

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA	Stran
Arh Jože, J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Mlakar — Železarna Jesenice	
POSTAVITEV IN OBRATOVANJE JEKLARNE 2 NA JESENICAH	65
Todorovič Gojko, B. Dobovišek, J. Lamut — Metalurški inštitut Ljubljana, L. Šketa, M. Tolar — Železarna Jesenice	
VPLIV ALKALNIH KARBONATOV NA REDUKCIJO ŽELEZOVIH OKSIDOV	79
Ploštajner Hinko — Železarna Štore	
VPLIV DUŠIKA V JEKLU Č. 4830 NA KRIVLJENJE PRI VALJANJU	87
Čurčija Dušan — Metalurška fakulteta Sisak	
VPLIV VZDOLŽNE HRAPAVOSTI TRAKOV NA PROCES HLADNEGA VALJANJA Z MAZIVI	95
Osebne vesti	100

LETO 22 ŠT. 3 — 1988

ŽEZB BQ 22 (3) 65—100 (1988)

ŽELEZARSKI ZBORNİK

Izdajajo skupno Železarne Jesenice, Ravne, Štore in Metalurški inštitut Ljubljana

UREDNIŠTVO

Glavni in odgovorni urednik: J. Arh

Uredniški odbor: A. Kveder, J. Rodič, A. Paulin, F. Grešovnik, F. Mlakar, K. Kuzman, J. Jamar

Tehnični urednik: J. Jamar

Lektor: R. Razinger

Prevodi: A. Paulin, N. Smajić (angleški jezik), J. Arh (nemški jezik), P. Berger (ruski jezik)

NASLOV UREDNIŠTVA: Železarski zbornik, SŽ-Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, Jugoslavija

TISK: TK Gorenjski tisk, Kranj

IZDAJATELJSKI SVET:

prof. dr. M. Gabrovšek (predsednik), Železarna Jesenice

dr. B. Brudar, Iskra, Kranj

prof. dr. V. Čižman, Univerza v Ljubljani

prof. dr. D. Drobňjak, Univerza v Beogradu

prof. dr. B. Koroušič, Metalurški inštitut Ljubljana

prof. dr. L. Kosec, Univerza v Ljubljani

prof. dr. J. Krajcar, Metalurški inštitut Sisak

prof. dr. A. Križman, Univerza v Mariboru

dr. K. Kuzman, Univerza v Ljubljani

dr. A. Kveder, Metalurški inštitut v Ljubljani

prof. dr. A. Paulin, Univerza v Ljubljani

prof. dr. Z. Pašalić, Železarna Zenica

prof. dr. C. Pelhan, Univerza v Ljubljani

prof. dr. V. Prosenc, Univerza v Ljubljani

prof. dr. B. Sicherl, Univerza v Ljubljani

dr. N. Smajić, Metalurški inštitut v Ljubljani

prof. dr. J. Sušnik, Zdravstveni dom Ravne

dr. L. Vehovar, Metalurški inštitut Ljubljana

prof. dr. F. Vodopivec, Metalurški inštitut Ljubljana

Published jointly by the Jesenice, Ravne and Štore Steelworks, and The Institute of Metallurgy Ljubljana

EDITORIAL STAFF

Editor: J. Arh

Associate Editors: A. Kveder, J. Rodič, A. Paulin, F. Grešovnik, F. Mlakar, K. Kuzman, J. Jamar

Production editor: J. Jamar

Lector: R. Razinger

Translations: A. Paulin, N. Smajić (English), J. Arh (German), P. Berger (Russian)

EDITORIAL ADDRESS: Železarski zbornik, SŽ-Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, Jugoslavija

PRINT: TK Gorenjski tisk, Kranj

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

prof. dr. M. Gabrovšek (Chairman), Iron and Steel

Works, Jesenice

Dr. B. Brudar, Iskra, Kranj

Prof. Dr. V. Čižman, University of Ljubljana

Prof. Dr. D. Drobňjak, University of Belgrade

Prof. Dr. B. Koroušič, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. L. Kosec, University of Ljubljana

Prof. Dr. J. Krajcar, Institute of Metallurgy, Sisak

Prof. Dr. A. Križman, University of Maribor

Dr. K. Kuzman, University of Ljubljana

Dr. A. Kveder, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. A. Paulin, University of Ljubljana

Prof. Dr. Z. Pašalić, Iron and Steel Works, Zenica

Prof. Dr. C. Pelhan, University of Ljubljana

Prof. Dr. V. Prosenc, University of Ljubljana

Prof. Dr. B. Sicherl, University of Ljubljana

Dr. N. Smajić, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. J. Sušnik, Health Centre, Ravne

Dr. L. Vehovar, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. F. Vodopivec, Institute of Metallurgy, Ljubljana

ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 22

LJUBLJANA

SEPTEMBER 1988

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	Страница
J. Arh, J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Mlakar Postavitev in obratovanje Jeklarne 2 na Jesenicah 65 UDK: 669.187.2+669-982+ +669-147 ASM/SLA: D5, D9q, D8m, 10-55	J. Arh, J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Mlakar Bau und Inbetriebnahme von Stahlwerk 2 in Jesenice 65 UDK: 669.187.2+669-982+ +669-147 ASM/SLA: D5, D9q, D8m, 10-55	J. Arh, J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Mlakar Erection and Operation of Steel Plant 2 in Jesenice 65 UDK: 669.187.2+669-982+ +669-147 ASM/SLA: D5, D9q, D8m, 10-55	J. Arh, J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Mlakar Сооружение и эксплуатация сталеплавильного цеха 2 в металлургическом заводе Железарна Есенице 65 UDK: 669.187.2+669-982+ +669-147 ASM/SLA: D5, D9q, D8m, 10-55
G. Todorovič, B. Dobovišek, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar Vpliv alkalnih karbonatov na redukcijo železovih oksidov 79 UDK: 669.162.263.232:669.88 ASM/SLA: D1, D11n, EGe	G. Todorovič, B. Dobovišek, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar Einfluss der alkalischen Karbonate auf die Reduktion der Eisenoxyde 79 UDK: 669.162.263.232:669.88 ASM/SLA: D1, D11n, EGe	G. Todorovič, B. Dobovišek, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar Influence of Alkali Carbonates on the Reduction of Iron Oxides 79 UDK: 669.162.263.232:669.88 ASM/SLA: D1, D11n, EGe	G. Todorovič, B. Dobovišek, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar Влияние щелочных карбонатов на восстановление окисей железа 79 UDK: 669.162.263.232:669.88 ASM/SLA: D1, D11n, EGe
H. Ploštajner Vpliv dušika v jeklu Č 4830 na krivljenje pri valjanju 87 UDK: 621.771.019:669.786:669.14-.018.27 ASM/SLA: F23, 4-57, AY, 2-60, EGp, 9-74, T7c	H. Ploštajner Einfluss von Stickstoff im Stahl Č.4830 auf das Biegen beim Walzen 87 UDK: 621.771.019:669.786:669.14-.018.27 ASM/SLA: F23, 4-57, AY, 2-60, EGp, 9-74, T7c	H. Ploštajner Influence of Nitrogen in Č.4830 Steel on Buckling 87 UDK: 621.771.019:669.786:669.14-.018.27 ASM/SLA: F23, 4-57, AY, 2-60, EGp, 9-74, T7c	H. Ploštajner Влияние азота в стали Č.4830 на изгиб при прокатки 87 UDK: 621.771.019:669.786:669.14-.018.27 ASM/SLA: F23, 4-57, AY, 2-60, EGp, 9-74, T7c
D. Čurčija Vpliv vzdolžne hrapavosti trakov na proces hladnega valjanja z mazivi 95 UDK: 621.771.016+621.892+ +620.191.355 ASM/SLA: F23, 1-67, 4-53, 9-71, 18-73	D. Čurčija Einfluss der Längsrauigkeit am Band an den Kaltwalzprozess mit Schmiermitteln 95 UDK: 621.771.016+621.892+ +620.191.355 ASM/SLA: F23, 1-67, 4-53, 9-71, 18-73	D. Čurčija Influence of the Strip Longitudinal Roughness on the Cold Rolling Process with Lubricants 95 UDK: 621.771.016+621.892+ +620.191.355 ASM/SLA: F23, 1-67, 4-53, 9-71, 18-73	D. Čurčija Влияние продольной шероховатости на процесс холодной прокатки с смазочными материалами 95 UDK: 621.771.016+621.892+62-0.191.355 ASM/SLA: F23, 1-67, 4-53, 9-71, 18-73
Osebnе vesti 100	Persönliche Nachrichten 100	Personal News 100	Личные сведения 100



080888H

FIELD REPORT

DATE: _____

LOCATION: _____

TIME: _____

BY: _____

FOR: _____

RE: _____

OBJECTIVE: _____

METHODS: _____

RESULTS: _____

DISCUSSION: _____

CONCLUSIONS: _____

RECOMMENDATIONS: _____

REFERENCES: _____

APPENDICES: _____

NOTES: _____

ADDITIONAL INFORMATION: _____

CONTACT INFORMATION: _____

PROJECT NUMBER: _____

SPONSORING AGENCY: _____

REPORT NUMBER: _____

ISSUE DATE: _____

CLASSIFICATION: _____

AVAILABILITY STATEMENT: _____

ABSTRACT: _____

KEYWORDS: _____

DESCRIPTORS: _____

UNCLASSIFIED



ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 22

LJUBLJANA

SEPTEMBER 1988

Postavitev in obratovanje Jeklarne 2 na Jesenicah

J. Arh*, J. Biček*, M. Demšar*, A. Koselj*, I. Polak*, A. Mlakar*

Résumé

Ustavitev stare SM jeklarne s šestimi pečmi od 45 do 80 t kapacitete in z najvišjo doseženo proizvodnjo 512.862 t v letu 1975. Gradnja nove jeklarne 2 z UHP električno obločno pečjo, zmogljivosti 85 ton odlitega tekočega jekla, z napravami za sekundarno obdelavo jekla v vakuumu — VOD/VD in TN za vpihovanje prašnatih materialov ter napravo za kontinuirno livanje slabov, s priključeno napravo za plamensko razrezovanje, pregled in čiščenje slabov.

Opisane so dosedanje izkušnje in prikazani proizvodni in kvalitetni učinki.

UVOD

Z nastopom jeklarske krize v zahodni Evropi in v ZDA po letu 1974, z zahtevami po čistejšem okolju in bolj racionalni proizvodnji so SM jeklarne, četudi nekatere še nove, zaradi prevelikih proizvodnih stroškov v primerjavi s kisikovimi konvertorji in zaradi težje prilagodljivosti novim postopkom sekundarne metalurgije postale hudo breme. V vseh SM jeklarnah so v drugi polovici sedemdesetih let v zahodni Evropi ustavili proizvodnjo.

Visoki stroški proizvodnje jekla v stari in iztrošeni SM jeklarni v primerjavi z elektrojeklom na Jesenicah, zahteve po čistem okolju, razvoj elektrojeklarn visokih zmogljivosti, in še posebno hiter razvoj kontinuirnega livanja jekla kot edinega ekonomsko upravičenega načina, so že zgodaj porodili ideje o zamenjavi SM jekla z elektrojeklom. K temu je treba dodati še oddaljenost od surovin — rude, uvoz energije — koksa in visoke transportne stroške za velike količine surovin. Dovoz le-teh bo sedaj manjši, kar za približno 470.000 t na leto. In nazadnje je tu še človek. Ergonomski razlogi, visoka storilnost modernih elektrojeklarn in zahteve po zmanjšanju števila zaposlenih so bili odločilni dejavniki pri gradnji nove elektrojeklarne.

Pomembno pri odločitvi za novo jeklaro je tudi dejstvo, da smo v Jugoslaviji v vsem povojnem obdobju po-

rabili več jekla, kot smo ga sami izdelali. V letu 1980 smo z lastno proizvodnjo pokrili le 59 % porabe jekla. Kako je rasla proizvodnja in poraba jekla v povojnih letih kaže **tabela 1**.

Tabela 1:

Leto	Proizvodnja (t)	Poraba (t)	Pokrivanje (%)
1950	428.000	596.000	72
1960	1.422.000	1.702.000	85
1970	2.228.000	3.422.000	65
1980	3.634.000	6.155.000	59
1986	4.718.000	—	—

Proizvodni program, ki ga ima po dograditvi nove elektrojeklarne Železarna Jesenice, pa ima na jugoslovenskem tržišču nadpovprečno rast porabe. Usmeritev v proizvodnjo kvalitetnih jekel, ki na Jesenicah intenzivno poteka že od leta 1975, ko smo zgradili novo hladno valjarno na Beli, in v zadnjih letih tudi na področju debele pločevine, je mogoča le s sodobno tehnološko napredno proizvodnjo surovega jekla.

Proizvodni program

S projektom predvideni proizvodni program je naslednji:

— silicijeva jekla za elektrotehniko	70.000 t
— nerjavna jekla	25.000 t
— maloogljivična nesilicirana električna jekla	10.000 t
— mikrolegirana in finoizrnata jekla	30.000 t
— malolegirana jekla	20.000 t
— ogljikova jekla	55.000 t

Letna proizvodnja kontinuirno odlitih slabov 210.000 t

Naprave za proizvodnjo surovega jekla

Za izbiro osnovnih proizvodnih naprav je bila imenovana posebna skupina izkušenih tehnologov iz proizvodnje, razvoja in oddelka novogradenj, ki se je odločila za takrat najsoodobnejše tehnološke postopke in naprave:

— UHP električna obločna peč z zmogljivostjo 85 ton odlitega tekočega jekla,

— VOD/VD vakuumsko napravo in TN napravo za obdelavo jekla s prašnatimi materiali, kot CaSi in sintetične žilindre,

* Joža Arh, dipl. inž. metal., Železarna Jesenice

* J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Mlakar; Železarna Jesenice

** Originalno publicirano: ŽZb 22 (1988) 3

*** Rokopis prejet: 1988-06-01

— naprava za kontinuirno vlivanje slabov, debeline 160, 200 in 250 mm ter širine od 800 do 1600 mm in največje dolžine 5,9 m,

— naprava za plamenski razrez slabov.

Lokacija jeklarne

Jeklaro smo postavili na zelenem polju, imenovanem Belško polje, vzhodno od valjarn, kakor je razvidno s slike 1 in slike 2.

HEMA TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA

Današnja tehnologija proizvodnje elektrojekla v UHP pečeh sloni na dupleks postopkih. Električna oblačna peč kot primarni del je namenjena le taljenju in odfosforjenju ter oksidaciji in segrevanju taline na potrebne prebodne temperature. Rafinacija jekla pa dandanes poteka v napravah sekundarne metalurgije, kot so razne vakuumske naprave, naprave za ogrevanje jekla — VAD ali ponovčne peči in naprave za odžveplanje jekla brez vakuumu, kot so TN in podobne naprave z najnovjšimi napravami za legiranje in modifikacijo vključkov s poljnjenimi žicami in aluminijem.

Skupina tehnologov se je na osnovi proizvodnega programa odločila za tehnološki postopek in naprave, ki so prikazane v shemi na sliki 3.

V tej shemi je bilo prvotno predvideno tudi ogrevanje taline kot VOD/VAD varianta, vendar je ta del zaradi visokih podražitev ob zakasneli gradnji odpadel. Prostor za ogrevno mesto pa je tu, tako da je ob eventualni drugi fazi gradnje možna postavitve ponovčne peči.

Layout jeklarne

Na sliki 4 je prikazana postavitve vseh objektov na novi lokaciji, iz katere je razvidna osnovna koncepcija jeklarne. Ta koncept je skupno delo oddelka novogradnje in glavnega dobavitelja opreme Mannesmann Demag Hüttentechnik.

Slika 5 pa prikazuje samo halo jeklarne z vrisanimi osnovnimi proizvodnimi napravami.

Celotno halo jeklarne lahko razdelimo na tri področja:

1. Področje taljenje oziroma primarni del proizvodnje:

- oskrba z električno energijo,
- hala vložka,
- hala peči in hala silosov za legure in dodatke,
- čiščenje dimnih plinov v elektro filterih.

2. Področje sekundarne metalurgije z:

— VOD/VD napravo in TN napravo, ki sta postavljeni v hali vlivališča.

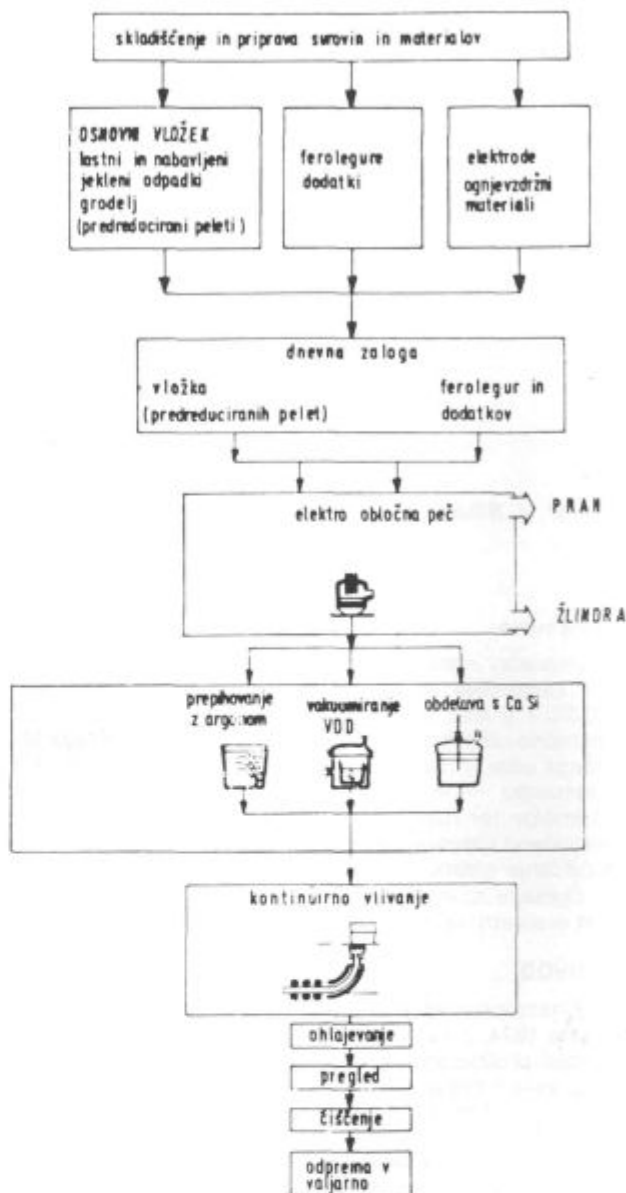
3. Področje vliivanja s:

- halo vlivališča z vrtljivim stolpom za prevzem tekočega jekla,
- hala konti liva,
- hala adjustaže 1,
- hala adjustaže 2.

Opis postopka

Področje taljenja

Osnovni vložek, lastni in nabavljeni jekleni odpadki, staro železo in grodelj, se skladišči v skladišču vložka na Jesenicah, skupaj za obe jeklarni. Po sortiranju se nalaga v štiriosne železniške vagoni, nosilnosti 60 t in prepelje v halo vložka na Belo, kjer stoji jeklarne 2.



Slika 3.

Shema tehnološkega postopka

Fig. 3

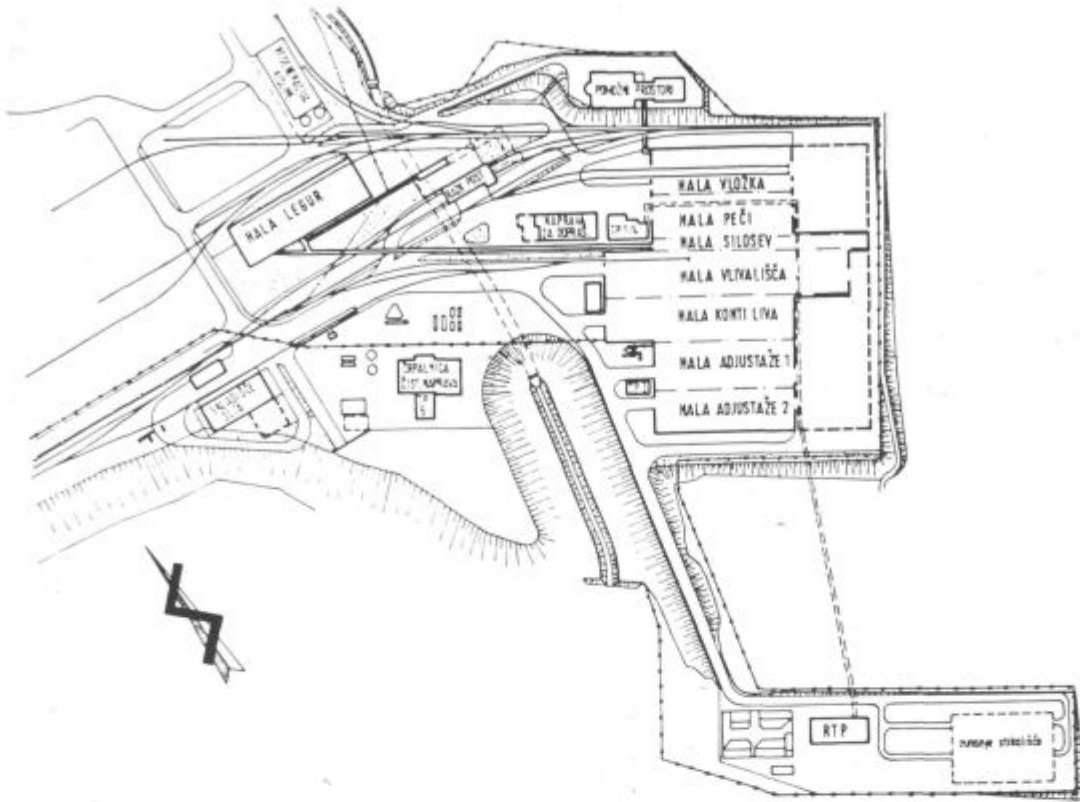
Scheme of the technological process

Ferolegure, dodatki, elektrode, ognjestalni materiali se skladiščijo v hali legur. Dovoz je mogoč z železnico in s tovornjaki. S sistemom transportnih trakov jih transportirajo v halo silosov. Nekateri dodatki, kot apno, apnenec, jedavec, ruda in peleti, se skladiščijo v silosih razkladalne postaje in od tam transportirajo v halo silosov z istim sistemom transportnih trakov.

Predvidena je tudi možnost uporabe predreduciranih pelet ali briket za redčenje škodljivih elementov, kot so Cr, Cu, Ni v starem železu. Za skladiščenje le-teh je na zahodni strani hale legur predviden poseben prostor.

Dnevna zaloga vložka za 2 do 3 dni je v hali vložka. V hali silosov je dnevna zaloga dodatkov in legur za peč in za vakuumsko napravo.

Priljubljen osnovni vložek, to je staro železo, nakladamo v hali vložka s pomočjo mostnega žerjava

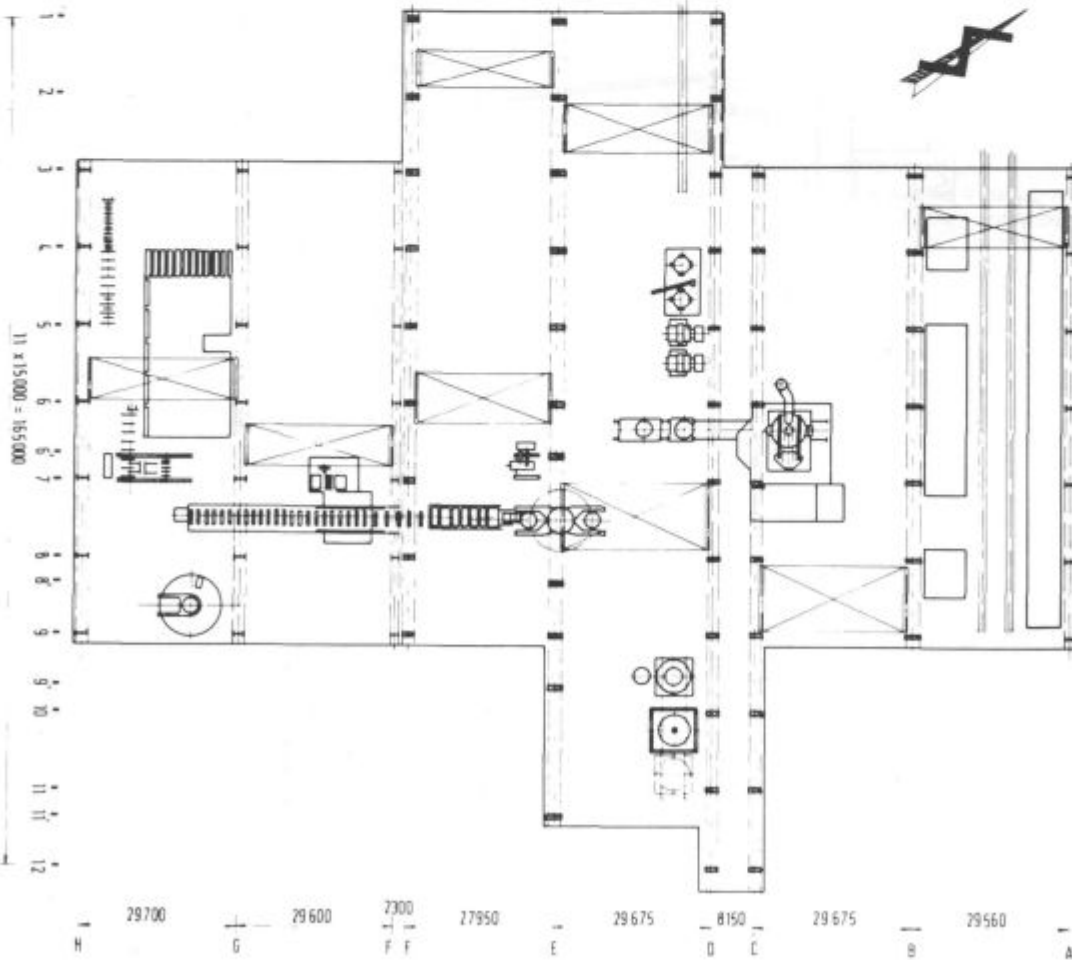


Slika 4.

Razpored hal

Fig. 4

Lay out of buildings



Slika 5.

Glavne hale z vrisanimi proizvodnimi napravami

Fig. 5

Main buildings with drawn equipment

20/10 ton v košare, te pa s posebnim prečnim vozom prepeljemo v halo peči. Voz ima vgrajeno napravo za tehtanje košare. Z mostnim žerjavom 80/32 ton košaro nato stresemo v peč.

V hali peči stoji tudi posebna naprava za predgrevanje starega železa v košari s plinom. Namen tega predgrevanja je v glavnem odtajati ostanke ledu, da ne bi prišlo do eksplozije v peči.

Dodatke in legure iz dnevnega skladišča v hali silosov dovajamo v peč skozi peto odprtino v oboku preko sistema vibracijskih dozatorjev, tehtalnih bunkerjev, transportnih trakov in drč.

V električni obločni peči vložek raztalimo, odstranimo fosfor, znižamo ogljik v željene analize meje ter šaržo segrejemo na potrebno temperaturo pred prebodom.

Peč, ki ima ekscentrični prebod, omogoča izlitje jekla brez žindre. Jeklo odlijemo v ponovco, ki je na posebnem vozu. Voz ima vgrajeno napravo za tehtanje količine jekla.

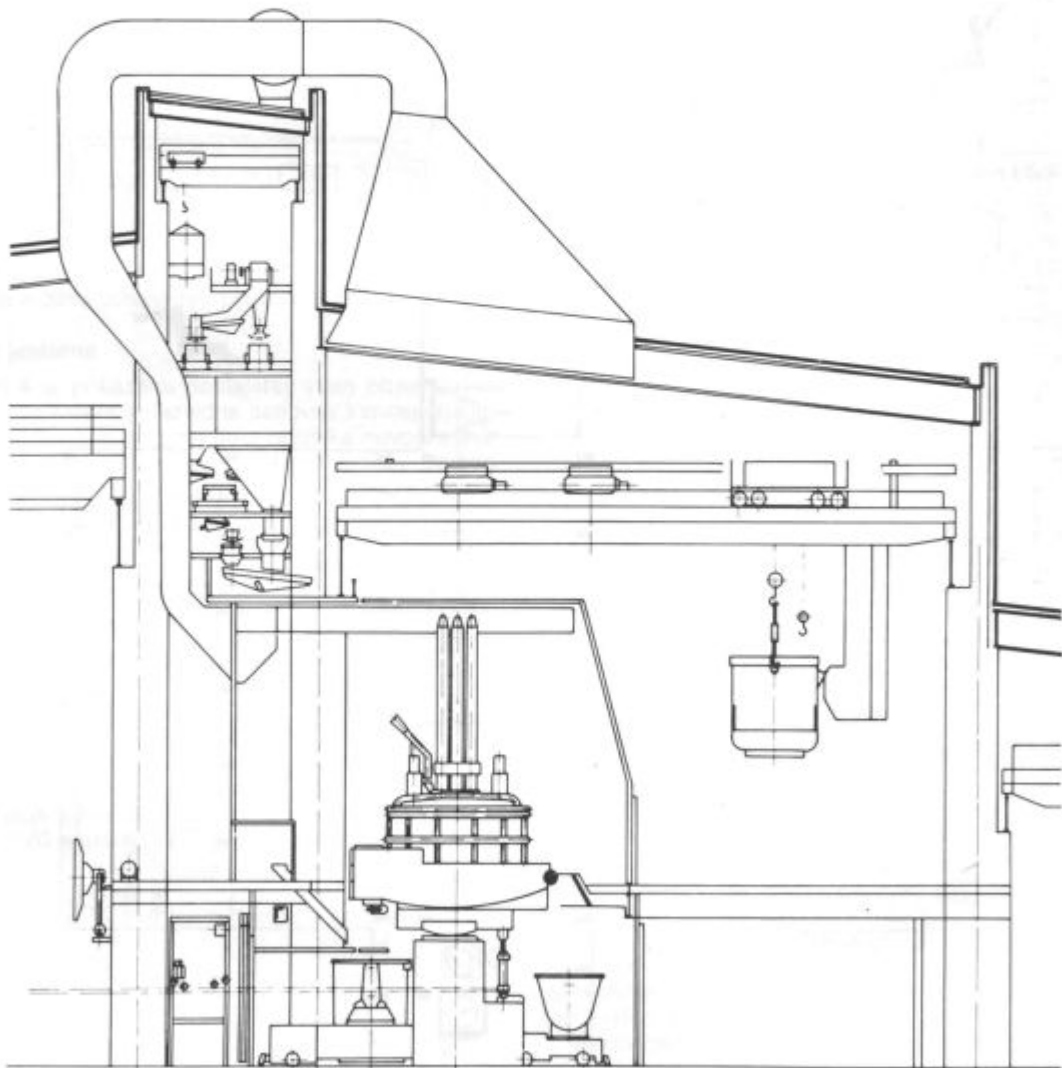
Žindra v času taljenja in oksidacije odteka preko praga v ponovco za žindro, ki je prav tako na posebnem vozu.

