

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Arh Joža — Zelezarna Jesenice	
INFORMACIJA O MOŽNOSTI IZDELAVE NE- POMIRJENEGA JEKLA V ELEKTRICNIH PECEH	1
Arh Joža — Zelezarna Jesenice	
KAJ JE NEPOMIRJENO JEKLO IN KAKO GA VLIVAMO?	11
Čop Stanko — Zelezarna Jesenice	
MOŽNOSTI POVEČANE PRESKRBE S STA- RIM ŽELEZOM IZ DOMACIH VIROV	19
Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana	
METALURŠKE REAKCIJE PRI PRETALJEVA- NJU KVALITETNIH JEKEL POD ŽLINDRO	23
Exel Neža — Zavod za raziskavo mate- riala in konstrukcij	
KOROZIJSKA ODPORNOST CORTEN JEKLA	31
Mesec Ivan, J. Markež — Zelezarna Jesenice	
ELEKTRODE PK 13/6, NOVI DODAJNI MATE- RIAL ZA VARJENJE FERITNO MARTENZIT- NIH JEKEL	43
Brudar Božidar — Zelezarna Jesenice	
INTERPRETACIJA DIAGRAMOV	53

LETO 7 ŠT. 1 1973

ŽEZB BQ 7 (1) 1-64 (1973)



Arh Joža — Železarna Jesenice

Informacija o možnosti izdelave nepomirjenega jekla na električnih pečeh 1

DK: 669.141.241.4:669.187.2

ASM/SLA: St-d; D-5

Arh Joža — Železarna Jesenice

Kaj je nepomirjeno jeklo in kako ga vlivamo? 11

DK: 669.14.018.26

ASM/SLA: St-d, D9p

Čop Stanko — Železarna Jesenice

Možnosti povečane preskrbe s starim železom iz domačih virov 19

DK: 669.1

ASM/SLA: RM-p, A89

Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana

Metalurške reakcije pri pretaljevanju kvalitnih jekel pod žlindro 23

DK: 669.187:669.014

ASM/SLA: D8n

Exel Neža — Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij

Korozijska odpornost Corten jekla 31

DK: 620.191.2:669.14.018.821

ASM/SLA: R3r, SS

Mesec Ivan, J. Markež — Železarna Jesenice

Elektroda PK 13/6, novi dodajni material za varjenje feritno martenzitnih jekel 33

DK: 621.791.742.41

ASM/SLA: K1a

Brudar Božidar — Železarna Jesenice

Interpretacija diagramov 53

DK: 519.24

ASM/SLA: SL 2

Arh Joža — Zelezarna Jesenice Information über die Möglichkeit der Erzeugung unberuhigter Stähle im Lichtbogenofen 1 DK: 669.141.241.4:669.187.2 ASM/SLA: St-d; D-5
Arh Joža — Zelezarna Jesenice Was ist unberuhigter Stahl und wie man den giesst? 11 DK: 669.14.018.26 ASM/SLA: St-d, D9p
Cop Stanko — Zelezarna Jesenice Möglichkeit für eine bessere Versorgung mit Schrott aus einheimischen Quellen 19 DK: 669.1 ASM/SLA: RM-p, A89
Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana Metallurgische Reaktionen beim Elektro-schlacke-Umschmelzen der Qualitätsstähle 23 DK: 669.187:669.014 ASM/SLA: D8n
Exel Neža — Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij Korrosionsbeständigkeit des Corten Wetterfesten Stahles 31 DK: 620.191.2:669.14.018.821 ASM/SLA: R3r, SS
Mesec Ivan, J. Markež — Zelezarna Jesenice Aufschweisselektrode PK 13/6 ein neuer Zusatzwerkstoff für das Schweißen ferritisch-martensitischer Stähle 43 DK: 621.791.742.41 ASM/SLA: K1a
Brudar Božidar — Zelezarna Jesenice Deutung der Diagramme 53 DK: 519.24 ASM/SLA: SL 2

CONTENTS

Page

Arh Joža — Železarna Jesenice

Information on possibility of manufacturing rimming steels in electric arc furnace 1

DK: 669.141.241.4:669.187.2

ASM/SLA: St-d; D-5

Arh Joža — Železarna Jesenice

What is rimming steel and how it is cast? 11

DK: 669.14.018.26

ASM/SLA: St-d, D9p

Čop Stanko — Železarna Jesenice

Possibility of better supplies of scrap iron from domestic sources 19

DK: 669.1

ASM/SLA: RM-p, A89

Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana

Metallurgical reactions in electroslag remelting of quality steels 23

DK: 669.187:669.014

ASM/SLA: D8n

Exel Neža — Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij

Corrosion resistance of Corten steel 31

DK: 620.191.2:669.14.018.821

ASM/SLA: R3r, SS

Mesec Ivan, J. Markež — Železarna Jesenice

Electrode PK 13/6 new adding material for welding ferrite-martensitic steels 43

DK: 621.791.742.41

ASM/SLA: K1a

Brudar Božidar — Železarna Jesenice

Interpretation of diagrams 53

DK: 519.24

ASM/SLA: SL 2

СОДЕРЖАНИЕ

- Arh Joža — Železarna Jesenice
Информация о возможности производства кипящей стали в электродуговой печи. 1
DK: 669.141.241.4:669.187.2
ASM/SLA: St-d; D-5
- Arh Joža — Železarna Jesenice
Что такое кипящая сталь и как ведётся её разливка? 11
DK: 669.14.018.26
ASM/SLA: St-d, D9p
- Čop Stanko — Železarna Jesenice
Возможность увеличения снабжения с скрапом из домашних источников. 19
DK: 669.1
ASM/SLA: RM-p, A89
- Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana
Металлургические реакции при переплавки качественных сталей под шлаком. 23
DK: 669.187:669.014
ASM/SLA: D8n
- Exel Neža — Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij
Коррозионная стойкость Corten стали. 31
DK: 620.191.2:669.14.018.821
ASM/SLA: R3r, SS
- Mesec Ivan, J. Markež — Železarna Jesenice
Электрод РК 13(6). Новый добавочный материал для сварки ферритно-мартенситной стали. 43
DK: 621.791.742.41
ASM/SLA: K1a
- Brudar Božidar — Železarna Jesenice
Интерпретация диаграмм. 53
DK: 519.24
ASM/SLA: SL 2

Joža Arh, dipl. inž.
Zelezarna Jesenice*

DK: 669.141.241.4 : 669.187.2
ASM/SLA: St-d; D-5

Informacija o možnosti izdelave nepomirjenega jekla v električnih obločnih pečeh

V jeseniški železarni pravkar načrtujejo novo jeklarno. SM peči so dotrajane in proizvodnja na skrajni meji rentabilnosti. Bodoči jeklarski agregati bodo po vsej verjetnosti električne peči. Ker v našem sedanjem proizvodnem programu precejšen del zavzema tudi nepomirjeno jeklo, se moramo vprašati, če bomo iz bodoče jeklarne, ki naj bi imela le električne peči, lahko dobivali tudi nepomirjeno jeklo. Poskusi, ki jih obravnavamo v tem poročilu, naj dajo odgovor na to vprašanje.

UVOD

Največji del v svetovni proizvodnji jekla zavzema nepomirjeno jeklo, in to predvsem zaradi visokega izkoristka in dobre površine. Najustreznejše peči za izdelavo nepomirjenega jekla so martinovke in konvertorji. Električne peči so primerne predvsem za izdelavo pomirjenega jekla. V preteklem desetletju, ko je začela proizvodnja SM jekla hitro upadati, predvsem zaradi hitre ekspanzije LD jekla, pa so del te proizvodnje prevzele električne peči, ki se ponekod zelo hitro širijo in iz kvalitetne proizvodnje prehajajo vedno bolj v proizvodnjo masovnega jekla kot n. pr. konstrukcijska jekla, jekla za elektro pločevino, betonsko železo in podobno. O proizvodnji nepomirjenega jekla na električnih pečeh v strokovni literaturi ni mogoče najti nobenih poročil, čeprav so znani posamezni primeri take proizvodnje.

Izdelava poizkusnih šarž

Vse šarže smo izdelali na 60-tonski Lectromelt peči. Potem ko je bila šarža raztaljena in je bila znana sestava jekla, smo šaržo ogreli na 1600°C in jo z enim ali dvema presledkoma spihali s kisikom na 0,10 do 0,07 % C. Vmes smo dodajali apno zaradi tvorjenja primerno bazične žlindre in odžveplanja, ker je v nasprotju z dvožlindrnim

procesom, kjer je oksidacija hitra in intenzivna, žveplo treba odstraniti že med oksidacijo. Ker je odžveplanje poleg zadostne koncentracije prostega CaO in temperature tudi funkcija časa, je običajno takšna oksidacija daljša, odvisno pač od vsebnosti žvepla ob raztalitvi in zahtevanega končnega žvepla. Ko smo dosegli predpisano sestavo, v našem primeru od 0,07 do 0,10 % C in pod 0,040 % S in potrebno temperaturo jekla 1640°C, smo šaržo odlili v ponev. V ponev smo dodali tudi potrebni FeMn za korekturo mangana. Izdelava nepomirjenega jekla je torej povsem preprosta. Važno pri tem je le, da je prebodna odprtina primerno majhna, tako da se jeklo in žlindra pri prebodu ne moreta mešati. Proizvodnja nepomirjenega jekla je lahko, ob dobrem vložku in pri ugodni prvi analizi — ob raztalitvi, zelo hitra. Izdelavo jekla v fazi oksidacije kaže slika 1. Slika 2 pa prikazuje vlivanje nepomirjenega jekla z značilnim iskrenjem pri kuhanju.

Pregled izdelanih šarž kaže naslednja tabela:

Iz tabele je razvidno, da so bile šarže izdelane pri različnih pogojih t. j. od mehke raztalitve z 0,09 % C pri šarži 14 4852 in 14 5015 do trde pri šarži 14 4909 z 1,08 % C.

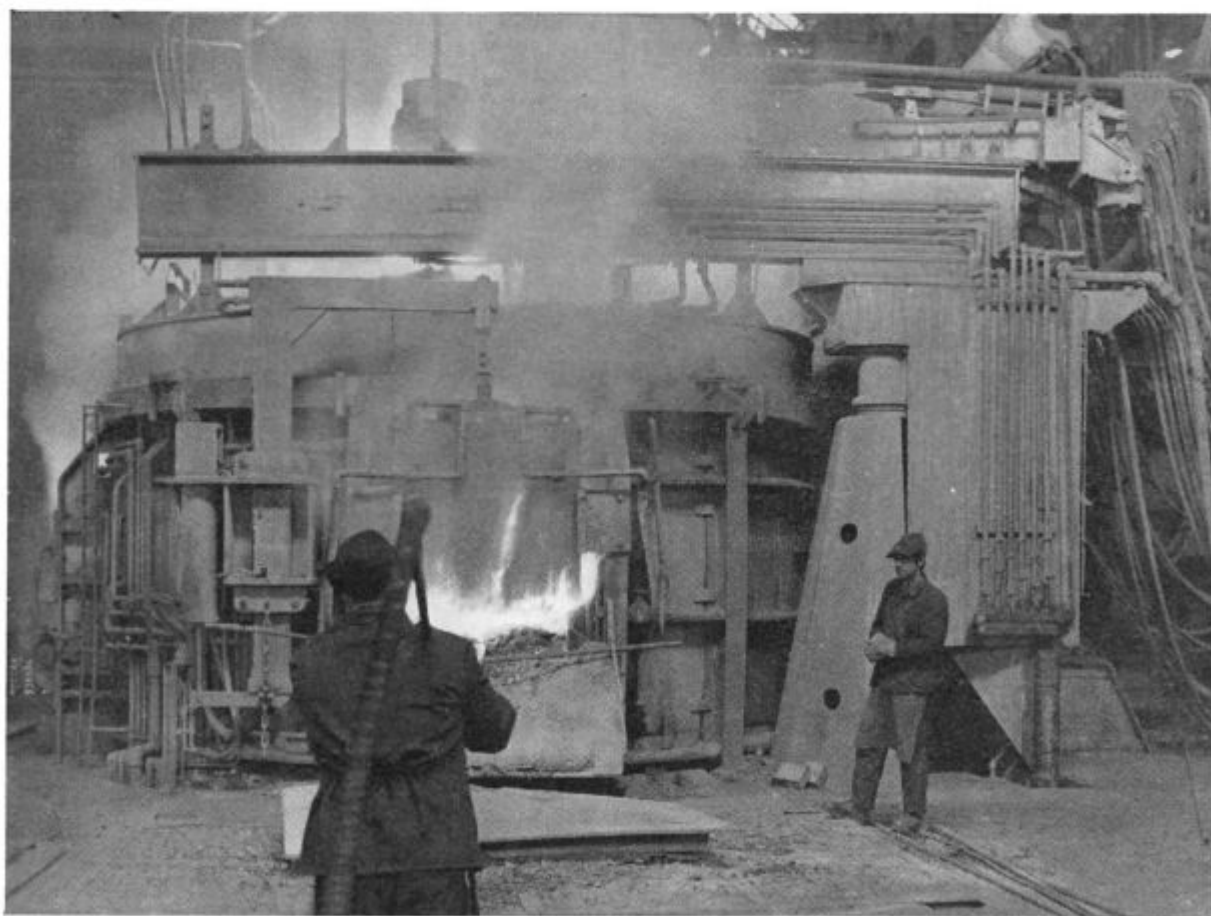
Tudi končne analize kažejo, da je bila sestava jekla po livnih ploščah različna, in sicer se je ogljik gibal od 0,06 do 0,11 %. FeO je bilo v žlindri pri osem šaržah okrog 10 %, pri dveh pa okrog 22 %. Odgovarjajoče sestavi jekla in žlindre je bilo tudi kuhanje jekla v kokilah. Pri večini šarž je bilo kuhanje razmeroma slabo. Vendar se je dalo vse šarže zelo lepo viliti. Vsebnost kisika v jeklu je bila ravno zadostna, da se je vsaka šarža praktično vlila sama in ni bilo treba dodajati niti aluminija za vezanje kisika niti pospeševalcev kuhanja za boljše kuhanje v kokili. Šarži 14 4909 in 14 4931 pa sta zaradi načina izdelave pihanja na nižji ogljik, višji FeO v žlindri, ker žlindre nismo posnemali, vsebovali znatno več kisika (glej tabelo 1) in sta se pri vlivanju obnašali tako kakor

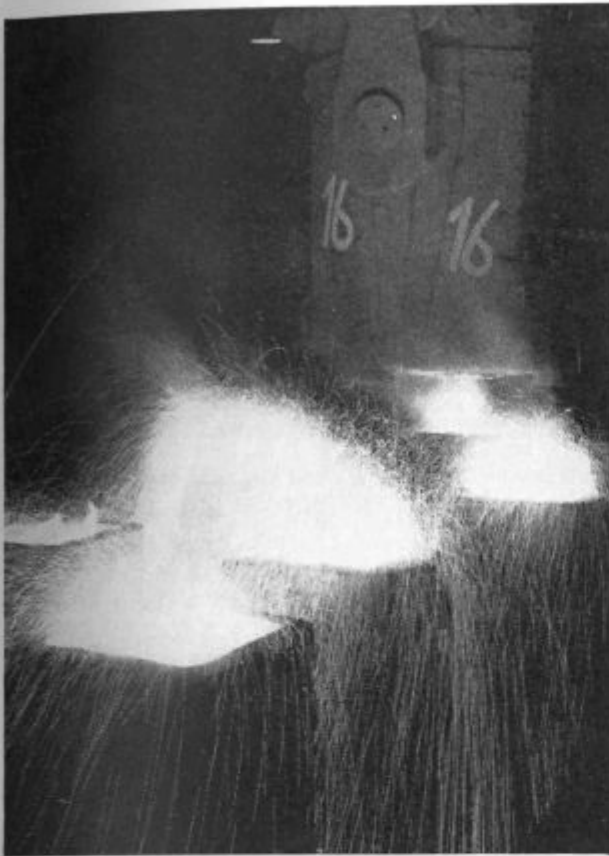
* Predavanje na metalurškem srečanju v Portorožu od 12. do 13. oktobra 1972.

Tabela 1:

St. šarže	Sestava jekla v %																		
	ob raztalitvi				pred prebodom				ppm temp.		iz curka pri vlivanju						(ppm)		
	C	Mn	P	S	C	Mn	S	FeO	O ₂	°C	C	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	N ₂	O ₂
14 4829	0.36	0.19	0.016	0.054	0.10	0.21	0.030	10.45	423	1640	0.07 0.08	0.35	0.010	0.032	0.08	0.22	0.09	—	325
14 4852	0.09	0.15	0.009	0.070	0.10	0.28	0.027	10.6	344	1635	0.09 0.10	0.40	0.014	0.037	0.11	0.20	—	55	276
14 4909	1.08	0.23	0.029	0.043	0.06	0.13	0.030	21.8	536	1645	0.07 0.06	0.35	0.005	0.029	0.11	0.17	0.15	48	434
14 4931	0.32	0.29	0.006	0.026	0.06	0.23	0.018	22.0	520	1640	0.07	0.27	0.005	0.017	0.05	0.15	0.06	37	452
14 4937	0.61	0.37	0.020	0.050	0.09	0.40	0.025	9.05	352	1640	0.11 0.10	0.36	0.013	0.033	0.17	0.20	0.07	49	265 274
14 5011	0.63	0.14	0.023	0.048	0.07	0.19	0.042	10.17	595	1650	0.06 0.05	0.37	0.010	0.037	0.08	0.22	0.07	54	438
14 5013	0.33	0.30	0.006	0.037	0.08	0.28	0.023	9.16	453	1640	0.08	0.34	0.007	0.025	0.06	0.22	0.06	56	298 311
14 5015	0.05	0.05	0.008	0.042	0.12	0.27	0.032	14.4	495	1650	0.06	0.27	0.006	0.025	0.04	0.22	0.08	63	432
14 5017	0.60	0.47	0.022	0.037	0.08	0.31	0.029	10.7	492	1645	0.08	0.32	0.006	0.023	0.11	0.20	0.09	47	374
14 5021	0.42	0.19	0.014	0.042	0.06	0.18	0.038	11.3	—	1645	0.06 0.07	0.35	0.009	0.032	0.14	0.20	0.08	49	—
14 5027	0.50	0.20	0.019	0.039	0.10	0.19	0.035	9.5	—	1650	0.06	0.30	0.006	0.031	0.09	0.28	0.09	46	—

Pregled izdelanih šarž nepomirjenega jekla kvalitete Č 0146 in Č 0147


 Slika 1
 Izdelava jekla — oksidacija



Slika 2
Vlivanje nepomirjenega jekla z značilnim iskrenjem pri kuhanju

običajne martinarske šarže. Kuhanje je bilo ves čas vlivanja izredno močno in je v zgornji polovici prešlo v penjenje, tako da je bilo treba kisika v jeklu znižati z dodajanjem aluminija v curek jekla (do penjenja pride takrat, kadar je kisika v jeklu toliko, da kuha po celem preseku bloka in ne le v coni strjevanja ob stenah kokile.)

Vse šarže smo vlili od spodaj — sifonsko, z razmeroma majhno hitrostjo dviganja jekla, ki je bilo v mejah od 14 do 20 cm/min, le na treh livnih ploščah je bila hitrost večja od 20 cm/min. Teža enega bloka znaša 4800 kg, format kokile 650 mm kvadrat, na eni livni plošči pa vlivamo po štiri bloke naenkrat. Razen štirih blokov pri šarži 14 4909, ki smo jih po izkuhanju pokrili, smo vse druge po 5 do 10-minutnem kuhanju blokirali z aluminijem.

PREISKAVE IN REZULTATI

Gibanje kisika v peči, v ponvi in v gredicah pri elektro in SM jeklu

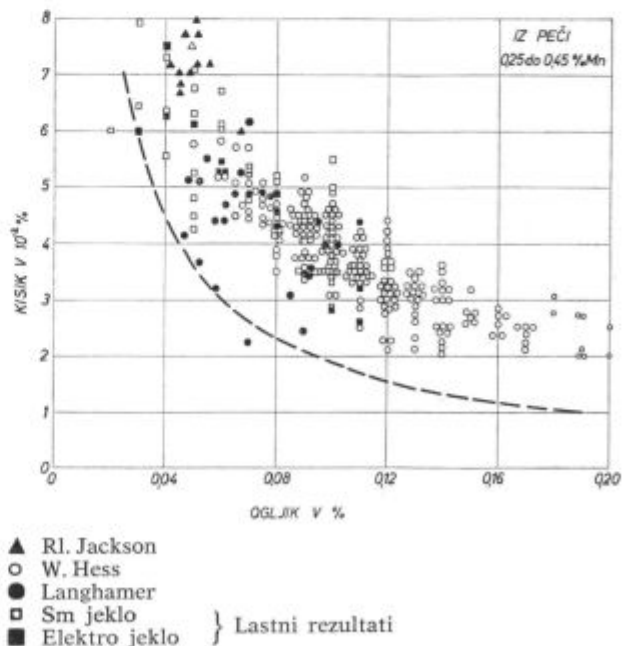
O vlivanju nepomirjenega jekla je bilo v strokovni literaturi objavljenih že mnogo fundamentalnih raziskav. Kljub temu predstavlja vlivanje in strjevanje nepomirjenega jekla še danes neke vrste neobvladano umetnost, od katere sta odvisni

tako čistoča jekla kakor tudi kvaliteta površine. Kakovost nepomirjeno vlitega jekla je v veliki meri odvisna od fizikalno kemijskih procesov med strjevanjem v kokili. Najbolj važno pri tem je »kuhanje« taline, ki je posledica medsebojnega delovanja ogljika in kisika v jeklu. Zato da lahko izdelamo kvalitetno neoporečno jeklo, mora biti pri danem ogljiku toliko kisika v jeklu, da je zagotovljeno dobro kuhanje.

Vsebnost kisika v jeklu v kokili pa je odvisna od fizikalno kemijskih reakcij v celotnem procesu izdelave jekla, to je od reakcij v peči, med odlitjem v ponev in med vlivanjem in je zaradi različnih pogojev med izdelavo od šarže do šarže različna.

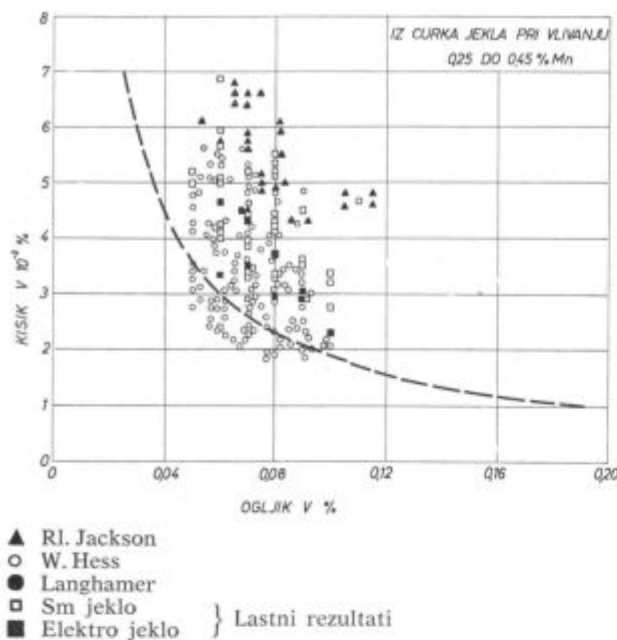
Ko smo se odločali za poskuse izdelave nepomirjenega jekla na električni peči, je bila prav do tedaj ne dovolj poznana vsebnost kisika v jeklu v peči in v curku pri vlivanju tista zavora, ki nam je jemala pogum za prvi poskus. Z namenom dobiti potrebne podatke o vsebnosti kisika, smo pri izdelavi nizkoogljičnih jekel najprej določali kisik pri približno enaki sestavi kot jo ima jeklo Č 0147. Ze ti podatki so pokazali in rezultati poskusnih šarž so potrdili, da je proizvodnja nepomirjenega jekla možna tudi v električnih pečeh.

Slike 3, 4 in 5 prikazujejo vsebnost kisika, kako je odvisen od ogljika v jeklu v peči, v curku jekla med vlivanjem in v bloku, oziroma v gredici, za SM in elektro jeklo v primerjavi z rezultati nekaterih tujih avtorjev. Iz slike je razvidno, da se naši rezultati dovolj dobro ujemajo z rezultati tujih avtorjev (1, 2, 3) in da je vsebnost kisika v jeklu, ki je izdelano v električni peči, približno enaka, oz. nekoliko nižja kakor pa vsebnost kisika v jeklu, ki je izdelano v SM peči. To velja pred-



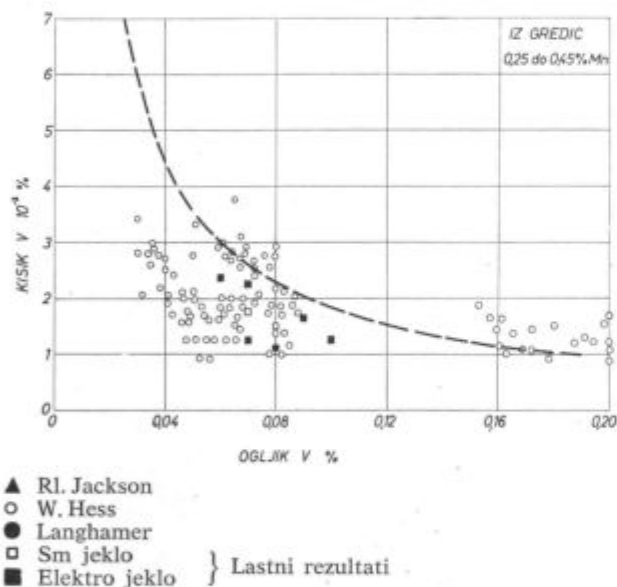
Slika 3

Vpliv ogljika na vsebnost kisika v jeklu v peči



Slika 4

Vpliv ogljika na vsebnost kisika v curku jekla pri vliwanju



Slika 5

Vpliv ogljika na vsebnost kisika v bloku oziroma gredici

vsem za kisik v jeklu v peči in v curku jekla iz ponve pri vliwanju. Analize kisika v gredicah kažejo, da v končnem izdelku ni bistvene razlike med SM in elektro jeklom.

Globina plinskih mehurjev v jeklu

Od vsake šarže smo vzeli po en ali dva vzorca iz robu bloka za določevanje globine plinskih mehurjev v zunanjem spodnjem vencu mehurjev. Za vse šarže je značilno, da so bili plinski mehurji zelo globoko pod površino, in to od 25 mm pri šarži 14 4937 z najmanj ugodno sestavo in najslabšim kuhanjem do 50 mm pri šarži 14 4852. Preiska-

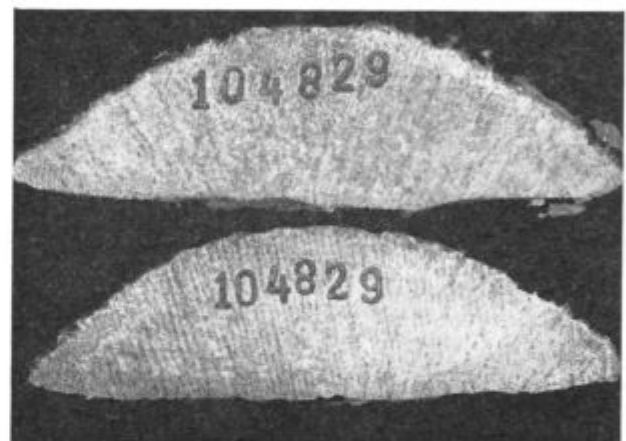
ve globine mehurjev kažejo, da le-ta ni toliko odvisna od intenzivnosti kuhanja, pač pa predvsem od hitrosti vliwanja, kar je razvidno iz tabele 2. (dia 939).

Tabela 2

Šarža	Sestava			ppm O ₂	hitrost globine mehurjev cm/min. v mm	
	C	Mn	S			
14 4829	0,07	0,35	0,032	354	19	30
	0,08			299	17	40
14 4852	0,09	0,40	0,037	293	14	50
	0,10			305	23	25
14 4909	0,07	0,35	0,029	434	21	25
14 4937	0,11	0,36	0,033	265	16	25

Vpliv hitrosti vliwanja na globino zunanjega venca plinskih mehurjev

Pri majhni hitrosti vliwanja, oziroma pri počasi rastočem ferostatičnem pritisku se plinski mehurji lahko hitreje izločajo tudi pri slabem kuhanju



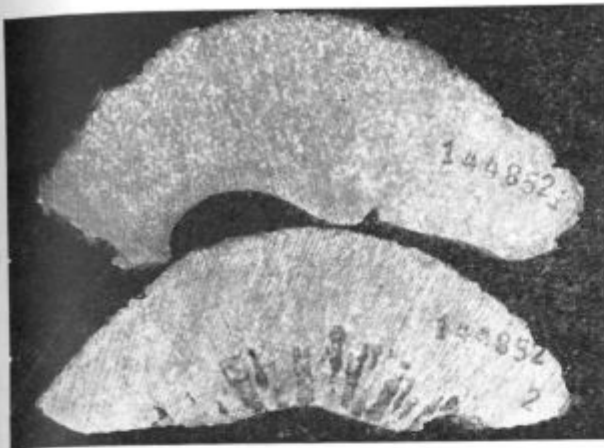
Globina mehurjev 30 do 40 mm
hitrost vliwanja 19,17,15 cm/min



Sestava: C Mn P S
0,07 0,35 0,010 0,032 v %

Slika 6

Prerez vogelnih prob vzeti na nogi ingota in izgled površine gredic pri šarži 14 4829



1. Globina mehurjev 50mm
hitrost vliivanja 14 cm/min
2. Globina mehurjev 25mm
hitrost vliivanja 23 cm/min



Sestava: C 0,09 Mn 0,40 P 0,014 S 0,037 v %

Slika 7

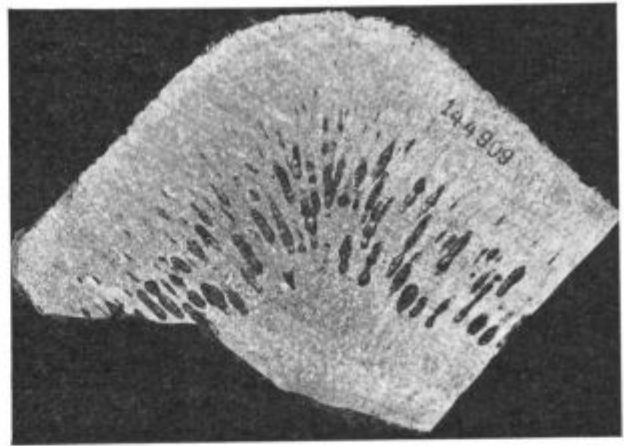
Prezrez vogelnih prob vzetih na nogi ingota in izgled površine gredic pri šarži 14 4852

jekla, tako da z zmanjšanjem hitrosti vliivanja lahko kompenziramo negativni vpliv slabega kuhanja na globino plinskih mehurjev v bloku.

Površinski izgled valjancev

Čim globlje ležijo plinski mehurji pod površino bloka, tem manjša je možnost, da bi le-ti prišli med valjanjem na površje in povzročali površinske napake. Vse, kar je nad 20 mm, lahko ocenimo kot odlično in take so bile tudi vse naše šarže. Po dva bloka od prvih pet šarž smo izvaljali v trak, ostale pa vse v gredice 135 mm kvadrat. Zadnjih šest šarž iz tabele 1 pa smo izdelali že za redno proizvodnjo.

Tako robovi pri trakovih kakor tudi površina gredic je bila pri vseh šaržah brez površinskih napak.



Globina mehurjev 25mm
hitrost vliivanja 21 cm/min



Sestava: C 0,06 Mn 0,35 P 0,05 S 0,029 v %

Slika 8

Prezrez vogelne probe in izgled površine gredic pri šarži 14 4909

Slike 6, 7 in 8 kažejo videz vogalnih preizkušancev in gredic za tri različne šarže.

Mehanske lastnosti toplo valjane žice

Vse šarže so bile pretežno izvaljane v toplo valjano žico, premera 6 mm. Primerjava vrednosti

Tabela 3

		meja plastičnosti	kp/mm ² trdnost	% raztezek	kontrakcija
elektro jeklo N = 40	X	24,57	36,65	41,43	75,27
	S	1,1	1,16	2,74	2,33
SM jeklo N = 40	X	24,46	35,70	43,2	72,9
	S	1,0	1,53	2,36	2,02

Primerjava mehanskih lastnosti toplovaljane žice iz elektro in SM jekla

mehanskih lastnosti s toplo valjano žico enake kvalitete, ki je izdelana v martinarni, je podana v tabeli 3.

V toplo valjanem stanju se mehanske vrednosti SM in elektro jekla zelo dobro ujemajo. Trdnost jekla, ki je izdelano v električni peči, je nekoliko višja, raztezek manjši, kontrakcija pa večja.

Ocena sposobnosti vlečenja toplo valjane žice, izdelane na električni peči, v primerjavi z žico, ki je izdelana v SM pečeh.

Zasledovali smo vlečenje žice dveh elektro in ene SM šarže. Vse šarže smo preizkusili glede na sposobnost vlečenja do maksimalne možne stop-

Tabela 4

Šarža	dimenz. mm	trdnost kp/mm ²	kontrakcija %	skupni odvzemi %	vlečeno iz
14 4829	6	39,4	71,3	—	
	1,40	95,3	36,2	94,5	2,5 mm Ø
		99,3	24,2		
	1,00	105,8	43,8	97,2	1,4 mm Ø
		105,8	43,8	97,2	
14 4852	6	37,2	78	—	
	1	125	19	97,95	1,4 mm Ø
	1	123	48	97,95	
	1	137	22	97,95	
04 8916 SM jeklo	6	33,4	68,6	—	
	2,5	72,5	58,3	82,6	6 mm Ø
	1,0	101,2	—	97,2	1,4 mm Ø
	1,0	98,2	—	97,2	

Primerjava mehanskih lastnosti vlečene žice iz elektro in SM jekla

Tabela 5

		srednja vrednost x		standardni odklon S		N	
		žarj. v obratu	žarj. v labor.	žarj. v obratu	žarj. v labor.	žarj. v obratu	žarj. v labor.
elektro jeklo	σv	26,0	23,9	2,72	1,38	14	8
	σm	37,1	34,6	2,18	1,41	14	8
	$\sigma 10$	33,5	39,6	5,11	1,69	14	8
	$\sigma 5$	49,0	47,9	5,26	1,36	14	8
	E	10,29	10,29	0,09	0,08	28	4
SM jeklo	σv^3	24,8	21,7	2,20	1,45	24	20
	σm	34,9	31,8	1,70	1,05	24	20
	$\sigma 10$	44,5	43,3	3,80	3,85	24	20
	$\sigma 5$	56,8	55,9	3,45	5,90	24	20
	E	10,29		0,20		16	20

Primerjava mehanskih lastnosti hladno valjanih trakov iz elektro in SM jekla

nje predelave brez vmesnega žarjenja. Izhodni premer toplo valjane žice je bil 6 mm. V tabeli 4 so prikazani doseženi rezultati mehanskih lastnosti, dimenzije in odvzemi.

Žice se je dalo vleči brez težav do 1 mm Ø brez vmesnega žarjenja. Iz podatkov v tabeli se vidi, da je trdnost pri elektro šarži 14 4829 pri enaki stopnji redukcije kot SM šarži 04 8916 za 5 do 7 kp/mm² večja. Poskusi vlečenja kažejo, da sedanje nepomirjeno martinarsko jeklo lahko nadomestimo z nepomirjenim elektro jeklom.

Mehanske lastnosti hladno valjanih trakov v žarjenem stanju

Od vsake šarže smo po dva ingota izvaljali v trak 3 mm debeline na šteklu in dalje v hladni valjarni na 0,8 mm debeline. Vzorce hladno valjanih trakov smo žarili tudi v laboratoriju, zato so te vrednosti nižje kot za vzorce, ki so žarjeni v obratu. V tabeli 5 prikazujemo mehanske lastnosti trakov za kvaliteto jekla Č 0147 primerjalno za elektro in SM jeklo.

Iz podatkov v tabeli 5 se vidi, da sta trdnost in meja raztezanja za približno 2 kp/mm² večja pri jeklu, ki je izdelano v električni peči, raztezek 5 in 10 je nekoliko manjši.

Globitev po Erichsensu odgovarja predpisani kvaliteti in dimenziji. Pri hladnem valjanju ni bilo opaziti nobenih razlik v pogledu vlečnih lastnosti med SM in elektro jeklom.

Višje vrednosti za mejo raztezanja in trdnost pri elektro jeklu v žarjenem in še bolj v vlečenem stanju (pri žici) si lahko razložimo z drugačno naravo elektro jekla. Elektro jeklo se od SM jekla razlikuje predvsem po višji vsebnosti spremljajočih elementov Cr, Cu in Ni, medtem ko je dušik pri nepomirjenem elektro jeklu razmeroma nizek.

Za deset šarž nepomirjenega jekla kvalitete Č 0147, ki je bilo izdelano na električni peči, dobimo naslednje vrednosti.

Tabela 6

Nepomirjeno jeklo	Sestava jekla										
	N (ppm)			Cr %		Cu %		Ni %		Sn %	
	N	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
elektro	10	50	6,8	0,094	0,05	0,20	0,05	0,08	0,004	0,0013	0,0005
SM	3064	59	6,4	0,048	0,028	0,147	0,045	0,05	0,016	0,0010	0,0005

Razlike v vsebnosti dušika in drugih spremljajočih elementov med SM in elektro jeklom

Največja razlika v sestavi je pri kromu, ki ga je v elektro jeklu dvakrat toliko kot v SM jeklu, pri bakru in niklu. Razmeroma ugodna sestava elektro jekla je dosežena s 15 do 20 % surovega železa v vložku.

Čistoča jekla

Na vseh valjancih, t. j. na gredicah in trakovih smo določali tudi množino nekovinskih vključkov po JK skali. Določevanje čistoče na gredicah pri

Tabela 7

		A + C	B + D	skupaj
14 4829	N	1,24	2,52	3,76
	S	1,12	5,56	6,68
	G	1,36	4,24	5,60
14 4852	N	3,44	2,68	6,12
	S	1,48	4,24	5,75
	G	1,08	4,48	5,56
14 4909	N	1,88	3,08	4,96
	S	2,14	3,98	5,12
	G	2,34	3,20	5,54
14 4931	N	0,64	3,76	4,40
	S	0,72	5,08	5,80
	S	1,48	4,24	5,72
07 0783	N	1,22	3,32	4,54
	S	0,84	3,44	4,28
	G	0,98	3,66	4,64
SM jeklo	N	1,34	3,18	4,52
	S	0,92	3,74	4,66
	G	0,80	3,86	4,66
07 0806	N	2,28	2,20	4,48
	S	0,80	3,04	3,84
	G	0,24	4,40	4,64
SM jeklo	N	0,28	6,52	6,80
	S	0,48	3,16	3,44
	G	0,20	4,88	5,08

N = noga
S = sredina
G = glava

Primerjava čistoče gredic 135 mm kv. med nepomirjenim SM in elektro jeklom

nepomirjenem jeklu sicer ni običajno, vendar smo zaradi primerjave napravili nekaj določitev na izdelanih elektro šaržah in dveh SM šaržah. Rezultate prikazuje tabela 7.

Iz tabele je razvidno, da je elektro jeklo bolj nečisto. Več je plastičnih in oksidnih vključkov. Vse šarže smo po vlišanju v glavi blokirali z aluminijem, zato opazimo močan prodor aluminatnih vključkov od glave do sredine v sredini bloka.

Čistoče trakov (debelina 3 mm) prikazuje tabela 8. Nekovinske vključke smo določali pri glavi (G), sredini (S) in nogi (N) na robu in sredini traku.

