke — HSW) sta poročala o dveh štiri-žilnih konti napravah za litje gredic. Opisala sta različne tehnološke podatke kot hitrost litja, livne parametre in dosežene izkoristke.

O problemih vzdrževanja in obratovanja treh šestžilnih kontilivnih naprav za bloome in ene dvožilne naprave za slabe sta poročala **G. A. Eggers** in **R. L. Newton** (ISCOR, Newcastle).

Zaključno predavanje v tej sekciji pa je imel **G. Dehmen** (Hoesch Hüttenwerke - Dortmund). Temo svojega nastopa je posvetil predvsem kontroli celotnega livnega procesa s poudarkom na končni kontroli odlitih slabov.

Kratko poročilo o udeležbi na 5. konvenciji uporabnikov CONCAST-ovih licenc naj zaključim s skupno ugotovitvijo udeležencev, da pomenijo taka srečanja dejanske možnosti za mnoge nove ideje in da zato pomenijo veliko pomoč za boljše poznavanje procesa konti-litja jekla. Obenem pa pomenijo tudi močan zagon oziroma podporo pri uvajanju različnih novosti v metalurškem in tehnološkem pogledu — v proces konti-litja jekel.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Mirko
Doberšek, dipl. inž., dr. Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Zagar, tehnični urednik

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS
— sekretariat za informacije št. 421-1/72 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSZ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341
int. 880 — Tisk: GP »Gorenjski tisk«, Kranj

INHALT

UDK: 548.736:669.112.227.3 669.14.018.252.3

ASM/SLA: M22g, M23r, N8, TS-n

Metallurgie — Metallphysik — röntgenographische Gefügeanalyse

F. Grešovnik

Untersuchungen der Phasenumwandlungen in Schnelldrehstählen mit der Hochtemperaturrentgenanalyse

Zelezarski zbornik 12 (1978) 2 S 57—69

Die Hochtemperaturrentgengefügeanalyse ist für das Studium der Phasenumwandlungen in zwei Schnelldrehstahlorten angewendet worden. Auch die Debye-Temperatur und der Temperaturexpansionskoeffizient des Abstandes zwischen den Netzflächen (211) der α Phase sind bestimmt worden. Die Messungen haben eine grosse Beständigkeit der Karbide in Schnelldrehstählen bestätigt.

Auszug des Autors

UDK: 669.669.1, 681.31, 65.011.56

ASM/SLA: Uk4, X14, D5, Af5, 1-52, 18-74

Metallurgie — Stahlherstellung — Automatisierung — Datenverarbeitung

J. Segel

Die Anwendung des Prozessrechners im Elektrostahlwerk

Zelezarski zbornik 12 (1978) 2 S 37—47

Der Prozessrechner kann wirksam für die Ausrechnung des metallischen Einsatzes (der Stoffbilanz), die Ausrechnung der Legierungszugabe, der Auswahl der zu erzeugenden Stahlsorte (auf Grund der Bestellungen und der chemischen Zusammensetzung des Stahles nach dem Einschmelzen), die Führung der elektrischen Ofenleistung in der Einschmelzeit und optimale Führung des Verbrauches der elektrischen Energie im Werk benutzt werden.

Der Artikel enthält auch eine Diskussion über die Planung, die Einführung und preliminären Ergebnisse der Anwendung des Prozessrechners im Stahlwerk des Hüttenwerkes Ravne.

Auszug des Autors

UDK 669.18:620.18:669.046.558

ASM/SLA D11r, AD-r

Metallurgie — Stahlherstellung — Austenitkorngrösse

V. Prešern, V. Macur, A. Rodič

Einfluss der Impfmittel auf die Austenitkorngrösse bei der Stahlerzeugung

Zelezarski zbornik 12 (1978) 2 S 49—55

Die Bestimmung der optimalen Kombination von Aluminium und Titangehalt der Zusätze der Legierungen, Kalzium-Barium-Silizium und der seltenen Erden für die Erzielung des feinkörnigen Austenitgefüges ist beschrieben.