V hali peči stoji UHP električna obločna peč s premerom 5,8 m in močjo transformatorja 60 MVA, ki je zgrajena za odlivanje 85 t tekočega jekla.

Karakteristični podatki peči so navedeni v tabeli 2.

Tabela 2:

Dobavitelj:	Mannesmann Demag
Tip peči:	85 EBT 5,8/60
Premer kotla:	5800 mm
Premer elektrod:	600 mm
Premer delilnega kroga:	1300 mm
Teža odlitega jekla:	85 t
Nagibanje peči:	hidravlično
Regulacija elektrod:	hidravlična
Nagib peči:	za prebod 12/15° za posnemanje žindre 10°



Slika 6.

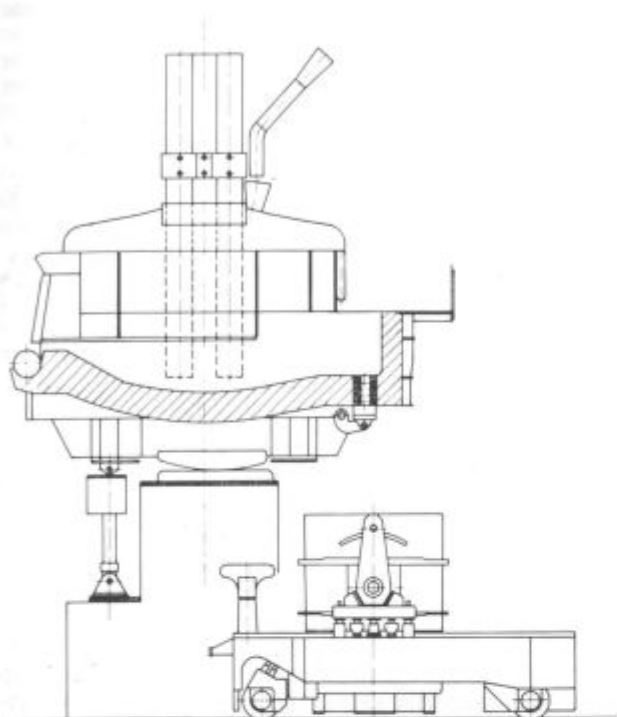
Prečni presek hale v peči z UHP-EO pečjo in halo silosov

Fig. 6

Cross section of the building with the UHP EA furnace and of the building with bunkers

Peč ima ekscentrični prebod. Za takšen tip peči smo se odločili spomladi leta 1983, ko je bila na Danskem šele nekaj mesecev v obratovanju prva takšna peč.

Prečni presek skozi halo peči je prikazan na **sliki 6**.



Slika 7.

Shema peči z ekscentričnim prebodom

Fig. 7

Scheme of the furnace with eccentric tapping

Prednosti ekscentričnega preboda so za dupleks postopek zelo pomembne (**slika 7**). Glavna je ta, da odlijemo jeklo brez žilindre. Prebod je hiter, 1,5 do 2 minuti, zato je izguba temperature manjša kot pri klasični peči. Konstrukcija peči je zaradi manjšega nagibanja enostavnejša. V peči ostane del jekla in žilindre. Ta pri naknadnem taljenju ščiti dno peči pred poškodbami z elektrodami, kar se sicer pri UHP peči lahko zgodi zaradi hitrega taljenja.

UHP peči so močan izvor hrupa. Da je možno delo v okolju peči, je peč postavljena v posebno zvočno izolirano komoro, ki se odpira le, kadar se peč zaklada ali kadar ne dela. Na ta način je hrup v delovnem okolju znižan na 80 do 85 dB-A. Širjenje hrupa v bivalno okolje pa je omejeno s posebno gradnjo hal.

Tudi skladišče vložka je v zaprti hali, ki je zvočno izolirano.

Proizvodnja jekla je zvezana z nastajanjem velike količine dimnih plinov, še posebno v času taljenja in oksidacije s kisikom. Tedaj je vsebnost prahu okrog 25900 mg v 1 m³ teh plinov. Po zakonskih določilih je v delovnem okolju največja dovoljena koncentracija 15 mg prahu v m³, če je prah manj škodljive sestave. Osrednji objekt, ki zagotavlja omejitve emisij do dopustne meje, je odpraševalna naprava.

Zajem plinov s prahom iz peči je izveden na tri načine, in sicer: direktno odsesavanje na oboku peči, z nabo v strehi hale nad pečjo in iz komore okrog peči, kar je najnovejša izvedba. Vroči plini se iz peči vodijo po vodo-

hlajenem kolenu in cevovodu, kjer se ohladijo na okrog 650 °C v ciklon, da se loči grobi prah. Plini s preostalim prahom se nato mešajo s plini, odsesanimi preko nape, in se ohladijo na okrog 120 °C. Ta temperatura je primer- na za vrečaste filtre, pri višjih temperaturah pa se avto- matično uravnava hlajenje s svežim zrakom. Celotna koli- čina odsesavanih plinov je razdeljena na dva ventilatorja s skupno zmogljivostjo 650.000 m³/h. Prah se peletizira in odlaga na deponijo.

Področje sekundarne metalurgije

Sekundarna obdelava jekla v ponovci je najbolj po- membna za kakovost izdelanega jekla. Za obdelavo jekla v ponovci imamo postavljeni dve napravi, in sicer:

- TN napravo za obdelavo jekla s prašnatimi mate- rialii, pri čemer lahko vpihujemo različne materiale, od ka- terih sta največ v rabi CaSi in taljene sintetične žilindre in
- Vakuumska naprava tipa VOD/VD.

Obe napravi za sekundarno obdelavo jekla stojita skupaj v podaljšku hale vlivališča, kar je razvidno s **sli- ke 5**. Ponovco z jeklom prenesemo od peči z mostnim žerjavom 160/30 ton na eno izmed naprav, odvisno od izbranega načina obdelave jekla.

Možni so trije različni načini izdelave jekla:

- enostavna homogenizacija in čiščenje taline na stojšču za prepihanje jekla z argonom. V stojšču je namenjeno za korekturo kemične sestave in nastavitve pravilne temperature jekla pred livanjem.
- Obdelava jekla na istem stojšču po TN postopku z vpihovanjem CaSi in sintetične žilindre z namenom odžveplati jeklo, modificirati nekovinske vključke, korigi- rati kemično sestavo in temperaturo jekla pred livanjem.

Ferozilne in drugi kovinski in nekovinski dodatki pri- dejo iz skupnih silosov, ki so postavljeni nad vakuumsko napravo.

— Obdelava jekla v vakuumski napravi po VOD ali VD postopku. Obdelava jekla v vakuumski komori pri zni- žanem tlaku je najbolj široko uporabljen tehnološki po- stopek. Možne so naslednje tehnološke operacije:

1. degazacija, združena z dezoksidacijo in odžvepla- njem pri znižanem tlaku pco (VD). Ta postopek upo- rabljamo pri izdelavi konstrukcijskih jekel;
2. razogljčenje jekla pri jeklih za globoko vlečenje in za elektrotehnične razmere z legiranjem in odžvepla- njem;
3. izdelava nerjavnih jekel z oksidacijo C pri zniža- nem tlaku pco po VOD postopku.

Tabela 3:

Karakteristike vakuumske naprave

Dobavitelj:	Mannesmann Demag Hüttentechnik
Velikost:	90 t
Tip:	VOD/VD
Vakuumske črpalke:	2 vodni črpalke 4 parni ejektorji
Kisikovo kopje:	vodno hlajeno O ₂ maks 1800 Nm ³ /h
Para:	tlak 10 bar
Poraba:	oksidacija (VOD) 8, 4 t/h degazacija (VD) 6, 8 t/h degazacija (VD)
Poraba argona:	2 N m ³ /h
Poraba hladilne vode:	3 kondenzatorji — 60 m ³ /h vodni črpalke — 36 m ³ /h

SESALNA OBMOČJA

oksidacija	1000—180 mbar
	180— 80 mbar
	80— 40 mbar
oksidacija pri nizkem tlaku	50— 13 mbar
	40— 4 mbar
globoki vakuum	4— 0,7 mbar

Sesalna kapaciteta črpalk je velika. Pri degazaciji se doseže globoki vakuum pod 1 mbar že po 5 minutah evakuiranja, pri razogljčenju pa po 8 minutah.

Tabela 4:

Karakteristike TN naprave za vpihovanje prašnih materialov

Dobavitelj:	Mannesmann Demag Hüttentechnik
Tip:	TN
Volumen tlačne posode:	1700 l
posoda stoji na tehtnici	
Kopje monolitno —	
aluminatno	
Hitrost pihanja:	20 do 50 kg/min.

Naprava ima štiri enokubične silose za štiri različne materiale.

Naprave za legiranje

Za VOD in TN napravo imamo skupni legirni sistem, ki je postavljen nad vakuumsko napravo. Imamo dve skupini po 8 silosov. Prvih 8 se polni preko sistema transportnih trakov. Volumen le-teh je $4 \times 15 \text{ m}^3$ in $4 \times 5 \text{ m}^3$. Za mikrolegiranje namenjeni silosi od 9 do 16 imajo volumen 4 m^3 . Polnimo jih s šaržirnimi zaboji, prostornine 2 m^3 . Pod vsako skupino silosov se nahaja tehtalni silos, da lahko odzvamemo natančne količine posa-

meznih legur. Tehtalni silos 1 je montiran na prevoznem vozu, tehtalni silos 2 pa je stacionaren. Odvisno od izbrane legure zapelje tehtalni silos 1 avtomatično pod odgovarjajoči vmesni silos, nato pa zapelje nad predpisani položaj za praznjenje.

Registracija dodatkov se avtomatično vnaša v računalnik in nato na šaržirni karton, ki ga piše računalnik.

4. Predvidena pa je tudi metoda injektiranja CaSi in mikrolegiranih dodatkov ter aluminija v obliki oplaščenih žic.

Shema teh postopkov sekundarne obdelave jekla v ponovci je prikazana na **sliki 3**.

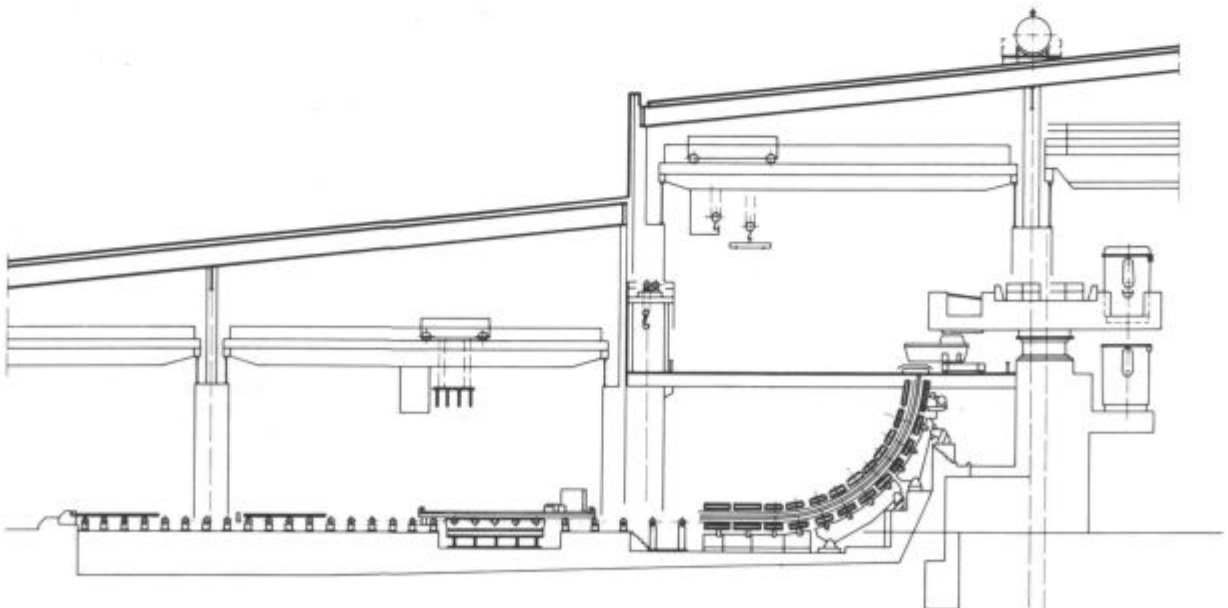
Karakteristični podatki naprave za kontinuirno vlivanje pa so prikazani v **tabeli 5**.

Tabela 5:

Karakteristike KL naprave

Dobavitelj:	Mannesmann Demag Hüttentechnik
Tip naprave:	krožno ločna — enožilna za vlivanje slabov
Premer krožnega loka:	10,5 m
Kapaciteta vmesne ponovce:	11,5 t
Metalurška dolžina:	21570 mm
Izmere slabov:	debelina 160, 200 in 250 mm širina od 800 do 1600 mm dolžina do največ 5,9 m maks 1,5 m/min.
Hitrost livanja:	

Jeklo teče iz glavne ponovce v vmesno ponovco (tundish), zaščiteno s keramično cevjo ob dodatku argona, tako da je v največji meri preprečena reoksidacija curka jekla. Hitrost livanja je odvisna od formata in od vrste jekla in se giblje od 0,9 do 1,3 m/min. Mrzla gredica se potem, ko pride žila iz vlečnega in ravnalnega stroja, avtomatično odpne. Razrez poteka avtogensko.

**Slika 8.**

Prečni presek naprave za kontinuirno vlivanje

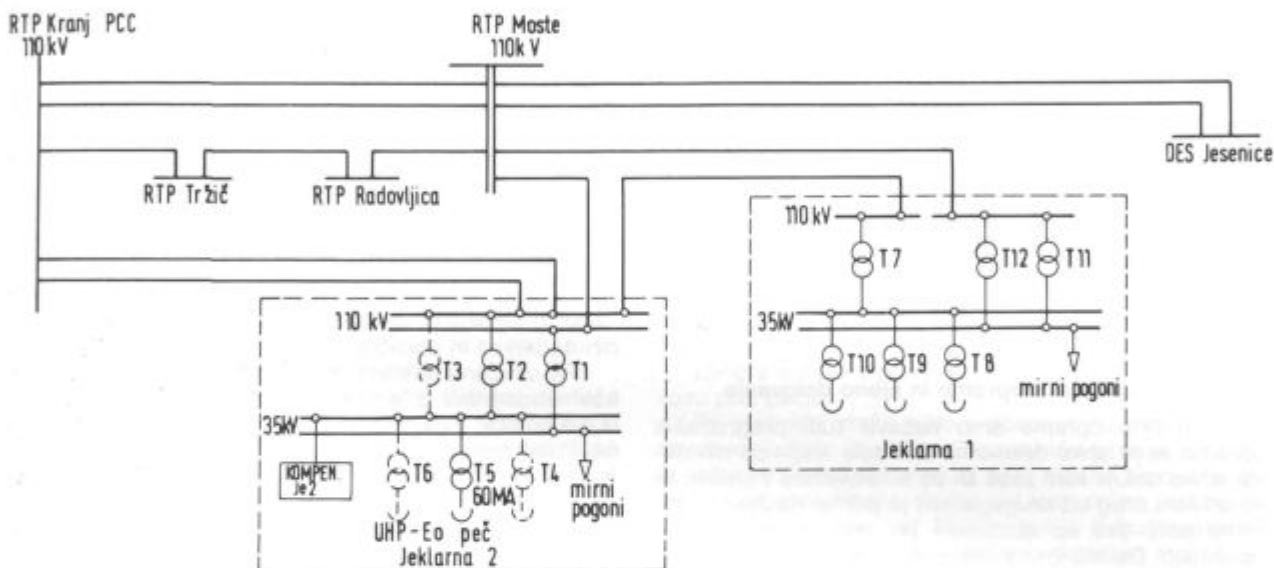
Fig. 8

Cross section of the continuous casting set-up

ELEKTROENERGETSKI OBJEKTI JEKLARNE 2

Pred izgradnjo jeklarne 2 je bila konična moč Železarne Jesenice 51,5 MW. Po izgradnji jeklarne 2 se je ta moč povečala za 47 MW na skupno 98,5 MW. Te moči obstoječe električno omrežje ni bilo sposobno prenesti od izvorov energije do porabnikov na Jesenicah. Na osnovi študije, ki jo je napravil elektroinstitut Milan Vidmar v Ljubljani, smo 110 kV električno omrežje za napajanje Železarne Jesenice rekonstruirali in ojačali.

Zgradili smo nov dvosistemski 110 kV daljnovod iz RTP 400/110 Okroglo — Jeklarne 2, ki služi za napajanje elektropeči v jeklarni 2, v vzankanem podaljšku pa še elektropeči ASEA in Lectromelt na Jesenicah. Za napajanje mirnih pogonov v jeklarni 2 pa smo vzankali v jeklarne 2 en obstoječi 110 kV daljnovod Moste—Jesenice, kar kaže **slika 9**.

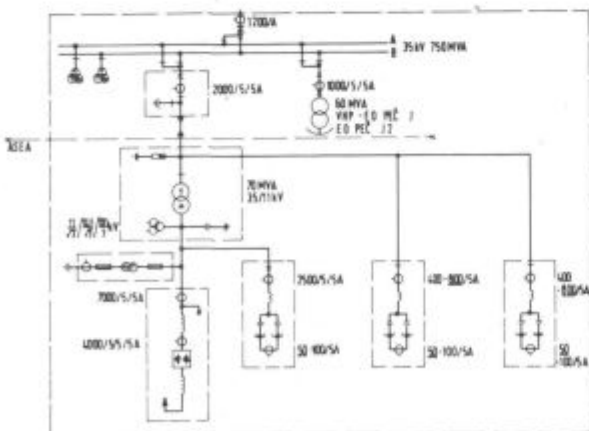


Slika 9.

Stikalna shema z električno energijo

Fig. 9

Switch system for electric energy



Slika 10.

Stikalna shema z električno energijo

Fig. 10

Switch system for electric energy

V jeklarni 2 smo zgradili naslednje elektroenergetske objekte:

1. *Razdelilno transformatorsko postajo 110/35/5 kV z dvosistemskimi zbiralkami na vseh treh napetostnih nivojih.* En sistem 110 kV zbiralk je preko transformatorja 75 MVA, 110/35 kV in 35 kV zbiralk za nemirne pogoje uporabljen za napajanje elektropeči s transformatorjem 60 MVA, 35/0,64 kV. Na iste 35 kV zbirake kot elektropeč je priključena tudi naprava za kompenzacijo jalove energije.

Drugi sistem 110 kV zbiralk je uporabljen za napajanje mirnih pogonov preko transformatorja 40 MVA, 110/35 kV. Na ta mirni 35 kV sistem sta priključena dva transformatorja po 10 MVA, 35/5 kV in dvojna zveza z obstoječo RTP Bela. Transformatorja 10 MVA, 35/5 kV služita za napajanje vseh pomožnih naprav na 5 kV in 0,4 kV napetostnem nivoju v jeklarni 2.

2. Sistem transformatorskih postaj 5/0,4 kV.

Za napajanje vseh pogonov na nizkonapetostnem nivoju 0,4 kV smo zgradili 5 transformatorskih postaj 5/0,4 kV. Locirane so v centru posameznih skupin porabnikov. V njih je vgrajenih 17 kosov transformatorjev 5/0,4 kV, moči 1 MVA.

3. Kompenzacija jalove energije

Elektropeč je velik porabnik jalove energije. Študija o napajanju jeklarne 2 z električno energijo, ki jo je izdelal elektroinstitut Milan Vidmar v Ljubljani, je pokazala, da bi jeklarne 2 brez naprave za kompenzacijo jalove energije povzročala nesprejemljive motnje ostalim porabnikom električne energije, ki so priključeni v skupni točki RTP Okroglo.

Zato smo zgradili dva sistema za kompenzacijo jalove energije. Prvi, statični sistem, je zgrajen na 5 kV zbiralkah v RTP 110/35/5 kV in služi za kompenzacijo vseh porabnikov na 5 kV in 0,4 kV napetostnem nivoju. Sestoji iz treh enot po 2,5 MVar. Vsako enoto vklapljam s svojim stikalom glede na potrebe jalove energije. Drugi sistem je dinamični in služi za kompenzacijo jalove energije elektropeči, kar kaže **slika 10**. Ta sistem se avtomat-

sko prilagaja potrebam jalove energije elektropeči. Njegova skupna moč je 90 MVAR. Razdeljena je v tri grupe, tako da kompenzira tudi drugo, tretjo in četrto višjo harmonsko komponento jalove energije.

NALOGE RAČUNALNIKA V JEKLARNI

Računalniško vodenje procesov jeklarnah, kakor tudi vodenje skupne porabe električne energije je dandanes nujno za racionalno poslovanje. Zato smo pri projektu jeklarne 2 predvideli tudi uporabo računalnika v stari elektrojeklarni — jeklarni 1.

Za računalniško vodenje smo nabavili vso potrebno aparaturno in programsko opremo.

Kratek opis strojne opreme

Za uspešno procesno vodenje je bilo potrebno nabaviti naslednjo računalniško opremo: dva glavna računalnika Digital-ova PDP 11/44, pet Allen Bradley-evih računalnikov PLC-3 (logičnih programiranih avtomatov), terminale, tiskalnike in komunikacijske naprave.

Dva računalnika sta nabavljena zato, da ob izpadu enega delo prevzame drugi. Zato je nabavljena tudi posebna komunikacijska oprema, ki to omogoča.

Pet programiranih logičnih avtomatov je nabavljenih zato, da nadzirajo in vodijo posamezne agregate, to so vse tri peči, kontiliv in vakuum. To so izvršilni organi procesnega računalnika. Na agregate so priklopljeni z digitalnimi in analognimi vhodno-izhodnimi karticami.

To je bil kratek opis nabavljene strojne opreme, ki pa brez programske opreme nič ne pomeni.

Opis programske opreme in njeno delovanje

S strojno opremo smo nabavili tudi programsko opremo, ki jo lahko delimo na štiri dele. Vsak od teh delov lahko deluje sam zase ali pa so povezani v sistem in so odvisni drug od drugega, kot je primer na Jesenicah. Posamezni deli so razdeljeni po tem, katere naloge opravljajo. Delimo jih na energetski del, ki ga pokriva Q-VAR, na metalurški del, ki ga pokriva AVTOMET, na kemijski del, ki ga pokriva AVTOKEM, in na komunikacijski del, ki dejansko omogoča delovanje celotnega sistema.

ENERGETSKI PAKET — Q-VAR

Ta del programske opreme sestavlja dva dela: programi za nadziranje konične porabe energije in programi za dovod energije v peč.

Potrebna strojna oprema so programirani logični avtomati (PLC-3) in vhodno-izhodne kartice na pečeh in v razdelilni transformatorski postaji.

Da lahko nadziramo in omejujemo porabo konične vrednosti energije, so potrebne meritve električne energije na posameznih pečeh in poraba za celotno tovarno. V programe pa vnesemo omejitve, ki nam jih narekuje pogodba z elektrogospodarstvom Slovenije (EGS). Omejevanje energije je postavljeno na fiksno periodo 15 minut. Če v tem času poraba presega dovoljeni odzvem, računalnik sam prične odklapljati peči. Vrsten red odklapljanja je takšen, da naredimo najmanj škode na tekoči šarži. Odklapljamo tisto peč, ki je v danem trenutku porabila najmanj energije.

S tem smo dosegli, da so peči odklopljene veliko krajši čas, kot je to lahko nadziral človek. Tu sta bila dva problema; človekova ocena, kdaj odklopiti agregat, in komunikacijski problem, telefoniranje na peč.

Pri nadzoru in dovajanju energije v peč za taljenje vložka in doseganju prebodne temperature moramo imeti na razpolago naslednje podatke: količino dovede-

ne električne energije, količino vpihanega kisika, težo vložka in dodatkov, izmerjene temperature, podatke o toplotnih izgubah in diagrame taljenja za različne vrste vložka.

Program izračuna potrebno energijo za taljenje posamezne košare in s pomočjo diagrama taljenja samodejno vodi taljenje. Talilec mora vklopiti peč, ker te funkcije računalnik nima zaradi varnostnih ukrepov, nato prevzame delo računalnik. Spreminja stopnje transformatorja in ob približevanju koncu taljenja posamezne košare pošilja sporočila. Na koncu taljenja košare peč tudi ustavi z dvigom elektrod. Talilca in žerjavovodjo opozarja na novo zakladanje in na konec taljenja, ko je potrebno izmeriti temperaturo in vzeti prvi vzorec. V času oksidacije in rafinacije sproti izračunava temperaturo in čas, ki je predviden do preboda.

S temi programi omogočamo zmanjševanje specifične porabe električne energije in elektrod. To dosežemo s tem, da računalnik forsira intenzivno taljenje. Ogrevanje taline pa vodi na takšni stopnji transformatorja, da ne povzroča prevelikega sevanja obločnega plamena na stene in s tem zmanjša izgube. Poleg tega pa opozarja talilca, kdaj je talina ogreta na prebodno temperaturo in ni običajnega pregrevanja taline. S temi programi standardiziramo način dela na peči.

METALURŠKI PAKET — AVTOMET

Ta del programske opreme sestavljajo trije večji sklopi programov: izračun sestave vložka, izračun legiranih dodatkov in poročila.

Pri izračunu sestave vložka ne potrebujemo podatkov neposredno iz jeklarne, ker programi v glavnem delajo s podatki v datotekah. Vendar pa morajo biti te ažurne. V datotekah moramo imeti podatke o vrstah, sestavi, količini in ceni vložka, enake podatke o legurah in jeklih ter podatke o naročenih kvalitetah.

Program računa sestavo vložnih materialov glede na razpoložljivo količino in ceno materialov in glede na sestavo jekla, ki je naročeno. Ko je izračun gotov in izračunani materiali pripravljene za zakladanje v peč, se ažurirajo vse datoteke.

Pri izračunu dodatkov v peč potrebujemo obvezno tudi podatke iz kemijskega laboratorija. Po prvi analizi nam izračuna dodatke karburita in FeMn, če sta potrebna za pravilno sestavo prve analize, in količino kisika, ki ga moramo vpihati v talino, da izvedemo pravilno oksidacijo. Po oksidaciji pa nam izračuna dodatke ferolegur. Pri izračunu ferolegur imamo dva načina izračuna: predlegiranje za elemente, ki ne odgorevajo, in končno legiranje, ki je razdeljeno na dodatke v peč in ponovco.

Pri legiranju program vedno jemlje tiste legure, ki so na skladišču in ki so za izdelavo določene kvalitete najcenejše. Zato je dobro, če imamo na zalogi večkomponentne legure, ker so običajno cenejše.

Poročila, ki jih ti programi dajejo, so saržni karton in poročilo o stanju zalog ferolegur.

S tem paketom programov omogočamo talilcu lažje delo, ker za izračun skrbi računalnik. Druga prednost je, da je raztros kemičnih analiz jekel veliko ožji in je možno s statističnimi analizami ugotavljati, kakšne spremembe so potrebne za doseganje boljših mehanskih lastnosti. Poleg tega se spremeni struktura porabe legiranih elementov, saj večino legur poskušamo dobiti v jeklo preko legiranega vložka in ne preko čistih in dragih ferolegur. Namesto dragih čistih ferolegur. Namesto dragih čistih ferolegur se uporabljajo cenejše, večkomponentne legure.

KEMIJSKI PAKET — AVTOKEM

S tem manjšim programskim paketom skrbimo, da v jeklaro pošiljamo kemične analize. Za poslani vzorec naredimo na spektrometru analizo in to pošljemo v jeklaro brez prepisovanja. Tako je podatek veliko bolj zanesljiv in istočasno dobi talilec na ekran odstopanja od analiznega predpisa. Tako po vsaki analizi ve, ali je analiza že v meji in kakšno je nadaljnje delo.

Za potrebe kemijskega laboratorija računalnik naredi poročila in jih izpiše na tiskalniku. S tem omogočimo opuščanje ročnega pisanja različnih knjižic in statistik.