Primerjava vrednosti z SM šaržama 07 0809 ... 06 1509 daje bolj ugodno sliko, kot je pri gredicah. V pogledu čistoče ni več bistvenih razlik med elektro in SM jeklom. Ker so elektro šarže v glavah blokirane z aluminijem — SM šarže so pokrite s težkimi litimi pokrovi, opazimo pri trakovih v sredini traku od glave pa vse do sredine bloka večje koncentracije Al_2O_3 vključkov. Blokiranje nepomirjenega jekla z aluminijem zato ni primerno, če se bloki valjajo v trakove.

Opazen je tudi vpliv kisika v jeklu, oziroma vpliv intenzivnosti kuhanja v kokili na čistočo jekla. Naši rezultati samo potrjujejo že znane ugotovitve tujih avtorjev (Langhammer 3), da premočno kuhanje v kokili poslabša čistočo jekla. Šarže 14 4829, 14 4852 in 14 4937 z razmeroma nizko vsebnostjo kisika so le zmerno kuhale v kokili in so mnogo bolj čiste od šarže 14 4909, ki je imela za polovico višji kisik pred prebodom in v curku pri vlišanju in je izredno močno kuhala. Višji ogljik v jeklu šarže 14 4852 in 14 4937 ščiti mangan pred oksidacijo, zato sta ti dve šarži čistejši od drugih mehkejših šarž.

Ocena doseženih rezultatov

Dosedanje poizkusno proizvodnjo izdelave nepomirjenega jekla na električni peči lahko ocenimo zelo ugodno. Medtem že teče redna proizvodnja nepomirjenega jekla za hladno valjane trakove kvalitete C 0147 s strožjimi zahtevami do 0,07 % C in do 0,030 % S. Izdelava jekla je enostavna in ne povzroča nobenih težav. FeO v žilindri se v glavnem giblje od 8 do 12 %, tako da je tudi vlišanje takšnega jekla enostavno, ker tudi pri 0,06 % C ne potrebuje večjih dodatkov aluminija za uravnavanje kuhanja.

Tabela 8

		A + C	B + D	skupaj	A + C	B + D	skupaj
14 4829	GR	0,80	2,08	2,88			
	GS	1,04	3,00	4,04			
	SR	0,56	2,24	2,80			
	SS	aluminati nad 5					
	NR	1,04	2,32	3,36			
	NS	1,24	1,83	3,08			
14 4852	GR	1,28	2,12	3,40	2,20	2,36	4,56
	GS	1,56	2,76	4,32	aluminati nad 5,0		
	SR	1,36	2,72	4,08	1,46	2,24	4,20
	SS	1,52	2,68	4,20	aluminati nad 5		
	NR	1,44	2,68	4,12	1,92	2,24	4,16
	NS	2,00	2,36	4,36	1,28	2,20	3,48
14 4909	GR	0,56	3,76	4,32	1,00	4,92	5,92
	GS	2,92	3,52	6,44	2,52	3,60	6,12
	SR	1,84	5,16	7,00	0,76	4,84	5,60
	SS	2,88	3,76	6,64	2,32	3,60	5,92
	NR	0,56	3,80	4,36	0,80	4,92	5,72
	NS	1,60	4,88	6,48	1,68	3,92	5,60
14 4937	GR	1,40	2,76	4,16	1,08	3,00	4,08
	GS	1,32	2,92	4,24	1,20	4,40	5,60
	SR	1,64	2,84	4,48	1,40	2,88	4,28
	SS	1,08	4,12	5,20	1,24	4,28	5,52
	NR	1,44	2,72	4,16	1,20	2,84	4,04
	NS	1,68	2,72	4,40	1,64	2,72	4,36
07 0809	GR	0,40	4,40	4,90	0,76	3,36	4,12
SM jeklo	GS	2,32	2,64	4,96	2,24	2,44	4,68
	SR	0,88	4,28	5,16	0,76	3,36	4,12
	SS	1,40	2,56	3,96	1,24	3,20	4,44
	NR	0,36	4,32	4,68	0,80	4,00	4,80
	NS	1,28	2,92	4,20	0,84	3,56	4,40
06 1509	GR	0,76	3,52	4,28			
SM jeklo	GS	1,80	2,44	4,24			
	SR	0,56	4,20	4,76			
	SS	1,40	2,88	4,28			
	NR	0,72	3,96	4,68			
	NS	1,00	3,52	4,52			

GR = glava rob
GS = glava sredina
SR = sredina rob

SS = sredina sredina
NR = noga rob
NS = noga sredina

Primerjava čistoče trakov 3 mm debeln med nepomirjenim SM in elektro jeklom

Odžveplanje v električni peči je slabše kot v SM peči. Povprečje za zadnjih deset šarž znaša 34 %, pri čemer je najnižja stopnja 19 in najvišja 47 %, medtem ko je povprečna stopnja odžveplanja v martinarni 45 % za nizko ogljična jekla. Vzrok za slabše odžveplanje je predvsem v pomanjkanju stalnega kuhanja (mešanje jekla in žindre) in v krajši rafinaciji.

Iz teh razlogov mora biti kovinski vložek za izdelavo nepomirjenega jekla sestavljen le iz kakovostnih surovin. Kvaliteto Č 0147 z maks. 0,030 % S pa naj bi delali le, če ob raztalitvi ni več kot 0,040 % S in 0,055 % S, če je v izdelanem jeklu dovoljeno maks. 0,040 % S.

Površina izvaljanih gredic in trakov je brez površinskih napak.

Plastične lastnosti jekla pri vlečenju žice in hladnem valjanju trakov so zelo dobre in ne zastajajo za SM jeklom.

Trdnost in meja raztezanja sta v žarjenem stanju višji za približno 2 kp/mm, v vlečenem pa za 5 do 7 kp/mm².

Preiskave prvih šarž kažejo, da je nepomirjeno elektro jeklo nekoliko manj čisto kot SM jeklo, kar se vidi predvsem na gredicah, medtem ko pri trakovih skoraj ni razlike med elektro in SM jeklom. Čistoča jekla je seveda odvisna od kemične sestave in od jakosti kuhanja v kokili. Čim nižji je ogljik, tem manj je jeklo čisto. Šarže, ki zmerno kuhajo, so čistejše od šarž, ki v kokili močno kuhajo. Blokiranje jekla z aluminijem neugodno vpliva predvsem na čistočo sredine, in to od glave pa vse do sredine bloka.

Ce resumiramo vse dosedanje izkušnje pri izdelavi in rezultate preiskav, lahko z zadovoljstvom ugotovimo, da lahko tudi v električni obločni peči izdelujemo nepomirjeno jeklo, ki ustreza tako JUS kakor tudi internim predpisom za jeklo kvalitete C 0147, bodisi za žico ali hladno valjane trakove. Zaradi strogih zahtev po nizkem Cr, Cu, Ni bo edina težava v tem, kako zagotoviti dovolj čist vložek za to kvaliteto jekla.

Literatura

1. Jackson, PL: J. Metals 18 (1966) str. 725/30
2. Hess, W. Stahl und Eisen 81 (1961) str. 103/10
3. Langhammer H. I. Stahl u. Eisen 87 (1967) str. 718/728
4. Ende, H. Stahl und Eisen 85 (1965) str. 1025/32
5. Scheirman Stahl und Eisen 85 (1965) str. 61/71

ZUSAMMENFASSUNG

Grossraumlichtbogenöfen dienen nicht mehr ausschliesslich der Produktion der Qualitätsstähle, sondern werden mehr und mehr als Massenstahlerzeuger angewendet.

Unsere Betriebsversuche hatten zum Ziel die Möglichkeit einer Erzeugung der unberuhigten Stähle im Lichtbogenofen zu überprüfen, da die veralteten SM Öfen höchstwahrscheinlich mit Grossraumlichtbogenöfen ersetzt werden.

Die bis zu derzeit durchgeführten Versuche zeigen, dass die Erzeugung von unberuhigten Stählen im Lichtbogenofen mit einem Kohlenstoffgehalt von 0.06 bis 0.10 % einfach und schnell verläuft, wenn die Anfangsanalyse (beim Einschmelzen) günstig, vor allem wenn das Schwefelgehalt niedrig ist. Der Entschwefelungsgrad ist nämlich im Lichtbogenofen niedriger, im Durchschnitt 34 %, entgegen 45 % in SM Öfen. Für die Erzeugung eines unberuhigten Stahles mit max. 0.030 % Schwefel in der Endzusammensetzung soll beim Einschmelzen höchstens 0.040 % S im Stahl enthalten sein.

Die Schlacke enthält bei normalen Erzeugungsbedingungen von 8 bis 12 % FeO und rund 300 bis 400 ppm Sauerstoff im Stahl vor dem Abstich. Das Vergiessen solchen Stahles ist dennoch sehr einfach und es ist

praktisch keine Korrektur des Sauerstoffgehaltes bzw. des Auskochverhaltens mit Aluminium nötig.

Der äussere Blasenkrans liegt beim Giessen von unten am Fuss tiefer als 25 mm, weshalb auch die Oberflächenbeschaffenheit der Walzerzeugnisse einwandfrei ist.

Die plastischen bzw. die Verformungseigenschaften des Stahles beim Walzen der Bänder und beim Drahtziehen sind den SM Stählen gleich.

Die Streckgrenze und Zugfestigkeit sind im geglühten Zustand um rund 2 kp/mm², und im gezogenen um 5 bis 7 kp/mm², höher, als beim SM Stahl, was einem höheren Stickstoffgehalt Cr, Cu und Ni Gehalt zu zuschreiben ist.

Das unberuhigte Elektrostaahl ist unreiner als SM Stahl, was besonders bei den Knüppeln zu beobachten ist. Bei den Bändern sind wegen eines grösseren Verformungsgrades fast keine beträchtliche Unterschiede mehr festzustellen.

Das chemische Blockieren mit Aluminium hat eine starke Verunreinigung des Stahles der oberen Blockhälfte zur Folge. Schmelzen mit höherem Endkohlenstoffgehalt sind reiner als die sehr weichen Schmelzen. Auch ein zu starkes Kochen in der Kokile beeinflusst ungünstig die Reinheit des Stahles.

SUMMARY

Big electric arc furnaces are not used only for production of quality alloy steels but also in production of mass steels.

Our experiments had intention to find possibility of manufacturing rimming steel in electric furnaces because old open-hearth furnaces will probably be substituted by electric arc furnaces.

The experimental production shows that manufacturing rimming steel with 0.06 to 0.10 % C in electric furnace is simple and fast if the first analysis is satisfactory, and if sulphur content is low. Desulphuration rate is lower in electric furnace than in open-hearth furnace, the values are 34 % and 45 % respectively. For manufacturing steel with 0.030 % S the charge after melting can contain at most 0.040 % S.

In slag during normal operation there is 8 to 12 % FeO before tapping while oxygen content in steel is 300 to 400 ppm so that casting such steel is simple and demands practically no additions of aluminium for oxygen correction or for deoxidation in the mould.

Outer rim of blow-holes lies in the base deeper than 25 mm when bottom cast therefore rolled products are smooth without surface defects.

Plastic properties of steel for drawing wires and rolling strips are very good, equal to the open-hearth steels.

Strength and yield point are higher for about 2 kp/mm² in annealed and 5 to 7 kp/mm² in drawn state as consequence of higher nitrogen, chromium, copper, and nickel content.

Rimming electric arc steel is slightly less pure than the open-hearth steel which becomes evident in billets while in strips no essential difference is found because of greater degree of working.

Adding aluminium has unsatisfactory influence mainly on the purity of the interior from the base up to the ingot centre. Batches with higher carbon are in final composition purer than batches of very soft steel. Also too intense deoxidation of steel in the mould reduces steel purity.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электродуговые печи больших ёмкостей не употребляют только в производстве качественных легированных сталей но также для массовых сортов.

Цель опытных выплавки стали в металл-ом заводе Есенице была установить возможность выплавки кипящей стали в электродуговой печи, так как вероятно, что использованные СМ-печи будут постепенно заменены с электродуговыми. Выполнено, пока опытное производство кипящей стали с содержанием углерода в пределах 0.06—0.10 % С оказалось несложным и длилось довольно быстро. Степень десульфурации в электродуговой печи несколько ниже в сравнении с этим процессом в СМ-печи, представляет в среднем 34 %, а в СМ-печи 45 %. Поэтому преимущество, что касается качества, имеют плавки которых первые пробы имеют низкое содержание серы. Чтобы получить конечный продукт с содержанием на выше 0.030 % серы, необходимо чтобы расплавленная плавка показала не выше 0.040 % S.

Так как шлак при нормальном режиме работы содержит 8—12 % FeO, а сталь 300—400 ppm O₂, то добавления Al не требуется. Таким образом разливка стали весьма простая.

Внешнее кольцо пузырьков находится при литье снизу вверх глубже 25 мм, поэтому поверхность прокатного изделия гладкая, без пороков.

Пластичность этой стали при волочении проволоки и прокатки полос очень хорошая и не уступает в этом отношении СМ-стали.

По обжиге вязкость и предел текучести увеличены прибл. до 2 кг/мм², а после волочения 5—7 кг/мм². Причина этому увеличеное содержание N, Cr, Cu и Ni. Кипящая сталь менее чиста в сравнении с СМ-сталью. Это можно наблюдать на поверхности заготовок, но на полосах, вследствие высшей степени переработки, существенных разниц не обнаружено.

Блокирование стали с Al имеет отрицательное влияние на чистоту средней части начиная от головы до середины сантка.

Плавки с более высоким содержанием углерода более чисты. Самшом интенсивное кипение стали в изложницах также ухудшает чистоту конечного продукта.

Kaj je nepomirjeno jeklo in kako ga vlivamo?

Izdelavi nepomirjenega jekla doslej nismo posebej posebnosti. Čeprav je izdelava tega jekla na videz enostavna, pa so procesi predvsem pri vlivanju mnogo bolj zamotani, kot se zde, vsi pa vplivajo na kvaliteto končnega izdelka. Zato se v zadnjem času v strokovni literaturi vedno več piše tudi o teh masovnih jeklih. V pričujočem članku skušamo prikazati v razumljivi obliki vse, kar se bistvenega dogaja pri izdelavi in vlivanju nepomirjenega jekla. Članek bo zato koristen tistim, ki se s tem jeklom šele srečujejo, dobrodošel pa tudi starejšim praktikom, ki so jim stvari znane iz izkušenj, pa bodo mogoče v njem le našli razlago za pojave, ki jim niso bili povsem jasni.

Jeklarji razlikujemo glede na to, kako se jeklo obnaša pri vlivanju v kokili, dve vrsti jekla: pomirjeno in nepomirjeno. Pomirjeno jeklo se v kokili mirno dviga, nepomirjeno jeklo pa ob steni »kuha«, kakor temu rečemo. To kuhanje je namreč posledica reakcije med kisikom in ogljikom v jeklu. Pri tej reakciji se razvija plin CO — ogljikov monoksid, ki povzroča vrenje. Pri pomirjenem jeklu pa te reakcije ni, ker ni odvečnega kisika, tega smo namreč vezali z aluminijem in silicijem, ki smo ju dodali jeklu, bodisi že v peči ali pa le v ponvi.

Zakaj sploh nepomirjeno jeklo?

Nepomirjeno jeklo je predvsem cenejše in to zaradi bolj enostavne izdelave, rabimo manj legirnih elementov, cenejšega vlivanja, vlivamo lahko tudi od vrha, večjega izplena pri valjanju — nepomirjeno jeklo v glavi nima lunckerja — in lepše površine blokov in valjancev.

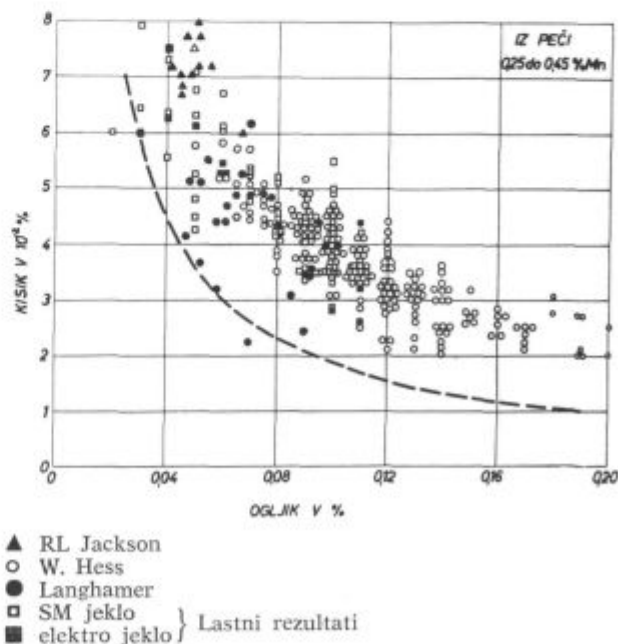
Nepomirjena so predvsem masovna jekla, torej tiste vrste, ki jih izdelujemo v velikih količinah in ki imajo najnižjo prodajno ceno. Sem spadajo navadno betonsko železo, ogljikova konstrukcijska jekla, jekla za globoko vlečenje, za hladno vlečeno žico, za pocinkano pločevino in žico in podobno od 0,04 do 0,20 % C. Nepomirjene pa so tudi nekatere posebne vrste jekel, kakor n. pr. EO in za vijake ter matice, ker s tem, da vlijemo jeklo nepomirjeno, dosežemo prav posebne lastnosti v jeklu.

Kako se spreminja kisik v jeklu od peči pa do izvaljane gredice?

Na kvaliteto nepomirjenega jekla, na izoblikovanje izcej, na širino čiste robne plasti, na globino

plinskih mehurjev in na čistočo jekla v veliki meri vpliva kuhanje jekla v kokili, zato je temu procesu treba posvetiti posebno pozornost. Reakcija kuhanja jekla je posledica v jeklu raztopljenega kisika, ta pa je spet odvisen od ogljika in mangana. Kako se spreminja kisik v jeklu v peči, pred prebodom v odvisnosti ogljika, vidimo iz prve slike. Iz slike lahko razberemo, da kisik v jeklu s padanjem ogljika močno raste. Če na primer pihamo s kisikom namesto na 0,12 % (12 točk) na 0,06 % (6 točk) ogljika, kisik naraste skoraj dvakratno. (sl.1) V obratu nam sama izdelava jekla, to je zadevanje analiznih mej, ne predstavlja posebnih problemov, medtem ko je vzdrževanje optimalne vsebnosti kisika za dobro kuhanje zelo težko. Pa pogledjmo zakaj!

Predvsem doslej še ni znana metoda za hitro določevanje kisika, da bi ga lahko merili med prebodom, vlivanjem in kuhanjem v kokili. Poznamo le analizo ogljika in mangana. Vendar se vsebnost kisika tudi pri enakem ogljiku in manganu od šarže do šarže lahko močno razlikuje, da za zanesljivo oceno ne pride v poštev. Razen tega med prebodom in vlivanjem pride do reakcije jekla z zunanjim zrakom, ki je od šarže do šarže tako različna, da tudi pri znani vsebnosti kisika pred prebodom ne moremo vedeti, kakšna bo vsebnost kisika v jeklu pri vlivanju.



Slika 1
Vpliv ogljika na vsebnost kisika v jeklu v peči.

Tabela 1

	pred prebodom točk ppm			končna v točkah ppm			dodano v pon. v točkah			odgorelo v točkah ppm ppm				poraba kisika v kg/t jekla za			
	C	Mn	O	C	Mn	O	C	Mn	Al	C	Mn	Al	O	C	Mn	Al	skupaj
H 8301	12	28	512	8	34	350	1,3	16	10	5	10	10	162	0,67	0,29	0,09	1,05
L 8372	6	24	417	6	35	336	2	25	10	2	14	10	81	0,26	0,40	0,09	0,75
L 8401	8	36	429	8	36	328	1	11	10	1	11	10	101	0,35	0,32	0,09	0,76
M 9568	7	32	538	6	30	506	1	11	10	2	13	10	32	0,26	0,38	0,09	0,73
14 4829	10	21	423	8	35	325	2	22	—	4	8	—	98	0,53	0,23	—	0,76
14 4909	6	13	536	7	35	434	5	31	—	4	11	—	107	0,53	0,32	—	0,85
14 4937	10	40	352	10	36	265	0,3	4	—	3	8	—	87	0,02	0,23	—	0,25
14 5017	11	28	492	8	32	374	0,7	9	—	3	5	—	118	0,40	0,15	—	0,55

C = ogljik O = kisik
Mn = mangan Al = aluminij

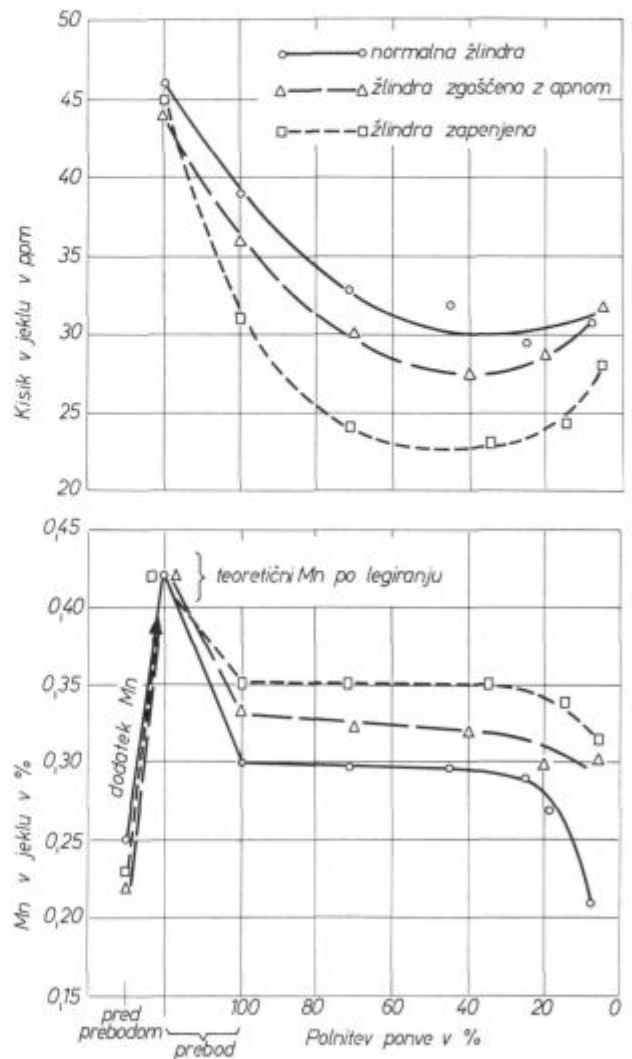
Kaj se dogaja pri prebodu?

Da bomo lažje razumeli, kako obsežna je reakcija jekla z (zunanjim) zrakom pri prebodu, si oglejmo na nekaj primerih, koliko C, Mn in Al odgori v jeklu od preboda do vlivanja, koliko kisika je zato potrebno in za koliko se zmanjša kisik v jeklu. Pri nepomirjenem jeklu odgori mangana, ki ga dodamo v ponev od 10 do 14 točk, ogljika 1 do 3 točke in ves dodani aluminij. Rezultate za oceno šarž prikazujemo v tabeli 1.

Iz zadnje kolone v tabeli vidimo, da porabijo Mn, C in Al za to, da odgorijo, od preboda do vlivanja okrog 0,8 kg kisika na tono jekla. Pri šarži H 8301 je bilo potrebno 1 kg kisika za eno tono jekla. Pri tem pa se je kisik v jeklu zmanjšal le za okoli 100 ppm, t. j. 0,1 kg na tono, (0,1 kg/t = 0,01 % = 100 ppm) pri šarži M 9568 celo samo za 32 ppm ali za 0,032 kg na tono.

Ti primeri jasno kažejo, kako intenzivna je reakcija jekla z zrakom potem, ko jeklo izpustimo iz peči, saj je ves ostali kisik, to je okrog 0,7 kg/t moral priti iz zraka. To se nam zdi na prvi pogled skoraj neverjetno, vendar moramo upoštevati, da je površina jekla, ko teče iz peči, močno povečana, da je nezaščiten in da je v zunanji atmosferi znatno več kisika, kot pa ga je n. pr. v peči med žilavenjem. Od oblike curka in od višine padca jekla pri prebodu je odvisno, kolikšna je ta reakcija z zrakom. Znano je, da se pri tankem curku — jeklo izteka dolgo časa — pri zelo širokem ali raztrganem curku in pri sunkovitem iztekanju jeklo navzame mnogo kisika in ga izpira v ponev.

Velike razlike tudi ni med normalnim prebodom z žlindro in brez žlindre, ker je oksidacijska sposobnost žlindre mnogo manjša od zraka. Večje razlike, t. j. večji odgorki nastopijo le pri prezgodnjem mešanju jekla z žlindro. V takem primeru pride lahko do močne reakcije ogljika in mangana v jeklu s kisikom iz žlindre, tako da jeklo v ponvi zakuha, kar se kaže v močnem valovanju taline. V takem primeru odgorita C in Mn, jeklo se močno ohladi in je običajno izmeček. Do take



Slika 2 Spremembe vsebnosti kisika in mangana v jeklu pri vlivanju, to je s padanjem polnitive ponve, za normalno žlindro, zapenjeno in z apnom zgoščeno žlindro za nepomirjeno jeklo z 0,08 % C (Langhammer).

reakcije pride tudi, če izpustimo močno preoksidirano nepomirjeno jeklo z nizkim C in Mn, pa ga skušamo v ponvi naogljčiti. Takemu jeklu je zato treba že v peči dodati nekaj Feromangana in grodlja za preddezoksidacijo.

Dobro vzdrževanje prebodne odprtine in žlebu je nujno za vzdrževanje normalnega curka in dobre kvalitete jekla. Reakcije v ponvi potekajo razmeroma počasi. V glavnem gre za izravnavanje koncentracij v mirujočem jeklu, ki poteka pretežno z difuzijo.

Slika 2 prikazuje spremembo vsebnosti kisika in mangana v jeklu med vlivanjem. Zanimivo je, da dosežemo najnižjo vsebnost kisika v jeklu šele čez nekaj časa. To nam pove, da se dezoksidacijski produkti, ki jih sicer zajamemo pri določanju kisika, postopoma izločajo iz jekla. Vpliv oksidacijske žlindre, posebno na mangan, se pozna le v zgornji plasti jekla, ki je tik pod žlindro, tako da moramo pri vlivanju zadnjih blokov računati z nekoliko nižjim manganom in višjim kisikom, kar se lepo vidi iz slike.

Oksidacijski vpliv žlindre na jeklo lahko zmanjšamo, tako da žlindro zatrdimo z apnom ali apnencem, ali tako, da žlindro zapenimo s sredstvom za ogličenje, ki ga vržemo v žlindro. To zadnje je, kot kaže slika, najbolj učinkovito.

Izkuhavanje jekla v kokili

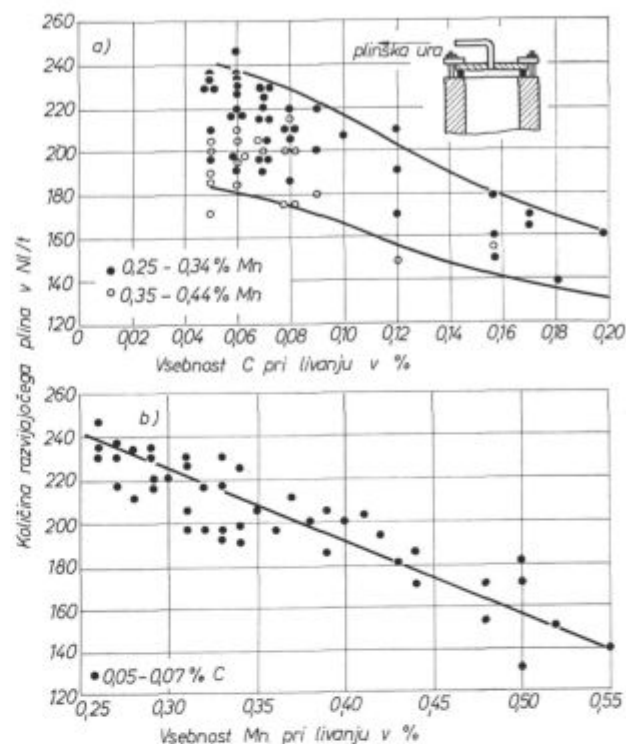
Kakor vidimo iz doslej navedenih vzrokov, ne moremo v nepomirjenem jeklu v curku pri vlivanju vzpostaviti določene vsebnosti kisika, ki bi bila za dobro kuhanje najbolj primerna.

Če torej ne moremo vzpostaviti določenega kisika v jeklu, potem je jasno, da tudi kuhanje v kokili ne more biti vedno enako, ampak se lahko od šarže do šarže razlikuje. Razlike v kuhanju pa niso le med šaržami, temveč tudi med posameznimi livnimi ploščami in celo med posameznimi bloki na isti livni plošči. Te razlike so najlažje opazne potem, ko je jeklo že vlieto in v kokilah prosto kuha. Dokaz za to pa so velike razlike v količini mehurjev v bloku. Posledica tega so zelo različne teže blokov. Pri našem ingotu se ta giblje od 4650 do 4800 kg.

Plin CO, ki se pri kuhanju sprošča, se razvija na meji, kjer se jeklo strjuje, to je na meji med trdnim in tekočim jeklom. Takoj ko pride jeklo v kokilo, se začne strjevanje. Na meji strjevanja se kopičijo tisti elementi, katerih topnost se zaradi ohlajanja jekla zmanjšuje. To velja tudi za ogljik in kisik. Zaradi zmanjšane topnosti, oziroma zaradi izločanja teh dveh elementov pride do medsebojne reakcije in do razvijanja plina CO. Razvijanje plina je močnejše pri manjših blokih, ker se hitreje strjujejo (slika 3).

Količina teh plinov je odvisna od sestave jekla. Z naraščanjem količine ogljika v jeklu pada specifična količina plina, ki se razvija na tono jekla, kakor kaže slika 3 a. Podobno kakor pri višjem ogljiku, pada količina razvijajočega se plina prav

močno z naraščanjem Mn v jeklu (slika 3 b). S tem je tudi indirektno potrjeno, da naraščanje Mn v jeklu znižuje vsebnost kisika, oziroma da deluje pri reakcijah s kisikom v kokili kot dezoksidant.



Slika 3
Odvisnost med vsebnostjo ogljika in mangana pri vlivanju in količino razvijajočega plina (Langhammer)

Atmosfera v odprti kokili je oksidacijska. Z dviganjem taline jekla v kokili raste tudi vsebnost kisika v atmosferi kokile. Ta kisik v kokili pa spet oksidira jeklo, ki neprestano kroži, tako da moč kuhanja ves čas narašča.

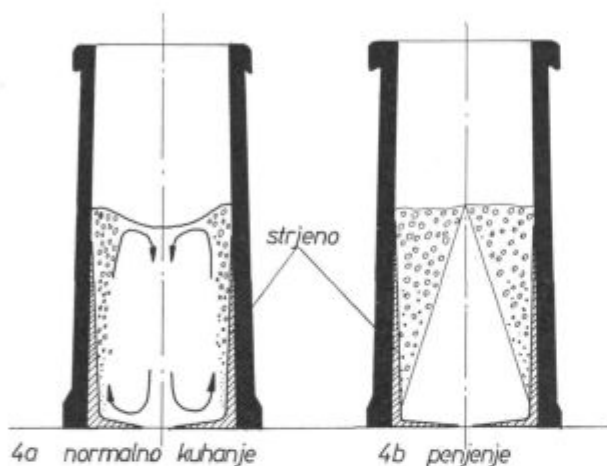
Pri kuhanju jekla v kokili se na površini taline nabira pena ali žlindra. Ta je več ali manj oksidacijski produkt kuhanja. Pri kuhanju se v kokili oksidira predvsem mangan, delno tudi železo. S še drugimi nečistočami, ki se izločajo iz jekla, in nataljeno opeko lijaka in kanalov se tvori žlindra. Okrog 40 % te žlindre pa je MnO. Če jeklo v kokili močno kuha, del te žlindre s kroženjem jekla ponovno pride v notranjost, zato je koristno žlindro odstraniti s površine.

Ker je reakcija z zunanjim zrakom odločilnega pomena za intenzivnost kuhanja, je zanimivo vedeti, kaj dosežemo, če vstop zraka v kokilo preprečimo, n. pr. tako, da vlivamo v pokrite kokile. Na vsak način s tem zmanjšamo oksidacijo jekla, oziroma neposredno odgorevanje ogljika in mangana in izboljšamo čistočo jekla.

Izkušnje tudi kažejo, da močno kuhanje v kokili poslabša čistočo jekla. Jeklo naj torej kuha zmereno, da bo čisto, ne preslabo, ker so sicer mehurji blizu površine, in ne premočno.

Kroženje jekla v kokili kot posledica razvijanja plinov

Nepomirjeno jeklo se v kokili dviga ob stenah navzgor in pada v sredini navzdol. Poganja ga plin CO, ki se pri kuhanju razvija v coni strjevanja. Glej sliko 4 a. Čim močnejša je ta reakcija, več plina se razvije. Z naraščanjem teže bloka raste skupna količina razvijajočega se plina, pada pa hitrost izločanja plina. To pomeni, da majhni bloki hitreje kuhajo kakor veliki. Zelo močan vpliv na kroženje taline ima velikost formata kokile. Kroženje taline je pri manjšem bloku tudi do dvakrat močnejše kot pri večjem. Kuhanje je pri vitkih kokilah močnejše kot pri širokih.



Slika 4

Prikaz kroženja jekla pri normalnem kuhanju in penjenju jekla

Zakaj se nepomirjeno jeklo peni?

Pri zelo močnem razvijanju plina se plin, ki se izloča v nekakšnem klinu, proti vrhu tako razširi, da mehurji ne izstopajo le ob robu, temveč kar po celi površini, kakor kaže slika 4 b. Takrat jeklo ne more več krožiti, rečemo, da se peni. Reakcija jekla z zrakom v kokili je od dna navzgor vedno močnejša, zato je tudi kuhanje vedno močnejše, in ker izstopajo mehurji v klinu, se jeklo začne peniti navadno šele v zgornji polovici kokile.

Takrat je treba dodati aluminij, s čimer vezemo nekaj kisika in intenzivnost izločanja plina CO zmanjšamo, da jeklo spet normalno kroži.

Penjenje jekla torej pomeni, da je v jeklu preveč kisika in da smo v ponev pri preobodu dodali premalo aluminija. S tem v zvezi je zanimiva primerjava med SM in elektro jeklom. Pri izdelavi nepomirjenega jekla na električni peči se je pokazalo, da ima elektro jeklo manj kisika, da dodatek Al v ponev ni potreben in da se šarže, če niso preoksidirane, pri vlivanju ne penijo in jih lahko vlivamo brez dodatka aluminija. Tudi pri kvaliteti EO, ki ima zaradi višjega Mn nižji kisik, je penjenje le redek pojav.

Vpliv temperature jekla na izkuhavanje v kokili

Z naraščanjem temperature jekla raste tudi kisik v jeklu. To pomeni, da vroče šarže močnejše kuhajo kot hladne. Značilno za vroče šarže je, da na dnu kokile ne zakuhajo takoj, ker je treba nekaj več časa, da se začne strjevanje, zato imajo videz, dokler ne zakuhajo, kakor da so mrzle. Vroče jeklo je bolj redko, ohlajanje je bolj počasno, zato izhajajo iz površine zelo drobni mehurčki. Mrzlo jeklo je bolj gosto, ohlajanje hitrejše, zato se v enoti časa izloči več CO. Površina jekla močno valovi, ker izhajajo na površje veliki mehurji, podobno kot je to v peči pri višjem ogljiku in gosti žlindri.

Z višjo temperaturo je treba izpustiti tiste vrste jekla, ki imajo zaradi svoje sestave (višji C ali višji Mn) manj kisika, kot je n. pr. naš EO. Na ta način povečamo kisik v jeklu, zboljšamo tekočnost jekla in s tem zagotovimo dobro kuhanje.

Način strjevanja jekla in tvorba podkožnih mehurjev

Nepomirjeno jeklo je v notranjosti polno mehurjev. Celotna prostornina mehurjev naj bo enaka skrčku jekla, to je prostornini, ki jo dobimo, ko se jeklo pri ohlajanju do navadne temperature krči. Zato se nepomirjeno jeklo strdi na višini, do katere se vlije, to je brez lunckerja.

Za kvaliteto površine je zelo važno, kje se ti mehurji v notranjosti bloka nahajajo. Če so mehurji blizu površine, potem se pri ogrevanju blokov v globinskih pečeh lahko oksidirajo, na gredecah nastanejo razpoke in risi, robovi pri trakovih so raztrgani.

Mehurji morajo biti zato dovolj globoko pod površino.

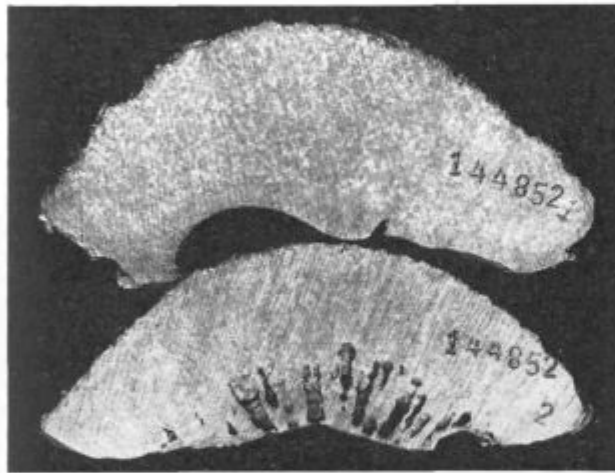
Oglejmo si še enkrat, kako plinski mehurji nastajajo in kako se v jeklu ujamejo.

Za strjevanje jekla velja Fe-C diagram. Ob steni se začne strjevati jeklo z najnižjim ogljikom, to je z najvišjim tališčem. Topnost za ogljik in kisik se pri strjevanju manjša. V notranjost se izriva talina, ki ima več ogljika in več kisika. To pa sproži reakcijo $FeO + C = CO + Fe$, ki teče na meji med strjenim in tekočim jeklom. Intenzivnost te reakcije pa je odvisna od vsebnosti kisika, ogljika, mangana, ferostatičnega pritiska, t. j. od hitrosti vlivanja, temperature jekla, in časa kuhanja.

Prav od intenzivnosti te reakcije, oziroma od moči, s katero plinski mehurčki izhajajo na površino, je odvisno, kako debela bo zunanja skorja, ki je brez mehurjev, oziroma v kateri globini se mehurji ujamejo. Nasproti izločanju mehurjev iz taline, deluje ferostatični pritisk, to je pritisk tekočega jekla. Ko postane ferostatični pritisk večji, kot pa je sila vzgona mehurčka, se ta ujame med dendritnimi kristali, ki rastejo pravokotno na

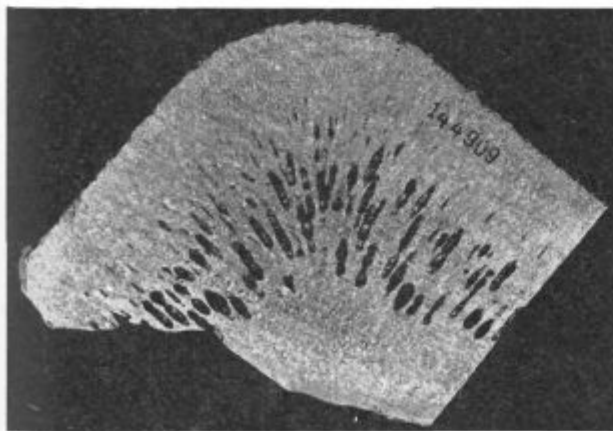
steno proti notranjosti taline. Če je kuhanje močno in naraščanje ferostatičnega pritiska počasno — (počasno vlivanje), bomo dosegli debelo zunanjo skorjo. Obratno pa, kadar je kuhanje jekla slabotno, to je v primeru, če sta ogljik in mangan visoka in je kisik nizek ali če smo dodali preveč aluminija in vezali preveč kisika, takrat se mehurčki izločajo z manjšo silo in se lahko že zelo zgodaj ujamejo med rastočimi dendritnimi kristali. Mehurji bodo v takem primeru zelo blizu površine in možnost za nastanek risov in razpok večja. Posebno pomembna je pri tem hitrost vlivanja. Oglejmo si to na primeru šarže 14 4852, slika 5. Prva plošča je bila vlita s hitrostjo 14 cm/min, globina mehurjev 50 mm, druga plošča s hitrostjo 23 cm/min in globina mehurjev 25 mm. Lep primer zunanjega venca mehurjev kaže slika 6, hitrost vlivanja 21 cm/min in globino mehurjev 25 mm.

