

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Kejžar Rajko — Zelezarna Jesenice UPORABNOST KORUNDNIH NABIJALNIH MAS IN KORUNDNIH MAS ZA VROCA POPRAVILA PRI OBZIDAVI IN OBLAGANJU METALUR- SKIH PECI	81
Kovačič Slavko, Kovačič Ivo — Zelezarna Sisak POSKUSI IZDELAVE MOCNO BAZICNEGA SINTRA	99
Rodič Alenka — Zelezarna Ravne DOLOČEVANJE GLOBINE RAZOGLJICENJA PRI RAZLIČNIH VRSTAH JEKLA	105
Kimoto So. — Jeol Co. Tokyo, Japonska O RASTRSKI ELEKTRONSKI MIKROKOPIJI IN RENTGENSKI MIKROANALIZI	121
Stocca Bogdan — Zelezarna Jesenice KOVINSKA PREVLEKA S CINKOM	133
Jezeršek Aleksander — Zelezarna Jesenice PROBLEMATIČNOST DOLOČEVANJA NASTO- PANJA DELTA FERITA V AVSTENITNIH NE- RJAVNIH JEKLIH	145

1970 · LETO IV **2**

VSEBINA

- Mag. Kejžar Rajko, dipl. inž., Železarna Jesenice Stran
Uporabnost korundnih nabijalnih mas in korundnih mas za vroča popravila pri obzidavi in oblaganju metalurških peči . . . 81
DK: 666.767
ASM/SLA: RM h
- Kovačič S., dipl. inž., Kovačič I., dipl. inž., Železarna Sisak
Poskusi izdelave močno bazičnega sintra . . . 99
DK: 620.18
ASM/SLA: B 16 a
- Rodič Alenka, dipl. inž., Železarna Ravne
Določevanje globine razogljčenja pri različnih vrstah jekla 105
DK: 669—151.84
ASM/SLA: J 4 a, M 21 C
- Kimoto So, Jeol Co. Tokyo, Japonska
O rastrski elektronski mikroskopiji in rentgenski mikroanalizi 121
DK: 621—385.833
ASM/SLA: M 21 e, S 11 g
- Stocca Bogdan, dipl. inž., Železarna Jesenice
Kovinska prevleka s cinkom 133
DK: 669.586.5
ASM/SLA: L 16, Zn
- Jezeršek Aleksander, dipl. inž., Železarna Jesenice
Problematičnost določevanja nastopanja delta ferita v avstenitnih nerjavnih jeklih . . . 145
DK: 669.112.228.1
ASM/SLA: M 26 q, SSe

INHALT

<p>Mag. Rajko Kejžar, dipl. inž., Zelezarna Jesenice</p> <p>Verwendung der Korundhaltigen Stampf- massen und der Korundhaltigen Massen für die heissen Remonte bei der Ausmauerung und Verkleidung der Öfen in der Hütten- betrieben</p> <p>DK: 666.767 ASM/SLA: RM h</p>	<p style="text-align: right;">Seite</p> <p style="text-align: right;">81</p>
<p>Kovačič S., dipl. inž., Kovačič J., dipl. inž. Železarna Sisak</p> <p>Versuche zur Erzeugung von hochbasischen Sinter</p> <p>DK: 620.18 ASM/SLA: B 16 a</p>	<p style="text-align: right;">99</p>
<p>Rodič Alenka, dipl. inž., Zelezarna Ravne</p> <p>Die Bestimmung der Entkohlungstiefe bei verschiedenen Stahlsorten</p> <p>DK: 669—151.84 ASM/SLA: J 4 a, M 21 c</p>	<p style="text-align: right;">105</p>
<p>Kimoto S, Jeol Co. Tokyo, Japonska</p> <p>Die Raster Elektronenmikroskopie und die Röntgen-Mikroanalyse</p> <p>DK: 621.385.833 ASM/SLA: M 21 e, S 11 g</p>	<p style="text-align: right;">121</p>
<p>Stocca Bogdan, dipl. inž., Zelezarna Jesenice</p> <p>Metallüberzug mit Zink</p> <p>DK: 699.586.5 ASM/SLA: L 16, Zn</p>	<p style="text-align: right;">133</p>
<p>Jezeršek Aleksander, dipl. inž., Zelezarna Jesenice</p> <p>Schwierigkeiten bei der Bestimmung von Deltaferit in den austenitischen nichtrostenden Stählen</p> <p>DK: 669.112.228.1 ASM/SLA: M 26 q, SSe</p>	<p style="text-align: right;">145</p>

CONTENTS

	Page
Mag. Rajko Kejžar, dipl. inž., Železarna Jesenice	
Applicability of corundum tamping mixtures and of corundum mixtures for hot repairs for lining metallurgical furnaces	81
DK: 666.767	
ASM/SLA: RM h	
Kovačič S., dipl. inž., Kovačič J., dipl. inž. Železarna Sisak	
Trial to make a highly basic sinter	99
DK: 620.18	
ASM/SLA: B 16 a	
Rodič Alenka, dipl. inž., Železarna Ravne	
Determination of the decarburization depth in different steels	105
DK: 669—151.84	
ASM/SLA: J 4 a, M 21 c	
Kimoto S, Jeol Co. Tokyo, Japonska	
On the scanning electron microscopy and x-ray microanalysis	121
DK: 621.385.833	
ASM/SLA: M 21 e, S 11 g	
Stocca Bogdan, dipl. inž., Železarna Jesenice	
Surface coatings with zinc	133
DK: 699.586.5	
ASM/SLA: L 16, Zn	
Jezeršek Aleksander, dipl. inž., Železarna Jesenice	
Problems in determining appearance of delta ferrite in austenitic rustless steels	145
DK: 669.112.228.1	
ASM/SLA: M 26 q, SSe	

СОДЕРЖАНИЕ

- Mag. Rajko Kejžar, dipl. inž., Železarna
Jesenice
**Применение масс для трамбовки и корун-
довых масс при горячей починки и при
облицованию металлургических печей** 81
DK: 666.767
ASM/SLA: RM h
- Kovačić S., dipl. inž., Kovačić J., dipl. inž.
Železarna Sisak
**Опыты изготовления агломерата высокой
основности** 99
DK: 620.18
ASM/SLA: B 16 a
- Rodič Alenka, dipl. inž., Železarna Ravne
**Определение глубины обезуглероживания
при различных сортах стали** 105
DK: 669—151.84
ASM/SLA: J 4 a, M 21 c
- Kimoto S, Jeol Co. Tokyo, Japonska
**О сетковой электронной микроскопии и о
рентгеновым микроанализе** 121
DK: 621.385.833
ASM/SLA: M 21 e, S 11 g
- Stocca Bogdan, dipl. inž., Železarna Jesenice
Металлическое покрытие с цинком 133
DK: 699.586.5
ASM/SLA: L 16, Zn
- Jezeršek Aleksander, dipl. inž., Železarna
Jesenice
**Проблематичность определения появления
дельта феррита в нержавеющей аустенит-
ной стали** 145
DK: 669.112.228.1
ASM/SLA: M 26 q, SSe

Mag. Rajko Kejžar, dipl. inž.
Železarna Jesenice

DK: 666.767
ASM/SLA: RMH

Uporabnost korundnih nabijalnih mas in korundnih mas za vroča popravila pri obzidavi - oblaganju metalurških peči

Korundne nabijalne mase z visokim procentom Al_2O_3 (ca. 80 %) so enako kot korundne opeke z visokim procentom Al_2O_3 (ca. 85 %) primerne za oblaganje tistih delov metalurških peči, ki so podvrženi kombinirani obremenitvi — istočasnim toplotnim, mehanskim in korozivnim vplivom.

Sestava korundne nabijalne mase je podobna sestavam korundnih mas za izdelavo korundnih opek, ki so opisane v članku »Priprava in uporabnost korundnih opek v metalurgiji« (Železarski zbornik III, 1969, št. 4., str. 241—261).

Popravljanje ognjeodporne obloge peči brez predhodne ohladitve, ki je možno z uporabo korundnih mas za vroča popravila, je primeren način vzdrževanja peči, ker ima za posledico znižanje proizvodnih stroškov — skrajšanje zastojev v proizvodnji ter zmanjšanje stroškov za ognjeodporno oblogo, ki se ji zaradi rednega vzdrževanja in zmanjšanja števila pospešenih ohladitev vzdržnost izboljša.

Korundne mase za vroča popravila se razlikujejo od korundnih nabijalnih mas predvsem v količini dodatkov za izboljšanje sintranja in vezanja na preostalo oblogo, ki jo popravljamo. Laboratorijsko in praktično smo ugotovili, da je za ta namen primeren dodatek zmlatega okenskega stekla.

UVOD

Visoka ognjeodpornost, izredna trdnost ter predvsem dobra korozivna odpornost so lastnosti, ki dajejo korundnim izdelkom vse večjo uporabnost v metalurgiji. Uporabljajo se za obzidavo jeklarskih ponovc (večja vzdržnost ponovc in večja čistoča jekla), za oblaganje dna valjarniških ogrevnih peči (visoka trdnost in nereaktivnost korundne obloge pri temperaturi ca. 1200°C), za vgraditev v vrhnje sloje gradelov SM-komor (visoka ognje-

odpornost in dobra korozivna odpornost), za obzidavo gorilcev itd.

Danes, ko težnja po čimvečji storilnosti ne dopušča več dolgotrajnih remontov in popravil, se pri oblaganju metalurških peči vse bolj uveljavljajo najrazličnejše nabijalne mase, ognjeodporni betoni in mase za vroča popravila peči. Tako nabijalne mase zaradi nižje cene, enostavnejše in hitrejšje vgraditve v vedno večji meri zamenjujejo pri oblaganju peči dražje opeke. Mase za vroča popravila pa so postale nepogrešljive pri rednem vzdrževanju peči. Prednosti redne uporabe mas za vroča popravila se kažejo v skrajšanju zastojev v proizvodnji (manjša popravila obloge peči lahko opravimo kar pri delovni temperaturi — odpade dolgotrajno hlajenje ter za tem ponovno segrevanje, ki je nujno pri popravljanju peči v hladnem) in izboljšanju vzdržnosti ognjeodporne obloge peči, ki je delno posledica rednega vzdrževanja — popravljanja in obnavljanja ognjeodporne obloge (redno vzdrževanje ognjeodporne obloge je z masami za vroča popravila možno, ker pri popravilu peči pri njeni delovni temperaturi skoraj ni zastojev v proizvodnji; popravila ognjeodporne obloge v hladnem pa so zaradi večdnevne prekinitve proizvodnje lahko le občasna), delno pa posledica zmanjšanja števila ohladitev in segrevanj (večkratno pospešeno ohlajanje in segrevanje peči vpliva zelo neugodno na ognjeodporno oblogo, ki zato tudi predčasno propade).

Enostavna ter predvsem hitra vgraditev korundnih nabijalnih mas in korundnih mas za vroča popravila je razlog, da se ti korundni ognjeodporni materiali, ki imajo v vgrajenem in zasintranem stanju podobne lastnosti kot sintrane korundne opeke, v vse večji količini uporabljajo v metalurgiji za obzidavo toplotno, mehansko in korozivno obremenjenih delov metalurških peči.

I. KORUNDNE NABIJALNE MASE

1. Osnove sestave korozivsko odpornih korundnih nabijalnih mas

a) Sestava

Korundne nabijalne mase sestavljajo korundni granulati, surova glina in vezivni dodatki — sestavljene so torej podobno kot korundne mase, iz katerih izdelujemo sintrane korundne opeke.

b) Granulacijska sestava

Ker so pritiski nabijanja pri oblaganju peči s korundnimi nabijalnimi masami običajno nižji kot pri oblikovanju korundnih opek, ne more biti postavitve korundnih zrn v nabiti korundni masi tako gosta, kot je lahko v korundni masi korundne opeke, ki je stisnjena pod visokim pritiskom. V nabiti korundni masi zavzame torej več zrn postavitev v obliki kocke (najredkejša postavitve zrn — maksimalna poroznost) kot v korundni masi, stisnjeni pod visokim pritiskom.

Na osnovi računov zapolnitve praznih prostorov, ki nastanejo med delci približno enake velikosti, z bistveno manjšimi delci, sta izračunana trofrakcijska diagrama poroznosti za ekstremni postavitvi zrn:

a) za postavitev zrn v obliki kocke — maksimalna poroznost pri idealnem pomešanju (glej diagram št. 1);

*Teoretični trofrakcijski diagram poroznosti
- postavitev zrn (kroglic)
v obliki kocke
- mešanje idealno*

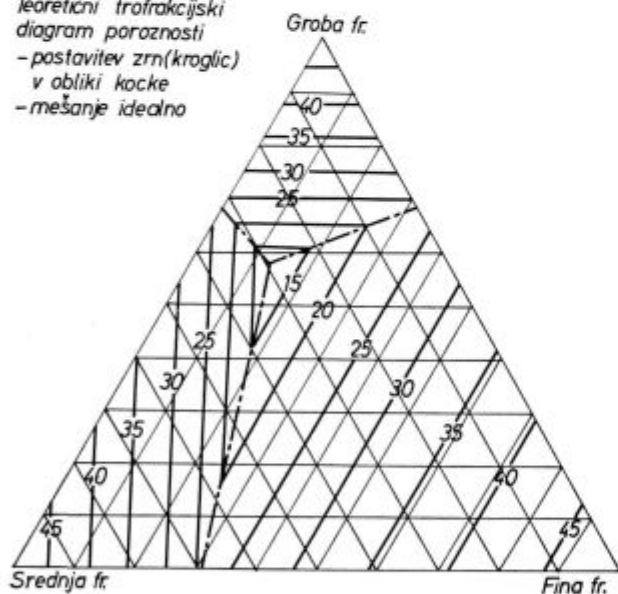


Diagram št. 1

b) za postavitev zrn v obliki tetraedra — minimalna poroznost pri idealnem pomešanju (glej diagram št. 2).

Račun zapolnitve praznih prostorov med večjimi zrnji z bistveno manjšimi zrnji in konstrukcija trofrakcijskih diagramov poroznosti sta opisana

*Teoretični trofrakcijski diagram poroznosti
- postavitev zrn (kroglic)
v obliki tetraedra
- mešanje idealno*

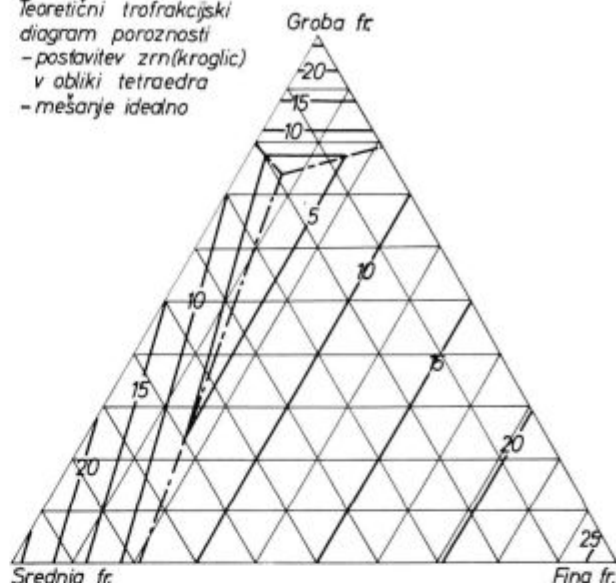


Diagram št. 2

v članku »Priprava in uporabnost korundnih opek v metalurgiji«, *Železarski zbornik III (1969) št. 4.*

Prikazana teoretično izračunana trofrakcijska diagrama poroznosti sta osnova za izbiro granulacijske sestave korundnih mas, ki jih potrebujemo za izdelavo kompaktnih gosto pakiranih korundnih izdelkov. Pri idealnem pomešanju frakcij mora biti poroznost vedno med ploskvama obeh trofrakcijskih diagramov. Območje, v katerem je lahko poroznost izbrane sestave frakcij, določata prebodišči ploskev s premico, ki to sestavo frakcij predstavlja. Kje na daljici, ki nastane med prebodiščema, bo ležala točka, ki določa dejansko poroznost izdelka, pa je odvisno od zunanjih sil (tresenja, nabijanja, stiskanja itd.), to je od količinskega razmerja med postavitvijo zrn v obliki kocke, tetraedra itd.

Ker v primerjavi s korundno maso za izdelavo gostih sintranih korundnih opek zavzame v nabiti korundni nabijalni masi več zrn postavitev v obliki kocke, mora biti v korundni nabijalni masi večji delež finih frakcij, da se bodo tako zapolnili z manjšimi zrnji tudi nastali večji prazni prostori med večjimi zrnji (pri postavitvi zrn v obliki kocke nastanejo večji prazni prostori med zrnji kot pri postavitvi zrn v obliki tetraedra).

Taka izbira granulacijske sestave korundnih zrn, ki jo prikazuje trofrakcijski diagram št. 3, se je izkazala kot zelo primerna za izdelavo korundnih nabijalnih mas. Če namreč spreminjamo granulacijsko sestavo korundnih zrn pri korundni masi, ki se je izkazala kot primerna za izdelavo korundnih opek, ki jih oblikujemo s stiskanjem pri višjih oblikovalnih pritiskih v smeri, ki jo kaže puščica, vrisana v trofrakcijskem diagramu, se količina večjih zrn (groba frakcija) zmanjša, količina bistveno manjših zrn (srednja in fina frakcija) pa povečuje (glej diagram št. 3).

Izbira granulacijske sestave za izdelavo nabijalnih mas

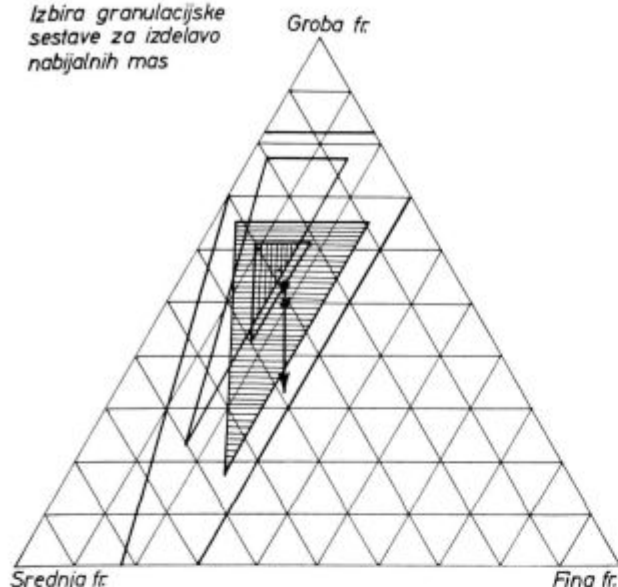


Diagram št. 3

Prikazani diagram je kombinacija obeh prej podanih trofrakcijskih diagramov poroznosti za ekstremni postavitvi zrn. Na njem označeno dvakrat črtano polje predstavlja področje najprimernejših granulacijskih sestav trofrakcijskega sistema za doseg zelo gostih izdelkov s poroznostjo 5—15 % pri idealnem pomešanju (odvisno od količinskega razmerja med različnimi oblikami postavitve zrn — kocka, tetraeder itd.). Podobno predstavlja enkrat črtano polje področje granulacijskih sestav trofrakcijskega sistema, v katerem dobimo pri idealnem pomešanju poroznost od 10—20 %. Ker pa je idealno pomešanje frakcij nemogoče, je praktično najprimernejša granulacijska sestava vedno premaknjena nekoliko v prid finejših frakcij.

Za izdelavo gostih sintranih korundnih opek smo ugotovili (»Priprava in uporabnost korundnih opek v metalurgiji« — Železarski zbornik III, 1969 št. 4), da je najprimernejša sledeča granulacijska sestava korundne mase (glej tabelo št. 1):

Tabela št. 1

Sestava korundne mase	
Groba frakcija (korund 2—3 mm)	45 ut. %
Srednja frakcija (korund 0,25—0,5 mm)	25 ut. %
Fina frakcija (korund »ciklon«)	15 ut. %
Surova glina Blatuša	15 ut. %

Iz podane granulacijske sestave korundne mase (tabela št. 1) izračunana granulacijska sestava korundnih zrn, ki je na trofrakcijskem diagramu označena s črno piko (glej diagram št. 3) pa je naslednja (glej tabelo št. 2):

Tabela št. 2

Sestava korundnih zrn	
Groba frakcija (korund 2—3 mm)	53 %
Srednja frakcija (korund 0,25—0,5 mm)	29,5 %
Fina frakcija (korund »ciklon«)	17,5 %

V trofrakcijski diagram št. 3 vrisana puščica pa predstavlja primerne granulacijske sestave korundnih zrn za pripravo korundnih nabijalnih mas.

Pri nabijanju korundnih nabijalnih mas s pnevmatskimi kladivi se je pokazala kot primerna sledeča granulacijska sestava korundne nabijalne mase (glej tabelo št. 3):

Tabela št. 3

Sestava korundne nabijalne mase	
Groba frakcija (korund 2—3 mm)	40 ut. %
Srednja frakcija (korund 0,25—0,5 mm)	25 ut. %
Fina frakcija (korund »ciklon«)	15 ut. %
Surova glina Blatuša	20 ut. %

Iz podane granulacijske sestave korundne nabijalne mase (tabela št. 3) izračunana granulacijska sestava korundnih zrn, ki je na trofrakcijskem diagramu označena s križcem (glej diagram št. 3), leži na vrisani puščici in je naslednja (glej tabelo št. 4):

Tabela št. 4

Sestava korundnih zrn	
Groba frakcija (korund 2—3 mm)	50 %
Srednja frakcija (korund 0,25—0,5 mm)	31 %
Fina frakcija (korund »ciklon«)	19 %

Izbrana granulacijska sestava korundnih zrn se nahaja v področju granulacijskih sestav, pri katerih dobimo pri idealnem pomešanju izdelke s poroznostjo od 10—20 %. Za zapolnitev teh praznih prostorov služi surova glina, ki pri pomešanju z ovlaženim granulatom najprej obda korundna zrna ter se zatem v odvisnosti od pritiska oblikovanja vrine v preostale prazne prostore med korundna zrna. Ker so pritiski oblikovanja korundnih nabijalnih mas (nabijanje) manjši kot pritiski oblikovanja korundnih opek (strojno stiskanje) ostane pri korundnih nabijalnih masah, če jih primerjamo s korundnimi masami za izdelavo opek, po oblikovanju okoli korundnih zrn debelejša plast surove gline. Da se bo surova glina tudi pri nekoliko nižjih pritiskih oblikovanja korundnih nabijalnih mas vrinila v prazne prostore med korundna zrna, mora vsebovati korundna nabijalna masa večjo količino surove gline, kot jo vsebuje korundna masa za izdelavo korundnih opek.

Tudi potreba po boljši plastičnosti korundnih nabijalnih mas zahteva, da vsebuje korundna nabijalna masa večjo količino surove glin. Zadovoljivo plastičnost korundnih nabijalnih mas dobimo pri ca. 20 ut. procentih dodatka surove glin Blatuša. Ta količina surove glin je zadostna, da zapolni preostale prazne prostore (10—20 %, v trofrakcijskem diagramu št. 3 prikazano kot enkrat črtano polje) ter obda korundna zrna — specifična teža glin je manjša kot specifična teža korunda (razmerje specifičnih tež glin : korund — ca. 2:3).

c) Dodatki za izboljšanje sintranja

Zaradi manjše gostote korundnih zrn v nabiti korundni masi moramo dodati korundni nabijalni masi večjo količino dodatkov za izboljšanje sintranja kot korundni masi za oblikovanje korundnih opek, ki jih strojno stiskamo. Le tako bomo med seboj bolj razmaknjena korundna zrna v nabiti korundni masi trdno povezali v celoto.

Ker so delovne temperature valjavniških ogrevnih peči do ca. 1200° C (korundne nabijalne mase so primerne za oblaganje dna teh peči) ter jih lahko segrejemo do temp. ca. 1350° C, temelji sintranje korundne obloge, izdelane iz korundne nabijalne mase, enako kot sintranje korundnih opek na nastanku steklaste faze, ki pri temperaturi sintranja obda korundna zrna ter jih poveže v trdno kompaktno celoto.

Pri sintranju nastaja steklasta faza zaradi taljenja dvo in tro-komponentnih evtektikov. Kot dodatke za izboljšanje sintranja uporabljamo pri pripravi korundnih nabijalnih mas predvsem fosfate (fosforno kislino, alkalijske in zemljoalkalijske fosfate ter Al-fosfat), ker je P-ion boljši steklotvorec kot Si-ion.

Količina glin in vezivnih sredstev, ki je v korundni nabijalni masi nekoliko večja kot v

korundni masi za oblikovanje korundnih opek s strojnim stiskanjem, mora biti tudi v korundni nabijalni masi čim manjša (večja le toliko, kolikor je zaradi nekoliko večje oddaljenosti med korundnimi zrn nujno potrebno), da pridejo dobre lastnosti korunda (ognjeodpornost, trdota in kemijska nereaktivnost) čimbolj do izraza.

2. Opis ogrevne peči

Uporabnost korundnih nabijalnih mas in korundnih mas za vroča popravila smo praktično preizkusili v ogrevni peči valjarne žice na Beli. Pomično in nepomično dno ogrevne peči, ki je podvrženo toplotnim (temp. ca 1200° C), mehanskim (potovanje gredic skozi ogrevno peč) in korozivskim (škaja) obremenitvam, smo obložili s korundno nabijalno maso ter opazovali obnašanje tako obzidanega dna, ki smo ga redno (po potrebi) popravljali s korundno maso za vroča popravila.

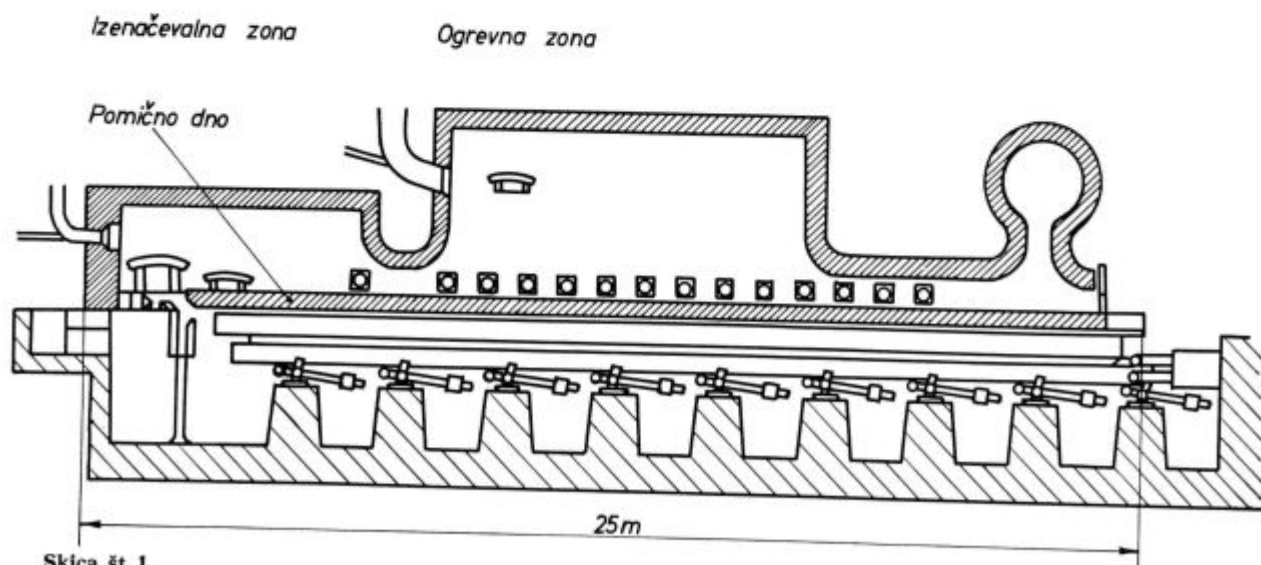
Videz ogrevne peči v žični valjarni na Beli prikazuje skica št. 1.

Pomično dno ogrevne peči prenaša gredice po peči. Gibanje pomičnega dna izvaja hidravlika. Pred pomikom po peči naprej, se pomično dno dvigne nad nepomično dno ter pri tem dvigne gredice, ki so ležale na nepomičnem dnu, in jih med pomikom naprej, ki ga pomično dno izvrši v dvignjenem položaju, prenese za ca. 30 cm po peči naprej ter pri spuščanju odloži na nepomično dno. Pomično dno se pomakne nazaj v spuščeni legi. Prenašanje gredic po peči naprej je prikazano na skici št. 2.