Za vsemi tremi sklopi programov stoji program, ki je nekakšen stimulator poteka na peči. Program se imenuje FURNACE TRACKING. S pomočjo tega programa omogočimo, da posamezne sklope programov povežemo v neko celoto. Podatki se prenašajo iz enega področja na drugega in procesno vodenje resnično postane procesno.

KOMUNIKACIJSKI PAKET

Vsak ta program zase ne bi pomenil nič, če jih ne bi uspeli povezati z dobavitelji podatkov (PLC-3, terminalni in spektrometer). Za to povezavo skrbijo trije komunikacijski programi, NET-13, WKEenn in TIP.

NET-13 je komunikacijski program, ki povezuje procesni računalnik s PLC-3 računalniki. Komunikacija teče v obe smeri, kar je potrebno, če želimo proces voditi zares računalniško.

Program oskrbi procesni računalnik z vsemi potrebnimi podatki, ki se po obdelavi vračajo kot ukazi, ki jih PLC-3 s pomočjo izhodnih kartic izvrši.

WKEenn komunikacijski programi skrbijo, da teče povezava med procesnim računalnikom in računalniki, ki se nahajajo ob spektrometrih. S to povezavo oskrbimo celotni sistem s kemičnimi analizami brez pretipkavanja. S tem dosežemo bolj zanesljive podatke in prihranimo veliko truda ljudem pri prepisovanju analiz.

TIP ni ravno komunikacijski program, ker ga uporabljamo zgolj za povezavo terminalov v mrežo menijev. Program skrbi za pravilno izvajanje posameznih nalog na terminalu in omogoča enostavno uporabo procesnega

računalnika pri uporabnikih. Delo z meniji je enostavno in ne zahteva posebnega predznanja uporabnikov. Poleg tega pa štiti sistem, ker preko menijev ni možno vstopati v druge naloge, kot so napisane v meniju.

Sistem procesnega računalnika, ki je postavljen na Jesenicah, resnično omogoča procesno vodenje. Sam sistem ni narejen tako, da bi bil zaprt, ampak se je mogoče s spremembami v programih in z novimi programi razširiti in spremeniti, da ustreza zahtevam jeklarne.

Shematski prikaz programske opreme računalnika na Jesenicah je prikazan na sliki 11.

KRATEK OPIS POSTOPKA IZDELAVE ŠARŽE

Elektroobložna peč

Potem, ko je založena prva košara, računalnik po posebnem programu vodi taljenje v peči. Računalnik izračuna za težo posamezne košare potrebno količino energije in da signal, preden je ta energija porabljena, da pripravijo naslednjo košaro za zakladanje. Ko je izračunana energija porabljena, dvigne elektrode in odpre obok.

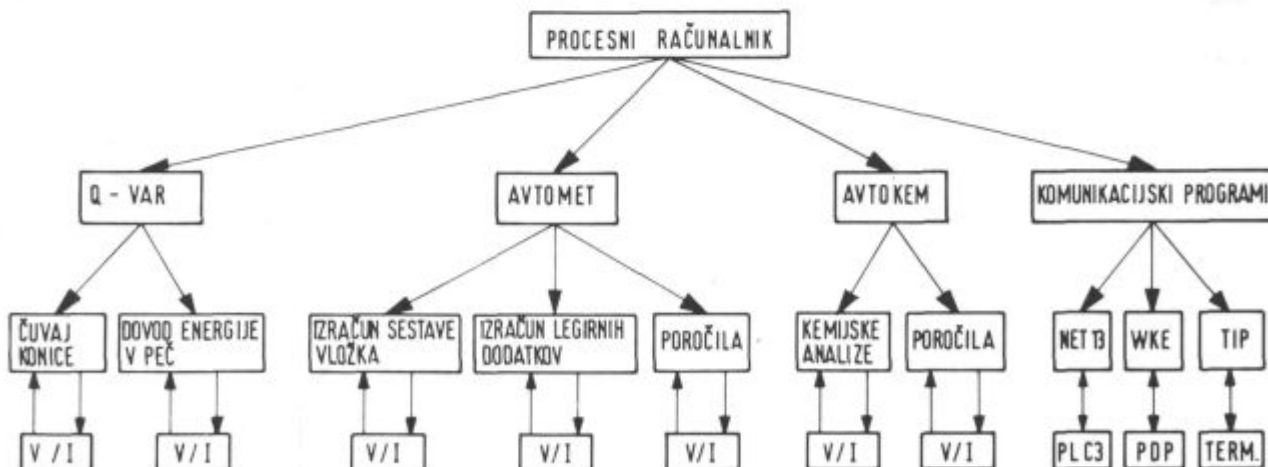
Ko je taljenje končano, to je po prvi meritvi temperature, računalnik sam preklopi v fazo rafinacije in vodi segrevanje taline do željene prebodne temperature.

Pri taljenju si pomagamo z vpihovanjem kisika, predvsem za rezanje ostankov strega železa ob vratih. Potem, ko je raztaljeno z vpihovanjem C v žilindro, skrbimo za tvorjenje peneče žilindre.

Pomembno za delo v peči je zadeti pravilno vsebnost ogljika pri tistih vrstah jekla, ki jih v vakuumu razogljčimo, ter segrevanje taline na pravilno temperaturo.

Žilindra odteka v ponev za žilindro, ki je na posebnem vozu pod pečjo.

Pri preobodu izteče jeklo v ponovco na vozu, ki služi za prevoz v halo vlivališča. Ekscentrični prebod omogoča ločenje žilindre od jekla. V peči ostane še ca. 15 ton jekla in ostanek žilindre. Kadar peč izpraznimo, imamo na ponovci vso žilindro. Več žilindre, kot je dopustno, priteče iz peči tudi, kadar je prebodna odprtina močno izrabljena. V teh primerih je potrebno posneti žilindro iz ponovce, preden gre jeklo v nadaljnjo sekundarno obdelavo.



Slika 11.

Schema procesnega računalnika in povezave

Fig. 11

Scheme of process computer and connections

Obdelava jekla v ponovci

Obdelava jekla v ponovci je najpomembnejši del izdelave jekla. Od pravičnega dela po odlitju jekla je odvisna stopnja odžveplanja in splošna čistoča, ki je za kvaliteto slaba, in dalje valjanca, izredno pomembna.

Vse šarže obdelamo v vakuumski napravi, kjer jeklo rafiniramo. Glavni način obdelave je degazacija z odžveplanjem, pri jeklih za globoko vlečenje in elektrotehnične namene pa tudi razogljčenje. Tiste vrste jekel, pri katerih je zahtevana majhna vsebnost žvepla in imajo sposobnost robljenja, po degazaciji obdelamo še na TN napravi s CaSi, da zagotovimo modifikacijo nekovinskih vključkov.

Končna faza vsake sekundarne obdelave jekla v ponovci je nastavitev pravilne temperature pred livanjem. Potem, ko je dosežena željena temperatura, pokrijemo talino z izolacijskim pepelom in ponovco s pokrovom, da zmanjšamo izgube temperature med vlivanjem.

Vlivanje

Kontinuirno vlivanje slabov je normalen način vlivanja. Kontinuirno vlivanje zagotavlja visok jeklarski izkoristek, pa tudi kvaliteta jekla je boljša, ker je curek jekla ves čas zaščiteno pred reoksidacijo z okoliškim zrakom s keramično zaščitno cevjo ob dodatku argona od ponovce do vmesne ponovce in dalje z izlivkom do kokile.

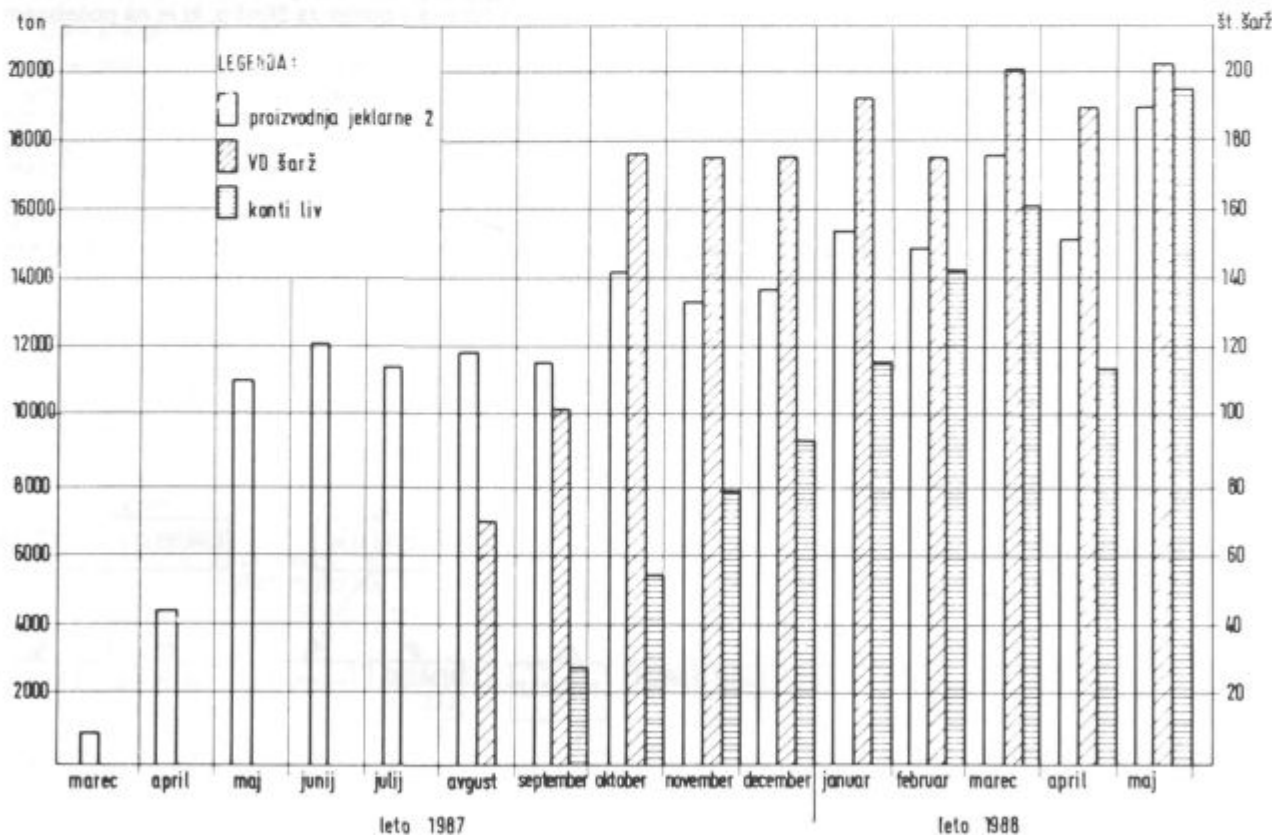
PROIZVODNI IN KVALITETNI REZULTATI

V času naše obravnave je poteklo 10 mesecev od začetka obratovanja vakuumske naprave in 9 mesecev od začetka obratovanja naprave za kontinuirno livanje ter 14 mesecev od začetka obratovanja EO peči.

Proizvodni kazalniki so za naše razmere dobri. Zagon in obratovanje UHP-EO peči, ki je v veliki meri avtomatizirana in računalniško vodena, zahteva drugačen odnos do dela proizvodnih delavcev, pa tudi vzdrževalcev teh naprav, kot pa smo ga bili vajeni na starih pečeh. Peč z visoko storilnostjo zahteva hitro ukrepanje ob okvarah, mrtvi časi naj bodo čim krajši. Tako eni kot drugi so si morali nabrati potrebnih izkušenj. Največ težav je bilo na sami peči, pa tudi na kontilivu, kjer je potrebno vsa dela opraviti z veliko natančnostjo in vestnostjo. Vakuumska naprava je mnogo enostavnejša, poleg tega smo imeli dovolj izkušenj že s staro napravo, ki je tej podobna, zato ni povzročala nobenih zastojev v proizvodnji. Količinska proizvodnja je bila manjša tudi zaradi nezadostne nakladalne zmogljivosti enega samega žerjava v starem železu.

Kako se je gibala proizvodnja po mesecih, je razvidno s **slike 12**.

Kvaliteta jekla je bila, dokler smo delali jeklo brez prave sekundarne obdelave v ponovci, nezadovoljiva, s precej izmečka zaradi različnih jeklarskih napak, ki so se



Slika 12.

Gibanje proizvodnje Jeklarne 2

Fig. 12

Output results of the steel plant

ka v njem. Talina mora kuhati do preboda. To pomeni, da moramo odliti jeklo nepomirjeno. Vsebnost dušika še dalje pada med razogljčevanjem v vakuumu. Zato, da bi dosegli dovolj majhne vsebnosti N v jeklu za globoko vlečenje, mora biti več kot 0,40 % C v jeklu ob raztalitvi. Potem pa to jeklo v vakuumu še dalje razogljčujemo do pod 0,010 %, s čimer še dalje znižujemo dušik.

Vsebnost dušika se giblje v zelo širokem razponu od 30 pa do 110 ppm, pri čemer znaša srednja vrednost za dinamo jeklo 45 ppm, za ostale vrste jekel pa 68 ppm.

Izkoristki

Kontinuirno vlivanje zagotavlja znatno višji izkoristek jekla od vlivanja v kokile. Razmere v pogledu izkoristka jekla so se v Železarni močno izboljšale, odkar je napra-

va za kontinuirno livanje v polnem obratovanju, to je od januarja 1988 dalje.

Primerjavo izkoristkov za star način vlijanja v kokile in za kontinuirno livanje podajamo v tabeli 8 za izkoristek tekočega jekla pri valjanju od brame direktno v toplo valjani trak ter iz kontinuirno vlitega slaba v toplo valjani trak.

Tabela 8: Primerjava izkoristkov pri starem načinu livanja in kontinuirnem livanju

Način vlijanja	Izkoristek v %
Tekoče jeklo — blok (brama)	93—94 %
tekoče jeklo — KL slab	95 %
brama — toplo valjan trak direktno	84 %
KL slab — toplo valjani trak	96—97 %

ZUSAMMENFASSUNG

In Jesenice stand das Siemens-Martin Stahlwerk schon seit Jahre 1890. Mit der Ausnahme der zwei 80 t Öfen die in den Jahren 1953 bzw. 1958 gebaut wurden waren alle anderen vier Öfen veraltet und vollkommen ausgenutzt. Die Idee über den Austausch des SM Verfahrens durch die Gewinnung von Stahl in Elektrolichtbogenöfen entstand in den siebziger Jahren. Die Produktionskosten im alten SM-Stahlwerk waren zu hoch. Die braunen Gase aus den hohen Schornsteinen haben die Umgeung zu stark verunreinigt, was nicht mehr zulässig war.

Die Entwicklung leistungsfähiger Elektrostahlwerke und besonders die schnelle Entwicklung der Stranggiestechnik haben die Entscheidung über den Bau eines Elektrostahlwerkes in Jesenice beschleunigt. Wichtig war noch die grosse Entfernung der Rohstoffe, die Einfuhr von Energie — Koks und die hohen Transportkosten für die grossen Rohstoffmengen.

Die Orientierung des Hüttenwerkes Jesenice für die Produktion von Qualitätsstählen war durch SM Stahl nicht möglich. Für die Produktion von nichtrostenden Stählen, Stählen für elektrotechnische Zwecke, von niedriglegierten, mikrolegierten und Kohlenstoffstählen mit hohem Reinheitsgrad können nur Lichtbogenöfen in Zusammenhang mit den Anlagen für die Sekundärbehandlung von Stahl angewendet werden.

Für die geplante Jahresproduktion von 210.000 t Stahl ist ausgewählt worden:

— Ein UHP Lichtbogenofen mit Erkerabstich mit einer Kapazität von 85 t Flüssigstahl und 60 MVA Trafoleistung.

— VD/VOD Vakuumanlage für die Pfannenbehandlung von Stahl, und

— TN Anlage für die Sekundärbehandlung von Stahl durch CaSi und syntetische Schlacken,

— Stranggiessanlage für Brammen für die Breite von 800 bis 1600 mm und 160, 200 und 250 mm Dicke und grösster Länge von 5,9 m.

Das Stahlwerk ist am grünen Feld, Belško polje genannt aufgestellt worden, was aus Bild 1 und 2 ersichtlich ist.

Der Stahl wird nach dem Duplex Verfahren erzeugt wobei im Lichtbogenofen die Einschmelzung, die Entphosphorung und

die Überhitzung von Stahl auf die nötige Abstichtemperatur verläuft. Die Abstichttemperaturen schwanken abhängig von der Stahlsorte von 1720 bis 1760° C.

Die gesamte Stahlmenge wird an der Vakuumanlage nach dem VD bzw. VOD Verfahren, wenn nötig auch noch an der TN Anlage durch CaSi zur Modifikation von nichtmetallischen Einschlüssen behandelt. Es bestehen zwei Gründe für die konsequente Behandlung von Stahl nach dem VD/VOD Verfahren und zwar:

— Zusicherung eines hohen Reinheitsgrades von Stahl,

— ausreichende Homogenisierung von Stahl und Einstellung des Temperaturgleichgewichtes zwischen der Pfannenausmauerung und der Schmelze, wodurch eine genaue Einstellung der Giesstemperatur mit kleinster Überhitzung möglich wird.

Dies beides garantiert eine hohe Qualität der Stranggegossenen Brammen, sowohl der Oberfläche wie auch der Innenbeschaffenheit.

Der Lichtbogenschmelzofen ist am 13. 3. 1987 in Betrieb genommen worden. Für unsere Verhältnisse ist die Produktion mengenmässig schnell genug gewachsen.

Die Vakuumanlage ist Anfang August ohne Schwierigkeiten in Betrieb genommen worden, und die Stranggiessanlage Anfang September 1987.

Nach und nach wurden Schicht für Schicht eingeführt so wie die Arbeiter von der stillgelegten Betrieben — Hochofen und SM-Stahlwerk, nachgekommen sind.

Die Qualitätsparameter sind sehr gut sowohl in Hinsicht der Stahlqualität wie auch in Hinsicht der Ausnutzungsgrade beim Stranggießen und Walzen von Brammen.

In den nächsten Jahren ist die Aufstellung eines Pfannenofens geplant, wozu schon der Platz zur Verfügung steht. Die reine Stahlqualität wird damit noch weiter steigen können, die Zuverlässigkeit des Stranggiessens wird grösser und das Sequenzgiessen von zwei oder drei Schmelzen wird dadurch möglich.

SUMMARY

In Jesenice the old open-hearth-furnace plant operated since 1890. Two 80 ton furnaces were actually built in 1953 and 1958 but the other four were old and completely exploited. The idea to substitute the open-hearth process in steelmaking by electric arc furnaces appeared in the seventies. Steel production costs in the old open-hearth plant were too high, the flue

materials, import of coke, and high transport costs for a great amount of raw materials must be emphasized too.

Orientation of the Jesenice Ironworks into high quality products was not possible with the open-hearth furnaces. Only electric arc furnaces with equipment for secondary steel treatment in ladle enable the making of stainless, electrical, lowalloy-

ed, micro-alloyed, and high-purity carbon steels.

To achieve the planned yearly production of 210,000 ton steel, the following equipment was chosen:

- UHP electric arc furnace with capacity 85 tons molten steel, with eccentric tapping, having 60 MVA power,

- vacuum set-up of VD/VOD type for treating steel in ladle,

- TN equipment for treating steel with powdery materials (CaSi and synthetic slags),

- equipment for continuous casting of slabs, 800 to 1600 mm wide, and 160, 200, or 250 mm thick, and with lengths up to 5.9 m.

The steel plant was built anew, on Belško polje, as shown in Figs. 1 and 2.

Steel is manufactured by a duplex process where EAF is the melting set-up, used for dephosphorisation and to heat the melt so high that temperature drops during subsequent treatment in ladle are compensated. Tapping temperatures depending on steel qualities are between 1720 and 1760°C.

All steel is treated in the vacuum set-up by the VD or VOD gases from high stacks caused high pollution of the surroundings with brownish smoke which could not be tolerated.

Development of electric steelmaking plants with high capacities, and especially the fast development of the continuous casting process accelerated the decision to erect a new electric steelmaking plant in Jesenice. Further, remoteness of raw

process, but it can be additionally treated also in the TN set-up by CaSi if non-metallic inclusions must be modified. There are two reasons for consistent treatment of steel by the VD process:

- achievement of high steel purity, and
- sufficient homogenization of steel and achievement of temperature equilibrium between the ladle lining and melt which enables the accurate setting of casting temperature at low overheating.

This period ensures the high quality of continuously cast slabs in the regard of the surface quality and of the internal homogeneity.

Electric arc furnace started to operate on May 13, 1987. The output increased rapidly enough for our conditions.

The vacuum set-up was set in operation in the beginning of August without any problems. The equipment for continuous casting started to work in the beginning of September 1987.

Gradually shift groups of workers were introduced into new work as the workers came from the blast-furnace and the open-hearth plant where operation was closed down.

The quality parameters are very good in respect to the steel quality and yields in continuous casting and subsequent rolling.

In the future erection of ladle furnace is planned, and the place for it is already prepared. Thus the steel quality and reliability of continuous casting will be further improved, and a sequence casting of two or three heats will be enabled.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В промышленном городе Есенице (Словения) первая мартеновская печь сооружена 1890 года. С исключением двух печей объёма 80-ти тонн, которые были сооружены в 1953 и 1958 годах, это были стареющие печи вполне израсходованные. Мысль о изменении мартеновского процесса с получением стали в электрических дуговых печах возникла в семидесятых годах. Расходы производства стали в старом мартеновском цехе были слишком высокие, а отработавшие газы из высоких труб сильно загадили окрестность с буроватым дымом, свыше разрешенной меры. Развитие электрических дуговых печей высокопроизводительности, к этому ещё послешное развитие непрерывного литья ускорили заключение о постройке электросталеплавильного цеха в металлургическом заводе Железарна Есенице. К этому надо также добавить расстояние от сырья, т. е. подвоз кокса и высокие расходы для большого количества прочего сырья.

Устремление металлургического завода Железарна Есенице, что касается качества производства мартеновской стали также не была возможна, так как производство нержавеющей сталей, сталей для электротехнических назначений, малолегированных и микролегированных, а также и малоуглеродистых сталей большой чистоты возможны только дуговые электрические печи с устройством для вторичной обработки стали в ковше.

Для запланированного годового производства стали веза прибл. 210.000 тон мы выбрали:

- электрическую дуговую печь объёма 85-ти жидкой стали силы 60-ти мвт с эксцентрическим выпуском;

- вакуумная установка типа VD/VOD для обработки стали в ковше, также

- TN устройство для обработки стали с порошковыми материалами (CaSi и синтетический шлак);

- устройство для непрерывного литья слэббов в ширине 800 до 1600 мм и толщины 160, 200 и 250 мм, длины не более 5, 9 м.

Сталелитейный завод мы соорудили на зелёном поле, именованное Бельшко поле, что видно на рис. 1 и 2.

Производство стали ведётся дуплекс процессом, причём электродуговая печь служит только для плавления, для уда-

ления фосфора и для перегрева на температуру, которая должна так высока, чтобы покрывала потерю тепла во время вторичной обработки стали в ковше. Выпускные температуры находятся в зависимости от сорта стали от 1720-ти до 1760-ти °C.

Сталь, обработанное в вакуумном устройстве по VD способу, отн. по способу VOD, добавочно также ещё на TN устройстве с порошковатым CaSi а, если необходимо, также модификация неметаллических включений. Две причины способствуют последующей обработки стали VD способом, а именно:

- гарантируют высокую чистоту стали и
- удовлетворительную гомогенизацию и устанавливает температурное равновесие между облицовки ковша и расплава, что позволяет точно выполнить настройку температуры литья с небольшой разницей перегрева.

Этот период процесса гарантирует высокому качеству непрерывно отлитых слэббов не только что касается их поверхности, а их внутренней гомогенности.

Электрическая дуговая печь была введена в эксплуатацию 13. 3. 1987 года. Количество производства стали, что касается наших обстоятельств, довольно быстро увеличивалась.

Вакуумное устройство взято в эксплуатацию в начале месяца августа без всяких затруднений. Устройство для непрерывного литья введено в работу в начале месяца сентября того же года.

Постепенно мы вводили в работу смену за сменой рабочих из мартеновского и цеха доменной печи, в которых работа была прекращена.

Что касается качества показатели очень благоприятны, также прихода непрерывного литья и последующий прокатки.

В последующих годах у нас намерение соорудить ковшевые печи для которых уже приготовлено место. Таким образом мы ещё лучшим качеством стали, увеличили надёжность непрерывного литья и дала возможность также последовательно выполнять литьё двух до трёх завалок.



Silka 1:
Fig. 1:

**Technologie-
verknüpfung:
Verfahren –
optimieren –
Vorsprung
schaffen**

Die Verknüpfung von Prozesstechnologien führt zu Verfahrenslösungen mit neuen Dimensionen von Qualität und Produktivität, führt zu technologiekonzepten zur profitablen Gewinnung und Erzeugung von Eisen und Stahl.

Innovationsfähigkeit hat bei Mannesmann Demag Hüttentechnik traditionell interdisziplinär arbeitende Fachabteilungen für Verfahrenstechnik und Maschinenbau, Elektrotechnik und Hydraulik, für Automation, Meß-, Steuer- und Regeltechnik, Wasserwirtschaft, Energieerückgewinnung und Umweltschutz. Zusammenarbeit für optimale Verfahren, neue Produkte und Leistungen.

Zum Beispiel arbeiten heute weltweit bereits über 50 Elektrostahlwerke mit der von Mannesmann Demag Hüttentechnik entwickelten Demag-EBT-Technologie.

Dieses neue Konzept des schlackenfreien Abstrichs aus dem EBT-Lichtbogen-Schmelzaggregat sowie die nachgeschalteten planmetallurgischen Arbeiten sind der starke Trend in der Elektrostahlindustrie.

EBT-Lichtbogen-Schmelzöfen als reine Einschmelzmaschine mit Sumpffahrweise und schlackenfreiem Abstrich, in Kombination mit Planmetallurgie.



EBT-Lichtbogen-Schmelzöfen



EBT-BO-BO-BO-BO-BO



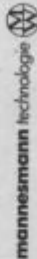
Planmetallurgie - Planung in Abstrichverfahren

mit Entschwefeln, Zulegieren, Fertigmachen, Temperatur einstellen oder Pufferbildung bei Betriebsstörung ohne große Produktionsverluste.

Allein für 1987 lassen sich durch Auftragserteilungen, Montagebeginn und Inbetriebnahmen komplexer Minihüttenwerke, wie auch von Ofen- und -umbauten,

TAMISA, Mexiko; EBT/LBO, LHF, CCP, Zelaya, Japanece, Jugoslavien; EBT, TN, VOD, CCP

New Jersey Steel, USA; EBT, LHF, CCP; Nucor Steel, USA; 2 x EBT, Sidor, Venezuela; 3 x EBT, 1 x LHF, Siderca, Argentinien; EBT, LHF, CCP, ALZ, Belgien; EBT, MRP, VOD



mannesmann technologie

Mannesmann Demag Hüttentechnik
Metallgewinnung
Postfach 10 15 07
Wolfgang-Rauter-Platz
4100 Duisburg 1
Telefon (0203) 6 05-1, Telex, 8 55 855



Slika 2:
Fig. 2:

Vpliv alkalnih karbonatov na redukcijo železovih oksidov

G. Todorovič*, B. Dobovišek*, J. Lamut*, L. Šketa**, M. Tolar**

UDK: 669.162.263.232:669.88

ASM/SLA: D1, D11n, EGe

Termodinamične osnove redukcije železovih oksidov so že znane v strokovni literaturi. Vendar vpliva na poteko redukcije vrsta dejavnikov, ki se od procesa do procesa spreminjajo, kar posebno velja za procese v plavžu. Da bi redukcija potekala čim hitreje, se mora pospešiti izmenjava kisika med reducentom in železovimi oksidi. Te procese lahko pospešujejo katalizatorji, kot so alkalni karbonati. Zmanjšujejo temperaturo začetne redukcije in povečujejo hitrost redukcije železovih oksidov.

V tem članku bomo obdelali vpliv alkalijskih karbonatov na redukcijo železovih oksidov in njihovo porazdelitev v plavžu.

1.0. UVOD

Alkalije prihajajo v plavž z vložkom, to je s koksom, sintrom in rudo v približno enakih količinah. Obnašajo se v plavžu približno enako, čeprav so natrijeve spojine nekoliko bolj stabilne kot kalijeve. Zapuščajo plavž v glavnem z žilindro, toda manjši del izpareva in odhaja v obliki prahu s plavžnimi plini. Drugi del ostaja v plavžu, kjer kroži in dela nasedline z drobnimi komponentami vsipa v sedlu in spodnjem delu jaška plavža. Občasno se dogaja, da tečejo alkalije skozi prebodno odprtino.

Pri procesih proizvodnje grodija poteka cela vrsta kemičnih reakcij v trdnem, tekočem in plinskem stanju z različno hitrostjo. Poleg kemičnih sprememb se vršijo tudi fizikalne, in sicer med reaktanti in produkti v posameznih fazah procesa. Redukcija železovih oksidov z dodatkom alkalnih karbonatov se kaže v tem, da se aktivira površina železovih oksidov ali kristalna mreža grafitu in se s tem povečuje njegova redukcijska posobnost.

Spojine, ki nastajajo z alkalijami v plavžu, so v glavnem silikati, cianidi, karbonati, oksidi in sulfidi.