Pri vlivanju od vrha je hitrost vlivanja 6 do 8 krat večja kot pri vlivanju od spodaj. Ferosta-



Slika 5

Vogelni probl. Odvisnost globine mehurjev od hitrosti vlivanja. 14 4852/1 globina mehurjev 50 mm, hitrost vlivanja 14 cm/min., 14 4852/2 globina mehurjev 25 mm, hitrost vlivanja 23 cm/min.



Slika 6

Lep primer zunanjega venca mehurjev. Globina mehurjev 25 mm, hitrost vlivanja 21 cm/min.

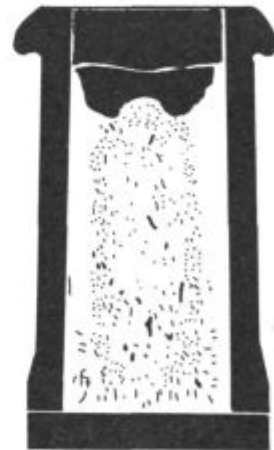
tični pritisk hitro narašča in zavira FeO — C reakcijo. Zato morajo jekla, ki jih vlivamo zgoraj, imeti več kisika, kakor pri vlivanju spodaj. Navadno tudi to ne zadošča in je treba jeklu dodajati kisik, tako da ga pihamo v curek ali pa dodajamo sredstva za pospeševanje kuhanja, kot so Strim Alurin, Rimmfix, Fluoral, ki jih je razvila industrija za te namene. Pa kljub temu dosegamo pri vlivanju od zgoraj le 10 do 15 mm debelo skorjo brez mehurjev. Mehurji so najbliže površini prav na nogi, kjer je ferostatični pritisk največji, zato preizkušance za kontrolo globine režemo le na nogi.

Kako praktično vlivamo nepomirjeno jeklo?

Vlivanje nepomirjenega jekla še danes nekateri smatrajo za neke vrste umetnost. Zato je treba imeti poleg osnovnega znanja še mnogo izkušenj in poseben dar za opazovanje in za ločevanje razlik, ki pri vlivanju nastopajo. Od tega, kako jeklo vlijemo, so odvisne mnoge kvalitetne lastnosti jekla, predvsem globina mehurjev in z njo zvezana kvaliteta površine, jakost izcej ogljika, fosforja in žvepla in izplen. V grobem lahko ločimo tri različne tipe nepomirjeno vlitega bloka — ingota ali brame.

1. *padajoči ingot* — to je takšen, ki dela škatle. (slika 7.)

Če je reakcija kuhanja med C in O zelo močna, se sprošča veliko plina CO. Ker se plini hitro razvijejo, jih rastoči dendritni kristali ne morejo ujeti, zato ležijo mehurji globoko pod površino. Zaradi velike količine plinov, jeklo dobesedno



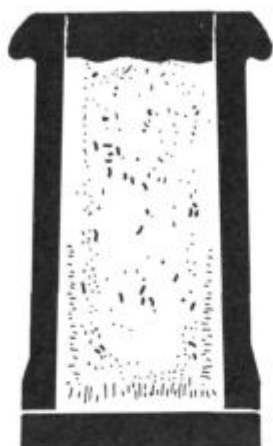
Slika 7

Ingota dela »škatile«. Premočno kuhanje jekla, ker je preveč kisika v jeklu in premajhen dodatek Al.

zavre, kokila se hitro napolni, ko pa se reakcija umiri, se jeklo posede in napravi škatlo. Če jeklo dela škatle, pomeni, da je v njem preveč kisika, da smo dodali premalo aluminija v ponev in da ga moramo zato dodajati med vlivanjem, bodisi na lijak ali pa kot granule v kokile.

2. *ravni ingot* — to je takšen, ki se strdi na tisti višini, do katere ga vlijemo. (slika 8.)

Sproščanje plina CO je manj intenzivno kot pri padajočem ingotu. Kroženje jekla je močno. Primarni, zunanji venec mehurjev je dovolj globoko pod površino, da pri ogrevanju ne pride na



Slika 8

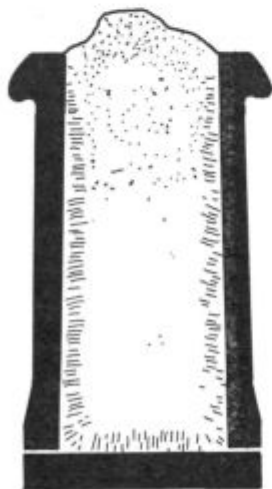
Ingota se strdi ravno na višini, do katere ga vlijemo. Prostorina mehurjev je enaka skrčku jekla pri strjevanju

površje. Pri nadaljnjem strjevanju se tvorita še sekundarni in terciarni venec mehurjev. Skupni volumen mehurjev je enak celotnemu skrčku jekla od taline do strjenja, zato površina jekla ostane ravna.

Livni mojster naj vlivanje tako regulira, da bo dosegel ta tip bloka, ki je tudi jamstvo za dobro kvaliteto.

3. *rastoči ingot* — to je takšen, pri katerem se po vlišanju nivo jekla začne dvigati. (slika 9)

Kadar je premalo kisika v jeklu, n. pr. visok C, Mn ali če smo dodali preveč aluminija v ponev



Slika 9

Ingota raste, kadar je premalo kisika v jeklu. Volumen por je večji, kakor znaša skrček jekla. Plinski mehurji so blizu površine bloka

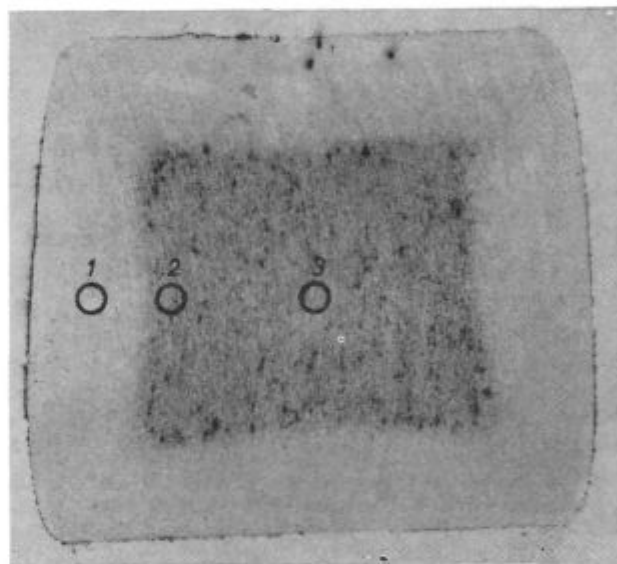
ali na lijak, se CO razvija mnogo počasneje kot pri prvih dveh tipih. Plinski mehurji se zato ujamajo mnogo preje, oziroma bliže površine. Kroženje jekla je slabše. Volumen plina, ki ostane zajet v jeklu, je večji kakor znaša skrček jekla, zato ingot raste nad površino, do katere je bil vlit. Nazadnje se plini sproščajo predvsem v glavi, ki ima zato gobasto obliko. Izplen pri takem jeklu je slabši zaradi večjega odpadka na glavi, površina pa zaradi mehurjev risava.

Položaj lahko izboljšamo tako, da bolj počasi vlivamo, da pihamo kisik v curek, najboljša pa so sredstva za pospeševanje kuhanja Strim, Alurin, Rimmfix, Fluoral in podobna.

Kakor vidimo iz opisanega, je kvalitetno boljše tisto jeklo, ki dela škatle, kot tisto, ki raste.

Pokrivanje, blokiranje z aluminijem in izceje ogljika, fosforja in žvepla

Ko je jeklo vilito do vrha, ga pustimo, da izkuhava. Proces strjevanja se nadaljuje. Pri tem se na robu strjuje kemično najbolj čisto jeklo z naj-

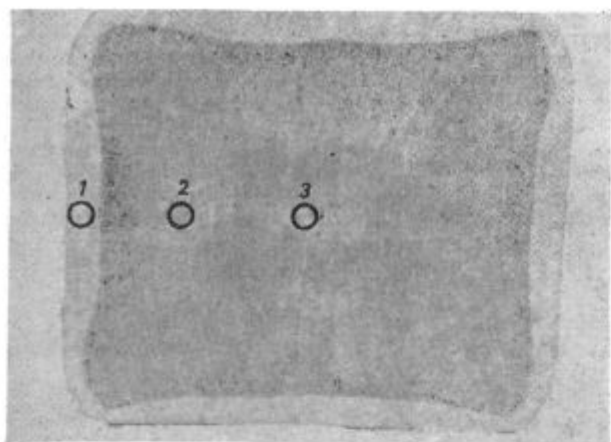


Slika 10

Baumannov odtis preseka gredice kvalitete EO pri glavi, ki jo pokrívamo. Zunanji čisti rob je širok, ker je ingot izkuhaval dolgo časa. Notranji temnejši kvadrat predstavlja povečane koncentracije žvepla zaradi izcejanja. Šaržna analiza:

	0,09 % C	0,45 % Mn	0,013 % P	0,025 % S
1.	0,05 % C	0,42 % Mn	0,008 % P	0,014 % S
2.	0,09 % C	0,44 % Mn	0,018 % P	0,058 % S
3.	0,11 % C	0,48 % Mn	0,022 % P	0,080 % S

višjim tališčem, proti notranjosti in glavi bloka se izriva talina, ki ima višji ogljik, fosfor in žveplo. Na ta način dobimo v sredini glave tudi do trikrat več ogljika in do štirikrat več fosforja in žvepla, kot je v šaržni analizi. Temu pojavu rečemo izcejanje. Čim dalj časa jeklo izkuhava, tem močnejše so te izceje, zunanja čista plast pa je debelejša. Glej sliko 10. Če ga blokiramo z aluminijem, kuha manj časa, izceje so za polovico



Slika 11

Baumannov odtis preseka gredice kvalitete C 0147, ki je bila blokirana z aluminijem. Zaradi krajšega časa kuhanja je zunanji čisti rob ožji. Izceje žvepla pa so manjše.

Šaržna analiza:

	0,05 % C	0,36 % Mn	0,007 % P	0,032 % S
1.	0,04 % C	0,34 % Mn	0,009 % P	0,018 % S
2.	0,06 % C	0,36 % Mn	0,010 % P	0,037 % S
3.	0,06 % C	0,35 % Mn	0,008 % P	0,035 % S

manjše. Zunanja čista plast pa je tanka, glej sliko 11. Vendar takojšnje blokiranje ni dobro, ker se še ni formirala dovolj debela skorja. Treba je počakati 5 do 10 minut, da se naredi primeren rob, sicer kvaliteta površine ni dobra, ker ostanejo mehurji lahko preblizu površine. Blokiranje ima tudi to slabo stran, da dobimo zaradi vključkov Al_2O_3 , ki pri tem nastajajo v sredini bloka, zelo nečisto jeklo s čimer se močno poslabša kvaliteta jekla. Iz tega razloga blokiranje jekla, ki je namenjeno za hladno valjane trakove, ni dopustno.

Najbolj kvalitetno je torej pokrivanje. Vendar ne smemo čakati predolgo, da bi se glava sama zaprla, ker na ta način dobimo prevelike izceje v bloku. Močne izceje si želimo na primer pri kvaliteti EO, ker tako spravimo nečistočo v glavo, ki jo odrežemo in valjamo za matice ostali del, nogo in sredino pa na ta način očistimo nezaželenega žvepla in fosforja in dobimo tako bolj čisto jeklo, kakor nam ga kaže šaržna analiza.

Literatura

Langhammer, Stahl u Eisen 87 (1967) str. 718/728

ZUSAMMENFASSUNG

Der Erzeugung von unberuhigtem Stahl haben wir bis jetzt keine besondere Acht gewidmet. Wenn auch die Erzeugung dieses Stahles anscheinend einfach aussieht, sind aber die Prozesse besonders beim Giessen viel mehr komplizierter als die aussehen, alle aber beeinflussen die Qualität des Enderzeugnisses. In diesem Artikel möchten wir in einfacher und verständlicher Form alles wichtige und wesentliche erklären, was ein Stahlwerker in seiner täglichen Praxis über das Giessen von unberuhigtem Stahl wissen muss. Im einzelnen sind die Reaktionen des Stahles mit der Umgebungsluft beim Abstich erklärt worden. Im ganzen wird für den Abbrand von C, Mn und Al im Stahl rund 0,8 kg Sauerstoff pro Tonne Stahl benötigt. Von dieser Menge kommt rund 0,7 kg/t aus der Luft und nur 0,10 kg/t aus dem Stahl selbst. Um so viel vermindert sich nämlich der Sauerstoffgehalt im Stahl

vom Ofen bis zum Giessen. Es sind weiters die Reaktionen des Stahles beim Auskochen in der Kokille die Ursachen für das Umlaufen und für das Schäumen des Stahles, für das Wachsen und Fallen des Stahles erläutert und wie man dieses Verhalten des Stahles mit Aluminiumzusatz regulieren kann. Auch der Mechanismus der Entstehung und Ausscheidung der Gasblasen und der äusseren reinen homogenen blasenfreien Schicht ist erläutert. Dann die Entstehung der Seigerungserscheinungen von C, P und S, wie diese vermindert oder vergrössert werden können. Dieses Artikel wird deshalb nützlich denjenigen Stahlwerkern, welche sich mit dem unberuhigten Stahl erst begegnen, willkommen aber auch den älteren Praktikern, welchen diese Dinge erfahrungsgemäss bekannt, aber vielleicht nicht ganz verständlich sind.

SUMMARY

No special attention was given to the manufacturing rimming steel. Though the manufacturing this steel is apparently simple; the processes, mainly the casting, are much more complicated and the all influence the final quality of the product. In this paper the essential aspects of production and casting the rimming steel will be explained in understandable way, i.e. everything what a steelmaker must know in his everyday practice. Reactions occurring between steel and air during tapping are explained in details. Elements C, Mn, and Al which completely burn out use about 0,8 kg oxygen per ton steel. About 0,7 kg/t oxygen comes from air and only 0,10 kg/t from steel. This is the

amount of oxygen reduction in steel on the way from the furnace to the casting operation. Further, reactions of deoxydation in the mould, causes for steel circulation, for foaming, for rising and settling, and regulation by aluminium are explained. Also mechanism of formation of blow holes and their escape from the external blow-hole free zone, appearance of C, P, and S segregations, their reduction or increase are explained. The paper will be of help to those who met this steel for the first time, but also to the older metallurgists who know the facts from experience and who will find the explanation for phenomena which were not quite clear to them.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производству кипящей стали до сих пор у нас не уделяли особенное внимание. Несмотря на то, что производство этой

стали кажется несложной, все процессы которые влияют на качество конечного продукта гораздо более сложного характера.

В статье, понятным образом, рассмотрены все существенные процессы, которые происходят при производстве и при разливке кипящей стали; изнесено всё что необходимо знать сталевару в его ежедневной практики.

Подробнее рассмотрены реакции которые происходят в расплавленной стали под влиянием воздуха во время выпуска стали. При окислении С, Mn и Al на каждую тонну расплавленного металла израсходуется 0.8 кг кислорода; 0.7 кг/т O_2 поступает из воздуха, а 0.1 кг/т из самой стали. На это количество умень-

шается содержание кислорода в стали от выпуска до разливки. Рассмотрены также реакции во время кипения стали в изложницах, причины циркуляции металла, вспенивание, причины подъёма и осадки, также регуляция этих процессов при помощи добавки Al. Следует обсуждение о механизме возникновения и выделения газовых пузырей, о составе внешнего, гомогенно чистого, без пузырей слоя. Статья предназначена новичкам и производству кипящей стали а также и остальным практикам которые с этим процессом хорошо знакомы, но, может быть, найдут объяснение некоторым явлениям которые им не были достаточно понятными.

Možnost povečane preskrbe s starim železom iz domačih virov

Prehod od martinskega na več elektro jekla, povzroča spremembo v vložnih materialih.

Ker ni dovolj starega železa v državi, so prikazane možnosti za povečano zbiranje.

Po študiji ekonomske komisije Združenih narodov, je za nas izdelana bilanca zbiranja starega železa. To so predpostavke, ki jih lahko uresničimo le z dogovori s podjetji za zbiranje.

Več elektro jekla pomeni preskrbeti znatno večje količine starega železa. Letos bodo naše elektro peči zalagale od 8—15 % grodlja. V železarnah, kjer so plavži, obstaja možnost delati s tekočim grodljem. Sedaj objavljeni največji delež tekočega grodlja je 25 in 43 %. Bolj zanimiva je nadomestitev grodlja in starega železa s predreduciranimi peleti. Države, ki imajo dobre rude in zemski plin, imajo vse možnosti, da v celoti izboljšajo vložek glede kemične čistoče.

Za nas je v naslednjih 5 do 10 letih računati le s sedanjimi vrstami vložka za elektro peči.

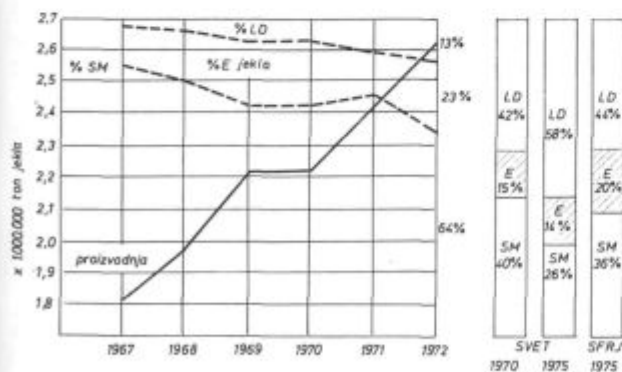
SEDANJA IN BODOČA PROIZVODNJA JEKLA

V Jugoslaviji smo v letu 1971 proizvedli 2,4 milij. ton jekla, in to:

1.660.000 ton SM jekla

502.000 ton E jekla

247.000 ton konvertorskega jekla



Slika 1
Proizvodnja jekla v Jugoslaviji

* Predavanje na posvetovanju o vlogi električne obločne peči v proizvodnji surovega jekla v Jugoslaviji v Ljubljani od 15. do 17. novembra 1972.

V letošnjem letu se količina poveča na 2,6 milij. ton na račun več elektro in konvertorskega jekla. V 1975. letu predvidevamo 4,8 milij. ton jekla.

K sedanjim količinam elektro jekla je prišteti še okrog 50.000 ton iz proizvodnje železarne Split in nekaterih livarn.

Okrog 1,1 milij. ton elektro jekla bodo v nekaj letih dale sedanje in nove elektro peči. Tam, kjer se bo izdelava jekla iz martinovk prenesla na elektro peči, je treba dobiti le 40 % več starega železa na račun grodlja. Kjer pa se postavlja dodatna elektro jeklarna, je povečanje potrebnega starega železa skoraj enaka proizvodnji jekla.

Povečanje LD jekla krije potrebe po starem železu samo, oziroma lahko nastaja še višek.

IZVORI STAREGA ŽELEZA

Domače izvore lahko delimo v tri glavne vrste:

- lastni odpadki,
- industrijski odpadki in odpadki pri prevajanju,
- zbiranje,
- predelava starih hald.

a) Lastni odpadki:

Njihova količina je odvisna od raznih faktorjev, ki delujejo bodisi v pozitivnem ali v negativnem smislu. To je odpadki, ki nastane pri valjanju in predelavi jekla do proizvodov železarne. Več ploščatih izdelkov, cevi, hladno valjanih in vlečenih izdelkov, več legiranih in kvalitetnih jekel daje več odpadka. Tudi izboljšane metode prevzema dajo več izmečka. Nasproti temu je dejstvo, da z več napravami za kontinuirno vlivanje znatno zmanjšamo odpadki. Razlika je bistvena, 6 % odpadka proti 20 % pri klasičnem vlivanju. Večja teža slabov in gredic, uvedba avtomatike in večja kontrola procesov zmanjšujejo odpadki.

Navajajo, da je sedaj v povprečju 27 % lastnih odpadkov v odnosu na surovo jeklo, odvisno je pa od vrste jekel in od izdelkov.

- N. pr. pri profilih je — 19 % odpadka
- pri ploščevini je — 32 % odpadka
- pri ceveh — 38 % odpadka
- pri odkovkih — 47 % odpadka

Iz podatkov UJŽ je razvidno, da je bilo lastnih odpadkov, v letih:

leto	1968	1969	1970	1971
% na sur. jeklo	25,7	23,6	25	24

Z uvedbo naprave za kontinuirno vlivanje v Sisku, se bo količina odpadkov zmanjšala za okrog 30.000 ton letno, oziroma bo skupni odpadek namesto 24 % v bodoče okrog 23 %.

b) Industrijski odpadki in odpadki pri prevlanjanju:

Ti nastanejo pri predelavi končnih proizvodov železa v tovarnah predelovalcev in so odvisni od vrste izdelkov. N. pr.: pri izdelavi motornih vozil jih je 30 %, v splošni strojogradnji 16—20 %, za konstrukcije okrog 3 %. Povprečje vrnjenega materiala je 13 %, računano na doma porabljeno jeklo (vključno uvoz in zmanjšano za količino izvoza).

Odvisno od razvoja industrije v državi je delež teh odpadkov višji ali nižji.

Delež 13 % se nanaša na ekvivalentno količino jekla v blokih (izplen n. pr. 77,5 %). Drugi viri navajajo % na valjano jeklo, n. pr. v ladjedelnstvu 23 %, v gospodinski opremi 15 %.

Nekateri porabniki jemljejo jeklo v neizdelani obliki (n. pr.: gredice za prevlanjanje). Ta odpadek je potrebno vzeti v poseben obračun. Takega uvoza je bilo v letu 1971 okrog 116.000 ton.

c) Zbiranje:

Jeklo v raznih izdelkih in konstrukcijah se po uporabi vrača v predelavo. To je odvisno predvsem od življenjske dobe izdelkov. To jeklo ima krožno dobo od nekaj mesecev za konzerve do 60 in več let za konstrukcije. N. pr. železniška prevozna sredstva in ladje računajo s 30 leti. Ugotovljeno je, da je povprečna doba 15—20 let, toda ima tendenco zmanjšanja, kar je zopet odvisno od industrijskega razvoja države. Važen pogoj za količino vrnjenega jekla so stroški zbiranja, priprave in transporta.

V nekaj letih je računati s starimi avtomobili. To bo dodaten vir starega železa, skoraj brez Sn, vendar z okrog 0,23 % Cu.

d) Predelava starih hald:

Sedaj železarne izkoriščajo le večje kose jekla, imenovane »svinje«. Teh je okrog 1 % na proizvodnjo jekla. Po izkušnjah specializiranih podjetij se da iz redno odvržene žindre in iz starih hald dobiti 4 % jekla, od tega je del uporaben le v aglomeraciji. Če računamo z 2 % neizkoriščenega jekla v haldah, ki je primeren kot vložek za jeklarske peči, bi bilo to v državi letno 52.000 ton in 26.000 ton za aglomeracije.

Posamezni postopki dajo žindre z naslednjo vsebnostjo železa

- plavžne žindre
 - 1 % Fe, rač. na proizv. grodlja
- martinske žindre
 - 4,5 % Fe, rač. na proizv. jekla
- elektro žindre
 - 3,0 % Fe, rač. na proizv. jekla
- konvertorske žindre
 - 1,0 % Fe, rač. na proizv. jekla

BILANCA VLOŽKA

Če upoštevamo dotok starega železa iz prej navedenih virov, bi bilo možno zbrati sledeče količine:

	Leto 1971 dobavljeno	Leto 1971 po predpostavkah
Proizvodnja jekla ton	2.411.457	
elektro jekla ton	502.390	
lastni odpadki ton	573.000	573.000
ind. odpadek in zbiranje	231.000	
rezanje ladij	62.000	62.000
uvoz	220.000	
industrijski odpadki (3,8 milij. × 13 %)		495.000 ton
zbiranje		345.000 ton
		840.000 ton

V Jugoslaviji smo v letu 1971 porabili 3.800.000 ton jekla, preračunano na jeklo v blokih. Pri odnosu industrijskih odpadkov proti zbiranju 59 : 41 % bi bilo zbranih odpadkov 345.000 ton.

Poslovno združenje INOT je objavilo bilanco zbiranja za leto 1971, ki jo kaže naslednja tabela.

Tabela 1
Zbiranje starega železa v letih 1970 in 1971

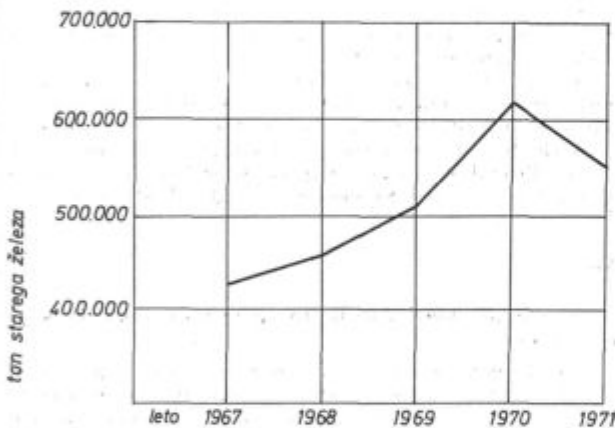
	1970	1971
Skupno prodano:	619.274	543.669
Od tega:		
železarnam:	422.028	398.118
livarnam:	90.372	90.836
uporabno:	64.170	52.717
v izvoz:	4.954	5.307

Vrste	Odkupljeno v letu 1971.	Od tega iz gospodar. dejavnosti	Skupno prodano v l. 1971.	Od tega:			
				železarnam	livarnam	za izvoz	uporabno
stara železo							
stara železo	416.186	290.594	405.461	295.610	83.879	1.226	34.667
žel. ostružki	97.413	78.659	94.544	87.791	4.691	102	1000
ostalo iz gr. 114	43.099	38.933	43.664	14.717	2.266	3.979	17.050
skupno	556.698	417.193	543.669	398.118	90.836	5.307	52.717
stara litina							
strojna litina	26.725	20.496	28.462	4.200	23.424	218	258
trgovska litina	2.651	1.729	2.138	35	2.071	—	17
mešana litina	6.709	4.576	6.905	1040	5.646	—	219
skupno	36.086	26.804	37.505	5.275	31.141	218	494

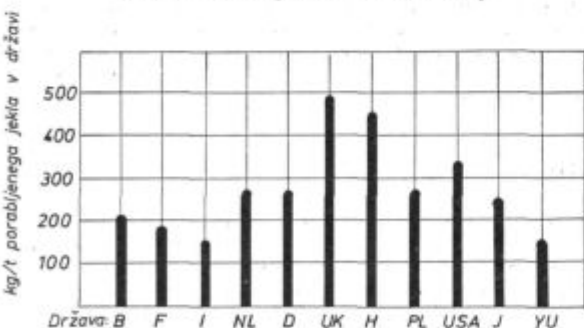
Vsa podjetja so prodala 543.669 ton starega železa, zbrala pa 556.698 ton; nekaj je ostalo na zalogah v podjetjih. Železarnarje so dobile 398.118 ton in livarne 90.836 ton. Pri železarnah je treba upoštevati stružce, ki jih železarnarje nabavijo, pa jih porabijo plavži. Od zgoraj predvidene količine 840.000 ton, ostane tako neizkoriščenih okrog 285.000 ton. Podjetja sama navajajo, da so še izvori starega železa, vendar cena ni dovolj visoka,

tako da zbiranje ni donosno. Kako raste količina zbranega starega železa, kaže slika 2.

Madžarska s 3 milij. porabe jekla je v letu 1968 zbrala 1,5, v letu 1969 pa 1,9 milij. ton starega železa (od lastnih odpadkov do kupljenega železa). Potrebno bi bilo zbrati njihove izkušnje. Samo industrijskih odpadkov in zbiranja je bilo 850.000, oziroma 1.200.000 ton letno.



Slika 2
Količina starega železa iz zbiranja



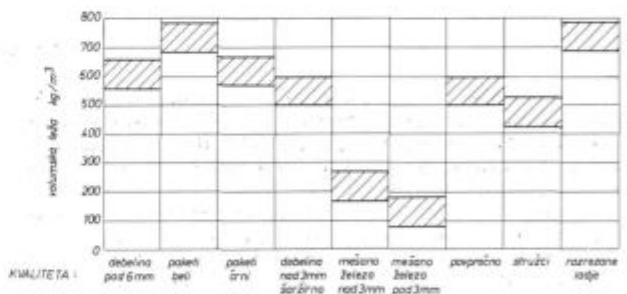
B - BELGIJA NL - NIZOZEMSKA H - MADŽARSKA
F - FRANCIJA D - ZRN PL - POLJSKA
I - ITALIJA UK - ANGLIJA J - JAPONSKA

Slika 3

Zbrano staro železo v raznih državah na tono porabljenega jekla

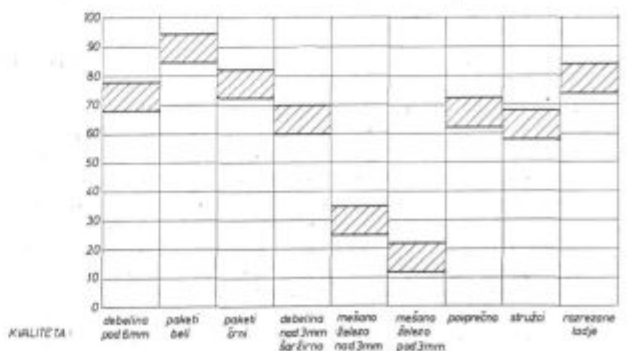
KVALITETA

Lastni odpadki so odvisni od izdelanega jekla. Več legur in prevlek onečišča povratek. Industrijski odpadki se slabšajo zaradi več legiranega jekla, površinskih prevlek in zahtev po lastnostih jekla



Slika 4

Volumna teža raznih vrst starega železa



Slika 5

Izkoriščenost nosilnosti vagonov

za predelavo na avtomatih. Železo iz zbiranja je dobre kvalitete, če poznamo njegov izvor. To se pa da urediti s sortiranjem in večjimi stroški. Mnenje je, da bi zbiralci z nekaj večjimi stroški mogli dobavljati bolj sortirano železo.

Potrebno bo, ko bo postopek predredukcije peletov bolj osvojen, preštudirati možnost proizvodnje in uporabe peletov za jekla, ki zahtevajo boljše kemično čistočo. To so vsekakor nekatera ogljikova jekla, orodna jekla in jekla za elektro pločevino.

Za produktivnost peči je važna volumska teža starega železa, ki se zalaga v peči. Za prevzem obstajajo razredi, ki določajo debelino komadov, dolžino in širino. Glede kemične sestave so omejitve le na prevleke z Cu, Zn in Sn, vendar le pri nekaterih vrstah.

Staro železo je vredno več, če je njegova volumska teža večja. Danes velja pravilo, da ga je možno pripraviti tako, da tehta 0,9—1,3 ton/m³.

Primer kvalitete dobav za obdobje 3 mesecev, kaže različne teže. Nanaša se na volumen v vagonu dobavitelja. Teža se giblje od 130—740 kg/m³. Nosilnost vagonov je izkoriščena temu sorazmerno od 15—85 %.

Literatura

1. Economic commission for Europe: Problems relating to iron and steel scrap, UNITED NATIONS, NEW YORK, 1971.
2. Casopis: Otpadne sirovine — sept. 1972, izdaja INOT BEOGRAD.
3. Statistički bilten UJZ, 1971.

ZUSAMMENFASSUNG

Nach den Rechnungen welche bei ähnlich grossen Stahlerzeugern wie Jugoslawien gültig sind, wäre es möglich jährlich etwa 285.000 Tonnen mehr Schrott zu sammeln. Das ist zusammen mit der Sammelfirmen zu überprüfen. Wir müssen uns auch für eine bessere Schrottvorbereitung, dass heisst für ein grösseres Raumgewicht des Schrottes vereinbaren.

Die Hüttenwerke könnten durch die Schlackenseparierung und durch die Haldenverarbeitung noch etwa 100.000 tonnen Schrott jährlich gewinnen.

Auf diese Weise würde die Schrotteinfuhr die gegenwärtige Menge nicht wesentlich überschreiten (in diesem Jahr ist ein Import von 393.000 Tonnen geplant und teilweise für Brodospas noch 70.000 Tonnen).

Es ist zu berücksichtigen, dass auch für die Roheisenproduktion Kocks oder Kohle eingeführt werden müssen.

Der Kostenaufwand für eine Tonne Koks entspricht dem Aufwand für 820 kg eingeführten Schrottes.

Für die Pellets ist bekannt, dass sie den reinsten Einsatzstoff für die Stahlgewinnung darstellen.

Auf dem Symposium über die Herstellung und Verwendung von Pellets in Bukarest im Oktober 1972 haben die Stahlhersteller berichtet, dass nach den gegenwärtigen Erfahrungen ein 35 prozentiger Gewichtsanteil von Pellets im Einsatz ohne weiteres möglich ist. Die Anwendung von Pellets ist aus Preisgründen nur bei der Erzeugung der Qualitätsstähle berechtigt.

Es ist für den Zeitabschnitt der nächsten fünf Jahre notwendig sich mit den Schrottsammelfirmen über grössere Schrottmengen, mit grösserem Raumgewicht und besserer Qualität zu vereinbaren. Erst später kann über eine eigene Produktion von reduzierten Pellets und dessen Anwendung in der Stahlerzeugung die Rede sein.

SUMMARY

Calculations valued for similar steel producers as Yugoslavia show that about 285,000 t more scrap iron could be collected. This should be checked with the firms collecting the scrap. Also scrap must be better prepared, i. e. it must have greater volumetric weight.

Ironworks can extract about 100,000 t scrap iron per year by slag separation and by dump treatment.

In this way import of scrap iron will not essentially rise over the present quantity (about 393,000 t this year, and partially for Brodospas — 70,000 t).

Also import of coke or coal needed for pig iron production must be taken in to account. Costs of 1 t coke correspond to the price of 820 kg of imported scrap iron.

Pellets are known to be the purest material for steel production.

Steelmakers reported according to their experiences, on the conference on production and use of pellets in Bucuresti in last October, that about 35 % batch weight can be used in form of pellets. But pellets are profitable only for production of quality steels.

It is urgent in the next five years to cooperate closely with the scrap iron collectors to get greater supplies, better volumetric weight and better quality of scrap iron. Later, the decision on production and use of pellets can come into account.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании расчётов с которыми может считаться при производстве стали не только Югославия, но и другие производители, можно заключить, что у нас в течении одного года есть возможность собрать прибл. 285.000 т скрапа свыше. Это необходимо проверить с предприятиями которые собирают и откупают скрап. Подобно также определить самый лучший способ селекцию скрапа, т. е. обеспечить более высокую ёмкостную тяжесть. Металлургические заводы также бы сепарацией шлаков и переработкой шлаковых отвалов, могли использовать ещё прибл. 100.000 т скрапа. Таким образом, взявши во внимание в этом году планированное необходимое металлургии количество импортированного скрапа в количестве от 393.000 т, имея также ввиду дальнейших прибл. 70.000 т. скрапа с которым металлургическую промышленность снабжает предприятие Бродоспас, резанием вытацинных потанувших пароходов, можно

предполагать, что импорт скрапа существенно не увеличится. Также нельзя не принять во внимание необходимость импорта кокса или угля для производства чугуна. Расходы на одну тону кокса соответствуют 820 кг импортному скрапу. На совещании о производстве и употреблении окатышей в октябре прошлого года в Бухаресте доложили, что шихта может содержать до 35 % окатышей, хотя из-за их высокой цены этот добавок рекомендуется лишь при производстве качественных сортов стали. Поэтому, в промежутке времени первых пяти лет необходимо, в связи с предприятиями сбора скрапа, заботится о его количестве, большего объёмного веса и лучшего качества. После этого можно рассчитывать, что производство и употребление окатышей будет актуальным.

»Metalurške reakcije pri pretaljevanju kvalitetnih jekel pod žlindro (EPŽ)«

1. UVOD

Pretaljevanje treh orodnih jekel na polindustrijski EPŽ-napravi pod različnimi obratovalnimi pogoji. Analiza metalurških reakcij, ki uravnavajo kemično sestavo jekla in vsebnost kisika in žvepla.

Iskanje korelacijskih odnosov med kemično sestavo žlindre (bazičnostjo) in vsebnostjo kisika, odnosom $Si \cdot O^2$ in konstanto $K_{Mn, Si}$. Ocena vpliva hitrosti talenja jekla na vsebnost žvepla v pretaljenih ingotih.

Mehanske lastnosti plemenitih jekel in njihovo obnašanje v dejanskih, obratovalnih pogojih so odvisne predvsem od kemične sestave, čistoče in strukturnih lastnosti ingota pred njegovo predelavo do končnega proizvoda.

Današnja tehnologija izdelave jekel v elektroobložni jeklarski peči omogoča dokaj zanesljivo kontrolo osnovnih legirnih elementov, zahvaljujoč globljemu poznavanju fizikalno-kemičnih procesov med kovino in žlindro in razvitejši analitski tehniki. Tudi doseg čistoče jekla pri masovni produkciji jekel ne predstavlja več tako perečega problema. Razvoj številnih postopkov, kot so vakuumiranje, preprihovanje z inertnimi (argon, dušik) plini, obdelava tekočega jekla s trdnimi in tekočimi žlindrami, kakor tudi učinkovitejša dezoksidacija z aluminijem in kompleksnimi dezoksidanti omogočajo danes izbiro optimalne tehnologije, ki zagotavlja visoko čistočo tekočega jekla.

Popolnoma drugačna slika pa je glede vprašanja strukture in heterogenosti ingotov, izdelanih po konvencionalnih načinih. Pri klasičnem načinu litja jekel v kokile (kar velja predvsem za plemenita jekla) potekajo med kristalizacijo kovine številni procesi, ki vodijo do znanih pojavov razmešanja in defektov v makro in mikrostrukturi. Pri nadaljnji predelavi ingotov se tem defektom praktično ni mogoče več izogniti. Segregacije v primarni strukturi se v deformiranem materialu, kot je znano manifestirajo v anizotropiji mehanskih lastnosti, (lastnosti v vzdolžni in prečni smeri), kar je posebej pomembno pri nekaterih orodnih in konstrukcijskih jeklih.

Aplikacija tki. »sekundarnih postopkov«, med katerimi zavzema elektropretaljevanje

pod žlindro (EPŽ) posebno vidno mesto omogoča zaradi specifičnih pogojev rafinacije in kristalizacije v znatni meri izboljšati strukturo in čistočo litega jekla.

Praktične izkušnje v številnih jeklarnah so pokazale, da je kvaliteta plemenitih jekel, izdelanih po EPŽ veliko boljša kot pri klasičnem načinu izdelave jekla predvsem zaradi večje žilavosti jekla pri manjši stopnji predelave, večji homogenosti jekla ter enakomernejši porazdelitvi vključkov.

Železarna Ravne je kot proizvajalec plemenitih jekel skupaj z Metalurškim inštitutom v Ljubljani že pred tremi leti začela z obsežnimi raziskavami na področju pretaljevanja visokolegiranih orodnih in konstrukcijskih jekel po EPŽ-postopku.

V poročilu, ki ga podajamo, bomo diskutirali o metalurških reakcijah in obnašanju nekaterih kemičnih elementov med pretaljevanjem treh orodnih jekel, pretaljenih po EPŽ-postopku.