Gezeigt wird der Einfluss der Kombination der erwähnten Elemente auf den Reinheitsgrad. Die Änderungen des Reinheitsgrades in Hinsicht der Menge und der Verteilung der einzelnen Einschlussarten werden geklärt.

Alle Vergleichen sind unter denselben Bedingungen gemacht worden. Die erhaltenen Ergebnisse sind in einer Form, entsprechend für die direkte Anwendung in der industriellen Erzeugung der Einsatzstähle, mit der verlangten Austenitkorngrösse und vorgeschriebenen mechanischen Eigenschaften angegeben.

Auszug des Autors

VSEBINA

UDK: 669.669.1, 681.31, 65.011.56

ASM/SLA: Uk4, X14, D5, A5f, 1-52, 18.74

Metalurgija — jeklarstvo — računalništvo — avtomatizacija.

J. Segel

Uporaba procesnega računalnika v elektrojeklarni

Železarski zbornik 12 (1978) 2 s 37—47

Procesni računalnik lahko učinkovito uporabimo za izračun sestave vložka, izračun dodatka ferolegur, izbiri jekla za izdelavo (na osnovi naročil in kemijske sestave jekla po raztalitvi vložka), vodenje elek. moči v fazi taljenja in optimalno vodenje porabe elek. energije v podjetju.

V članku je diskusija o planiranju, uvajanju in preloženih rezultatih uporabe procesnega računalnika v jeklarni Železarne Ravne.

Avtorski izvleček

UDK: 548.736:669.112.227.3 669.14.018.252.3

ASM/SLA: M22g, M23r, N8, TS-n

Metalurgija, fizika kovin, rentgenska strukturna analiza

F. Grešovnik

Raziskave faznih premen v brzoreznih jeklih z visokotemperaturno rentgensko analizo

Železarski zbornik 12 (1978) 2 s 57—69

Visokotemperaturna rentgenska strukturna analiza je bila uporabljena za študij faznih premen v dveh brzoreznih jeklih. Določena je bila tudi Debyeova temperatura in temperaturni koeficient raztezka razdalj med mrežnimi ravninami (211) faze α . Meritve so potrdile veliko obstojnost karbidov v brzoreznih jeklih.

Avtorski izvleček

UDK 669.18:620.18:669.046.558

ASM/SLA D11r, AD-r

Metalurgija — izdelava jekla — velikost zrna

V. Prešern, V. Macur, A. Rodič

Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna

Železarski zbornik 12 (1978) 2 s 49—55

Opisano je določevanje optimalne vsebnosti kombinacije aluminija in titana ter kalcij-barij-silicija in redkih zemelj za doseganje drobnozrnatega avstenitnega zrna.

Prikazan je vpliv kombinacije omenjenih elementov na čistost jekla in pojasnjeno spremljanje čistosti jekla v pogledu vsebnosti in razporeditve posameznih vrst nekovinskih vključkov.

Vse primerjave so izdelane pod istimi pogoji, dobljeni rezultati pa so podani v obliki primernih za direktno uporabo pri industrijski izdelavi cementacijskih jekel z zahtevano velikostjo avstenitnega zrna in predpisanimi mehanskimi lastnostmi.

Avtorski izvleček

СОДЕРЖАНИЕ

УДК: 548.736:669.112.227.3 669.14.018.252.3

АСМ/САА: М22г, М23р, М8, ТС-м

Металлургия — физика металлов — рентгеновский структурный анализ.

F. Grešovnik

Исследование превращение фаз в быстрорежущих сталях с рентгеновским анализом при высоких температурах.

Zelezarski zbornik 12 (1978) 2 с 57—69

Применением высокотемпературного структурного анализа изучали на двух марок быстрорежущей стали превращение фаз. Определили также дебаевскую температуру и темп-ный коэффициент удлинения межплоскостного расстояния (211) фазы α . С измерениями подтверждена значительная устойчивость карбидов в быстрорежущих сталях.