2.0. REDUKCIJA ŽELEZOVIH OKSIDOV

Termodinamične osnove redukcije železovih oksidov s plinskimi reducenti so že znane, vendar na kinetiko redukcije železovih oksidov vpliva vrsta dejavnikov, kot so:

temperatura, pritisk, hitrost strujanja plina, sestava redukcijskega plina, kemična in mineraloška sestava rude, velikost zrna, poroznost rudnih delcev itd. V glavnem vsi ti dejavniki vplivajo hkrati in je potrebno pri zasledovanju kinetike redukcije nekatere od njih postaviti tako, da imajo minimalen vpliv, in enega ali dva, da izrazito prevladujeta. Vpliv posameznih dejavnikov se pogosto med seboj tako prepleta, da jih je težko ločiti. To posebej velja za plavžno atmosfero, ki predstavlja heterogen sistem.

Mehanizem redukcije s plinskimi reducenti, ki prihajajo iz tališnika plavža in na poti do žrela prehajajo skozi vsip in reagirajo z njim, predstavlja proces, ki poteka preko adsorpcije plinskih reducentov na površini rudnih delcev. Na površinskem adsorbiranem sloju se molekule reducenta deformirajo, čeprav je kontakt med staro in novo nastalo fazo tako tesen, da plinski reducent nima direktnega dostopa do reakcijskega prostora. Nekateri avtorji so že dokazali, da se železni oksidi reducirajo s prenosom ionov železa in elektronov nad temperaturo 575° C ter, da je hitrost tega prenosa tako velika, da ni najbolj vplivni dejavnik na hitrost redukcije. Na hitrost redukcije vpliva najpočasnejša reakcija, to je redukcija wüstita. Redukcija pod temperaturo 575° C poteka tudi z difuzijo ionov železa in elektronov, brez prisotnosti wüstita kot ločene faze.

Pri redukciji hematita nastaja magnetit kot vmesna faza med hematitom in wüstitom. Pri tem se reducirajo kisikovi ioni in nastajajo Fe²⁺ ioni, ki delno difundirajo do kovinskega železa, kjer se nevtralizirajo in vgrajujejo v njegovo rešetko. Del Fe²⁺ ionov difundira do fazne meje Fe/Fe₃O₄ in tvori molekule FeO. Preostali del Fe²⁺ ionov nadaljuje z difuzijo do fazne meje Fe₃O₄/Fe₂O₃ pri čemer se iz hematita tvori magnetit. Na wüstitno fazo prihaja plin in odstranjuje kisik iz oksida. Zaradi te reakcije se rešetke wüstita v lokalnem mikropodročju prenasiti s Fe²⁺ ioni, ki zaradi nastalega koncentracijskega gradienta difundirajo v področje, v katerih je koncentracija Fe²⁺ ionov manjša.

V času redukcije je stalno prisoten sloj magnetita in wüstita. Oksidne plasti se tvorijo v odvisnosti od hitrosti redukcije v trdni in plinski fazi na osnovi stehiometričnih odnosov.

Te procese lahko pospešimo z ustreznimi katalizatorji, s katerimi se pospeši izmenjava kisika med reducentom in železovimi oksidi. Tako pospeševanje redukcije se doseže z alkalnimi karbonati, ki se verjetno pri določenih temperaturah vgradi v kristalno mrežo oksidov ali pa trdega reducenta in s tem pospešujejo redukcijo.

* Gojko Todorovič, dipl. inž. met., Metalurški inštitut Ljubljana

* B. Dobovišek, J. Lamut, Univerza E. Kardelja, VTOZD Montanistika, Ljubljana

** L. Šketa, M. Tolar, Železarna Jesenice

*** Originalno objavljeno: ŽZ 22 (1988) 3

**** Rokopis prejeto: 1988-04-06

2.1. REDUKCIJA HEMATITNE ŽELEZOVE RUDE Z DODATKI K_2CO_3 IN Na_2CO_3

V tem članku bomo prikazali, kako vplivata K_2CO_3 in Na_2CO_3 na redukcijo hematitne rude z relativno slabo reaktivnim petrokoksom. Poskusi so izvršeni tako, da je mešanica rude, petrokoksa in karbonatov ogrevana v atmosferi čistega dušika. Na ta način raziskujemo vpliv različnih dodatkov alkalnih karbonatov na stopnjo redukcije hematitne rude. Petrokoks je imel naslednjo kemično sestavo: vlaga — 1,71 %, hlapno — 3,36 %, pepel — 0,81 %, C_{fix} — 94,12 % in S_{cel} — 1,35 %. Bogata hematitna ruda pa je imela naslednjo sestavo: Fe_2O_3 — 95,55 %, FeO — 1,41 %, SiO_2 — 1,96 %, Al_2O_3 — 0,26 %, CaO — 0,14 %, MgO — 0,05 %, MnO — 0,01 %, P_2O_5 — 0,045 %, S — 0,05 % in izgube pri žarjenju 0,18 %.

Laboratorijski poskusi¹ so izvršeni v elektrooporovni peči. Železova ruda in petrokoks sta mešana v razmerju 2:1. Da bi med redukcijo ne prišlo do oksidacije reaktivnih produktov, so poskusi opravljeni v zaščitni atmosferi čistega dušika. Poskusi so izvršeni pri temperaturah 600, 700, 800 in 900 °C. Vzorci so najprej reducirani brez dodatkov, nato pa z dodatki 3,5 in 10 % K_2CO_3 in Na_2CO_3 . Proces ogrevanja pri določeni temperaturi je trajal 1 uro. Vzorci so bili nato analizirani na Fe^{2+} , Fe^{3+} in Fe_{kov} in iz teh podatkov je izračunana stopnja redukcije. Odpravljene in celotni kisik se nanašata na kisik, vezan na železo. Rezultati redukcije z dodatki alkalnih karbonatov so prikazani v tabelah 1 in 2, grafično predstavljeni na slikah 1 in 2.

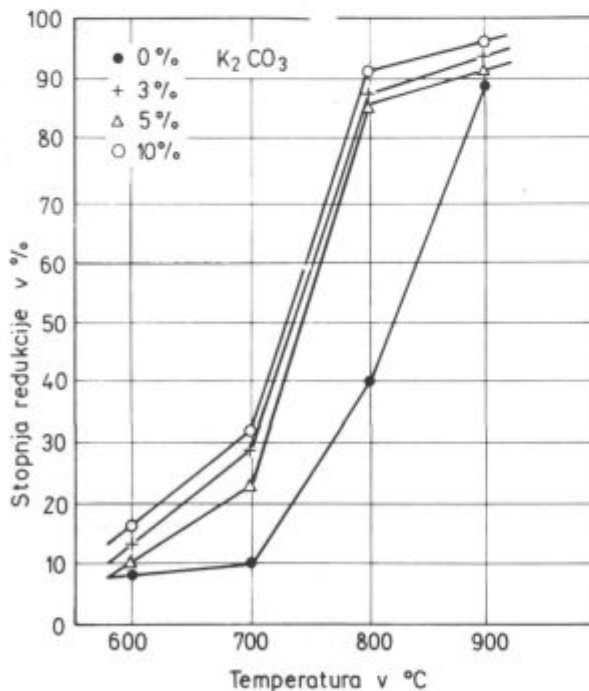
Na sliki 1 je prikazana odvisnost stopnje redukcije od temperature pri različnih dodatkih K_2CO_3 . Pri 600 °C dodatek K_2CO_3 zelo malo vpliva na stopnjo redukcije železove rude, saj je bila razlika med poskusi brez dodatkov in z dodatkom 10 % K_2CO_3 samo 3,4 %. Ta razlika se

Tabela 1: Redukcija hematitne rude z dodatkom K_2CO_3

Temperatura v °C	Dodatek karbonata v ut. %	Vsebnost železa po redukciji v ut. %			Stopnja redukcije v %
		Fe_{kov}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	
600	0	0	26,6	73,4	8,1
	3	0,17	29,8	70,0	10,9
	5	0,29	31,6	68,0	13,5
	10	0,39	36,2	63,4	16,0
700	0	0	30,9	69,1	10,0
	3	0,36	49,5	50,1	23,1
	5	0,54	69,1	30,7	29,0
	10	0,93	71,2	27,8	32,8
800	0	28,1	38,1	33,0	40,1
	3	82,0	9,0	9,0	86,0
	5	85,0	7,5	6,5	87,5
	10	87,2	12,8	0	91,0
900	0	86,2	9,5	4,3	88,8
	3	88,3	6,8	4,9	91,0
	5	91,6	6,8	1,7	93,0
	10	95,1	2,1	0	96,3

je nekoliko povečala pri 700 °C in znaša 7,5 %. Največja razlika se je pokazala pri 800 °C, saj je znašala približno 50 %. Pri 900 °C je ta razlika spet minimalna, saj je odstotek redukcije brez dodatka K_2CO_3 znašal 88,8 %.

Podobna odvisnost se dobi pri dodatku Na_2CO_3 (slika 2). V tem primeru je pri temperaturi 600 °C vpliv dodatka Na_2CO_3 minimalen, toda ta vpliv je pri 700 °C enak vplivu K_2CO_3 pri 600 °C. To pomeni, da začne Na_2CO_3 intenzivno pospeševati redukcijo pri približno 100 °C višjih temperaturah kot K_2CO_3 . Važna ugotovitev je, da se pri različnih dodatkih alkalnih karbonatov hematitni rudi

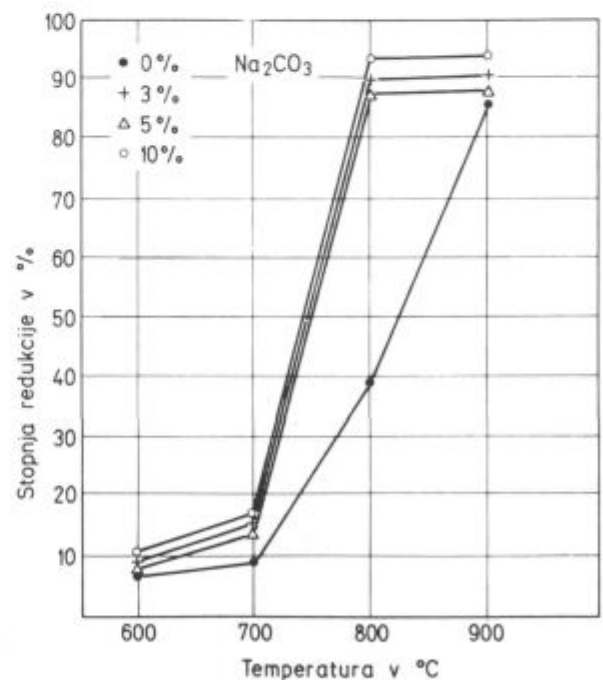


Slika 1.

Odvisnost stopnje redukcije hematitne rude od temperature pri različnih dodatkih K_2CO_3

Fig. 1

Degree of reduction of hematite ore as a function of temperature at various additions of K_2CO_3



Slika 2.

Odvisnost stopnje redukcije hematitne rude od temperature pri različnih dodatkih Na_2CO_3

Fig. 2

Degree of reduction of hematite ore as a function of temperature at various additions of Na_2CO_3

Tabela 2: Redukcija hematitne rude z dodatkom Na₂CO₃

Temperatura v °C	Dodatek karbonata v ut. %	Vsebnost železa po redukciji v ut. %			Stopnja redukcije v %
		Fe _{kov}	Fe ²⁺	Fe ³⁺	
600	0	0,39	20,6	79,0	7,1
	3	0,50	30,5	69,2	8,0
	5	0,63	20,9	78,5	9,0
	10	0,73	24,8	74,5	10,5
700	0	0,21	25,5	74,3	9,0
	3	0,39	41,5	58,1	14,1
	5	0,60	41,7	57,8	15,0
	10	0,89	46,8	52,3	16,5
800	0	29,4	69,9	0,1	39,0
	3	88,2	6,0	5,8	89,8
	5	88,9	9,8	1,3	90,1
	10	93,2	2,3	4,5	94,0
900	0	86,2	9,5	4,3	86,1
	3	83,8	8,5	7,7	87,0
	5	89,1	9,3	1,5	91,5
	10	90,7	9,2	0,1	94,0

stopnja redukcije minimalno povečuje, saj ta razlika znaša od 2 do 7 %. Zato lahko rečemo, da zadostuje dodatek 3 % alkalnih karbonatov, da se pospeši redukcija. Dodatek obeh alkalnih karbonatov pa vpliva tako, da začne petrolkoks reducirati železove okside že pri nižjih temperaturah, kot v primeru, če teh dodatkov ni. Brez dodatka Na₂CO₃ dosežemo 50 % redukcijo pri 820° C, čeprav dosežemo isti odstotek redukcije pri nižji temperaturi 750° C pri dodatku 3 % Na₂CO₃.

Večji vpliv na reductivnost železovih oksidov ima K₂CO₃ kot Na₂CO₃. Pri dodajanju K₂CO₃ se zniža tudi začetna temperatura intenzivne redukcije, saj je pri 700° C stopnja redukcije namesto 8 % že med 20 in 30 %. Dodajanje alkalnih karbonatov znatno poveča hitrost redukcije železovih oksidov v temperaturnem območju med 700 in 800° C.

O. A. Esin in P. V. Geld² poročata o poskusih, pri katerih sta magnetitu dodajala kalijev in natrijev karbonat in potem opravljala direktno redukcijo z lesnim ogljem. Pri temperaturi 850° C in času trajanja poskusov 40 minut sta povečala stopnjo redukcije za 5 do 7 krat pri dodatku 1 % alkalnih karbonatov.

G. I. Čufarov in E. P. Tatjevskaja³ sta reducirala manganove okside in sta ugotovila, da dodatek alkalij pospešuje kemične reakcije med železovimi oksidi in reducencijom. Mehanizem redukcije poteka tako, da železovi oksidi adsorbirajo okside alkalij. S tem se poveča gostota prostih elektronov v površinskih slojih oksidov in se na ta način poveča reakcijska sposobnost površine.

Čeprav alkalni karbonati znižujejo začetek redukcije železovih oksidov, jih ne smemo dodajati v plavžni vsip zaradi nastanka nizko taljivih silikatov in zaradi tega, ker povzročajo nastanek nasedlin. Moramo poudariti, da alkalije v plavžu vplivajo tudi na potek fizikalno-kemičnih procesov in položaj kohezivne cone.

3.0. VPLIV ALKALNIH KARBONATOV NA REAKTIVNOST METALURŠKEGA KOKSA

Reaktivnost je zelo pomembna lastnost koksa, ki močno vpliva na kinetiko redukcije železovih rud. Odvisna je od fizikalnih in kemičnih lastnosti reductentov, od stopnje grafitizacije, od njegove zgradbe, in po nekaterih podatkih tudi od količine in sestave pepela.

Reaktivnost koksa ne vpliva samo na potek redukcijskih procesov in položaj kohezivne cone v plavžu, tem-

več v primerjavi z manj reaktivnimi poveča odstotek v železu raztopljenega ogljika in pospeši metalizacijo rudnega vložka, ki ga reduciramo.

Metalurški koks, sestave: C_{fix} — 76,23 %, hlapno — 5,64 %, S_{cel} — 0,92 %, pepel — 17,21 % je bil osušen. Prepojen je z vodno raztopino karbonata 24 ur. Nato je voda izparela in vzorci posušeni na temperaturi 110° C. Tako pripravljene vzorci so imeli naslednje vsebnosti karbonatov (tabela 3):

Tabela 3: Vsebnost karbonatov v vzorcih

Štev. vzorca	Vsebnost karbonatov v koksu v ut. %	
	K ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃
1	7,12	7,78
2	6,16	6,41
3	3,52	4,46

Velikost zrna koksa je znašala od 0,5 do 1,0 mm. Karboksireaktivnost je določena po Kopersovi metodi tako, da je prevajana konstantna količina CO₂ skozi nasuto plast koksa, ki je ogrevana do temperature 1050° C. Reakcijski plini so analizirani pri temperaturah 500, 600, 700, 800, 900, 950 in 1000° C. Merjena je tudi količina izhajajoče plinske zmesi CO + CO₂. Reaktivnost koksa se pa izračuna po formuli:

$$R = \frac{\% CO}{\% CO_2 + 0,5 \% CO} \cdot 100$$

Rezultate reaktivnosti koksa z dodatki alkalnih karbonatov so zbrani v tabeli 4.

Tabela 4: Reaktivnost metalurškega koksa v odvisnosti od temperature in dodatkov karbonatov

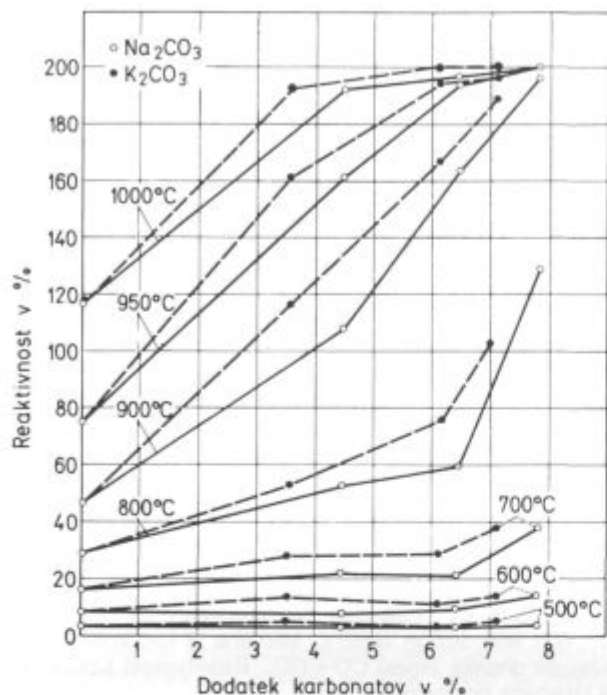
Temperatura v °C	Koks brez dodatkov	Reaktivn. koksa v %					
		Na ₂ CO ₃ v ut. %			K ₂ CO ₃ v ut. %		
		7,78	6,41	4,46	7,12	6,16	3,52
500	3,0	4,0	3,0	3,0	5,1	3,0	5,1
600	8,3	14,3	9,5	8,3	13,9	11,2	13,6
700	16,4	38,0	21,7	22,2	38,9	29,1	28,0
800	28,9	128,9	59,3	53,1	100,3	75,8	52,8
900	46,9	196,3	160,3	108,6	189,0	186,1	118,3
950	75,1	200,0	193,7	161,6	196,3	196,3	160,3
1000	116,4	200,0	196,3	192,1	200,0	200,0	188,2
1050	155,9	—	—	—	—	—	—

Vpliv dodatka alkalnih karbonatov na karboksireaktivnost je predstavljen na sliki 3. Največja razlika v reaktivnosti je v temperaturnem območju med 700 in 950° C, in sicer v intervalu, ko se začnejo karbonati taliti in razkrajati⁵. Z razkrojem in nataljevanjem karbonatov se močno poveča možnost za potek medsebojnih reakcij med grafitno mrežo trdnih reductentov in staljenimi karbonati oziroma njihovimi razkrojnimi produkti. Kalijev in natrijev karbonat povečujeta sposobnost trdnih reductentov za vplivanje, s tem da se kovinski ioni natrija in kalija vgradijo v kristalno mrežo grafita in jo deformirajo⁶. Tako deformirana mreža poveča svojo adsorpcijsko sposobnost za CO₂ in s tem pospeši potek reakcij na površini.

4.0. PORAZDELITEV ALKALIJEV V PLAVŽU

Alkalije pridejo v plavž z vsipom. Vežane so v rudi, sintru, peletih, koksu in talilih v obliki silikatov. V plavžu se porazdelijo na naslednji način:

a) izparevajo in v obliki prahu odhajajo s plavžnim plinom v čistilce,



Slika 3.

Vpliv dodatkov alkalnih karbonatov na karboksireaktivnost metalurškega koka

Fig. 3

Influence of addition of alkali carbonates on the carboxyreactivity of metallurgical coke

b) s predžlindro in prebodno žlindro izhajajo iz plavža,

c) cirkulirajo v sedlu in jašku plavža v obliki plinov,

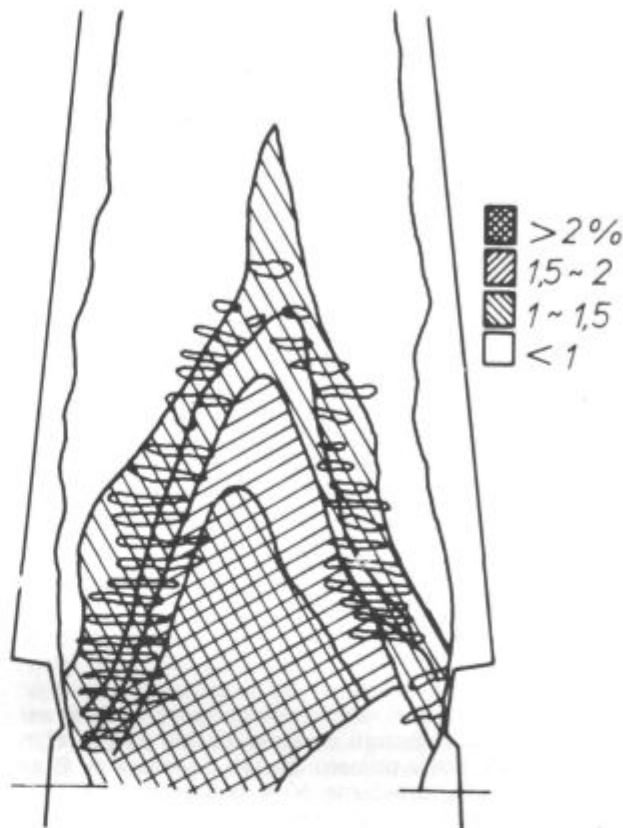
d) tvorijo nasledine v sedlu in srednjem delu jaška plavža.

Porazdelitev alkalij v plavžu je prikazana na **sliki 4** in **5**. Narejena je bila na Japonskem v plavžu v Hirohate⁷. Največja koncentracija alkalij (nad 2%) je v sedlu in spodnjem delu jaška plavža. V drugih delih plavža so tudi razmeroma visoke koncentracije alkalij in znašajo od 1 do 2%. Z rudo in koksom pride 1,78 oziroma 0,51 kg alkalij na tono grodlja. Med procesom redukcije alkalije izparevajo in krožijo v peči. Največji del pa odhaja s plavžno žlindro (2,21 kg/tono) in manjši del s plavžnim plinom (0,05 kg/tono grodlja).

Alkalije iz vsipnih komponent delajo nasledine tako, da preprečujejo pravičen razpored plinov in položaj kohezivne cone v plavžu. Literaturni podatki pa kažejo, da alkalije povečujejo specifično porabo koka⁸, ker povečujejo njegovo reaktivnost. Zaradi prisotnosti alkalij koks razpada, pa tudi peleti, in sicer v sedlu in jašku plavža. Tvorijo se tudi alkalni cianidi, ki krožijo v peči, čeprav jih najdemo tudi v nasledlinah.

Raziskave so pokazale, da se alkalije adsorbirajo na ognjevarnem materialu, difundirajo vanj, in se na ta način hitreje obrablja.

Na **sliki 4** in **5** je prikazana pot alkalij od vsipa do izhoda z žlindro in plavžnim prahom⁹. Pri tem pa so prikazane posamezne faze nastajanja trdne, tekoče in plinske faze med kroženjem. Alkalije, ki so vezane v obliki aluminosilikatnih kompleksov, so relativno stabilne spojine. Delno se reducirajo in razpadajo ter delno odhajajo s plavžno žlindro. Natrijev in kalijev oksid se začeta redu-

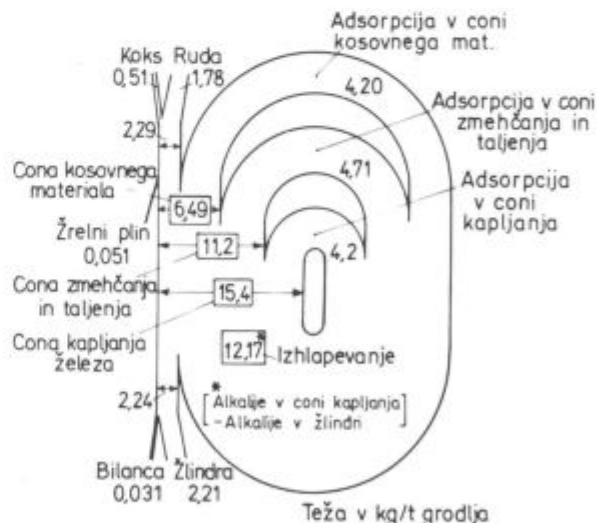


Slika 4.

Porazdelitev alkalij v plavžu

Fig. 4

Distribution of alkalis in the blast furnace



Slika 5.

Cirkulacija alkalij v plavžu

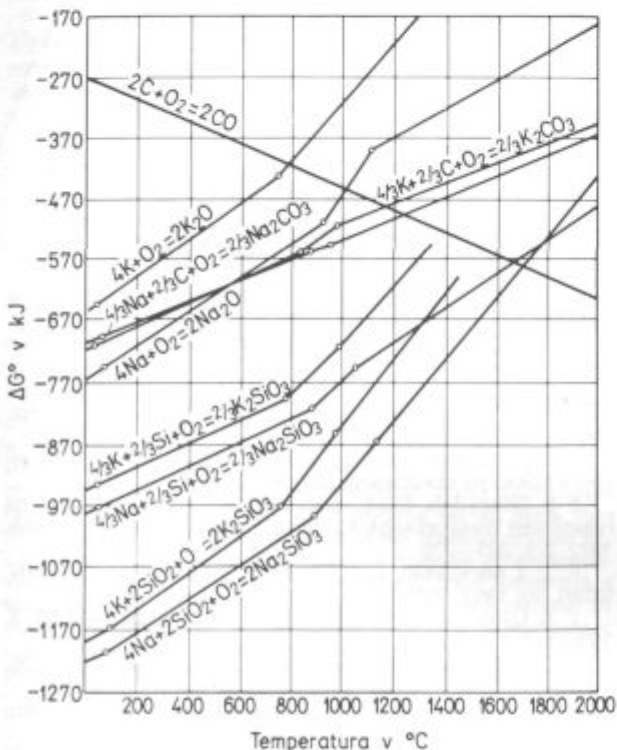
Fig. 5

Circulation of alkalis in the blast furnace

cirati pri nizkih temperaturah, toda njihovi silikati pri nekoliko višjih, in sicer okrog 1000° C (**slika 6**).

Alkalije natrija in kalija so stabilne pri nizkih temperaturah, vendar se pri višjih temperaturah direktno reduci-

rajo z ogljikom iz koksa. Presečišče premice $2C + O_2 = 2CO$ s premicami nastanka alkalnih spojin predstavlja začetek redukcije posameznih spojin. Tistim alkalijam, ki razpadajo, se poveča parcialni tlak v plavžnem plinu. Pri visokih temperaturah v spodnjem delu plavža so ugodni pogoji za nastanek cianidov. Predvsem ti krožijo v plavžu kot pare, tekočine ali pa v trdnem stanju. Karbonati in oksidi so prav tako v tekočem ali trdnem stanju. V glavnem večina avtorjev zagovarja takšen mehanizem kroženja alkalij, da pare alkalij krožijo, potem pa tvorijo cianide, ti pa ponovno prehajajo v trdne karbonate.



Slika 6.

Ovisnost standardne proste entalpije od temperature za različne alkalne spojine

Fig. 6

Variation of standard free enthalpy with temperature at various additions of alkali compounds

Pri teh procesih kroženja sodelujeta KCN in K_2CO_3 in v manjši meri alkalije natrija, ki se kondenzirajo na hladilnikih, kjer je povečano hlajenje ognjevarne opeke. Del alkalij ponovno prihaja v cono višjih temperatur, kjer izparevajo in se tako nadaljuje ponovno kroženje v plavžu.

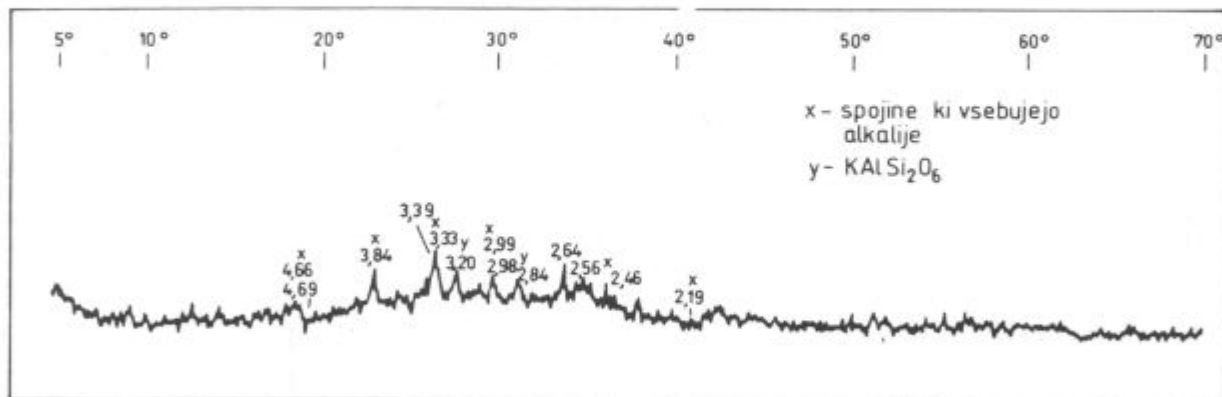
5.0. VPLIV ALKALIJ NA TVORBO NASEDLIN V PLAVŽU

Nasedline nastajajo v sedlu in spodnjem delu jaška plavža. Obstajajo različna tolmačenja o nastanku nasedlin¹⁰, čeprav je večina avtorjev mnenja, da nasedline povzročajo alkalije, in sicer cianidi. V jašku in sedlu plavža se oksidirajo cianidi, potem pa reagirajo z drobnimi komponentami rude, sintra, apnenca in koksa. Ker je ognjevarna obloga nekoliko hladnejša, prevzema nase vedno več alkalij, ki tvorijo alumosilikate in se z njo vežejo.