2. Praktični poskusi

Izbrali smo tri tipične predstavnike orodnih jekel iz proizvodnega programa Železarne Ravne in sicer:

A. Jeklo za delo v hladnem — OCR-12 ex. (165 CrMoV12)

B. Jeklo za delo v vročem — Utop Mo 2 (X40CrMoV51)

C. Brzorezno jeklo — BRM-2 (S 6-5-2)

Poskuse talenja smo vršili na polindustrijski EPŽ-napravi maksimalne teže ingotov do 60 kg in premera kristalizatorja 118 mm.

Elektrode, kvadratnega preseka 60 mm in dolžine 2,3—3,0 m smo pred začetkom talenja mehansko čistili in zaščitili s posebnim premazom. Delali smo s tki. »mrzlim štartom«, pri čemer je količina žlindre znašala 50—60 kg/t jekla.

Poskuse smo vršili s tremi tipi žlinder: $CaF_2-Al_2O_3$ (M-1) $CaF_2-Al_2O_3-CaO$ (M-6) in $CaF_2-Al_2O_3-CaO-MgO$ (M-7). Žlindre so bile pripravljene s talenjem v grafitni peči in pred uporabo naknadno žarjene.

Hitrost talenja, pri enaki moči transformatorja in količini žlindre je bila različna za različne vrste jekla, kar je posledica razlike v fizikalnih

laštostih jekel (toplotna prevodnost, toplota taljenja, gostota in dr.):

OCR — 12 ex. $Q_2 = 26\text{--}40$ kg/h

Utop Mo 2 $Q_2 = 21\text{--}27$ kg/h

BRM — 2 $Q_2 = 27\text{--}42$ kg/h

3. Rezultati

Kemična analiza pretaljenih ingotov je pokazala, da je vsebnost legirnih in spremljajočih elementov glede na izhodno elektrodo ostala praktično nespremenjena. Na sliki 1 je pokazana variabilnost štirih elementov: C, Si, Mn in S v pretaljenih ingotih, kvalitete BRM-2. Iz slike je razvidno, da ostane vsebnost ogljika med pretaljevanjem praktično nespremenjena.

Vsebnost silicija, mangana, žvepla in kisika se med talenjem spremeni, kar je posledica kemičnih reakcij, ki potekajo v sistemu kovina-žlindra-plinska faza. Vsebnost legirnih in oligo elementov ostane praktično enaka kot v izhodnem materialu.

Iz dobljenih rezultatov sklepamo, da pri pretaljevanju orodnih jekel po EPZ-postopku kontrola kemične sestave ne predstavlja nobenega problema.

Veliko večji pomen ima poleg kontrole porazdelitve in velikosti karbidov kontrola nekovinskih

vključkov in plinov (predvsem oksidov in sulfidov, pri večjih ingotih tudi nitridov in vodika), ker je njihova vsebnost določena s termodinamičnimi in kinetičnimi pogoji poteka metalurških reakcij med žlindro, kovino in plinsko fazo.

4. Analiza rezultatov in diskusija

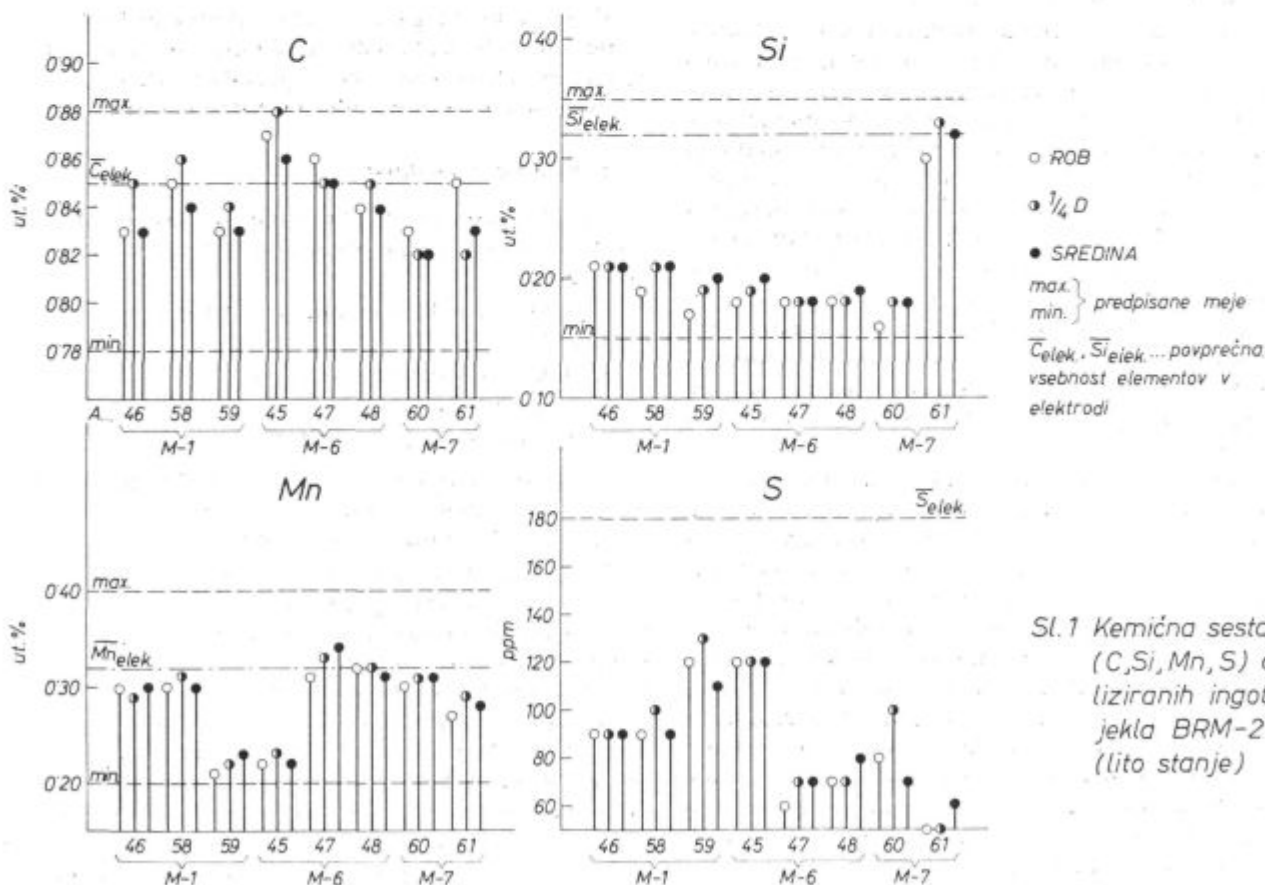
Kisik in žveplo (poleg dušika) sta osnovna elementa, ki tvorita nekovinske vključke s prisotnimi elementi v jeklu. Čeprav je vpliv nekovinskih vključkov na mehanske lastnosti orodnih jekel dokaj neraziskan, so pokazale številne raziskave, da obstaja visoka korelacija med vsebnostjo nekovinskih vključkov v visoko-legiranih jeklih in plastičnostjo jekla.

Zato vprašanje tvorbe nekovinskih vključkov in mehanizma metalurških reakcij med kovino in žlindro pri orodnih jeklih ni mogoče zanemariti.

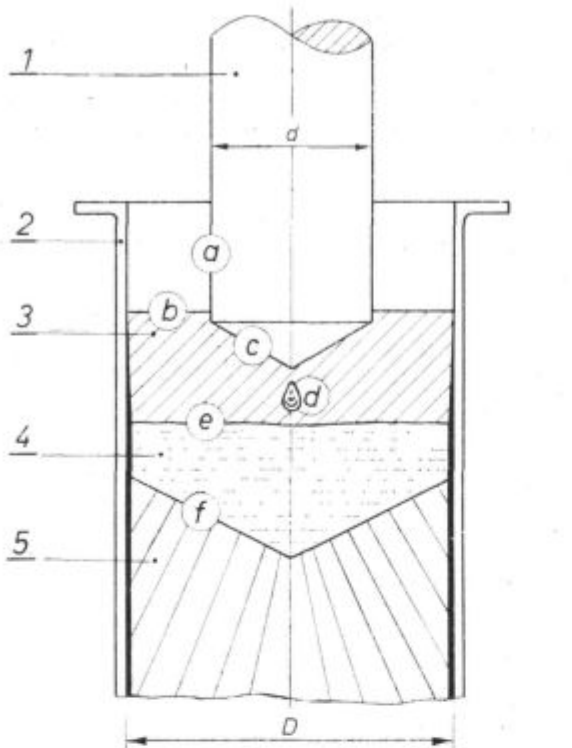
4.1 Kisik

Pri EPZ-postopku obstaja več virov kisika (glej sliko 2):

- Prenos kisika iz atmosfere preko žlindre (fazne meje: b in e)
- Kisik v elektrodi,
- Oksidacija površine elektrode v procesu taljenja (fazna meja: d),



Slika 1 Kemična sestava (C, Si, Mn, S) analiziranih ingotov jekla BRM-2 (lito stanje)



- 1 elektroda
2 kristalizator
3 žilindrina kapel
4 jeklena kapel
5 ingot
- a) plinska faza / elektroda
b) plinska faza / žilindra
c) elektroda / žilindra
d) kaplja / žilindra
e) jeklena kapelj / žilindra
f) trdna/tekoča faza kovine

Slika 2
Reakcijska mesta pri EPZ-postopku

— Kisik v žilindri (v glavnem kot FeO, MnO in SiO₂).

Prenos kisika iz atmosfere v žilindro se vrši preko polivalentnih ionov kot so: Fe^{Z+}, Mn^{Z+} itd. Zato ima veliki pomen začetna koncentracija teh oksidov v žilindri in intenziteta oksidacije elektrodne površine med procesom talenja.

Prvi približek pri oceni vsebnosti kisika v jeklu je torej mogoče poiskati v odvisnosti med FeO v žilindri in kisikom v pretaljenem ingotu:



Tabela 1 — Termodinamične vrednosti silicija, ogljika in kisika v treh orodnih jeklih (izračunano na osnovi povprečne kemične analize jekla in parametrov interakcije za 1600° C²)

JEKLO	Silicij		Ogljik		Kisik	
	f _i	a _i	f _i	a _i	f _i	a _i *
OCR — 12 ex.	6.622	1.32	1.16	1.96	0.057	0.00045
BRM — 2	73.3	18.4	1.035	0.86	0.328	0.0042
Utop Mo 2	7.4	7.4	1.178	0.47	0.34	0.0272

*pri x₀ = 80 ppm f_i — koeficient aktivnosti a_i — aktivnost

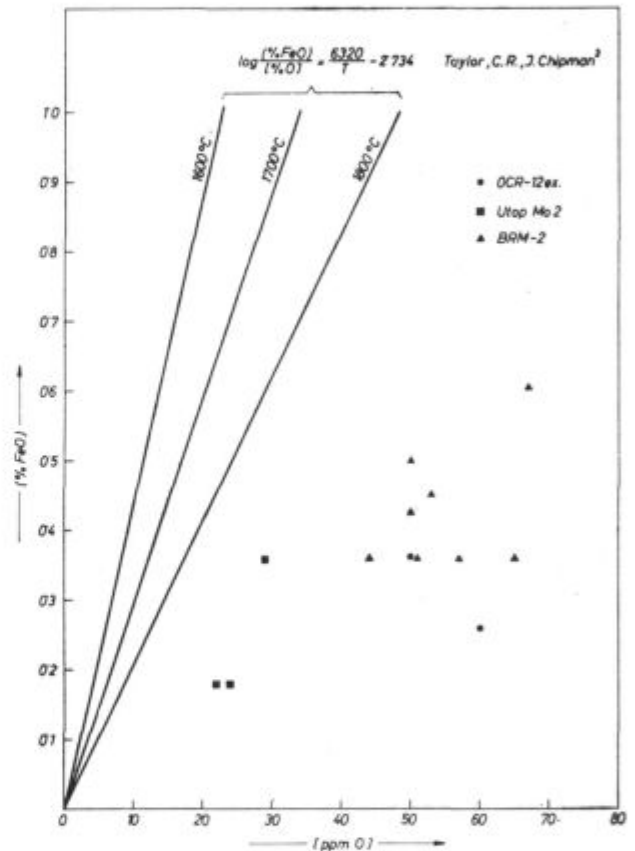
$$K_{\text{Fe}} = \frac{a_{\text{FeO}}}{a_{\text{Fe}} \cdot a_{\text{O}}} \approx \frac{(\% \text{ FeO})}{\% \text{ O}} \quad (2)$$

Na sliki 3 je pokazana ta odvisnost, ki jasno govori, da je aproksimacija a_{FeO} ≈ % FeO neizvedljiva, ker ima FeO v žilindrah CaF₂-Al₂O₃-CaO pozitivni odklon od Raoulovega zakona.

Drugi približek, za oceno vsebnosti kisika v jeklu je termodinamična analiza reakcij med aktivnimi elementi in kisikom.

Pri orodnih jeklih ima v večini primerov največjo aktivnost do kisika silicij (glej tabelo 1).

Osnovna reakcija, ki določa razmerje med Si in O je:



Slika 3
Odvisnost med vsebnostjo FeO v žilindri in kisikom v treh orodnih jeklih pretaljenih pod tremi različnimi žilindrami iz sistema CaF₂-Al₂O₃-CaO-MgO

oz. konstanta ravnotežja:

$$K_{Si} \frac{a_{Si} \cdot a_{O^2}}{a_{SiO_2}} = \frac{\% Si \cdot \% O^2}{N_{SiO_2}} \cdot \frac{f_{Si} \cdot f_{O^2}}{\gamma_{SiO_2}} \quad (4)$$

Iz enačbe (3) je razvidno, da je produkt $\% Si \cdot \% O^2$ pri konstantni temperaturi odvisen od kemične sestave žlindre (γ_{SiO_2}) in kemične sestave jekla, ki se manifestira v vrednostih koeficientov aktivnosti silicija in kisika.

Koeficient aktivnosti γ_{SiO_2} v žlindri v sistemu $CaF_2-CaO-SiO_2$ je odvisen izključno od bazičnosti žlindre.

Na osnovi podatkov Halzgruberja in Plöckingerja smo izpeljali analitični izraz za to odvisnost, ki ima obliko:

$$\begin{aligned} \log K'_{Si} = \log K_{Si} \cdot a_{SiO_2} = \\ = A + B \log \frac{\% CaO}{\% SiO_2} \end{aligned} \quad (5)$$

Z upoštevanjem koeficientov aktivnosti f_C , f_{Si} in f_O (glej tabelo 1) in povprečno vsebnostjo silicija v jeklu, smo za vse tri vrste jekla izračunali teoretsko odvisnost vsebnosti kisika kot funkcije bazičnosti žlindre.

Rezultati so razvidni iz slike 4, v katero so vrisani tudi eksperimentalno dobljeni rezultati za omenjene tri tipe jekel. Iz prikazanih rezultatov sledi zaključek, da vsebnost kisika (v območju bazičnosti 0,6—2,0) leži v območju izračunanih vrednosti.

Dobljena odvisnost opozarja na prisotnost tudi drugih vplivnih faktorjev (vpliv hitrosti talenja, kinetika odstranjevanja nekovinskih vključkov in dr.).

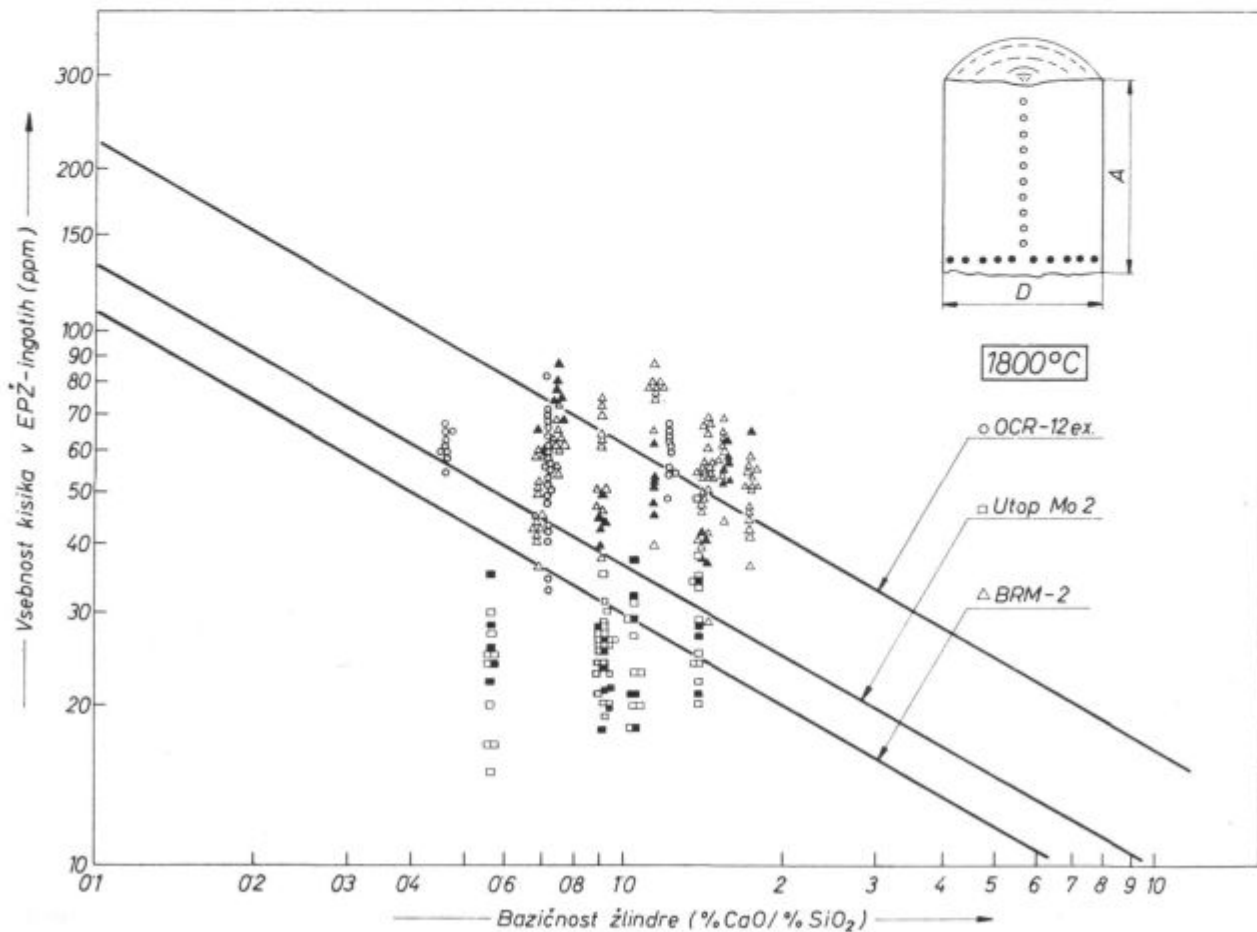
Pri tem je treba poudariti naslednja dejstva:

1. Pri majhnih EPZ-napravah se bazičnost žlindre spreminja s časom, ker količina SiO_2 v žlindri nenehno narašča. Najnižja bazičnost je proti koncu talenja, zato se naša analiza tudi nanaša le na pogoje v glavi ingota.

2. Natančnost koeficientov aktivnosti je dokaj nesigurna, ker se koeficienti interakcije, preko katerih se vršijo izračunavanja, nanašajo na temperature okrog $1600^{\circ}C$, medtem ko max. temperatura pri EPZ-procesu znaša okrog $1800^{\circ}C$.

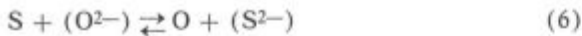
4.2 Zveplo

Odstranjevanje žvepla pri pretaljevanju jekel po EPZ-postopku se vrši v več etap:

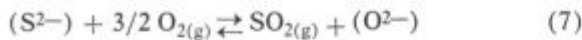


Slika 4
Odvisnost med vsebnostjo kisika v EPZ-ingotih in bazičnostjo žlindre pri treh orodnih jeklih OCR-12 ex., Utop Mo 2 in BRM-2

1. Prenos kisika iz elektrode v žlindro preko fazne meje C (glej sliko 2) po enačbi:



2. Kemična reakcija med ioni žvepla v žlindri in molekularnim kisikom v plinski fazi (fazna meja b) po enačbi:

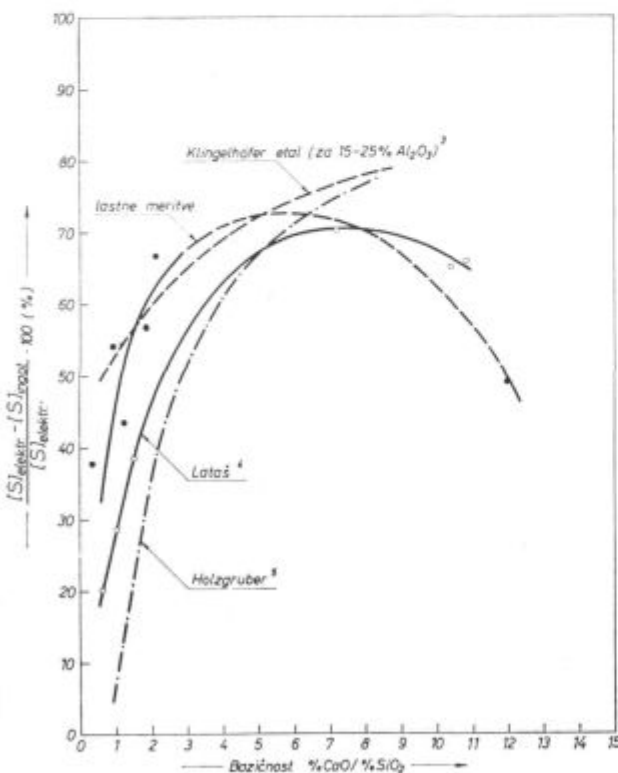


Termodinamična analiza obeh teh reakcij pove, da so pogoji za odžveplanje jekla ozko povezani s koncentracijo O^{2-} -ionov v žlindri, parcialnim pritiskom kisika v plinski fazi in kemično sestavo jekla.

Pri orodnih jeklih, pri katerih proces taljenja poteka pri zračni atmosferi (brez zaščitne atmosfere v kristalizatorju) je parcialni pritisk kisika v plinski fazi konstanten in je na termodinamične pogoje odžveplanja mogoče vplivati le preko bazičnosti žlindre.

Na sliki 5 je pokazana odvisnost med stopnjo odžveplanja jekla OCR-12 ex. in bazičnostjo žlindre skupaj s podatki iz literature³⁻⁵.

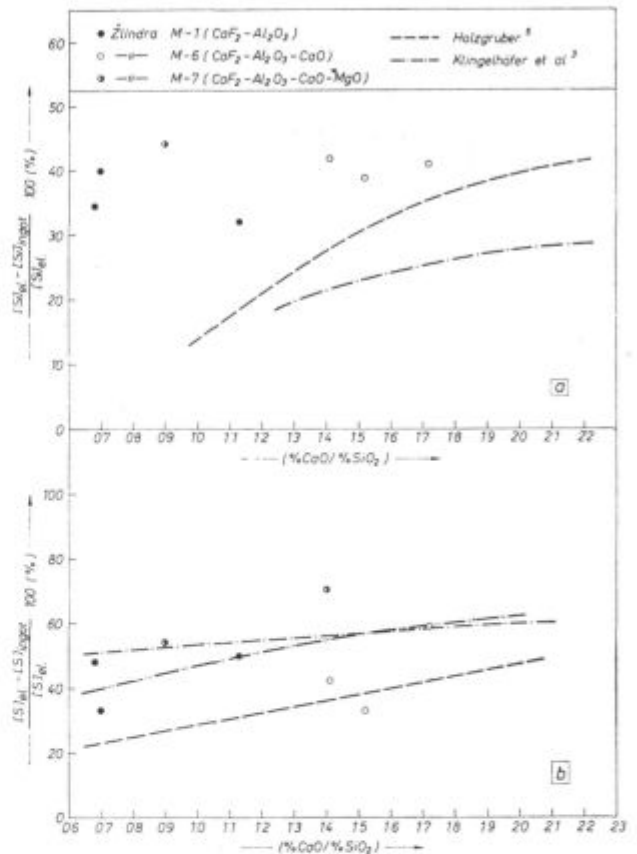
Pri majhnih EPŽ-napravah je zelo težko delati z žlindrami, ki imajo visoko bazičnost žlindre, ker z bazičnostjo žlindre narašča tudi intenziteta oksidacije Si. Posledica tega je naraščanje vsebnosti SiO_2 v žlindri in zmanjšanje bazičnosti žlindre s časom taljenja.



Slika 5

Vpliv bazičnosti na stopnjo razžveplanja med taljenjem jekla po EPŽ-postopku. (Rezultati Lataša izračunani na osnovi podatkov o sestavi žlindre po taljenju jekla in vsebnosti žvepla v elektrodah in ingotih).

Pri orodnih jeklih je mogoče doseči visoko stopnjo odžveplanja tudi pri nižjih vrednostih bazičnosti zaradi zelo visoke aktivnosti žvepla v jeklu (vpliv legirnih elementov, zlasti Si in C). Na sliki 6b je pokazana odvisnost stopnje odžveplanja od bazičnosti ($\%CaO/\%SiO_2 = 0,6 - 2,3$) pri pretaljevanju jekla BRM-2.



Slika 6

Vpliv bazičnosti žlindre na »odgor« silicija in stopnjo odžveplanja pri pretaljevanju jekla BRM-2

4.3 Silicij in mangan

Od vseh legirnih elementov sta silicij in mangan edina dva elementa, ki se glede na svojo termodinamično aktivnost lahko oksidirata s kisikom, prisotnim v jeklu in žlindri.

Oksidacija silicija poteka po enačbi (3). Ker je aktivnost silicija od vseh elementov največja, je tudi njegov »odgor« največji. Na sliki 6a je pokazana odvisnost med »odgorom« silicija in bazičnostjo žlindre.

Pri tem je treba poudariti, da »odgor« silicija pri enaki bazičnosti narašča s specifično površino plašča elektrode (cm^2/kg), ki s presekom elektrode pada. To je tudi edina razlaga, zakaj je pri naših poskusih »odgor« veliko večji, kot pri drugih avtorjih, ki so delali z večjimi preseki elektrod.

Mangan se oksidira po enačbi:



Paralelno z oksidacijo mangana poteka tudi reakcija med manganom in silicijem:



tako, da obstaja določena odvisnost med konstanto ravnotežja za to reakcijo in bazičnostjo žlindre, ki kot smo že omenili določa aktivnost SiO_2 v žlindri.

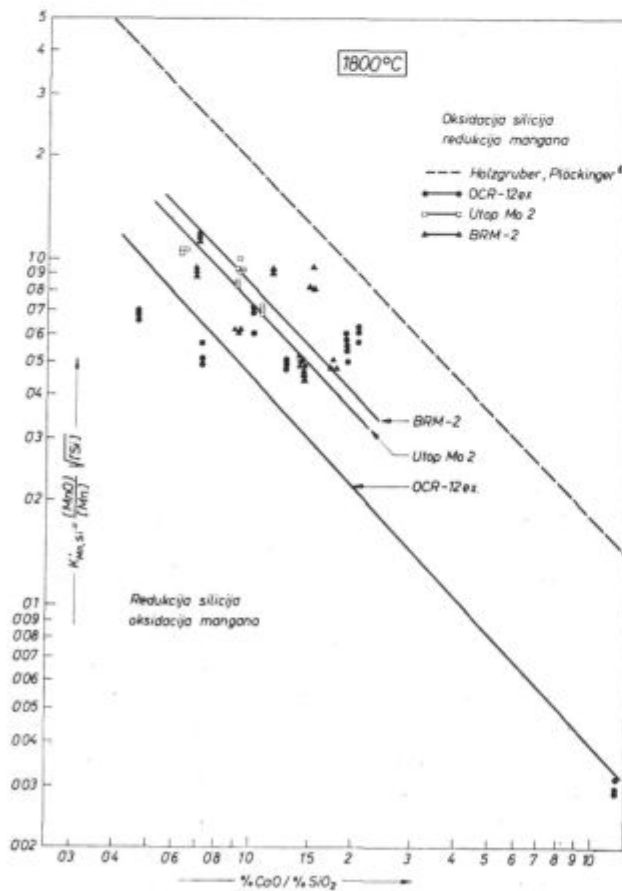
Na sliki 7 je pokazana ta odvisnost za analizirana tri jekla skupaj z rezultati Halzgruberja in Plöckingerja⁶.

5. Vpliv kinetičnih parametrov na potek kemičnih reakcij

Termodinamična analiza fizikalno-kemičnih procesov, ki se vršijo med talenjem jekla v žlindri ne daje nikakršnih informacij o kinetiki ali mehanizmu reakcij.

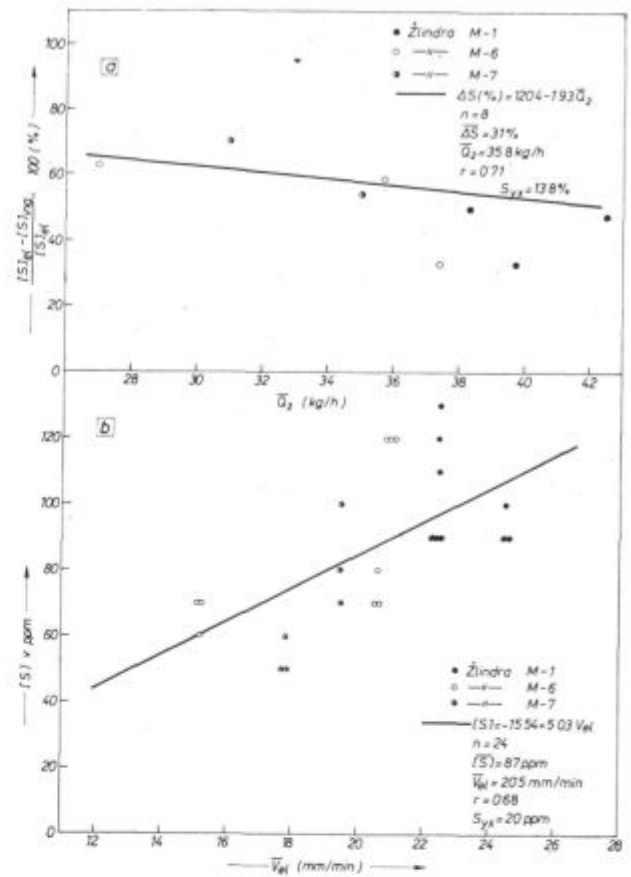
Tako smo videli na primeru kisika, da na splošno obstaja določeno soglasje med termodinamično izračunanimi in eksperimentalno ugotovljenimi vrednostmi, kljub določeni disperziji rezultatov.

V tej analizi smo skušali oceniti vpliv hitrosti talenja, kot najvplivnejšega faktorja na kinetične pogoje odžveplanja (glej sliko 8). Pri interpreta-



Slika 7

Odvisnosti konstante $K'_{\text{Mn, Si}}$ od bazičnosti žlindre pri pretaljevanju orodnih jekel: OCR-12 ex., BRM-2 in Utop Mo 2 po EPŽ-postopku



Slika 8

- a) Regresija stopnje odžveplanja in hitrosti talenja Q_2
 b) Regresija vsebnosti žvepla v EPŽ-ingotu in hitrosti odtaljevanja elektrode V_{el}

ciji teh rezultatov je treba pripomniti, da je hitrost talenja korelacijsko povezano z vrsto uporabljene žlindre oziroma njeno bazičnostjo, tako da se efekti med seboj prekrivajo.

Toda kljub temu ugotavljamo, da hitrost talenja definira čas reakcije med žlindro in kovino in s tem direktno vpliva na uspešnost rafinacije.

6. ZAKLJUČKI

1. Pretaljevanje orodnih jekel po EPŽ-postopku prinaša vrsto izboljšav, med katerimi ima največji pomen izboljšanje žilavosti v prečni smeri obdelave, povečanje gostote in čistoče jekla.

2. Kemična sestava pretaljenega jekla se med pretaljevanjem pod žlindro praktično ne spremeni. Edino silicij in deloma mangan se znižata zaradi visoke aktivnosti do kisika.

»Odgor« silicija in mangana je odvisen od njune izhodne koncentracije in bazičnosti žlindre.

3. Vsebnost žvepla in kisika v pretaljenih ingotih ustreza termodinamičnemu ravnotežju v sistemu kovina-žlindra. Koncentracija kisika se giblje med 15–90 ppm, medtem ko je vsebnost žvepla nekoliko višja in leži med 50–120 ppm.

Literatura

1. Taylor, C. R., J. Chipman: Equilibria of Liquid Iron and Simple Basic and Acid Slags in a Rotation Induction Furnace, Trans. AIME 154 (1943) 228—247.
2. Schenck, H., E. Steinmetz: Wirkungsparameter von Belegtelementen flüssiger Eisenlösungen und ihre gegenseitigen Beziehungen, 2. Aufl. (1968), Verlag Stahl u. Eisen, Düsseldorf.
3. Klingelhöfer, H. J., P. Mathis, A. Choudhury: Archiv f. Eisenhüttenwes. 42, 5 (1971) 299—306.
4. Lataš, Ju. V.: Automatičeskaja svarka-9 (1965) 25—29
5. Halzgruber, W.: Dr.-Diss. Mont. Hochschule, Leoben 1967.
6. Halzgruber, W. E., Plöckinger: Stahl u. Eisen 88, Nr 12 (1968) 638—648.

ZUSAMMENFASSUNG

Elektroschlacke Umschmelzen der hochlegierten Stähle ist durch manche Vorteile wie bessere Kerbschlagzähigkeit in der Querrichtung, bessere Homogenität und Dichte des Stahles und eine gleichmäßigere Verteilung der Karbide und nichtmetallischer Einschlüsse gekennzeichnet. Der Verlauf der metallurgischen Reaktionen und Interaktionen zwischen dem Metall und der Schlacke ist von dem System Metall-schlacke und den technologischen Schmelzparametern abhängig.

Für die Untersuchungen haben wir drei typische Werkzeugstähle aus dem Erzeugungsprogramm des Hüttenwerkes Ravne gewählt.

- a) Stahl für die Kaltverformung OCR 12 ex. (165 Cr Mo V 12)
- b) Stahl für die Warmverformung UTOP MO₂ (X 40 Cr Mo V 51)
- c) Schnelldrehstahl BRM-2 (S 6-5-2)

Die Schmelzversuche sind an einer Halbindustriellen Anlage mit einem Blockgewicht von höchstens 60 kg und

118 mm Kristallisdurchmesser durchgeführt werden. Für Elektroden diente Halbzeug 60 × 60 mm² und 2,3 bis 3 m Länge.

Bei der Umschmelzung der genannten Stähle ist die grösste Aufmerksamkeit folgenden Parametern gewidmet worden:

1. Dem Verhalten des Sauerstoffes und der Analyse der Einflussfaktoren — FeO Gehalt in der Schlacke und Basizität der Schlacke.
2. Dem Verhalten des Sauerstoffes und der Reaktion mit dem Sauerstoff im Stahl und aus der Atmosphäre.
3. Der Abhängigkeit zwischen dem Silizium und Mangan.

Die Bearbeitung der Ergebnisse mit mathematisch statistischen Methoden zeigte, dass neben der Thermodynamischen Bedingungen, welche den grössten Einfluss auf die analysierten Werte ausüben, diese auch von anderen Einflussfaktoren, wie kinetische Bedingungen während des Schmelzens beeinflusst werden.

SUMMARY

Electroslag remelting (ESR) of high alloyed steels gives numerous advantages in improvement of transversal toughness, greater homogeneity and steel density, and in more uniform distribution of carbides and non-metallic inclusions. Metallurgical reaction and interactions between slag and metal depend on the system metal-slag and on technological parameters of melting.

Three typical tool steels (Ironworks Ravne) were chosen for the analysis:

- a) cold working tool steel — OCR 12 ex. (165 Cr Mo V 12)
- b) hot working die steel — Utop Mo 2 (X 40 Cr Mo V 51)
- c) high-speed tool steel — BRM-2 (S 6-5-2)

Melting was made on pilot plant with maximal ingot

weight 60 kg and crystallizer diameter 118 mm. Square rods 60 × 60 mm and 2.3 to 3.0 m long were used for electrodes.

Basic attention during remelting of previously mentioned steels was given to:

1. The behaviour of oxygen and analysis of influential parameters — FeO content in slag and slag ratio
2. The behaviour of sulphur and its reaction with oxygen in steel and external atmosphere
3. The relationship between silicon and manganese.

Treatment of results by method of statistical mathematics showed that especially kinetic conditions of melting (dependance of desulphuration degree on melting rate) have essential influence beside the thermodynamic conditions which have the greatest influence.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переплавка высоколегированных сталей под шлаком (т. н. электрошлаковый переплав) приносит целый ряд преимуществ что касается улучшения вязкости стали в поперечном направлении относительно направления прокатки. Установлена лучшая однородность и плотность стали, более равномерное распределение карбидов и неметаллических включений. Ход металлургических реакций, также тех которые происходят между металлом и шлаком, зависит от системы металл-шлак и от технологических параметров плавления.

Для анализа выбраны три типовых представителя инструментальной стали, производ металлургического завода Равне:

- a) сталь марки OCR 12 ex. (165 CrMoV12), для переработки в холодном состоянии.
- b) Утор Мо 2 (X40CrMoV51), для тепловой переработки;
- в) BRM-2 (S-6-5-2), быстрорежущая сталь.

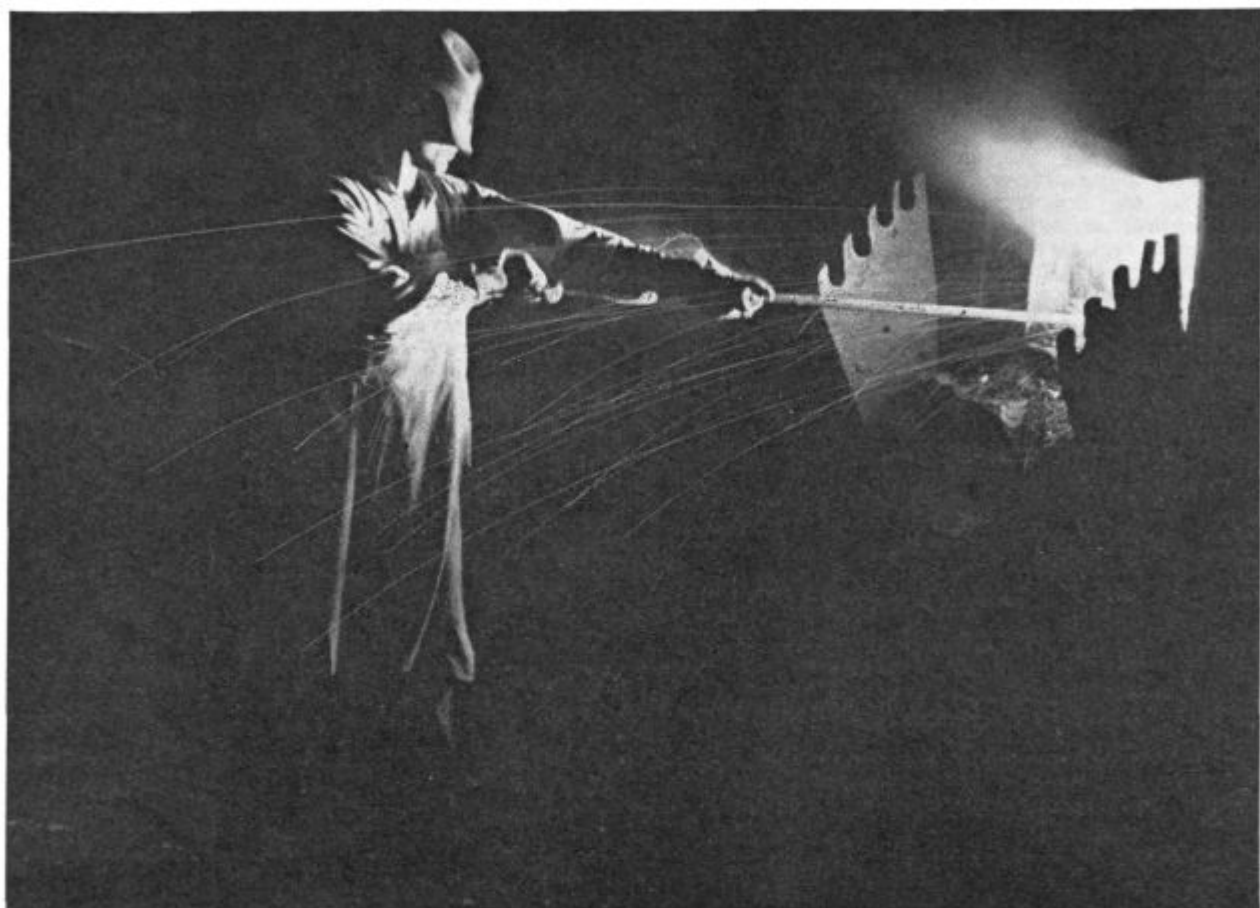
Опытные плавления велись на полупромышленной установке, при чём макс. вес слитка был 60 кг, а диаметр кристаллизатора 118 мм. В качестве электрода употребляли прутки квадратного сечения 60 × 60 мм², длины 2,3—3,0 м.