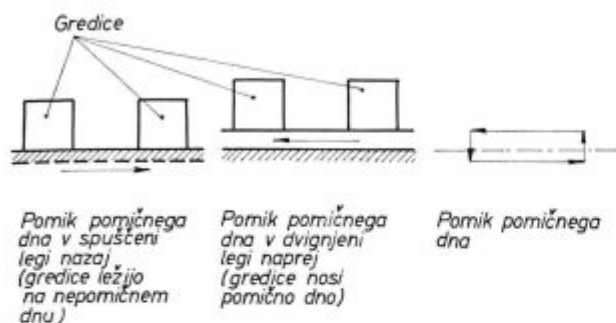
Na pomično in nepomično dno ogrevne peči delujejo sledeče obremenitve:

- a) *temperaturna*
— do ca. 1200° C
- b) *mehanska*

OGREVNNA PEČ



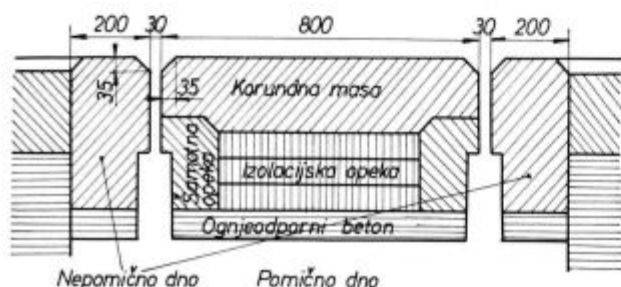
Shematični prikaz prenašanja gredic v peči



Skica št. 2

Pritisk gredic na dno ogrevne peči je odvisen od velikosti gredic ter je pri nepomičnem dnu večji kot pri pomičnem dnu (velikost ploskve, na katero pritiska gredica, je pri nepomičnem dnu manjša kot pri pomičnem dnu, to je razvidno iz skice preseka dna ogrevne peči — glej skico št. 3).

Presek dna ogrevne peči



Skica št. 3

Izračun pritiskov na pomično in nepomično dno:

(Teža gredic je ca. 250 kg, presek pa ca. 130 × 130 mm).

Pomično dno:

— velikost ploskve, na katero pritiska gredica = 13 × (80—7) cm²

$$\text{— pritisk} = \frac{250}{13 \times 73} = 0,26 \text{ kp/cm}^2$$

Nepomično dno

— velikost ploskve, na katero pritiska gredica = 13 × 2 (20—7) cm²

$$\text{— pritisk} = \frac{250}{13 \times 26} = 0,74 \text{ kp/cm}^2$$

c) Korozijska

— najedanje škae

Škaja vsebuje ca. 62 % FeO in ca. 33% Fe₂O₃. Najedanje temelji na tvorbi SiO₂-Al₂O₃-FeO evtektika, ki ima tališče pri temperaturi 1073° C in je pri delovni temperaturi ogrevne peči (ca 1200° C) že raztaljen.

3. Vzroki za vgraditev korundne nabijalne mase v dno ogrevne peči

V zadnji del dna izenačevalne zone ogrevne peči v valjarni žice na Beli, ki je podvržen kombinirani obremenitvi — istočasnim toplotnim, mehanskim in korozijskim vplivom, smo poizkusno vgradili korundne opeke, ki so bile izdelane iz korundne mase naslednje sestave:

Korund 2—3 mm	45 ut. %
Korund 0,25—0,5 mm	25 ut. %
Korund »ciklon«	15 ut. %
Surova glina Blatuša	15 ut. %

z dodatkom ca. 0,9 % P₂O₅ (dodano kot 20 % H₃PO₄ in surovi fosfat) za izboljšanje sintranja pri temp. žganja 1400° C (glej članek »Priprava in uporabnost korundnih opek v metalurgiji — železarski zbornik III., 1969, št. 4).

S korundno opeko smo obzidali mehansko najbolj obremenjene dele dna ogrevne peči, to je pomično dno in robnike nepomičnega dna (nanje odlaga pomično dno gredice), ki so v izenačevalni zoni tudi temperaturno (izenačevanje temperature gredic zaradi enakomernega pregretja na temperaturo valjanja — do ca. 1200° C) in korozijsko (škaja, ki nastane na gredici v ogrevni zoni, delno odpade v izenačevalni zoni) najbolj obremenjeni.

Opisani, s korundno opeko obzidani del dna je bil odporen proti mehanskim, toplotnim in korozijskim obremenitvam ter je popolnoma odgovarjal vsem nastalim obremenitvam med obratovanjem ogrevne peči. Po približno polletnem obratovanju so bile korundne opeke skoraj nenajedene. Vpliv učinkovanja škae se je poznal le ca. 2 mm v globino, mehansko poškodovanih — okrušenih pa je bilo le ca. 10 % opek.

Na osnovi opisanih pozitivnih rezultatov, ki smo jih dobili pri vgraditvi korundnih opek v zadnji del dna izenačevalne zone ogrevne peči v valjarni žice na Beli, smo se odločili za korundno oblogo pomičnega in nepomičnega dna tudi v ogrevni zoni in preostalem delu izenačevalne zone. Zaradi prednosti, ki jih imajo nabijalne mase pred opekami (nižja cena), enostavnejša in hitrejša vgraditev, monolitnost), smo se odločili, da bomo pri ponovnem oblaganju dna ogrevne peči (ogrevne in izenačevalne zone) uporabili korundno nabijalno maso.

4. IZBIRA SESTAVE KORUNDNE NABIJALNE MASE — LABORATORIJSKE RAZISKAVE

a) Uporabnost korundnih mas »Sestava I« in »Sestava III«

Ze pri izbiri najprimernejše sestave korundne mase za izdelavo korundnih opek (glej članek »Priprava in uporabnost korundnih opek v metalurgiji — železarski zbornik III., 1969, št. 4) smo ugotovili, da bi bili »Sestava I« in »Sestava III« primerni tudi kot korundni nabijalni masi. Pri teh sestavah dobimo že v surovem stanju precej trdne

korundne izdelke, pa tudi fizikalno kemične lastnosti žganih izdelkov, ki so bili oblikovani pod pritiskom 200 kp/cm² ali pa z nabijanjem s pnevmatskimi kladivi, so dobre.

Priprava korundnih mas »Sestava I« in »Sestava III« je sledeča: Korundni granulat najprej navlažimo z raztopino vezivnih dodatkov [Al(H₂PO₄)₃ in H₃PO₄] ter nato navlaženi mešanici korundnih zrn med mešanjem dodamo še surovo glino Blatuša in surovi fosfat, ki vsebuje ca. 90 % Ca₃(PO₄)₂ in je tudi dodatek za izboljšanje sintranja korundnih izdelkov, ki jih žgemo pri temp. pod 1400° C.

Sestava korundnih mas »Sestava I« in »Sestava III« je naslednja (glej tabelo št. 5):

Tabela št. 5

		Sestava I.	Sestava III.
Korund 2—3 mm	(ut. %)	45	45
Korund 0,25—0,5 mm	(ut. %)	25	25
Korund »ciklon«	(ut. %)	15	15
Surova glina Blatuša	(ut. %)	15	15
Gel Al (H ₂ PO ₄) ₃	(g/100 g mase)	2	—
Surovi fosfat	(g/100 g mase)	0,5	1
Tehn. 10 % H ₃ PO ₄	(ml/100 g mase)	3	—
Tehn. 40 % H ₃ PO ₄	(ml/100 g mase)	—	3

Vlažnost opisanih korundnih mas je ca 3—5 %.

Priprava gela Al (H₂PO₄)₃ je opisana v članku »Priprava in uporabnost korundnih opek v metalurgiji«, *Železarski zbornik III*, 1969, št. 4, stran 252.

Probna telesa (Ø ca. 35 mm, h ca. 35 mm), oblikovana pri 200 kp/cm² ter po osušenju toplot-

Tabela št. 6 — Kemična analiza

	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %	alkalije %
Sestava I.	82,92	7,00	4,00	0,78	0,72	2,71	1,23	0,20
Sestava III.	84,66	7,60	1,76	0,78	0,40	2,67	1,26	0,70

Tabela 7 — Fizikalno kemične lastnosti

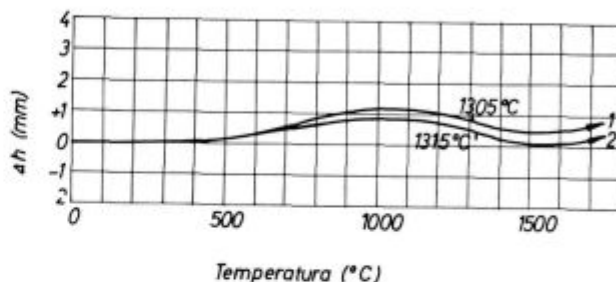
	Topl. obd. °C	Ø mm	Tl. trd. kp/cm ²	Sp. teža kp/cm ³	Porozn. %	Ta toč. °C	Temp. sp.
Sestava I.	105	35,9	130				
	800	35,9	280		21,5	nad 1700	
	1400	36,1	750	3,51	20,5	(1305)	nad 10
Sestava III.	105	35,9	85				
	800	35,9	250		23,6	nad 1700	
	1400	36,3	1005	3,53	20,4	(1315)	nad 10

no obdelana na 3 različne načine (le osušena pri 105° C ter žgana pri 800 in 1400° C) so imela sledeče fizikalno kemične lastnosti (glej tabelo št. 6 in št. 7).

Pri določanju Ta - točke nastopi v temperaturnem območju med 1000 in 1500° C malo posedenje — premik korundnih zrn (zgostitev), ki v temperaturnem območju tvorbe eitektikov (steklaste faze) zavzamejo gostejšo postavitev. Posedenje se jasno vidi v temperaturnem diagramu določanja Ta - točke (glej diagram št. 4)

Temperaturni diagram določanja Ta - točke

1 - Sestava I.
2 - Sestava III



Velikost probnih teles : Ø cca. 35 mm, h cca. 35 mm

Pritisk oblikovanja : 200 kp/cm²

Toplotna obdelava : 800 °C

Diagram št. 4

Iz kemične analize in rezultatov fizikalno kemičnih določitvev je razvidno, da sta obe opisani korundni sestavi mas (Sestava I in Sestava III) primerni kot korundni nabijalni masi.

Od korundne mase »Sestava II«, ki se uporablja za izdelavo kompaktnih korozijskih odpornih korundnih opek, ki jih oblikujemo pod visokimi pritiski, se omenjeni sestavi korundnih mas razli-

kujeta le v dodatkih za izboljšanje sintranja (»Sestava II« — ca. 0,9 % P_2O_5 v obliki surovega fosfata, in tehn. 20 % H_3PO_4 ; »Sestava I« — ca. 1,2 % P_2O_5 v obliki gela Al-fosfata, surovega fosfata in tehn. 10 % H_3PO_4 ; »Sestava III« — ca. 1,3 % P_2O_5 v obliki surovega fosfata in tehn. 40 % H_3PO_4).

Korundna masa »Sestava I« bi bila glede na nekoliko boljše fizikalne lastnosti v osušenem stanju primernejša za nabijanje, ker pa je zaradi uporabe gela Al (H_2PO_4)₃, ki ga moramo posebej pripraviti, dražja kot korundna masa »Sestava III«, ki se v fizikalno kemičnih lastnostih ne razlikuje bistveno od korundne mase »Sestava I«, je korundna masa »Sestava III« ekonomsko primernejša.

b) *Priprava korundnih nabijalnih mas na osnovi teoretskih predvidevanj — razvoj korundne mase »Sestava III« v korundno nabijalno maso*

Ker so pritiski nabijanja korundnih nabijalnih mas s pnevmatskimi kladivi (okoli 200 kp/cm² in manj) nižji kot pritiski oblikovanja korundnih opek

(200—600 kp/cm²) in ker so zato korundna zrna v pnevmatsko nabitem izdelku bolj razmaknjena kot v stisnjeni surovi korundni opeki (več korundnih zrn zavzame postavitev v obliki kocke), je za pripravo korundnih nabijalnih mas primernejša granulacijska sestava z nekoliko manj grobe korundne frakcije in nekoliko več surove gline (teoretično obdelano v poglavju I. 1. »Osnove sestave korozivsko odpornih korundnih nabijalnih mas«).

Korundno nabijalno maso smo pripravili podobno kot korundne mase za izdelavo opek, in to na sledeč način:

Korundni granulati smo najprej navlažili ter zatem med mešanjem primešali še surovo glino Blatuša in surovi fosfat.

Surova glina in surovi fosfat oblečeta vlažna korundna zrna — se enakomerno porazdelita med korundna zrna. Dobimo homogeno korundno nabijalno maso.

Sestava korundne nabijalne mase, pripravljene na osnovi teoretskih predvidevanj, je naslednja (glej tabelo št. 8):

Tabela št. 8

		A	B
Korund 2—3 mm	(ut. %)	40	40
Korund 0,25—0,5 mm	(ut. %)	25	25
Korund »ciklon«	(ut. %)	15	15
Surova glina Blatuša	(ut. %)	20	20
Surovi fosfat, ca. 90 %			
Ca ₃ (PO ₄) ₂	(g/100 g mase)	1	2
Tehn. conc H_3PO_4 , $\sigma = 1,67$ g/cm ³	(ml/100 g mase)	1,5	—

Vlažnost pripravljene korundne nabijalne mase je ca. 3—5 %. Pred uporabo jo moramo po potrebi ponovno navlažiti — pri vskladiščenju se korundna nabijalna masa delno osuši.

Pri pripravi korundne nabijalne mase smo korundna zrna navlažili predvsem zato, da se surova glina in surovi fosfat nanje prilepita ter tako enakomerno porazdelita med korundna zrna. Po taki pripravi korundne nabijalne mase je tudi kasneje pri presipanju in transportu razmešanje korundne mase znatno manjše.

Iz korundne nabijalne mase pripravljena probna telesa (\varnothing ca. 35 mm, h ca. 35 mm), ki so bila oblikovana s stiskanjem na 200 kp/cm² in po temeljitem osušenju toplotno obdelana sledeče: le osušena pri 105^o C ter žgana pri 600, 800, 1000, 1200, 1300 in 1400^o C, so imela naslednje fizikalno kemične lastnosti (glej tabela št. 9 in št. 10):

Tabela št. 9 — Kemična analiza

	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %
A	79,15	13,20	1,12	1,12	0,97	2,10	1,41
B	80,58	11,80	2,24	1,57	0,48	1,93	0,51

Tabela št. 10 — Fizikalno kemične lastnosti

	Topl. obd. °C	\varnothing mm	Tl. trd. kp/cm ²	Sp. teža g/cm ³	Porozn. %	Ta-toč. °C	Temp. sp.
A	105	35,9	180				
	800	35,9	375	3,48	20,4	1665(1195)	
	1300	36,6	750	3,32	22,7	1640(1430)	nad 10
	1400	37,0	660	3,33	25,8		nad 10
B	105	35,9	50				
	800	35,9	280	3,62	21,4	nad 1700(1440)	
	1300	35,9	1030	3,34	12,8	1650	4
	1400	36,0	1110	3,35	14,1		5

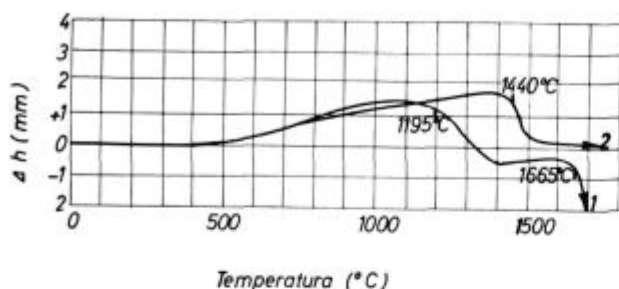
Pri določanju Ta-točke nastopi v temperaturnem območju taljenja evtektikov (1000—1500^o C) malo posejdenje (premik korundnih zrn — zgostitev), podobno kot pri »Sestavi I« in »Sestavi III«. Posejdenje je pri vzorcih pripravljenih iz korundne nabijalne mase sestave »A«, ki vsebuje nekoliko večjo količino dodatkov za izboljšanje sintranja (tvorbo steklaste faze), izrazitejše. Pri predhodno sintranih vzorcih pri temp. 1300^o C je posejdenje

manj izrazito: tako pri vzorcu sestave »B«, ki je predhodno sintran pri temp. 1300° C, ne nastopi posebenje (glej diagram št. 5 in št. 6).

Odvisnost zasintranja korundne mase od temperature sintranja lepo kažejo tlačne trdnosti probnih teles zasintranih pri različnih temperaturah (glej tabelo št. 11 in diagram št. 7).

Temperaturni diagram določanja T_a -točke

- 1 - Sestava A
2 - Sestava B

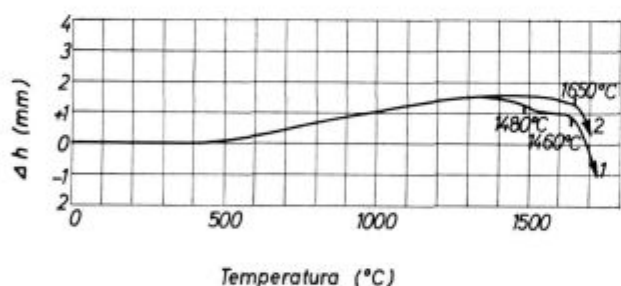


Velikost probnih teles : ϕ cca. 35 mm, h cca. 35 mm
Pritisk oblikovanja : 200 kp/cm²
Toplotna obdelava : 800 °C

Diagram št. 5

Temperaturni diagram določanja T_a -točke

- 1 - Sestava A
2 - Sestava B



Velikost probnih teles : ϕ cca. 35 mm, h cca. 35 mm
Pritisk oblikovanja : 200 kp/cm²
Toplotna obdelava : 1300 °C

Diagram št. 6

Tabela 11

Toplotna obdelava °C	Tlačna trdnost kp/cm ²	
	A	B
105	180	50
600	300	200
800	375	280
1000	365	300
1200	620	530
1300	750	1030
1400	680	1110

Odvisnost tlačne trdnosti (sintranja) oblikovanih korundnih nabijalnih mas od toplotne obdelave

- 1 - uporaba tehnične H₃PO₄ kot dodatek za izboljšanje sintranja (sestava korundne nab. mase „A“)
2 - uporaba suravega fosfata kot dodatek za izboljšanje sintranja (sestava korundne nab. mase „B“)

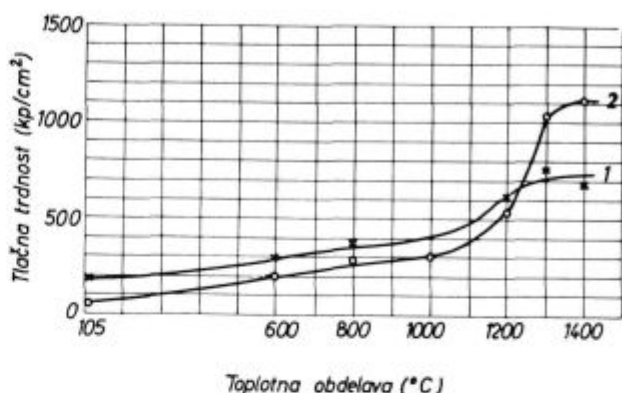


Diagram št. 7

Iz tabele št. 11 in diagrama št. 7 je razvidno, da je za sintranje korundnih izdelkov in nabitih delov peči, ki jih pripravimo z nabijanjem iz opisanih korundnih nabijalnih mas (sestava »A« in sestava »B«), nujno potrebna temperatura 1250° C.

Sestavi korundnih nabijalnih mas »A« in »B« imata zaradi nekoliko večjega dodatka surove gline Blatuša znatno boljšo oblikovalnost kot sestavi »I« in »III«, glede fizikalno kemijskih lastnosti pa se izdelki iz sestav »A« in »B« ne razlikujejo bistveno od izdelkov iz sestave »I« in »III«. Zaradi bolj ugodne granulacijske sestave imajo izdelki iz sestav »A« in »B« tudi nekoliko nižjo poroznost in višjo tlačno trdnost — to je jasno razvidno predvsem pri izdelkih sestave »B«. (Izdelki sestave »A« pri žganju na temp. 1300 in 1400° C nekoliko nabrekajo zaradi kemičnih reakcij med H₃PO₄ in ostalo korundno maso, v kateri je 20 ut. % surove gline Blatuša).

Izdelki iz korundne nabijalne mase sestave »A« imajo v osušenem in pri nižjih temperaturah (okoli 800° C) žganem stanju nekoliko boljše fizikalne lastnosti (pri učinkovanju H₃PO₄ na korundno maso nastale soli utrdijo te izdelke) kot izdelki, narejeni iz korundne nabijalne mase sestave »B«, ki pa so trdnjši in gostejši po žganju pri višjih temperaturah (nad 1200° C), ker skoraj ne nabrekajo.

Slabo stran korundne nabijalne mase sestave »B« — nizko trdnost v surovem stanju — odstranimo tako, da po nabijanju površino nabite korundne mase tanko premažemo s H₃PO₄. Del peči, obložen s korundno nabijalno maso sestave »B«, tanko površinsko premazan s H₃PO₄, ima dobre fizikalne lastnosti tako v surovem kot v zasintranem stanju.

Slaba stran korundne nabijalne mase sestave »A« je poleg nabrekavanja pri visokih temperaturah sintranja (nad 1200° C) še sproščanje H₂S (ta

problem nastopi tudi pri premazovanju dela peči, ki je obložen s korundno nabijalno maso sestave »B«, s H_3PO_4 , ki nastaja pri učinkovanju H_3PO_4 na korundna zrna, ki vsebujejo primesi kovinskih sulfidov (elektro taljeni korund se za tehnične namene pripravlja s taljenjem boskita; pri tem se žveplo, ki ga boksit vsebuje, reducira v sulfidno obliko). Večina H_2S se razvije že pri izdelavi te korundne nabijalne mase, tako da mora imeti mešalec, v katerega dodajamo H_3PO_4 , dobro urejeno zračenje — močne ventilatorje. Ker pa se del H_2S lahko sprošča tudi pri sami vgraditvi — nabijanju omenjene mase, moramo tudi tu poskrbeti za zračenje.

5. Izdelava korundne ognjeodporne obloge — uporaba korundne nabijalne mase

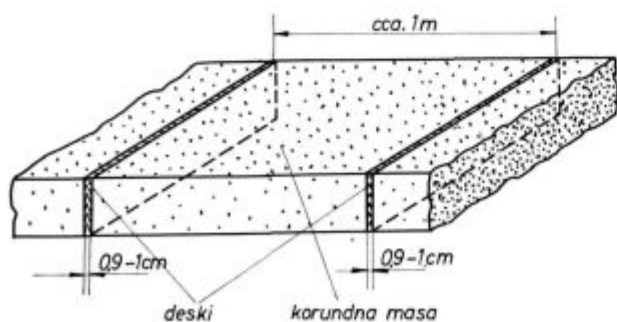
a) Vgraditev

S korundno nabijalno maso sestave »B«, ki je cenejša (H_3PO_4 je zamenjana s surovim fosfatom), primernejša za nabijanje (H_2S se ne razvija) glede fizikalnih lastnosti v vgrajenem zasintranem stanju pa boljša kot korundna nabijalna masa sestave »A«, smo obložili pomično in nepomično dno ogrevne in izenačevalne zone ogrevne peči v valjarjni žice na Beli.

Tik pred vgraditvijo (nabijanjem) smo korundno nabijalno maso primerno navlažili. Med prevozom in vskladičenjem se je delno osušila, da je postala primerna za nabijanje, zato smo morali manjkajočo vlago nadomestiti. Najprimernejša vlažnost korundne nabijalne mase je 3—5 %.

Primerno navlaženo korundno nabijalno maso smo nabijali s pnevmatskimi kladivi. Nabijati moramo pazljivo in v tankih plasteh, tako da postane nabita korundna masa skoraj brez plasti (monolitna), gosta in trda. Da pri segrevanju ne bi prišlo v nabiti korundni masi zaradi raztezanja do napetosti, moramo s korundno nabijalno maso nabite večje dele peči fugirati, podobno kot podobne Plibrice mase, to je 1 cm/m. Pri vgradnji (nabijanju) korundne nabijalne mase v dno ogrevne peči smo fugirali z lesenimi deskami debeline ca. 1 cm, ki smo jih vgradili v nabito korundno maso na razdalji ca. 1 m (glej skico št. 4).

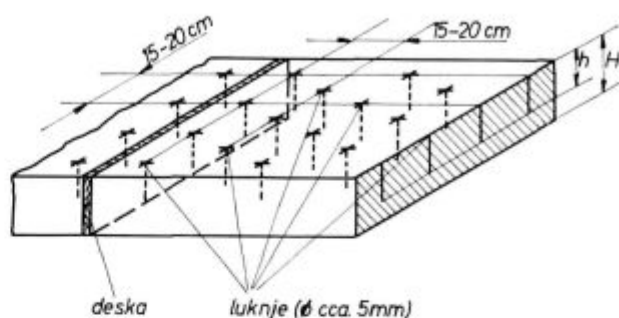
Fugiranje pri vgraditvi korundne nabijalne mase v dno ogrevne peči



Skica št. 4

Zaradi boljšega sušenja nabite korundne mase moramo vanjo zvrtnati luknje (\varnothing ca. 5 mm in globine min. 70 % debeline nabite korundne mase) na razdalji 15—20 cm (glej skico št. 5).

Lega lukenj, ki omogočajo dobro sušenje nabite korundne mase



h = globina lukenj
 H = debelina nabite korundne mase
 $\frac{h}{H} = \text{min. } 0,7$

Skica št. 5

Zaradi površinske utrditve in utrditve robov smo nabito korundno maso površinsko tanko prevlekli s tehnično fosforno kislino (1:1). Fosforna kislina reagira s korundno maso, nastale soli utrdijo premazane dele površine, zaradi sproščanja H_2S pa moramo poskrbeti za intenzivno zračenje (postavitev ventilatorjev).

b) Sušenje, segrevanje in žganje

Dolgotrajno sušenje, segrevanje in žganje je slaba stran ognjeodpornih betonov in nabijalnih mas. Ker te ognjeodporne proizvode vgrajujemo v vlažnem stanju, moramo prisotno vodo počasi in previdno odpraviti. Vgrajeni ognjeodporni beton, oz. nabijalno maso moramo zato najprej temeljito osušiti ter šele za tem počasi segrevati (hitro segrevanje in nezadostno osušenje povzroči prehitro odhlapevanje vode, površina se hitreje osuši kot notranjost. Zaradi različnega krčenja površine in notranjosti nastopijo napetosti — vgrajeni beton, oz. nabijalna masa razpokata. Vzrok razpokam je tudi zaostala vlaga v notranjosti, ki zaradi krčenja površine pri prehitrem segrevanju ne more dovolj hitro prodreti na površino ter se upari v notranjosti in tako povzroča še dodatne napetosti). Opisanim problemom sušenja in segrevanja so ognjeodporni betoni bolj podvrženi kot ognjeodporne nabijalne mase — vlažnost ognjeodpornih betonov je večja kot vlažnost ognjeodpornih nabijalnih mas.

Tudi odstranjevanje vezane H_2O in najrazličnejše kristalne spremembe, ki nastopajo pri segrevanju oblog iz ognjeodpornih betonov oz. nabijalnih mas, zahtevajo počasno in pazljivo segrevanje.

Pri sušenju korundne nabijalne mase, ki vsebuje ca. 3—5 % vlage, moramo po premazanju

nabite korundne mase s tehn. H_3PO_4 (1:1) sušiti brez segrevanja min. 24 ur.

Po temeljitem osušenju pri normalni temperaturi pričemo s počasnim segrevanjem, da do temp. $200^\circ C$ počasi odstranimo vso nevezano vodo. Segrevanje pri odstranjevanju vezane vode pa je pri korundnih nabijalnih masah vezano le na obnašanje surove gline, saj korundni granulati ne veže vode, dodatki za izboljšanje sintranja (suvi fosfat) pa so prisotni le v majhnih količinah. Kritična temperatura za odstranjevanje vezane vode pri sušenju nabitih korundnih mas je lepo razvidna iz diagrama odstranjevanja vode s segrevanjem glinenih mineralov: kaolinita, montmorilonita in ilita (glej diagram št. 8) in iz diagrama diferencialno termične analize glinenih mineralov: kaolinita, montmorilonita in ilita (glej diagram št. 9).