Nastanek nasedlin povzroča tudi redukcija wüstita z alkalnimi cianidi pri temperaturah nad 590°C. Pri tem nastajajo alkalni oksidi, ki se vežejo z drobnimi komponentami vsipa. Kovinsko železo, ki nastaja pri redukciji, pa utrjuje nasedline. Obstajajo nasedline, ki so bogate s silikati, cinkovim in svinčevim oksidom. Lažje taljivi silikati lepijo ob sebi drobne komponente vsipa in tako tvorijo nasedline, ki stalno rastejo. Take nasedline vsebujejo v glavnem alkalne alumosilikate, ki služijo kot vezivno sredstvo. Nekateri avtorji pa menijo, da nasedline povzročajo dvojni karbonati alkalij, ker tvorijo prve tekoče faze. Alkalni karbonati imajo tališča med 850 in 901°C, raztapljajo kremen in hematit ter tako tvorijo alkalne silikate in ferite, ki se tudi nahajajo v nasedlinah. Pri uporabi ljubijskih in vareških rud pri proizvodnji grodlja se tvorijo nasedline, ki vsebujejo poleg alkalnih cianidov in alumosilikatov še okside cinka in svinca.

6.0. ALKALNE SPOJINE V PLAVŽNI ŽILINDRI

Pri delu z bazično žilindro nastajajo težave med obratovanjem, ker je visoka temperatura tališča oz. širok interval taljenja. Po drugi strani pa bazične prve žindre povzročajo, da prihaja do kopičenja alkalij v področju sedla plavža. Pri kislem vsipu tvorita K_2O in Na_2O spojine z Al_2O_3 in SiO_2 . V žilindri, ki vsebuje 30% CaO , 36% SiO_2 , 14% Al_2O_3 in 10% MgO , smo našli v strjeni obliki Leuzit $KAlSi_2O_6$, ki je bil izločen ob kristalih monticellita $KAlSi_2O_6$. V področju piroksena najdemo tudi alkalije. V področju piroksena najdemo tudi alkalije. V strjenih žilindrah, ki vsebujejo od 0,9 do 1,2% žvepla, je žveplo vezavno predvsem v obliki CaS , toda v žilindrah, ki vsebujejo



Slika 7.

Difraktogram plavžne žindre obogatene z alkalijem

Fig. 7

Difractogram of the blast-furnace slag enriched with alkalis

MnO, smo našli žveplo, vezano na sulfid (Ca, Mn) S. Sulfidi so v strjenih žlindrah enakomerno porazdeljeni in pri počasnem ohlajanju tvorijo velike dendritne kristale. Plavžne žlindre imajo običajno sestavo, ki leži v področju melilita v sistemu $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$. Melilit je zmesni kristal med gehlenitom $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ in akermanitom $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$. V melilitu najdemo poleg akermanita in gehlenita še alkalije natrija in kalija. V to skupino spadajo še $2\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$, $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ in $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Vse te spojine lahko tvorijo zmesne kristale. Skupna formula za melilit je potem $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})_2 (\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al}) (\text{Si}, \text{Al})_2 \text{O}_7$. To pomeni, da alkalije lahko prinesemo v plavž še z žlindrino fazo s sintrom, saj sta FeO in Fe_2O_3 sestavini sintrov ali prvih žlinder. Spojine natrija in kalija se strdijo v silikatni fazi. Od tega, v kakšni koncentraciji nastopata, je odvisno tališče posameznih spojin (slika 7). Kalijev melilit $\text{KCaAlSi}_2\text{O}_7$ znižuje tališče gehlenitu. K_2O tvori s CaO in SiO_2 spojine $4\text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 10\text{SiO}_2$ in $2\text{K}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$, ki sta tekoči pri temperaturi 950°C .

Če znižujemo v tem sistemu SiO_2 tako, da je razmerje $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 1:1$, narašča likvidus krivulja s padajočo vsebnostjo K_2O , dokler se ne doseže $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, ki ima tališče pri temperaturi 1544°C .

Vsebnost alkalij v plavžnih žlindrah pospešuje razžveplanje grodlja, kar so tudi pokazali laboratorijski poskusi¹¹. Ta vpliv se pojasnjuje tako, da se alkalije vežejo s silicijem v kompleksne alumosilikate, s tem da sproščajo CaO iz silikatov, pri čemer se veže žveplo v obliki CaS. Zato na difraktogramu na sliki 7 ne najdemo alkalnih sulfidov, temveč sulfid kalcija, ki je bolj stabilen, kot sta sulfida kalija in natrija. Na_2S je dokaj stabilen sulfid, kar ne velja za K_2S , ki se tali že pri 850°C .

7.0. ZAKLJUČEK

Alkalije pridejo v plavž z rudo, sintrom in koksom. V plavžu se porazdelijo tako, da večji del odhaja s plavžno žlindro, manjši pa s plavžnim prahom. Drugi del ostaja v plavžu in kroži v sedlu in spodnjem delu jaška in tam dela nasedline. Nasedline delajo v glavnem cianidi, ki se oksidirajo in reagirajo z drobnimi delci vsipa in jih tako tvorijo. V nasedlinah se pojavljajo tudi svinec in cink, ker ljubijske in vareške rude vsebujejo ta dva elementa. S

plavžno žlindro odhaja približno 90 % alkalij, ki so vezane v obliki alumosilikatnih spojin. Silikati natrija in kalcija se lahko reducirajo z ogljikom tako, da nastajajo pare alkalij, ki krožijo v plavžu, ali pa odhajajo s plavžnim prahom ali plinom v čistilce. Alkalni karbonati povečujejo hitrost redukcije železovih oksidov v temperaturnem območju med 700 in 800°C . Čeprav se dosežejo enake stopnje redukcije že pri 100°C nižjih temperaturah, so alkalije nezaželjene v plavžu, ker tvorijo nasedline in nizkotaljive silikate, kar vpliva na strujanje plinov in položaj kohezivne cone. Alkalni karbonati povečujejo tudi reaktivnost trdih reducentov, ki je izrazita pri temperaturah med 700 in 950°C . Na ta način pospešujejo procese direktne redukcije železovih oksidov. Povprečna vsebnost alkalij ugodno vpliva na razžveplanje grodlja, ker se alkalije vežejo v obliki silikatnih spojin in s tem sproščajo CaO, ki veže žveplo v obliki CaS.

8.0. LITERATURA

1. B. Dobovišek: Vpliv K_2CO_3 in Na_2CO_3 na potek redukcije železove rude. Rudarsko-metalurški zbornik, 1970, 4, 423—431.
2. O. A. Esin, P. V. Geld: Fizičeskaja himija pirometallurgičeskijh processov I, 1962.
3. G. I. Čufarov, E. P. Tatjevskaja: Mehanizem i kinetika vosstanovljenja oksidov metallov — AN. SSSR. Uralskij Filial, Fiz. him. osnovi domenoga procesa.
4. B. Dobovišek, J. Lamut, G. Todorović, M. Šimnic: Vpliv alkalij na koks na obratovanje plavža, Poročilo MI, 1977.
5. B. Dobovišek: Študij vpliva dodatkov Na_2CO_3 in K_2CO_3 na reaktivnost metalurškega koksa. Rudarsko-metalurški zbornik 1972, 2/3, 223—233.
6. L. J. Markovskij, Z. N. Mazur, C. N. Elkins: Dokladi AN. SSSR, 90, 1953, 1076.
7. K. Lilius: Scandinavian Journal of metallurgy, 9, 1980, 3, 139—147.
8. C. Lambert: Ironmaking Conference Proc., New York, 35, 1976, 324—333.
9. J. Davies, J. T. Moon, F. B. Traice: Ironmaking and Steelmaking, 1978, 4, 151—161.
10. P. K. Abraham, L. I. Staffansson: Scandinavian Journal of Metallurgy, 1975, 4, 193—204.
11. G. Todorović, B. Dobovišek, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar: Vpliv alkalij na razžveplanje grodlja, Poročilo MI, 1984.

ZUSAMMENFASSUNG

Alkalien kommen in den Hochofen mit dem Möller, mit den Flussmitteln und mit dem Koks. Im Schacht und im Sattel verläuft die Reduktion, entsteht die erste Schlacke, die alkalischen Alumosilikate und Ferite werden gebildet. Die Reduktion der Eisenoxide durch Gasreduzente verläuft über die Adsorption der Gasreduzente an der Oberfläche der Erzteilchen. Dabei kommt an der adsorbierten Oberflächenschicht zu der Deformation von Molekülen des Reduzenten. In der Reduktionszeit sind Schichten von Magnetit und Wüstit stetig anwesend. Oxydschichten werden abhängig von der Reduktionsgeschwindigkeit gebildet. Diese Prozesse können durch Alkalien beschleunigt werden, so dass der Austausch von Sauerstoff zwischen den Reduzenten und den Eisenoxiden beschleunigt wird, wobei die Alkalien wahrscheinlich in das Kristallgitter der Eisenoxide eingebaut werden. Die alkalischen Carbonate beschleunigen die Reduktionsgeschwindigkeit im Temperaturintervall zwi-

schen 700 und 800°C . Sie vergrößern auch die Reaktivität der festen Reduzenten im Temperaturbereich zwischen 700 und 950°C und zwar so, dass sich die metallischen Ionen des Natriums und Kaliums in das Kristallgitter von Graphit einbauen. Die Alkalien verteilen sich im Hochofen so, dass der grösste Teil mit der Hochofenschlacke und ein kleinerer Teil mit Hochofenstaub abgeschieden wird. Der übrige Teil kreist im Hochofen und im Sattel wodurch die richtige Verteilung der Gase und die Lage der kohesiven Zone verhindert wird. Die Verbindungen von Natrium und Kalium in der Schlacke verhärten in der silikatischen Phase. Der Schmelzpunkt der einzelnen Verbindungen ist von deren Konzentration abhängig. Die Alkalien in Hochofenschlacken beschleunigen die Entschwefelung von Roh Eisen. Diese Wirkung wird so erklärt, dass die Alkalien mit Silizium komplexe Alumosilikate bilden, wodurch CaO frei wird für die Bindung von Schwefel in Form von CaS.

SUMMARY

Alkalis come into the blast furnace with the ore burden, with fluxes and with coke. In the shaft and in the bosh the reduction process takes place, the first slag is formed, and alkaline aluminosilicates and ferrites appear. In reduction of iron oxides with gaseous reducing agents the adsorption of gaseous reducing agents on the surface of ore particles is the first stage. In the surface adsorption layer the gaseous molecules are deformed. During the reduction process a layer of magnetite and wustite is constantly present. Oxide layers are formed in relation to the reduction rate. These processes can be accelerated by presence of alkalis which cause faster exchange of oxygen between the iron oxides and the reducing agent because the alkalis probably embed into the lattice of iron oxides. Alkali carbonates substantially increase the reduction rate in the temperature interval between 700 and 800°C. Also the reactivity of solid re-

ducting agents in the temperature interval between 700 and 950°C is increased by penetration of sodium and potassium ions into the graphite lattice.

Alkalis are distributed in the blast furnace in such a way that the majority goes into slag, and the minority with the fumes. One part remains in the blast furnace, it circulates and causes accretions in the lower part of the shaft and in the bosh which hinders regular distribution of gases and the position of cohesive zone. Sodium and potassium compounds solidify in the silicate phase. The melting points of single compounds depend on the concentration of the two elements. Presence of alkalis in the blast-furnace slags improves the desulphurisation of pig iron. This influence can be explained by the fact that alkalis are bound with silicon into complex aluminosilicates, liberating thus CaO for reaction with sulphur into CaS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Щелочи поступают в доменную печь с рудной колошей, с флюсами и с коксом. Восстановление происходит в шахте и заплечиками. Образуются: первый шлак, щелочные алюмосиликаты и ферриты. Восстановление окисей железа с газами восстановителями происходит через адсорбцию газовых восстановителей на поверхности частиц руды. При этом же молекулы восстановителя на поверхностном адсорбираном слое деформируются. В течении восстановления в процессе постоянно присутствуют слои магнетита и вюститита. Пласты окисей образуются в зависимости от быстроты восстановления. Эти процессы можно ускорить с щелочами таким образом, что ускорим замену кислорода между восстановителем и окисями железа, причём возможно, что щелочи вступают в кристалльную сеть окисей железа. Карбонаты щелочей существенно ускоряют быстроту восстановления в температурном интервале между 700 и 800°C. Увеличивается также реактивность твёрдых восстановите-

лей в температурной области между 700 и 950°C, а именно таким образом, что металлические ионы элементов натрия и калия вступают в кристалльную сеть графита.

Распределение щелочие в доменной печи происходит так, что их большая часть удаляется с доменным шлаком, а меньшая часть с доменной пылью. Другая часть остаётся в доменной печи, циркулирует и образует в нижней части шахта и в заплечниках закозления, а это препятствует правильному распределению газов и положению когезионной зоны. Соединения натрия и калия в шлаке затвердевают в силикатной фазе. В зависимости от концентрации их образования зависит точка плавления отдельных соединений. Содержание щелочей в доменных шлаках ускоряет удаление серы из чугуна. Это явление можно объяснить таким образом, что щелочи образуют соединения с кремнием комплексные алюминиевые силикаты, что освобождают CaO, который после этого вяжет на себя серу в форме CaS.

SLOVENSKE
ŽELEZARNE

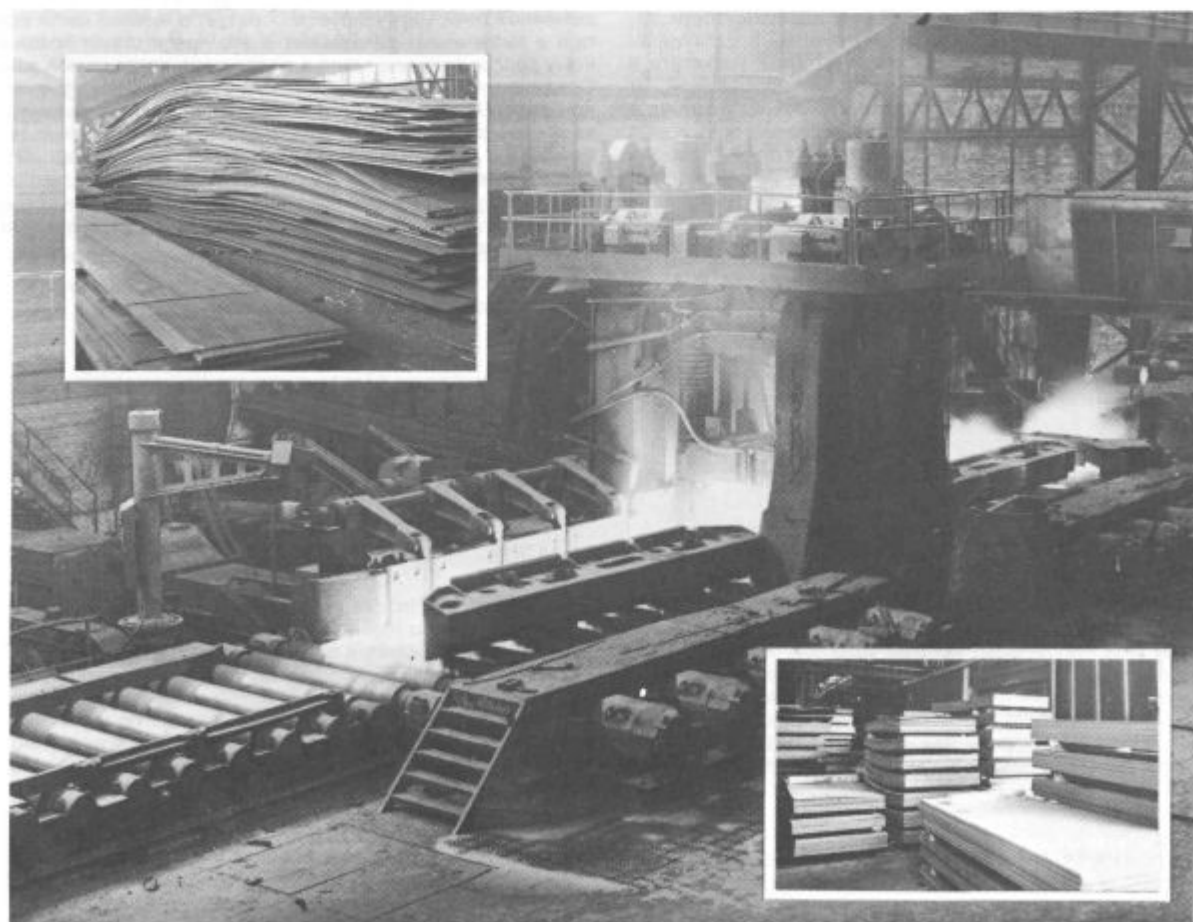


ŽELEZARNA JESENICE

64270 Jesenice, Cesta železarjev 8
telefon: (064) 81 231, 81 341, 81 441

teleks: 34526 ZELJSN, Jugoslavija
telegram: Železarna Jesenice

Mikrolegirana jekla imajo v primerjavi z drugimi višje osnovne tehnološke značilnosti, ki zagotavljajo manjšo porabo vložnega jekla na enoto proizvoda. Prihranki so zato veliki. Jeseniška mikrolegirana jekla so v svetu konkurenčna.



Vpliv dušika v jeklu Č.4830 na krivljenje pri valjanju

Hinko Ploštajner*

UDK: 669.771.019:669.786:669.14.018.27
ASM/SLA: F23, 4-57, A4, 2-60, EGP, 9-74, T7c

Pri valjanju ploščatih profilov iz vzmetnega jekla Č.4830 prihaja pri nekaterih šaržah do srpastega krivljenja valjancev na hladilni klopi. Zaradi večjih količin izločenih krivih valjancev so bili pri valjanju tega jekla v preteklosti v Železarni Štore doseženi zelo slabi izkoristki. V tem sestavku so opisane raziskave vzrokov za to krivljenje in možnosti za njegovo preprečitev. Navedeni so tudi podatki o valjanju večjega števila šarž, pri katerih je bilo krivljenje uspešno preprečeno s povišanjem vsebnosti dušika v jeklu.

UVOD

Valjanje ploščatih profilov z ravnostjo, ki jo predpisujejo standardi, pri ogljikovih in večini legiranih jekel običajno ne predstavlja večje težave. Precej težje pa je valjanje ploščatih profilov iz jekla Č. 4830, pri katerem prihaja pri nekaterih šaržah do srpastega krivljenja valjancev na hladilni klopi. Pri tem krivljenju ne gre za valjavsko napako, saj se prvotno ravni valjanci pričnejo kriviti šele na hladilni klopi, ko jim pade temperatura pod približno 600° C. Večkrat so valjanci tako krivi, da njihova ukrivljenost presega s standardom predpisano mejo in jih je potrebno izločiti kot izmeček. Posledica tega je bila, da so bili v preteklosti pri valjanju ploščatih profilov iz jekla Č.4830, predvsem pri izvoznih naročilih, doseženi izredno slabi izkoristki.

Že pred leti, ko smo jeklo Č.4830 pričeli valjati v večjih količinah, smo v Železarni Štore krivljenje preprečevali z zniževanjem končne temperature valjanja. Do zadnjega vtika je valjanje potekalo popolnoma običajno, pred zadnjim vtikom pa se je valjanec zadrževal in hladil na valjčnicah, tako da mu je padla temperatura na 800—850° C. To hlajenje valjancev pred zadnjim vtikom je preprečilo, včasih pa samo zmanjšalo, krivljenje na hladilni klopi.

Ustaljena praksa pri valjanju tega jekla je bila, da so se na začetku vsake šarže izvaljali trije proizvodni valjanci brez hlajenja pred zadnjim vtikom. Če so se ti proizvodni valjanci krivili na hladilni klopi, se je valjanje šarže nadaljevalo s hlajenjem valjancev pred zadnjim vtikom.

Hlajenje valjancev pred zadnjim vtikom je nezaželen ukrep, saj zmanjša storilnost valjavske proge. Poleg tega se v vročih poletnih mesecih zaradi sevanja več hladečih se valjancev močno poslabšajo pogoji dela na valjavski progji. Zato je bila želja valjavcev, da se najde ukrep, ki bi preprečil krivljenje valjancev na hladilni klopi

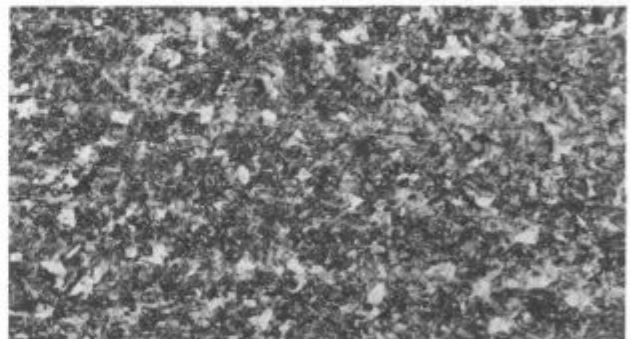
oziroma ki bi omogočil normalno valjanje brez hlajenja pred zadnjim vtikom.

Z namenom, da bi dobili bolj točne podatke o krivljenju, smo sistematično opazovali valjanje večjega števila šarž jekla Č.4830. Ugotovitve teh opazovanj so bile naslednje:

- čeprav je šlo za isto vrsto jekla, so se posamezne šarže pri valjanju zelo različno obnašale;
- približno 60 % šarž je bilo potrebno hladiti pred zadnjim vtikom, da smo preprečili krivljenje na hladilni klopi;
- za preprečitev krivljenja je pri nekaterih šaržah zadostovala že končna temperatura valjanja približno 900° C, pri drugih pa je bilo potrebno daljše hlajenje, na končno temperaturo valjanja 800—850° C;
- približno 40 % šarž se je lahko valjalo normalno, brez hlajenja pred zadnjim vtikom;
- le nekaj šarž od teh 40 %, ki so se lahko valjale brez hlajenja, se je pričelo kriviti, če so se hladile pred zadnjim vtikom;
- le 1—2 % šarž je bilo takšnih, ki so se krivile na hladilni klopi, ne glede na to, kolikšna je bila končna temperatura valjanja.

Metalografske preiskave

Metalografske preiskave so pokazale, da imajo ravni valjanci enakomerno perlitno strukturo. Perlitna zrna so enakomerno velika in proti notranjosti nekoliko večja. Opazi se tudi razlika v velikosti perlitnega zrna med posameznimi šaržami, čeprav je bila končna temperatura



Slika 1.

Mikrostruktura ravnega valjanca (perlit). Jedkano z nitalom, pov. 100 x

Fig. 1

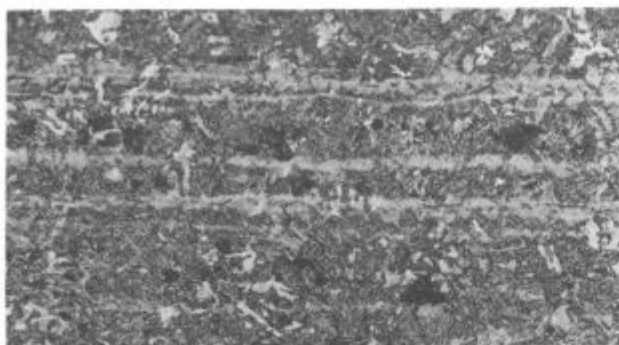
Microstructure of straight rolling (pearlite). Etched with nital, magn. 100 x

* Hinko Ploštajner, dipl. inž. metal., Železarna Štore

** Originalno publicirano: ŽZ 22(1988)3

*** Rokopis prejet: 1988

valjanja enaka. Kot primer teh številnih preiskav je na **sliki 1** prikazana mikrostruktura ravnega valjanca.



Slika 2.

Tipična mikrostruktura zelo krivega valjanca (perlit, bainit, martenzit). Jedkano z nitalom, pov. 100 x

Fig. 2

Typical microstructure of a highly distorted rolling (pearlite, bainite, martensite). Etched with nital, magn. 100 x

Mikrostruktura krivih valjancev je različna. Zelo krivi valjanci, z ukrivljenostjo nekaj cm/m, imajo večfazno strukturo z bainitom, martenzitom in malo perlita (**slika 2**). Martenzit je neenakomerno razporejen po strukturi, večkrat v trakasti obliki. Na vzorcih iz nekaterih valjancev, ki so bili le malenkostno krivi, smo opazili le perlitno strukturo, ki pa je bila običajno zelo grobo zrnata (**slika 3**).



Slika 3.

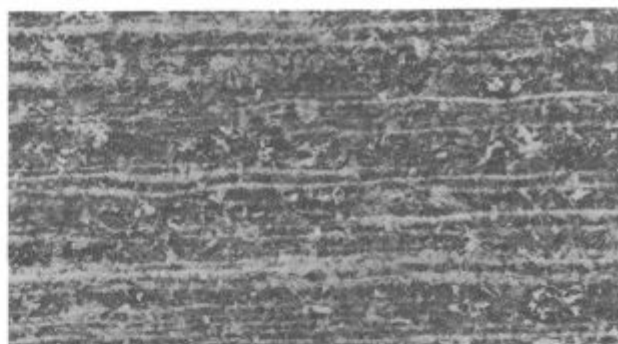
Mikrostruktura malenkostno krivega valjanca (grobo zrnati perlit). Jedkano z nitalom, pov. 100 x

Fig. 3

Microstructure of slightly distorted rolling (coarse grained pearlite). Etched with nital, magn. 100 x

V razdobju enega leta in pol, ko se je izvaljalo več kakor sto šarž jekla Č.4830, smo opazili le nekaj takih šarž, ki so se vroče normalno valjale brez krivljenja, pri hlajenju pred zadnjim vtikom pa so se krivile. Za metalografske preiskave nam je uspelo dobiti vzorce le iz ene take šarže. Mikrostrukturi ravnega in krivega valjanca iz te šarže sta prikazani na **sliki 4**. Vidimo lahko, da imata oba valjanca bainitno-martenzitno strukturo, le da je pri krivem bolj neenakomerna in z nekaj perlita.

Pri takih maloštevilnih šaržah, ki se krivijo pri hlajenju pred zadnjim vtikom, smo opazili, da poleg temperature valjanja na krivljenje vpliva tudi način valjanja pred zadnjim vtikom. Za potrditev teh opažanj smo naredili poizkus pri eni konti šarži in pri eni ravenski šarži. Pri vsaki



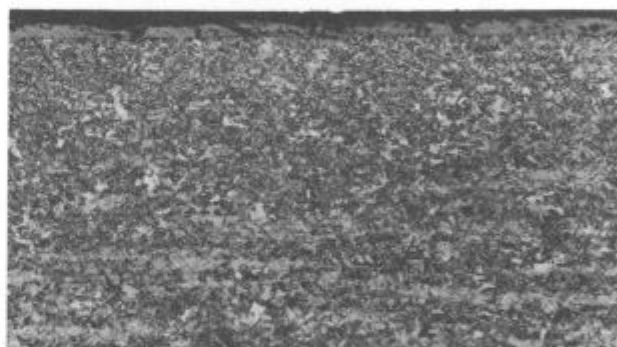
Slika 4.

Mikrostruktura dveh valjancev iz iste šarže (perlit, bainit, martenzit). Jedkano z nitalom, pov. 100 x
Zgoraj: Valjanec kriv. Valjano s hlajenjem pred zadnjim vtikom. Spodaj: Valjanec precej raven. Valjano brez hlajenja pred zadnjim vtikom.

Fig. 4

Microstructure of two rollings of the same heat (pearlite, bainite, martensite). Etched with nital, magn. 100 x

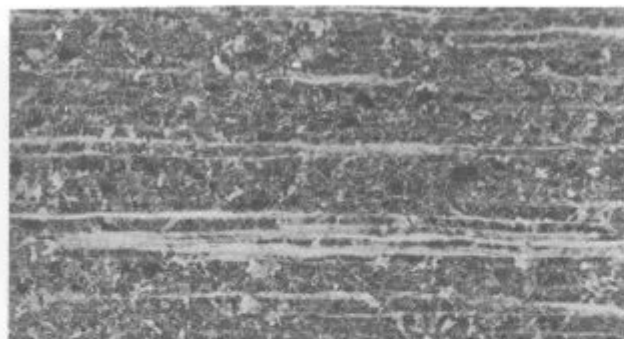
Top: Distorted rolling. Rolled with intermediate cooling before the last pass
Bottom: Rolling relatively straight. Rolled without cooling before the last pass



šarži smo izvajali po dva preizkusna valjanca pri enaki končni temperaturi valjanja približno 800° C. Razlika med valjancema je bila v tem, da je bil eden hlajen pred četrtem ogrodjem, drugi pa pred zadnjim ogrodjem. Valjanec, hlajen pred zadnjim vtikom, se je krivil in je imel bainitno-martenzitno strukturo, hlajen pred četrtem ogrodjem pa je bil raven in je imel perlitno strukturo (**slika 5**).