Главное внимание при переплаве упомянутых сортов стали уделено: 1) поведению кислорода и изучению вязкостных параметров т. е. содержанию FeO в шлаке и основности шлака; 2) поведению серы и её реакции с кислородом в стали и в атмосфере воздуха; 3) зависимость между кремнием и марганцем.

Обработка полученных результатов методом статистической математики показала, что кроме термодинамических условий, которые имеют основное влияние на анализируемые величины, значительное влияние оказывают также другие условия нпр.: зависимость степени десульфурации от быстроты плавления и пр.

**Svinčena jekla nova možnost
za povečano produktivnost obdelovalnih strojev**

**Svinčena jekla, nov proizvod
ZPSŽ - ŽELEZARNE JESENICE**



**Svinčena avtomatska jekla
ATJ 100 Pb**

Svinčena konstrukcijska jekla
– ogljikova
– nizko legirana

Vsako jeklo lahko legiramo s svincem!

Korozijska odpornost CORTEN jekla

Obravnavano je jeklo, ki je odporno na atmosfersko korozijo. Razlaga mehanizma tvorbe zaščitnih plasti je povzeta po tuji literaturi. Podani so rezultati 2-letne korozijske preizkušnje domačega jekla in preiskave rje ter mnenje o izgubi debeline v zvezi s sestavom jekla.

UVOD

V ZDA in tudi v Evropi¹ je pod imenom CORTEN znanih več vrst nizko legiranih jekel, ki se odlikujejo po zvečani odpornosti na atmosfersko korozijo in zvišanih trdnostnih lastnostih. V glavnem so znane 3 vrste tega jekla, ki so legirane bodisi s kromom, bakrom, nikljem in fosforjem ob nizkem procentu ogljika (vrsta A), bodisi z manganom, kromom, bakrom in vanadijem ob višjem procentu ogljika (vrsti B in C).

CORTEN A ali »vrsta s fosforjem« je zaradi estetskega videza površinske rje namenjena predvsem v arhitektonske namene, ima pa tudi najboljšo odpornost na atmosfersko korozijo. CORTEN B in C sta »vrsti z vanadijem«, ki imata višje trdnostne lastnosti kot vrsta A, slabšo korozijsko odpornost in manj prijeten izgled. Namenjeni sta za visoko obremenjene konstrukcije.

CORTEN jeklo se dobavlja kot toplo- ali hladno valjana pločevina in toplo valjani profili in palice.

Za arhitektonske namene se uporablja CORTEN A gol t. j. korozijsko nezaščiten, za nearhitektonske namene pa se uporabljajo vse 3 vrste (tudi A), bodisi gole, bodisi korozijsko zaščitene s premazi, pri čemer se vrste izbirajo glede na debelino in z njo povezani mehanskimi lastnostmi.

CORTEN A

Nas zanima predvsem CORTEN A, ki se v Evropi imenuje tudi »jeklo odporno na atmosfersko korozijo« (Witterungsbeständiger Stahl), označka domačega proizvajalca pa je JEKOR.

Mejne vrednosti za kemijski sestav so¹:

% C	% Si	% Mn	% P
do 0.12	0.25—0.75	0.20—0.50	0.07—0.15
% S	% Cr	% Cu	% Ni
do 0.035	0.30—1.25	0.25—0.55	do 0.65

Optimalni sestav po US priporočilu³ je:

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Cu	% Ni
0.09	0.35	0.40	0.10	do 0.025	0.80	0.35	0.20

Mehanske lastnosti, ki veljajo do debeline 12.5 mm, do katere se to jeklo proizvaja, so:

meja plastičnosti: min 35 kp/mm²

trdnost: min 49 kp/mm²

raztezek: min 22 %.

Kot omenjeno, ima to jeklo najboljšo korozijsko odpornost v atmosferi; navajajo⁴, da je 5—8-krat večja kot pri navadnem mehkem jeklu. Jeklo v atmosferi najprej zarjavi, kot vsako drugo, s časom pa se rja, zaradi izločanja legurnih elementov v obliki težko topnih spojin, zgosti, votline in razpoke v njej se zapro in korozija preneha. Za nastanek dobre, zaščitne rjaste plasti je bistveno, da je površina jekla izpostavljena menjajočim se vplivom dežja in sonca. Na površinah, ki niso naravnost izpostavljene vremenskim vplivom, kot so npr. spodnje površine streh, ne nastane dobra zaščitna plast, zato je treba take površine zaščititi s premazi. Dočim je rja na površinah, ki so izpostavljene atmosferilijam, gosta, drobna in žilava, je na neizpostavljenih groba in luskasta. Dobra zaščitna rja ima obenem tudi lepo barvo ozir. estetski videz, zato se jeklo prvenstveno uporablja v arhitektonske namene. Barva površinske rje se s časom lepša; najprej je rjavo rdeča, po nekaj letih pa preide v rjavo vijoličaste odtene. Da dosežemo čim boljše in po barvi čim enakomernjšo rjo, je treba površino jekla pred vgraditvijo očistiti (peskati ali lužiti). Če vgradimo jeklo z neočiščeno površino, bo ta nekaj let lisasta, kasneje pa se bo barva izenačila.

Navedbe o izgubi debeline jekla zaradi korozije se v literaturi nekoliko razlikujejo; za industrijsko okolje se navaja od 0.05—0.07 mm po 10 ali 15 letih izpostave, za podeželsko pa največ 0.05 mm. Za primer podajamo v sliki 1 diagram, ki kaže izgubo debeline s časom (2,5). Jeklo je vsebovalo 1 % Cr, 0.11 % P, 0.4 % Cu in 0.5 % Ni. Po navedbi, nastane večji del izgube debeline že do 2 let, nato korozija le še malo napreduje.

Uporaba CORTENA A za obmorsko okolje ni priporočljiva, prav tako ni primeren za dele v zemlji ali pod vodo.

Mehanizem rjavenja

Mehanizem tvorbe rje na jeklu, ki je odporno na atmosfersko korozijo obravnava nemška⁶ in japonska literatura⁶.

Iz nemškega članka povzemamo naslednje.

Običajno, nelegirano jeklo je termodinamično nestabilno in teži za tem, da bi prešlo v stabilnejše oblike železovih oksidov. Izguba debeline »K« sledi pri atmosferski koroziji, zaradi bolj ali manj zavrte difuzije, ki jo povzroča oksidna plast, časovnemu zakonu:

$$K = c \cdot t^n$$

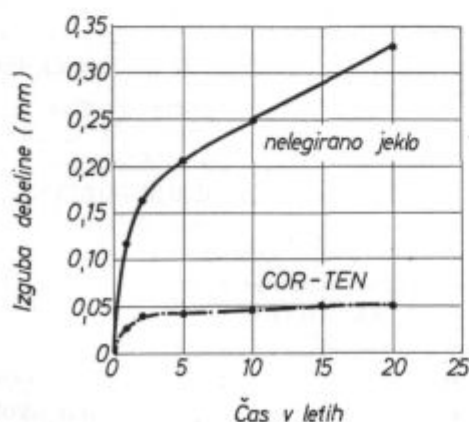
pri čemer sta »c« in »n« konstanti. Eksponent »n« je pri nelegiranih jeklih na splošno večji od 0.5. Tudi nizko legirana jekla ali jekla odporna na atmosfersko korozijo, slede istemu zakonu, le, da je eksponent »n« znatno manjši od 0.5, tako, da korozijska hitrost s časom občutno pada.

Dolgoletni poizkusi v raznih okoljih s takimi nizko legiranimi jekli, so pokazali, da nastane tekom približno 2 let na površini jekla zelo adhezivna rjasta plast, ki deluje kot zaščita kovinske podlage. Pri teh poizkusih je izguba debeline dosegla po 20 letih vpliva industrijske atmosfere približno 0.06 mm.

V industrijski atmosferi, ki vsebuje SO₂, nastajajo v rji sulfati. Z mokrimi kemičnimi postopki so določali deleže lahko- in težko topnih sulfatov na jeklih različne sestave in ugotovili, da vsebuje rja na jeklu, ki je odporno na atmosfersko korozijo, posebno visok delež težko topnih sulfatov.

Za sledeče, podrobnejše raziskave mehanizma rjavenja so uporabili jeklo naslednje sestave:

% C	% Si	% Mn	% P
0.08	0.54	0.48	0.09
% S	% Cr	% Cu	% Ni
0.03	0.80	0.30	0.40



Slika 1

Diagram izgube debeline jekla s časom

Pri opazovanju rje omenjajo rahlo in trdno rjo.

Najprej so na vzorcih, ki so bili od 9 mesecev do 6 let izpostavljeni industrijski atmosferi, določali vsebnost legurnih elementov v rahli in trdni rji, ki so ju ostrgali z jekla. Kemična analiza stopljene rje je pokazala, da je razmerje Cr, Cu in Ni napram železu v trdni rji, približno enako kot v jeklu, v rahli rji pa je predvsem vsebnost Cr znatno nižja. Tako je bila po 12 mesecih rjavenja vsebnost Cr v rahli rji 0.37 %, v trdni pa 0.82 % od količine železa (0.80 % Cr v jeklu). S časom izpostave pa se razlika v količini Cr med trdno in rahlo rjo manjša. Razen tega so v rji ugotovili še znatno zvišane vsebnosti Si, P, Ca in Mg, nad onimi, ki jih vsebuje jeklo in za katere menijo, da izvirajo iz prahu v zraku. Izredna koncentracija žvepla v rji, ki dosega 50-kratno vrednost količine v jeklu, pa je brez dvoma posledica sprejemanja SO₂ iz zraka.

Morfološka zgradba rja.

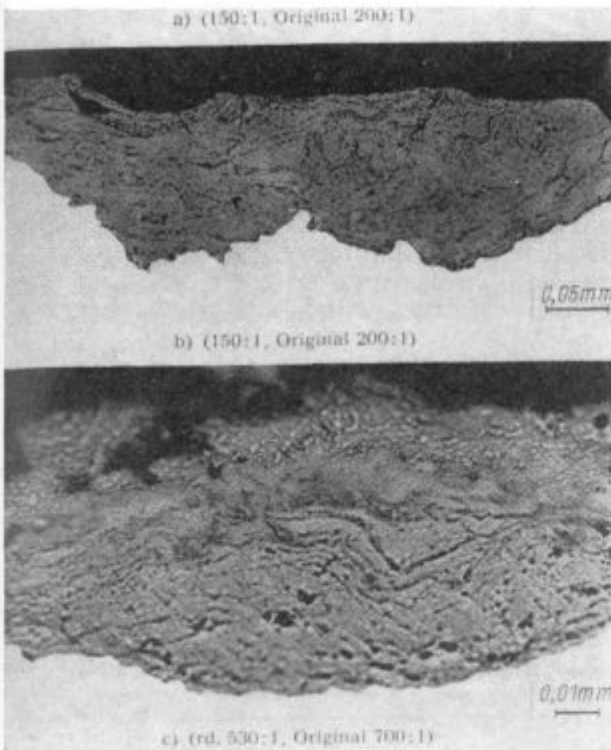
Preiskave z optično mikroskopijo na prečnih obruskih zarjavelega jekla so pokazale, da je rja po 6 mesecih rjavenja še homogena, po približno 1 letu pa se pojavijo v njej temnejše, plastovite faze, ki jih pri nelegiranih jeklih ni opaziti. Tvorba teh faz narašča do približno 2 let izpostave, zatem pa se faze več bistveno ne spreminjajo.

Ker strmina krivulje, ki kaže izgubo debeline jekla s časom, začne izrazito padati po približno 2 letih, sodijo, da je to povezano z nastankom plastovitih faz, v katerih se legurni elementi izločijo v obliki težko topnih spojin — kot bomo še videli — in naredo rjo gosto, zaščitno. Slika 2 kaže plastovite faze po 1 letu (slika b), in po 2 letih (slika c).

V prečnih metalografskih obruskih so merili globino korozijskih zajed, ki nastanejo tekom rjavenja. Rjavenje je elektrokemičen korozijski proces in zajed predstavljajo anode korozijskih mikro členov, na katerih se jeklo odtaplja. Maksimalna globina teh zajed je bila po 2 mesecih vpliva industrijske atmosfere približno 40 mikronov, po 6 letih pa 0.2 mm.

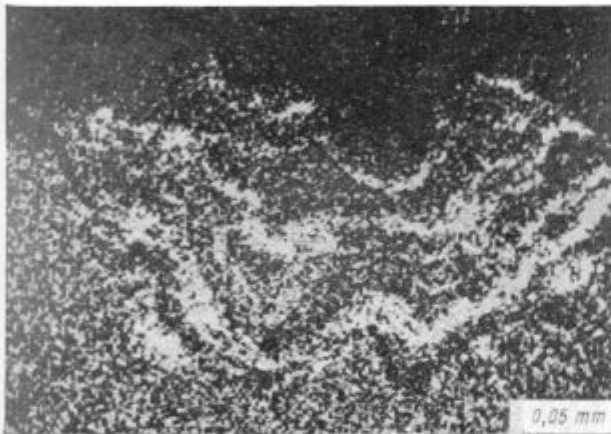
Rentgenografska preiskava rje z elektronskim mikroanalizatorjem je potrdila, da elementi Cr, Cu, Ni, P in S niso enakomerno porazdeljeni v rji, temveč so nakopičeni v plasteh in da se kopičenje konča po približno 2 letih. Sliki 3 in 4 kažeta te plasti ali plastovite faze za Cr po 7 mesecih pri 240× povečavi, ozir. po 6 letih pri 620× povečavi. Debelina plastovitih faz je 8–10 mikronov. Ker je kopičenje Cr v plasteh najbolj izrazito, naj bi prikazani rentgenski posnetki za Cr služili kot primer tudi za porazdelitev ostalih elementov. V mladi rji je izjema le žveplo, ki se nakopiči ločeno od ostalih elementov na meji jeklo/rja.

Črna analiza z mikrosondo v sliki 5 kaže količino istočasno nakopičenih elementov v prečnem metalografskem obrusku rje (preko debeline 0.08 mm), ki je bila stara 6 let. Istočasna kopičenja



Slika 2

Optična mikroposnetka rje v prečnih obruskih s temnimi, plastovitimi fazami, b) po 1 letu, c) po 2 letih izpostave



Slika 3

Rentgenski posnetek za Cr po 7 mesecih izpostave (240x)

Cr, Cu, Ni, S in P so značilna za temne, zaporne faze; Mn in Fe sta v nasprotju s temi elementi, enakomerno porazdeljena v rji.

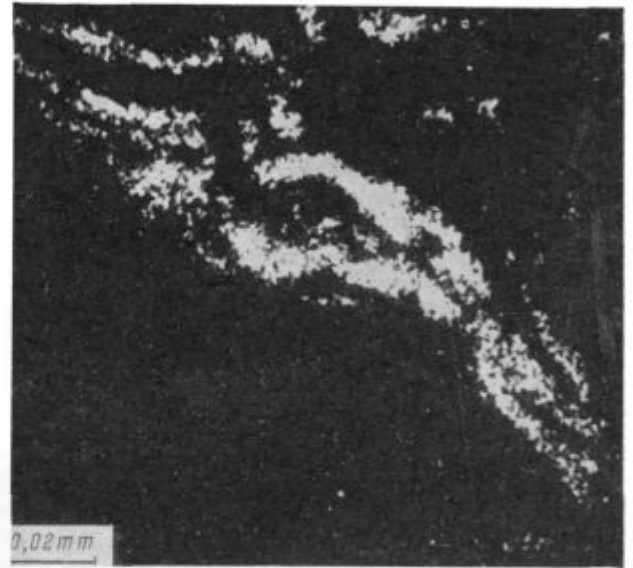
Rentgenske strukturne preiskave v filmski tehniki so pokazale, da nastopa v sveži, hitro rastoči rji predvsem γ FeOOH (lepidokrokit), pri počasni kristalizaciji pa α FeOOH (goetit). Po 1 letu se dodatno pojavi še magnetit, po 2 letih pa še hematit; v 6 let stari rji je narastla količina magnetita in hematita napram prvima vrstama. Strukturo plastovitih faz, obogatenih na legurnih elementih, pa ni bilo možno nedvoumno ugotoviti, verjetno zaradi amorfne strukture. Vendar pa je

difrakto-metr-ska tehnika preiskave pokazala, da gre zelo verjetno, za bazične sulfate ali fosfate Cr, Cu in Ni.

Glede žvepla omenjajo še naslednje: pri očnem pregledu površine jekla v začetni fazi rjavenja v industrijskem okolju, so v dnu korozijskih zajed opazovali točkaste naslage belih soli. Mikroskopska in Debye-Scherrer posnetki so nedvomno pokazali, da so naslage železov sulfid ($\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). Opazovanja tekom 6 let rjavenja so kvalitativno pokazala, da doseže kopičenje žvepla po 2 letih najvišjo vrednost, tekom nadaljnjih 2—3 let pa ta pade na povprečno vsebnost žvepla v rji.

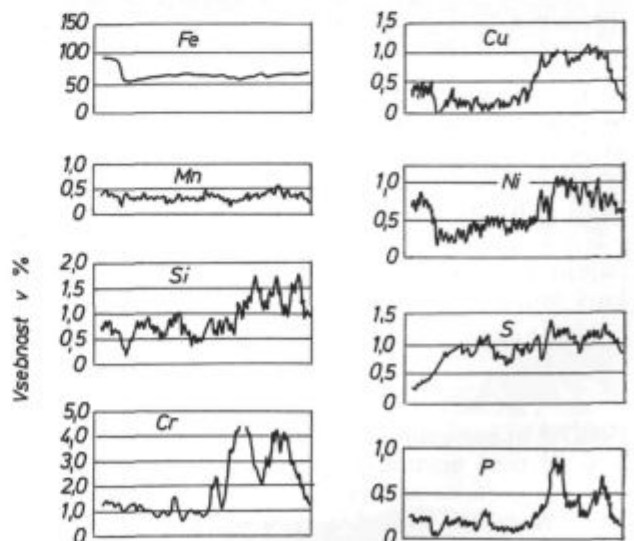
Preiskave rje z rasternim elektronskim mikroskopom.

Preiskave prečnih obruskov (preko fazne meje jeklo/rja) z rasternim elektronskim mikroskopom



Slika 4

Rentgenski posnetek za Cr po 6 letih izpostave (620x)



Slika 5

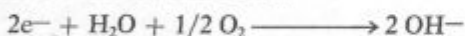
Crtna analiza količine elementov preko rjaste plasti, debeline 0,08 mm

na vzorcih nelegiranega in nizko legiranega jekla, ki so bili 6 let izpostavljeni industrijski atmosferi, so pokazale, da je rjasta plast na jeklu, ki je odporna na atmosfersko korozijo, skoraj brez por in trdno povezana z jeklom. Na nelegiranem jeklu pa je povezava rje z jeklom rahla in so v rji vidne pore in razpoke. Na vodoravnih obruskih rje kažejo posnetki z rasterskim mikroskopom, da se v porah rje nelegiranega jekla vrše korozijski procesi in so korozijski produkti, ki naj bi bili s hidrolizo nastali železovi hidroksidi, na posnetkih dobro razpoznavni. Pri jeklih odpornih na atmosfersko korozijo pa takih korozijskih mest ni in je rja gosta in pasivna.

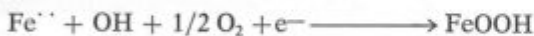
Tolmačenje rezultatov.

Atmosferska korozija jekla je elektrokemičen proces; na površini kovine delujejo v prisotnosti vlage in kisika številni galvanski mikroelementi v statistični porazdelitvi. Nastajanje in obseg korozijskih reakcij bo zvisel od tega, kako pogosto in izdatno se izmenjujejo mokra in suha obdobja, kako visoka je povprečna letna temperatura in koliko je jeklo izpostavljeno vplivu sonca in dežja. Pri spodnji razlagi korozijskih reakcij je vzeta za osnovo galvanski mikro člen različnega ozračenja po U. R. Evansu.

Na lokalnih anodah mikrogalvanskih korozijskih členov se jeklo topi v elektrolitu (vlaga) ob nastajanju železovih, kromovih in drugih ionov in ob sproščanju elektronov. Elektroni tečejo preko kovine h katodi, kjer jih sprejme zračni kisik ob tvorbi OH ionov:



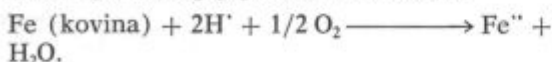
Železovi ioni se ob oksidaciji vežejo z OH ioni v rjo:



To je splošen potek rjavenja železa v okolju, ki je revno na SO₂. Nastali železov hidrat je porozen, netesen, zato lahko korozija napreduje tudi pod njegovimi naslagami.

Če poteka korozija jekla v zraku, ki vsebuje SO₂, je treba računati še z naslednjimi reakcijami, ki povečujejo korozijski obseg:

SO₂, ki ga rja absorbira, reagira z OH ioni elektrolita ob tvorbi HSO₃⁻, ki se s kisikom oksidira v H₂SO₄ t. j. daje SO₄ in H ione. Sulfatni ioni lahko dajejo z železovimi FeSO₄ · xH₂O, preostali vodikovi ioni pa raztapljajo dodatno železo:

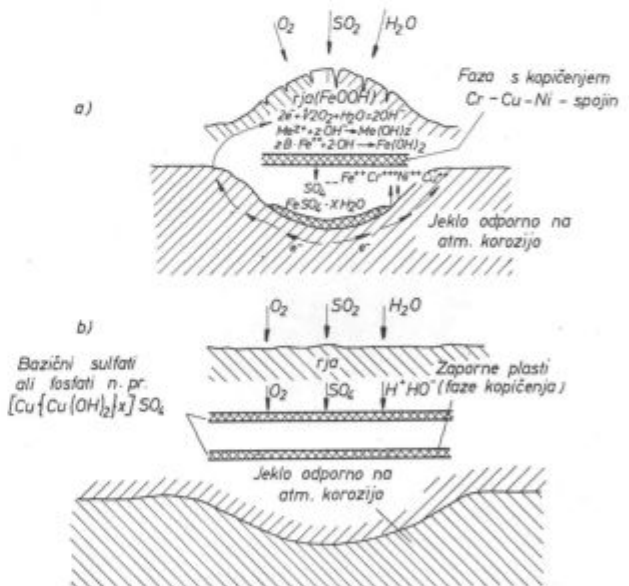


Ob vsakokratnem močenju hidrolizira FeSO₄ v FeOOH in ponovno nastanejo vodikovi (in sulfatni) ioni, ki tope novo železo. Korozija je torej katalitično pospešena zaradi učinka SO₂. Kot smo omenili, je bila tvorba železovega sulfata pri koroziji jekla resnično dokazana. Ker je železa v jeklu mnogo več kot legurnih elementov, bo predvsem nastajal železov sulfat, vendar lahko predpostav-

ljamo, da v prisotnosti kromovih, bakrovih in drugih ionov, nastajajo tudi sulfati le-téh, ki potem s časom preidejo v težko topne kompleksne bazične sulfate. Če se sulfatni ioni vežejo na Cr in Cu kot težko topna spojina, se prepreči nastanek vodikovih ionov (ne nastopa hidroliza) in s tem omenjeno dodatno raztapljanje železa.

Poleg sulfatov naj bi v korozijskem procesu nastajali tudi fosfati, pri čemer se predpostavlja izmenjalne reakcije. Za primer je navedena reakcija Cu z FeSO₄ in OH ioni ob tvorbi bazičnega bakrovega sulfata Cu/Cu(OH)₂/x SO₄ ozir. fosfata. Ker mora biti za potek takih izmenjalnih reakcij na razpolago določena, kritična koncentracija bakrovih ionov v elektrolitu, je razumljivo, da so izločanja teh elementov v rji ritmična. Časovni razmak med izločanja zavisi od vsebnosti jekla na legurnih elementih, sulfatne količine v rji ter še pogojev, kot so vlaga in temperatura.

Sama debelina rje ne vpliva na zmanjšanje korozijske hitrosti, pač pa je merodajna gostota zaporne plasti in z njo povezano učinkovito zapiranje votlin in razpok. To potrjuje ugotovitev, da nelegirano jeklo z enako debelino rjaste plasti, rjavi naprej z nezmanjšano hitrostjo. Poleg bazičnih sulfatov in fosfatov pa v starejši rji nastopajoča hematit in magnetit tudi doprinašata k zmanjševanju korozijske hitrosti, ker dodatno utrjujeta in zgoščata zaščitno plast.



Slika 6
Shematski prikaz tvorbe zapornih plasti v rji, a) po 6 mesecih, b) po 2 letih

V sliki 6 je shematsko prikazana tvorba zaščitnih plasti po 6 mesecih (slika a) in po 2 letih (slika b). Po 6 mesecih faze z nakopičenimi legurnimi elementi še niso dovolj tesne, tako, da so SO₄ ioni prodirajo skozi rjo in povzročajo tvorbo FeSO₄ na anodnih predelih površine. Po 2 letih pa sulfatni ioni zaradi zatesnitve zapornih plasti, ne

morejo več prodreti do kovinske površine, kar prepreči tvorbo železovega sulfata.

Zaključno naj bi iz te razlage sledilo, da vsebuje jeklo odporno na atmosfersko korozijo v svoji rji zaporne plasti, ki otežujejo dostop vlage in plinov h kovinski površini in vežejo sulfatne ione ob tvorbi težko topnih kompleksnih bazičnih sulfatov.

V japonskih raziskavah (6) je bilo uporabljeno jeklo z 0.4 % Cr, 0.4 % Cu, 0.07 % P in 0.2 % Ni. Podana je krivulja izgube teže v odvisnosti od časa korozijske izpostave v obmorski-industrijski atmosferi. Za 2 leti iznaša izguba debeline 0.063 mm, kar je skoraj polovico več od ameriške navedbe za isto dobo. Maksimalna globina zajed je bila po 2 letih blizu 0.2 mm. Iz krivulje, ki sega do 3 let, sledi, da je izguba debeline po 3 letih 0.07 mm.

Japonci opisujejo v gornjem članku predvsem preiskave o porazdelitvi legurnih elementov v korozijskih zajedah in na okolni površini. V zajedah so opazovali predvsem lokalno kopičenje Cr, Cu in P v rji in sicer v votlinah in razpokah, dočim ni bilo kopičenja Ni. Na površini okrog zajed in na zunanji površini rje nad zajedami pa ni bilo kopičenja legurnih elementov. S tem žele poudariti, da nastaja kopičenje legurnih elementov le v korozijskih zajedah.

Kot spojine zapornih plasti smatrajo hidrokside Cr in Cu in fosfate, ne da bi to kakorkoli dokazovali. Ker je topnostni produkt hidroksidov Cr in Cu ter fosfatov Cr in Fe le tisočinka onega za železov hidroksid, smatrajo, da se te spojine učinkovito izločajo v napakah rje in jih zatesne.

Iz literaturnih podatkov sledi, da glede vrste spojin, ki nastajajo z legurnimi elementi v zapornih plasteh, mnenja niso enotna, pač pa se strinjajo glede učinka plasti. Verjetno tudi razlaga mehanizma nastanka plasti, ki jo podaja nemška literatura, še ni dokončna.

Preizkušnja domačega jekla

Domače jeklo, oznake JEKOR, proizvod Železarne Jesenice, s katerim smo vršili korozijske preizkuse, je bila pločevina, debeline 2 mm. Dobavljeni vzorci so bili bodisi peskani, bodisi luženi.

Kemični sestav jekla:

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Cu	% Ni	% Al
0.10	0.43	0.54	0.075	0.005	0.48	0.35	0.52	0.069

Sestav jekla je v mejah, ki smo jih navedli za CORTEN A; % P in Cr sta na spodnji meji.

Mehanske lastnosti pločevine ustrezajo zahtevam za CORTEN A.

Korozijsko preizkušnjo smo vršili na ploščicah 10 × 10 cm s kratkodobnimi informativnimi preizkusi v korozijskih komorah in z dolgodobno zunanjo izpostavo v Ljubljani in Bohinju.

Poizkusi v slani komori so trajali 2 meseca. Korozijske zajed, ki smo jih opazovali v prečnih metalografskih obruskih, so hitro nastale in napredovale in so segale po 1 mesecu do največ 0.15 mm globoko, po 2 mesecih pa do 0.30 mm. Naj pri tem omenimo, da so imeli peskani vzorci že v dobavnem stanju povprečno 0.05 mm globoke zajed, luženi pa 0.02—0.03 mm globoke. Poizkusi v slani komori potrjujejo mnenje, da uporaba jekla v obmorski atmosferi ni priporočljiva.

Poizkusi v SO₂-komori, kjer je bil medij vlažen zrak z dodatkom 1 % SO₂, so trajali 1 mesec. Globina korozijskih zajed je bila le 0.05 mm, kar bi kazalo, da je korozijski vpliv SO₂ znatno manjši kot je vpliv kloridov.

Poizkusi v naravnem okolju.

Za oceno jekla so pomembnejši »prirodni« poizkusi. Kot omenjeno, smo večje število peskanih ozir. luženih vzorcev izpostavili v ljubljanski atmosferi, ki jo smatramo že kot industrijsko, in v bohinjki atmosferi, ki je podeželska. V polletnih časovnih razmakih smo ugotavljali obseg in globino korozije na prečnih metalografskih obruskih, ki smo jih izdelali od vsaj po 3 vzorcev za vsako okolje. Zadnja opazovanja so bila po 2 letih izpostave in se poizkusi še nadaljujejo.



Slika 7

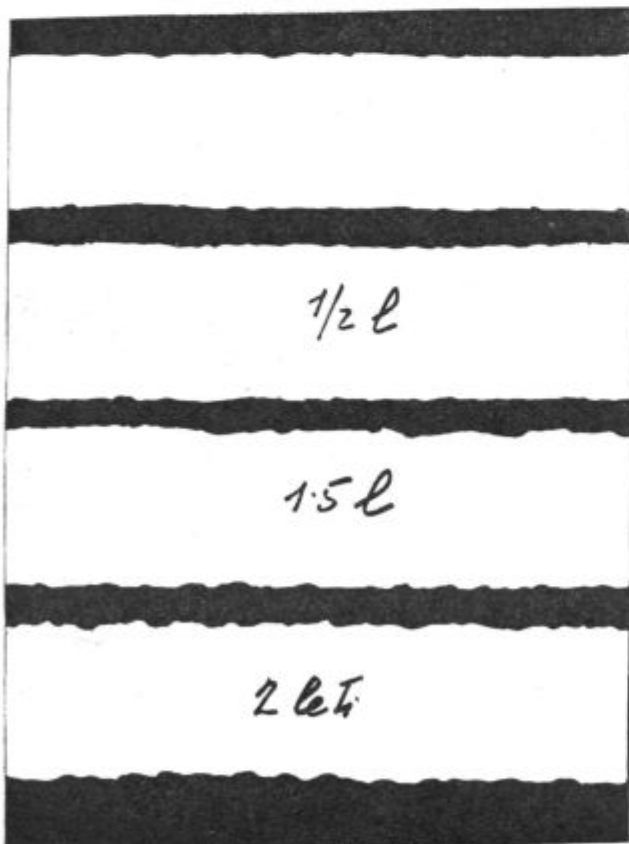
Korozijske zajed v prečnih metalografskih obruskih pločevine, nom. debeline 2 mm, iz ljubljanske izpostave

Atmosferska korozija jekla, kot smo spoznali že iz literaturnih podatkov, se vedno pojavlja v obliki številnih lokalnih zajed, dočim je površina med njimi še nenačeta, tako, da v preseku še najdemo mesta s prvotno debelino vzorca.

Primere razjedenosti površine (korozijske zajede) in napredovanje zajed s časom kažejo posnetki prečnih obruskov v sliki 7, ki velja za ljubljansko in v sliki 8, ki velja za bohinjsko atmosfero. Kot prvi je vsakokrat podan primerjalni obrusek dobavnega, peskanega stanja, zatem pa posnetki vzorcev, ki so bili pol, eno, eno in pol in 2 leti izpostavljeni vplivu ljubljanskega okolja (na dvorišču Zavoda). Za bohinjsko atmosfero nismo ocenjevali vzorcev po 1 letu, zato obrusek za to dobo ni vključen. Iz posnetkov je razvidno kako korozija s časom napreduje. Napredovanje je močnejše v ljubljanski atmosferi kot v bohinjski, kar je posebno dobro vidno iz posnetkov po 2 letni izpostavi.

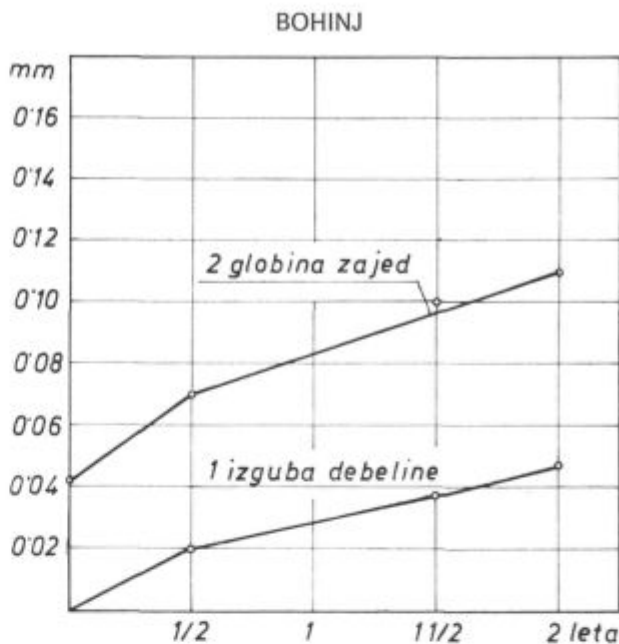
V obruskih ozir. na njihovih posnetkih smo na različne načine ugotavljali izgubo debeline jekla in merili največjo globino korozijskih zajed. Ti podatki so podani v slikah 9 in 10.

Za bohinjsko atmosfero iznaša izguba debeline po 2 letih povprečno 0.047 mm, za ljubljansko pa 0.09 mm. Za bohinjsko izpostavo je značilno, da izguba debeline in maks. globina zajed s časom



Slika 8

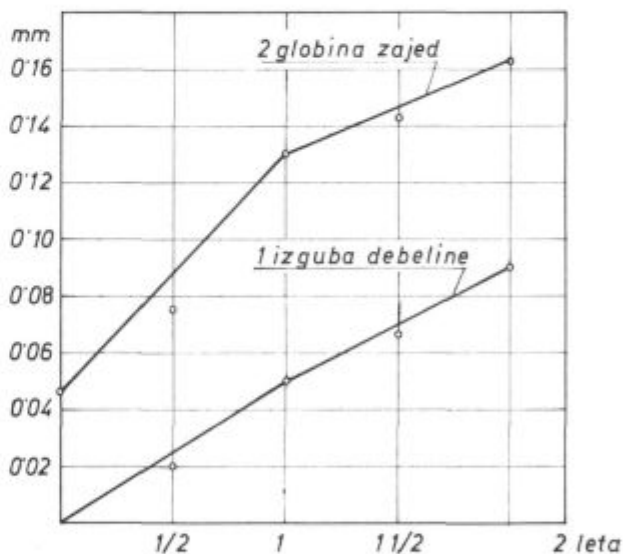
Korozijske zajed v prečnih metalografskih obruskih ploščevine, nom. debeline 2 mm, iz bohinjske izpostave



Slika 9

Napredovanje globine korozijskih zajed in izgube debeline s časom v bohinjskem okolju

LJUBLJANA



Slika 10

Napredovanje globine korozijskih zajed in izgube debeline s časom v ljubljanskem okolju

očitno padata, dočim je za ljubljansko izpostavo opazen le rahel padec izgube debeline s časom, izrazitejši pa za globino zajed. To dejstvo si razlagamo tako, da se globina zajed v ljubljanski atmosferi sicer zmanjšuje, da pa so zajede napredovale v širino, kar je jasno vidno iz zadnjega posnetka v sliki 7.

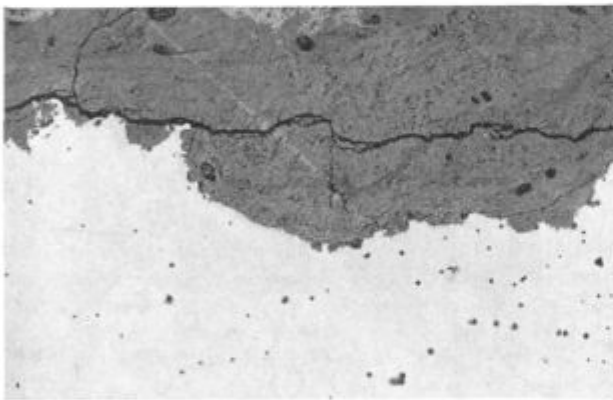
Največja globina korozijskih zajed po 2 letih izpostave doseže v bohinjskih vzorcih 0.11 mm, v ljubljanskih pa 0.16 mm, kar ne presega tujih navedb.

Izguba debeline jekla, posebno v ljubljanskih vzorcih je večja, kot jo navaja literatura, zato smo kontrolirali rezultate za 2 leti še z določitvijo izgube teže po odstranitvi korozijskih produktov. Iz izgube teže preračunane izgube debeline so bile za bohinjško okolje 0.05 mm, za ljubljansko pa 0.095 mm, kar potrjuje rezultate, ki smo jih dobili iz obruskov.

Po podatkih literature naj bi bila izguba debeline po 2 letih v industrijski atmosferi približno polovica naše t. j. 0.04—0.06 mm. Večje izgube ne bi bile odločilne za uporabnost jekla v arhitektonske namene, pač pa je bistvena zahteva, da se korozija s časom ustavi. Dočim je ustavljanje korozije za bohinjške vzorce že očitno, pa bodo za ljubljanske vzorce dale odločilen odgovor bodoče meritve po 3 ali več letih.

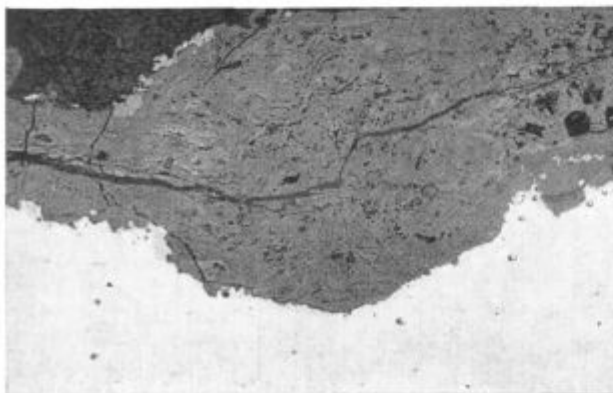
Zaradi prevelikih izgub debeline, smo izvedli še preiskave na kopičenje legurnih elementov v rji in na pojav plastovitih faz z optično mikroskopijo in z elektronskim mikroanalizatorjem. (Preiskave je izvršil Metalurški inštitut v Ljubljani pod vodstvom Dr. ing. Kosca, ki se mu na tem mestu najlepše zahvaljujem.)