Odstranjevanje vode s segrevanjem iz glinenih mineralov

1 - kaolinit
2 - montmorilonit
3 - ilit

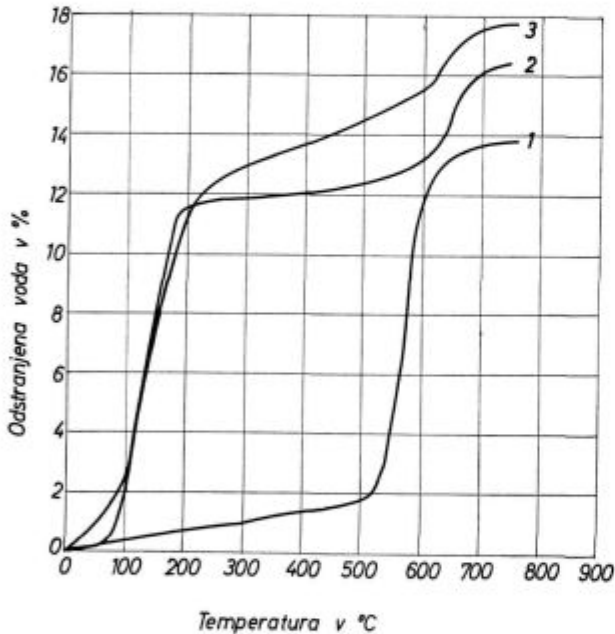
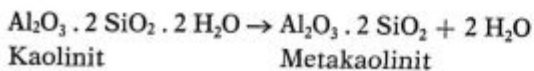


Diagram št. 8

Izvor kristalnih sprememb med segrevanjem nabite korundne mase so surova glina in dodatki za izboljšanje sintranja.

Ker pa je v korundni masi le 20 % surove gline in ca. 2 % dodatkov za izboljšanje sintranja, so kristalne spremembe, kot na primer:

— razgradnja glinenih mineralov pri temp. ca. $500^\circ C$,



Diferencialno termična analiza glinenih mineralov

1 - kaolinit
2 - montmorilonit
3 - ilit

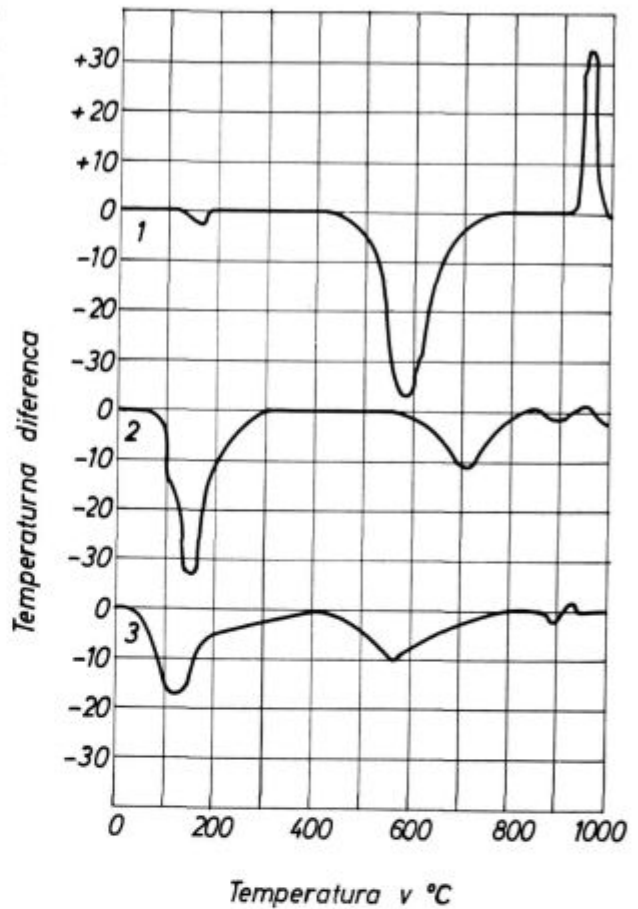
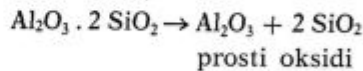
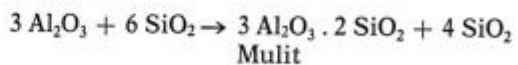


Diagram št. 9

— razpad metakaolinita pri temp. območju $700-780^\circ C$,



— nastajanje mulita pri temperaturah nad $900^\circ C$,



— pretvorbe prostega in sproščenega SiO_2 ,

— nastajanje evtektikov; tvorba silikatnih in fosfatnih stekel,

— skoraj popolnoma zabrisane, saj se korundnemu granulatu, ki je mineraloško αAl_2O_3 , kristalna struktura s segrevanjem ne spreminja.

Na osnovi navedenih teoretičnih dejstev je bil postavljen temperaturni režim sušenja, segrevanja in sintranja ognjeodporne obloge iz opisane korundne nabijalne mase po temeljitem osušenju pri normalni temperaturi (glej diagram št. 10).

Temperatni režim sušenja, segrevanja in sintranja ognjeodporne obloge iz korundne nabijalne mase

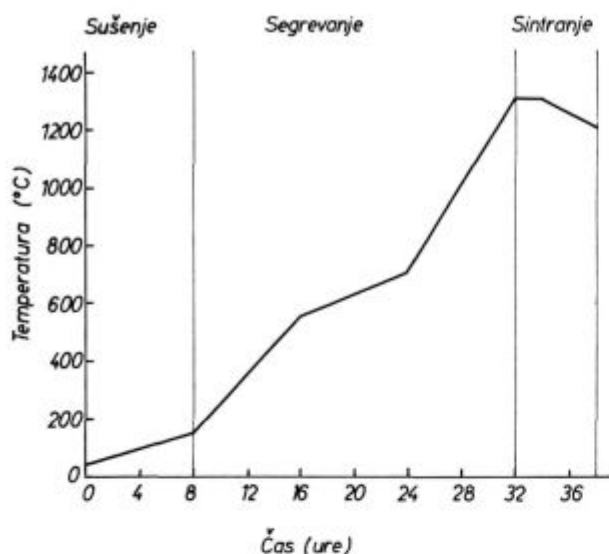


Diagram št. 10

c) *Obnašanje s korundno nabijalno maso obloženega dna med obratovanjem*

S korundno nabijalno maso obloženo pomično in nepomično dno ogrevne in izenačevalne zone ogrevne peči, je obratovalo brezhibno — praktično brez okvar ca. 4 mesece. Potrebno je bilo le redno vzdrževanje peči — izravnavanje dna, to je zasipavanje v dolbin (po potrebi) in redno čiščenje škaje, ki pa je enostavnejše, če je dno obloženo s korundno maso, kot če je obloženo s šamotno maso, ker se na korundno oblogo škaja manj trdno lepi kot na šamotno oblogo.

Po približno štirimesečnem obratovanju je prišlo na dnu ogrevne peči, ki je bilo obloženo s korundno nabijalno maso, do mehanske okvare. Pomično dno, ki je zaradi vpliva temperature delno skrivljeno, je pri pomiku navzgor mehansko poškodovalo nepomično dno, tako da je z naslonitvijo na nepomično dno (konstrukcija pomičnega dna dopušča nihanje pomičnega dna do nepomičnega dna) pri pomiku navzgor odtrgalo del nepomičnega dna (pri pomiku navzdol pa se lahko tudi samo na podoben način poškoduje). Odtргani del pomičnega ali pa nepomičnega dna je potem vzrok še večjih poškodb, ki jih povzročajo gredice, ki pridejo v poškodovani del dna peči.

Vzroki za naslonitev pomičnega dna na nepomično dno so: predvsem temperaturna skrivljenost pomičnega dna, neenakomeren dvig gredic pri prenašanju teh po peči in skrivljenost gredic (oboje ima za posledico sukanje gredic v peči) ter od oboka odpadli kosi opek (ti se lahko zagzdijo med pomično in nepomično dno, povzročajo pa lahko tudi sukanje gredic v peči).

Z izboljšavo konstrukcije pomičnega dna ogrevne peči (da se pomično dno ne bo moglo nasloniti na nepomično dno), se bo tudi vzdržnost

s korundno nabijalno maso obloženega dna znatno izboljšala, saj so rezultati praktičnega obratovanja tako obloženega dna ogrevne peči pokazali, da je korundna obloga izdelana iz korundne nabijalne mase dobro odporna proti vsem ostalim toplotnim, mehanskim in korozivnim obremenitvam, ki delujejo na dno ogrevne peči.

II. KORUNDNE MASE ZA VROČA POPRAVILA PEČI

1. Namen vročega popravila

Z rednimi vročimi popravili (vzdrževanjem peči) hočemo doseči predvsem skrajšanje zastojev v proizvodnji in izboljšanje vzdržnosti celotne ognjeodporne obloge.

Pri popraviljanju ognjeodporne obloge peči brez predhodne ohladitve, ki je možno z uporabo korundnih mas za vroča popravila, odpade dolgotrajno hlajenje ter zatem ponovno segrevanje, ki je nujno pri popraviljanju ognjeodporne obloge peči v hladnem. Ker se čas popravila obloge peči znatno skrajša, je možno na ta način oblogo peči redno popravljati — vzdrževati. Zaradi rednega vzdrževanja obloge pride dosti redkeje do večjih okvar (manjše okvare obloge sproti vroče popravljamo), ki zahtevajo popravilo v hladnem stanju, zato tudi redkeje peč ohlajamo in segrevamo. Ognjeodporna obloga peči, ki jo redno vzdržujemo, je torej manj pogosto podvržena pospešenemu ohlajanju in segrevanju, ki zelo neugodno vpliva na njeno vzdržnost.

Z uporabo mas za vroča popravila ognjeodporne obloge peči (rednim vzdrževanjem) se torej zmanjšajo zastoji v proizvodnji (vse manjše okvare ognjeodporne obloge popravimo kar pri delovni temperaturi peči — odpade dolgotrajno hlajenje in segrevanje), vzdržnost celotne ognjeodporne obloge peči (obok, stene in dno) pa se poveča (delno posledica rednega popraviljanja obloge, delno pa posledica zmanjšanja števila pospešenih ohladitev in segrevanj).

2. Osnovne sestave korundnih mas za vroča popravila peči

a) Sestava

Podobno kot korundne nabijalne mase so tudi korundne mase za vroča popravila peči sestavljena iz korundnega granulata, surove gline in vezivnih dodatkov.

b) Granulacijska sestava

Pri popraviljanju ognjeodporne obloge s korundnimi masami za vroča popravila so pritiski oblikovanja v primerjavi z nabijanjem in stiskanjem zelo nizki, saj gre pri popraviljanju ognjeodporne obloge peči v vročem stanju v glavnem le za zravnjanje vnesene korundne mase v vroči peči. Pri takem načinu popraviljanja ognjeodporne obloge bo torej še več zrn zavzelo postavitev v obli-

ki kocke kot pri oblikovanju s stiskanjem ali pa nabijanem. Da pa bomo dobili tudi pri tem načinu popraviljanja peči popravljene del ognjeodporne obloge razmeroma gost, moramo izbrati granulacijsko sestavo tako, da je pri postavitvi večjih zrn v obliki kocke ravno prav srednjih in finih zrn, da zapolnijo prazna mesta med večjimi zrni.

Iz teoretično izračunanega trofrakcijskega diagrama poroznosti za postavitev zrn v obliki kocke (glej diagram št. 1) je izbrana teoretično najprimernejša granulacijska sestava korundnih zrn za doseg največje gostote sledeča (glej tabelo št. 12):

Tabela 12

Sestava korundnih zrn	
Groba frakcija (korund 2—3 mm)	58 %
Srednja frakcija (korund 0,25—0,5 mm)	29 %
Fina frakcija (korund »ciklon«)	13 %

Ker so pri popravljanju peči v vročem stanju oblikovalni pritiski zelo nizki, moramo pri pripravi korundnih mas za vroča popravila uporabiti enako kot pri pripravi korundnih nabijalnih mas precej surove gline (20—25 ut. %). Surova glina obda ovlažena korundna zrna — tako postane korundna masa plastična, plastičnost pa se še poveča z dodatnim navlaženjem.

S podano teoretično sestavo korundnih zrn v korundni masi za vroča popravila dobimo nizko poroznost popravljenih delov ognjeodporne obloge peči le pri idealnem pomešanju. Ker praktično nikdar ne dosežemo idealnega pomešanja, je najprimernejša granulacijska sestava korundnih zrn v korundni masi za vroča popravila enaka kot v korundni nabijalni masi (glej tabelo št. 4). Primanjkljaj finih frakcij (postavitev korundnih zrn je zaradi zelo nizkih oblikovalnih pritiskov redkejša kot pri nabijanju v nabiti korundni nabijalni masi — primerna granulacijska sestava je zato premaknjena še bolj kot pri korundni nabijalni masi v prid finejših zrn — glej diagram št. 3) pa dopolni večja količina fino zmletih dodatkov za izboljšanje sintranja (fino zmleto okensko steklo).

c) Dodatki za izboljšanje sintranja

Ker so korundna zrna v popravljenem delu ognjeodporne obloge (vroče popravilo) precej razmaknjena (postavitev zrn v obliki kocke), je za njihovo povezavo potrebno, da nastane več steklaste faze kot pri ostalih bolj zbitih, oz. stisnjenih korundnih masah. Količino steklaste faze lahko povečamo tako, da korundni masi kar dodamo potrebno količino zmletega okenskega stekla. Tako dobimo korundne mase, ki so pri temperaturi ca. 1300° C plastične, pri delovni temperaturi ogrevne peči (do ca. 1200° C) pa le delno plastične, tako da se popravljene robovi ne morejo krušiti, temveč se le zaokrožijo, popravljeno dno pa se pod obre-

menitvijo delno posede — stisne za ca. 10 %) ter pri tem pridobi na trdnosti (postopoma dobimo gostejšo postavitev korundnih zrn).

3. Izbira sestave korundne mase za vroča popravila — laboratorijske raziskave

a) Izbira granulacijske sestave in vpliv surove gline na kvaliteto sintranja korundnih mas za vroča popravila

Na osnovi trofrakcijskega diagrama poroznosti (glej diagram št. 3) smo izbrali tako granulacijsko sestavo korundne mase za vroča popravila, da sestava korundnih zrn približno ustreza praktično najprimernejši granulacijski sestavi, pri kateri zrna zaradi nizkih oblikovalnih pritiskov zavzema-jo v precejšnjem številu postavitev v obliki kocke (glej tabelo št. 4). Granulacijska sestava korundnih zrn v korundni masi za vroča popravila naj bo torej podobna granulacijski sestavi korundnih zrn v korundni nabijalni masi.

Za ugotovitev vpliva surove gline na kvaliteto sintranja smo primerjali korundno maso »Sestava III«, ki vsebuje 15 ut. % surove gline, s korundno maso, ki vsebuje 25 ut. % surove gline. Obe korundni masi imata vlažnost 3 % in enake dodatke za izboljšanje sintranja (obe vsebujeta na 100 g mase po ca. 1 ml tehn. conc. H₃PO₄ in 1 g surovega fosfata), pa tudi v granulacijski sestavi korundnih zrn med obema masama ni bistvenih razlik.

Sestava korundne mase »Sestava III« s 15 ut. % surove gline je sledeča (glej tabelo št. 13):

Tabela 13

	Sestava korundne mase »Sestava III« (ut. %)	Granulacija kor. zrn %
Groba frakcija (korund 2—3 mm)	45	53
Srednja frakcija (korund 0,25—0,5 mm)	25	29
Fina frakcija (korund »ciklon«)	15	18
Surova glina		
Blatuša	15	

Sestava korundne mase za vroča popravila s 25 ut. % surove gline je sledeča (glej tabelo št. 14):

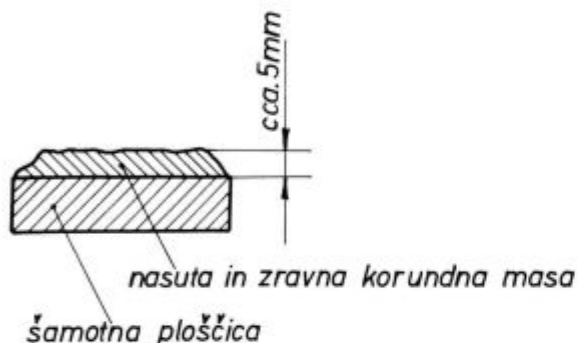
Tabela 14

	Sestava kor. mase za vroča popravila (ut. %)	Granulacija kor. zrn %
Groba frakcija (korund 2—3 mm)	40	54
Srednja frakcija (korund 0,25—0,5 mm)	25	33
Fina frakcija (korund »ciklon«)	10	13
Surova glina		
Blatuša	25	

Primerjavo kvalitete sintranja obeh opisanih korundnih mas v nasutem in zravnanim stanju smo izvedli na sledeči način:

Na šamotno ploščico smo v električni peči pri temperaturi ca. 800° C nasuli korundno maso ca. 5 mm visoko in jo zravnali (glej skico št. 6) ter zatem sintrali pri različnih temperaturah od 1000 do 1300° C. Pri sintranju smo na osnovi vezanja zrn in zasintranja z osnovno ploščico ugotavljali uporabnost preiskovanih korundnih mas za vroča popravila.

Presek nasute in zravnane korundne mase na šamotni ploščici



Skica št. 6

Pri primerjanju opisanih sestav smo ugotovili, da je sestava s 25 % surove gline Blatuša znatno primernejša za vroča popravila peči kot »Sestava III«, ki ima 15 ut. % surove gline Blatuša, vendar še vedno ne sintra dovolj dobro, ker ima premalo dodatkov za izboljšanje sintranja.

b) Vpliv večje količine vezivnih dodatkov (H₃PO₄, surovi fosfat in vodno steklo) na kvaliteto sintranja korundnih mas za vroča popravila

Na osnovi ugotovitve, da so korundne mase, ki smo jih opisali v prejšnjem poizkusu, neprimerne kot korundne mase za vroča popravila zato, ker vsebujejo premalo dodatkov za izboljšanje sintranja, smo pripravili novi korundni masi za vroča popravila, ki se od prejšnjih razlikujeta le v vsebnosti vezivnih dodatkov.

Sestava novih korundnih mas za vroča popravila je bila sledeča:

Korund 2—3 mm	40 ut. %
Korund 0,25—0,5 mm	25 ut. %
Korund »ciklon«	10 ut. %
Surova glina Blatuša	25 ut. %

Novi korundni masi se med seboj razlikujeta le v dodatkih za izboljšanje sintranja.

Sestava »a« vsebuje na 100 g mase 1,5 ml tehnične H₃PO₄ ($\sigma = 1,67 \text{ g/cm}^3$), 1,5 ml K vodnega stekla ($\sigma = 1,32 \text{ g/cm}^3$) in 2 g surovega fosfata.

Sestava »b« vsebuje na 100 g mase 2 ml tehnične H₃PO₄ ($\sigma = 1,67 \text{ g/cm}^3$) in 1,5 ml K vodnega stekla ($\sigma = 1,32 \text{ g/cm}^3$).

Sintranje obeh opisanih sestav mas za vroča popravila je približno enako in je pri 1300° C v nasutem stanju že zelo dobro, pa tudi vezanje z osnovno ploskvijo je pri tej temperaturi zadovoljivo. Slaba stran teh sestav korundnih mas za vroča popravila pa je krhkost, zato ti korundni masi nista primerni za popravilo robov.

Ker v vsakem delu ogrevne peči ni mogoče doseči temperature 1300° C, tudi pri uporabi omejenih korundnih mas za vroča popravila ne dobimo vedno dobrega zasintranja vnesene korundne mase z osnovno maso dna peči.

Za vroča popravila moramo pripraviti tako korundno maso, ki sintra v nasutem stanju že pri temp. ca. 1100° C in da pri sintranju na 1200 do 1300° C močno zasintrane produkte, ki se trdno vežejo z osnovno maso dna peči.

c) Uporaba stekla za pripravo korundne mase za vroča popravilo peči

Z dodatkom zmletega okenskega stekla korundni nabijalni masi smo dobili pri sintranju v nasutem stanju že pri temperaturi 1100° C zelo dobre zasintrane produkte, ki se tudi trdno povežejo z osnovno ploskvijo, če to predhodno posujemo s steklenim prahom.

Da bi ugotovili vpliv dodatka okenskega stekla na kvaliteto sintranja korundnih mas za vroča popravila, smo pripravili dve sestavi korundnih mas za vroča popravila peči z različnim dodatkom fino zmletega okenskega stekla.

Sestavi korundnih mas za vroča popravila smo pripravili iz korundne nabijalne mase sestave »B« in fino zmletega okenskega stekla na sledeč način:

- 10 ut. % okenskega stekla; 100 g korundne nabijalne mase sestave »B« + 10 g fino zmletega okenskega stekla.
- 3,5 ut. % okenskega stekla; 100 g korundne nabijalne mase sestave »B« + 3,5 g fino zmletega okenskega stekla.

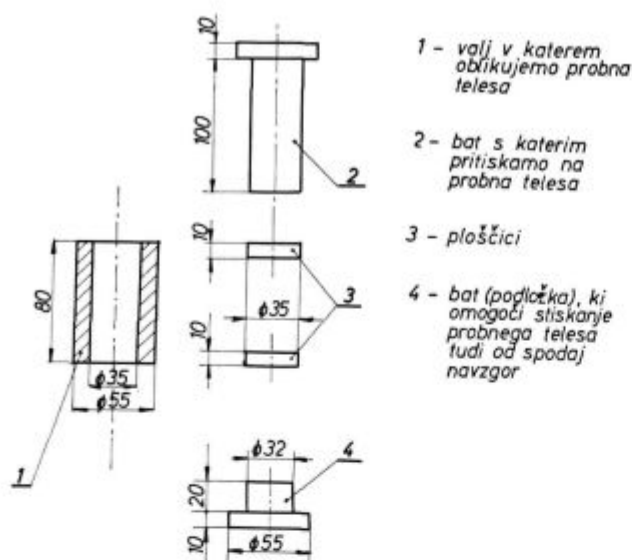
Iz opisanih korundnih mas za vroča popravila smo oblikovali probna telesa v modelu (glej skico št. 7) ročno (s pritiskom roke smo z batom stisnili v modelu probno telo — ca. 80 kg težak moški pritisne na omenjen način na bat s silo ca. 50 kg ter doseže z batom, ki ima \varnothing 35 mm, torej površino pritisne ploskve ca. 10 cm², oblikovalni pritisek ca. 5 kp/cm²).

Ker so bili pritiski oblikovanja majhni, moramo z navlaženjem izboljšati oblikovalnost korundnih mas za vroča popravila. Da pa je mogoče te mase ročno oblikovati, jih navlažimo do ca. 15 % vlage.

Na opisan način ročno oblikovana probna telesa smo po temeljitem osušenju toplotno obdelali sledeče: le osušili pri 105° C, žgali pri 600, 800, 1000, 1100, 1250, 1300° C.

Po toplotni obdelavi so probna telesa imela sledeče fizikalno kemične lastnosti: (glej tabelo št. 15 in št. 16)

Model za oblikovanje
probnih teles



Vse mere so v mm

Skica št. 7

Tabela št. 15 — Kemična analiza

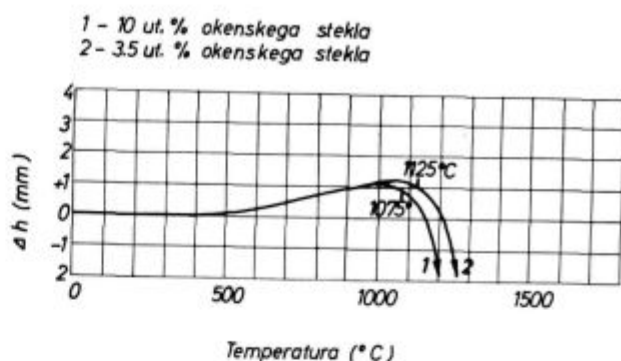
	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %
10 ut. % ok. stekla	74,05	18,20	1,12	2,00	1,29	1,93	0,45
3,5 ut. % ok. stekla	79,25	13,30	0,80	1,79	1,29	1,97	0,51

Tabela št. 16 — Fizikalno kemične lastnosti

	Topl. obd. °C	Ø mm	Tl. trd. kp/mm ²	Sp. teža g/cm ³	Porozn. %	Ta-toč. °C	Temp. sp.
10 ut. % ok. stekla	105 800	35,7	10 210	3,32	27,3	1075	Tb 1230
3,5 ut. % ok. stekla	1100 1200	36,4 39,4	470 315	3,17 3,06	26,7 29,1		5
10 ut. % ok. stekla	105 800	35,7	10 205	3,53	27,0	1125	Tb 1285
3,5 ut. % ok. stekla	1200 1250	36,1 ca. 45	710 500	3,12 3,00	17,2 18,9		2

Iz temperaturnega diagrama določanja Ta-točke je razvidno, da postaneta opisani oblikovani korundni masi za vroča popravila pri temperaturi ca. 1100° C delno plastični, do zrušitve pa pride (obremenitev 2 kp/cm²) v temperaturnem območju med 1200 in 1300° C (glej diagram št. 11).

Temperaturni diagram določanja Ta-točke



Velikost probnih teles : Ø cca. 35 mm, h cca. 35 mm
Pritisk oblikovanja : cca. 5 kp/cm² (ročno)
Toplotna obdelava : 800 °C

Diagram št. 11

Odvisnost zasintranja korundne mase za vroča popravila lepo kažejo tlačne trdnosti probnih teles, zasintranjih pri različnih temperaturah (glej tabelo št. 17 in diagram št. 12).

Tabela št. 17

Toplotna obdelava	Tlačna trdnost (kp/cm ²)	
	10 ut. % ok. st.	3,5 ut. % ok. st.
105	10	10
600	100	80
800	210	205
1000	220	240
1100	470	350
1200	315	710
1250	plastičen (se razleže)	500
1300	—	plastičen (se razleže)

Odvisnost tlačnih trdnosti (sintranja) oblikovanih korundnih mas za vroča popravila od toplotne obdelave

1- uporaba 10 ut. % dodatka okenskega stekla
2- uporaba 3,5 ut. % dodatka okenskega stekla

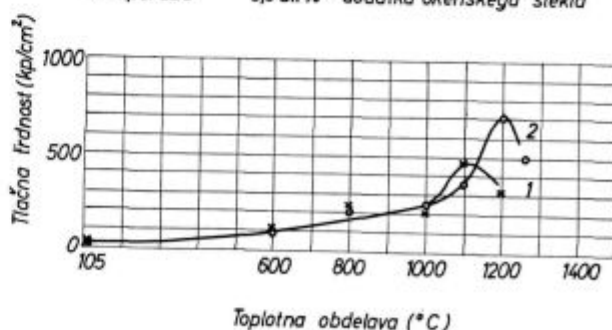


Diagram št. 12

Ugotovljene fizikalno kemične lastnosti probnih teles, ki so izdelana iz obeh opisanih sestav korundnih mas za vroča popravila peči, jasno kažejo, da je korundna masa, ki ji je primešano 10 ut. % okenskega stekla, primerna za popravilo delov peči, kjer lahko dosežemo temperature ca. 1100 do 1200° C; korundna masa, ki ji je primešano 3,5 ut. % okenskega stekla, pa je primerna za popravilo delov peči, kjer lahko dosežemo temperature 1150 do 1250° C. Dodatek okenskega stekla korundni nabijalni masi sestave »B« moramo pri pripravi korundne mase za vroča popravila izbrati glede na temperaturo, ki jo v delu peči, v katerem hočemo popraviti ognjeodporno oblogo, lahko dosežemo.

Pravilno pripravljena in vgrajena korundna masa za vroče popravilo robov pomičnega in nepomičnega dna ogrevne peči je pri delovni temperaturi te peči v izenačevalni in ogrevni zoni (ca. 1100 do 1200° C) delno plastična. S tako korundno maso pripravljene robovi se ne krušijo, temveč se le zaokrožijo.

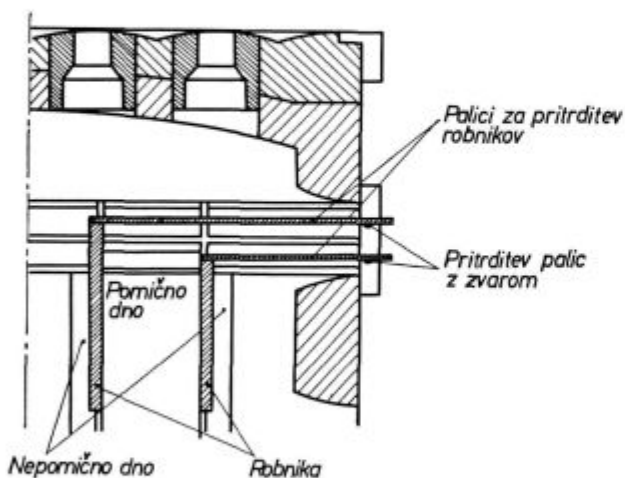
4. Vročje popravilo

a) Popravilo ognjeodporne obloge pomičnega dna v izenačevalni zoni ogrevne peči

Za vroče popravilo ognjeodporne obloge pomičnega dna v izenačevalni zoni smo uporabili kot korundno maso za vroča popravila korundno nabijalno maso sestave »B«, ki smo ji tik pred vgraditvijo primešali 3,5 ut. % fino zmletega okenskega stekla ter mešanico zatem navlažili (ca. 15 % vlage), da je postala dobro oblikovna.