Vpliv hlajenja valjanca pred zadnjim vtikom na krivljenje na hladilni klopi so obravnavale že predhodne preiskave. Pri tem je bilo ugotovljeno, da pri končnih temperaturah valjanja nad približno 950° C poteče statična rekristalizacija v popolnosti, okrog te temperature samo delno in pri nižjih temperaturah ostane avstenit v nerekrystaliziranem stanju. Upoštevati pa je potrebno, da je ta temperatura rekristalizacije močno odvisna od stopnje deformacije. Transformacija rekristaliziranega avstenita poteka ustrezno TTT diagramu, tako da nastane bainit in martenzit. Nerekristaliziran avstenit, ki vsebuje določeno deformacijsko energijo, pa se transformira v perlit. Če ohladimo valjanec pred zadnjim vtikom na temperaturo 800—850° C, dosežemo s tem, da ostane jeklo po zadnjem vtiku v nerekrystaliziranem stanju in se potem zaradi akumulirane deformacijske energije lažje transformira v perlit, s čimer se prepreči krivljenje valjancev na hladilni klopi.

Razliko v mikrostrukturi med valjancem, hlajenim pred četrtem ogrodjem, in valjancem, hlajenim pred zad-



Slika 5.

Mikrostruktura dveh valjancev iz iste šarže, končna temperatura valjanja je bila pri obeh enaka 800° C. Jedkano z nitalom, pov. 100 x

Zgoraj: Valjanec kriv. Hlajenje pred zadnjim vtikom (perlit, bainit, martenzit).

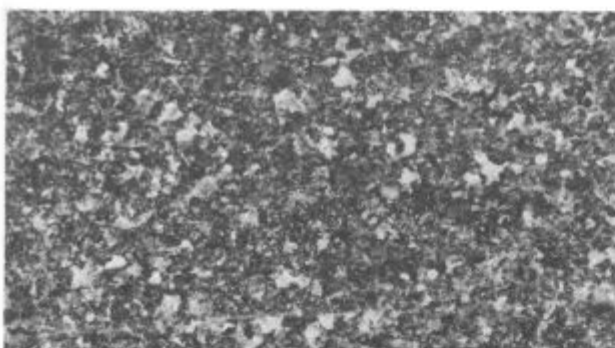
Spodaj: Valjanec raven. Po hlajenju še trije zadnji vtiki (perlit).

Fig. 5.

Microstructure of two rollings of the same heat, final rolling temperature was in both cases 800° C. Etched with nital, magn. 100 x.

Top: Rolling distorted. Cooling before the last pass (pearlite, bainite, martensite)

Bottom: Rolling straight. Three final passes after cooling (pearlite)



njim vtikom, si lahko pojasnimo z ugotovitvami prej navedenih preiskav. Valjanec, hlajen pred zadnjim vtikom, je bil pred transformacijo avstenita v nerekrystaliziranem stanju, vendar zaradi majhnega odvzema pri zadnjem vtiku z majhno deformacijsko energijo. Zaradi majhne deformacijske energije in nagnjenosti jekla k bainitni in martenzitni transformaciji se je kljub nerekrystaliziranemu stanju avstenit transformiral v bainit in martenzit. Pri valjancu, hlajenem pred četrtnim ogrođjem, so trije zadnji vtiki potekali pri nizkih temperaturah brez vmesne rekrystalizacije. Stopnja deformacije oziroma deformacijska energija se je pri zadnjih treh vtikih seštevala. Tako je imel avstenit po zadnjem vtiku v nerekrystaliziranem stanju veliko deformacijsko energijo in se je lahko transformiral v perlit.

Vpliv kemične sestave jekla na krivljenje pri valjanju

Na osnovi ugotovitev metalografskih preiskav, da imajo krivi valjanci v svoji mikrostrukturi poleg perlita tudi kalilne strukture, bainit in martenzit, smo pričakovali, da imajo šarže, ki so se krivile pri valjanju, višjo vsebnost legirnih elementov. Nasprotno temu sklepanju pa lahko iz tabel 1 in 2 vidimo, da kemična sestava šarže nima vpliva na krivljenje pri valjanju. V tabeli 1 so navedene

kemične sestave šarž, ki so se krivile, in v tabeli 2 kemične sestave šarž, ki se pri valjanju niso krivile. Iz teh dveh tabel je razvidno, da so znotraj prve skupine šarž, kakor tudi znotraj druge skupine šarž, precejšnje razlike med šaržami v vsebnosti legirnih elementov. Poleg tega pa lahko celo najdemo večje število šarž, ki se niso krivile, pa imajo višjo vsebnost legirnih elementov, kot marsikatera šarža, ki se je krivila pri valjanju.

Tabela 1: Kemična sestava šarž, ki so se valjale s hlajenjem pred zadnjim vtikom

Št. šarže	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Al
71552	0,53	0,27	0,98	0,019	0,030	1,09	0,12	0,018
88093	0,50	0,22	0,92	0,024	0,024	1,07	0,12	0,009
88112	0,51	0,24	0,94	0,016	0,026	1,10	0,12	0,007
88103	0,50	0,25	0,92	0,027	0,022	1,12	0,13	0,028
88116	0,52	0,25	0,88	0,018	0,028	1,20	0,14	0,009
88105	0,52	0,27	0,95	0,020	0,016	1,12	0,13	0,008
88106	0,52	0,19	0,98	0,022	0,027	1,20	0,11	0,010
71594	0,51	0,26	0,90	0,023	0,027	1,09	0,12	0,013
71948	0,53	0,19	0,88	0,018	0,011	1,06	0,11	0,011
71951	0,53	0,25	0,93	0,026	0,017	1,09	0,12	0,012
71952	0,51	0,30	0,86	0,024	0,009	1,08	0,12	0,020
88115	0,53	0,25	0,93	0,024	0,028	1,16	0,15	0,007
28618	0,51	0,25	0,90	0,016	0,016	1,10	0,12	0,014
28617	0,52	0,25	0,94	0,023	0,021	1,07	0,14	0,021
88100	0,52	0,23	0,99	0,017	0,018	1,14	0,12	0,007
88096	0,51	0,22	0,95	0,023	0,034	1,14	0,13	0,013
71485	0,52	0,19	0,89	0,020	0,020	1,09	0,16	0,014
88113	0,52	0,19	0,86	0,018	0,022	1,07	0,11	0,006
28614	0,53	0,35	0,91	0,033	0,016	1,08	0,12	0,009

Povprečje: 0,52 0,24 0,92 0,021 0,022 1,11 0,13 0,013

Tabela 2: Kemična sestava šarž, ki so se valjale brez hlajenja

Št. šarže	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Al
71958	0,50	0,23	0,93	0,021	0,019	1,03	0,12	0,019
71949	0,54	0,22	0,88	0,012	0,017	1,04	0,11	0,009
71955	0,52	0,24	0,89	0,012	0,017	1,07	0,12	0,019
88097	0,52	0,20	0,92	0,021	0,020	1,09	0,12	0,004
88110	0,52	0,20	0,92	0,027	0,031	1,08	0,13	0,010
71594	0,51	0,26	0,90	0,023	0,027	1,09	0,12	0,013
71197	0,53	0,23	1,03	0,023	0,024	1,12	0,16	0,005
87815	0,51	0,19	0,98	0,022	0,025	1,19	0,16	0,009
71551	0,54	0,24	0,97	0,019	0,023	1,09	0,12	0,014
88114	0,54	0,22	0,96	0,027	0,028	1,11	0,13	0,007
71502	0,53	0,28	1,04	0,019	0,017	1,16	0,15	0,007
88101	0,52	0,23	0,96	0,033	0,024	1,09	0,13	0,020
88113	0,52	0,19	0,86	0,018	0,022	1,07	0,11	0,006

Povprečje: 0,52 0,23 0,94 0,021 0,023 1,09 0,13 0,011

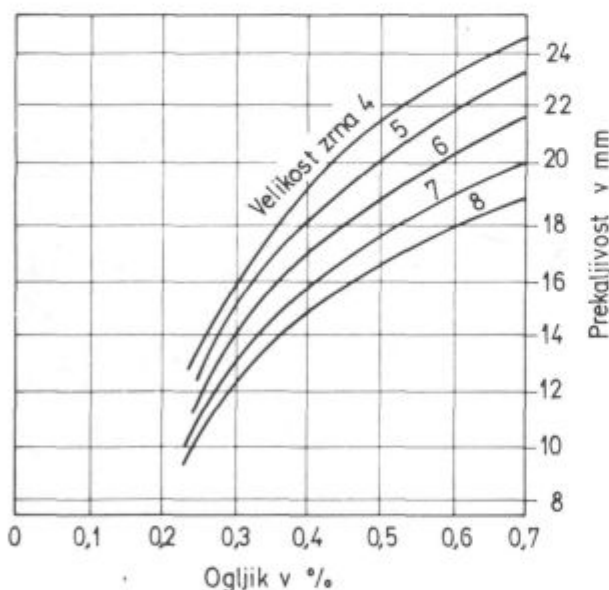
Do podobne ugotovitve pridemo tudi, če primerjamo povprečno kemično sestavo šarž, ki so se krivile pri valjanju, in povprečno kemično sestavo šarž, ki se niso krivile. Vidimo lahko, da imata obe skupini šarž skoraj enako povprečno kemično sestavo in da so minimalne razlike le pri kromu in manganu. Prva skupina šarž ima povprečno za 0,02 % več kroma, kar bi potrjevalo zgornjo domnevo, da se pri valjanju krivijo tiste šarže, ki imajo višjo vsebnost legirnih elementov. Nasprotno temu pa je v isti skupini šarž mangan povprečno za 0,02 % nižji, kar je popolnoma v nasprotju z zgornjo domnevo. Tako smo zaključili, da spremembe vsebnosti legirnih elementov v mejah standarda nimajo vpliva na krivljenje pri valjanju.

Med našimi valjavci je v tistem času prevladovalo mnenje, da je ravenško jeklo manj občutljivo na krivljenje, kakor štorsko konti jeklo. Razlago za tako mnenje,

ki pa ni bilo podkrepjeno s točnimi statističnimi podatki, smo iskali v tem, da naše jeklo ni dezoksidirano z aluminijem in je zaradi tega bolj nagnjeno h grobem avstenitnemu zrnju, ki se lažje transformira v bainit in martenzit. Ker je bila pri šaržah, navedenih v tabelah 1 in 2, vsebnost aluminija zelo različna, od 0,004 do 0,028 %, smo ustrezno temu mnenju pričakovali, da imajo nižjo vsebnost aluminija tiste šarže, ki so se krivile pri valjanju. Vendar pa iz primerjave vsebnosti aluminija med posameznimi šaržami, kakor tudi iz primerjave povprečne vsebnosti aluminija med prvo in drugo skupino šarž, lahko vidimo, da tudi aluminij nima vpliva na krivljenje pri valjanju.

Vpliv dušika v jeklu na krivljenje pri valjanju

Razlago za to, da se le nekatere šarže krivijo pri valjanju oziroma da se le pri nekaterih šaržah pojavlja pri transformaciji avstenita tudi bainit in martenzit, smo iskali v različni kaljivosti posamezne šarže. Kot je znano, so kaline lastnosti jekla odvisne predvsem od njegove kemične sestave ter delno tudi od velikosti avstenitnega zrna in števila kristalizacijskih kali za tvorbo perlita. Ker je pregled večjega števila šarž pokazal, da sprememba vsebnosti legirnih elementov znotraj standarda nima vpliva na krivljenje, smo razlago za krivljenje pri posameznih šaržah iskali le v velikosti avstenitnega zrna in številu kristalizacijskih kali v jeklu. Kako je pri ogljikovem jeklu globina prekaljivosti odvisna od velikosti avstenitnega zrna, je prikazano na sliki 6.



Slika 6.

Prekaljivost ogljikovega jekla pri različnih velikostih avstenitnega zrna

Fig. 6

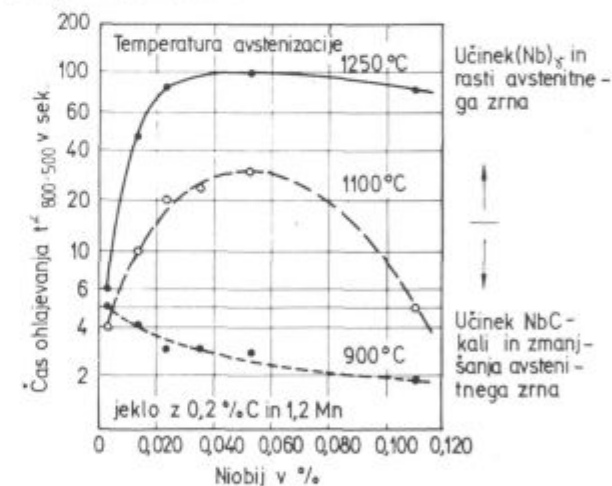
Through hardenability of carbon steel at various sizes of austenite grains

Med valjanjem prihaja, odvisno od stopnje deformacije po vsakem vtiku, do statične ali dinamične rekristalizacije. Po vsaki statični rekristalizaciji dobi jeklo drobnejše avstenitno zrnje, ki pa potem ponovno raste. Pri tem ponavljajočem se procesu statične rekristalizacije in ponovne rasti avstenitnega zrna pri valjanju imajo zelo važno vlogo izločki aluminijevega in vanadijevega nitrida. Ti, zelo drobno izločeni nitridi, povzročajo pri statični re-

kristalizaciji nastanek drobnega avstenitnega zrna, po rekristalizaciji pa ovirajo njegovo ponovno rast. Tako bo torej imelo jeklo z dovolj izločki aluminijevega in vanadijevega nitrida po valjanju, kakor tudi pri temperaturi transformacije, drobno avstenitno zrnje.

Izločeni nitridi in karbonitridi v jeklu močno pospešujejo potek transformacije avstenita v perlit. Ta proces transformacije, podobno kot večina procesov v kovinah, poteka preko tvorbe kristalizacijskih kali in rasti kristalnih zrn. Če so v jeklu izločeni drobni nitridi in karbonitridi, se ob teh izločkih veliko lažje in hitreje tvorijo kristalizacijske kali. Čas od podhladitve in začetka tvorbe perlita se skrajša, hkrati pa tudi čas celotne transformacije. Pri kontinuirnem ohlajanju jekla Č.4830 pomeni to, da se bo avstenit prej v popolnosti pretvoril v perlit, preden bo doseglo jeklo temperaturo bainitne in martenzitne transformacije, ko bi se preostali avstenit lahko pretvoril v bainit in martenzit.

Vpliv neraztopljenih karbonitridov in velikosti avstenitnega zrna na začetek transformacije avstenita pri enem od običajnih mikrolegiranih jekel je prikazan na sliki 7. Iz tega diagrama je razvidno, da je kritični ohlajevalni čas za pričetek transformacije avstenita odvisen od temperature avstenitizacije. Pri nizkih temperaturah avstenitizacije, ko ima jeklo drobno avstenitno zrnje in neraztopljene karbonitride, ki delujejo kot kali, se ta kritični ohlajevalni čas skrajša. Nasprotno temu pa se pri višjih temperaturah avstenitizacije ta čas močno podaljša zaradi grobega avstenitnega zrna in povečane vsebnosti legirnih elementov v avstenitu, do katere pride z raztopitvijo karbonitridov.



Slika 7.

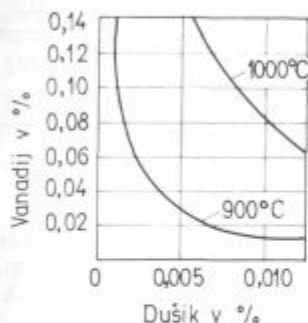
Ohlajevalni časi za pričetek tvorbe ferita-perlita pri jeklu, legiranem z Nb po različni avstenitizaciji

Fig. 7

Cooling times for commencement of ferrite-pearlite formation in steel alloyed with Nb after various austenitization annealings

Topnost nitridov in karbonitridov v jeklu je odvisna od topnostnega produkta in od temperature (slika 8). Pri višjih temperaturah je topnost večja, proti nižjim temperaturah pa pada. Med valjanjem, ko temperatura valjanca pada, se pričnejo iz prenasočene trdne raztopine izločati nitridi in karbonitridi. Plastična deformacija s povečanjem števila napak v jeklu, kot so dislokacije in praznine, močno pospeši izločanje nitridov in karbonitridov. Iz topnostnega produkta tudi sledi, da je pri določeni temperaturi količina izločenih nitridov v jeklu tem večja, čim večja je v njem vsebnost nitridotvornih elementov in du-

šika. Pri enaki vsebnosti aluminija in vanadija bo več izločenih nitridov v tistem jeklu, ki bo imelo večjo vsebnost dušika.



Topnostni produkt:

$$\log [V][N] = -\frac{8330}{T} + 346$$

Slika 8.

Topnostne izoterme VN v jeklu pri različnih temperaturah (po K. J. Irvine)

Fig. 8

Solubility isotherms VN in steel at various temperatures (after K. J. Irvine)

Pri pregledu večjega števila šarž smo opazili, da nagnjenost posameznih šarž h krivljenju na hladilni klopi ni odvisna od vsebnosti aluminija v jeklu. Zato smo sklepali, da so vsebnosti dušika v jeklu po posameznih šaržah precej različne. Tako je lahko v nekaterih šaržah kljub zadostni vsebnosti aluminija in vanadija koncentracija dušika premajhna, da bi se med valjanjem izločilo dovolj nitridov, kar bi zagotovilo drobno avstenitno zrno. Tako imajo šarže z nizkim dušikom po valjanju malo izločenih nitridov in grobo avstenitno zrno, ki se pri ohlajanju transformira v večfazno strukturo perlita, bainita in martenzita, kar povzroča krivljenje pri valjanju.

Pravilnost predpostavke o vplivu dušika v jeklu na krivljenje pri valjanju smo preverili na dvajsetih šaržah, za katere smo imeli podatke o valjanju. Kemična analiza je pokazala, da so vsebnosti dušika pri teh šaržah med 60 in 125 ppm in da imajo šarže, ki so se pri valjanju krivile, povprečno 105 ppm dušika, tiste, ki pa se niso krivile, pa 92 ppm.

Domnevo o povezanosti vsebnosti dušika v jeklu z velikostjo avstenitnega zrna in posredno s pojavom krivljenja pri valjanju smo preverili z naslednjim preizkusom. Šestim šaržam, tri od teh so se valjale brez hlajenja in tri s hlajenjem, smo določili avstenitno zrno z avstenitizacijo vzorcev dve uri pri temperaturi 1050° C. Opazili smo, da imajo šarže, ki so se pri valjanju krivile, približno za eno stopnjo bolj grobo zrno od tistih, ki se niso krivile (slika 9). Opazili smo tudi, da imajo šarže z grobim zrnom vsebnost dušika 80, 60 in 86 ppm, z drobnim zrnom pa 100 in 135 ppm.

Industrijski poizkusi

Ker je kemična analiza dušika v posameznih šaržah, pa tudi določitev avstenitnega zrna pri avstenitizaciji na temperaturi 1050° C kazala na pravilnost predpostavke, da prihaja do krivljenja pri valjanju pri šaržah z nižjo vsebnostjo dušika, smo se odločili za izdelavo večjega števila šarž s povišanim dušikom. Po veljavnem tehnološkem predpisu se jeklo Č.4830 pred odlivanjem obdela s CaSi. Povišano vsebnost dušika v jeklu smo nameravali doseči z vpihovanjem prašnatnega CaSi v tekoče jeklo, z mešanico 75 % argona in 25 % dušika.

V prvi seriji je bilo odlitih 27 šarž jekla Č.4830 s povišanim dušikom. Časi vpihovanja CaSi so bili pri teh šar-



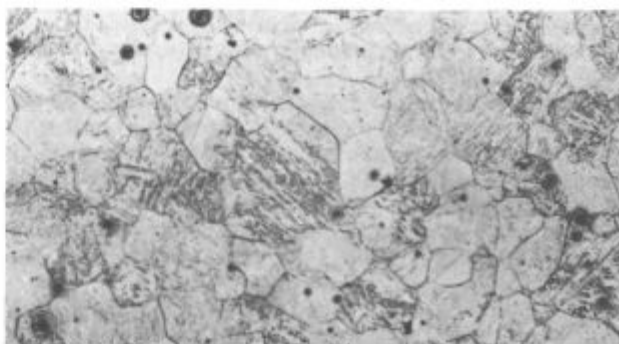
Slika 9:

Avstenitno zrno, avstenitizacija dve uri pri 1050° C. Jedkalo pikrinska kislina, pov. 100 x
 Zgoraj: Vzorec iz šarže, ki se je pri valjanju krivila.
 Spodaj: Vzorec iz šarže, ki se pri valjanju ni krivila.

Fig. 9

Austenitic grain, austenitization 2 hours at 1050° C. Etchant picric acid, magn. 100 x .

Top: Sample from the heat where rollings were distorted
 Bottom: Sample from the heat where rollings were not distorted



žah približno 3 do 4 minute, pri čemer so bile dosežene vsebnosti dušika od 106 do 174 ppm ter v povprečju 136 ppm na prvi peči in 146 ppm na drugi peči.

Valjanje teh šarž s povišanim dušikom je pokazalo, da je bilo le pri šestih šaržah potrebno hlajenje pred zadnjim vtikom, ostalih 21 šarž, kar je približno 80 %, pa se je valjalo brez hlajenja. V primerjavi s stanjem pred tem, ko se je brez hlajenja valjalo le približno 40 % šarž, je to bistveno boljši podatek in nam jasno kaže, da dušik v jeklu odločilno vpliva na krivljenje pri valjanju. Od šestih šarž, ki jih je bilo potrebno hladiti pred zadnjim vtikom, so imele tri vsebnost dušika pod 120 ppm, kar imajo že šarže, ki niso bile prepihane z mešanico argona in dušika. Če ne upoštevamo teh treh šarž, ki niso imele povišane vsebnosti dušika, lahko rečemo, da se pri valjanju ni krivilo približno 90 % šarž.

Povprečna kemična sestava šarž s povišanim dušikom, ki so se krivile pri valjanju, in povprečna kemična sestava šarž, ki se niso krivile, sta prikazani v tabeli 3. Iz te tabele je razvidno, da imajo šarže, ki so se kljub povišani vsebnosti dušika krivile pri valjanju, povprečno višjo vsebnost legirnih elementov mangana, kroma, molibdena in niklja. Ta ugotovitev nam kaže, da imajo nekoliko vpliva na krivljenje pri valjanju tudi spremembe vsebnosti legirnih elementov v mejah, ki jih dopušča standard. Vendar na začetku naših preiskav pri šaržah z običajno vsebnostjo dušika vpliv legirnih elementov ni bil opazen zaradi prevladajočega vpliva dušika na krivljenje pri valjanju.

Tabela 3: Povprečna kemična sestava »šarž H« in »šarž T« pri jeklu Č.4830, prepihanem z mešanico argona in dušika

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Al	N
Povprečje pri enaindvajsetih »šaržah T«	0,53	0,32	0,86	0,011	0,008	0,97	0,016	0,14	0,14	0,022	0,0142
Povprečje pri šestih »šaržah H«	0,54	0,32	0,92	0,012	0,009	1,00	0,028	0,17	0,13	0,020	0,0125

»šarže T« = šarže, ki so se valjale brez hlajenja

»šarže H« = šarže, ki so se valjale s hlajenjem pred zadnjim vtikom

Izdelana je bila tudi posebna empirična formula, s pomočjo katere smo lahko pri šaržah s povišanim dušikom na osnovi kemične sestave s precejšnjo gotovostjo napovedali, če se bo šarža krivila pri valjanju:

$$K = 0,6 (\% \text{ Mn} - 0,86) + 1,11 (\% \text{ Cr} - 0,97) + 1,45 (\% \text{ Mo} - 0,016) + 0,15 (\% \text{ Ni} - 0,14)$$

Šarže s povišanim dušikom, ki imajo po zgornji enačbi izračunano vrednost K negativno ali pozitivno in manjšo od 0,14, se pri valjanju ne krivijo. Pri šaržah s K med 0,14 in 0,20 obstaja precejšnja verjetnost, da bo prišlo do krivljenja pri valjanju. Ta verjetnost je predvsem odvisna od pogojev valjanja, kot sta končna temperatura valjanja in hitrost ohlajanja valjanecv na hladilni klopi. Nad tem prehodnim območjem se vse šarže s K nad 0,20 pri valjanju krivijo.

Pri vpihovanju CaSi z mešanico argona in dušika so bile med posameznimi šaržami precejšnje razlike v vsebnosti dušika. Do teh razlik je prišlo zaradi različno dolgih časov vpihovanja CaSi in zaradi različnih pritiskov argona in dušika v jeklenkah. Da bi dosegli bolj enakomerno vsebnost dušika v jeklu, smo pozneje izdelovali jeklo s povišanim dušikom s pomočjo legiranja z nitrovanom.

Do danes so bile še tri kampanje odlivanja jekla Č.4830 s povišanim dušikom, tako da je bilo skupno narejeno preko 100 teh šarž. Pri zadnjih dveh kampanjah je bilo narejeno tudi 45 šarž z nitrovanom. Tudi pri teh 100 šaržah je bil povprečno delež šarž, ki so se krivile pri valjanju, manj kot 10 %.

ZAKLJUČKI

Industrijski poizkusi so potrdili predvidevanja raziskav, da povišanje vsebnosti dušika v jeklu Č.4830 učinkovito preprečuje krivljenje na hladilni klopi pri valjanju ploščatih profilov. Pri običajnem raztrosu vsebnosti legirnih elementov v jeklu in pri povišani vsebnosti dušika

od 140 do 170 ppm se pri valjanju krivi še samo manj kot 10 % šarž. To pa je bistveno boljše od stanja pred tem, pri šaržah z običajno vsebnostjo dušika, kjer se je pri valjanju krivilo približno 60 % šarž.

Kljub povišani vsebnosti dušika v jeklu se pri valjanju še vedno krivijo tiste šarže, ki imajo vsebnost več legirnih elementov na zgornji analizi meji.

Povišano vsebnost dušika v jeklu smo dosegli s prepihanjem tekočega jekla z mešanico argona in dušika ali z legiranjem z nitrovanom. Vendar smo pri obstoječih pogojih v jeklarni dosegli bolj konstantne vrednosti dušika v jeklu pri legiranju z nitrovanom.

Literatura

1. Avtorski kolektiv: Werkstoffkunde Stahl, VERLAG STAHLISEN m.b.H. Düsseldorf, 1985
2. Wolfgang Pitsch: Grundlagen der Wärmebehandlung von Stahl, VERLAG STAHLISEN m.b.H. Düsseldorf, 1976
3. C. A. Siebert, D. V. Doane, D. H. Breen: The hardenability of steels
4. L. I. Gladštejn, D. A. Litvinenko, L. G. Onučin: Struktura avstenita i svojstva gorjačkatnoj stali, Izdateljstvo metalurgija, 1983
5. L. Mayer: Stahl und Eisen 101 (1981) 483—491
6. G. Glover, R. B. Oldland, R. Louis: Properties and processing of vanadium — nitrogen steels, HSLA steel conference, 1984
7. Michael Korchymsky: Microalloying and thermo — mechanical treatment, 1987
8. F. Vodopivec: Aluminijev nitrid v jeklu
9. A. Kern, W. Reif: Steel research 57, str. 331—334
10. B. Dutta, C. M. Sellars: Materials Science and Technology 1986, 2, 146—153
11. A. Kern, W. Reif: Steel research 57 (1986) 385—388
12. A. Kern, W. Reif: Steel research 57 (1986) 377—384
13. D. Kmetič, F. Vodopivec, J. Žvokelj, F. Kavčič, F. Haler: Vodenje ohlajanja po valjanju za doseglo zadostne plastičnosti za hladno predelavo jekla, II. del. Poročilo Met. inštituta, št. 84-032, 1984

ZUSAMMENFASSUNG

Beim Walzen flacher Profile aus Stahl Č.4830 kommt bei einigen Schmelzen beim Kühlen an der Kühlbank zum Siechelartigen Biegen der gewalzten Profile. Seit dem dieser Stahl in größeren Mengen gewalzt wird ist es bekannt, dass dieses Biegen durch die Herabsetzung der Endwalztemperatur bzw. durch das Kühlen des Walzgutes vor dem letzten Stich verhindert werden kann. Um dieses ungünstige Kühlen des Walzgutes vor dem letzten Stich zu vermeiden haben wir Möglichkeiten gesucht die Empfindlichkeit des Stahles zum Biegen beim Abkühlen an der Kühlbank durch die Änderung der chemischen Zusammensetzung von Stahl zu verringern.

Metallographische Untersuchungen zeigten, dass die geraden Profile ein gleichmässiges perlitisches Gefüge aufweisen und die gebogenen Profile aus einem Mehrphasengefüge aus Perlit, Bainit und Martensit bestehen. Auf grund dieser metallographischer Untersuchungen haben wir entnommen, dass bei einem höheren Stickstoffgehalt im Stahl nach der Warmverformung eine grössere Zahl der ausgeschiedenen Nitride und feineres Austenitkorn im Stahl erzehlt werden kann. Weiter haben wir entnommen, dass bei solchem Stahl die Umwandlung in Perlit leichter verlaufen wird, was das Biegen des Walzgutes an der Kühlbank verhindern wird.

Mehr als hundert Schmelzen von Stahl Č.4830 mit dem Stickstoffgehalt bis 170 ppm sind erzeugt worden wobei, der Zuwachs von Stickstoff durch das Einblasen von CaSi mit einem Gemisch aus Argon und Stickstoff oder durch das Zulegieren mit Nitrovan erreicht worden ist. Von den Schmelzen mit höherem Stickstoffgehalt konnten etwa 90 % ohne Kühlung vor

dem letzten Stich gewalzt werden was wesentlich besser ist als es zuvor war, wo sich kaum 40 % der Schmelzen ohne Kühlung walzen liessen. Eine genauere Überprüfung der chemischen Zusammensetzung der Schmelzen die trotz höherem Stickstoffgehalt beim Walzen gekühlt werden mussten, zeigte einen höheren Gehalt von Legierungselementen.