Optični mikro posnetki rje v prečnih obruskih vzorcev iz dveletne ljubljanske izpostave so pri-



Slika 11

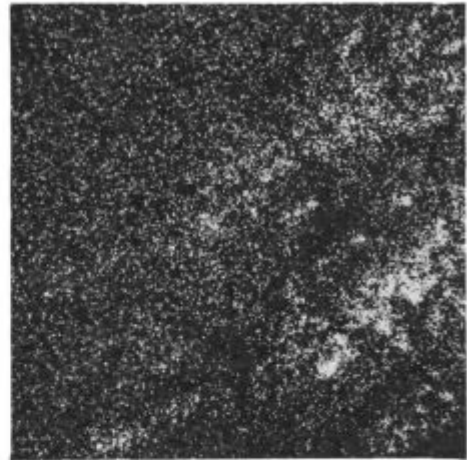
Optični mikroskoposnetek rje v prečnem obrusku s temnejšimi, vijugastimi fazami (200 ×) iz 2 letne ljubljanske izpostave



Slika 12

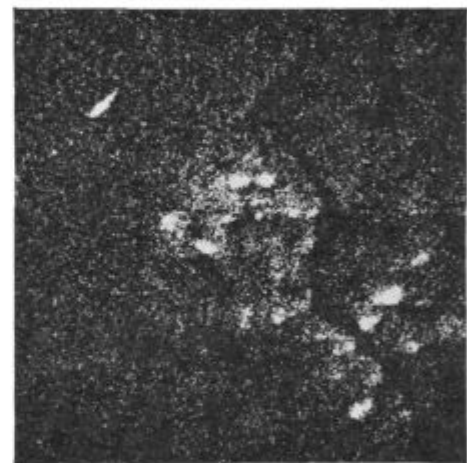
Kot sl. 11 — drugo mesto

kazani v slikah 11 in 12 pri 200 × povečavi. V rjastih naslagah korozijskih zajed so vidne temnejše vijugaste faze, ki jih po razlagi v literaturi, smatramo za izločene spojine legurnih elementov.



Slika 13

Rentgenski posnetek za Cr po 1.5 letni izpostavi v Bohinju (420 ×)

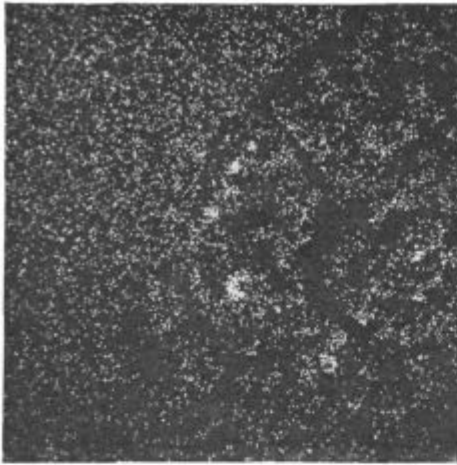


Slika 14

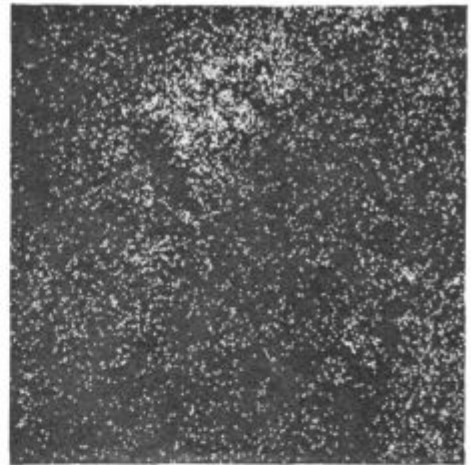
Rentgenski posnetek za S po 1.5 letni izpostavi v Bohinju (420 ×)

Lokalno kopičenje legurnih elementov je bilo s pomočjo mikroanalizatorja preiskano tako na bohinjških kot ljubljanskih vzorcih. Primere kopičenja v bohinjških vzorcih po 1.5 letni izpostavi kaže slika 13 za Cr, slika 14 za S in slika 15 za P pri 420 × povečavi, dočim je v sliki 16 podan posnetek E-sestave pri isti povečavi, ki kaže plast rje v kateri so bila kopičenja posneta. Glede na vse elemente velja, da so izrazita kopičenja za Cr, S in Si, dočim so manj izrazita za P in Cu.

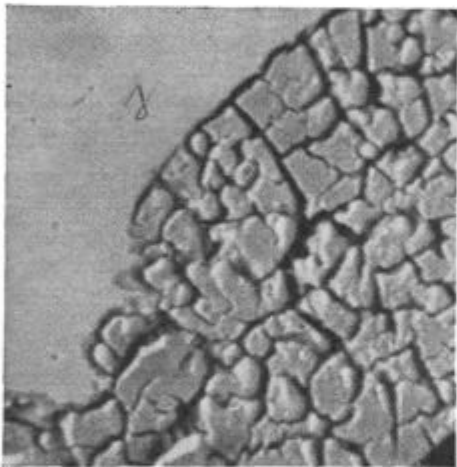
Za ljubljanske vzorce po 2 letni izpostavi so primeri kopičenja podani v slikah 17 za Cr, 18 za Cu, 19 za Si, v sliki 20 pa je zopet podan posnetek E-sestave s položajem rjaste plasti. Kopičenja Cr, Cu in S so jasno vidna predvsem za zgornje plasti rje, kopičenja P in Si pa so porazdeljena po vsej rji.



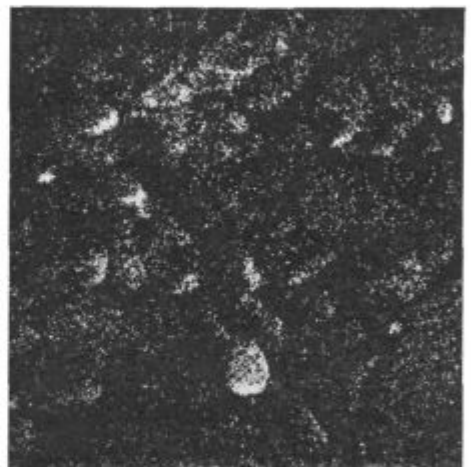
Slika 15
Rentgenski posnetek za P po 1.5 letni izpostavi v Bohinju
(420 ×)



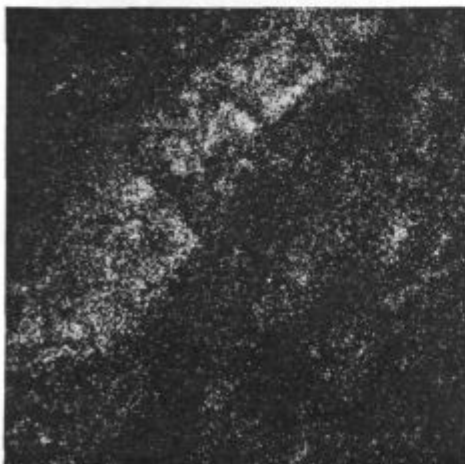
Slika 18
Rentgenski posnetek za Cu po 2 letni izpostavi v Ljubljani
(420 ×)



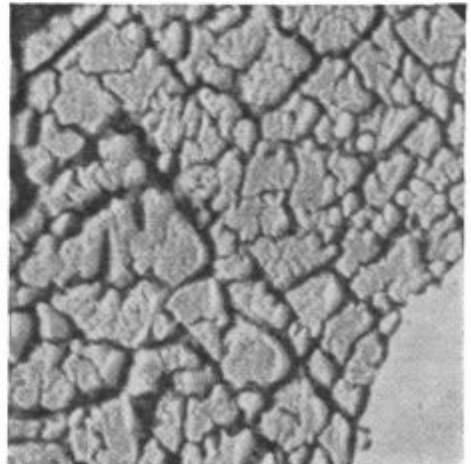
Slika 16
Posnetek E-sestave (420 ×), ki kaže plast rje, iz katere so
rentgenski posnetki slik 13—15



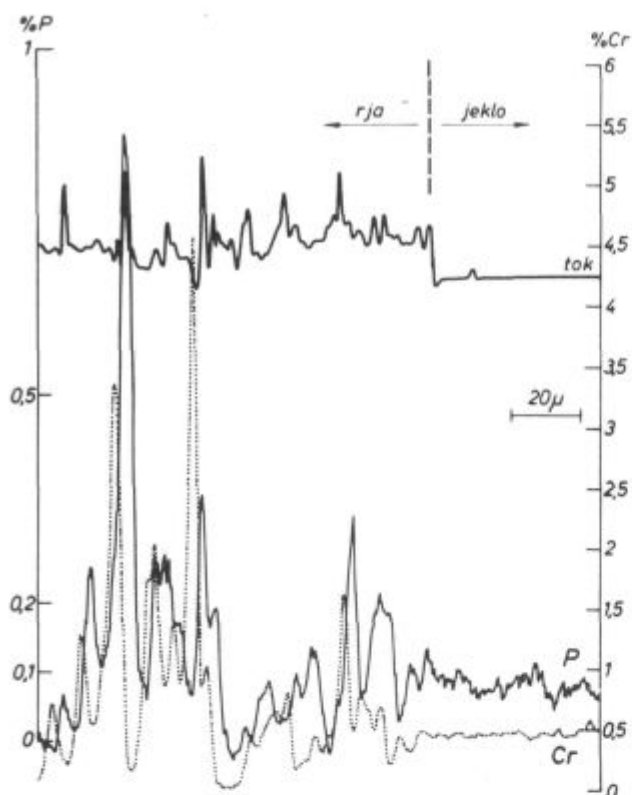
Slika 19
Rentgenski posnetek za Si po 2 letni izpostavi v Ljubljani
(420 ×)



Slika 17
Rentgenski posnetek za Cr po 2 letni izpostavi v Ljubljani
(420 ×)



Slika 20
Posnetek E-sestave (420 ×), ki kaže plast rje, iz katere so
rentgenski posnetki slik 17—19



Slika 21

Crtna analiza količine Cr in P preko rjaste plasti, debeline 0.11 mm v bohinskem vzorcu iz 1.5 letne izpostave

V primerjavi s posnetkom za Cr iz nemške literature (slika 3), plastovitost v naših posnetkih ni tako izrazita, vendar je treba upoštevati, da so naše povečave $2\times$ večje.

V krivuljah slik 21—24 je podana količina nakopičenih elementov preko debeline rje za 1 vzorec iz bohinske in 1 vzorec iz ljubljanske atmosfere. Posneti presek rje je debel ca 0.10 mm. Za bohinsko atmosfero sta bila preiskana 2 vzorca in so največja kopičenja iznašala za Cr 4.5—5 %, za P 0.3—0.8 %, za Cu 1.3—1.8 %, za Si 1.2—1.7 %, za S 0.18—0.22 % in za Ni 0—1.3 %.

V ljubljanskem vzorcu so maks. vrednosti za Cr, P, Cu in S podobne in sicer 4.6 %, 0.7 %, 1.1 % in 0.17 %, za Si pa 0.8 % in za Ni 0, vsaj v tem vzorcu.

V primerjavi s podatki iz literature (slika 5) je velika le razlika v žveplu, ki ga je v naših vzorcih znatno manj. Zanimivo je, da v ljubljanskih vzorcih ni več žvepla kot v bohinskih.

Iz teh preiskav sledi, da v domačem jeklu nedvomno potekajo procesi ritmičnega izločanja legurnih elementov, ki vodijo do tvorbe zapornih plasti in da so te tudi že nastale, vendar sodimo predvsem za ljubljanske vzorce, da plasti še niso dovolj razsežne in tesne. Verjetno je to posledica nizke vsebnosti jekla na kromu, fosforju in še dejstva, da vremenski pogoji na začetku izpostave niso bili najugodnejši, ker smo pričeli s poizkusi koncem maja, ko deževje ni več tako pogosto. Sodimo, da bo proces tvorbe plasti potekal naprej

in da bodo plasti še postale zaporne, vendar po daljšem času in ob večji izgubi debeline, kot je podana z diagramom v sl. 1. Logično bi bilo, da poteka tvorba zapornih faz vse dotlej, dokler poteka korozija in z njo raztapljanje železa in legurnih elementov.

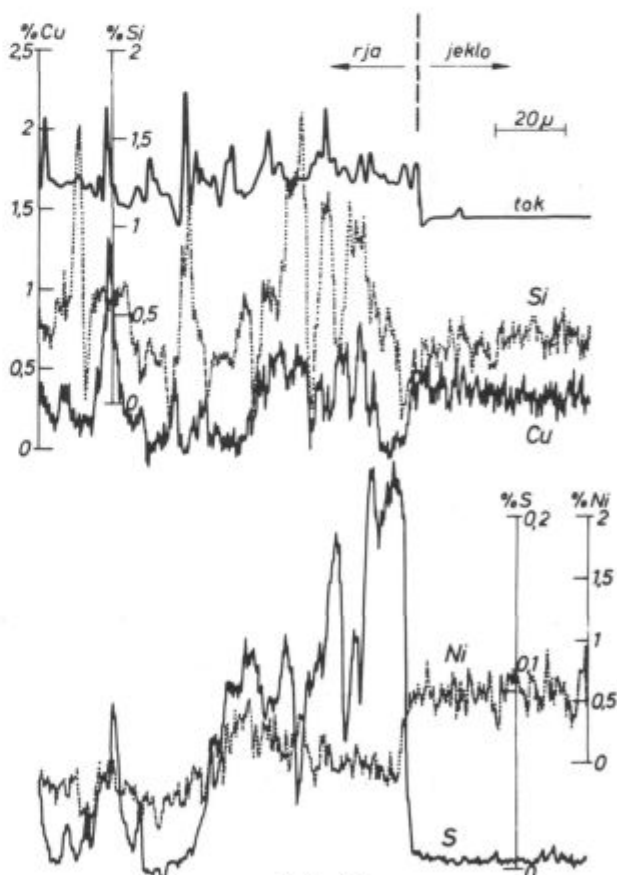
Omenimo še, da so naši vzorci obojestransko izpostavljeni vremenskim vplivom in izguba debeline sestoji iz korozijskih izgub obeh površin. Predpostavljamo, da velja to tudi za nižje izgube, ki so navedene v literaturi, čeprav avtorji tega izrecno ne povedo. Če bi bila ena stran vzorcev zaščitena s premazom (kot se priporoča za notranje površine v praksi), bi bila izguba debeline polovična.

Dodatna preiskava

Na neki stavbi je bilo za fasadne elemente uporabljeno italijansko jeklo odporno na atmosfersko korozijo.

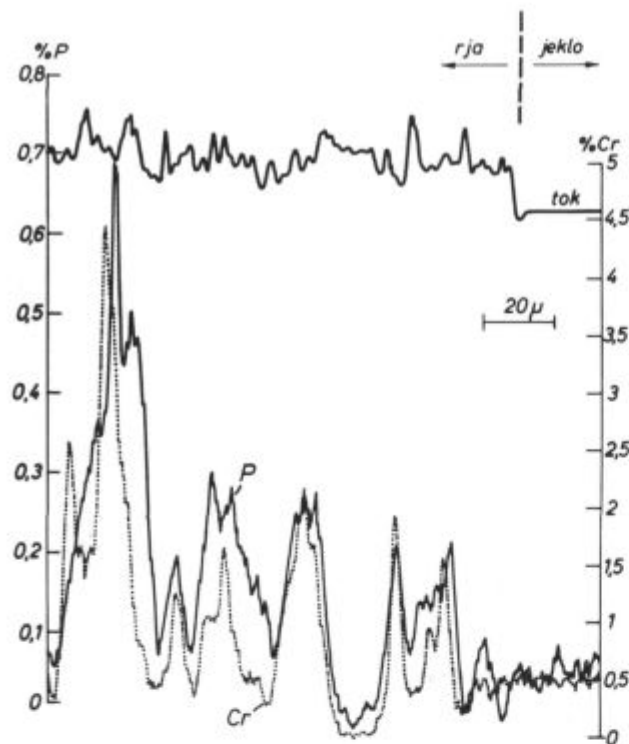
Sestav jekla:

% C	% Si	% Mn	% P
0.09	0.47	0.57	0.15
% S	% Cr	% Cu	% Ni
0.014	0.64	0.35	0.30

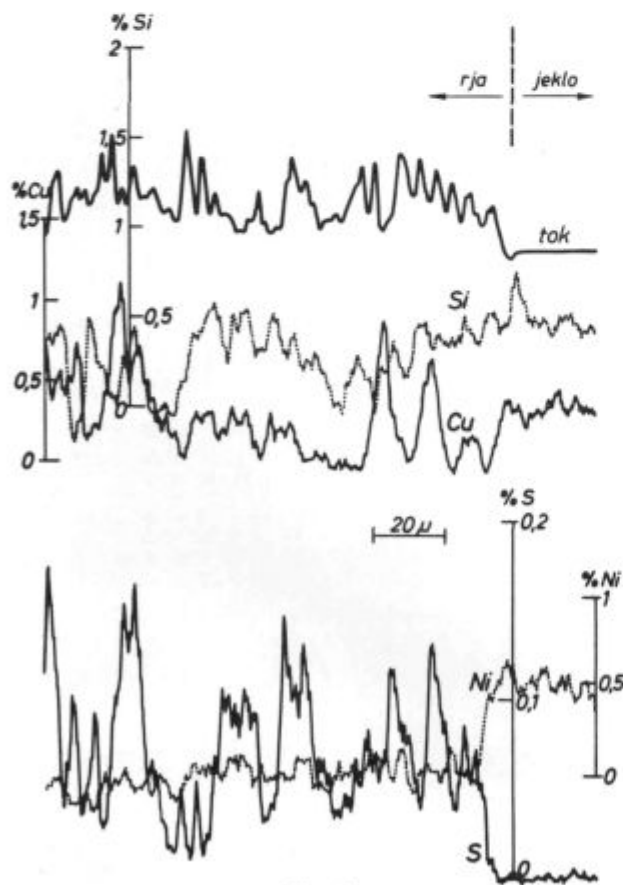


Slika 22

Crtna analiza količine Cu, Si, S in Ni preko rjaste plasti, debeline 0.11 mm v bohinskem vzorcu iz 1.5 letne izpostave



Slika 23
Crtna analiza količine Cr in P preko rjaste plasti, debeline 0.13 mm v ljubljanskem vzorcu iz 2 letne izpostave



Slika 24
Crtna analiza količine Cu, Si, S in P preko rjaste plasti, debeline 0.13 mm v ljubljanskem vzorcu iz 2 letne izpostave

Vsebnost kroma je tudi v tem jeklu nižja od spredaj navedene optimalne, vendar nekaj višja kot v domačem jeklu, vsebnost fosforja pa je na zgornji meji.

Fasadne plošče, debeline 2 mm, so bile montirane in izpostavljene zunanji, mestni atmosferi pred približno 1 letom. Notranja stran plošč ni zaščitena z nekim premazom; plošče so na nosilno konstrukcijo pritrjene tako, da lahko ob njihovi notranji strani kroži zrak.

Odrezali smo vzorce za obruske (v oktobru 1972) iz 3 plošč in sicer z južne in severne strani in s pročelja.

Korozijske zajede v prečnih metalografskih obruskih so prikazane v sl. 25; zgornji posnetek je primerjalni in kaže dobavno stanje. Največje globine korozijskih zajed so:

	na zunanji strani	na notranji strani:
pročelje	0.11 mm	0.07 mm
južna stran	0.12 mm	0.08 mm
severna stran	0.13 mm	0.09 mm
povprečno	0.12 mm	0.08 mm

Največja globina zajed na domačih vzorcih iz ljubljanske atmosfere je bila po 1 letu 0.13 mm.

Izmerjena izguba debeline na gornjih vzorcih je bila največja za severno stran in znaša 0.078 mm, povprečje za vse 3 vzorce pa je 0.064 mm, kar je več kot smo dobili po 1 letu v ljubljanski atmosferi.

Ker imajo Italijani že dolgoletne izkušnje pri uporabi CORTEN jekla, lahko nedvomno pričakujemo, da se bo korozija jekla ustavila, vendar tudi ob večji izgubi debeline, kot jo navaja diagram sl. 1. Ker je izguba debeline, ki je nastala po 1 letu, večja kot je bila pri domačem jeklu, se je morala odtopiti večja količina legurnih elementov (poleg železa), kar bi lahko dalo več zaščitnih faz in hitrejšo ustavitev korozije, o čemer se bomo prepričali z bodočimi meritvami.

Sestav italijanskega jekla in široke analize meje iz literature¹ vodijo k zaključku, da se CORTEN A izdeluje tudi z nižjim procentom kroma kot je optimalni, enoletni rezultati izgube debeline italijanskega jekla pa potrjujejo mnenje, da se pri tem dopušča večja izguba debeline. Pri jeklu ki se uporablja v arhitektonske namene, to ne bi bilo pomembno, pri uporabi jekla za nosilne konstrukcije pa lahko postane vredno upoštevanja. Pri dinamično obremenjenih konstrukcijah bi bilo treba preiskati še vpliv korozijskih zajed na utrujenostno odpornost.

ZAKLJUČKI

— Dvoletna korozijska izpostava domačega jekla, odpornega na atmosfersko korozijo, v podeželskem in mestnem (industrijskem) okolju in iz-

vedene preiskave kažejo, da so izgube debeline jekla vsled korozije na splošno večje, kot jih navaja citirana literatura, predvsem za industrijsko okolje. To velja tudi za enoletno izpostavo italijanskega jekla.

— Ustavljanje korozije s časom, ki je bistveno za uporabno vrednost jekla, je po dveletni izpostavi v podeželski atmosferi že očitno, dočim je v industrijski še neizrazito, verjetno opočasnjeno. Glede na dejstvo, da je kopičenje legurnih elementov v rji, ki vodi do tvorbe zapornih plasti, očitno, sodimo, da se bo korozija tudi v industrijskem okolju ustavila, vendar po daljšem času in ob večji izgubi debeline. Vzrok za počasnejši nastanek učinkovitih zapornih plasti bi lahko bila nizka vsebnost kroma in morda tudi fosforja v domačem jeklu in vremenski pogoji na začetku izpostave.

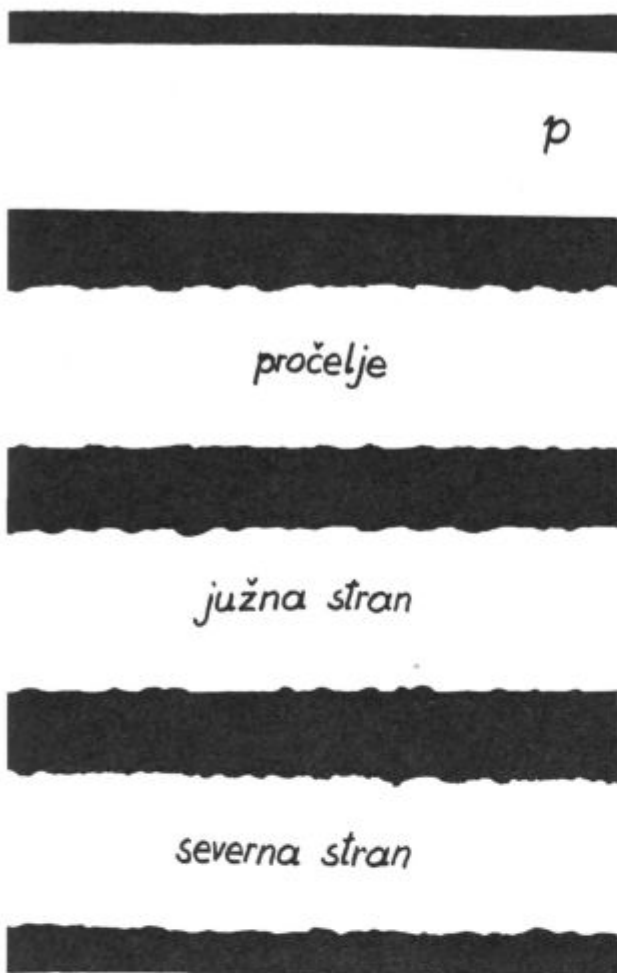
— Sestav tujega jekla in njegova enoletna izguba debeline, potrjujeta mnenje, da je hitrost nastanka učinkovitih zapornih plasti v rji in z njo povezana izguba debeline, odvisne od sestave in vremenskih pogojev.

Literatura

1. ITALSIDER, s. p. a. Genova: prospekt »Che cos'è il CORTEN«
2. Der Bauingenieur 43 (1968), zvezek 2, s. 65
3. Annales de l'ITBP, dec. 1969, Nr. 264, s. 1891
4. SIDEREXPORT: prospekt »L'acier CORTEN pour emplois architectoniques«
5. Archiv f. d. Eisenhtw., zvezek 4, april 1969, s. 341: G. Becher, D. Dhingra »Mechanismus d. Rostbildung auf witterungsbeständigem Stahl«
6. Transactions ISIJ, Vol. 11, 1971, s. 391: F. Moroishi, J. Satake, N. Fujino »Structure of rust layer formed on atmospheric corrosion resistant steel«

ZUSAMMENFASSUNG

derung in der Industrieatmosphäre noch nicht ausgeprägt ist. Die Untersuchungen an Lichtmikroskop und mit der Elektronenstrahl-Mikroanalyse haben ergeben, dass im Rost eine rhythmische Anhäufung der zulegierten Elemente verläuft, welche zu der Bildung der Schutzschichten führt. Die Wirkung dieser Schutzschichten ist in der Industrieatmosphäre noch nicht ausreichend, was — wie man es vermutet — eine Folge zu niedrigen Chrom und Phosphor Gehaltes im Stahl und der ungünstigen Anfangswetterbedingungen ist. Der Autor ist der Meinung, dass die Schichten dicht und absperrhaft werden, jedoch bei einem grösseren Dickenverlust und nach einer längeren Zeit, was die künftigen Messungen zeigen sollen. Die Untersuchungen an einem ausländischen Blech mit 0,09 % C, 0,64 % Cr, 0,15 % P, 0,35 % Cu und 0,30 % Ni, welches für die Fassadenverkleidung eines Hauses angewendet wurde, zeigen nach einem einjährigen Einfluss der Industrieatmosphäre auch einen grösseren Dickenverlust (0,064 mm), wie es für die 1 % Cr Corten Stähle als optimales Endverlust angewendet wird. Diese Feststellung bestätigt auch die Meinung, dass die Geschwindigkeit der wirksamen Absperrschichten und damit verbundener Dickenverlust von der Stahlzusammensetzung abhängig ist.



Slika 25

Korozijske zajede v prečnih metalografskih obruskih iz 3 fasadnih plošč, nom. debeline 2 mm iz 1 letne izpostave v Kranju

In diesem Artikel werden wetterfeste Corten Stähle, welche für die architektonische Zwecke, wie Fassadenverkleidungen, angewendet werden, behandelt. Im einzelnen ist der Mechanismus der Rostschuttbildung erläutert, welches der Grund der Korrosionsbeständigkeit des Stahles in der Atmosphäre anzusehen ist.

Die Ergebnisse der Korrosionsbeständigkeit eines einheimischen Stahles mit der Zusammensetzung 0,10 % C, 0,48 % Cr, 0,075 % P, 0,35 % Cu und 0,52 % Ni bei zweijähriger Auslegung in der Stadt (Industrie) und Landatmosphäre sind angegeben. Die Proben der Abmessung $100 \times 100 \times 2$ mm sind beiderseits der Atmosphäre ausgesetzt. Die Korrosionstiefe an metallographischen Querproben gemessen betrug nach zwei Jahren 0,11 mm für Land und 0,16 mm für die Industrieumgebung. Der Dickenverlust war bei einer gleichlangen Aussetzung in der Landatmosphäre im Durchschnitt um 0,05 mm und in der Industrieatmosphäre um 0,09 mm grösser, wie das für ausländische Hersteller in der Literatur angegeben wird.

Aus der Dickenverlustkurve ist eindeutig zu entnehmen, dass der Dickenverlust in der Landatmosphäre mit der Zeit immer kleiner wird, wobei die Dickenverlustvermin-

SUMMARY

The paper presents the corrosion resistant Corten steel used in architecture. Mechanism of formation of protective layers in the rust which is the base of corrosion resistance of steel in atmosphere is detailedly described. Results of two-year corrosion tests in rural and industrial atmosphere with the home made steel with composition 0.10 % C, 0.48 % Cr, 0.075 % P, 0.35 % Cu, and 0.52 % Ni are given. Test samples were plates $100 \times 100 \times 2$ mm, which were exposed to the influence of atmosphere from both sides. Depth of corrosion measured in transverse metallographic specimens was 0.11 mm for rural and 0.16 mm for industrial surroundings in two years. The thickness loss for the same period was greater than given by foreign references i.e. 0.05 mm for rural and 0.09 mm for industrial atmosphere. Thickness loss curve for rural atmosphere shows evidential decrease in thickness loss rate while this is not so clear for industrial

atmosphere. Investigations by optical microscopy and electron microanalyzer showed rhythmic accumulation of alloying elements in the rust which forms protective layers but these layers are not enough effective for industrial atmosphere probably due to low content of chromium and phosphorus in steel and due to unfavourable initial weather conditions. Author thinks that the layers will become self-sealing after longer time and greater thickness loss which further measurements may confirm.

Investigation of foreign sheet with analysis 0.09 % C, 0.64 % Cr, 0.15 % P, 0.35 % Cu, and 0.30 % Ni used for facade plates on a building showed also higher thickness loss (0.064 mm) after one-year influence of industrial atmosphere than the given final optimal value for steel with 1 % Cr. This finding can confirm the opinion that formation rate of self-sealing layers and with it connected thickness loss depend on steel composition.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена Corten-сталь употребляемая в архитектуре и её стойкость в атмосфере. Подробно объяснен механизм зарождения предохранительных слоев в ржавчине, которая представляет существенный медий коррозионной стойкости этой стали в атмосфере. Предложены результаты двухлетнего наблюдения коррозионной стойкости домашней стали с содержанием 0.10 % C, 0.075 % P, 0.48 % Cr, 0.35 % Cu и 0.52 % Ni в сельской и городской (индустриальной) среде. Образцы для опыта представляли пластинки $100 \times 100 \times 2$ мм, подвергнуты с обеих сторон воздействию атмосферы. Глубина коррозионных разбеданий после двух лет на сантиметрах в сельской окружности была 0.11 мм а в промышленной среде 0.16 мм. Потеря толщины в этом же промежутке времени была в сельской среде 0.05 мм, в промышленной 0.09 мм, т.е. больше чем это известно из чужих информации (0.05 мм). Кривая потери толщины в сельской среде в течении времени очевидно понижается, в промышленной же среде остается недостаточно выразительной.

Исследования при помощи оптической микроскопии и электронного микроанализатора указали, что в ржавчине происходит

ритмическое накопление легированных элементов. Объясняют, что именно это есть причина образования предохранительного слоя, но этот слой в промышленной среде недостаточно действующий. Причина этого, возможно, низкое содержание Cr и P в стали, а также неблагоприятные метеорологические условия. Автор мнения, что образование предохранительного слоя стабилизируется после определенного продолжительного времени в ущерб толщине; это покажут предвиденные будущия исследования.

Исследование иностранной жести с содержанием 0.09 % C, 0.64 % Cr, 0.15 % P, 0.35 % Cu и 0.30 % Ni, которая употреблена для покрытия лицевой стороны одного здания показали, что влияние индустриальной среды в течении одного года показали потерю толщины в высоте 0.064 мм. Эта величина выше конечной, оптимальной потере указанной для сталь с содержанием 1 % Cr. На основании этого можно заключить, что образование стабильных предохранительных слоев стойких воздействию коррозии, а в связи с этим потери толщины жести, зависит от состава стали.

Elektroda PK 13/6 Novi dodajni material za varjenje feritno martenzitnih jekel

13 % Cr jekla so visokotrдна korozijsko obstojna jekla, ki se zaradi svojih dobrih lastnosti, kot so visoka trdnost, visoka trdota, velika odpornost proti obrabi, koroziji, eroziji in kavitaciji, uporabljajo predvsem za gradnjo vodnoenergetskih naprav ter ostalih naprav, ki pridejo v dotik z rečno, jezersko in morsko vodo, n. pr. vodne turbine, črpalke, ladijski vijaki itd.

Pri varjenju teh jekel pa so nastopale določene težave. Z ozirom na to, da ta jekla zakalijo že na zraku, je bilo potrebno sorazmerno visoko predgrevanje (300—400° C), da bi preprečili nastanek kalilnih razpok. To pa je bilo v mnogih primerih zelo težko izvedljivo. Dobljeni zvari so imeli zelo slabo žilavost. Za korozijsko obstojne materiale pa je za dobro obstojnost proti eroziji in kavitaciji poleg visoke trdnosti in trdote zaželjena tudi dobra žilavost. Torej, če hočemo pri 13 % Cr jeklih doseči poleg dobrih korozijskih lastnosti še veliko odpornost proti eroziji in kavitaciji, morajo ta jekla imeti čim višjo trdoto ob istočasni dobri žilavosti. Pri dosedanjih 13 % Cr dodatnih materialih, je bilo višjo trdoto mogoče doseči z večjo vsebnostjo ogljika. Žilavost v varjenem stanju pa je bila pri tem zelo nizka. Boljšo žilavost smo dosegli z nadaljnjo toplotno obdelavo, vendar pa se je trdota zelo znižala. Vzrok nizke žilavosti in slabe varivosti je v tem, da struktura zvara sestoji iz krhkega grobozrnatega martenzita ter velike vsebnosti (ca. 40 %) prav tako krhkega ferita. Zato je bil pri nadaljnjih raziskavah naš cilj doseči pri 13 % Cr jeklih, namenjenih za gradnjo vodno energetskih naprav, čim boljšo žilavost ob čim višji trdoti. Potrebno je bilo čim bolj znižati vsebnost ferita ter dobiti čim čistejšo martenzitno strukturo. To je bilo doseženo z znižanjem ogljika na ca. 0.04—0.05 % ter z dodatkom niklja 4—6 %. S tem se je zelo znižala vsebnost ferita, krhek martenzit pa se je pretvoril v nizko ogljični žilavi drobnozrnati nikelj martenzit, ki ima tudi boljšo varivost. Rezultat so dodajni materiali, s katerimi dobimo pri zelo visoki trdnosti (120 kp/mm²) in trdoti (350—400 HB) sorazmerno zelo dobro žilavost (6—7 kpm) in s katerimi lahko tudi večje preseke jekel varimo z minimalnim predgrevanjem ali brez njega. V pričujočem članku so prikazani rezultati preiskav čistih varov elektrod PK 13 z vsebnostjo 13 % Cr ter PK 13/6 z vsebnostjo 13 % Cr in 4—6 % Ni.

UVOD

Uporaba materialov za gradnjo vodnoenergetskih naprav, je imela različno razvojno pot. Če pogledamo samo razvoj Peltonovih in Francisovih turbin v zadnjih 20 letih, potem vidimo, da so se te izdelovale od nelegiranih ogljikovih jekel preko nizko mangan nikelj legiranih jekel do visoko legiranih jekel. Pregled uporabe posameznih kvalitiet jekel pri gradnji Peltonovih turbin v letu 1940—60, je podan v tabeli št. 1. Podoben razvoj je bil tudi pri gradnji Francisovih turbin.

Iz tabele je razvidno, da je za te namene vedno bolj naraščala uporaba 13 % Cr jekel. Poleg omejenih jekel so se za gradnjo turbin delno uporabljala tudi 18/8 % Cr Ni jekla in Al bronza. Kemijsko sestavo in mehanske lastnosti uporab-

Tabela št. 1 — Pregled uporabe posameznih kvalitiet jekel pri gradnji Peltonovih turbin v letih 1940—1960

Leto	C jeklo	Nizko legirana 1.5 % Mn — 2 % Ni jekla	Visoko legirana 13 % Cr jekla
1940—45	62 %	34 %	4 %
1946—50	46 %	17 %	37 %
1951—55	16 %	30 %	54 %
1956—60	14 %	25 %	61 %

Tabela št. 2 — Primerjava kem. sestave jekel in litine, ki so se uporabljala pri gradnji vodnih turbin

	C	Si	Mn	Cr	Ni
C jekla	0,21	0,30	0,70	0,20	0,40 %
1.5 % Mn-jekla	0,24	0,30	1,60	0,20	0,40
2 % Ni-jekla	0,24	0,30	0,70	0,20	2,0
18/8 CrNi-jekla	0,07	1,0	0,50	18,0	9,0
13 % Cr-jekla	0,10	0,40	0,50	12,5	0,9
Al bronza	Al=10, Fe=8, Mn=5, Ni=2, Cu=ostalo				

Tabela št. 3 — Primerjava mehanskih lastnosti jekel in litin, ki so se uporabljale pri gradnji vodnih turbin

	σ_v kp/cm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	Žilavost DVM 20 ^o kp/mm ²	HB kp/mm ²
C jekla	23	45—55	22	6	125—165
1.5 % Mn-jekla	34	53—60	22	6	140—180
2 % Ni-jekla	35	55—65	18	6	155—195
18/8 % CrNi-jeklo	15	40—50	30	18	130—170
13 % Cr-jeklo	45	65—75	15	4	190—230
Al bronza	30	60—70	7	2	190—220

ljenih jekel prikazujeta tabeli št. 2 in št. 3. 13 % Cr jekla so se hitro uveljavila zaradi visoke trdote, ki jo imajo ta jekla proti ostalim jeklom, ter dobre korozijske obstojnosti. Današnji hitri industrijski razvoj pa postavlja glede kvalitete materialov vedno večje in nove zahteve. Predvsem zahteva vedno višjo trdnost, višjo mejo raztezanja ter boljšo žilavost pri nizkih in visokih temperaturah. Pri gradbenih materialih, ki se še posebno uporabljajo v kemijski industriji, gradnji turbin ter gradnji ostalih vodnoenergetskih in termoenergetskih naprav pa se zahteva tudi vedno večja odpornost proti obrabi, koroziji, eroziji in kavitaciji. Realizacija teh zahtev je v mnogih primerih povezana z razvojem novih materialov. Vzporedno s tem je aktualno tudi vprašanje novih vrst dodajnih materialov za varjenje, s katerimi dobimo tem materialom enakovredne lastnosti. Članek ima namen prikazati lastnosti in uporabo novih dodajnih materialov na področju varjenja 13 % feritno martenzitnih Cr jekel ter prednosti, ki so bile z njimi dosežene.