Pred vnašanjem navlažene korundne mase za vroča popravila v peč smo izrabljeni, oz. poškodovani del ognjeodporne obloge dna peči, ki smo ga nameravali popravljati, dobro očistili. Po temeljiti odstranitvi škajev ter vseh zrahljanih in odlomljenih delov obloge z izrabljenega, oz. poškodovanega dela dna smo dvignili pomično dno, ki smo ga popravljali, v najvišji položaj ter vstavili skozi

Vstavitve in pritrditev robnikov pri popravilu obloge pomičnega dna v izenačevalni zoni



Skica št. 8

vrata peči v peč robnike — gredice ustrezne velikosti, ki smo jih naslonili na nepomično dno ter z železnimi palicami, ki so bile privarjene na gredice, z varjenjem pritrdili na vratca peči (glej skico št. 8).

Robniki so lahko tudi iz pločevine (pločevina zvita v obliki klina); te vstavljamo v peč tako, da jih z ožjim koncem zagozdimo med pomično in nepomično dno.

Robniki morajo biti vstavljeni v peč tako, da je njihov gornji rob v višini, ki naj jo ima pomično dno, ki ga popravljamo.

Po vstavitvi robnikov smo očiščeno dno med robniki tanko posuli s fino zmletim steklenim prahom, ki omogoči trdno povezavo vnesene korundne mase z osnovno maso ognjeodporne obloge dna peči.

Na tako pripravljeno izrabljeno, oz. poškodovano oblogo dna peči smo skozi vratca peči vnašali korundno maso za vroča popravila z železnim loparjem v obliki plošč in kep ter po popolnjenju prostora med robnikoma vneseno korundno maso stlačili in zravnali tako, da smo po njej udarjali z železnim loparjem.

Popravljeno ognjeodporno oblogo dna ogrevne peči (debelina nanese korundne mase je ca. 5 do 10 cm) smo sintrali ca. 2 uri pri temperaturi ca. 1250 do 1300° C.

b) Popravilo ognjeodporne obloge dna v ostalih delih ogrevne peči

Za vroča popravila ognjeodporne obloge dna najbolj vročih delov ogrevne peči, to je ognjeodporne obloge dna v izenačevalni zoni in delu ogrevne zone, ki je poleg izenačevalne zone, moramo uporabiti kot korundno maso za vroča popravila korundno nabijalno maso sestave »B«, ki ji primešamo 3,5 ut. % okenskega stekla.

Za vroča popravila ognjeodporne obloge dna nekoliko hladnejših delov ogrevne peči (preostali del ogrevne zone in meja med ogrevno in predogrevno zono) pa uporabljamo kot korundno maso za vroča popravila korundno nabijalno maso sestave »B«, ki ji primešamo po potrebi, odvisno od temperature, ki jo lahko dosežemo (za dosego potrebne temperature sintranja lahko uporabimo tudi dodatni gorilnik, da popravljeno mesto tako z lokalnim segrevanjem zasintramo), 3,5—10 ut. % okenskega stekla.

Ognjeodporno oblogo dna ogrevne peči lahko popravljamo skozi vratca peči; če pa je okvara obloge na takem mestu, da popravilje skozi vratca ni možno, pa dvignemo za ca. 1 m segment oboka, pod katerim je poškodovani del obloge dna, ter na podoben način, kot je že opisano (točka 4. a), hitro popravimo poškodovano oblogo.

c) Obnašanje popravljenega dela ognjeodporne obloge dna ogrevne peči med obratovanjem

Po opisanem popravilu ognjeodporne obloge dna v izenačevalni zoni ogrevne peči je popravljeno

dno delalo normalno še ca. dva meseca, to je do remonta ogrevne peči, ki je bil zaradi okvare gorilcev.

Med obratovanjem se je popravljena obloga dna ogrevne peči zaradi delne plastičnosti posedla pod obremenitvijo za ca. 0,5—1 cm. Popravljeni robovi pa se ne krušijo, temveč le zaokrožijo (delna plastičnost).

ZAKLJUČEK

1. Uporabnost korundnih mas v metalurgiji je zelo široka. Uporabljajo se podobno kot korundne opeke (visoka ognjeodpornost, izredna trdnost ter dobra korozijska odpornost v nabitem stanju) predvsem na mestih, ki so podvržena kombinirani obremenitvi — istočasnim toplotnim, mehanskim in korozijskim vplivom.

2. Prednosti uporabe korundnih nabijalnih mas pred korundnimi opekami so: nižja cena ter enostavnejša in hitrejša vgraditev.

3. S pravilno izbiro granulacijske sestave dobimo z nabijanjem korundnih mas goste in korozijsko odporne ognjeodporne obloge. Kot primerna se je pokazala sledeča granulacijska sestava korundne nabijalne mase:

Korund 2—3 mm	40 ut. %
Korund 0,25—0,5 mm	25 ut. %
Korund »ciklon«	15 ut. %
Surova glina Blatuša	20 ut. %

Z dodatki za izboljšanje sintranja pa omogočimo vezanje korundnih zrn z nastankom steklaste faze že pri temperaturi ca. 1200—1300° C.

Kot dodatek za izboljšanje sintranja uporabljamo gel — Al (H_2PO_4)₃, tehn. H_3PO_4 in surovi fosfat — $Ca_3(PO_4)_2$. Najvišje trdnosti nabite korundne mase v surovem stanju dobimo, če pri pripravi korundne nabijalne mase uporabimo gel — Al (H_2PO_4)₃. Tudi dodatek tehn. H_3PO_4 povzroči dobro utrditev nabite korundne mase v surovem stanju. Trdnosti nabite korundne mase v surovem stanju so pri uporabi dodatka surovega fosfata slabe, po sintranju pa imajo te nabite korundne mase boljše fizikalne lastnosti, kot če bi bile pripravljene z dodatkom gela — Al (H_2PO_4)₃ ali pa tehn. H_3PO_4 (ni nabrekanja). Ker je tudi cena surovega fosfata znatno nižja od cene gela — Al fosfata in cene tehn. H_3PO_4 , je za pripravo korundnih nabijalnih

mas najprimernejši dodatek surovega fosfata. Da pa imajo tudi te nabite korundne mase razmeroma dobro trdnost v surovem stanju, jih površinsko utrdimo tako, da jih tanko premažemo s H_3PO_4 .

4. Primeren način vzdrževanja peči je redno popraviljanje ognjeodporne obloge v vročem stanju, to je brez predhodne ohladitve peči, ker ima za posledico skrajšanje zastojev v proizvodnji (odpade dolgočasno hlajenje in segrevanje) in izboljšanje vzdržnosti ognjeodporne obloge peči (delno posledica rednega vzdrževanja in obnavljanja ognjeodporne obloge, delno pa posledica zmanjšanja števila pospešenih ohlajanj in segrevanj).

5. Za redno popraviljanje, oz. vzdrževanje ognjeodporne obloge pomičnega in nepomičnega dna ogrevne peči se je izkazala primerna korundna masa za vroča popravila, ki jo pripravimo tako, da pomešamo:

100 kg korundne nabijalne mase in
3,5—10 kg fino zmletega okenskega stekla

Dodatek okenskega stekla dodamo odvisno od temperature, ki jo v tistem delu peči, v katerem popravljamo ognjeodporno oblogo, lahko dosežemo.

Za vroča popravila tistih delov ognjeodporne obloge peči, kjer s samim kurjenjem peči ne dosežemo zadostne temperature, zasintramo popraviljeni del ognjeodporne obloge z lokalnim segrevanjem (dodatni gorilnik).

Trdno povezavo vnesene korundne mase pri vročem popravilu na poškodovano ognjeodporno oblogo dna pa dosežemo, če pred vnašanjem korundne mase za vroča popravila temeljito očiščeni del poškodovane ognjeodporne obloge dna ogrevne peči tanko posujemo s fino zmletim okenskim steklom.

S korundno maso za vroča popravila popraviljeni del ognjeodporne obloge se zaradi delne plastičnosti pri delovni temperaturi ogrevne peči pod obremenitvijo delno posede (ca. 10 %), popraviljeni robovi pa se ne krušijo, temveč le zaokrožijo.

LITERATURA

1. Harders — Kienow: Feuerfestkunde (1960)
2. H. Slamang: Die Keramik (1958)
3. Beljankin — Lapin — Iwanow: Technische Petrographie (1960)
4. R. Keizer: Priprava in uporabnost korundnih opek v metalurgiji — Zelezarski zbornik III (1969) št. 4, stran 241—261

ZUSAMMENFASSUNG

Heutzutage wo man sich wegen des stetigen Bestrebens nach immer grösseren Leistungen die langdauernden Remonte nicht mehr leisten kann, finden in den Hüttenbetrieben für die feuerfesten Verkleidungen und die heissen Reparaturen der Öfen in immer grösserer Masse verschiedene Stampfmassen und feuerfeste Betone ihre Verwendung.

1. Wegen der niedrigeren Preise des einfachen und schnelleren Einbauens, ersetzen die Korundhaltigen Stampfmassen bei der feuerfesten Verkleidung der Öfen in immer grösserer Masse die teureren korundhaltigen feuerfesten Steine.

Eine hohe Dichte, der temperatur, mechanisch und korrosionsbeständiger, Korundhaltige Stampfmassen (mit

cca 80 % Al_2O_3) in gestampfen Zustand, wird ähnlich wie bei den Korundsteinen mit cca 85 % Al_2O_3 (siehe Zelezarski zbornik III, 1969 Nr. 4, S. 241—261 — Vorbereitung und Verwertung der Korundhaltigen feuerfesten Steine in der Metallurgie) durch die Auswahl einer solchen Körnung erreicht, dass beim Durchmischen der Fraktionen, die kleinen Körner, die leeren Räume zwischen den grösseren ausfüllen. Da die Formungsdrücke beim Stampfen kleiner sind als beim Pressen der Korundsteine, ist die Aufstellung der Körner in der gestampften Korundmasse dünner. Im Vergleich mit der Korundmasse für die Fertigung dichter Korundsteine muss die Korundhaltige Stampfmasse eine grössere Menge kleinerer Korundkörner (mehr mittlerer und feiner Fraktionen) und eine grössere Menge der rohen Tonerde Blatuscha enthalten. Eine geeignete Granulationszusammensetzung ist folgend:

Korund 2—3 mm	40 Gew. %
Korund 0,25—0,5 mm	25 Gew. %
Korund «Cyklon»	15 Gew. %
Rohe Tonerde Blatuscha	20 Gew. %

Die Korundhaltige Stampfmasse der obengenannten Granulationszusammensetzung ist gut verformbar und im

gestampften und gesintertem Zustand mit einem Zusatz von 2 g rohen Phosphates (cca 90 % $Ca_3(PO_4)_2$) auf 100 g Masse, um das Sintern zu verbessern, sehr dicht und fest.

Mit der Korundhaltigen Stampfmasse gestampfter Boden des Wärmeofens in Drahtwalzwerk Bela, hat trotz ungünstigen Betriebsdinungen (Hubbalkenofen wegen der hohen Hitze ziemlich deformiert) vier Monate lang praktisch ohne Beschädigungen der Korundverkleidung ausgehalten.

II. Die feuerfeste Verkleidung des Ofens wird wenn es nur möglich ist im heissen Zustand repariert, um die Stillstandzeit zu verkürzen und die Aushaltung der gesamten feuerfesten Zustellung zu verbessern.

Für das regelmässige reparieren des Hubbalkenofenbodens hat sich als amgeeignetsten die korundhaltige Masse für heisse Remonte erwiesen. Sie ist zusammengestellt aus: 100 kg korundhaltiger Stampfmasse und 3,5 bis 10 kg fein zemahlenes Fensterglasses.

Mit dieser Masse reparierte feuerfeste Verkleidung sinkt unter der Wärmebeanspruchung der Arbeitstemperatur (bis 1200° C) um etwa 10 %. Die Kanten brechen nicht, sondern werden abgerundet.

SUMMARY

Today when tendency for higher outputs do not allow anymore long repairs various tamping mixtures, refractory concretes and mixtures for hot repairs of furnaces are frequently used in lining metallurgical furnaces.

I. Because of lower price, simpler and faster furnace lining the more expensive corundum bricks are greatly substituted by corundum mixtures.

Compactness of mechanically stable, and corrosion and temperature resistant corundum tamping mixtures (about 80 % Al_2O_3) can be obtained in the tamped state similarly as in dense and corrosion resistant corundum bricks with about 85 % Al_2O_3 (Fabrication and applicability of Corundum Bricks in Metallurgy, Zelezarski zbornik III, 1969, No. 4, pp. 241-261) by chosing such grain composition that smaller grains just fill the spaces between the bigger grains when well mixed. Because the forming pressures in tamping corundum mixtures are smaller than that in compacting corundum bricks the package of grains in the tamped corundum mixture is not so dense. Comparing with the mixture for fabrication dense corundum bricks the corundum tamping mixture must contain a greater amount of smaller grains (more medium and fine fraction) and greater amount of raw clay Blatusa. Suitable grain composition of corundum tamping mixture is the following:

Corundum 2 to 3 mm	40 wt. %
Corundum 0.25 to 0.5 mm	25 wt. %
Corundum «cyclone»	15 wt. %
Raw clay Blatusa	20 wt. %

The corundum tamping mixture of the given grain composition has a good formability and it is very dense and strong in tamped and sintered state when 2 g of raw phosphate (about 90 % $Ca_3(PO_4)_2$) per 100 g of mixture is added for improved sintering.

The bottom of the reheating furnace in wire rolling plant in Bela was lined with the corundum tamping mixture, and though the operating conditions of the furnace were unfavourable (the construction of mobile bottom which was considerably distorted because of high temperatures allowed oscillation of the immobile bottom) the furnace worked about 4 months practically without repairs of the corundum lining.

II. Furnace refractory lining is repaired, if possible, in hot state in order to reduce stops in production (long cooling and heating which are necessary in cold repairs of furnaces are thus eliminated) and improve endurance of the total furnace refractory lining (partially consequence of regulator repairs of the refractory lining, partially consequence of reduction of forced coolings and heatings).

For regular repairs and maintenance of mobile and immobile bottoms of reheating furnaces the most suitable corundum mixture for hot repairs is prepared by mixing 100 kg of corundum tamping mixture and 3.5 to 10 kg of finely ground window glass.

The refractory lining repaired with corundum mixture for hot repairs consolidates (about 10 %) under load due to partial plasticity at the operating temperatures in the furnace (to about 1200° C). The repaired edges do not break but they are rounded.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время стремление к повышению производительности не позволяет длительных ремонтов и починок, поэтому для облицовки металлургических печей все больше пользуются различными массами для трамбовки, огнеустойчивым бетоном и массой для горячей починки печи. В следствии того, что корундовая масса для набивки дешевле от корундового кирпича кирпич все более заменяют с этой массой при облицовки печи. Плотность, температурно, механически и коррозионно устойчивых корундо-

вых масс для набивки приблизительно одинакова (прибл. 80 % Al_2O_3) с плотностью корундового кирпича который содержит прибл. 85 % Al_2O_3 . (Смотри: Приготовление и уплотнительность корундовых кирпичей в металлургии, Zelezarski zbornik III, 1969, No 4, стр. 241—261) при выборе гранулометрического состава когда при хорошем перемешивании фракций мелкие зёрна заполняют пустоты между крупными. Так как давления при формованью корундовых масс меньше чем давления при сжатии корундовых

кирпичей расположение зёрен в корундовой массе более редкое. В сравнении с корундовой массы для кирпичей должна корундовая масса для набивки содержать больше мелких зёрен (больше мелкой и средней фракции) с большим уделом сырой глины Благуша.

Самый подходящий гранулометрический состав корундовой массы для набивки следующий:

Корунд 2—3 мм	40 в %
Корунд 0.25—0.50 мм	25 в %
Корунд «циклон»	15 в %
Глина Благуша	20 в %

Корундовая масса упомянутого гранулометрического состава имеет весьма хорошую способность формования, а, если этой массе добавить 2 гр/100 гр. сырого фосфата (прибл. 90 % $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), то она в набитом и агломераном состоянии достаточно высокой густоты и вязкости. Дно нагревательной печи для отжига проволоки на прокатном заводе Бела (Bela, Металлургический завод Jesenice) несмотря на неблагоприятные условия работы (конструк-

ция подвижного дна из за согнутости под влиянием темп-ры при-близилас неподвижному дну) выдержала практически без повреждения облицовки из корунда прибл. 4 месяца.

Огнеупорную облицовку печи починяют, если для этого есть возможность, в горячем состоянии; при этом значительно уменьшены убытки вследствие убийли при производстве (отпадает длительное охлаждение и согревание при починки печи в холодном состоянии), а также повышена выносливость облицовки целого агрегата. Для регулярной починки т. е. поддерживанию подвижного и неподвижного дна нагревательной печи при горячей починки оказалась применима смесь приготовленная из 100 кг. корундовой массы для набивки и 3.5—10 кг. мелко смолотога оконного стекла. Исправленная часть огнеупорной облицовки с корундовой массой вследствие частичной пластичности при рабочих темп-ах нагревательной печи (до 1200° Ц) под влиянием нагрузки оседает; исправленные кромки не крошутся а принимают заокругленную форму.

Poskusi izdelave močno bazičnega sintra

Z običajno mešanico za sintranje v Želiezari Sisak, ki je značilna po velikem deležu ljubijskega limonita, smo napravili polindustrijske poskuse sintranja v mejah bazičnosti (CaO/SiO_2) od 0,5 do 3,8.

Posebna pozornost je veljala bazičnosti sintra, pri kateri bi lahko popolnoma odstranili apnenec iz plavžnega vsipa. Navedene so kemične, fizikalno kemične, fizikalne, mehanske in tehnološke lastnosti uporabljenih surovin in izdelanih sintrov.

Sinter velike bazičnosti — mišljena je večja bazičnost od 1,3 za CaO/SiO_2 — je tehnološko in ekonomsko zanimiv predvsem pod pogoji, ko je del plavžnega vsipa kisel, najsi bo ruda v kosih, sinter ali peleti.

Najočitnejše tehnološke in ekonomske prednosti naj bodo na kratko omenjene.

Mešanici za sintranje dodani apnenec disociira v oksidacijski atmosferi v teku sintranja, kar zahteva manj energije kot če bi disociacija potekala v plavževi redukcijski atmosferi. Pristaviti je še, da se pri sintranju uporablja za disociacijo ceneno gorivo, lahko pa tudi apnenec manjše trdnosti (litotamnjski).

Disociirani apnenec reagira pri sintranju s komponentami mešanice za sintranje ter pri tem nastane homogena, bazična žindra, ki blagodejno vpliva na nastanek plavžne žindre.

Apnenec, ki se dodaja plavžu, marsikdaj pri zasipanju segregira, kar odpravimo z uporabo močno bazičnega sintra.

Poglavitna ekonomska prednost je zmanjšana specifična poraba koksa — do 20 % — in povečana proizvodnost plavža — do 20 % — pri popolni odstranitvi apnenca iz vsipa^{1,2,3}. Po podatkih iz prakse in proračunov^{4,5} je mogoče pričakovati za vsak kilogram iz plavžnega vsipa odstranjenega apnenca prihranek 0,30 do 0,45 kg koksa. V jugoslovanskih razmerah bi to pomenilo letni prihranek najmanj 135.000 t koksa.

Močno bazičen sinter pa tehnološko in ekonomsko ni zanimiv samo tedaj, ko zamenja surovi apnenec v plavžnem vsipu, ampak tudi v primeru, ko je v plavžnem vsipu 100 % samohodnega sintra.

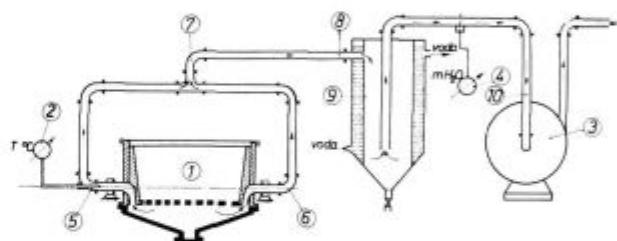
Industrijski poskusi v SZ so dokazali⁶, da se pri vsipu iz 78 % sintra bazičnosti 0,9 in 22 % sintra bazičnosti 2,0 (namesto 100 % samohodnega sintra) proizvodnost poveča za 2,8 % in zmanjša poraba koksa za 1,5 % (7,4 kg koksa/t grodlja).

Navedene prednosti so sprožile polindustrijske poskuse sintranja z mešanico, ki je v železarni v

Sisku običajna. Namen poskusov je bil izdelava vrste sintrov z naraščajočo bazičnostjo zaradi ugotovitve njihovih najpomembnejših kemičnih, fizikalno kemičnih, mehanskih in tehnoloških lastnosti. Posebna pozornost je bila posvečena možnosti izdelave močno bazičnega sintra, ki naj bi vseboval kar največjo možno količino potrebnega CaO za razmere v plavžih železarne v Sisku.

NACIN OPRAVLJANJA POSKUSOV

Polindustrijske raziskave smo opravili po uveljavljenem načinu v ponvici tipa Greenawalt, ki ima delovno površino 0,366 m² in višino 300 m. Uporabljeni ekshaustor ima maksimalni podpritisk 1500 mm vs. Naprava je shematsko ponazorjena na sliki 1.



Slika 1

Polindustrijska naprava za poskuse sintranja

- 1 — Ponvica tipa Greenawalt
- 2 — Merjenje temperature odhajajočih plinov in podpritisov
- 3 — Ekshaustor
- 4 — Merjenje količine odhajajočih plinov

Homogenizirana in na optimalno vlago navlažena mešanica se pazljivo vloži v ponvico in zažge z mešanico butana in propana. Zažiganje traja 1 minuto. Med sintranjem se zapisujejo vsi potrebni podatki o temperaturi, podpritisu in količini odhajajočih plinov.

Po opravljenem sintranju zdrobimo dobljeni kolač na manjše kose od 150 mm, presejemo na frakcijo 0—5, 5—10, 10—20 in 20—150 mm. Delež frakcije pod 10 mm je povratek, nad 10 mm pa je dober sinter, če del frakcije od 10—20 mm uporabimo za posteljico.

Trdnost sintra določamo trikrat po 20 kg frakcije nad 20 mm v bobnu, ki se v štirih minutah obrne stokrat. Po mehanskem obremenjevanju v bobnu presejemo sinter na sitih 5, 10, 20 in 40 mm.

Frakcija nad 20 mm predstavlja trdnost sintra, frakcija pod 10 mm pa trdnost proti obrabi oziroma otiranju.

Vsak poskus smo izvedli z najmanj tremi sintranji, povratek smo posebej pripravili za vsak poskus.

Sestava mešanice, s katero smo napravili poskuse sintranja, je navedena na tabeli 1. Delež apnenca se menjuje v mejah od 8 % do 47 % tako, da bi imeli dobljeni sintri bazičnost CaO/SiO_2 , 0,5 — 1,2 — 1,5 — 1,8 — 2,1 — 3,0 — 4,0.

Tabela 1: Sestava mešanice za poskuse sintranja

Komponenta	Delež v %	Zrnatost, mm
Limonit Ljubija	85 — X	pod 8
Okujina	5	pod 5
Plavžni prah	10	pod 3
Apnenec Gradusa	X (8 — 47)	pod 3
Skupaj	100	pod 8
Povratek	25	pod 10
Koks	5,2	pod 3
Skupaj	130,2	pod 10

Kemična in sejalna analiza uporabljenih surovin sta zbrani na tabeli 2.

Tabela 2: Kemična sestava in sejalna analiza surovin za poskuse

	Limonit Ljubija	Plavžni prah	Okujina	Apnenec Gradusa	Koks
Fe	% 43,89	40,91	67,69	n.a.	2,62
Mn	% 2,62	n.a.	0,91	n.a.	n.a.
SiO_2	% 12,97	13,39	1,56	1,08	4,80
Al_2O_3	% 7,30	n.a.	3,07	0,38	2,60
CaO	% 1,82	2,17	0,67	53,83	1,62
MgO	% 0,20	n.a.	2,78	1,61	0,33
P	% 0,17	n.a.	0,13	n.a.	0,024
S	% 0,036	0,32	n.a.	n.a.	0,85
ZI	% 11,04	13,58	n.a.	40,98	85,68
C	% n.a.	8,94	n.a.	n.a.	75,91
nad 3,0	mm 34,32	3,10	20,80	1,03	0,84
2,0—3,0	mm 18,30	0,70	11,30	13,50	8,64
1,0—2,0	mm 15,46	1,60	12,20	27,90	13,74
0,5—1,0	mm 13,40	11,00	15,70	33,10	21,39
0,2—0,5	mm 10,40	42,10	19,80	18,00	25,44
pod 0,2	mm 8,10	41,50	20,20	6,40	29,94

n.a. = ni analizirano

Tabela 3: Pokazovavci sintranja in kvalitete sintra

CaO/SiO_2	Fe %	Proizvodnost Trdnost v bobnu						
		Povratek — 10 mm %	Hitrost sintranja mm/min.	sintra t/m^2 , 24 h	železa t/m^2 , 24 h	+ 20 mm %	— 10 mm %	10—20 mm %
0,52	51,27	17,0	18,2	28,8	14,8	24,8	47,8	27,4
1,35	45,79	20,3	20,0	29,2	13,3	5,5	63,5	31,0
1,55	n.d. ^a	15,1	20,3	30,4	n.d. ^a	9,7	48,5	41,8
1,80	43,37	13,6	19,9	29,3	13,1	10,3	43,3	46,4
2,15	n.d. ^a	18,1	20,7	28,8	n.d. ^a	14,5	30,7	54,8
2,42	40,00	21,2	20,6	26,4	10,5	15,2	30,7	54,1
3,05	37,58	27,8	23,2	24,5	9,2	19,3	27,6	53,1
3,85	35,34	37,1	23,2	20,1	7,1	25,6	30,6	43,7

n.d.^a = ni določeno

REZULTATI PRVE SERIJE POSKUSOV

Tabela 3 kaže rezultate, dobljene v prvi seriji poskusov z mešanico navedeno na tabeli 2.

Bazičnost izdelanih sintrov (kolona 1) se nekoliko razlikuje od predvidene, kljub pazljivosti pri izdelavi mešanice.

Vsebnost železa v gotoven sintru močno pada, kar je posledica dodane količine apnenca, ta pa je velika, ker je velika vsebnost SiO_2 v rudi.

Količina povratka, oziroma frakcije — 10 mm, je pri majhni bazičnosti (5,2) majhna in znaša 17 %. S povečanjem bazičnosti na 1,35 se količina povratka poveča na 20 %, kar predstavlja najvišjo vrednost na področju bazičnosti od 0,52 do 2,15. Pri večjih bazičnostih od 2,15 nenehno raste količina povratka. Največjo vrednost doseže pri bazičnosti 3,85, ko je količina dobljenega povratka več kot še enkrat večja od povratka pri kislem sintru.

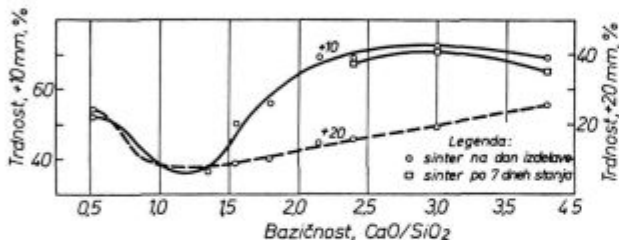
Hitrost sintranja praktično stalno narašča. Kljub temu narašča proizvodnost samo do bazičnosti 1,55 nato pa stalno pada od 30,4 do 20,1 t sintra/ m^2 , 24 h pri bazičnosti 3,82. To je predvsem posledica velike količine SiO_2 v ljubijski rudi, zaradi tega velikega dodatka apnenca mešanici za sintranje. V šesti koloni je navedena proizvodnost glede na železo v sintru, v t železa/ m^2 , 24 h. Proizvodnost železa je še bolj odvisna od bazičnosti, saj pade pri bazičnosti 3,85 na polovico proizvodnosti, dosežene pri bazičnosti 0,52.