SUMMARY

When flat sections of Č.4830 steel are rolled, a sickle-like distortion of rollings occurs in cooling on the cooling bank with some heats. Since this steel is rolled in greater quantities, it is known that distortion can be prevented by reducing the final rolling temperature or by cooling the rollings before the last pass. In order to avoid this unpleasant cooling before the last pass a possibility was sought to reduce the steel sensitivity to buckling on the cooling bank by changing the chemical composition of steel.

Metallographic investigations showed that normally straight rollings have an uniform pearlitic structure while in the distorted rollings a multi-phase structure of pearlite, bainite, and martensite was revealed. Thus the conclusion was made that a higher content of nitrogen in steel will cause the precipitation of grea-

ter amount of nitrides resulting in finer austenitic grains after hot deformation. Further supposition was made that such a steel can be easily transformed into pearlite which will prevent distortion of rollings on the cooling bank.

More than hundred melts of Č.4830 steel with nitrogen contents up to 170 ppm were made. This was achieved by blowing CaSi with the mixture of argon and nitrogen or by alloying Nitrovan. 90 % of heats with increased nitrogen content could be rolled without intermediate cooling which is substantially better than with the heats with low nitrogen out of which only 40 % of good rollings was obtained. Checking the chemical composition of the heats where intermediate cooling was necessary even at higher nitrogen contents revealed that they contained greater amount of alloying elements.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При прокатки плоских профилей пружинной стали С.4830 наступает при некоторых партиях загрузок при охлаждении на охлаждающем столе серповидный изгиб проката. С тех пор как эта сталь прокатывается в больших количествах, было известно, что этот изгиб можно предотвратить при снижении температуры окончательного прокатывания, отн. охлаждением проката до последнего пропуска. Чтобы избежать этому неблагоприятному охлаждению проката перед последним пропуском, мы стремились получить возможность, чтобы с изменением химического состава стали уменьшить её чувствительность на изгиб при охлаждении на охлаждающем столе.

Металлографические исследования показали, что обычно ровный прокат имеет равномерную перлитную структуру а кривой прокат многофазную структуру, состоящую из перлита, бейнита и мартенсита. На основании этих металлографических исследований мы заключили, что повышенное содержание азота в стали мы получим, если сталь после

горячей деформации будет иметь довольно большое количество выделённых нитридов и более мелкие зёрна аустенита. Кроме этого мы заключили, что такая сталь легче трансформируется в перлит, что будет воспрепятствовать изгибу проката на охлаждающем столе.

Изготовлено было свыше ста расплавов стали С.4830 с содержанием азота до 170 ppm, что мы получили вдуванием Ca с смесью аргона и азота, или же легированием с нитро ванадием. От этих партий стали с повышенным содержанием азота была возможность прикл. при 90 % выполнять прокатку без охлаждения до заднего пропуска, что существенно улучшает полученное прежнее состояние, когда в партии расплава было всего прикл. 40 %. При пересмотре химического состава этих партий расплава мы обнаружили, что несмотря на увеличенное содержание азота при прокатке необходимо охлаждение, более высокое содержание легированных элементов.

Utjecaj uzdužne hrapavosti trake na proces hladnoga valjanja sa mazivima

Dušan Čučija*

UDK: 621.771.016 + 621.892 + 620.191.355
 ASM/SLA: F23, 1—67, 4—53, 9—71, 18—73

UVOD

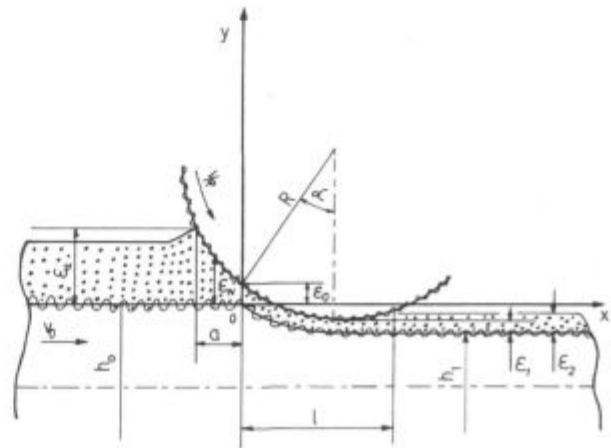
Proračun visine sloja maziva na ulaznom presijeku zone deformacije kod hladnoga valjanja među prvima je dao T. Mizuno [1]. Uvođenjem grube ali vješto odabrane aproksimacije dobio je riješenije diferencijalne jednadžbe, koje je u nekim područjima zahvatnih kuteva davalo dobre rezultate. A. P. Grudev [2] je nešto kasnije došao do istoga rezultata i eksperimentalno utvrdio da jednadžba Mizuna-Grudeva daje dobre rezultate za zahvatne kutove $0,05 \leq \alpha \leq 0,16$ rad. Kada kut zahvata $\alpha \rightarrow 0$, jednadžba Mizuna-Grudeva [1] čini veliku grešku.

$$\epsilon_0^M = \frac{3\mu_0\gamma(v_0 + v_R)}{\alpha(1 - e^{-\gamma\rho_0})} \quad (1)$$

To su otklonili autori [3] predloživši metodu linearizacije, koja je u odnosu na numeričku integraciju dala dobre rezultate za zahvatne kutove $0 \leq \alpha \leq 0,03$ rad. Doprinos određivanju sloja maziva kod hladnoga valjanja za zahvatne kutove $0,03 \leq \alpha \leq 0,05$ rad i slučaj glatkih površina valjaka i valjanoga materijala dat je u radu [4]. Stvorivši tako kombinirani metod za računanje visine sloja maziva na ulaznom presijeku zone deformacije autori [5] daju riješenja diferencijalne jednadžbe koja uzima u obzir utjecaj poprečne hrapavosti trake na visinu sloja maziva na ulaznom presijeku zone deformacije, slika 1. Odvojeno je razmatran i utjecaj visine sloja maziva na traci ispred valjaka ϵ_a na visinu sloja maziva na ulaznom presijeku zone deformacije ϵ_0 . U radu [6] promatran je utjecaj brzine valjanja na proces hladnoga valjanja sa mazivima. U ovom radu promatrati će se utjecaj uzdužne hrapavosti hladno valjane trake na ϵ_0 . Uzima se da je hrapavost valjaka iste orijentacije kao i trake. Daljnje pretpostavke su: inercija maziva se zanemaruje, mazivo se tretira kao nestišljivo i kao newtonov fluid, uvjeti tehnološkoga procesa su izotermni, ispred ulaza u zonu deformacije pretpostavljamo laminarni tok maziva, pretpostavljamo da nema prisilnoga proklizavanja između maziva i valjaka i maziva i trake, pretpostavljamo dobru adheziju između maziva i metalnih površina te da mazivo u zoni deformacije nema većih destrukcija.

RJEŠENJA DIFERENCIJALNE JEDNADŽBE

Gibanje maziva u Descartesovom sustavu prikazano je na slici 1 a opisuje se diferencijalnom jednadžbom



Slika 1.

Schema procesa hladnoga valjanja sa mazivima [5]

Fig. 1

The scheme of cold rolling process with greases [5]

[7, 8] koja uzima u obzir utjecaj uzdužne hrapavosti trake:

$$\frac{1}{6\mu(v_0 + v_R)} \left\langle \frac{dp}{dx} \right\rangle = \frac{\epsilon_N - \epsilon_0}{\langle \epsilon^3(x) \rangle} \quad (2)$$

Uzimajući slijedeće aproksimacije:

$$\langle \epsilon^3(x) \rangle \approx \epsilon_N^3 + 3\sigma^2\epsilon_N \quad (3)$$

$$\mu = \mu_0 e^{\gamma p} \quad (4)$$

$$\epsilon_a \gg \epsilon_0 \quad (5)$$

$$\epsilon_N \approx \epsilon_0 - \alpha x + \frac{1}{2R} x^2 \quad (6)$$

i stavljajući ih u [2] dobili bi glomazna i nepraktična analitička rješenja. To se može izbjeći razvojem po σ u MacLaurinov red do zaključno kvadratnoga člana, pa slijede rješenja:

$$\alpha \rightarrow 0$$

$$\frac{32768 A^2}{\pi^2} (\epsilon_0^1)^7 - 256 R (\epsilon_0^1)^4 + 480 R \sigma^2 (\epsilon_0^1)^2 - 225 R \sigma^4 = 0$$

$$\alpha \rightarrow \alpha^*$$

$$105 AR^3\alpha^{*7} - 56 R^2\alpha^{*4} + 160 \sigma^2 = 0 \quad (8)$$

* Dušan Čučija, dipl. inž. metal., Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak
 ** Originalno objavljeno: ZZ 22(1988)3
 *** Rokopis prejet: 1988-03-17

Koristeći rješenja date u radu [8] mogu se rješenja diferencijalne jednadžbe [2] pregledno prikazati u **tablici 1**. Tu je zadržana određena sistematika koja je postupno razvijana u radovima [4, 5]. Istaknimo da za slučaj glatkih površina valjaka i valjanoga materijala rješenja algebarskih jednadžbi prelaze u početna rješenja.

Tablica 1: Rješenja diferencijalne jednadžbe [2]

Kut zahvata	Metod	Algebarske jednadžbe	Polarna rješenja
$0 \leq \alpha < 0,03$	Linearna ili točke (0 : ϵ_0^1) (α^* , ϵ_0^*)	$\frac{32}{9} \frac{R^3 \alpha^2}{\gamma^2} (\epsilon_0^1)^3 - 256 R^3 (\epsilon_0^1)^2 + 128 R^3 \alpha^2 - 256 R^3 \epsilon_0^1 = 0$ $\cos \alpha R^3 \epsilon_0^2 - 56 R^3 \alpha^2 + 128 R^3 = 0$ $\epsilon_0^* = \frac{2}{3} R \alpha^2$	$\epsilon_0^* = \sqrt{\frac{2R^3 \alpha^2}{128 R^3}}$ $\epsilon_0^* = \sqrt{\frac{2}{15} \frac{R}{\alpha}}$ $A = \frac{r - \exp(-rA)}{\epsilon_0^1 + r(V_0 + \frac{1}{2})}$
$0,03 \leq \alpha \leq 0,05$	Polinomi	α Funkcije vrijednosti ϵ_0 određene riješenjem uvjetne jednadžbe [8] $0,03$ $(\epsilon_{0m} + \epsilon_{0n}) / r$ $0,04$ $(\epsilon_{0m} + \epsilon_{0n} + r \epsilon_{0n}) / r^2$ $0,05$ $(\epsilon_{0m} + \epsilon_{0n} + r \epsilon_{0n} + r^2 \epsilon_{0n} + \epsilon_{0m}) / r^3$ $r^3 \epsilon_0^3 - r(\epsilon_{0m} + 2\epsilon_{0n}) - (\epsilon_{0m} + \epsilon_{0n}) = 0$ (9)	Napomena ϵ_0^1 u monodim. su je rješenje kugne jednadžbe [8], Mizuno-Grudeva $2 < r < 3$
$\alpha > 0,05$	Mizuno-Grudeva	$4 \alpha A (\epsilon_0^1)^3 - 2 (\epsilon_0^1)^2 + \epsilon_0^2 = 0$ (8) $\epsilon_0^2 = \epsilon_0^1(v) + \epsilon_0^1(\epsilon)$	$\epsilon_0^* = \frac{r}{2 \alpha A}$

DISKUSIJA REZULTATA

Hrapavost površina pokorava se jednom od zakona raspodjele, najčešće normalnom zakonu raspodjele. Preko disperzije slučajne veličine σ postiže se veza sa oznakama hrapavosti koja po GOST-u iznosi:

$$R_g = \sigma \quad R_g = (1,1 - 1,2) R_z \quad R_z \approx 6 R_g$$

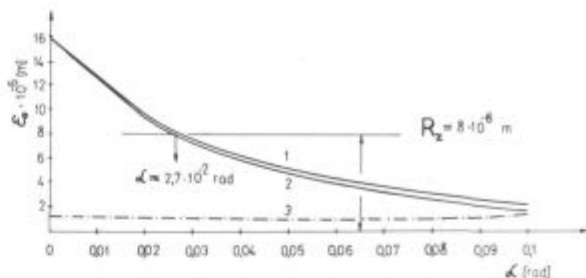
Diskusiju je najbolje popratiti primjerom. Neka su uvjeti tehnološkog procesa hladnoga valjanja sa mazivima slijedeći:

$$P_0 = 20 \cdot 10^6 \text{ Pa}, \mu_0 = 0,024 \text{ PaS}, \gamma = 0,218 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{N}, R = 0,2 \text{ m}, v_R = 10 \text{ m/s}, v_0 = 0,6 v_R, R_z = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}, \epsilon_a \gg \epsilon_0 \quad (9)$$

Tablica 2: Sturmove funkcije po ϵ_0^1

$P(\epsilon_0^1) = 1,283 \cdot 10^{16} (\epsilon_0^1)^7 - 51,20 (\epsilon_0^1)^4 + 1,707 \cdot 10^{-10} (\epsilon_0^1)^2 - 1,422 \cdot 10^{-22}$
$\frac{dP(\epsilon_0^1)}{d(\epsilon_0^1)} = 8,981 \cdot 10^{15} (\epsilon_0^1)^6 - 204,8 (\epsilon_0^1)^3 + 3,414 \cdot 10^{-10} (\epsilon_0^1)$
$P_1(\epsilon_0^1) = 21,943 (\epsilon_0^1)^4 - 1,219 \cdot 10^{-10} (\epsilon_0^1)^2 + 1,422 \cdot 10^{-22}$
$P_2(\epsilon_0^1) = 204,8 (\epsilon_0^1)^3 - 2,190 \cdot 10^{-6} (\epsilon_0^1)^2 - 3,414 \cdot 10^{-10} (\epsilon_0^1) + 3,233 \cdot 10^{-18}$
$P_3(\epsilon_0^1) = 8,534 \cdot 10^{-11} (\epsilon_0^1)^2 - 4,460 \cdot 10^{-20} (\epsilon_0^1) - 1,422 \cdot 10^{-22}$
$P_4(\epsilon_0^1) = 1,089 \cdot 10^{-15} (\epsilon_0^1) + 2,379 \cdot 10^{-19}$
$P_5(\epsilon_0^1) = 4,073 \cdot 10^{-18}$

Uvrštavajući u Sturmove funkcije vrijednosti: $\epsilon_0^1 = 0$ slijede tri promijene predznaka [-0+ + - + +] a za $\epsilon_0^1 = 15,863 \cdot 10^{-6}$ nula promijena predznaka. U traženom intervalu algebarska jednadžba ima tri pozitivna korijena koji glase: $(\epsilon_0^1)_1 = 15,790 \cdot 10^{-6}$, $(\epsilon_0^1)_2 = 1,313 \cdot 10^{-6}$, $(\epsilon_0^1)_3 = 1,271 \cdot 10^{-6}$. Slično se dokazuje po Sturmovu teoremu da je broj pozitivnih korijena po α^* dva i po ϵ_0^1 također dva. Druga generacija pozitivnih korijena suprotna je fizičkoj slici procesa. Prema **slici 2** vidimo da uzdužna hrapavost trake smanjuje visinu sloja maziva na ulaznom presijeku zone deformacije u odnosu na glatke površine valjaka i valjanoga materijala. Matematički je taj efekat slabo izra-



Slika 2.

Ovisnost debljine sloja maziva na ulaznom presijeku zone deformacije o zahvatnom kutu

1. $R_z = 0$ ($r = 2,775$)
2. $R_z = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ($r = 2,814$)
3. druga generacija pozitivnih korijena algebarskih jednadžbi

Fig. 2

Dependence of grease layer height at inlet section of the deformation zone on gripping angle α

1. $R_z = 0$ ($r = 2,775$)
2. $R_z = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ ($r = 2,814$)
3. The second generation of positive roots of the algebraic equations

Na **slici 2** predstavljena je ovisnost ϵ_0 u funkciji zahvatnoga kuta. Krivulji 1 odgovaraju glatke površine valjaka i valjanoga materijala a krivulji 2 uzdužna hrapavost valjanoga materijala. Krivulja 3 predstavlja drugu generaciju pozitivnih korijena algebarskih jednadžbi. Ona se može odrediti po Decartesovom pravilu i Sturmovu teoremu. Algebarska jednadžba po ϵ_0^1 može imati sedam korijena. Nas interesiraju pozitivni korijeni u zatvorenom intervalu $0 \leq \epsilon_0^1 \leq 15,863 \cdot 10^{-6}$, to jest rješenja koja leže ispod krivulje 1. Iznad krivulje 1 nema realnih rješenja. Po Decartesovom pravilu nalazimo da je broj promijena predznaka u slogu koeficijenata polinoma $P(\epsilon_0^1)$ tri. To znači da algebarska jednadžba može imati: jedan, tri ili pet pozitivnih korijena. Broj pozitivnih korijena odredit ćemo po Sturmovu teoremu i u **tablici 2** formiran je red Sturmovih funkcija po ϵ_0^1 .

žen što se slaže i sa eksperimentalnim mjerenjem [9, str. 40]. Nadalje možemo zaključiti da za sve uslove tehnološkoga procesa ne bi imali hidrodinamičko trenje u području svih zahvatnih kuteva.

Već za $\alpha > 2,7 \cdot 10^{-2}$ rad, visina sloja maziva ϵ_0 manja je od hrapavosti površina. Ako bi se tehnološki proces odvijao u području zahvatnoga kuta $\alpha = 0,06$ rad tada bi morali povećati ϵ_0 . Ako nismo u mogućnosti tražiti druga svojstva maziva, potrebno je povećati brzinu valjanja sa $v_R = 10 \text{ m/s}$ na $v_R = 21,550 \text{ m/s}$. Tada bi $\epsilon_0 = R_z$ i bili bi u području graničnoga trenja kada debljina mazivoga filma teži monomolekularnom sloju, iako se preko formule (16) može postaviti uvijet i na »suho« trenje:

$$\left(-\frac{1}{216 \alpha^3 A^3} + \frac{\sigma^2}{8 \alpha A}\right)^2 = \left(\frac{1}{36 \alpha^2 A^2}\right)^3 \quad (10)$$

dakle se dobiva:

$$R_z^{Gr} = 2\sqrt[6]{6/3 \alpha A} \quad (11)$$

Jednadžba Mizuna-Grudeva pokriva područja zahvatnih kuteva $\alpha \geq 0,05$ rad. Potrebno je za svaki novi kut zahvata tražiti njezina rješenja. Da se taj proračun olakša može se primjeniti Lagrangeov diferencijalni teorem koji u konačnom obliku glasi:

$$\alpha_{i+1} = \frac{\lambda [3 \sigma^2 - 2 \epsilon_m^2]}{4 A \epsilon_m^4} + \alpha_i \quad (12)$$

gdje je:

$$\lambda = \epsilon_i - \epsilon_{i+1}; \quad \epsilon_m = (\epsilon_i + \epsilon_{i+1})/2$$

Kako se zbog uvjetne jednadžbe (15) u poligonalnoj metodi uvijek traži rješenje kubne jednadžbe (16) za $\alpha = 0,05$ rad, to je u (12) $\alpha_i = 0,05$ rad, za ϵ_i pripadno rješenje kubne jednadžbe.

Uzmimo $\epsilon_i = 4,899 \cdot 10^{-6}$ m a to je rješenje kubne jednadžbe (16) za $\alpha = 0,05$ rad, pri $R_z = 8 \cdot 10^{-6}$ m, i neka je korak $\lambda = -0,5 \cdot 10^{-6}$ m.

Pomoću jednadžbe (12) dolazimo do $\epsilon_0^M = 1,899 \cdot 10^{-6}$ za $\alpha = 10,130 \cdot 10^{-2}$ rad. Kubna jednadžba (16) daje za $\alpha = 10,130 \cdot 10^{-2}$ rad, $\epsilon_0^M = 1,879 \cdot 10^{-6}$ m. Od polaznoga α , udaljili smo se 0,05 rad a da je pri tome greška formule (12) u odnosu na rješenje kubne jednadžbe (16) samo 1 %. Ako bi uzeli još manji korak λ i greška bi bila još manja. Oдавde možemo zaključiti da se Lagrangeov diferencijalni teorem može uspješno primjeniti za rješava-

nje kubne jednadžbe (16) u području zahvatnih kutova $\alpha > 0,05$ rad, uz poznavanje rješenja za $\alpha = 0,05$ rad. Može se primjeniti i Newtonov metod koji u prvj aproksimaciji daje:

$$(\epsilon_0^M)_N = \epsilon_0^M \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma}{\epsilon_0^M} \right)^2 \right] \quad (13)$$

PRIMIЈENA INTERPOLACIJSKIH POLINOMA

Prema **tablici 1** vidljivo je da u pojedinim područjima zahvatnih kuteva koristimo više metoda za proračun ϵ_0 . Praktični interes predstavlja iskazivanje funkcijske ovisnosti $\epsilon_0 = \epsilon_0(\alpha)$ i $\epsilon_0 = \epsilon_0(v_R)$ u širem intervalu nezavisno promijenljive veličine (α ili v_R). Dobiveni proračuni ϵ_0 po **tablici 1** mogu se tada objediniti interpolacijskim polinomom čiji stupanj ovisi o točnosti koju postavljamo na proračun ϵ_0 (uzimanjem širih ili užih intervala) te mogućnostima variranja tehnoloških parametara (brzinu valjanja moći ćemo varirati u širem intevalu nego zahvatni kut). Postoje brojne matematičke mogućnosti određivanja koeficijenata interpolacijskih polinoma od kojih je jedna predstavljena u **tablici 3** za ekvidistantne točke. Tu su definirane derivacije u polaznoj točki do zaključno petoga stupnja polinoma. Ako je polazna točka (0; ϵ_0^i) ili (0; 0) izračunate derivacije se direktno uvrštavaju u Mac-Laurinov red, za druge slučajeve u Taylorov red. Taylorov red može se zaobići integracijom na polaznu točku, odakle se određuju konstante integracije [10]. Popratimo to konkretnim primjerom. Neка je tehnološki proces određen sa: $A = 8,550 \cdot 10^5 \text{ m}^{-1}$, $R = 0,1$ m, $\epsilon_a \gg \epsilon_0$, $R_z \approx 0$. Prema **tablici 1** izračunat je ϵ_0 za ekvidistantne točke, па tablica razlike izgleda ovako:

α	ϵ_0	$\Delta \epsilon_0$	$\Delta^2 \epsilon_0$	$\Delta^3 \epsilon_0$	$\Delta^4 \epsilon_0$
0	21,931 10^{-6}	- 5,419 10^{-6}	5,5 10^{-7}	1,381 10^{-6}	- 2,221 10^{-6}
0,02	16,512 10^{-6}	- 4,869 10^{-6}	1,931 10^{-6}	- 8,4 10^{-7}	
0,04	11,643 10^{-6}	- 2,938 10^{-6}	1,091 10^{-6}		
0,06	8,705 10^{-6}	- 1,847 10^{-6}			
0,08	6,858 10^{-6}				

Tablica 3: Derivacije algebarskih polinoma u polaznoj točki

Stupanj polinoma				
Prvi	Drugi	Treći	Četvrti	Peti
$y' = \frac{1}{\Delta x} (\Delta y_1 - \frac{1}{2} \Delta^2 y_1 + \frac{1}{3} \Delta^3 y_1 - \frac{1}{4} \Delta^4 y_1 + \frac{1}{5} \Delta^5 y_1)$				
$y'' = \frac{1}{(\Delta x)^2} (\Delta^2 y_1 - \Delta^3 y_1 + \frac{11}{12} \Delta^4 y_1 - \frac{5}{6} \Delta^5 y_1)$				
$y''' = \frac{1}{(\Delta x)^3} (\Delta^3 y_1 - \frac{3}{2} \Delta^4 y_1 + \frac{7}{4} \Delta^5 y_1)$				
$y^{IV} = \frac{1}{(\Delta x)^4} (\Delta^4 y_1 - 2 \Delta^5 y_1)$				
$y^V = \frac{1}{(\Delta x)^5} \Delta^5 y_1$				

Prema **tablici 3** derivacije u polaznoj točki su: $\epsilon_0^i = -2,3392 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_0^{II} = -7,167 \cdot 10^{-3}$, $\epsilon_0^{III} = 5,8906 \cdot 10^{-1}$, $\epsilon_0^{IV} = -13,881$

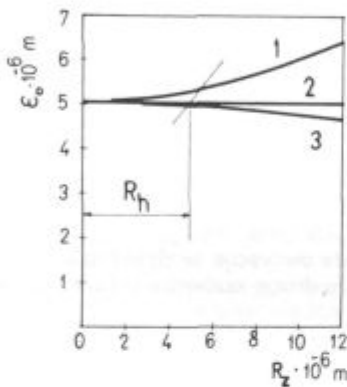
što uvrštenjem u Mac-Laurinov red daje polinom četvrtoga stupnja:

$$\varepsilon_0 = 21,931 \cdot 10^{-6} - 2,3392 \cdot 10^{-4} \alpha - (7,167 \cdot 10^{-3}/2) \alpha^2 + (5,8906 \cdot 10^{-1}/6) \alpha^3 - (13,881/24) \alpha^4 \quad (14)$$

Vidimo da je na jednostavan način zaobiden sistem od pet linearnih jednažbi ili determinanta petoga reda. Pa ipak ovaj primjer primjene obično se ne susreće u literaturi koja tretira to područje [11, 12].

PRAKTIČNI INTERES DOBIVENIH REZULTATA

Uzmimo iste uslove primijera kao za sliku 2 a koji su definirani izrazom (9). Napravimo komparaciju između riješenja za poprečnu hrapavost, datih u radu (5) i riješenja za uzdužnu hrapavost datih u ovom radu. Analitička riješenja na slici 3 daju tri krivulje. Vidimo da za isti R_z poprečna hrapavost ima daleko veći utjecaj na ε_0 nego



Slika 3.

Utjecaj hrapavosti površine trake na ε_0 za $\alpha = 0,05$ rad

1. poprečna hrapavost
2. glatke površine ($R_z = 0$)
3. uzdužna hrapavost

Fig. 3

Influence of the roughness strip on ε_0 for $\alpha = 0,05$ rad

1. transverse roughness
2. smooth surface ($R_z = 0$)
3. longitudinal roughness

uzdužna hrapavost. Sa R_h označeno je područje na slici 3 koje osigurava režim hidrodinamičkog trenja. Poprečna hrapavost hidrodinamičko trenje pomijera u desno, jer povećava ε_0 u odnosu na glatke površine valjaka i valjanoga materijala, što je na slici 3 istaknuto kosom crtom. Odavde slijedi praktični interes da ćemo na traku koja ima veliku otpornost prema deformaciji nanositi poprečnu hrapavost. Nadalje se može utjecati i na stabilnost procesa kontinuirano hladno valjane trake na spojnim mjestima koja se zavaruju. Ako var ima veću otpornost deformaciji od trake tada ćemo na njega nanositi poprečnu hrapavost koja će povećati visinu sloja maziva na ulaznom presijeku zone deformacije. Tako ćemo sniziti koeficijent trenja i samim tim isključiti neželjeni skok pritiska metala na valjke zbog razlike u otpornosti prema deformaciji između vara i trake.

Logično u obrnutom slučaju, ako var na spojnim mjestima trake ima manju otpornost prema deformaciji od trake, na njega ćemo nanositi uzdužnu hrapavost. Na ovu mogućnost skrenuta je pažnja i u radu (13).

ZAKLJUČAK

Primijena maziva u plastičnoj deformaciji metala predstavlja najveću intenzifikaciju u metalnoj proizvodnji, posebno u procesima hladnog oblikovanja metala. Brojni

su efekti koji se postižu primjenom maziva a neki su još nedovoljno istraženi i objašnjeni. Proces trenja neposredno određuje stanje i kvalitet obrađenih površina na instrumentima gdje veliki utjecaj imaju upravo maziva. Da bi u zoni deformacije mogli odrediti vrstu trenja potrebno je pronaći matematički put za proračun debljine mazivoga filma.

U radu je analiziran utjecaj uzdužne hrapavosti hladno valjane trake (hrapavost valjaka je iste orijentacije kao i trake) na proces hladnoga valjanja sa mazivima. Uzdužna hrapavost trake smanjuje visinu sloja maziva na ulaznom presijeku zone deformacije u odnosu na glatke površine valjaka i valjanoga materijala. Međutim taj efekt nije tako izražen kao kod poprečne hrapavosti koja u znatno većoj mjeri povećava visinu sloja maziva na ulaznom presijeku zone deformacije za isti R_z . Data riješenja mogu se kombinirati sa riješenjima za poprečnu hrapavost pa se mogu obuhvatiti i složeni proračuni visine mazivoga filma: naprimjer za uzdužnu hrapavost trake i uzdužnu hrapavost valjaka. U tome kontekstu posebno mjesto zauzima proračun mazivoga filma za glatke površine valjaka i valjanoga materijala na što je autor ukazao djelomično i u radu (6).