2. Lastnosti 13 % Cr jekel

13 % Cr jekla so visokotrdna korozijsko obstojna jekla, ki pri segrevanju preko 950^o C zakalijo že na zraku. To pomeni, da se tudi pri počasnem ohlajanju na zraku tvori martenzit. Potrebne dobre mehanske lastnosti nastanejo šele s poplavljanjem, to je z napuščanjem na temp. 650^o C. Razlikujemo martenzitna jekla z minimalno 0.15 % C, ki so popolnoma kaljiva, in feritno martenzitna jekla z manj kot 0.15 % C, ki so delno kaljiva. Zaradi dobrih mehanskih lastnosti: visoka trdnost, velika odpornost proti eroziji, koroziji in kavitaciji je bilo v zadnjih 10—15 letih osnovno področje uporabe 13 % Cr jekel predvsem pri gradnji vodnih turbin in naprav, ki so prišla v dotik z jezersko, rečno in morskovo vodo. Visoka meja raztezanja, visoka trdnost in trdota teh jekel omogočajo, da ta jekla zadoste zahtevam glede visokih pritiskov, ki nastopajo pri teh napravah. Poleg samih tekalnih koles in lopatic

Peltonovih in Francisovih turbin, se iz tega jekla izdelujejo tudi vodilne lopatice, tesnila, šobe in ohišja tekalnih koles. Pomanjkljivosti so se pokazale pri varjenju, kjer je bilo potrebno posebej ukrepati, tako glede osnovnega materiala kot elektrod. Pri varjenju teh jekel z istovrstnimi elektrodami zakalita prehodna cona kakor tudi zvar ter obstaja nevarnost nastanka kalilnih razpok. Martenzitna struktura, visoka vsebnost krhkega ferita, visoka trdnost ter močna utrditev, so vzrok nastanka teh razpok. Za preprečitev teh razpok je bilo mogoče uspešno variti samo z zelo visokim predgrevanjem (300—400^o C). Dobljeni zvar ima zaradi krhkega grobozrnatega martenzita in velike vsebnosti krhkega ferita (ca. 40 %) zelo krhek lom in slabo žilavost. Za dosego boljše žilavosti je bilo potrebno zvar naknadno toplotno obdelati. Pri tem pa se je občutno znižala trdota. Zato smo v primerih, ko se ni zahtevalo, da mora imeti zvar enako sestavo kot jeklo, načeloma varili ta jekla z avstenitnimi in avstenitnoferitnimi elektrodami: PK 18/8 CrNi, PK 18/8/6 CrNiMn, PK 25/20 CrNi, PK 29/9 CrNi. Zaradi večje žilavosti čistega vara pri teh elektrodah je nevarnost razpok v prehodni coni zelo zmanjšana. Avstenitni čisti var ima to lastnost, da zaradi velike preoblikovalne sposobnosti zelo zniža napetosti, ki nastanejo pri varjenju. Sam zvar pa ima v tem primeru sorazmerno nižjo trdoto. Zato se te elektrode uporabljajo samo za manjša popravila. Povsod tam pa, kjer se zahteva, da ima zvar enako sestavo kot jeklo, to je n. pr. ko pri obratovanju nastopi veliko nihanje v temperaturi, ko mora imeti tudi zvar visoko trdoto, ali če se morajo zavarjeni deli tudi poboljšati, pa je potrebno variti z dodajnim materialom iste sestave.

Tabela št. 4 — Vpliv ogljika na lastnosti čistega vara

PK 13				
V varjenem stanju			Odžarjeno 730 ^o / 5 ur	
vsebnost «C» %	kp/mm ² HB	žil. DVM (20 ^o) kpm/cm ²	kp/mm ² HB	žil. DVM (20 ^o) kpm/cm ²
0,05	275	3,0	175	7,0
0,10	350	1,8	200	5
0,15	400	1,5	210	4
0,20	450	1	220	3,5
0,25	480	1	230	3
0,30	500	0,75	240	2,20
0,35	520	0,75	250	2
0,40	540	0,75	260	1,8
0,45	550	0,75	270	1,75
0,50	560	0,75	280	1,70
0,55	565	0,75	285	1,70
0,60	570	0,75	290	1,70

V tem primeru pa je pri ohlajanju nevarnost razpok v zvaru enaka kot v prehodni coni. Zato je potrebno izvesti predpisano predgrevanje in napetostno odžarjenje.

2. Razvoj novih dodatnih materialov za varjenje 13 % Cr jekel

Za korozijsko odporne dodatne materiale za varjenje 13 % Cr jekel, ki se uporabljajo za vodnoenergetske namene pa je visoka trdota ob istočasni dobri žilavosti zelo zaželena, če hočemo dobiti čim boljše lastnosti glede erozije in kavitacije. Pri klasičnih 13 % Cr jeklih je bilo to mogoče doseči z večjo vsebnostjo ogljika in odgovarjajočo toplotno obdelavo. Tabela št. 4 prikazuje vpliv C na lastnosti čistega vara z vsebnostjo 13 % Cr. Trdoto navara 350—400 HB dobimo pri vsebnosti ogljika 0.10—0.15 %, trdoto 400—450 HB pa pri

vsebnosti ogljika 0.14—0.20 %. Žilavost je pri tem zelo nizka in znaša 1—1.8 kpm/cm². S toplotno obdelavo sicer žilavost povečamo, vendar pa se pri tem trdota občutno zniža. Zanesljivo varjenje s temi dodatnimi materiali pa lahko izvršimo, kot je bilo že omenjeno, samo z zahtevnim predgrevanjem. To pa je v mnogih primerih zelo težko izvesti, posebno še pri varjenju že vgrajenih delov. Vzrok slabe varivosti in žilavosti čistega vara je v tem, ker struktura zvara sestoji iz grobega martenzita ter velike vsebnosti ferita. Zato smo želeli pri nadaljnjih raziskavah doseči pri varjenju 13 % Cr jeklih, namenjenih za gradnjo vodnoenergetskih naprav, čim boljše žilavost ob istočasni čim višji trdoti. V ta namen je bilo potrebno čim bolj znižati vsebnost ferita ter dobiti čim bolj čisto martenzitno strukturo. To je bilo doseženo z znižanjem ogljika na 0.04—0.05 % ter dodatkom

Tabela št. 5 — Lastnosti čistega vara PK 13

Kem. sestava čist. vara				Lastnosti čistega vara v varjenem stanju				Lastnosti čistega vara odžarjeno 620°/2 uri		
C	Si	Mn	Cr	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	HB kp/mm ²	žil. DVM (20°) kpm/cm ²	HB kpm/cm ²
0,06	0,40	0,50	13,10	62,0	86,0	4,0	6,0	260	2,5	221
0,06	0,20	0,48	12,12	60,0	82,0	3,0	7,0	239	2,5	180
0,07	0,43	0,64	15,06	58,0	75,0	5,0	8,0	213	2,0	160
0,09	0,30	0,66	13,64	65,0	95,0	2,0	4,0	283	2,0	200
0,09	0,30	0,51	12,30	72,0	100	3	6	300	1,8	250
0,09	0,33	0,58	12,62	78,0	105,0	4,0	7,0	291	1,75	205
0,12	0,28	0,58	12,70	78,0	115	2,0	2,0	350	1,75	270
0,12	0,36	0,48	13,20	75,0	110	2,0	2,0	332	1,75	235
0,16	0,34	0,49	14,88	80	120	2	2	398	1,75	280

Tabela št. 6 — Lastnosti čistega vara PK 13/6

Kemijska sestava č. vara						Lastnosti čistega vara v varjenem stanju				Lastnosti čistega vara odžarjeno 620°/2 uri							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	HB kp/mm ²	žil. DVM 20° kp/mm ²	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	HB kp/mm ²	žil. DVM 20° kp/mm ²
0,04	0,49	0,58	12,55	4,10	0,50	110	118	12	40	400	6,5	88	97	17	55,0	285	7,6
0,04	0,50	0,52	13,10	6,0	0,48	112	122	9	25	420	6,5	77	88	21	59	270	6,7
0,05	0,57	0,60	12,80	4,55	0,52	112	119	12	42	370	6,5	83,3	92,3	14	53	270	7
0,06	0,51	0,60	12,60	5,22	0,27	115	124,9	8	14,5	350	7	84,5	96,4	14	52	278	7,2
0,05	0,23	0,50	12,85	5,30	0,33	110	122	8	18	380	5,5	79,5	90,3	16	55	285	6,8
0,06	0,29	0,54	13,10	5,62	0,38	112,5	125,0	8	15	397	6,2	82,5	95,8	14,5	52,5	320	7
0,06	0,42	0,45	13,15	5,25	0,45	111	122,5	10	15	380	6,2	78,5	94,7	16,8	56,5	283	6,8

niklja 4—6 %. S tem se je zelo znižala vsebnost ferita ter izvršila pretvorba krhkega martenzita v nizko ogljični žilavi drobnozrnati nikelj martenzit, ki ima tudi boljšo varivost. Rezultat so dodajni materiali, s katerimi dobimo čisti var z izredno visoko trdoto ter sorazmerno dobro žilavostjo in s katerimi lahko tudi večje preseke jekel varimo z minimalnim predgrevanjem ali celo brez njega.

Enako so se tudi na področju uporabe 13 % Cr jekel za vodno energetske namene in naprave, ki delujejo pod visokimi obremenitvami, pričele vse bolj uporabljati jekla in jeklo litine, legirane s 4 % niklja, katera imajo proti klasičnim 13 % Cr jeklom mnogo boljše varilne in mehanske lastnosti. Iz tega jekla je že leta 1968 vlila tvrdka J. M. voith GmbH Heidenhemu prvo tekalno kolo Peltonove turbine. Iz enakega jekla so izdelali tudi tekalna kolesa nekaterih zelo visoko obremenjenih črpalk. Jeklena litina je imela naslednje mehanske lastnosti: mejo raztezanja 60 kp/mm², trdnost 80 do 94 kp/mm² in žilavost (DVM 20⁰ C) in minimalno 4 kp/cm².

3. Preiskave in primerjava rezultatov čistih varov elektrod PK 13 in PK 13/6

Z ozirom na to, da se bodo v bodoče pri gradnji vodnoenergetskih naprav vedno bolj uporabljala 13 % Cr jekla in jeklene litine, legirane z niklom, je bila v naš program uvedena nova elektroda

PK 13/6. Preiskave in medsebojne primerjave lastnosti čistega vara obeh elektrod so podane na tabelah št. 5 — št. 9. Strukturno sestavo v varjenem in odžarjenem stanju pa na slikah št. 1—11. Tabeli št. 5 in št. 6 prikazujeta lastnosti čistega vara PK 13 in PK 13/6. Iz tabel je razvidno, da dobimo pri PK 13/6 s sorazmerno nizko vsebnostjo ogljika v varjenem stanju izredno visoko trdnost (120 kp/mm²) in mejo raztezanja (112 kp/mm²) ter temu primerno zelo visoko trdoto, ki znaša 350—400 HB. Kljub tako visoki trdnosti in trdoti pa dobimo še vedno dobro žilavost 5—7 kpm/cm². Za enako visoko trdnost in trdoto mora čisti var PK 13 vsebovati 0.12—0.16 % C. Pri tem pa dobimo zelo nizko žilavost ter tudi nekoliko nižjo mejo raztezanja. Boljša žilavost PK 13/6 je opazna tudi pri pregledu trgalnih preizkusov čistega vara. Medtem ko je prelom pri PK 13/6 žametastega žilavega videza s sorazmerno veliko kontrakcijo, je ta pri PK 13 zelo krhek, grobozrnat, brez vidne kontrakcije. Za ocenitev vpliva dodatka Ni na poboljšanje mehanskih lastnosti PK 13, smo izdelali čiste vare, podobne sestave z ozirom na C, Si, Mn in Cr brez Ni in z dodatkom Ni. Rezultati preiskav so podani na tabelah št. 7 in št. 8, strukturna sestava pa na slikah št. 1 in št. 2. Iz rezultatov je razvidno, da dobimo pri PK 13/6 podobne sestave trdoto v varjenem stanju in pri različnih časovnih toplotnih obdelavah za ca. 100 HB višjo kot pri PK 13.

Tabela št. 7 — Lastnosti čistega vara PK 13 in PK 13/6 z isto vsebnostjo Cr

PK 13				PK 13/6					
Kem. sestava:				Kem. sestava:					
C	Si	Mn	Cr	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0,06	0,40	0,50	13,10	0,06	0,42	0,55	13,10	5,62	0,38
v varjenem stanju	odžarjeno 600°/2 uri		odžarjeno 600°/6 ur	v varjenem stanju	odžarjeno 600°/2 uri		odžarjeno 600°/6 ur		
304	205		205	365	296		288		
274	217		209	407	323		296		
213	205		209	425	332		304		
255	217		213	378	313		313		
281	227		209	392	313		296		
249	238		232	365	304		304		
232	213		227	425	332		313		
249	227		213	425	332		304		
288	238		227	392	332		304		
260	221		216	397	320		302		
Slike struktur				Slike struktur					
št. 3	št. 4	št. 5		št. 6, 7	št. 8, 9		št. 10, 11		

Tabela št. 8 — Sestava strukture in trdota posameznih faz

PK 13 (slika št. 1)	vsebnost ferita 40 %—50 % trdota feritne faze: 168—175 HB trdota martenzitne faze: 303—310 HB
PK 13/6: (slika št. 2)	vsebnost ferita: ∅ trdota martenzita: 370—430 HB

Način meritve trdote, ki je podoben na tabeli št. 7, prikazuje slika št. 12. Tabela št. 9 prikazuje rezultate mehanskih lastnosti PK 13/6, dobljene od prvih industrijsko izdelanih elektrod.

Za primerjavo so bili s PK 13 in PK 13/6 izdelani tudi zvari na ustreznih kvalitetah jekel. Pregled rezultatov je podan v tabeli št. 10, iz katere je razvidno, da dobimo pri PK 13/6 bolj ugodne rezultate in to z minimalnim pregrevanjem.

Tabela št. 9: Žilavost in trdota čistega vara PK 13/6 (∅ 4 in ∅ 5 mm)

Kemijska sestava čistega vara PK 13/6

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	
0,06	0,39	0,59	13,90	5,62	0,38	elektroda ∅ 4 mm
0,06	0,33	0,49	12,85	5,30	0,35	elektroda ∅ 5 mm

elektroda ∅ 4 mm elektroda ∅ 4 mm

elektroda ∅ 5 mm

odžarjeno 650°/2 uri

odžarjeno 600°/6 ur

odžarjeno 600° C/6 ur

žilavost (kpm/cm²)žilavost (kpm/cm²)žilavost (kpm/cm²)

DVM		DVM		V-Notch		trdota HB	DVM		V-Notch		trdota HB
20° C	0°	20°	0°	20°	0°		20°	0°	20°	0°	
8,0	6	5,8	5,6	5,4	5,0	274	5,8	6	5,0	4,6	261
7,8	5,5	5,8	5,8	5,4	5,1	281	6,2	6,2	5,1	4,9	296
6,8	6,2	6,2	6,0	6,0	5,4	304	6,4	6,2	5,4	5,1	296
7,2	6	6,2	6	6	5,5	296	6,4	6	5,9	5	304
7,6		6,2	5,5	6	5,5	281	6,4	5,5	6,5	4,5	304
6,8	6	6,4	5,0	6,5	5	296	6,4	6	6,9	5	296
						288					304
7	5,95	6,10	5,65	5,88	5,25	288,7	6,2	6,0	5,8	4,85	294,5

Povprečna trdota v varjenem stanju znaša pri PK 13 — 260 HB, pri PK 13/6 pa 397 HB. Če primerjamo žilavost sestav iz tabel št. 5 in št. 6, potem vidimo, da ima PK 13 s trdoto 260 HB žilavost 2 kpm/cm² a PK 13/6 s trdoto 397 HB 6,2 kpm/cm². Vzrok temu je razviden iz slik št. 1 in št. 2. Medtem ko vsebuje struktura PK 13 (brez Ni) ca. 40—50 % krhkega ferita (slika št. 1), sestoji struktura PK 13/6 iz nizkoogljicega drobnega nikel martenzita, brez ferita (slika št. 2). Meritev trdote posameznih strukturnih faz je dala naslednje rezultate (tabela št. 8). Pri PK 13 z vsebnostjo 40—50 % ferita ima feritna faza trdoto 168 do 175 HB, martenzitna pa 300—310 HB. Pri PK 13/6 brez ferita pa je bila trdota 370—430 HB. Na sliki št. 3—11 so prikazane strukture PK 13 in PK 13/6 pri posameznih toplotnih obdelavah po tabeli št. 7.

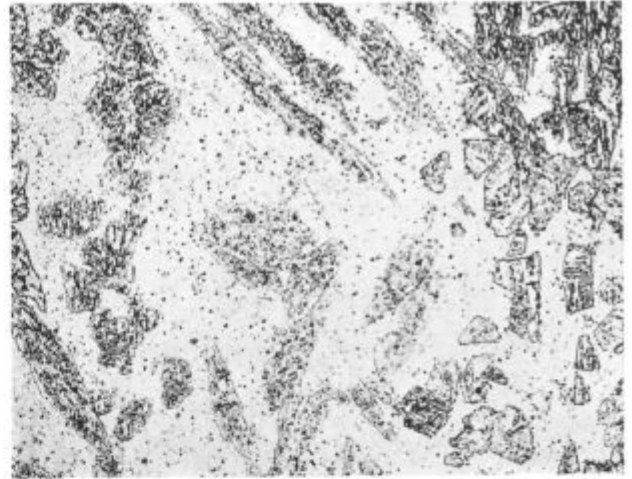
4. ZAKLJUČEK

Za dosego visoke trdnosti 120 kp/mm² in trdote 350—400 HB v varjenem stanju mora čisti var PK 13 vsebovati 0.10—0.15 % C. Pri teh pogojih pa dobimo zelo nizko žilavost 1—1.8 kpm/cm². Nasprotno pa ima čisti var PK 13/6 z vsebnostjo ogljika ca. 0.05 % ter 4—6 % niklja ob enaki trdnosti in trdoti žilavost 6—7 kpm/cm². Rezultat tega je mnogo večja odpornost proti eroziji in kavitaciji. Poleg tega dobimo tudi zware z minimalnim predgrevanjem ali brez njega brez razpok.

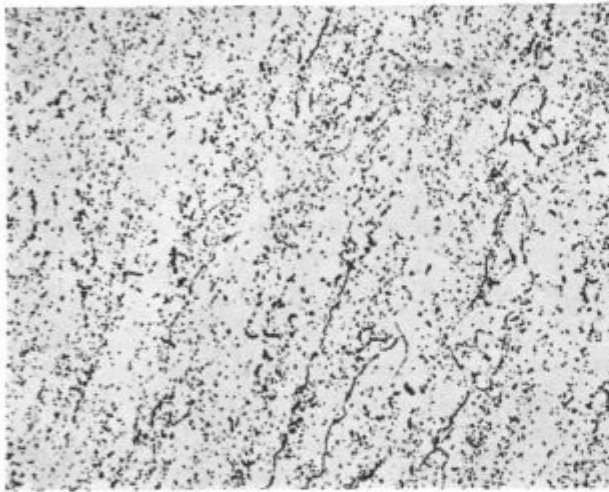
Če primerjamo varilne tehnološke lastnosti, potem pridemo do zaključka, ki je podan v tabeli št. 11. S poizkusi je bilo tudi ugotovljeno, da ima PK 13/6 neprimerno boljše odpornost proti morski



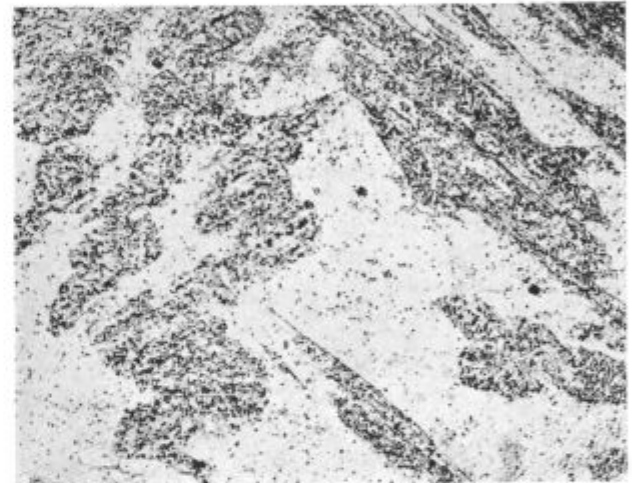
Slika 1
Struktura čistega vara PK 13 v varjenem stanju z vsebnostjo 13% Cr



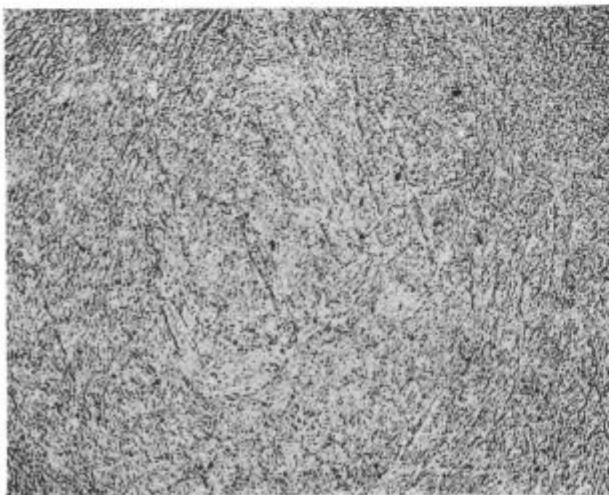
Slika 4
Struktura čistega vara PK 13 — sestave po tabeli št. 7 — odžarjeno 600°/2 uri — povečava 200 ×



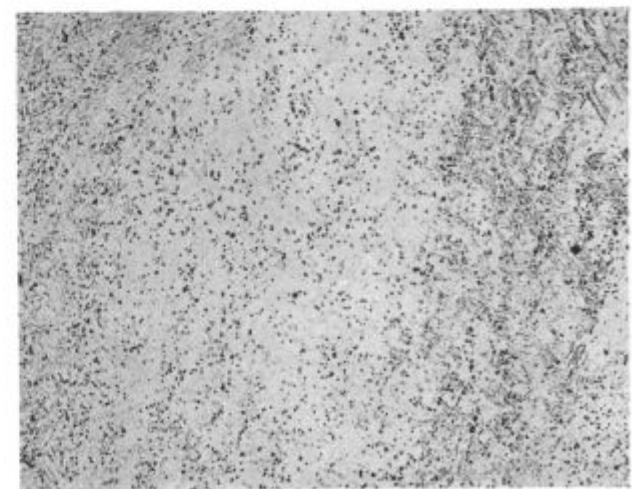
Slika 2
Struktura čistega vara PK 13/6 v varjenem stanju z vsebnostjo 13% Cr in 5,5% Ni



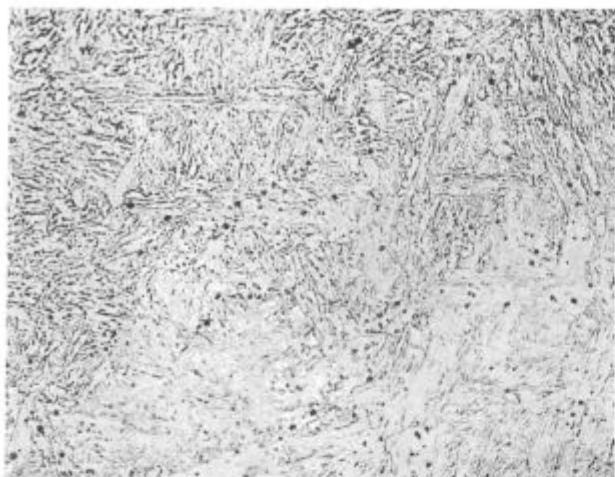
Slika 5
Struktura čistega vara PK 13 sestave po tabeli št. 7 — odžarjeno 600°/6 ur — povečava 200 ×



Slika 3
Struktura čistega vara PK 13 sestave po tabeli št. 7 — varjeno stanje — povečava 200 ×

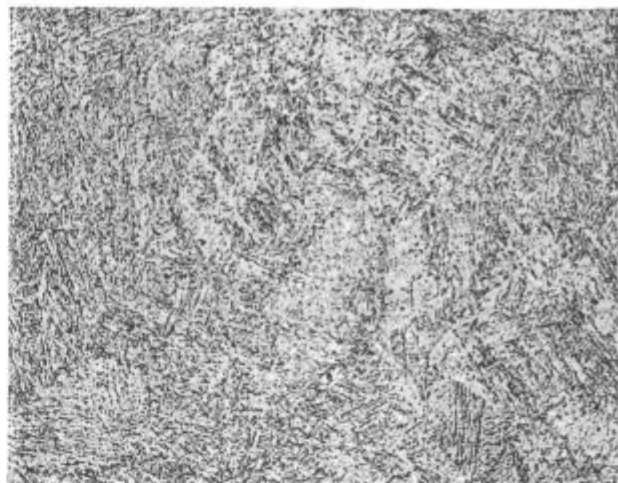


Slika 6
Struktura čistega vara PK 13/6 sestave po tabeli št. 7 varjeno stanje — povečava 200 ×



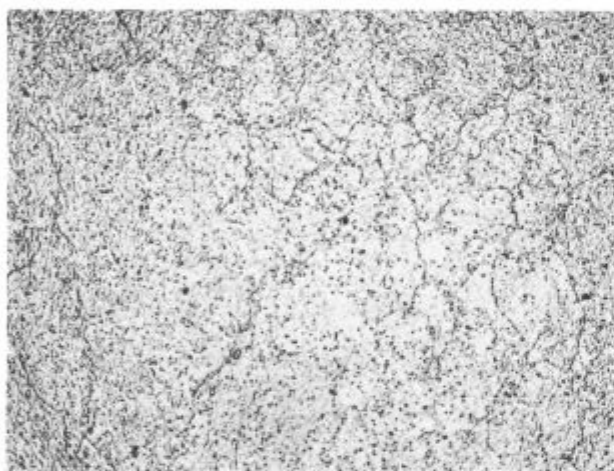
Slika 7

Struktura čistega vara PK 13/6 sestave po tabeli št. 7 —
varjeno stanje — povečava 500 ×



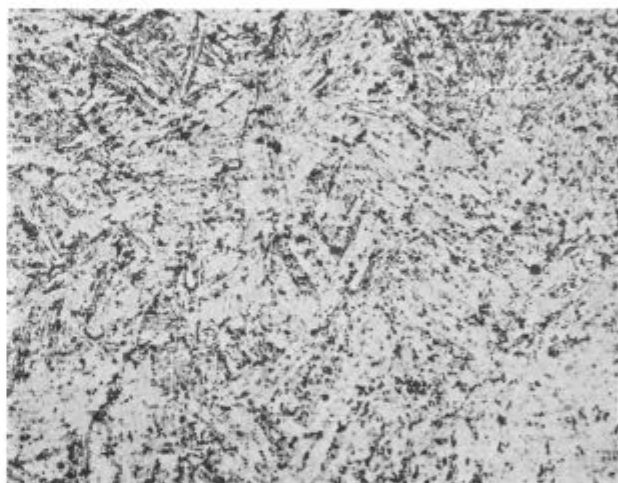
Slika 10

Struktura čistega vara PK 13/6 sestave po tabeli št. 7 —
odžarjeno 600° 6 ur — povečava 200 ×



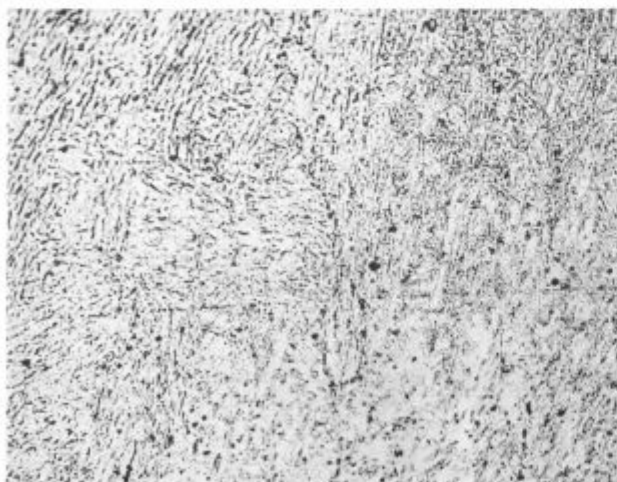
Slika 8

Struktura čistega vara PK 13/6 sestave po tabeli št. 7 —
odžarjeno 600° 2 uri — povečava 200 ×



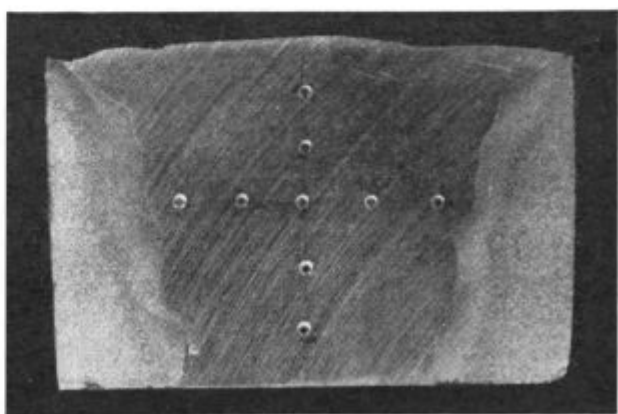
Slika 11

Struktura čistega vara PK 13/6 — sestave po tabeli št. 7 —
odžarjeno 600° 6 ur — povečava 500 ×



Slika 9

Struktura čistega vara PK 13/6 — sestave po tabeli št. 7
odžarjeno 600° 2 uri — povečava 500 ×



Slika 12

Način meritve trdote podanih v tabeli št. 7

Tabela št. 10 — Lastnosti zvarov s PK 13 in PK 13/6

Elektroda	PK 13					PK 13/6						
Jeklo	poboljšano: 1050 ⁰ /4 ure-zrak 680 ⁰ /12 ur-zrak					Odžarjeno: 620 ⁰ /2 uri						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	
sestava jekla:	0,10	0,40	0,55	12,90	0,75	0,07	0,25	0,51	13,52	4,55	—	
sestava č. vara elektrode	0,06	0,45	0,60	13,10	—	0,06	0,40	0,52	13,15	5,20	0,38	
debelina zvara	20 mm					20 mm						
oblika zvara	X — zvar					X — zvar						
predgrevanje	400 ⁰ C					80 ⁰ C						
Rezultati spoj.	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	žil. DVM kp/mm ²	HB kp/mm ²	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	žil. DVM kp/mm ²	HB kp/mm ²
1. v varjenem stanju	75,0	105	4,0	7	2	330—380	110	121	8	15	4	370—390
2. odžarjeno	52	75	14	51	4	190—220	68,5	95,1	14	55	5,5	280—290
prelom	krhek					žilav						
Risco-test	opazne razpoke					brez sledov razpok						

Tabela št. 11: Predgrevanje, trdota in žilavost pri varjenju z PK 13 in PK 13/6

Tip elektrode	Potrebno predgrev.	Stanje	HB kp/mm ²	Žilavost DVM 20 ⁰ kpm/cm ²
PK 13	200—400 ⁰ C	v varj.	320—380	1—1,5
PK 13/6	20—150 ⁰ C	v varj.	350—400	6—7

vodi, ki je zelo blizu PK 18/8 in zelo dobro žilavost tudi pri nižji temperaturi.

Področje uporabe PK 13/6 so vodne turbine, ladijski vijaki, razne strojne in vodno energetske naprave, prehrabena, mlečna in sladkorna industrija, transportne naprave za kemijske proizvode.

Literatura

1. D. Seferijan: Metalurgija zavarivanja
2. Secheron: Fachblatt für den Schweißer st. 1/1961
3. Inco-Nickel: Eine technische Umschau št. 23/1968
4. Erick Folkard: Neuentwickelte Zusatzwerkstoffe für das Schweißen von legierten Stählen
Schweisstechnik (Wien) st. 9/1970

ZUSAMMENFASSUNG

Stähle mit einem Chromgehalt von 13 % sind hochfeste korrosionsbeständige Stähle, welche wegen der ausgezeichneten Eigenschaften, wie hohe Festigkeit, hohe Härte, hohe Abriebfestigkeit, Korrosions-, Erosions- und Kavitationsfestigkeit vor allem im Bau der Hydroenergetischen und Thermoenergetischen Anlagen und anderen Anlagen welche mit Flusswasser, Seewasser und Meerwasser in Berührung kommen, angewendet werden, zum Beispiel Wasserturbinen, Pumpen, Schiffsschrauben u. s. w. Das Schweißen solcher Stähle war aber mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Da diese Stähle lufthärtbar sind, war es nötig um die Härterisse zu vermeiden eine ziemlich hohe Vorwärmung (300—400⁰ C) vorzunehmen, was aber in manchen Fällen sehr schwer auszuführen war.

Die erhaltenen Schweißverbindungen hatten eine sehr schlechte Kerbschlagzähigkeit. Bei den korrosionsbeständigen Stählen ist um eine gute Erosions- und Kavitationsbeständigkeit zu gewährleisten, neben einer hohen Festigkeit und Härte, auch eine hohe Kerbschlagzähigkeit erwünscht. Wenn wir demnächst beim 13 % Cr Stahl, neben einer guten Korrosionsbeständigkeit noch eine hohe Erosions- und Kavitationsbeständigkeit erreichen möchten, müssen diese eine möglichst hohe Härte bei zugleich hoher Kerbschlagzähigkeit aufweisen. Bei den zu der Zeit erzeugten 13 % Cr Zusatzwerkstoffen war es üblich eine hohe Härte durch einen höheren Kohlenstoffgehalt zu erreichen. Nachteilig dabei war eine schlechte Kerbschlagzähigkeit im Schweißgut. Eine bessere Kerbschlagzähigkeit war

mit einer weiteren Wärmebehandlung zu erreichen, jedoch bei einem stärkeren Härteabfall.

Die Ursache für eine niedrige Kerbschlagzähigkeit und schlechte Schweißbarkeit liegt an der Zusammensetzung des Schweißgefüges, das aus sprödem grobkörnigen Martensit und ebenso sprödem Ferrit (etwa 40 %) besteht.

Die neueren Untersuchungen hatten für das Ziel bei den 13 % Cr Stählen welche im Bau der Wasserkraftanlagen gebraucht werden eine möglichst gute Kerbschlagzähigkeit bei einer hohen Härte zu erreichen. Dazu war nötig den Ferritgehalt so viel wie möglich zu erniedrigen und ein möglichst reines martensitisches Gefüge zu erreichen. Das war mit einem niedrigeren Kohlenstoffgehalt von 0.04 bis 0.05 % und einem Zusatz von 4 bis 6 % Nickel erzielt

worden. Dadurch hat sich der Ferritgehalt sehr erniedrigt und der spröde Martensit in den niedriggekohlten, zähen, feinkörnigen Nickelmartensit, welches auch eine bessere Schweißbarkeit besitzt, umgewandelt.

Das Ergebniss dieser Untersuchungen sind Zusatzwerkstoffe, mit denen bei sehr hoher Festigkeit (120 kp/mm²) und Härte (350 bis 400 HB) verhältnismässig gute Zähigkeitswerte (6—7 kpm/cm²) erzielt werden und mit denen auch grössere Querschnitte ohne oder nur mit geringer Vorwärmung geschweisst werden können. Im Artikel sind Ergebnisse der Untersuchungen an reinem Schweißgut aus Schweißelektroden PK 13 mit 13 % Cr und PK 13/6 mit einem Gehalt von 13 % Cr und 4 bis 6 % Ni angegeben.

SUMMARY

13 % Cr steels are high-strength rustless steels which are used mainly for construction of hydroenergetic and thermoenergetic installations and other set-ups which are in contact with river, lake, and sea water, e.g. water impellers, pumps, screw-propellers, etc., because they have high strength, high hardness, high wear resistance, corrosion and erosion resistance, and scoring resistance.

Welding of these steels caused troubles. Because they are self hardening the weld decay can be avoided by relatively high preheating (300 to 400° C) which was often difficult. The obtained welds had low toughness. For corrosion resistant materials also high toughness is desired beside the good erosion and scoring resistance, and high strength and hardness. If high erosion and scoring resistance beside good corrosion behaviour is desired with 13 % Cr steels they must have high hardness at simultaneous high toughness. In present 13 % Cr adding materials higher hardness was obtained by higher carbon content. But toughness in welding state was very low. It was improved

by further heat treatment but the hardness was reduced during such treatment. Low toughness and bad weldability are caused by brittle coarse grained martensite and great amount (about 40 %) of just so brittle ferrite in the weld structure. New investigations were made to improve toughness at unreduced hardness in 13 % Cr steels for hydroenergetic installations. Amount of ferrite had to be reduced and martensitic structure must be the purer. This was obtained by carbon reduction to about 0.04 to 0.05 %, and by adding 4 to 6 % nickel. Ferrite content was highly reduced and brittle martensite was transformed into low-carbon tough fine grained nickel martensite which has also better weldability. Result of investigations are adding materials which give relatively good toughness (6 to 7 kpm) at very high strength (120 kp/mm²) and hardness (350 to 400 B. H. N.) and which can be used also for welding greater steel sections without or with minimal preheating. In the paper results of investigation of pure welds with electrode PK 13 (13 % Cr) and PK 13/6 (13 % Cr and 4 to 6 % Ni) are shown.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Антикоррозийная сталь с содержанием 13 % Cr благодаря хорошим свойствам и, пр.: высокой прочности, твёрдости, хорошей износостойкости, хорошей стойкости на влияние кавитационной эрозии, употребляется главным образом при постройке и оборудовании гидро- и термо-энергостанций. Также остальных установок, которые приходят в соприкосновение с водами озёр, моря и рек, и, пр. гидравлические турбины, насосы, гребные винты и пр. При сварки изделий из этой стали появились определенные затруднения. Так как закалка этой стали происходит уже на воздухе, то необходимо, чтобы избежать появления закалочных трещин, сравнительно высоко перегреть изделие предназначено для сварки (300—400° C), что во многих случаях было тяжело выполнить. Полученные сварочные соединения имели плохую вязкость. Для антикоррозийных материалов при хорошей стойкости на кавитационную эрозию, высокой прочности и твёрдости, желательно также хорошая вязкость. Следует, что этот сорт антикоррозийной стали с содержанием 13 % Cr должен иметь высокую твёрдость одновременно с хорошей вязкостью. До сих пор, необходимую высокую твёрдость получали с повышением содер-

жания C. При этом вязкость в сварочном состоянии не удовлетворяла. Повышение вязкости последовало после термической обработки но при этом уменьшалась твёрдость. Причина недостаточной вязкости и слабой способности к сварке состояла в том, что сварочное соединение состояло из хрупкого, грубого мартензита и прибл. из 40 % также хрупкого феррита.

Поэтому цель исследования была в уменьшении содержания феррита и улучшения чистоты мартензитной структуры. Удовлетворяющий результат получен уменьшением содержания углерода на уровень 0.04—0.05 % и добавкой 4—6 % Ni. Полученная сталь с уменьшенным содержанием хрупкого феррита и с мелкозернистым Ni-мартензитом имела гораздо лучшую свариваемость. Сварку материалов из такой стали весьма успешно вели с электродами PK 13, с содержанием 13 % Cr и с электродой PK 13/6, содержанием 13 % Cr и 4—6 % Ni. Сварку можно вести без или при незначительном подогреве материала. Рассмотрены результаты исследования чистых сварочных соединений сварки при помощи упомянутых электродов.



Wird in Ihrem Betrieb noch von Hand gewalzt?

Morgårdshammar hat viele Lösungen für mechanisiertes Vorwalzen ausgearbeitet.

Eine große Anzahl von Anlagen sind bereits in Betrieb.

Einige Vorteile:

- höhere Produktion
- verminderter Personalbedarf
- größere Knüppelgewichte

Wir kennen die Probleme und übernehmen es gerne, walztechnische Untersuchungen durchzuführen, um eine Lösung für Ihre Mechanisierung zu finden.

Unser Katalog V 220 T über mechanisierte Vorwalzung wird Ihnen auf Wunsch zugesandt.

MORGÅRDSHAMMAR

Morgårdshammar AB, Fack, S-777 01 Smedjebacken 1, Schweden Telex: 73243 morverk s
Alleinvertreter in der Bundesrepublik:
Rhinex Export-Import GmbH & Co KG,
Postfach 2426, 415 Krefeld 1 Telefon: 29688
Telex: 536 04



Interpretacija diagramov

V članku je opisano, kaj lahko trdimo in česa ne moremo zagovarjati pri interpretaciji diagramov, če se držimo principov matematične statistike.

Opisana je tudi metoda ortogonalnih polinomov, s katero določamo, katera potenca polinoma je še statistično pomembna.

V Železarskem zborniku, pa tudi v drugih revijah se pogosto pojavljajo članki, v katerih avtorji delajo zaključke na podlagi rezultatov meritev, ki so prikazani z diagrami.

Diagramu navadno sledijo zaključki o povezanosti med odvisnimi in neodvisnimi spremenljivkami, ki pa so pogosto nekritični.

Velikokrat se namreč vidi, da določene trditve diagram sploh ne podpira. To velja tudi za nekatere referate na XV. posvetovanju metalurgov v Portorožu v oktobru 1972. Kritičnemu bralcu se vsiljuje vprašanje, kaj je prav: ali držijo zaključki, ki so morda avtorju znani iz literature, ali njegovi eksperimentalno dobljeni diagrami.

To zavaja tudi druge raziskovalce, če verjamejo razlagi, ki se morda pozneje izkaže kot nepravilna. To pa vnaša v naše delo nezaupanje.