Trdnost sintra, ki je prikazana s količino frakcije + 20 mm po vrtnanju v bobnu, je za kislisinter velika in znaša okoli 25 %. Z naraščanjem bazičnosti močno pade količina frakcije + 20 mm, posebej še na področju bazičnosti od 1,35 do 2,42, ko se giblje od 5—15 %. Trdnost oziroma frakcija + 20 mm doseže prvotno vrednost šele pri bazičnosti 3,85. Pravkar prikazana trdnost ni najboljše merilo mehanskih lastnosti pri visoko bazičnem sintru. V osmi koloni namreč vidimo, da je obrabna trdnost najmanjša pri bazičnosti 1,35, ko znaša

delež frakcije — 10 mm 63,5 %. Ze pri bazičnosti 1,55 doseže obrabna trdnost vrednost, ki jo je imela pri kislem sintru, kar pomeni, da so se mehanske lastnosti močno popravile. Tega po podatku za trdnost sintra (frakcija + 20 mm) ne bi mogli trditi. Pri bazičnosti nad 1,55 se obrabna trdnost še poboljša.

Posledica narastka obrabne trdnosti je povečanje količine frakcije od 10—20 mm, ki se s pridom uporablja v plavžu. Količina te frakcije naraste pri bazičnosti 2,15 za 100 % v primerjavi s količino iste frakcije pri kislem sintru oziroma pri bazičnosti 0,52. Spričo tega smemo sklepati, da dobimo pri izdelavi sintra z bazičnostjo nad 1,55 trden sinter z dokaj enakomerno zrnatostjo, s čimer se samodejno poboljša fizikalna pripravnost vsipa za plavž.

Da je bolje oceniti mehanske lastnosti sintra s količino frakcije + 10 mm, vidimo iz diagrama na sliki 2, iz katerega razberemo, da je količina frakcije + 10 mm pri večji bazičnosti večja od količine frakcije + 20 mm. Za nekatere sintre je v diagramu navedena obstojnost v staranju. Obstojnost je velika, ker je količina frakcije + 10 mm po sedmih dneh padla samo za 1 do 4 %.



Slika 2
Mehanska trdnost sintra v odvisnosti od bazičnosti

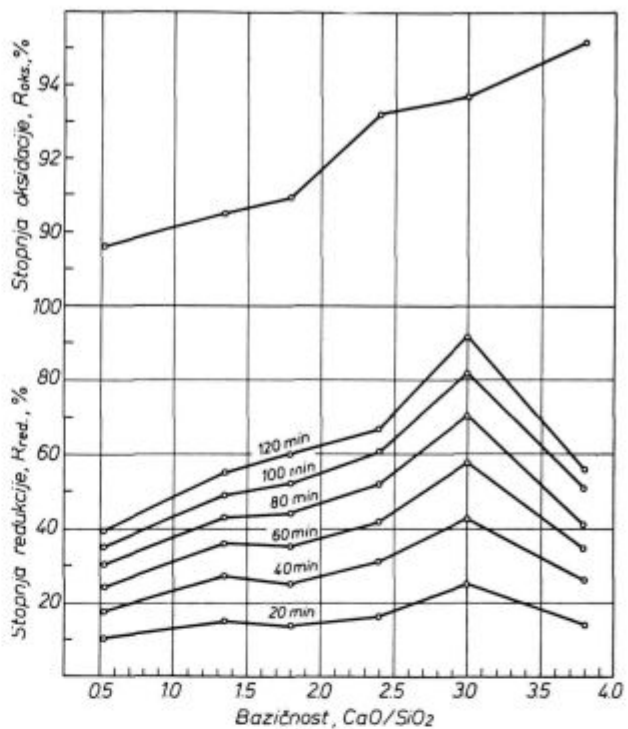
Oksidacijska stopnja stalno raste (glej sliko 3), reduktivnost (določena s frakcijo 1—10 mm, H₂, 900° C) pa raste ves čas redukcije samo do bazičnosti 3,0, ko je reduktivnost za 100 % boljša od reduktivnosti kislega sintra. Pri bazičnosti 3,8 reduktivnost zopet močno pade.

REZULTATI DRUGE SERIJE POSKUSOV

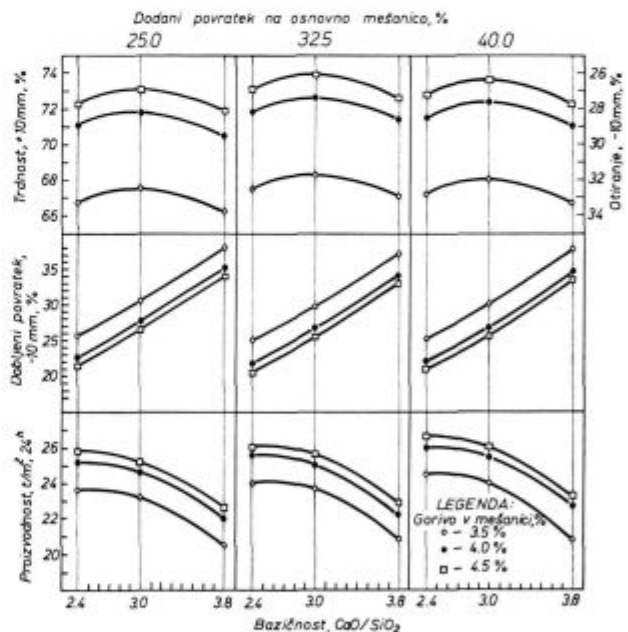
Na področju bazičnosti 2,4 do 3,8, ki je najbolj zanimivo za Željazaro Sisak, je sinter zadosti trden, vendar je proizvodnost manjša. V novi seriji poskusov smo želeli vplivati na proizvodnost z menjanjem količine goriva in z menjanjem količine povratka. Količina goriva v mešanici, ki je analogna mešanici na tabeli 1, je bila 3,5 — 4,0 — 4,5 %, povratka pa 25 — 32,5 — 40 %.

Rezultati druge serije poskusov so zbrani v diagramih na sliki 4.

Proizvodnost je najbolj odvisna od bazičnosti, ker z naraščajočo bazičnostjo raste delež apnenca v mešanici za sintranje. Povečana količina goriva od 3,5 na 4,0 % poveča proizvodnost za 5 do 7 %, od 4,0 na 4,5 % pa samo za 2 %. Delež povratka



Slika 3
Vpliv bazičnosti sintra na oksidacijsko stopnjo in reduktivnost



Slika 4
Odvisnost proizvodnosti, dobljenega povratka in trdnosti od bazičnosti, količine goriva in količine dodanega povratka

in bazičnost ne vplivata bistveno na povečanje proizvodnosti zaradi goriva.

Pri povečanju dodatnega povratka od 25 na 32,5 % naraste proizvodnost za 2 %, pri povečanju od 32,5 na 40 % pa za 4 %. Dobljeni povratek je močno odvisen od bazičnosti. Če zraste bazičnost od 2,4 na 3,8, zraste količina povratka za okoli

13 % (absolutnih). Povratek je manjši, če se poveča količina goriva v mešanici, vendar je to povečanje znatnejše samo pri povečanju goriva od 3,5 na 4,0 %. Količina vložene povratka ne vpliva bistveno na količino dobljenega povratka.

Bazičnost ne vpliva bistveno na mehansko trdnost sintra, ki je predstavljena s količino frakcije + 10 mm, toda pri poskusih smo ponovno ugotovili, da bazičnost močno vpliva na enakomernost zrnatosti. Skoraj ves sinter je imel velikost zrna v mejah od 10 do 40 mm, pri tem pa sega delež zrna od 10 do 20 mm nad polovico. Količina goriva bistveno vpliva na trdnost sintra, in sicer predvsem pri povečanju količine goriva od 3,5 na 4,0 %, ko se količina frakcije + 10 mm poveča za 6 % (absolutnih). Vpliv se zmanjša pri povečanju goriva od 4,0 na 4,5 %, ko znaša povečanje trdnosti samo 2 %. Dodani povratek ne vpliva bistveno na trdnost. Največjo trdnost sintra dobimo pri sintru bazičnosti 3,0, s povratkom 32,5 % in 4,5 % goriva.

SKLEP

Rezultati poskusov za izdelavo močno bazičnega sintra dokazujejo, da je mogoče izdelati trden sinter iz ljubijskega limonita, ki ima veliko vsebnost SiO_2 — okoli 13 %, če je bazičnost sintra v mejah od 1,55 do 3,8. Trdnost sintra v navedenih mejah je večja od trdnosti kislega sintra bazičnosti 0,52 spremlja jo tudi pojav izrazite enakomernosti velikosti zrna sintra v mejah od 10—20 oziroma 10—40 mm.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden Sinterversuche im Basizitätsbereich $\text{CaO/SiO}_2 = 0.5-3.8$ mit einer Sintermischung, die einen hohen Anteil von dem feinkörnigen Limonit Ljubija, mit 13 % SiO_2 enthält, durchgeführt. Der Grund dieser Versuche war die Möglichkeit für die Produktion von festem Sinter festzustellen, welcher für Hochofenmöller geeignet wäre.

Die Versuche wurden in einer Greenawalt-Pfanne mit einer Fläche von 0.366 m^2 durchgeführt. Der Rücklaufsinter wurde durch das Sieben am Sieb 10 mm, die Festigkeit des Sintra durch das Drehen in der Trommel (4×25 Umdreh./min.) und Sieben am Sieb 5, 10, 20 und 40 mm bestimmt.

Bei der Basizität über 1.55 ist die Festigkeit des Sintra grösser als beim saueren Sinter mit einer Basizität

von 0.52. Sie ist aber durch eine ausgesprochene Gleichmässigkeit der Sinterkörnergrösse im Bereich von 10 bis 20 bzw. von 10 bis 40 mm gekennzeichnet. Die Festigkeit des Sintra fällt in sieben Tagen höchstens um 4 %.

Die kleinste Festigkeit ergab der Sinter der Basizität von 1.35 und 1.55. Durch die Zunahme der Basizität bis 3.0 wuchs die Reduzierbarkeit, wo sie doppelt so gross ist, wie bei sauerem Sinter. Weiter wird die Reduzierbarkeit kleiner.

Literatura

1. Šavrin S. V. in drugi, »Domennaja plavka aglomeratov visokoj osnovnosti«, Stal' (Moskva) (1964), št. 8, stran 680—684.
2. Mindeli M. S. in drugi, »Vlijanje visokoofljusovanogo aglomerata na pokazatelji domennej plavki«, Metallurg (Moskva) (1965), št. 11, stran 28/32.
3. Meyer G. »Neuere Entwicklungen beim Betrieb vom Hochofenanlagen«, Technische Mitteilungen Krupp, Werksberichte, (Essen), 24 (1966), št. 1, stran 39/44.
4. Mašlanka A., Gutkowska E., Krasowski J., »Badania i produkcja spieku wysozadasadowego«, Wiadomości Hutnicze (Katowice) 25 (1969), št. 3, stran 70—75.
5. Geras A., Wpływ zmiany wskaźnika jednostkowego zużycia topnika surowego na jednostkowe zużycie koksu w modelowym procesie wielkopiecowym», Hutnik (Katowice) 34 (1967), št. 2, stran 41—51.
6. Makaev S. V., »Proizvodstvo visokoosnovnogo domennogo aglomerata na Nižne Tagil'skom metallurģičeskom kombinacie«, Stal' (Moskva) (1969), št. 8, stran 673—678.

SUMMARY

Sintering tests were made with a sintering mixture which has a high amount of fine Ljubija limonit in the basicity region — CaO/SiO_2 — between 0.5 to 3.8. Our intention was to find whether a strong sinter suitable for blast furnace charge can be performed.

Tests were made in a Greenawalt ladle with a cross-section 0.366 m^2 . The return sinter was determined by sieving on the 10 mm sieve and the sinter strength in the

rotary drum ($4 \times 25 \text{ rpm}$) and by subsequent sieving on sieves 5, 10, 20 and 40 mm.

When basicity is over 1.55 the sinter strength is higher than that of acid sinter with basicity 0.52. Besides the grain uniformity of sinter in the limits 10 to 20, and 10 to 40 mm respectively was achieved. In the air the sinter strength decreased for less than 4 % in seven days.

The lowest sinter strength was obtained at basicities 1.35 and 1.55. By increasing the basicity the reductivity increases up to basicity 3.0 when reductivity of sinter is twice as high as that of acid sinter. At higher basicities the reductivity decreases.

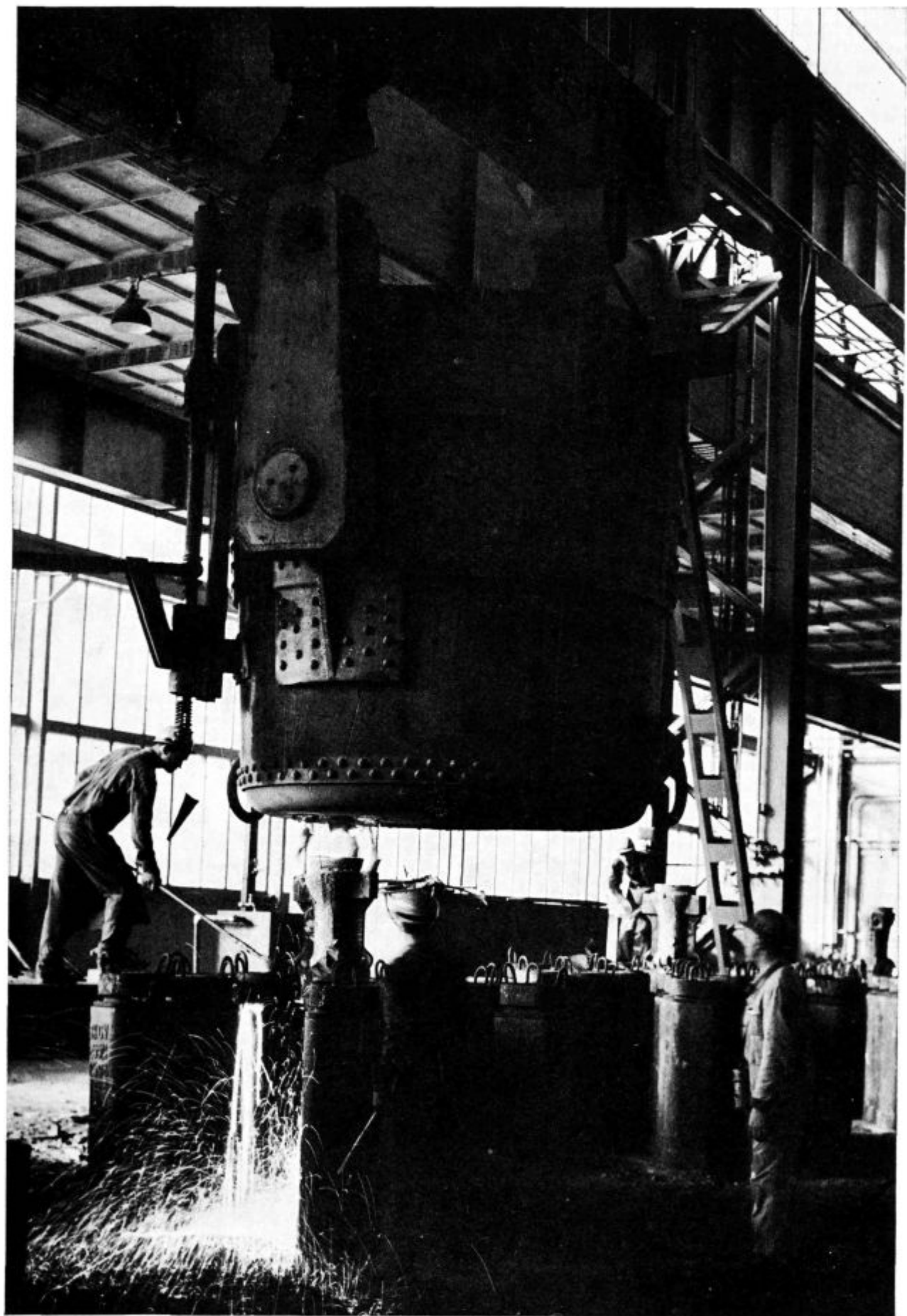
In our test the rate of sinter making was lower than that of acid sinter when basicity was higher than 2.15. When basicity was 2.4, i.e. no limestone needs to be added to the blast furnace charge in Sisak, the production rate of the sinter is for about 8% lower.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью опыта агломерационной смеси с большим уделом мелкого лимонита из Любии (Ljubija) с содержанием прибл. 13% кремнезема в пределах основности Ca/SiO_2 степени 0.5—3.8 была доказать, возможно ли получить агломерат достаточно высокой механической прочности для употребления в доменной шихте. Опыты выполнены в ванне конструкции Greenawalt с площадью 0.366 м². Количество возврата определено на сите 10 мм а прочность вращением в барабане (4 × 25 в/мин.) и определением гранулометрического состава зёрен на ситах 5, 10, 20 и 40 мм. При основности степени свыше 1.55 прочность агломерата превышает прочность кислого агломерата основности 0.52, при чём особенно выражена равномерность зёрен величины 10—20 и

10—40 мм. На воздухе прочность агломерата ослабевает в течении 7 дней не свыше 4%. Агломерат самой плохой прочности оказался при основности 1.35 и 1.55. С повышением основности до 3.0 повышается восстанавливаемость, которая при этой точке в два раза выше чем при кислом агломерате. Выше этой степени прочность агломерата ослабевает.

При опытах в случае основности агломерата свыше 2.15 не произведен агломерат производительности которая отвечает той же самой производительности при кислом агломерате. При основности 2.4 т. е. условия при котором на Металлургическом заводе в Сиске (Sisak) не надо к доменной шихте добавлять известняк, производительность агломерата прибл. на 8% ниже.



Določevanje globine razogljčenja pri različnih vrstah jekel

Razogljčenje povzroča v proizvodnji jeklenih izdelkov mnogo težav. Zato so zahteve v posameznih tehnoloških fazah zelo ostre in kontrola razogljčenja nujna. Celoten postopek ogrevanja je treba popolno obvladati in ga optimizirati.

Pri različnih vrstah je poleg kriterijev določanja globine razogljčenja večkrat problematična tudi tehnika odkrivanja razogljčene plasti. Metalografski tehniki preiskave razogljčenja in značilnostim razogljčenja pri različnih vrstah jekla je namenjen večji del članka. Poleg nujno potrebnih osnovnih pojasnil o problematiki razogljčenja jekel je v članku podan kratek pregled različnih metod določevanja razogljčenja, podrobneje pa je obravnavana le metalografska metoda s pregledom mikrostrukture površinske plasti.

Prikazanih je nekaj posebnih primerov razogljčenja, naštetih nekaj najznačilnejših posledic razogljčenja pri uporabi jekel in podan kratek pregled najbolj običajnih ukrepov za preprečevanje razogljčenja.

Povod za predavanje oziroma ta članek so česti nesporazumi glede razogljčenja — popolnega in delnega — zaradi pomanjkanja jasnih standardov v naši državi ali zaradi pomanjkljivih navodil za določevanje kriterijev za odmerjanje globine razogljčene plasti.

UVOD

Razogljčenje povzroča v proizvodnji jeklenih izdelkov mnogo težav. Največkrat razogljčenja ne moremo popolnoma preprečiti, lahko pa ga omejimo na dopustno mero. Temu pomaga natančna ter stalna kontrola globine in mikrostrukturne sestave razogljčene plasti. Zelo pomembno je sistematično odkrivanje vzrokov, ki razogljčenje povzročajo.

Zahteve urejene tehnologije v posameznih fazah so zelo ostre in kontrola razogljčenja nujna. V kontroli pa je poleg natančnosti določanja globine razogljčene plasti tudi sama tehnika odkrivanja plasti razogljčenja večkrat problematična in pri raznih vrstah jekla precej različna.

Do razogljčenja jekla pride pri ogrevanju na temperaturo valjanja ali kovanja, ker je jeklo dalj časa v območju visokih temperatur izpostavljeno

vplivu atmosfere v peči. Razogljčenje tako v tehnologiji vroče predelave kakor tudi v toplotni obdelavi jekel povzroča metalurgom več težav kakor marsikateri drug metalurški pojav. Posebno veliko nevšečnosti povzroča razogljčenje pri izdelkih, ki se po vroči predelavi ali po toplotni obdelavi mehansko ne obdelujejo z odvzemanjem materiala (npr. jeklo za izdelavo listastih vzmeti, pile in razna orodja).

Razogljčenje je v bistvu sprememba na površini jekla, ki je prav nasprotna dobro poznanemu procesu naogljčenja jekla pri cementaciji. Teoretične osnove obeh procesov so popolnoma identične, le reakcije potekajo v nasprotni smeri. Naogljčevanje ali razogljčevanje je odvisno od vsebnosti ogljika v jeklu, ogljikovega potenciala atmosfere, ki obdaja jeklo, in temperature. Sprejemanje ali oddajanje ogljika na površini jekla se ravna po znanih ravnotežnih pogojih (Boudouarda). Aktivnost narašča s povišanjem temperature, zato so problemi razogljčenja tem hujši, čim višje so temperature in čim daljši so potrebni časi ogrevanja. Razogljčenje se pojavlja na površini jekla vedno, kadar je ogljikov potencial vroče atmosfere, ki obdaja jeklo, nižji od ogljikovega potenciala vročega jekla.

Jekla, ki imajo višji odstotek ogljika, so navadno zaradi večjih razlik potencialov ogljika v jeklu in atmosferi peči močnejše nagnjena k razogljčenju pri ogrevanju v območju visokih temperatur. Pojav razogljčenja lahko opazimo tudi pri cementiranem jeklu, če je po cementaciji ponovno ogreto na visoko temperaturo ob pomanjkljivi zaščiti.

Vpliv legirnih elementov v jeklu

Zaradi ugotovitev iz prakse, da so nekatere vrste jekel posebno občutljive za razogljčenje, so dolgo smatrali, da nekateri elementi v jeklu neposredno pospešujejo razogljčenje. Natančne raziskave pa so pojasnile, da ne gre za neposredno povzročanje razogljčenja, ampak moramo pri obravnavanju vpliva legirnih elementov na razogljčenje upoštevati:

— da posamezni elementi pri različnih temperaturah sproščajo ogljik, da ta lahko difundira na površino in izhaja iz jekla,

— da je hitrost difuzije ogljika večja v feritu kot v avstenitu ali mešani strukturi med A_1 in A_3 ,

— da nekateri legirni elementi pospešujejo izločanje ferita in s tem posredno dajejo vtis močnejšega razogljčenja.

Opomba: Predavanje na XI. strokovnem posvetovanju ob metalurškem srečanju 2. in 3. oktobra 1969 na Bledu.

Z obsežnimi raziskavami je Payson¹ v veliki meri pojasnil različno nagnjenost posameznih vrst jekel k razogljčenju, ki je v praksi očitna. Na osnovi rezultatov številnih praktičnih poizkusov je razdelil elemente v tri skupine glede pospeševanja ali zaviranja izločanja ferita.

Največji vpliv na izločanje ferita ima silicij, podobno pa vplivata tudi aluminij in kobalt. Izločanje ferita zavirajo mangan, nikelj, krom in molibden, razmeroma nepomemben vpliv na izločanje ferita pa imajo vanadij, volfram in baker.

METODE DOLOČEVANJA RAZOGLJICENJA

Osnovne metode za določevanje globine razogljčenja so sledeče:

Tehnološki poizkusi

Pri kontroli v obratih se za odkrivanje razogljčenja večkrat poslužujemo raznih tehnoloških poizkusov, ki zahtevajo precej izkušenj. To so:

- iskrenje,
- krivljenje,
- lomljenje s pregledom prelomnih ploskev.

Vse te metode so precej nezanesljive in ne omogočajo točnejših meritev globine razogljčenja.

Merjenje trdote

Sama določitev trdote večkrat ne more predstavljati odločujoče ugotovitve razogljčenja. Manjša trdota je lahko tudi posledica številnih drugih faktorjev (npr. zaostali avstenit, nepravilna toplotna obdelava ipd.). Za določevanje razogljčenja predstavlja merjenje trdote dokaj nezanesljivo metodo. Pomagamo si s tem, da trdoto merimo na več načinov in z različnimi obremenitvami. Večkrat merimo trdote po predhodnem odbrusnjenju površinske plasti do različnih globin in iz razlik v trdotah sklepamo na globino razogljčenja. Z merilci trdot z majhno obtežbo lahko merimo trdoto površinskega sloja na prečni ploskvi. (slika 1)

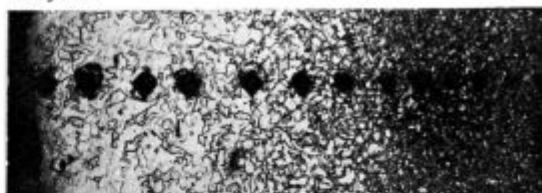
Elektromagnetne metode

Elektromagnetne metode so zelo interesantne. Določanje razogljčenja temelji na spremembah feromagnetnih lastnosti. Taka meritev se odlikuje po veliki občutljivosti in po možnosti hitre izvedbe. Na ta način je možno kontrolo avtomatizirati. Slaba stran pa je v tem, da na rezultate vplivajo številni faktorji, kot so spremembe v strukturi, trdoti, sestavi, prostornini in obliki ter razlike v stanju površine in v temperaturi. Taka metoda pride v poštev predvsem pri kontroli veliko serijske proizvodnje, ko za enake kose iz enakega jekla merilne instrumente umerimo.

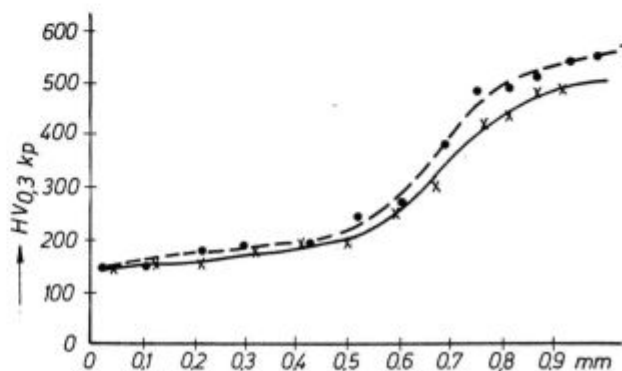
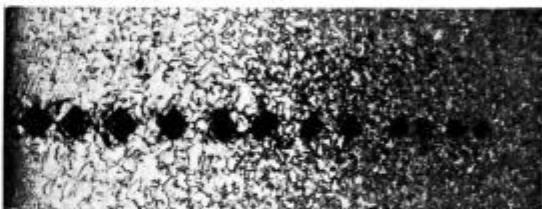
Kemična analiza

S struženjem jeklenih palic po plasteh z odvzemi po 0,1 mm in kemijsko analizo ogljika v ostružkih lahko določimo krivuljo vsebnosti ogljika v površinskem sloju. Tako lahko zelo natančno ugotovimo globino razogljčenja. Le pri neenakomernem razogljčenju po obodu se pri določanju

Kaljeno —●—●—●—



Normalizirano —x—x—x—x—



Slika 1

Meritve trdot $HV_{0,3\text{ kp}}$ v razogljčeni plasti jekla C. 4731 v normaliziranem in v kaljenem stanju.

globine pojavljajo težave. Slaba stran te metode je v tem, da je draga in zamudna ter zato pride v poštev bolj pri raziskavah, redkokdaj pa pri redni kontroli.

Znane so tudi spektrokemične metode.

Rentgenska analiza

Ta metoda ni posebno razširjena, ker je priprava vzorcev za ta način določevanja precej natančna in zamudna, analiza pa draga.

Analiza na mikrosondi

Ta metoda je najnatančnejša in najnovejša ter nam bo marsikateri do sedaj še nepojasnjeni fenomen razogljčenja razčistila.

Makroskopska metoda

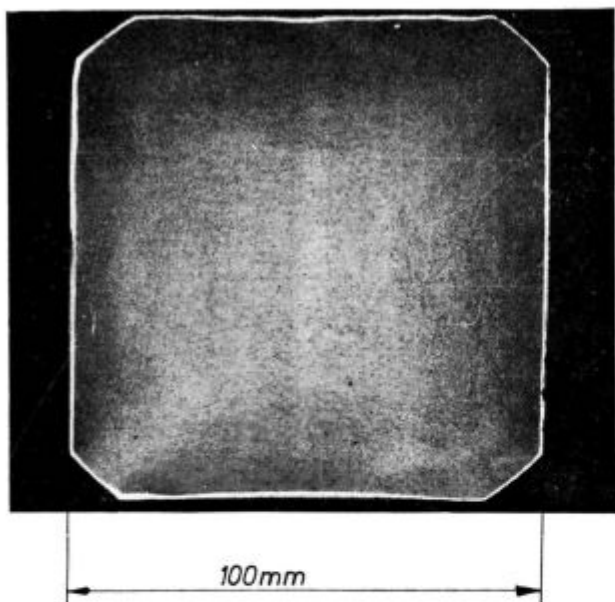
Z makrojedkanjem lahko v nekaterih primerih že po razmeroma grobem brušenju precej dobro ugotavljamo globino razogljčene plasti. Ta metoda je le orientacijska in nezanesljiva. Točnost merjenja ni zadovoljiva. Odkrije nam predvsem močno razogljčenje. Naslednje slike 2—5 nam kažejo nekaj primerov močnega razogljčenja po makrojedkanju grobo brušenih ali celo nebrušenih vzorcev.