Trenje koje je u plastičnoj deformaciji metala jedino poželjno kod procesa valjanja donekle i ograničava primjenu maziva u tehnološkom procesu i zahtijeva rafinirani pristup ovoj problematici. U tome kontekstu i mehanika fluida nalazi primjenu preko poznatih diferencijalnih jednažbi O. Reynoldsa u koje se ugrađuju parametri hrapavosti.

Povratni tok maziva na ulaznom presijeku zone deformacije ovdje nije razmatran, on je u principu nepoželjan i ne može se izbjeći. Njegova pozitivna strana vezana je za emulzije, jer uzrokuje turbulenciju u području $(-a; 0)$, slika 1 što je za emulzije poželjno, naročito ako ne dodajemo ili ne uspijevamo pronaći dobre površinski aktivne tvari što je već područje koloidne kemije.

Dokazano je preko Sturmogovog teorema da algebarske jednažbe od više riješenja imaju samo jedno koje odgovara fizičkoj slici procesa. Data je i primijena Lagrangeovog diferencijalnog teorema te neke olakšice kod određivanja koeficijenata interpolacijskih polinoma.

POPIS SIMBOLA

1. $\langle \rangle$ — operator matematičkoga očekivanja
2. μ i μ_0 — dinamička viskoznost maziva ovisna o pritisku [Pa·s]
3. γ — piezokoeficijent viskoznosti [m^2/N]
4. v_0 i v_R — brzina trake i brzina valjanja [m/s]
5. $\varepsilon(x) = \varepsilon_N + [\sigma_v(x) + \sigma_t(x)]$ — visina sloja maziva u području $[-a; 0]$ [m]
6. $\varepsilon_N = \varepsilon_0 + R[\cos \alpha - \sqrt{1 - (\sin \alpha - x/R)^2}] \approx \varepsilon_0 - \alpha x + \frac{1}{2R} x^2$ — nominalna debljina sloja maziva
7. $\sigma_v(x) + \sigma_t(x)$ — slučajna debljina maziva uslovljena hrapavosti valjaka i trake.
8. ε_0 — debljina maziva na ulaznom presijeku zone deformacije [m]
9. ε_a — debljina sloja maziva na traci ispred valjaka [m]
10. ε_1 i ε_2 — debljina maziva u području maksimalnog pritiska valjaka i na izlazu iz zone deformacije [m]
11. ε_0^1 ; ε_0^M ; ε_0^1 ; $\varepsilon_{0,01}$ i $\varepsilon_{0,02}$ — debljina sloja maziva kada $\alpha \rightarrow 0$, po formuli Mizuna-Grudeva, karakteristična debljina koja sa α^* omogućava linearizaciju, i debljina za zahvatne kuteve $\alpha = 0,01$ i $\alpha = 0,02$ rad

- 12. R i r — radijus valjaka i koeficijent poligonalne metode
- 13. h_0 i h_1 — debljina trake prije i poslije deformacije [m]
- 14. α i α^* — kut zahvata i karakteristični kut vezan uz ε_0 [rad]
- 15. $a = \sqrt{(\alpha R)^2 + 2R(\varepsilon_a - \varepsilon_0)} - \alpha R$ — dužina mazivog klina (slika 1) [m]
- 16. R_0, R_z, R_a — oznake hrapavosti površina
- 17. λ — korak u jednadžbi (12) $|\lambda| \approx 0,5 \cdot 10^{-6}$
- 18. A — tehnološki parametar [m^{-1}]
- 19. σ^2 — disperzija slučajne veličine
- 20. $P(\varepsilon_0^M)$ — red Sturmovih funkcija polinoma
- 21. $(\varepsilon_0^M)_N$ — približno rješenje kubne jednadžbe po Newtonovom metodu
- 22. R_2^{Gr} — teorijska hrapavost trake koja bi visinu mazivoga filma svela ispod monomolekularnog sloja, isključivši mazivo kao treće tijelo približavajući trenje »suhome«
- 23. p i p_0 — atmosferski pritisak i pritisak valjaka na traku [Pa]
- 24. x i y — koordinate Decartesovog sustava
- 25. dp/dx — gradijent pritiska u mazivom sloju uzduž osi x
- 26. i — oznaka za red prirodnih brojeva

LITERATURA

1. Mizuno T., Japon J. Soc. Techn. Plast 7(1966)66, 383—389.
2. Grudev A. P., Maksimenko O. P., Elementi gidrodinamičke teorije smazki pri prokatke, Izvestija Černaja Metallurgija 14(1971)7, 105—109.
3. Meleško V. I., Mazur V. L., Timošenko V. I., Postuplenie smazki v očag deformaciji pri prokatke, Izvestija Černaja Metallurgija 16(1973)10, 92—96.
4. Čurčija D., Mamuzić I., Doprinos određivanja sloja mazi-va kod hladnog valjanja, Tehnika-RGM 32(1981)10, 1459—1462.
5. Čurčija D., Mamuzić I., Utjecajni faktori na sloj maziva kod hladnog valjanja, Tehnika-RGM, 34(1983)8, 1075—1078.
6. Čurčija D., Utjecaj brzine valjanja na proces hladnoga valjanja sa mazivima, Železarski Zbornik 21(1987)3, 131—136.
7. Christensen H., Wear 17(1971)2, 149—162.
8. Mazur V. L., Timošenko V. I., Varivoda I. E., Vlijanie mikroreljefa valkov i polosii na postuplenie smazki v očag deformaciji pri prokatke, Soobščenie 2. Izvestija Černaja Metallurgija 20(1977)12, 72—76.
9. Grudev A. P., Tilič V. T., Tehnološkičeskie smazki v prokatnom proizvodstvu, Metallurgija, Moskva 1975.
10. Čurčija D., Hladno valjanje sa mazivima, Diplomski rad, Metalurški fakultet Sisak 1986.
11. Bertolino M., Numerička analiza, Naučna knjiga, Beograd 1977.
12. Salvadori M., Baron M., Numerical Methods in Engineering, Prentice-Hall, 1961.
13. Mazur V. L., Timošenko V. I., Varivoda I. E., Effekti šerohovatosti valkov i polosii pri prokatke so smazkoj, Izvestija Černaja Metallurgija 23(1980)9, 81—85.

ZUSAMMENFASSUNG

Lösungen für die Berechnung der Höhe des Schmierfilmes am Eintrittsquerschnitt der Verformungszone beim Kaltwalzverfahren werden gegeben. Es ist festgestellt worden, dass die Längsrauhigkeit am Band die Höhe des Schmiermittelfilmes im Vergleich zu den glatten Oberflächen der Walzen und des gewalzten Werkstoffes verringert. Jedoch ist diese Wirkung

schlecht ausgedrückt. Lösungen werden gegeben für einen laminären Schmiermittelfluss, für isotherme Verfahrensbedingungen, nichtzusammendrückbare und Newton Flüssigkeiten. Oberflächenerscheinungen an der Grenze fester Körper — Flüssigkeit sind nicht bearbeitet worden. Auch einige mathematische Erleichterungen bei der Berechnung werden gegeben.

SUMMARY

The equations to calculate the thickness of lubricant layer at the inlet cross section of the deformation zone in the cold rolling process are given. It was found that the longitudinal roughness of the strip reduces the thickness of the lubricant layer compared to that for the smooth surfaces of rolls and of rolled material.

However, this effect is not pronounced. Solutions are presented for the laminar flow of lubricant, for isothermal conditions of technologic process, and for incompressible and Newtonian fluids. The surface phenomena at the solid-liquid boundary are not taken in account. Also some mathematical simplifications in calculations are presented.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поданы решения для высчитывания высоты смазочной плёнки на входном сечении зоны деформации при процессе холодной прокатки. Определено, что продольная шероховатость ленты уменьшает высоту смазочной плёнки в отношении на глаткие поверхности валков и прокатного материала, хотя этот эффект недостаточно выражен. Решения поданы:

для ламинарный поток смази, изотермические условия технологического процесса, для несжимаемые плёнки и для плёнки Ньютона. В статье представлены некоторые математические облегчения при выполнении расчёта. Нерассмотрены же поверхностные явления на границе жесткое тело — жидкость.

IN MEMORIAM

prof. dr. BOGOMIR DOBOVIŠEK

25. 2. 1922—29. 6. 1988



Nenadoma, sredi aktivnega znanstvenega in pedagoškega dela, nas je dne 29. junija 1988 zapustil Bogomir Dobovišek, redni profesor Odseka za metalurgijo in predstojnik Katedre za ekstraktivno metalurgijo, star 66 let. Njegov strokovni pečat, ki nam ga zapušča, je neizbrisen. Po podiplomskem študiju v Ameriki in ZR Nemčiji, kjer se je poglobljal v metalurško termodinamiko in kinetiko, je v drugi polovici petdesetih let uvedel kot novost v dotedanji študij metalurgije pri nas predmet fizikalna kemija metalurških procesov. To je pomenilo za našo stroko temeljno spremembo, saj je prešel od prejšnje razlage dogajanja v metalurgiji, ki je temeljila na izkušnjah iz prakse, na podajanje fizikalno-kemijskih zakonitosti, na osnovi katerih potekajo metalurški procesi. Iz njegovih prvih predmetov je zrasla katedra za temeljno teoretično metalurško znanje, brez katere si sodobnega metalurga ne moremo zamišljati. Bil je mentor pri 40 diplomah, mentor in komentor pri več magistrskih delih in doktoratih. Med njimi je bil mentor doktorske disertacije na Tehniški fakulteti v Boru, ter član strokovnih komisij za elektricije in reelekcije na Tehniški fakulteti v Boru, Tehnološko-metalurški fakulteti v Skopju in na Metalurški fakulteti v Zenici.

Večkrat je predaval posamezne predmete na drugih fakultetah kot npr. Tehniški fakulteti na Reki (Metalurška termodinamika), na podiplomskem študiju na Metalurški fakulteti v Zenici (Izbrana poglavja iz teorije metalurških procesov na področju črne metalurgije) in v okviru Tehniške fakultete Maribor na tretji stopnji Kemijsko termodinamiko.

Njegovo raziskovalno delo je obsegalo vrsto področij: termične analize, predvsem DTA in TDA, ki jih je kot prvi uvedel k nam in z njimi raziskoval zgorovalne procese, redukcijo, konstitucijo faznih diagramov ter raztapljanje in mešanje kovin ter zlitin. Staljene metalurške žilindre, njihova struktura in termodinamične ter fizikalne lastnosti, kot so viskoznost, električna prevodnost in površinska napetost, so bile področje njegovega posebnega zanimanja. Vključeval se je v reševanje industrijskih problemov širom po Jugoslaviji in imel vrsto predavanj doma in v inozemstvu. Objavil je 90 člankov v domači in tuji literaturi ter sedem samostojnih publikacij in skript. Leta 1981 je dobil Cojzovo plaketo in posebna priznanja za prispevek k razvoju Rudarsko metalurških fakultet v Boru in Beogradu.

Nepogrešljiv bo ostal topel in človeški odnos, ki ga je gojil do vseh, do študentov, sodelavcev in kolegov v industriji. Vsakomur je bil dostopen, bodisi za strokovno, bodisi za prijateljsko besedo. Njegovo znanje je bilo vsem na razpolago, v vsak problem, ki smo mu ga predočili, se je poglobil, proučil literaturo in iz svoje bogate zakladnice znanja vedno našel pravilne napotke. Njegov značaj sta krasila dobrohotnost in odprtost.

Veliko prerano nas je zapustil profesor Bogomir Dobovišek, zapustil je nedokončana mentorstva pri diplomah, magisterijih ter doktoratih, obvezal pa je vse nas, svoje kolege, da nadaljujemo njegovo delo z žarom in pripadnostjo, ki ju je gojil do metalurgije, kateri se je ves predal. Nadaljevanje v smeri njegovih ciljev bo prav gotovo največje priznanje njegovemu delu in njegovemu spominu.

Predstojnik Odseka za
metalurgijo
prof. dr. M. Trbižan, dipl. ing.

VSEBINA

UDK: 669.187.2 + 669—982 + 669—147

ASM/SLA: D5, D9q, D8m, 10—55

Metalurgija — jeklarstvo — elektrojeklo — vakuumska metalurgija — kontinuirno vlivanje

J. Arh, J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Mlakar

Postavitev in obratovanje Jeklarne 2 na Jesenicah

Železarski zbornik 22(1988)3 s 65—78

Ustavitev stare SM Jeklarne s šestimi pečmi od 45 do 80 t kapacitete. Gradnja nove Jeklarne z UHP električno obločno pečjo z ekscentričnim prebodnom, zmogljivosti 85 t odlitega tekočega jekla in močjo transformatorja 60 MVA, z napravami za sekundarno obdelavo jekla v ponovci. To sta VD/VOD vakuumska naprava ter TN naprava za obdelavo jekla s CaSi in sintetičnimi žlindrami. Naprava za kontinuirno vlivanje slabov s prikliučeno napravo za plamensko razrezovanje, pregled in čiščenje slabov. Opisane so sedanje izkušnje ter prikazani proizvodni in kvalitetni pokazatelji.

Avtorski izvleček

UDK: 621.771.019.669.786.669.14.018.27

ASM/SLA: F23, 4—57, AY, 2—60, EGp, 9—74, T7c

Metalurgija — vroče valjanje — kromovo vzmetno jeklo
H. Ploštajner

Vpliv dušika v jeklu Č.4830 na krivljenje pri valjanju

Železarski zbornik 22(1988)3 s 87—93

Pri valjanju ploščatih profilov iz vzmetnega jekla Č.4830 prihaja pri nekaterih saržah do srpastega krivljenja valjancev na hladilni klopi.

Metalografske preiskave so pokazale, da imajo ravni valjanci perlitno strukturo, krivi valjanci pa večfazno strukturo perlita, bainita in martenzita.

S povišano vsebnostjo dušika v jeklu dosežemo, da ima jeklo po vročem valjanju drobno avstenitno zrno in številne izločene nitride aluminija in vanadija. Pri ohlajanju valjancev na hladilni klopi se takšen avstenit veliko lažje transformira v perlit, kar preprečuje krivljenje.

Izdelano je bilo preko sto talin jekla Č.4830 s povišano vsebnostjo dušika. Pri jeklu z običajno vsebnostjo dušika se je pri valjanju krivilo približno 60 % talin. Pri jeklu s povišanim dušikom se je delež teh talin zmanjšal na manj kot 10 %.

Avtorski izvleček

UDK: 669.162.263.232.669.88

ASM/SLA: D1, D11n, Ege

Metalurgija — železarstvo

G. Todorović, B. Dobovišek, J. Lamut, L. Šketa

Vpliv alkalnih karbonatov na redukcijo železovih oksidov

Železarski zbornik 22(1988)3 s 79—85

Alkalije pridejo v plavž z rudnim vsipom, talili in koksom. Reducirajo se pri razmeroma nizkih temperaturah in zmanjšujejo temperaturo začetka redukcije železovih oksidov za približno 100° C. Povečujejo tudi reaktivnost trdnih reductentov v temperaturnem območju med 700 in 950° C. Alkalije se porazdelijo v plavžu tako, da večji del odhaja s plavžno žilindro in prahom. Drugi del kroži v plavžu in dela naseljene v spodnjem delu jaška in sedlu. Alkalije pospešujejo razžveplanje grodija, vendar so v plavžu nezaželjene, ker delajo naseljene, tvorijo lahkotopljive silikate in poslabšujejo strujanje plinov.

Avtorski izvleček

UDK: 621.771.016 + 621.892 + 620.191.355

ASM/SLA: F23, 1—67, 4—53, 9—71, 18—73

Hladno valjanje — maziva — vzdolžna hrapavost — mehanika tekočin

D. Čurčija

Vpliv vzdolžne hrapavosti trakov na proces hladnega valjanja z mazivi

Železarski zbornik 22(1988)3 s 95—99

Dane so rešitve na izračun višine mazivnega filma na vhodnem preseku cone deformacije pri procesu hladnega valjanja. Ugotovljeno je, da vzdolžna hrapavost trakov zmanjšuje višino mazivnega filma v odnosu na gladke površine valjev in valjanega materiala. Vendar je ta efekt slabo izražen. Rešitve so dane za laminarni tok maziv, za izotermne pogoje tehnološkega postopka, za nestisljive in newtonske fluide. Površinski pojavi na meji trdno telo — tekočina niso obravnavani. Predstavljene so tudi nekatere matematične olajšave pri računanju.

Avtorski izvleček

INHALT

UDK: 669.771.019:669.786:669.14.018.27

ASM/SLA: F23, 4—57, AY, 2—60, EGP, 9—74, T7c

Metallurgie — Warmwalzen — chromlegierter Federstahl

H. Ploštajner

Einfluss von Stickstoff im Stahl Č.4830 auf das Biegen beim Walzen

Železarski zbornik 22(1988)3 S 87—93

Beim Walzen flacher Profile aus Stahl Č.4830 kommt bei einigen Schmelzen beim Kühlen an der Kühlbank zum siechelartigen Biegen der gewalzten Profile. Metallographische Untersuchungen zeigten, dass die geraden Profile ein gleichmässiges perlitisches Gefüge aufweisen und die gebogenen Profile aus einem Mehrphasengefüge aus Perlit Bainit und Martensit bestehen.

Durch Zusatz von Stickstoff zum Stahl wird ein feineres Austenitkorn nach dem Warmwalzen erzieht, mit zahlreichen ausgeschiedenen Aluminium und Vanadium Nitriden. Beim Abkühlen des Walzgutes an der Kühlbank umwandelt solcher Austenit leichter zum Perlit, wodurch das Biegen verhindert wird.

Mehr als hundert Schmelzen von Stahl Č.4830 mit höheren Stickstoffgehalt sind erzeugt worden. Beim Stahl mit üblichem Stickstoffgehalt waren etwa 60 % der Schmelzen durch das Biegen beim Walzen betroffen. Bei den Schmelzen mit höheren Stickstoffgehalt war der Anteil dieser Schmelzen kleiner als 10 %.

Auszug des Autors

UDK: 669.187.2 + 669—982 + 669—147

ASM/SLA: D5, D9q, D8m, 10—55

Metallurgie — Stahlgewinnung — Elektrostahl — Vakuummetallurgie — Stranggiessen

J. Arh, J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Miakar

Bau und Inbetriebnahme von Stahlwerk 2 in Jesenice

Železarski zbornik 22(1988)3 S 65—78

Stillsetzung des alten SM Stahlwerkes mit sechs Öfen der Grösse von 45 bis 80 t. Der Bau eines neues Stahlwerkes mit einem UHP Lichtbogenschmelzofen mit Erkerabstich, mit einer Kapazität von 85 t Flüssigstahl und 60 MVA Trafoleistung, mit den angeschlossenen Anlagen für die Sekundärbehandlung von Stahl in der Pfanne. Das sind die VOD/VD Vakuumanlage und die TN Anlage für die Behandlung von Stahl mit CaSi und sintetischen Schlacken. Die Brammenstranggiessanlage mit der angeschlossenen Anlage für das Brennschneiden, die Kontrolle und das Putzen der Brammen.

Die bisherigen Erfahrungen werden beschrieben und die Produktions- und Qualitätsergebnisse werden gezeigt.

Auszug des Autors

UDK: 621.771.016 + 621.892 + 620.191.355

ASM/SLA: F23, 1—67, 4—53, 18—73

Kaltwalzverfahren — Schmiermittel — Längsrauigkeit — Mechanik der Flüssigkeit

D. Čurčija

Einfluss der Längsrauigkeit am Band an den Kaltwalzprozess mit Schmiermitteln

Železarski zbornik 22(1988)3 S 95—99

Lösungen für die Berechnung der Höhe des Schmierfilmes am Eintrittsquerschnitt der Verformungszone beim Kaltwalzverfahren werden gegeben. Es ist festgestellt worden, dass die Längsrauigkeit am Band die Höhe des Schmiermittelfilmes im Vergleich zu den glatten Oberflächen der Walzen und des gewalzten Werkstoffes verringert. Jedoch ist diese Wirkung schlecht ausgedrückt. Lösungen werden gegeben für einen laminären Schmiermittelfluss für isotherme Verfahrensbedingungen, nichtzusammendrückbare und Newton Flüssigkeiten. Oberflächenerscheinungen an der Grenze fester Körper — Flüssigkeit sind nicht bearbeitet worden. Auch einige mathematische Erleichterungen bei der Berechnung werden gegeben.

Auszug des Autors

UDK: 669.162.263.232:669.88

ASM/SLA: D1, D11n, EGe

Metallurgie — Roheisengewinnung

G. Todorović, B. Dobovišek, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar

Einfluss der alkalischen Karbonate auf die Reduktion der Eisenoxyde

Železarski zbornik 22(1988)3 S 79—85

Alkalien kommen in den Hochofen mit dem Möller, mit den Flussmitteln und mit dem Koks. Die Reduktion der Alkalien verläuft bei verhältnismässig niedrigen Temperaturen. Durch die Alkalien wird die Anfangstemperatur der Reduktion von Eisenoxyden um etwa 100°C erniedrigt. Sie vergrössern auch die Reaktivität der festen Reduzenten im Temperaturbereich zwischen 700 und 950°C. Die Alkalien verteilen sich im Hochofen so, dass der grösste Teil durch die Hochofenschlacke und Staub abgeschieden wird. Der übrige Teil kreist im Hochofen und bildet Ansätze im unteren Teil des Schachtes und im Sattel.

Die Alkalien beschleunigen die Entschwefelung von Roheisen jedoch sind sie wegen der Ansatzbildung im Hochofen unerwünscht. Sie bilden leichtschmelzende Silikate und verschlechtern die Strömung der Hochofengase.

Auszug des Autors

СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 669.771.019:669.786:669.14.018.27

ASM/SLA: F23, 4—57, AY, 2—60, EGp, 9—74, T7c

Металлургия — горячая прокатка — хромистая пружинная сталь
H. Ploštajner

Влияние азота в стали Č.4830 на изгиб при прокатки

Železarski zbornik 22(1988)3 С 87—93

При прокатки плоских профилей пружинной стали марки Č.4830 наступает при некоторых партиях загрузок серповидный изгиб проката на охлаждающем столе.

Металлографические исследования показали, что ровный прокат имеет перлитную структуру, между тем как прокатный материал с изгибом имеет структуру, состоящую из нескольких фаз, а именно: перлитной, бейнитной и мартенситной.

С повышением содержания азота в стали мы получаем, что сталь горячей прокатки имеет мелкие аустенитные зёрна и многочисленное количество выделенных нитридов алюминия и ванадия. При охлаждении проката на охлаждающем столе этот аустенит гораздо легче трансформируется в перлитную структуру, а это воспрепятствует появлению изгиба.

Изготовлено было свыше сто расплавов стали Č.4830 с увеличенным содержанием азота. Установлено, что в стали с нормальным содержанием азота оказалось прибл. 60 % расплавов показало появления изгиба при прокатке. В стали же с повышенным содержанием азота доля этих расплавов при прокатке с изгибом не превышало 10-и %.

Автореф.

UDK: 669.187.2+669—982+669—147

ASM/SLA: D5, D9q, D8m, 10—55

Металлургия — производство стали — электросталь — вакуумная металлургия — непрерывное литьё

J. Arh, J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Mlakar

Сооружение и эксплуатация сталеплавильного цеха 2 в металлургическом заводе Железарна Есенице

Železarski zbornik 22(1988)3 С 65—78

Прекращение работы старого мартеновского цеха с шестью печей ёмкости от 45-и до 80-и т. Постройка нового мартеновского цеха с дуговой электрической печью с эксцентриковым выпуском, ёмкости 85-и т. отлитой жидкой стали, оборудовано с приспособлениями для вторичной обработки стали в ковше. Это приспособления: устройство для обработки стали в вакууме и устройство для обработки стали с CaSi и с синтетическими шлаками. Приспособление для непрерывного литья слэббов с присоединенным устройством для газопламенной резки, осмотра и очистки слэббов. В статье дано также описание до сих пор полученные опыты и приведены показатели, относящиеся на производство и на качество изготовленной электростали.

Автореф.

UDK: 621.771.016+621.892+620.191.355

ASM/SLA: F23, 1—67, 4—53, 9—71, 18—73

Холодная прокатка — продольная шероховатость — механика текучести

D. Čurčija

Влияние продольной шероховатости ленты на процесс холодной прокатки с смазочными материалами

Železarski zbornik 22(1988)3 С 95—99

Поданы решения для высчитывания высоты смазочной плёнки на входном сечении зоны деформации при процессе холодной прокатки. Определено, что продольная шероховатость ленты уменьшает высоту смазочной плёнки в отношении на глаткие поверхности валков и прокатного материала, хотя этот эффект недостаточно выражен. Решения поданы для ламинарный поток смази, изотермические условия технологического процесса, несжимаемые плёнки и плёнки Ньютона. В статье не рассмотрены поверхностные явления на границе жёсткого тела — жидкости, представлены же некоторые математически облегчения при выполнении расчёта.

Автореф.

UDK: 669.162.263.232:669.88

ASM/SLA: D1, D11n, EGe

Металлургия — металлургия железа

G. Todorović, B. Dobovišek, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar

Влияние щелочных карбонатов на восстановление окисей железа

Železarski zbornik 22(1988)3 С 79—85

Щелочи поступают в доменную печь с рудной колошой, с флюсующими добавками и с коксом. Восстановление происходит при сравнительно низких температур и уменьшают температуру начала восстановления окисей железа прибл. на 100° С.

Щелочи увеличивают также реактивность твёрдых восстановителей в температурной области между 700 и 950° С.

Распределение щелочей в домне происходит так, что их большая часть удаляется с доменным шлаком и пылью. Другая часть щелочей циркулирует в домне и образует в нижней части шахта и заплечника закозления. Щелочи ускоряют удаление серы из чугуна, хотя они в домне нежелательны, потому что образуют закозления, а также текучие силикаты и ухудшают струение газов.

Автореф.

CONTENTS

UDK: 669.187.2+669-982+669-147

ASM/SLA: D5, D9q, D8m, 10-55

Metallurgy — Steelmaking — Electrical Steel — Vacuum Metallurgy — Continuous Casting

A. Arh, J. Biček, M. Demšar, A. Koselj, I. Polak, A. Miakar

Erection and Operation of Steel Plant 2 in Jesenice

Železarski zbornik 22(1988)3 P 65-78

Closing down the old open-hearth plant with six 45 to 80 t furnaces. Building of new steel plant with UHP electric arc furnace with eccentric tapping, having 85 t capacity for molten cast steel, with equipment for secondary treatment of steel in ladle, i. e. VD/VOD set-up and TN set-up for treatment of steel with CaSi and synthetic slags. Equipment for continuous casting of slabs together with equipment for flame cutting, control and descaling of slabs. Experiences till now are described, and production and quality parameters are shown.

Author's Abstract

UDK: 669.771.019:669.786:669.14.018.27

ASM/SLA: F23, 4-57, AY, 2-60, EGp, 9-74, T7c

Metallurgy — Hot Rolling — Chromium Spring Steel

H. Ploštajner

Influence of Nitrogen in Č.4830 Steel on Buckling

Železarski zbornik 22(1988)3 P 87-93

When flat sections of Č.4830 steel are rolled, a sickle-like distortion of rollings occurs in cooling on the cooling bank with some heats. Metallographic investigations showed that straight rollings have a uniform pearlitic structure while in the distorted rollings a multi-phase structure of pearlite, bainite, and martensite was revealed. Increased nitrogen content in steel causes fine austenitic grains and numerous precipitated aluminium and vanadium nitrides after hot rolling. Such austenite is much more easily transformed into pearlite during cooling of rollings on the cooling bank which prevents distortion. More than hundred melts of Č.4830 with increased nitrogen content were made. While with steel containing standard amount of nitrogen about 60 % of heats resulted in distorted rolling, this portion was reduced under 10 % with steel having higher nitrogen.

Author's Abstract

UDK: 669.162.263.232:669.88

ASM/SLA: D1, D11n, EGe

Metallurgy — Ironmaking

G. Todorović, B. Dobovišek, J. Lamut, L. Šketa, M. Tolar

Influence of Alkali Carbonates on the Reduction of Iron Oxides

Železarski zbornik 22(1988)3 P 79-85

Alkalis come into the blast furnace with the burden, with fluxes and with coke. They are reduced at relatively low temperatures and they reduce the temperature of commencement of reduction of iron oxides for about 100°C. Also the reactivity of solid reducing agents in the temperature region 700 to 950°C is increased. The alkalis are in the blast furnace distributed between the slag, the fumes and the burden. Into slag goes the majority, fumes contain the minority, and the portion which circulates in the furnace forms accretions in the lower part of the shaft and in the bosh. The alkalis improve the desulphurisation of pig iron but they are unwanted in the blast furnace due to the formation of accretions in form of low-melting silicates which has negative effect on gas flow.

Author's Abstract

UDK: 621.771.016+621.892+620.191.355

ASM/SLA: F23, 1-67, 4-53, 9-71, 18-73

Cold Rolling — Lubricants — Longitudinal Roughness — Fluid Mechanics

D. Čurčija

Influence of the Strip Longitudinal Roughness on the Cold Rolling Process with Lubricants

Železarski zbornik 22(1988)3 P 95-99

The equations to calculate the thickness of lubricant layer at the inlet cross section of the deformation zone in the cold rolling process are given. It was found that the longitudinal roughness of the strip reduces the thickness of the lubricant layer compared to that for the smooth surfaces of rolls and of rolled material.

However, this effect is not pronounced. Solutions are presented for the laminar flow of lubricant, for isothermal conditions of technologic process, and for incompressible and Newtonian fluids. The surface phenomena at the solid-liquid boundary are not taken in account. Also some mathematical simplifications in calculations are presented.

Author's Abstract