Če bi vse zaključke statistično preverili, bi v svoje delo vnesli več kritičnosti in ne bi delali nepotrebnih napak.

V naslednjih primerih si bomo ogledali, kako lahko interpretiramo rezultate meritev, ki jih ponazarjamo z diagrami.

Linearna regresija

Oglejmo si, kaj na primer lahko povemo o povezavi med spremenljivkama X in Y, če smo si X izbrali (neodvisna spremenljivka), Y pa merili (odvisna spremenljivka). Rezultate 11 meritev (tabela I) smo narisali kot točke na sliki 1.

Narišimo diagram!

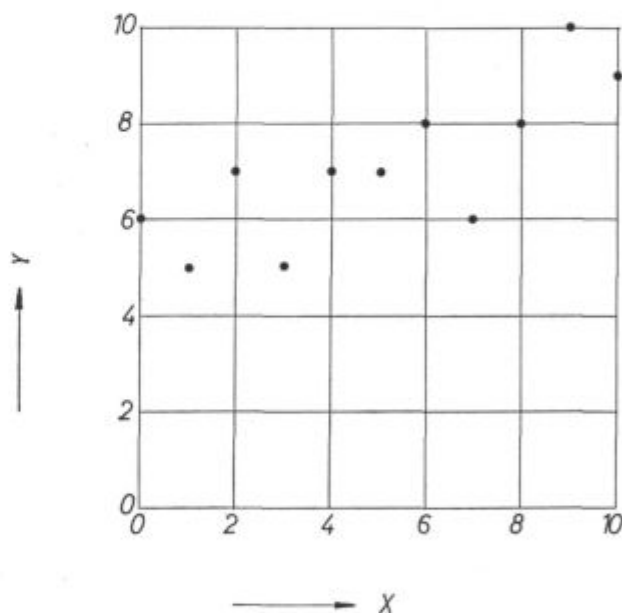
Predpostavimo, da že iz literature vemo, da je zveza linearna, t. j. da gre za premico s smernim koeficientom okrog 0,4.

Premico je treba narisati tako, da se njen potek kar najbolj ujema s potekom točk na sliki 1. Matematično to zahtevo izpolnimo tako, da določimo parametre b_0 in b_1 v regresijski enačbi $\hat{Y} = b_0 +$

$+ b_1 X$ iz pogoja $\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2 = \text{minimum}^1$.

Tabela I

X	Y
0	6
1	5
2	7
3	5
4	7
5	7
6	8
7	6
8	8
9	10
10	9



Slika 1
 Podatki iz tabele I

Za naš primer dobimo sledeče vrednosti:

$b_0 = 5,227$, $b_1 = 0,373$, koeficient množične korelacije $R = 0,781$. To pomeni, da smo z linearno zvezo $\hat{Y} = 5,227 + 0,373 X$ pojasnili približno 61 % celotnega razsipanja vrednosti Y.

Dobili smo torej enačbo premice, ki pa velja le za naš vzorec 11 meritev. Kaj lahko povemo o linearni zvezi med X in Y, ki naj velja za celo populacijo, t. j. za množico točk, ki bi jih lahko narisali, če bi jih izmerili.

O karakterističnih parametrih populacije lahko povemo le interval vrednosti, v katerem lahko dani parameter z neko določeno verjetnostjo pričakujemo.

Regressijsko enačbo za populacijo lahko zapišemo v obliki $\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$. Določili bomo interval, v katerem z 90 % gotovostjo pričakujemo vrednost parametra β_1 .

Se prej se pa vprašajmo, kakšne informacije lahko dobimo o naši populaciji parov (X, Y), če smo naredili omenjenih 11 meritev. Ali lahko na podlagi eksperimenta trdimo, da gre tudi v našem primeru za koeficient $\beta_1 = \beta'_1 = 0,4$, kot navaja literatura?

Označimo standardno napako ocene z S_E , ki je definirana z relacijo:

$$S_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n - 2}}$$

Standardno napako regresijskega koeficienta izračunamo po formuli:

$$S_{b_1} = \frac{S_E}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}$$

Izračunajmo parameter t:

$$t = \frac{b_1 - \beta'_1}{S_{b_1}}$$

za katerega velja Studentova distribucija (tabela II.). Hipotezo, da je naš vzorec iz populacije z vrednostjo $\beta_1 = \beta'_1 = 0,4$ bomo zavrgli v primeru, če bo $|t| \geq t_{(1 - \frac{\alpha}{2}), (n-2)}$, pri čemer je α verjetnost za napako prve vrste², n pa število meritev v vzorcu.

V našem primeru je

- $S_E = 1,034$
- $S_{b_1} = 0,0986$
- $b_1 = 0,373$
- $\beta'_1 = 0,400$
- $t = 0,277$

Če se odločimo za $\alpha = 0,05$, je $t_{(1 - \frac{\alpha}{2}), (n-2)} = t_{0,975; 9} = 2,262$, kar je precej več kot 0,277.

Hipoteze torej ne moremo zavreči. To pa še ne pomeni, da smo že dokazali, da je β_1 za našo populacijo enak $\beta'_1 = 0,4$. Upoštevati je treba še operacijske karakteristike² za tak primer. Vprašajmo se, ali nismo pri tem, ko smo sprejeli hipotezo, da je $\beta_1 = \beta'_1 = 0,4$, naredili preveliko napako druge vrste.

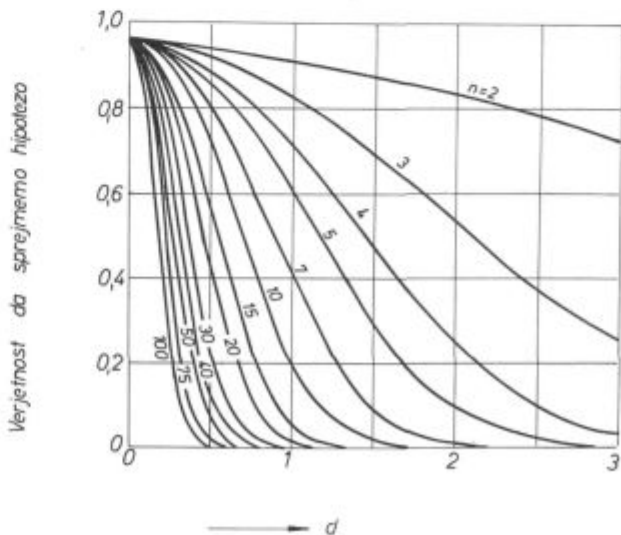
Tabela II

$t_{v, n}$	$v = 0,950$	$v = 0,975$
n		
1	6,314	12,706
2	2,920	4,303
3	2,353	3,182
4	2,132	2,776
5	2,015	2,571
6	1,943	2,447
7	1,895	2,365
8	1,860	2,306
9	1,833	2,262
10	1,812	2,228
11	1,796	2,201
12	1,782	2,179
13	1,771	2,160
14	1,761	2,145
15	1,753	2,131
16	1,746	2,120
17	1,740	2,110
18	1,734	2,101
19	1,729	2,093
20	1,725	2,086

Operacijske karakteristike

Pokazati se da,³ da je za ta primer treba upoštevati drug tip operacijskih karakteristik, kot so opisane v članku², saj imamo opravka s Studentovo distribucijo. Na sliki 2 je narisana familija operacijskih karakteristik za dvostransko preverjanje hipotez, če gre za Studentovo distribucijo, pri čemer smo si izbrali $\alpha = 0,05$.

$$d = \frac{|\beta_1 - \beta'_1| \cdot S_x}{\sigma_y}$$



Slika 2 Operacijske karakteristike za dvostranski t - test

Če privzamemo, da je standardna deviacija $\sigma_y = S_y = 1,578$ in standardni odklon spremenljivke X $S_x = 3,317$, lahko iz diagrama na sliki 2 odčitamo, da pripada 20 % verjetnosti za sprejeto hipotezo pri vzorcu (11 vrednosti) vrednost parametra $d = 1$. V diagramu je treba za ta primer upoštevati krivuljo s številko $n-1$, če je n število podatkov v vzorcu³.

Če je $\beta'_1 = 0,4$, bi to odgovarjalo $\beta_1 = 0,876$.

Pri tako majhnem vzorcu lahko torej naredimo občutno napako druge vrste. Trdimo lahko, da je $\beta_1 = 0,4$, pri tem pa je še vedno 20 % verjetno, da smo se zmotili, ker je v resnici morda $\beta_1 = 0,876$.

Vprašamo se pa lahko tudi drugače. Kolikšna je verjetnost, da smo se zmotili, ko smo trdili, da je $\beta_1 = 0,4$, ker je le-ta morda 0,2 oziroma 0,6².

Iz družine operacijskih karakteristik (slika 2) znaša za ta primer vrednost $d = 0,420$ in verjetnost za takšno napako je potem približno 80 %.

Iz istega diagrama se vidi, da bi za preskus trditve, da je $\beta_1 = \beta'_1 = 0,4$ potrebovali približno 40 podatkov, če bi hoteli zagotoviti, da bi pri $\beta_1 = 0,2$ oziroma 0,6 znašala verjetnost za napako druge vrste le 20 %.

Pri tako majhnem vzorcu torej nikakor ni izključeno, da bi bil β_1 za našo populacijo enak 0,4, vendar pa je tudi verjetnost za vrednosti β_1 0,2 ali 0,6 zelo velika.

Ničelna hipoteza

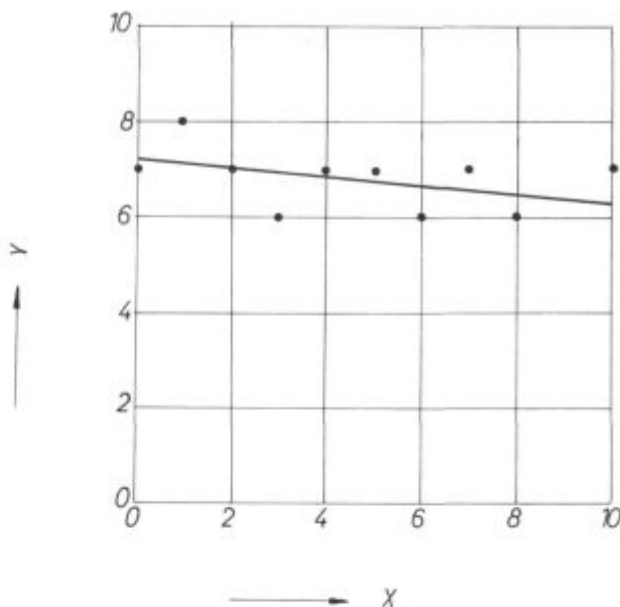
Oglejmo si še drug primer. Na sliki 3 so narisane točke ($n = 11$), ki ponazarjajo odvisnost Y od X (tabela 3) pri nekem drugem poskusu.

Tabela III.

X	Y
0	7
1	8
2	7
3	6
4	7
5	7
6	6
7	7
8	6
9	6
10	7

Narisana je regresijska premica, ki jo karakterizirajo sledeči parametri:

$$R = 0,466$$



Slika 3

Primer za ničelno hipotezo

$$b_1 = -0,0909$$

$$S_{b_1} = 0,0575$$

$$S_x = 0,332$$

$$S_y = 0,647$$

Pojasnjenih je približno 22 % vseh odstopanj spremenljivke Y .

Ali smemo trditi na podlagi izračunane regresijske premice, da Y pada, ko X narašča od 0 proti 10? Ali gre sploh za kakšno odvisnost med X in Y ?

Ta primer testiramo tako, da postavimo ničelno hipotezo:

$$\beta'_1 = 0$$

Ali lahko trdimo, da je naš vzorec iz populacije, kjer je $\beta_1 = 0$, oziroma da ni odvisnosti med X in Y ? Izračunajmo vrednost parametra t !

$$t = \left| \frac{b_1 - \beta'_1}{S_{b_1}} \right|$$

V našem primeru je $t = 1,581$. Če si ponovno izberemo $\alpha = 0,05$, znaša $t_{0,975; 9} = 2,262$, kar je več kot 1,581. Hipoteze $\beta_1 = \beta'_1 = 0$ ne moremo zavreči. Trdili bi torej, da med Y in X ni povezave.

Ali smo pa naredili napako druge vrste? Ali ni morda resnični β_1 sicer majhen in negativen in je le število meritev premajhno? Spet si pomagajmo z operacijskimi karakteristikami na sliki 2.

Kolikšna je verjetnost, da je resnični $\beta_1 = -0,1$?

Za ta primer znaša vrednost d :

$$d = \frac{|\beta_1 - \beta'_1| S_x}{\sigma_y} = 0,512$$

To pomeni, da je približno 70 % verjetno, da smo zgrešili premico z regresijskim koeficientom $-0,1$. 20 % verjetnost za napako druge vrste bi bila šele pri $d = 1$, oziroma $\beta_1 = -0,195$.

Potrebovali bi vsaj 32 podatkov, da bi lahko rekli, da je $\beta_1 = \beta'_1 = 0$ in bi bilo pri tem 20 % verjetno, da bi zgrešili pri takem testiranju resbila šele pri $d = 1$, oziroma $\beta_1 = -0,195$.

Populacija

Kaj torej lahko povemo o parametru β_1 za primer na sliki 1. Točne vrednosti ne moremo povedati. Lahko pa določimo interval, v katerem z 90 % gotovostjo pričakujemo vrednost parametra β_1 po formuli^{3, 4, 5, 6}:

$$\beta_1 = b_1 \pm t_{\frac{1+\gamma}{2}, n-2} \cdot S_{b_1}$$

Pri tem je γ verjetnost (0,90), n pa število podatkov v vzorcu (11) in $t_{0,95; 9} = 1,833$ po tabeli II:
 $0,193 < \beta_1 < 0,553$

Zaradi velikega procenta nepojasnjenih vplivov (slučajnostnih) tudi za določeno vrednost X' ne moremo povedati, kolikšna bi bila pripadajoča vrednost Y' . Določeni vrednosti X' pripada veliko število možnih vrednosti Y' . Vse te vrednosti se porazdeljujejo okrog neke srednje vrednosti \bar{Y}' . Predpostavljamo, da je distribucija vrednosti Y' , ki pripada nekemu določenemu X' , normalna in da je standardna deviacija teh Y' enaka pri vseh X' .

Interval vrednosti, v katerem lahko z neko določeno verjetnostjo (γ) pričakujemo naš \bar{Y}' , se lahko izračuna po formuli:

$$\bar{Y}' = \hat{Y}(X') \pm t_{\frac{1+\gamma}{2}, n-2} \cdot S_{\bar{Y}'}$$

pri čemer je

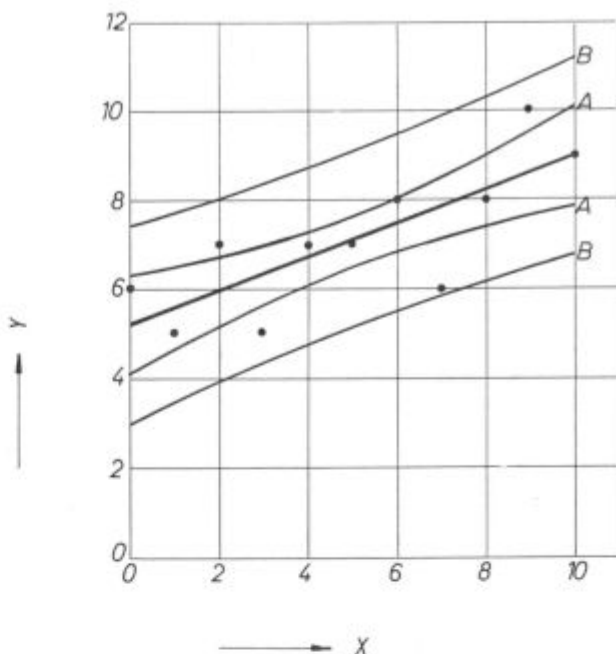
$$S_{\bar{Y}'} = S_E \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X' - \bar{X})^2}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}}$$

Na sliki 4 sta narisani obe meji (A) za 90 % verjetnost za podatke iz tabele 1. Če bi torej naredili zelo veliko meritev, bi lahko na primer pri $X' = 7$ dobili množico pripadajočih vrednosti Y' . Srednja vrednost teh Y' bi bila nekje med 7,1 in 8,5. To pričakujemo z 90 % gotovostjo.

Vprašajmo se še, kaj lahko pričakujemo za posamezno vrednost Y' , ki pripada nekemu X' . Z verjetnostjo γ lahko pričakujemo, da bo Y' ležal v intervalu

$$Y' = \hat{Y}(X') + t_{\frac{1+\gamma}{2}, n-2} \cdot S_{Y'}$$

pri čemer je $S_{Y'} = S_E \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X' - \bar{X})^2}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}}$



Slika 4
 Regresijska premica in meje 90 % gotovosti

Na sliki 4 sta narisani obe mejni vrednosti (B) tudi za 90 % gotovost za vrednost Y' . Pri $X' = 7$ lahko torej z 90 % gotovostjo pričakujemo, da bomo pripadajočo vrednost Y' našli nekje med 5,8 in 9,8.

Zato moramo biti zelo previdni pri opisovanju poteka odvisnosti $Y(X)$. Neutemeljena bi bila trditev, da na primer Y močno narašča, ko gre X od 7 proti 9, nato pa hitro pada.

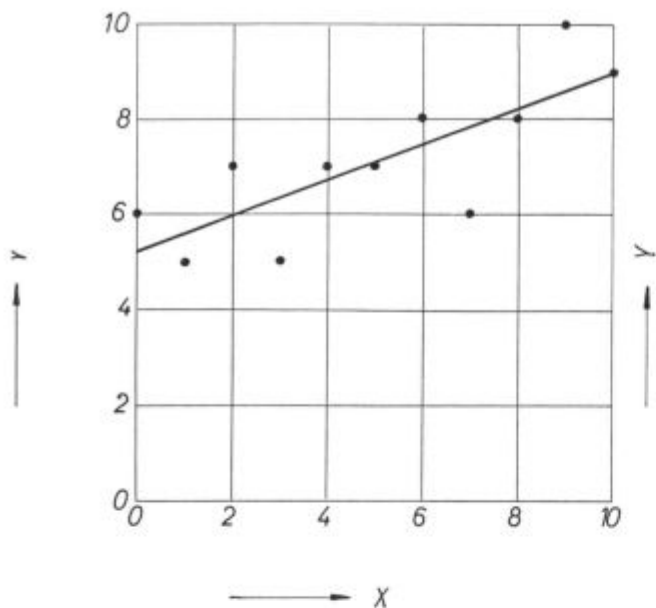
Parabolična odvisnost

Zastavimo si še eno vprašanje. Predpostavimo, da so točke na sliki 1 rezultat nekih meritev vrednosti Y pri posameznih vrednostih X . Očitno je, da so vrednosti Y do neke mere odvisne od vrednosti X . Toda, ali je odvisnost zares linearna? Če nam tega ni nihče prej povedal, bi bilo morda pravilneje narisati kakšno parabolo, ki bi lepše ponazarjala potek teh točk na sliki 1.

Po metodi najmanjših kvadratov¹ smo poiskali regresijske koeficiente v naslednjih enačbah:

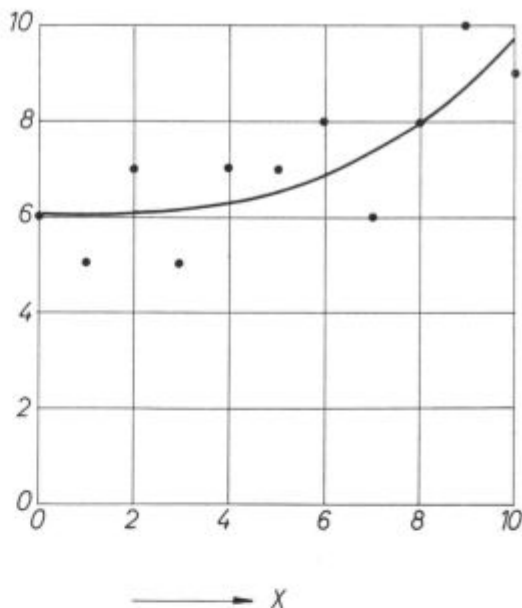
- Linearna $\hat{Y}_1 = b_{01} + b_{11}X$ (61 %)
- Kvadratična $\hat{Y}_2 = b_{02} + b_{12}X^2$ (65 %)
- Kubična $\hat{Y}_3 = b_{03} + b_{13}X^3$ (63 %)
- Parabola četrte stopnje $\hat{Y}_4 = b_{04} + b_{14}X^4$ (59 %)

V oklepaju je naveden procent raztrosa vrednosti Y , ki ga pojasnjuje posamezna enačba (R^2). Parabola druge stopnje \hat{Y}_2 pojasnjuje največji del raztrosa, vendar gre le za 4 % izboljšanja glede na linearno regresijsko funkcijo \hat{Y}_1 .



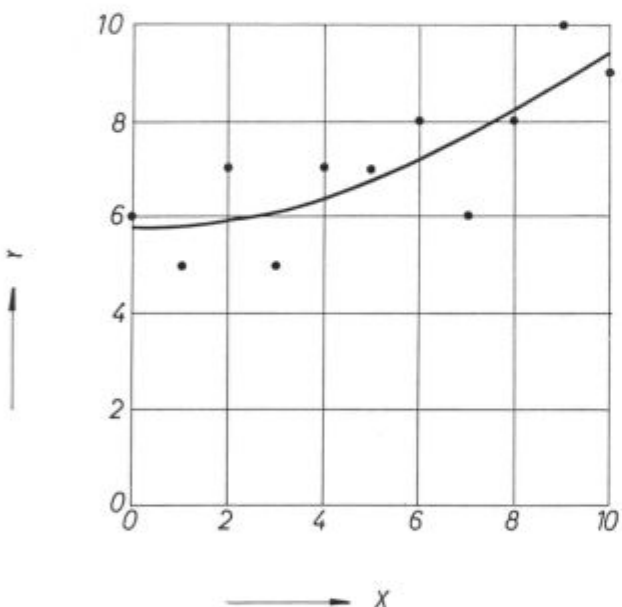
Slika 5

Regresijska enačba: $\hat{Y}_1 = b_{01} + b_{11} X$



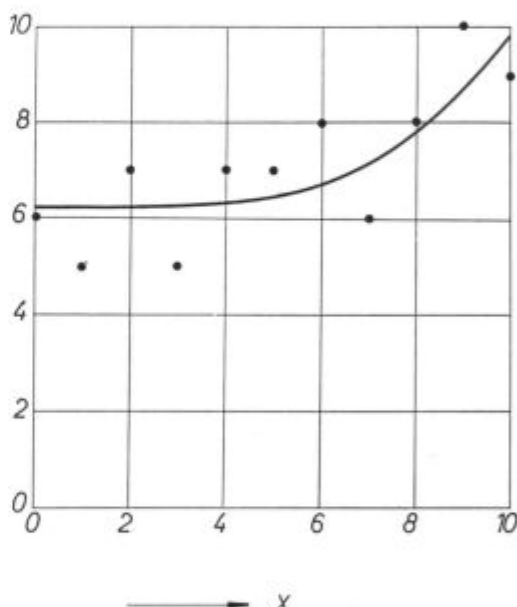
Slika 7

Regresijska enačba: $\hat{Y}_3 = b_{03} + b_{13} X^2$



Slika 6

Regresijska enačba: $\hat{Y}_2 = b_{02} + b_{12} X^2$



Slika 8

Regresijska enačba: $\hat{Y}_4 = b_{04} + b_{14} X^4$

Naredimo enako analizo glede vrednosti \bar{Y}' in Y' , ki jih lahko pričakujemo z 90 % gotovostjo v primeru, ko gre za kvadratično parabolo. Narišemo lahko podoben diagram (slika 9), kot ga prikazuje slika 4. V tem primeru lahko z 90 % gotovostjo pri $X' = 7$ pričakujemo Y' med 7,0 in 8,2.

Posamezno vrednost Y' pa lahko z 90 % verjetnostjo najdemo v intervalu med 5,7 in 9,5.

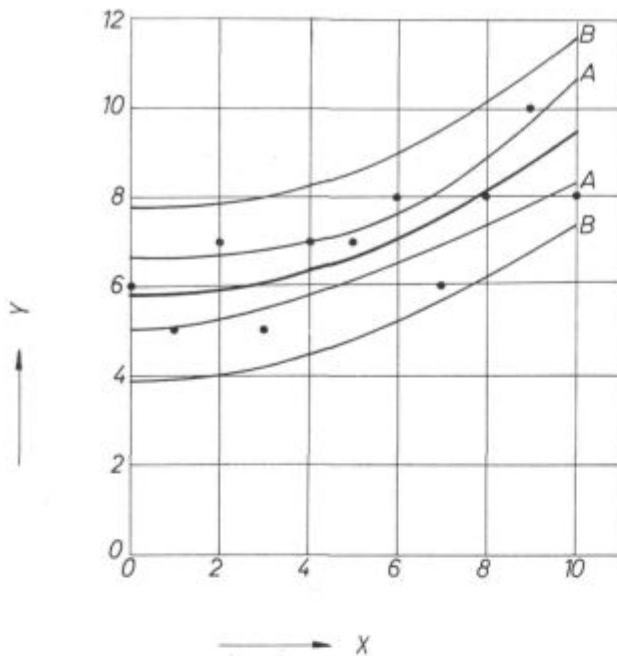
S tega stališča je kaj malo važno, kaj v resnici narišemo skozi točke na sliki 1 — premico ali parabolo. Obe sta dokaj neostro definirani. Če že potegnemo parabolo, moramo pa biti zelo previdni pri zaključkih.

Nujno je treba upoštevati statistično gotovost, oziroma negotovost pri vrednostih funkcije Y , ki jih želimo napovedati. Zaradi velikega raztrosa točk okrog parabole težko trdimo za populacijo, da se na primer krivulja odvisnosti med Y in X pri večjih X bolj strmo dviga kot pri majhnih vrednostih X .

Metoda ortogonalnih polinomov daje točnejši odgovor na vprašanje, ali sploh gre za parabolo ali ne.

Metoda ortogonalnih polinomov

V primeru, ko so posamezne vrednosti X enakomerno (v enakih intervalih) razporejene in, ko



Slika 9
Regressijska parabola Y: in meje 90 % gotovosti

vsaki vrednosti X pripada le en Y, je mogoče narediti polinomno regresijo s pomočjo ortogonalnih polinomov.^{6, 7, 8}

Metoda je zelo podobna postopni regresiji¹, oziroma polinomni regresiji⁹.

Največja prednost te metode pred običajno polinomno regresijo je v tem, da lahko postopoma dodajamo člene višjega reda, ne da bi pri tem morali spreminjati tudi koeficiente pri ostalih stopnjah polinoma.

Ce smo na primer poskušali najprej opisati zvezo Y (X) z linearno enačbo $\hat{Y} = b_0 + b_1 X$ po programu za polinomno regresijo⁹, nato pa smo jo izboljšali z nastankom $\hat{Y} = b'_0 + b'_1 X + b'_2 X^2$, smo morali vso obdelavo narediti še enkrat. Vrednosti b_0 in b_1 nam ne koristijo več, saj je $b_0 \neq b'_0$ in $b_1 \neq b'_1$.

Slabost programa⁹ je tudi v tem, da ne moremo vedeti, kolikšen je prispevek dodanega kvadratnega člana.

Metoda ortogonalnih polinomov nam pa da drugačno sliko. Namesto običajnega izraza

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X + \dots + b_k X^k$$

lahko uporabimo izraz:

$$\hat{Y} = A_0 + A_1 \xi_1 + \dots + A_k \xi_k,$$

kjer so $\xi_i (i = 1 \rightarrow k)$ ortogonalni polinomi i-te stopnje spremenljivke X, $A_i (i = 0 \rightarrow k)$ pa konstante.

Za ortogonalne polinome ξ_i velja:

$$\sum_n \xi_i \xi_k = 0 \text{ če je } i \neq k$$

$$\sum_n \xi_i = 0$$

Pri tem seštevamo po vseh vrednostih spremenljivke X.

Zaradi ortogonalnih lastnosti lahko izračunamo koeficiente A_i :

$$A_0 = \sum_n \frac{\hat{Y}}{n} = \bar{Y}$$

$$A_i = \frac{\sum_n Y \cdot \xi_i}{\sum_n \xi_i^2} \quad i = 1 \dots k$$

V primeru, ko vrednosti X naraščajo od 1 do n^{11} v enakih intervalih (po 1), lahko izračunamo prve tri ortogonalne polinome po formulah:

$$\xi_1 = \lambda_1 (X - \bar{X})$$

$$\xi_2 = \lambda_2 \left[(X - \bar{X})^2 - \frac{n^2 - 1}{12} \right]$$

$$\xi_3 = \lambda_3 \left[(X - \bar{X})^3 - (X - \bar{X}) \cdot \frac{3n^2 - 7}{20} \right]$$

λ si izberemo tako, da je ξ čim manjše celo število.

Analiza variance daje sliko o prispevku posameznih ortogonalnih polinomov, ki nastopajo v regresijski enačbi. Vsota kvadratov, ki pripada i-temu polinomu je enaka:

$$A_i \sum_n (Y \xi_i)$$

Regressijske enačbe s pomočjo ortogonalnih polinomov

Po tej metodi smo obdelali primer iz tabele I in se prepričali, da gre pri tem le za linearno odvisnost (Tabela IV.)

Opraviti imamo z 11 vrednostmi X, ki naraščajo po 1 od 0 do 10. Omejili smo se le na prve tri ortogonalne polinome.

Iz tabel¹⁰ se da videti, da znaša vrednost parametra F za 95 % verjetnost za ta primer $F_{1; 7; 0,05} = 5,5914$, za 90% verjetnost pa 12,246.

Očitno je torej, da je edina smiselna regresijska enačba — enačba premice. Kvadratični prispevek ni statistično pomemben.

Regressijsko enačbo zapišemo z ortogonalnimi polinomi takole:

$$\hat{Y} = 7,0909 + 0,3727 \cdot (X - 5),$$

oziroma:

$$\hat{Y} = 5,2273 + 0,3727 X$$

ZAKLJUČEK

Opisali smo torej nekaj osnovnih primerjav, ki jih mora upoštevati vsak, ki želi interpretirati svoje diagrame. Nekritično tolmačenje takšnih diagramov lahko zavaja raziskovalce pri njihovem delu, da pogosto ugotavljajo dejstva, za katera nimajo nobene osnove.

Tabela IV.

X	Y	ξ_1	ξ_2	ξ_3	$Y \cdot \xi_1$	$Y \cdot \xi_2$	$Y \cdot \xi_3$	
0	6	-5	+15	-30	-30	+90	-180	$A_0 = 7,0909$
1	5	-4	+6	+6	-20	+30	+30	
2	7	-3	-1	+22	-21	-7	+154	
3	5	-2	-6	+23	-10	-30	+115	$A_1 = 0,3727$
4	7	-1	-9	+14	-7	-63	+98	
5	7	0	-10	0	0	-70	0	$A_2 = 0,0338$
6	8	+1	-9	-14	8	-72	-112	
7	6	+2	-6	-23	12	-36	-138	$A_3 = 0,0002$
8	8	+3	-1	-22	24	-8	-176	
9	10	+4	+6	-6	40	+60	-60	
10	9	+5	+15	+30	45	+135	+270	
Σ	78	0	0	0	+41	+29	+1	
λ		1	1	$\frac{5}{6}$				
$\Sigma \xi^2$		110	858	4290				

Analiza variance za primer iz tabele I.

Prispevek polinomov	Vsota kvadratov	Stopnje prostosti	Povprečni kvadrat	F-vrednost
Linearni	15,2818	1	15,2818	12,37
Kvadratični	0,9802	1	0,9802	0,79
Kubični	0,0002	1	0,0002	0,00
Ostane	8,6469	7	1,2353	
Vsota	24,9091	10		

Metoda ortogonalnih polinomov pa kaže, kako učinkovito je mogoče tudi brez modernega računalnika določiti osnovne karakteristike povezave med X in Y.

Literatura

1. B. Rode: Statistična analiza regresije z uporabo elektronskih računalnikov. Zelezarski zbornik št. 3, leto 1969, stran 221.

2. B. Brudar: Preverjanje statističnih hipotez s pomočjo operacijskih karakteristik. Zelezarski zbornik št. 3, 1972, stran 175.

3. A. H. Bowker, G. J. Lieberman: Engineering Statistics, Prentice Hall, Inc. 1959.

4. M. Fisz: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik VEB Deutsche Verlag der Wissenschaften, Berlin 1970.

5. N. W. Smirnov, I. W. Dunin — Barkovski: Mathematische Statistik in der Technik, VEB Deutsche Verlag, der W., Berlin 1970.

6. B. Ostle: Statistics in Research, The Iowa State University Press 1969.

7. A. Linder: Planen und Auswerten von Versuchen, Birkhäuser Verlag 1969.

8. O. L. Davies: Design and Analysis of Industrial Experiments, Hafner Publishing Company, New York 1971.

9. System/360 Scientific Subroutine Package (360A-CM-03X) Version III, Programmer's Manual, IBM Application Program

10. B. Rode, J. Rodič: Statistično planiranje in vrednotenje metalurških raziskav, Zel. zbornik št. 2, 1968, stran 99.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Messergebnisse werden üblich in einem Diagramm als Punkte aufgezeichnet. Diese Punkte werden dann mit einer entsprechen Kurve verbunden.

Was für eine Kurve durch diese Punkte aufgezeichnet werden kann und welche Schlussfolgerungen über die Zusammenhänge zwischen der abhängigen und unabhängigen Variable gezogen werden können wenn wir die Prinzipien der mathematischen Statistik befolgen, ist in diesem Artikel

enthalten. Es sind zwei Beispiele beschrieben, bei denen mit Hilfe der Operationskarakteristiken die Zuverlässigkeitsgrenzen der Regresionsgleichungsparametern bestimmt werden.

Mit der Methode der orthogonalen Polynomen ist die Wichtigkeit der einzelnen Glieder im Polynom, welche die Abhängigkeit Y von X darstellt bestimmt.

SUMMARY

Experimental results are usually plotted in a diagram. Singular points are connected by a most suitable curve.

The paper describes which curve may be drawn and which conclusions on the relationship between the dependent and the independent variable can be made if the principles of mathematical statistics are obeyed. Two

examples are described where confidence intervals for the parameters of the regression equation are determined by means of operating characteristic curves.

Method of orthogonal polynomials determines the importance of single terms in polynomials which represents the relationship between Y and X.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты измерений как следует рисуем в форме точек в диаграмму. Точки соединяем в наиболее подходящую кривую.

Дано описание какую кривую можно нарисовать, и какие заключения можно вывести о соотношении между зависимыми и независимыми изменяемыми величинами, придерживаясь принципов математической статистики.

Описаны два примера при которых, при помощи оперативных характеристик, определены границы надёжности параметров уравнения регрессии. Методом ортогональных многочленов определено значение отдельных членов, что представляет собой зависимость Y от X.

RHEIN - DONAU - STAHL

WIEN - MÜNCHEN - CHUR - MILANO

OSKRBUJEMO EVROPSKE JEKLARNE IN
LIVARNE S STARIM ŽELEZOM.

SMO GENERALNI ZASTOPNIK:

RHEINSTAHL A. G.

KASSEL / B.R.D.

V HENSCHLOVIH
NAPRAVAH ZA PREDELAVO
STAREGA ŽELEZA KOT:
-ŠKARJE ZA STARO
ŽELEZO
-PAKETIRNE STISKALNICE
-NAPRAVE ZA SORTIRANJE
DELOV IZRABLJENIH
AVTOMOBILOV.

A. VOIGT
BIRKENFELD -
NAHE / B.R.D.

V ODŽIGALNIH NAPRAVAH
ZA KABLE

VPRAŠANJA IN INFORMACIJE:

RHEIN - DONAU - STAHL

HANDELSGES. M.B.H.

A 1030 WIEN, SALESIANERGASSE 5

TELEFON: 735506 SERIE
TELEX: 11908

HONEYWELL

**VODILNO PODJETJE V INTEGRIRANI
AVTOMATIZACIJI**

**VAM NUDI CELO VRSTO INSTRUMENTOV
ZA MERJENJE, REGULACIJO
IN AVTOMATIZACIJO**

Instrumentacija za procesno industrijo

Potenciometriški elektronski indikatorji, regulatorji in regulatorji — Indikatorji, regulatorji in regulatorji pretoka, temperature in pritiska — Miniaturni elektronski instrumenti — Miniaturni pnevmatski instrumenti — Regulacijski ventili s pnevmatskim in električnim pogonom — Termoelementi in pirometri — Enostavni instrumenti za merjenje in regulacijo temperature in pritiska — Procesna računalna

Mikrostikala

Standardna in miniaturna mikrostikala — Sigurnostna in miniaturna mikrostikala — Brezkontaktna stikala — Instrumenti za vgraditev (mV, mA itd.)

Honeywell je organizacija mednarodnega nivoja, ki združuje operativne oddelke za instrumentacijo kontrole gorenja, klimatizacijo in zagrevanje, procesno instrumentacijo, električne enote, mikrostikala, znanstveno instrumentacijo ter sisteme obdelave podatkov. Poglejmo zakaj je Honeywell edini v svetu v stanju nuditi aparature, naprave in tehnično pomoč za ustvaritev kompletnih programov avtomatizacije na različnih področjih in v popolnosti rešiti probleme točno po zahtevah naročnikov. V vsakem Honeywellovem instrumentu je namreč preciznost in izkušnja industrije, ki proizvaja celo 20.000 različnih proizvodov.

Regulatorji za gretje, hlajenje in klimatizacijo

Električni regulacijski sistem — Elektronski regulacijski sistem — Pnevmatški regulacijski sistem

Instrumentacija za gorilce in kotle

Oljni gorilci za gospodinjstvo — Industrijski oljni gorilci — Plinske peči za gospodinjstva — Industrijski plinski gorilci — Regulatorji za kotle

Instrumenti za laboratorijske raziskave

Pojačala in pretvorniki signala — Visicorder ascilografi — Laboratorijski potenciometriški regulatorji — XY regulatorji — Laboratorijski standardi — Monitorji — Diferencijski voltmetri in drugi precizni instrumenti — Digitalni merilni instrumenti — Korelatorji — Elektronski bio-medicinski sistemi

HONEYWELL

AUTOMATION

Sedež: Via Vittor Pisani 13 — 20124 Milano
predstavnik za Jugoslavijo: Merkantile, Praška 2, Zagreb

HÜTTENBEDARF DIPL.-ING. ROLF ZIEGLER GES.M.B.H.



Spoštovani,

naše podjetje izdeluje pomožna sredstva za jeklarne in livarne in je v stanju te proizvode izdelati v najboljši kakovosti tudi za vaše podjetje.

V informacijo dajemo kratek izvleček iz našega proizvodnega programa

Pomožna sredstva za jeklarne

Eksotermna sredstva LUNKERIT in THERMO
livni pripomoček FERROTHERM

Pomožna sredstva za livarne

sintetična premogovna moka PECARBON
eksotermna sredstva LUNKERIT in THERMO
kaluparjenje z modeli iz stiropora VOLLFORMVERFAHREN
cementno vezivo ZEMOPLAST
škrobna veziva ALBERTINE
mrzle smole, HTBOX smole, COLDBOX smole,
CRONING smole in peski
premazi za kalupe in jedra NEKROFLUID, ARKOFIX, ZIRKOFLUID
(grafit do cirkon, voda in alkohol)
premazi na bazi prahu in lepila za jedra in maske

Dosedanje dobro sodelovanje z vami, naše velike izkušnje in naš servis omogočajo največji možni uspeh.

S pozdravi

HÜTTENBEDARF
Dipl. - Ing. Rolf Ziegler
Ges. m. b. H.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Janez Barborič, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS
— sekretariat za informacije št. 421-I/72 od 20. marca 1973

Naslov uredništva: ZPSZ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-231
int. 385 — Tisk: ČP »Gorenjski tisk«, Kranj