Автореф.

УДК: 669.669.1, 681.31, 65.011.56

АСМ/САА: У4к, Х14, Д5, А5ф, 1-52, 18-74

Металлургия — стальная индустрия — вычисление — автоматизация.

J. Segel

Применение вычислительной машины для управления в электросталеплавильном цехе

Zelezarski zbornik 12 (1978) 2 с 37—47

Вычислительную машину для управления процессом можно эффективно применить для вычисления состава загрузки, добавки ферросплавов, выбора стали намеченное для изготовления (на основании заказов и химического состава расплава), также для управления напряженности электрического поля в фазе плавления и для оптимального управления над расходом электроэнергии в предприятии.

Обсуждено о планировании, о введении вычислительной машины и о предварительных результатах применения вычислительной машины для управления производственным процессом в ста-леплавильном цехе металлургического завода Железарна Равне.

Автореф.

УДК: 669.18:620.18:669.046.558

АСМ/САА: Д11р, АД-р

Металлургия — производство стали — размер зёрен

V. Prežern, V. Macur, A. Rodič

Влияние модификаторов при производстве стали на величину аустенитных зёрен

Zelezarski zbornik 12 (1978) 2 с 49—55

Описано определение оптимального содержания комбинации алюминия и титана, а также кальций-барий-кремния и редкоземельных металлов необходимое для достижения мелкозернистого аустенита.

Рассмотрено влияние комбинации упомянутых элементов на чистоту стали и пояснены причины изменения чистоты, что касается содержания и распределения отдельных видов неметаллических включений.

Все сравнения разработаны при одинаковых условиях, а полученные результаты предложены в форме, которая соответствует непосредственному применению в промышленности при производстве цементуемой стали требуемой величины аустенитных зёрен и предписанных механических свойств.

Автореф.

CONTENTS

UDK: 669.669.1, 681.31, 65.011.56

ASM/SLA: Uk4, X14, D5, A5f, 1-52, 18.74

Metallurgy, Steelmaking, Computer control, Automation

J. Segel

Approach to computer control in electric steel making

Zelezarski zbornik 12 (1978) 2 P 37-47

Computer control can be effectively applied for the calculations of feed, the additions of ferroalloys, in the selection of steel to be manufactured (based on purchases and chemical composition of steel melt), in the regulation of electric power during melting, and for the optimal control of power consumption in the plant.

The paper presents discussion on planing, introducing, and on the preliminary results of application of computer control in Ravne Steel-Plant.

Author's Abstract

UDK: 548.736:669.112.227.3 669.14.018.252.3

ASM/SLA: M22g, M23r, N8, TS-n

Metallurgy, Material Science, X-ray structural analysis

F. Grešovnik

Investigations of phase transformations in high-speed by high temperature X-ray analysis

Zelezarski zbornik 12 (1978) 2 P 57-69

High-temperature X-ray structural analysis was applied for the study of phase transformations in two high-speed steel. Also Debye temperature and coefficient of thermal dilatation between the (211) lattice plains of the α phase were determined. The measurements confirmed great stability of carbides in high-speed steel.

Author's Abstract

UDK 669.18:620.18:669.046.558

ASM/SLA D11r, AD-r

Metallurgy, Steelmaking, Grain size

V Prešern, V. Macur, A. Rodič

Influence of modifying agents on the size of austenite grain in steel-making

Zelezarski zbornik 12 (1978) 2 P 49-55

Optimal combination and content of aluminium, titanium, calcium-barium-silicon, and rare earths was determined in order to achieve fine-grained austenite.

Influence of the combination of previously mentioned elements on the steel purity is shown, and variation of steel purity in the respect to content and distribution of single types of inclusions was explained.

All the comparisons were made at same conditions, and the obtained results are presented in a form which is suitable for direct application in industrial manufacturing steel for case hardening with the desired size of austenite grain and the prescribed mechanical properties.

Author's Abstract