Zaradi teh značilnosti se ta metoda pri praktičnem delu največ uporablja in jo bomo tudi v nadaljevanju članka podrobneje obravnavali.

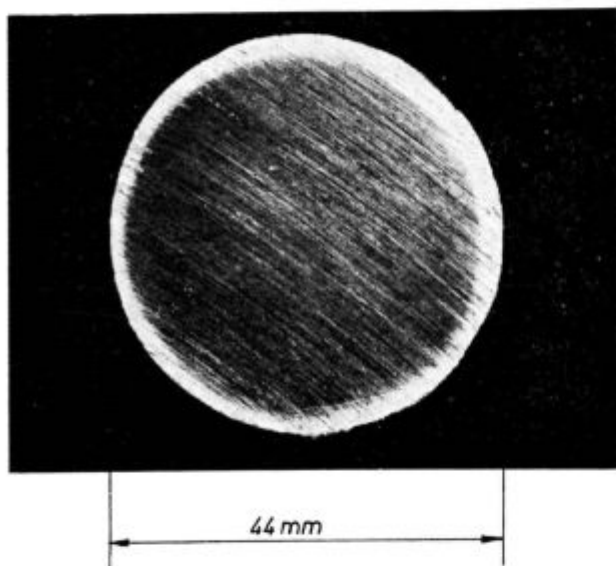
KRITERIJI IN NORME PRI DOLOČANJU GLOBINE RAZOGLJICENJA

Večkrat prihaja pri določevanju razogljčenja posebno pri kriterijih do nesporazumov. V vseh tehnično razvitih državah so s posebnimi normami bolj ali manj natančno predpisali metodiko ugotavljanja in enotne kriterije za oceno razogljčenja^{5,6,7,8}.

Pri nas tak standard že močno pogrešamo. Za metalografsko določevanje obstaja samo začasni interni standard⁴ Združenja jugoslovanskih železarn iz leta 1964, ki pa je skoraj neuporaben. Že v sami definiciji razogljčenja je izredno pomanjkljiv, saj pravi: »Globina razogljčenja je tista debelina površinskega sloja, v katerem je znatno manjša količina ogljika od poprečne vsebnosti ogljika v preiskovanem jeklu.« Se precej bolj pomanjkljivo je navodilo za določitev globine razogljčenja.



Slika 2
Makrojedkana brušena plošča gredice 100 mm × 100 mm brzoreznega jekla BRM-2, razogljčenega pri kovanju.



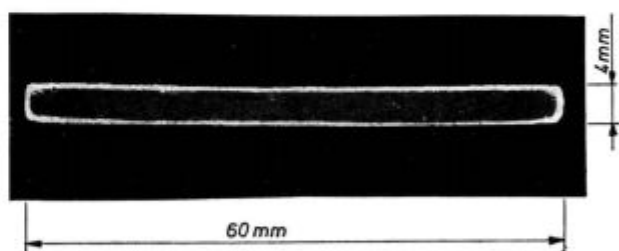
Slika 3
Razogljčena kovana palica Ø 44 mm. Ploščica brzoreznega jekla BRM-2 je makrojedkana po odrezu na krožni žagi brez brušenja

Metalografska metoda s pregledom mikrostrukturne površinske plasti

Ta metoda je po svoji natančnosti popolnoma zadovoljiva in po stroških ter izvedljivosti sprejemljiva tudi v redni kontroli kvalitete jekel. Posebna prednost te metode je tudi v tem, da omogoča nedvoumno in jasno fotodokumentacijo, ki je pri atestih, prevzemih in reklamacijah večkrat nujno potrebna. Upoštevati moramo, da razogljčenje le ni pogosto tako izrazito kakor na slikah 2—5.



Slika 4
Razogljčena valjana palica Ø 18 mm orodnega jekla OC 100.
Makrojedkan metalografski obris.



Slika 5
Razogljčeno valjano orodono jeklo za pile preseka 60 mm × 4 mm.

Prav te pomanjkljivosti so bile povod za ta članek, s katerim želimo opozoriti na nujnost preciznejšega definiranja kriterijev za oceno razogljčenja in prikazati nekaj specifičnosti v problematiki določevanja razogljčenja.

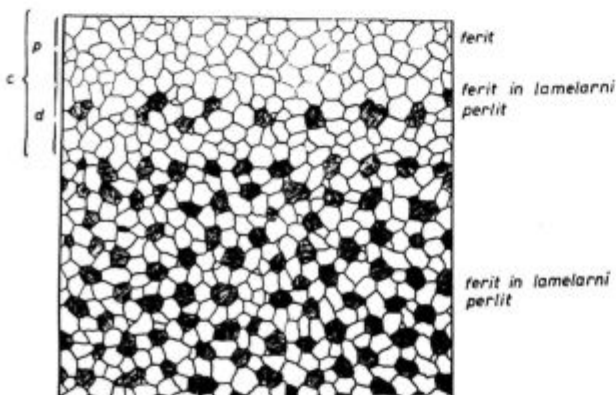
Za razliko od omenjenega internega standarda smatrajo ostale norme za globino razogljčenja celotno plast, ki ima nižji ogljik od osnovne sestave preiskovanega jekla.

Vse norme ločijo:

- plast popolnega razogljčenja do čistega ferita in
- plast delnega razogljčenja z znižano vsebnostjo ogljika v primerjavi z normalno sestavo jekla.

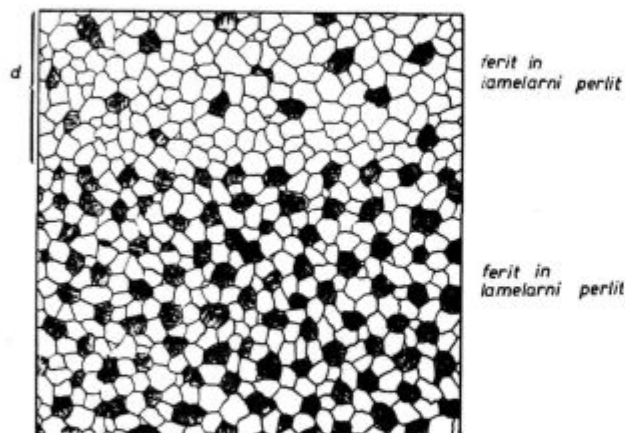
Obe plasti skupaj nam predstavljata razogljčeni sloj, ki ga moramo odmeriti.

Metalografsko problematiko in kriterije mikroskopskega določevanja razogljčenja najprecizneje obravnavajo italijanske norme⁵, zato iz njih povzemamo sheme razogljčenih plasti, ki jih na naslednjih slikah prikazujemo.



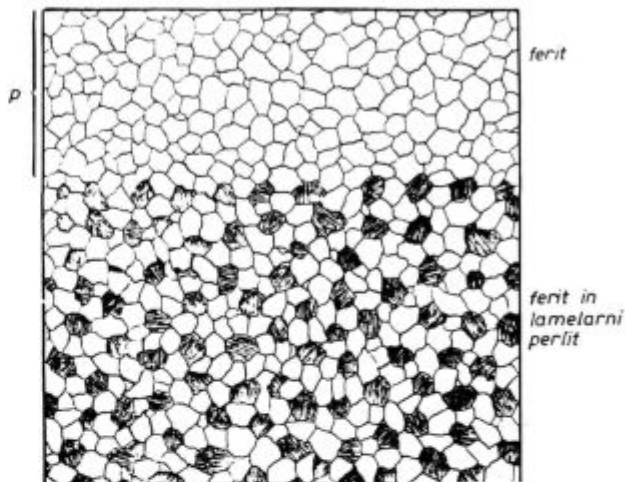
Slika 6

Shema⁵ razogljčene plasti podevtektoidnega jekla. Celotna globina razogljčenja (c) je razdeljena na plast popolnega razogljčenja (p) in plast delnega razogljčenja (d).



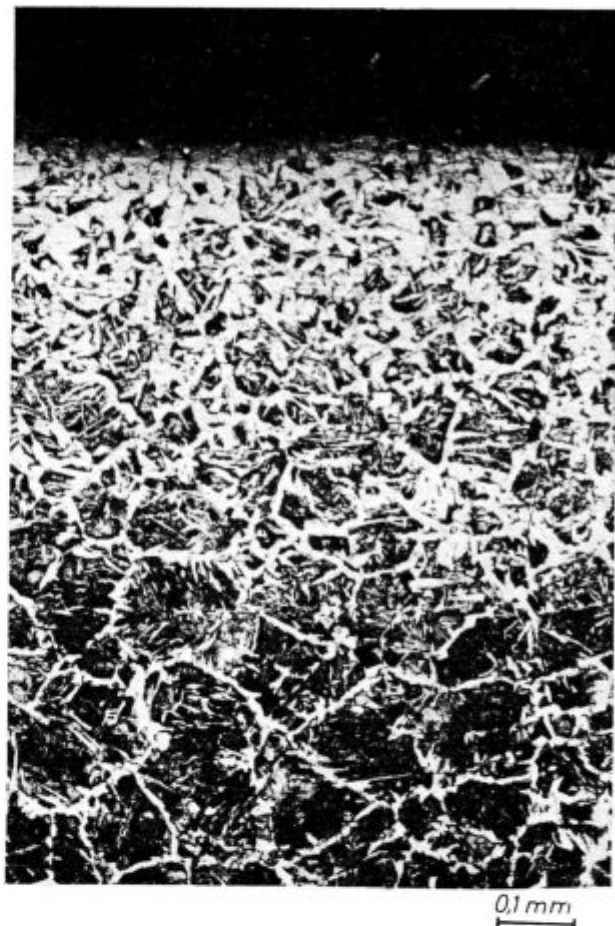
Slika 7

Shema⁵ delno razogljčene plasti (d) podevtektoidnega jekla.



Slika 8

Shema⁵ razogljčene plasti podevtektoidnega jekla. V tem primeru med plastjo popolnega razogljčenja (p) in osnovno mikrostrukturo jekla ni izrazite prehodne plasti delnega razogljčenja.



Slika 9
Razogljčeno jeklo C. 1530
(C 45)

Značilnosti metalografske preiskave razogljčene plasti

Normalno preiskujemo razogljčenje jekla v žarjenem stanju, kar je tudi najbolj priporočljivo.



Slika 10
Razogljíčeno jeklo Č. 1730
(C 60)

Pri določevanju razogljíčene plasti v kaljenem jeklu mora biti metalograf mnogo bolj vešč in pripravljen na več različnih anomalij izgleda mikrostrukture v površinskem sloju jekla. Tako na primer daje v odvisnosti od sestave jekla in od drugih tehnoloških značilnosti lahko mikrostruktura v razogljíčeni plasti po kaljenju v nekaterih primerih vtis podkaljenega jekla, v drugih primerih pa vtis pregretega jekla. Ti pojavi toliko motijo določanje razogljíčenja, da se v kaljenem stanju pregleduje razogljíčenje le v izjemnih primerih.

Značilnosti metalografskega določanja razogljíčenja si oglejmo najprej za osnovne skupine nelegiranih in malolegiranih podevtektoidnih, evtektoidnih in nadevtektoidnih jekel, nato pa še posebej za visoko legirana posebna jekla in nekatere specialne primere.

Podevtektoidna jekla

Mikrostruktura podevtektoidnih jekel v žarjenem ali normaliziranem stanju sestoji ob normalni sestavi v osnovi iz ferita in perlita. Če se to jeklo razogljíči do čistega ferita, dobimo največkrat celotno razogljíčeno plast sestavljeno iz popolno razogljíčene plasti čistega ferita in delno razogljíčene plasti s feritno-perlitno strukturo, v kateri pa

je delež ferita večji kot v osnovnem jeklu (slika 6). Dva taka praktična primera sta prikazana na slikah 9 in 10.

Včasih se jeklo ne razogljíči do čistega ferita in dobimo na površini le tanko delno razogljíčeno plast (slika 7). Tako delno razogljíčeno plast spoznamo po manjši količini perlita in večji količini ferita v primerjavi z razmerjem teh mikrostruktur v jeklu osnovne sestave. Globino delno razogljíčene plasti odmerimo od tiste meje, do koder zaznamo te razlike. Pri nekaterih jeklih mora imeti za tako odmero metalograf precej izkušeno oko.

Primer na sliki 11 kaže delno razogljíčeno plast, ki pa jo zaradi zelo rahlega razogljíčenja dobro odkrijemo šele pri nekoliko večji povečavi.

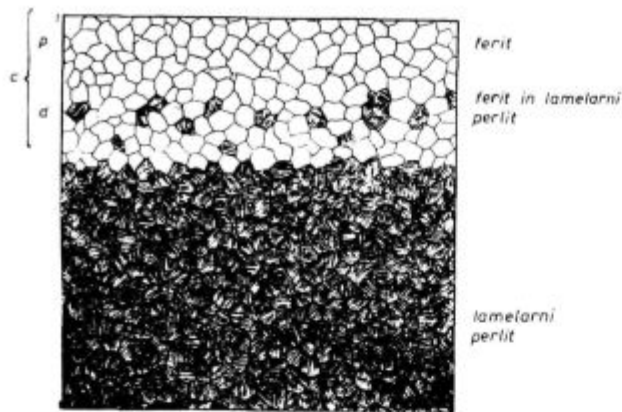
V nekaterih posebnih primerih ob močnem oksidacijskem ali razogljíčevalnem vplivu dobimo lahko popolno razogljíčeno plast čistega ferita, ki skoraj ali popolnoma brez delno razogljíčene plasti prehaja v osnovno mikrostrukturo jekla (slika 8).

Evtektoidna jekla

Pri razogljíčenih evtektoidnih jeklih so možnosti variant v sestavi razogljíčene plasti podobne.

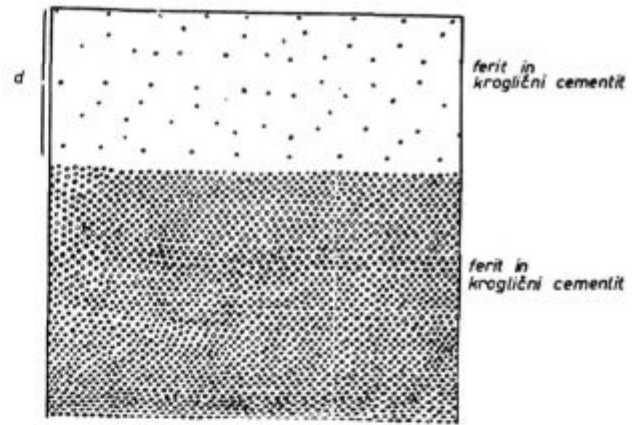


Slika 11
Razogljíčeno jeklo Č. 1730
(C 60)



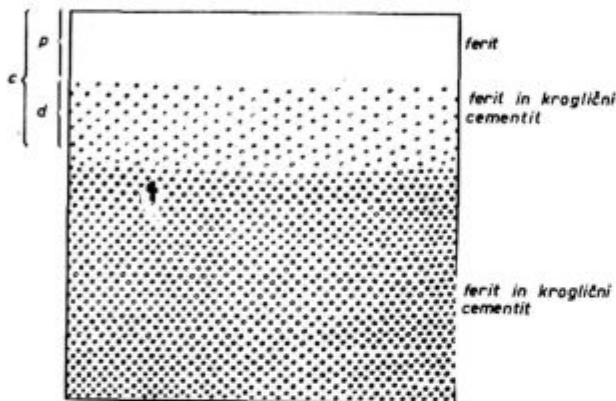
Slika 12

Shema⁵ razogljicene plasti eutektoidnega jekla z osnovno mikrostrukturo lamelarnega perlita. Celotna globina razogljicjenja (c) je razdeljena na plast popolnega razogljicjenja (p) in plast delnega razogljicjenja (d).



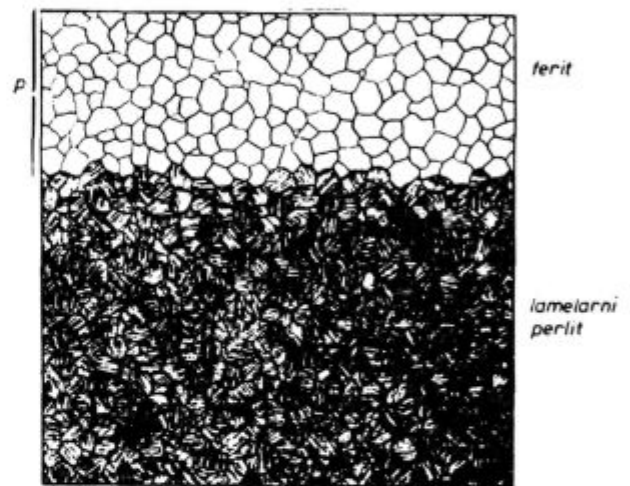
Slika 15

Shema⁵ delno razogljicene plasti (d) eutektoidnega jekla, žarjenega na krogljčni cementit.



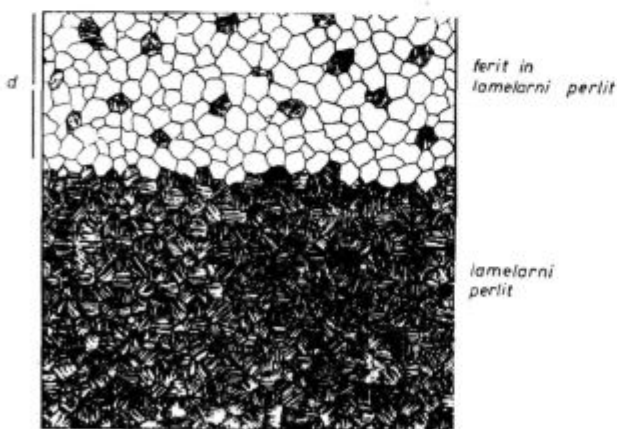
Slika 13

Shema⁵ razogljicene plasti eutektoidnega jekla, žarjenega na krogljčni cementit. Celotna globina razogljicjenja (c) je razdeljena na plast popolnega razogljicjenja (p) in plast delnega razogljicjenja (d).



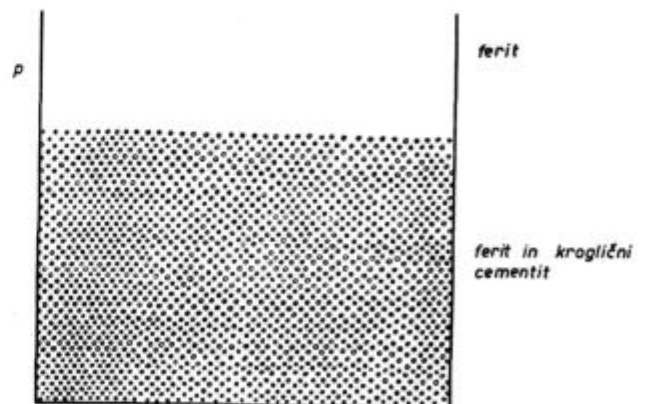
Slika 16

Shema⁵ razogljicene plasti eutektoidnega jekla z osnovno mikrostrukturo lamelarnega perlita. V razogljiceni plasti med popolno razogljiceno plastjo (p) in osnovno mikrostrukturo jekla ni izrazite prehodne plasti delnega razogljicjenja.



Slika 14

Shema⁵ delno razogljicene plasti (d) eutektoidnega jekla z osnovno mikrostrukturo lamelarnega perlita.



Slika 17

Shema⁵ razogljicene plasti eutektoidnega jekla, žarjenega na krogljčni cementit. Popolno razogljicena plast (p) prehaja brez vmesne delno razogljicene plasti v osnovno mikrostrukturo jekla.

Ta skupina jekel ima po vroči predelavi ali po žarjenju mikrostrukturo perlita — eutektoidne sestave. Perlit ima lahko lamelarno obliko, po posebnem postopku žarjenja pa dobimo zrnati perlit, ki predstavlja mikrostrukturo enakomerno porazdeljenih kroglic cementita v feritni osnovi. Na naslednjih slikah so shematično prikazane razlike v razogljiveni plasti za jeklo z osnovno mikrostrukturo lamelnarnega ali krogličnega perlita.

Pri razogljivenju do čistega ferita dobimo običajno plast popolnega razogljivenja in plast delnega razogljivenja. Celotno plast razogljivenja odmerimo do mesta, kjer se začne osnovna sestava jekla s čisto perlitno mikrostrukturo brez znakov izločenega ferita ali z nezmanjšano količino cementitnih kroglic v feritni osnovi (sliki 12 in 13). Mikrostrukturo, ki ustreza shemi na sliki 12 prikazuje slika 18.



0,1 mm

Slika 18

Nelegirano eutektoidno jeklo s popolno in delno razogljiveno plastjo.

Sliki 14 in 15 kažeta le delno razogljiveno plast, sliki 16 in 17 pa ostro popolno razogljiveno plast čistega ferita brez izrazite prehodne delno razogljiveno plasti.

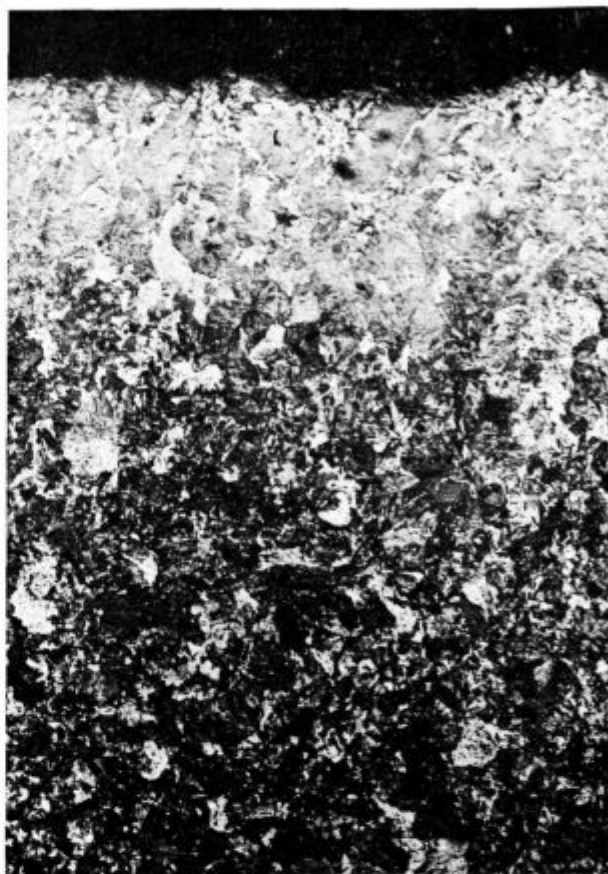
Slika 19 prikazuje primer delno razogljivenega nizkolegirane jekla približno eutektoidne sestave.

Mimogrede naj na tem mestu omenimo, da bi pri eutektoidnem nelegiranem jeklu z 0,8 % C delnega razogljivenja do 0,6 % C z merjenjem trdote v žarjenem ali v kaljenem stanju sploh ne opazili, čeprav bi razogljiveno orodje gotovo ne dosegalo pričakovanih lastnosti.

Nadeutektoidna jekla

Pri nadeutektoidnih jeklih čisti perlit v površinskem sloju že predstavlja delno razogljiveno plast.

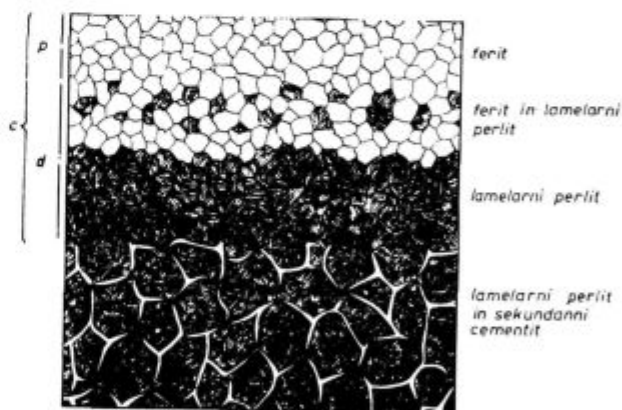
Nadeutektoidna jekla sestojijo iz perlita in sekundarnega cementita v različnih oblikah. Pri popolnem razogljivenju dobimo na površini čisti ferit kakor pri vseh drugih vrstah jekel. Delno



0,1 mm

Slika 19

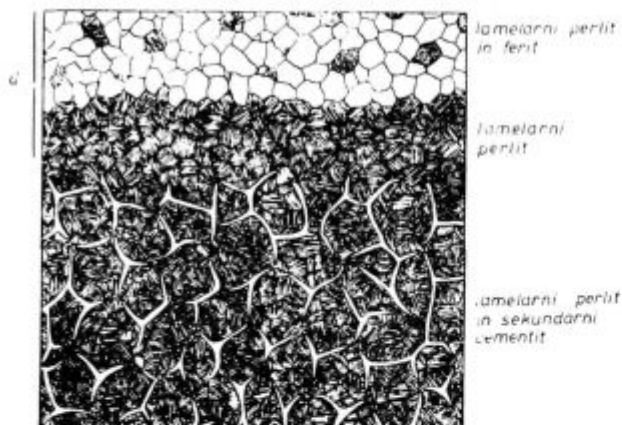
Delno razogljiveno nizko legirano jeklo približno eutektoidne sestave.



Slika 20

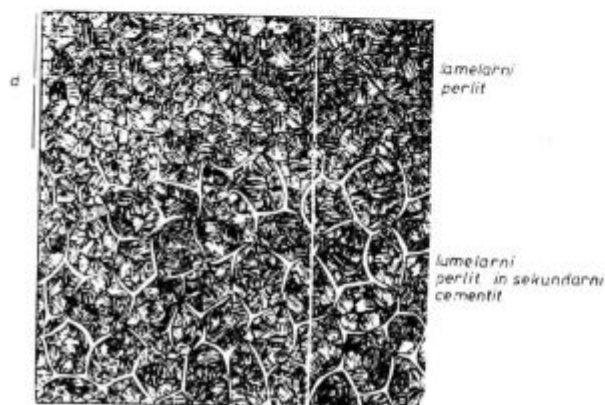
Shema⁵ razogljivenja nadeutektoidnih jekel. Celotna globlina razogljivenja (c) sestoji iz popolno razogljiveno plasti (p) in delno razogljiveno plasti (d), v kateri pa razlikujemo delno razogljiveno plast s feritno — perlitno mikrostrukturo in delno razogljiveno plast s perlitno mikrostrukturo.

razogljivena plast pa pri teh jeklih večkrat sestoji iz dveh delno razogljivenih plasti — iz plasti ferita in perlita in iz plasti čistega perlita z eutektoidno sestavo.



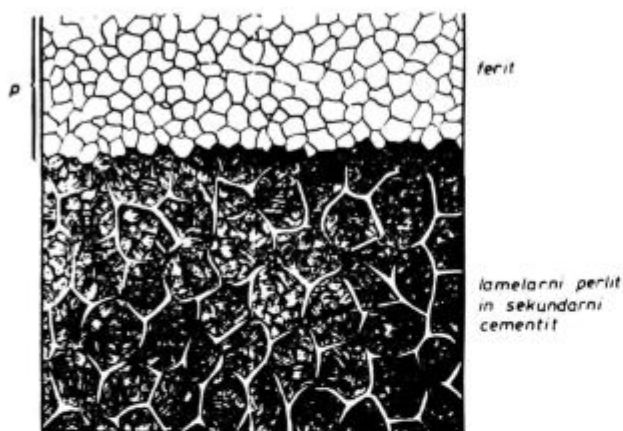
Slika 21

Shema⁵ mikrostrukture delno razogljicene plasti (d) nadevtektoidnega jekla. Delno razogljicena plast sestoji iz dveh plasti, enako kakor na sliki 20.



Slika 22

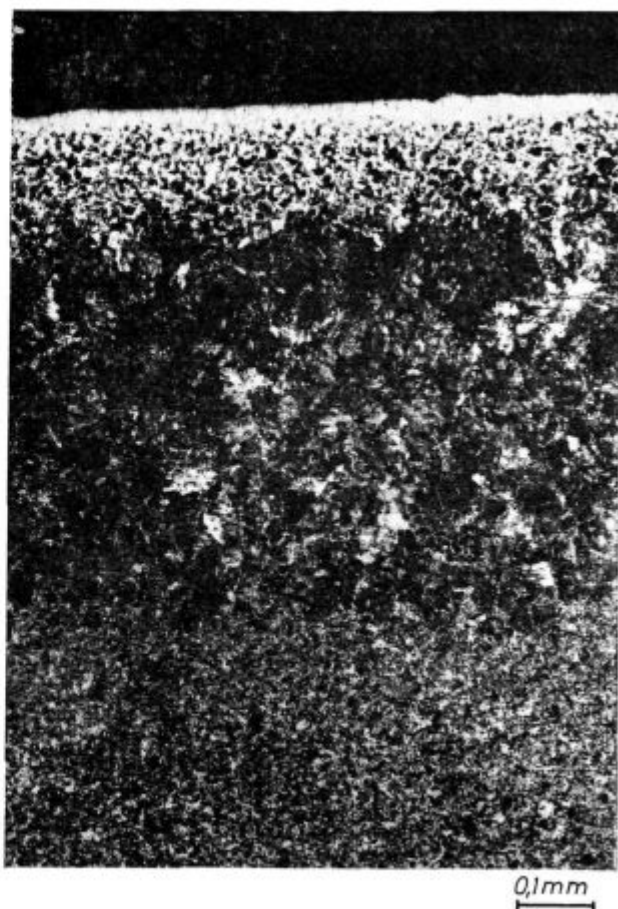
Shema⁵ mikrostrukture delno razogljicene plasti (d) s čisto perlitno mikrostrukturo pri nadevtektoidnem jeklu. Z meritvijo trdote takega razogljicenja ne odkrijemo,



Slika 23

Shema⁵ razogljicenja nadevtektoidnega jekla, pri katerem mikrostruktura popolno razogljicene plasti (p) zelo ostro prehaja v mikrostrukturo osnovnega jekla. Taka razogljicena plast je posledica izredno močnih razogljicevalnih vplivov.

Vse te tri plasti — popolno razogljicena in dve delno razogljiceni — predstavljajo plast celotnega razogljicenja.



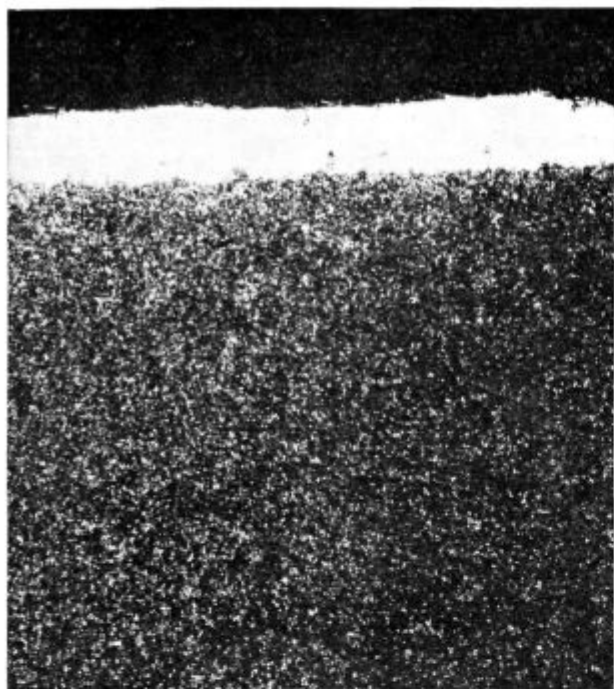
Slika 24

Primer zelo močno razogljicene nadevtektoidnega nizko legiranega kromovega orodnega jekla C. 4143. Pod plastjo popolnega razogljicenja s čisto feritno mikrostrukturo sta zelo jasno izraženi dve plasti delnega razogljicenja.

Na slikah 20—23 so prikazane sheme štirih različnih variant razogljicene plasti, ki se lahko pojavljajo pri nadevtektoidnih jeklih, sliki 24 in 25 pa kažeta dva praktična primera razogljicene nadevtektoidnih jekel. Na sliki 24 je prikazan primer popolno razogljicene površinske plasti z dvema zelo izrazitima plastema delnega razogljicenja. Slika 25 pa kaže zelo zanimiv primer nadevtektoidnega jekla, pri katerem plast popolnega razogljicenja skoraj brez prehodne plasti delnega razogljicenja meji na mikrostrukturo osnovnega jekla.

Omenili smo že pomanjkljivosti internega standarda UJZ za metalografsko določevanje razogljicenja. Ta daje tudi za odmero globine razogljicene plasti takole pomanjkljivo navodilo:

»Na mestih največjih debelin svetlejšje plasti, ki jih odkrijemo s prostim očesom, izmerimo globino razogljicenja mikroskopsko pri povečavi 100 : 1...« Po tem navodilu plasti perlita v nadevtektoidnem jeklu ne bi smatrali za razogljiceno, kar bi potrdili celo z meritvami trdot. Kemična analiza ogljika po plasteh in natančen metalografski pregled po gornjem opisu pa bi nam dala drugačen odgovor. Jasno je, da lastnosti osnovnega



0,1 mm

Slika 25

Primer razogljčenja nadevtektoidnega nelegiranega orodnega jekla C.1940 z izredno ostrim prehodom od popolno razogljčene plasti s čisto feritno mikrostrukturo osnovnega jekla.

jekla z npr. 1,3 % C, ki se uporablja za trde pile, in lastnosti jekla z eutektoidno sestavo v delno razogljčeni plasti z 0,8 % C ne morejo biti enake, pa četudi je trdota enaka.

Visoko legirano avstenitno manganovo jeklo

Posebno visoko legirano jeklo, ki je znano pod imenom Hadfieldovo jeklo, z osnovno sestavo okrog 1,2 % C in okrog 12 % Mn z različnimi dodatki se v mogih lastnostih močno razlikuje od vseh drugih vrst jekel. Tudi glede razogljčenja ga moramo posebej obravnavati.

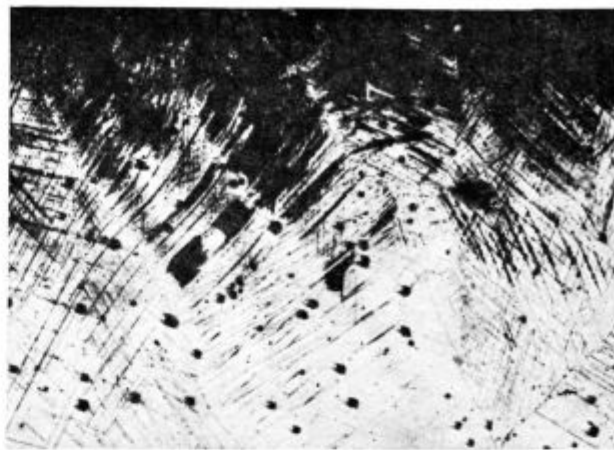
Po gašenju je osnovna mikrostruktura tega jekla avstenitna, razmeroma mehka (znana je lastnost utrjevanja tega jekla pod vplivom deformacij) in nemagnetna. Razogljčena plast postane martenzitna, trša, krhka in magnetna.

Po metalografskem jedkanju postane površinska razogljčena plast pri tem jeklu temna, kar je prav nasprotno kot pri drugih jeklih (slika 26).

Brzorezna jekla in orodna jekla z visokim kromom in visokim ogljikom

Pri visoko legiranih ledeburitnih jeklih, kakršna so vsa brzorezna jekla in vse vrste orodnih jekel z visokim kromom in visokim ogljikom, z veliko količino posebnih karbidov, je določanje razogljčenja precej težavno. Večkrat razogljčenje sploh težko odkrijemo, še težje pa natančno izmerimo globino razogljčene plasti.

V zadnjem času se pri brzorezih jeklih v žarjenem stanju za odkrivanje razogljčenja z uspe-



0,1 mm

Slika 26

Primer razogljčene plasti avstenitnega visoko legiranega jekla C.3160 z 1,2 % C in 12,5 % Mn.

hom uporablja poseben način jedkanja, ki daje pri pregledu pod mikroskopom v razogljčeni plasti barvni spekter⁹. Čim globlje je razogljčenje in čim večja je razlika v odstotku ogljika med površinsko plastjo in osnovno sestavo jekla, tem bolj izrazit je barvni spekter razogljčene plasti.

Normalno metalografsko jedkanje z nitalom in podobnimi jedkali za metalografski pregled nam sicer včasih — posebno pri zelo močnem razogljčenju ali v surovem nežarjenem stanju — dobro omogoča določitev globine razogljčenja, kakor kaže slika 27.

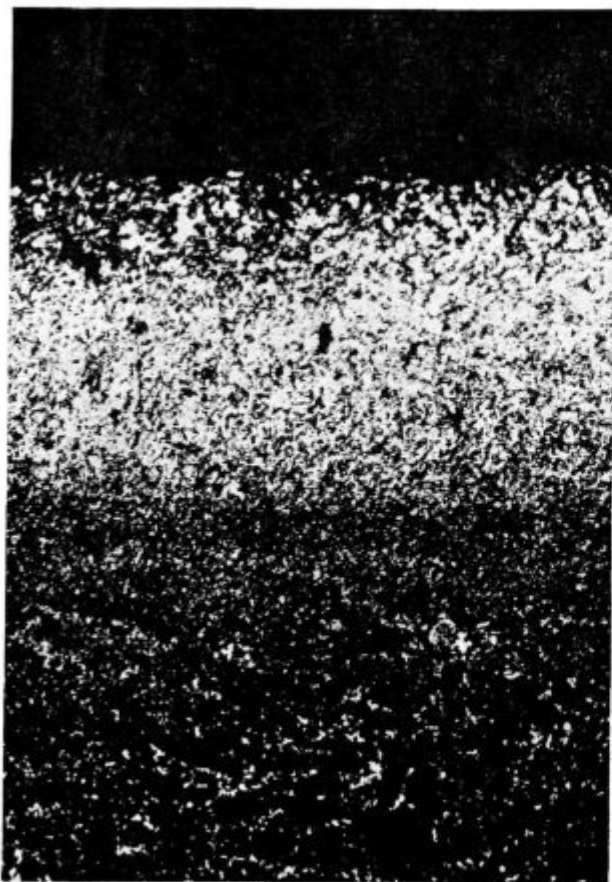
Pri manj izrazitem in delnem razogljčenju taka metoda ni dovolj zanesljiva in zahteva za določitev globine veliko izkušnost metalografa. Dva taka primera prikazujeta sliki 28 in 29.

Pri ugotavljanju razogljčenja brzorezih jekel često zelo motijo tudi izločeni volframidi, ki jih v razogljčeni plasti zlahka zamenjamo s karbidi.

Zelo zanimiva je posebna metoda določevanja razogljčenja po Sadvoskem¹⁰, ki jo bomo zaradi originalnosti nekoliko podrobneje opisali. V principu je splošno uporabna, vendar je najbolj poznana zaradi uporabnosti pri določevanju razogljčenja brzorezih jekel in ledeburitnih orodnih jekel. Pri teh je namreč kvantitativna določitev razogljčenja včasih zelo težavna, medtem ko pri drugih jeklih ta metoda skoraj ne pride v poštev, ker je razmeroma komplicirana in nepotrebna, če se razogljčena plast lahko preprosto določi.

Določitev razogljčenja po tej metodi temelji na znanem dejstvu, da se temperatura začetka tvorbe martenzita (M_s) z zviševanjem odstotka ogljika v jeklu znižuje. Torej je temperatura M_s pri nižji vsebnosti ogljika (npr. v razogljčeni plasti) višja od temperature M_s za osnovno sestavo jekla z višjim ogljikom. (Glej shemo na sliki 30!)

Pri kaljenju v solni kopeli ali v olju, katerega temperatura je tik nad martenzitno točko M_s , se tvori martenzit samo v razogljčeni plasti. Takoj



Slika 27
Primer razogljicene površine brzoreznega jekla tipa 6-5-2 (C. 7680 - BMR - 2) v surovem — valjanem stanju

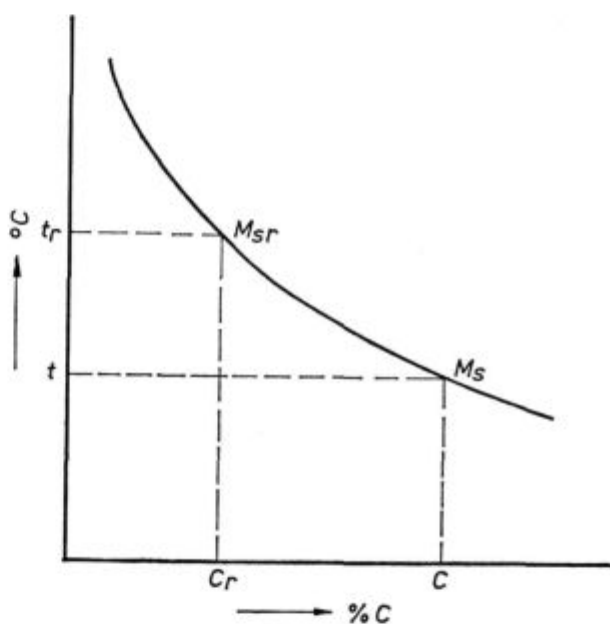


Slika 28
Primer razogljicene plasti brzoreznega jekla tipa 6-5-2 (C. 7680 - BRM-2).

po kaljenju sledi popuščanje, s čimer se popusti prej nastali martenzitet v razogljiceni plasti, v jedru pa ostane nepopuščen martenzitet. Pri jedkanju



Slika 29
Primer razogljicene plasti orodnega jekla C. 4150 - OCR 12.



Slika 30
Odvisnost temperature začetka tvorbe martenzita v odvisnosti od vsebnosti ogljika v jeklu. Indeks r označuje vrednosti, ki pripadajo razogljiceni plasti.

obrusa s 5 % nitalom ostane nepopuščen martenzitet v jedru svetel, popuščen martenzitet v razogljiceni plasti pa je po jedkanju temen. Ta razlika omogoča določitev globine razogljicene plasti.

Izvedba postopka, ki je shematično prikazana na sliki 31 je sledeča:

Kaljenje izvršimo z normalnim postopkom ogrevanja na temperaturo kaljenja v solni kopeli. Temperaturo kaljenja izberemo na zgornji meji normalnega kalilnega območja, ali pa vzorec pri kaljenju namenoma nekoliko pregrejemo pri višji temperaturi.

Ohlajevalno sredstvo pri kaljenju je solna kopa ali olje s temperaturo tik nad poznano temperaturo M_s točke preizkušane jekla. Ta tempera-

tura mora biti zelo natančna, ker prav na njej temelji celotna metoda določanja razogljíčenja. Za različne vrste brzoreznih jekel je temperatura olja v območju 160—200° C, kar pa je treba za vsako vrsto jekla posebej natančno določiti.

V solni kopeli ali v olju zadržimo vzorec 5—10 minut, nato pa ga takoj popustimo na 560—580° C z zadržanjem v solni kopeli okrog 10 minut, v komorni peči pa nekoliko daljši čas. Zelo moramo paziti, da med postopkom temperatura vzorca ne pade pod temperaturo M_s . Po popuščanju ohladimo vzorec na zraku do sobne temperature in nato pripravimo obrus za mikroskopski pregled po jedkanju z nitalom.

Vzorec za določitev razogljíčenja naj bo čim manjši, ker pri postopku precej vpliva toplotna kapaciteta in konstantnost temperature v ohlajevalni solni kopeli ali olju. Na vzorcu mora biti ena ploskev, za katero z gotovostjo vemo, da ni razogljíčenja. Če bi tudi na tej ploskvi ugotovili opisane znake razogljíčenja, je to znak nepravilne izvedbe postopka, pri katerem je prišlo do razogljíčenja ali še bolj verjetno nepravilno izbrane temperature tople ohlajevalne kopeli.

V razogljíčeni plasti dobimo temno jedkani popuščeni martenzit. Razogljíčena plast se konča s posameznimi iglicami temno jedkanega martenzita in preide v tipično mikrostrukturo kaljenega brzoreznega jekla z mejami avstenitnega zrna, znotraj katerih so karbidi, zaostali avstenit in nepopuščeni martenzit (slika 32).

Posebni primeri

Pri vsaki vrsti jekla se razogljíčenje pojavlja v bolj ali manj značilni obliki. Teh posebnosti ne bomo obravnavali, ker z ozirom na metodiko ne predstavljajo posebnosti.

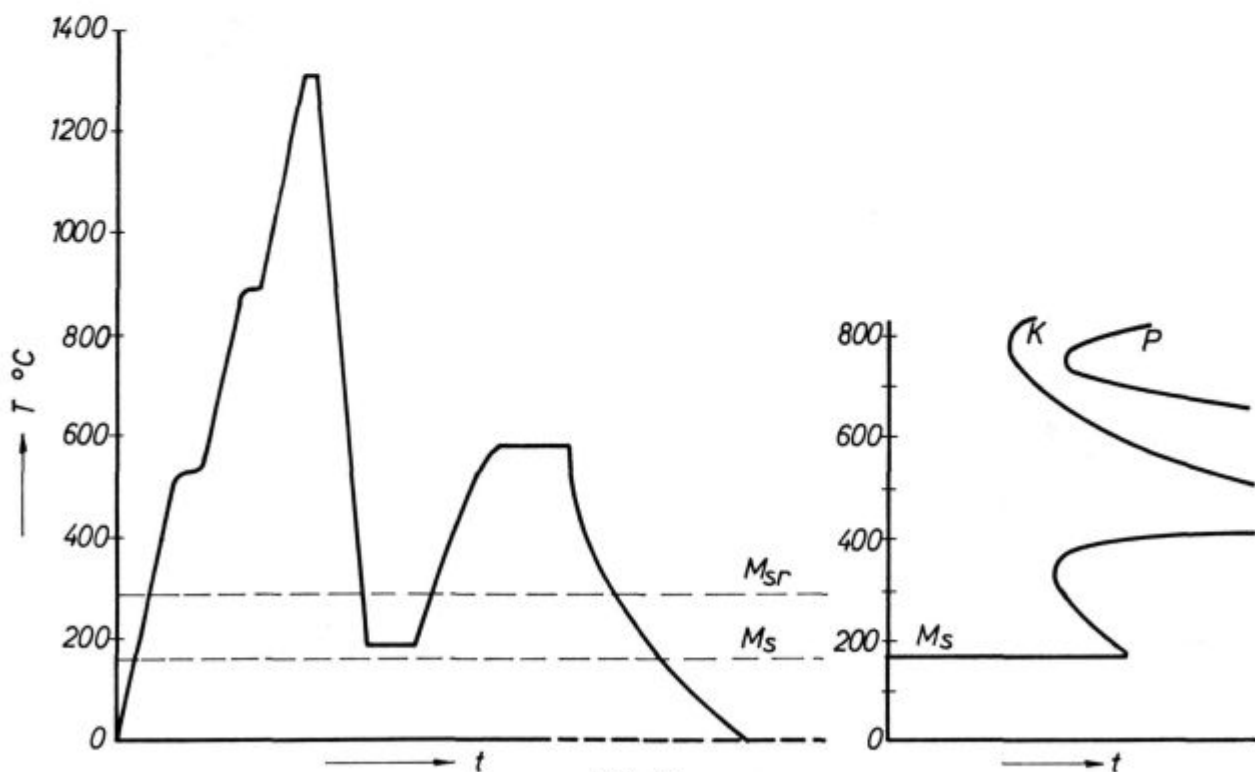
Razogljíčenje je večkrat ozko povezano z ugotavljanjem raznih napak v jeklu in njihovega nastanka. Poglejmo brez posebne sistematike nekaj zanimivih primerov.

Slika 33 kaže močno razogljíčeno razpoko v orodnem jeklu Č. 4751 — Utop Mo 1 za delo v vročem stanju. Iz razogljíčenja razpoke po vsej globini sklepamo, da je bila razpoka v jeklu že, preden je nastopila možnost razogljíčenja. Taka ugotovitev nam lahko precej pomaga pri ugotavljanju tehnološke faze, ki je povzročila razpoko.

Nasprotno na sliki 34 jasno vidimo, da je prav razogljíčenje krivo za površinsko razpoko orodnega jekla Č. 6440 — Merilo ekstra. Razogljíčena plast zaradi svoje manjše trdnosti ni zdržala natezne obremenitve pri hladnem vlečenju. Globina razpoke je tolikšna, kolikršna je globina razogljíčenja. Jeklo je bilo preveč razogljíčeno, zato je na površini pokalo.

Naslednja slika 35 kaljenega jekla za poboljšanje Č. 4732 kaže, da razpoke v močno razogljíčeni površinski plasti nastanejo pogosto tudi zaradi termičnih napetosti pri kaljenju brez drugih mehanskih obremenitev.

Sliki 36 in 37 nam kažeta dva zanimiva primera notranjih razogljíčenih plasti, kakršne lahko na-



Slika 31

Shema postopka za določevanje globine razogljíčenja na osnovi različnih temperatur M_s v razogljíčeni plasti in v osnovnem jeklu.



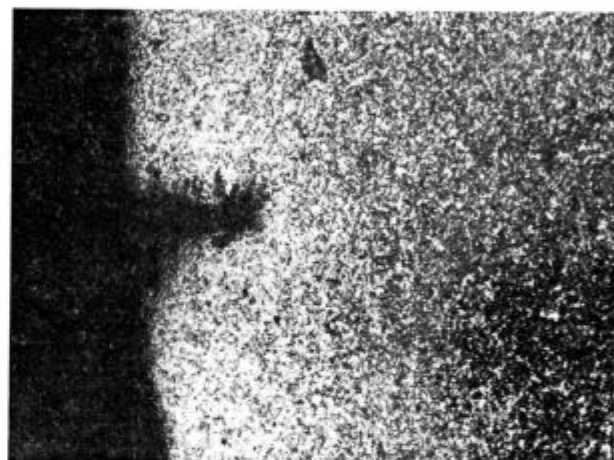
Slika 32

Primer določanja globine razogljicenia pri brzoreznih jeklih na osnovi različnih temperatur M. v razogljiceni plasti in v osnovnem jeklu.



Slika 33

Razogljicena razpoka v jeklu C. 4751 — Utop Mo 1.



Slika 34

Razpoka v razogljiceni plasti pri jeklu C. 6440 — Merllo ekstra. Ø 9 mm.

stanejo samo pri vroči predelavi z valjanjem ali kovanjem, ko se razpoke, preplate, škaja ali podobno zavaljajo ali zakujejo.

POSLEDICE RAZOGLJICENJA

Razogljicena orodja ali razogljiceni konstrukcijski, posebno pa funkcionalni strojni deli ne dosežejo zahtevane trdote na površini. Posebno pri popolnem razogljicenu nastala plast mehkega čistega ferita na površini ne omogoča doseganja zahtev, ki jih od izbranega jekla pričakujemo.

Tudi pri delno razogljicenu jeklu je utrditev površinske plasti jekla nezadovoljiva in neenakomerna.

Često povzroča delno razogljicene več težav kot popolno razogljicene do čistega ferita, ker hitreje nastane in ga težje odkrijemo. Delnega



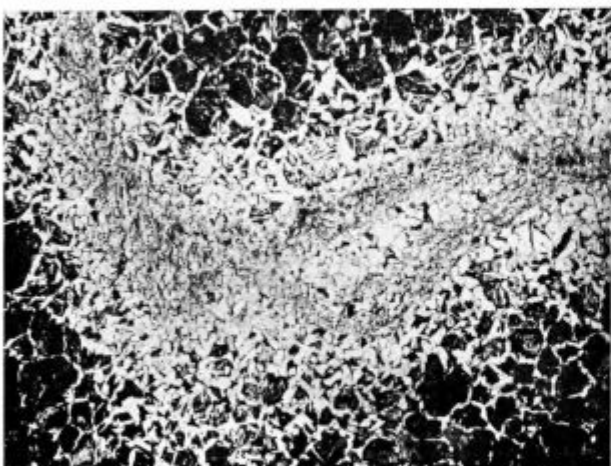
0,1 mm

Slika 35
Razpoka v razogljiveni plasti jekla C. 4732 nastala zaradi termičnih napetosti pri kaljenju.



0,1 mm

Slika 36
Razogljivenje v zvezi z napakami pri vroči predelavi jekla (C. 4830).



0,1 mm

Slika 37
Razogljivenje v zvezi z napakami pri vroči predelavi jekla (C. 1530).

razogljivenja večkrat sploh ne moremo odkriti z merjenjem trdote in z metodami brez porušitve. Večkrat kljub delnemu razogljivenju doseže jeklo normalno trdoto po kaljenju, ne dosega pa zahtevanih lastnosti pri uporabi.

Vzemimo za primer jeklo z 1,30 % C za pile. Če se razogljivi do 0,60 % C, to ne bo bistveno vplivalo na trdoto, dejansko pa ima površina bistveno drugačne lastnosti od pričakovanih. Orodje ne bo zadostilo namenu.

Razogljivena plast poslabša splošno kaljivost jekla, obenem pa močno poveča nevarnost pokanja pri kaljenju. Nepopolno kaljenje razogljivena plasti je zvezano z manjšim povečanjem prostornine v primerjavi s popolno kaljenim jedrom. Zaradi tega se toplotnim napetostim pridružijo še velike napetosti zaradi spremembe prostornine.

Jeklo z razogljiveno površino zelo slabo prenaša kakršnekoli dinamične obremenitve. Prosti ferit v razogljiveni plasti ima zelo nizko trdnost in posebno slabo obstojnost proti utrujanju. Napake in drobne razpoke v površinski plasti predstavljajo inicialne, ki se hitro širijo in privedejo do porušitve.

Če se z mehansko obdelavo razogljiveno plast popolnoma odstrani, ne bo posebnih težav in ne bo opaziti zmanjšanja obstojnosti.

Škodljivost razogljivenja se najbolj kaže na jeklenih delih, ki se mehansko ne obdelujejo in se pri njih razogljivena plast sploh ne odstrani (vzmeti, pile itd.).

UKREPI ZA PREPREČEVANJE RAZOGLJIVENJA

Kjerkoli predstavlja razogljivenje večji problem, moramo v zvezi z ukrepi za preprečevanje razogljivenja zagotoviti natančno regulacijo peči, kontrolo temperature, časa in atmosfere v peči ter obvladati optimalni tehnološki postopek ogrevanja.

Kolikor mogoče se izogibamo predolgega ogrevanja ter previsokih temperatur. Celoten proces ogrevanja naj ne bo predolg in čimbolj racionalno izbran. V območju nižjih temperatur, pri katerih še ni nevarnosti razogljivenja poskrbimo z zadržanjem za izenačevanje temperature po vsem preseku. Tako je potreben čas izenačevanja pri visokih temperaturah krajši in ogrevanje v območju visokih temperatur naj bo čimhitrejše, tako da je jeklo čim manj izpostavljeno razogljivenju.

Če nastopi v tehnološkem postopku kakršen koli zastoj, moramo temperaturo peči zaradi nepredvidenega podaljšanja časa ustrezno znižati, tako da jeklo ni izpostavljeno predolgo učinkovanju atmosfere peči pri visoki temperaturi.

Žarjenje večkrat izvajamo tako, da jeklo zaščitimo pred atmosfero peči z dobro zatesnjenimi cevmi, v katerih jeklo obdamo še z manjšo količino zaščitnih sredstev.

Pri žarjenju orodij se večkrat poslužujemo pakiranja v ostružke sive litine, ali pa v predhodno dobro žarjen kokosov zdrob.

Tudi pri zaščiti v kovaških pečeh pridejo v poštev za delno zaščito proti razogljčenju razna trdna sredstva, ki vsebujejo ogljik z dodatki aktivatorjev.

Največkrat je primernejša bolj oksidacijska atmosfera, ki povzroča škajanje in s tem delno zaščito pred nadaljnjim razogljčenjem. Posebno nevarna je rahlo redukcijska atmosfera, če vsebuje vodik.

Najboljše je ogrevanje v vakuumu, ki pa se zaradi visokih stroškov in dragih naprav uporablja le v izjemnih primerih.

Pri žarjenju je priporočljiva uporaba varovalne ali nevtralne atmosfere v električnih pečeh. Take atmosfere, ki so posebej prilagojene različnim vrstam jekla, se dandanes uporabljajo že v velikih industrijskih pečeh.

Pri toplotni obdelavi v območju visokih temperatur je najboljše in najekonomičnejše ogrevanje v ustrezni solni kopeli. Tudi te kopeli je treba primerno vzdrževati, obnavljati, čistiti in dezoksidirati.

Normalno izdelano jeklo brez posebnih varovalnih ukrepov je po valjanju ali kovanju bolj ali manj razogljčeno. Zagotoviti moramo odstranitev dodatka za obdelavo, kakršnega priporočajo norme ali navodila proizvajalca.

Literatura

1. Payson P., Metal Progress, dec. 1960, str. 78—81.
2. Boyer H. E., Surface Decarburization — Partial and Total, Steel Processing, avg. 1956, str. 462—463.
3. Barz E., Entkohlungerscheinungen an Werkzeugen, Das Industrieblatt, 6., sept. 1960, zv. 9., str. 557—563.
4. UJZ — br. int. standarda 6.05 — januar 1964, Odredjanje odugljeničnosti površinskih slojeva čelika metalografskim ispitivanjem.
5. UNI 4839 — Mar. 1962: Misurazione della profondità di decarburazione superficiale negli acciai al carbonio — Metodo microscopico.
6. Stahl — Eisen Prüfblatt 1595 — April 1959: Microscopische Ermittlung der Randentkohlung von Werkzeug- und Schnellarbeitsstählen.
7. ASTM Standards Part 31 — Metallography.
8. GOST 1763—42: Metod opredelenija glubini obezugleroživanja staljnih polufabrikatov i detalej mikroanalizom.
9. Powell J. R.: Measurement of a Decarburised Layer on High Speed Steel, Metallurgia, dec. 1964, str. 295 do 298.
10. GOST 5952—63 — priloženije 1. — Stalj instrumentalnaja bistrorežuščaja — Opredelenje obezugleroženo sloja metodom kontrolja mikrostrukturi posle specialnoj termoobrabotki (metod Sadovskovo).

ZUSAMMENFASSUNG

Die Entkohlung verursacht bei der Herstellung von Stahlprodukten manche Schwierigkeiten. Deswegen sind die Forderungen in den einzelnen Produktionsphasen sehr streng und die Überwachung der Entkohlung ist dringend. Der ganze Erwärmungsvorgang muss vollkommen beherrscht und optimisiert werden.

Bei verschiedenen Stahlsorten ist neben den Kriterien für die Bestimmung die Entkohlungstiefe manchmal auch die Technik der Entdeckung der Entkohlenen Schicht problematisch. Der grösste Teil dieses Artikels ist der Metallographischen Bestimmungstechnik der Entkohlung bei verschiedenen Stahlsorten gewidmet. Neben der dringend nötigen Erklärung über die Entkohlungsproblematik ist in dem Artikel eine kurze Übersicht der verschiedenen

Bestimmungsmethoden der Entkohlung gegeben. Im Einzelnen ist nur die metallographische Methode mit der Untersuchung des Mikrogefüges in der Oberflächenschicht beschrieben.

Es sind einige Sonderbeispiele der Entkohlung, mit den Charakteristischen Folgen dieser Entkohlung, bei der Verwendung solcher Stähle gegeben. Auch eine kurze Übersicht der üblichen Massnahmen zur Verhinderung der Entkohlung ist gegeben.

Der Anlass zu diesem Artikel sind die unzähligen Missverständnisse, in der Beziehung der Entkohlung, vollkommen oder teilweise. Wegen des Mangels an klaren Vorschriften und Standards in unserem Land, oder wegen der mangelhaften Anweisungen für die Bestimmung der Kriterien für die Bemessung der Entkohlungstiefe.

SUMMARY

Decarburization causes many troubles in production of steel products. Therefore demands in individual process phases are very strict and control of decarburization is necessary. The whole process of heating must be completely mastered and optimized.

Beside the criteriums of determining the depth of decarburization often also technics of discovering the decarburized layer in different steel types are dubious. The majority of paper deals with metallographic technics of investigating decarburization and decarburization characteristics in different steels. Beside the necessary basic explanations about decarburization of steel the paper gives a short review of various methods for determination of

decarburization. Only the metallographic method with the review of microstructures of the surface layer is discussed more in details.

Few special cases of decarburization are shown, some the most characteristic consequences of decarburization when steels used are enumerated, and a short review of the most common measures to prevent decarburization is presented.

Reason for this paper are frequent misunderstandings about the decarburization — complete or partial — due to lack of clear standards in our country or due to lack of instructions how to determine the depth of decarburized layer.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обезуглероживание изделий из стали во время производства причиняет много затруднений. Поэтому весьма строгие требования определения обезуглероживания необходимы во всех отдельных технологических фазах. Весь режим нагрева необходимо хорошо знать и усовершенствовать. При различных сортах стали кроме критерия определения обезуглероживания часто наступают затруднения при технике определения обезуглероженого слоя. Большая часть статьи посвящена металлографической технике определения обезуглероживания отдельных сортов стали. Кроме необходимых основных понятий о проблематике обезуглероживания стали дан короткий обзор разных методов определения

обезуглероживания; подробно же рассмотрен металлографический метод с осмотром микроструктуры слоя на поверхности изделия. Описаны некоторые специальные случаи обезуглероживания, упомянуто несколько характерных последствий обезуглероживания при стали и наконец дан краткий обзор наиболее обыкновенных мер за избежания обезуглероживания. Эта статья написана из за того что доходило до частых недоразумений что касается частичного или полного обезуглероживания вследствие недостатка ясных стандартов в нашей стране а также вследствие недостатка инструкций для определения критериев за измерения глубины обезуглероженого слоя.



Kratek pregled razvoja in proizvodnje Železarne Ravne

Železarna Ravne sodi med najstarejše proizvajalce jekel v Evropi. Temelji nastanka današnje moderne železarne izvirajo še iz časov keltskih Noričanov. Zgodovina Železarne Ravne je v bistvu zgodovina železarskih obratov v Mežiški dolini. Ustanovno letnico teh obratov — 1620 štejemo za letnico nastanka sedanje Železarne Ravne.

Od 130 jeklarskih obratov, ki so obratovali v vzhodni in spodnji Koroški, je samo Železarna na Ravnah vzdržala močno konkurenco in se prerivala skozi vse krize 19. in v začetku 20. stoletja. Za to se je treba zahvaliti bogatim izkušnjam, pridnim delavcem ter dolgoletni tradiciji v izdelavi plemenitih jekel.

Ravensko jeklo je hitro pridobilo veliki sloves. Kvaliteta jekel je potrjena z visokimi priznanji, prejetimi na številnih mednarodnih industrijskih razstavah. Že pred I. svetovno vojno so ravensko jeklo poznali na vseh svetovnih tržiščih. Številni prodajni dokumenti pričajo, da so Ravne izvažale svoje jeklo v Grčijo, Poljsko, Francijo, Španijo, Portugalsko, Severno in Južno Ameriko, Turčijo, Ciper, Egipt, Indijo, Japonsko in Kitajsko.

V obdobju med obema vojnama ni bil dosežen noben napredek. Nasprotno, pomen jeklarne je celo upadel.

Ponovna rast Železarne Ravne se je začela kmalu po osvoboditvi 1945. leta. V okviru narodnega gospodarstva je Železarna Ravne dobila pomembno mesto in vlogo. Določeno je bilo, da Železarna Ravne razvija proizvodnjo visoko kvalitetnih jekel. Razvoj asortimenta proizvodnje kaže močno gibanje v tej smeri. Pred II. svetovno vojno in do leta 1945 je Železarna Ravne proizvajala predvsem navadna in delno kvalitetna jekla, medtem ko v proizvodnem programu ni bilo plemenitih jekel. Leta 1967 so skoraj 58 % proizvodnje surovega jekla zavzemala plemenita jekla, 42 % kvalitetna in samo 0,3 % navadna jekla. To razmerje se bo v naslednjih letih še bolj spremenilo v prid plemenitim vrstam jekla.

Porast proizvodnje surovega jekla je bil naslednji: od 7557 ton 1939. leta na 12.731 ton v letu 1950, in 50.000 ton 1960. leta ter 100.500 ton 1966. leta. V gradnji je nadaljnje povečanje proizvodnih zmogljivosti surovega jekla, jeklolivarne in valjarne in drugih obratov v sklopu podjetja. V nekaj letih se bodo zmogljivosti proizvodnje surovega jekla povzpele na 230.000 ton letno.

Vzporedno z razširitvijo talilniških, livarskih in valjarskih agregatov se razvijajo obrati za mehansko predelavo in obdelavo jekel.

Letna zmogljivost kovačnice je 18.000 ton. V obratovanju je 10 kovaških kladiv in dve moderni hidravlični stiskalnici — večja ima pritisno moč 1.800 ton.

Srednja proga (\varnothing 500 mm) nove moderne profilne valjarne je začela z delom konec 1963. leta, v letu 1967 pa tudi fina proga (\varnothing 360 mm). Obe progi je postavila znana švedska firma MORGARDSHAMMAR. V gradnji je še blooming valjarna (\varnothing 750 mm).

Livarna jeklene litine je največja in najmodernejša v državi. Sedanja proizvodnja je 10.000 ton jeklenih ulitkov letno, a čez nekaj let se bo letna proizvodnja povzpela na 15.000 ton. Izdelujemo velike in srednje serije lahkih (1 do 25 kg) ter srednje težkih (26 do 70 kg) jeklenih ulitkov na malih in velikih kaluparskih strojih. Težje serijske ulitke (71 do 5.000 kg) izdelujemo s pomočjo peskometa. V ročni oblikovalnici izdelujemo posamezne ulitke kosovne teže do 35 ton.

Vzmetarna ima zmogljivosti za proizvodnjo 8.000 ton kompletnih vzmeti in vzmetnih listov. To je nov moderni obrat za izdelavo listnatih in spiralnih vzmeti v srednji in težki izvedbi, predvsem za avtomobilsko industrijo (tovorna vozila in avtobusi). Proizvodnja vzmeti bo čez nekaj let znašala okrog 10.000 ton.

Od leta 1965 obratuje nov obrat za vlečenje jekla — jeklovlek. V tem obratu izdelujemo vlečeno, luščeno in brušeno jeklo vseh kvalitetnih in plemenitih vrst ter vlečeno žico.

Mehanična delavnica je razširjena v sodoben obrat za obdelavo valjanih, kovanih in litih delov. Serijsko izdelujemo različne pnevmatske stroje in orodja za potrebe rudarstva, gradbeništva, ladjedelništva in kovinske industrije. V tem obratu izdelujemo tudi industrijske nože in druge vrste rezalnega orodja ter pribora za kovinsko, lesno, grafično, tobačno in druge industrijske panoge iz kvalitetnih in plemenitih jekel: od ogljikovih do brzoreznic.

Moderna sredstva in metode kontrole v naših razvojnih in kontrolnih metalurških in mehanskih laboratorijih nam omogočajo pravočasno odkrivanje napak v kvaliteti in tako lahko nudimo potrošnikom samo kvalitetno izdelane izdelke s popolnimi navodili za toplotno obdelavo, način vzdrževanja in nameni uporabe.

O rastrski elektronski mikroskopiji in rentgenski mikroanalizi

Članek opisuje zgradbo in način dela rastrskega elektronskega mikroskopa, način pridobivanja in izkoriščanja informacij v njegovih sestavnih delih, eksperimentalne možnosti mikroskopa in nekaj primerov uporabe.

Članek je posneto predavanje japonskega strokovnjaka na Simpoziju oktobra 1969 na Bledu.

Rastrski elektronski mikroskop* (REM) in mikrosonda — elektronski mikroanalizator (MS) sta v principu popolnoma enaka. REM lahko postane MS v splošnem pomenu, če omogoča rentgensko spektroskopijo. Članek obravnava take vrste inštrument — JSM-U3 rastrski elektronski mikroskop, ki je kombiniran in se lahko uporablja za rastrsko mikroskopijo in za rentgensko mikroanalizo.

Kljub dolgi zgodovini REMa, ki ima svoje začetke skoraj tako daleč nazaj kot običajni transmisijski elektronski mikroskop, je REM postal trgovsko uporaben inštrument mnogo kasneje kot MS. REM je relativno nov inštrument in se trgovsko uporablja le zadnjih nekaj let. Sedaj se novi REM JSM-U3 lahko uporablja v oba namena.

Vzorec bombardiramo v REM s finim fokusiranim elektronskim snopom, katerega presek zmanjšujeta elektromagnetski leči. Snop, čigar premer je v splošnem velikostnega reda 100 Å ali manj, udarja vsakokrat le ob eno točko vzorca, zato moramo zbrati podatke s številnih točk, da dobimo podobo površine vzorca.

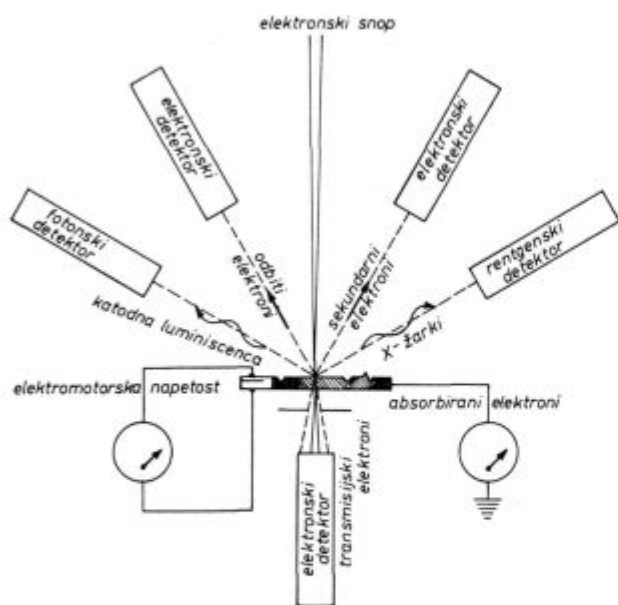
Slika 1 pokaže, kakšne informacije dobimo pri bombardiranju z elektronskim snopom in kako jih uporabljamo za ustvarjanje podobe.

Bistveni signal pri REM so sekundarni elektroni, pri MS pa rentgenski žarki.

Med običajnimi načini delovanja je rastriranje elektronskega snopa po površini vzorca. Hkrati poteka tudi rastriranje na katodni cevi, ki je sinhronizirana z elektronskim snopom, tako da vsaka točka na katodni cevi ustreza točki na vzorcu. Intenzivnost katodne cevi moduliramo sorazmerno z intenzivnostjo informacije, kot kaže slika 1. Vse podobe razen rentgenske podobe, so pokazane kot zvezna modulacija svetlobe, rentgenska slika pa je upodobljena z modulacijo gostote belih točk, kjer vsaka mala bela točka ustreza karakterističnemu rentgenskemu signalu.

Imamo seveda tudi druge načine delovanja — črtno rastriranje, stacionarno obsevanje določene mesta, ipd. — ki so bistveni za rentgensko mikroanalizo kot dopolnilo rastriranju.

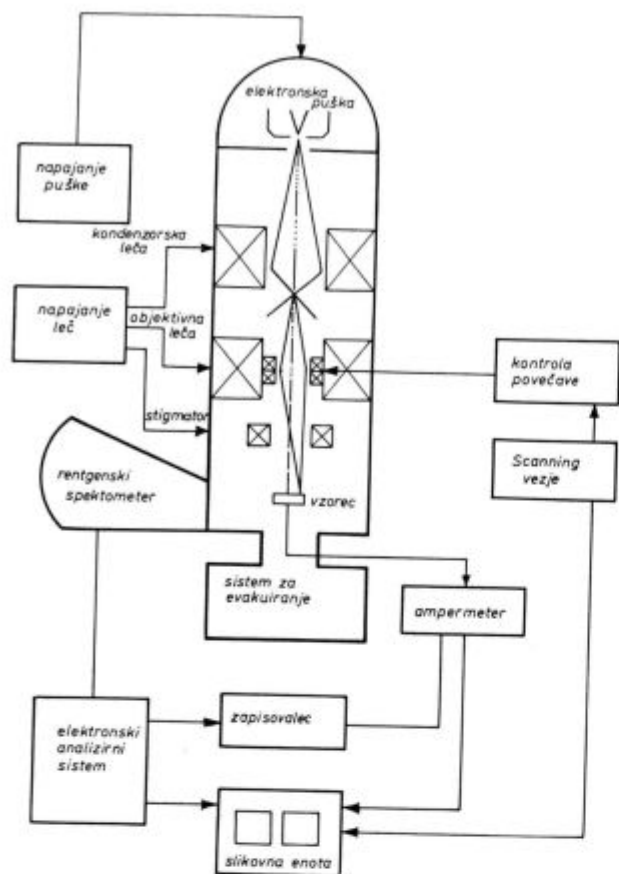
Slika 2 kaže glavne konstrukcijske poteze novega JSM-U3 rastrskega elektronskega mikroskopa za kombinirano uporabo. Elektronski snop rastriramo (scan) z elektromagnetnimi defleksijskimi tuljavami v sinhronizaciji s slikovnimi cevmi. Povečava je enostavno razmerje med velikostjo slikovnega območja na katodni cevi, in razdaljo, katero otipava snop po površini vzorca. Imamo detektorje za vse vrste informacij. Dvoje katodnih cevi lahko uporabimo za prikazovanje različnih slik ene poleg druge, kar zelo olajša interpretacijo, ko primerjamo različne vrste informacij. Pri rentgenski mikroanalizi lahko uporabimo dvokanalni disperzijski rentgenski spektrometer z analizirnimi kristali v skrajni meji in / ali enokanalni nedisperzijski rentgenski mikroanalizator s silicijevim detektorjem, aktiviranim z litijem.



Slika 1

Vrste informacij, ki jih daje bombardiranje vzorca z elektronskim snopom

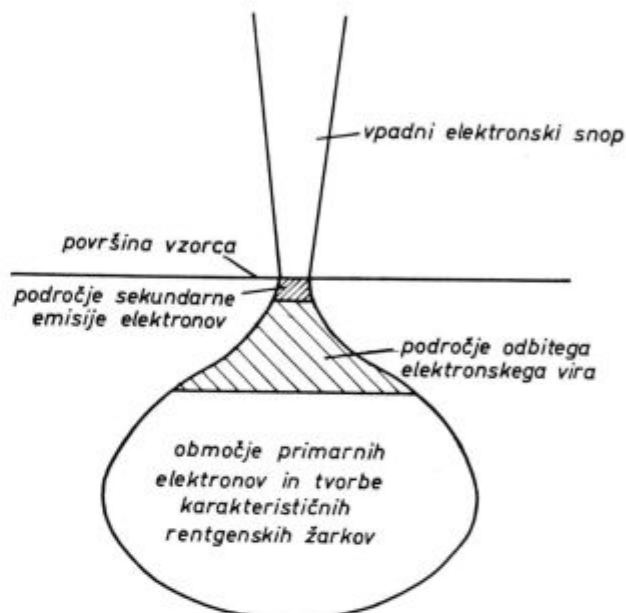
* angleško: Scanning electron microscope
nemško: Raster Elektronen Mikroskop
francosko: Microscope électronique par balayage



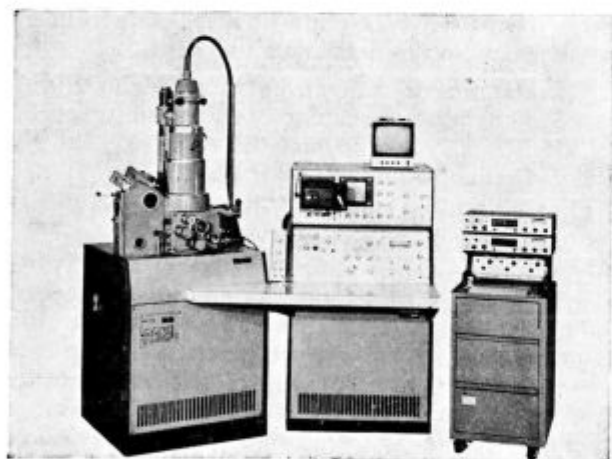
Slika 2
Shema REM-a

ogrodje za registrirno pisalo), in četrte enote (TV rastrska naprava za dinamično opazovanje s standardno hitrostjo rastriranja TV oddajanja).

REM ima zjamčeno ločilno zmožnost 200 Å za sekundarno elektronsko podobo. Razločevanje slike, ki jo dobimo z REM, je omejeno z velikostjo površine, ki ob vsakem času emitira elektrone ali rentgenske žarke. Ko elektronski snop udari ob vzorec, odboj povzroči, da se snop razprši, tako da ima končna prostornina elektronskega ujetja v grobem obliko solze, kot kaže slika 4.



Slika 4
Prodiranje vpadnega elektronskega snopa v vzorec



Slika 3
Pogled na REM JSM-U3

Slika 3 ponazarja splošni pogled na JSM-U3 SEM za kombinirano uporabo, ki sestoji iz prve enote (glavno ogrodje, ki vsebuje elektronski optični sistem, komoro za vzorec, rentgenski spektrometer in vakuumski sistem), druge enote (slikovno in delovno ogrodje, ki zajema sistem elektronskega rastriranja, delovni sistem ter dovod energije), tretje enote (elektronski analizni sistem ter

V vsej tej prostornini nastajajo sekundarni elektroni z energijami do okoli 50 eV; toda na okoli 100 Å dolgi poti se reabsorbirajo, zato lahko odkrijemo le prostornino, oddaljeno 100 Å ali manj od površine, ki emitira sekundarne elektrone. Ta prostornina je le za nekaj desetink angströma večja kot premer padajočega snopa, ki ni imel mnogo možnosti, da se razprši. Zaradi tega daje pri rastrski elektronski mikroskopiji sekundarna elektronska slika največjo ločljivost pri transmissijski elektronski sliki, lahko se pa doseže še boljša ločljivost. Nazaj odbiti elektroni pridejo iz večje globine, torej iz točke, kjer se je snop že dalje razpršil, tako da je ločljivost slike iz odbitih elektronov slabša kot pri sliki iz sekundarnih elektronov. Še več, ločljivost slike iz odbitih elektronov je v veliki meri odvisna od stopnje razpršitve snopa, ki narašča z naraščajočo pospeševalno napetostjo in solza postaja večja. Rentgenski žarki in lahki fotoni prihajajo normalno iz notranjosti solze in dajejo zato najslabšo ločljivost.

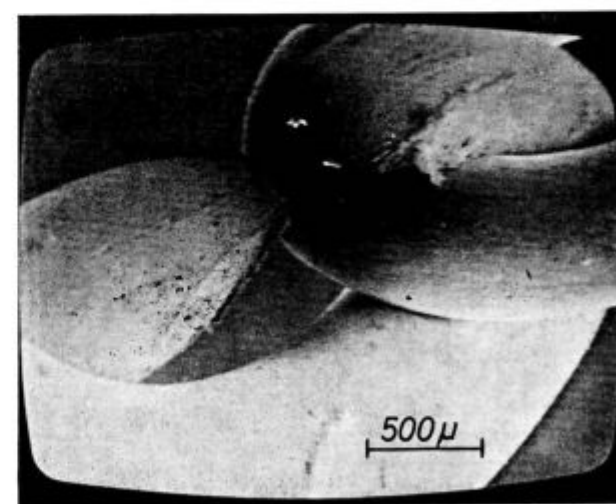
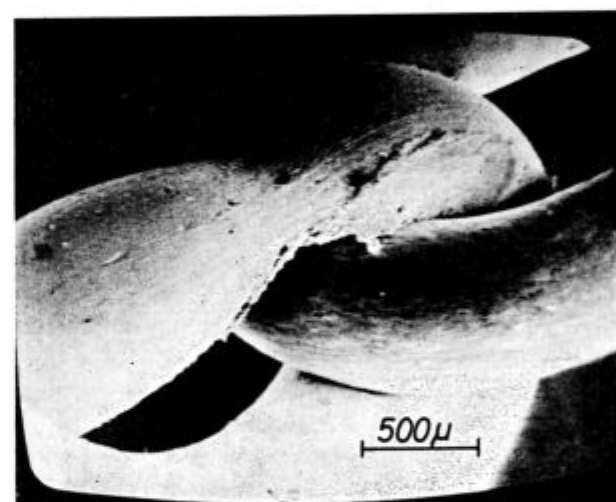
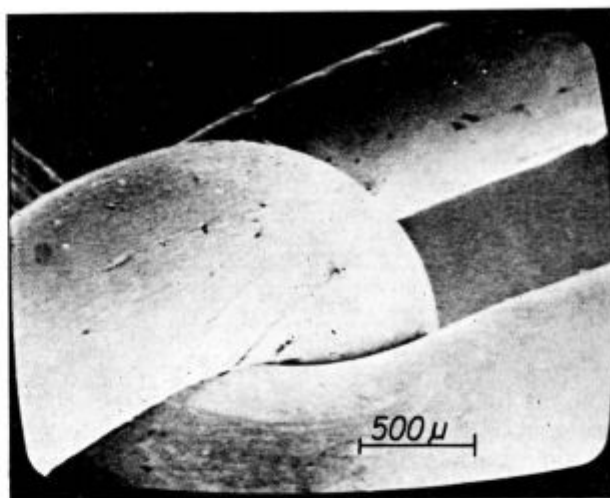
Po zelo grobi oceni, bo imela slika iz sekundarnih elektronov ločljivost 100 Å, slika iz odbitih elektronov ločljivost 1000 Å, rentgenska slika pa ločljivost 1 mikron.

S stališča ločilne zmožnosti je REM most med optičnim mikroskopom in običajnim transmisij-skim elektronskim mikroskopom, vendar je popolnoma edinstven inštrument za stereoskopsko tridimenzionalno opazovanje z veliko globinsko ostrino in mnogostranostjo.

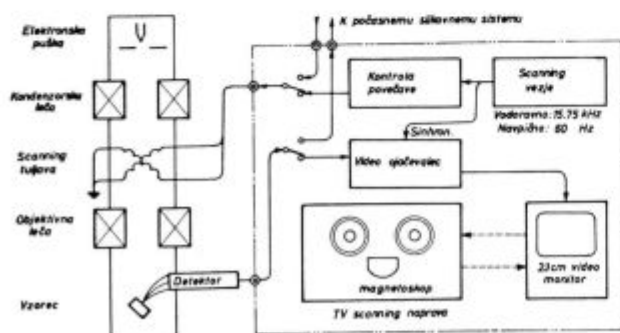
Zelo velika delovna razdalja in majhna apertura končne leče dajeta zelo paralelen, enakomeren in fokusiran snop na precejšnji razdalji, tako da je slika v fokusu, če snop zadene vzorec, kjerkoli na tej razdalji. Področje ostrine je obratno sorazmerno povečavi, tj. od nad 1000 (μ pri povečavi $100\times$ do nad 10μ) pri povečavi $10.000\times$. V splošnem bo slika v fokusu v kubični prostornini na površini vzorca, kjer se razgrinja elektronski snop. Pri preiskavi hrapave površine je REM nepogrešljiv. Še več, ne zahteva nobene priprave vzorca, oziroma kvečjemu, da naparimo tanko (100 \AA) plast kovine in tako omogočimo prevajanje na izolacijski površini. Zamudna tehnika replik za običajni transmisijski mikroskop ne daje boljše ločljivosti, ampak pogosto povzroča popačenja (artefakte). Te tehnike prav tako ne moremo uporabiti pri zelo hrapavih, drobljivih in posebnih površinah.

REMu lahko dodamo še napravo, ki omogoča rentgensko mikroanalizo vseh elementov od berilija do urana. Pri njem lahko uporabimo dve metodi rentgenske spektroskopije: disperzijsko metodo z mehničnim rentgenskim spektrometrom z analizirnimi kristali ter nedisperzijsko metodo s silicijevim detektorjem, aktiviranim z litijem. Obe metodi imata svoje posebne značilnosti. Disperzijska metoda daje najboljšo ločljivost spektra in po njej lahko analiziramo lahke elemente (Be, F). Nedisperzijska metoda pa omogoča velike občutljivosti za srednje in težke elemente zaradi velikega vpadnega kota, ker detektor lahko sprejme več rentgenskih žarkov iz vira rentgenskih žarkov, in tako je možna spektroskopija vseh določljivih elementov (Na—U) hkrati, če uporabljamo večkanalni pulzivni analizator višine s spominom.

Navadno je treba imeti snop premera nekaj desetink mikrona, da dobimo tok snopa 10^{-7} do 10^{-9} \AA , ki je potreben za rentgensko mikroanalizo z disperzijskim rentgenskim spektrometrom. Zmanjšanje snopovega premera zahteva zmanj-



Slika 6
TV scanning mikrografske slike, ki kažejo procese v žici Pb-Sn pri uporabi naprave za trganje. Čas med a in c je okoli 10 sekund



Slika 5
Shema REM-a s TV scanning napravo

šanje snopovega toka (premer je premo sorazmeren snopovemu toku na potenco $8/3$), tako da teče pri elektronskem snopu premera 100 \AA tok samo 10^{-10} do 10^{-12} amperov, ki še zadostuje za tvorbo sekundarne elektronske podobe ter omogoča ne-disperzijsko rentgensko spektrometrijo, vendar ne zadošča za disperzijsko rentgensko spektrometrijo. V nadaljnjem bomo navedli več na novo razvitih tehnik.

NAPRAVA ZA TV RASTRIRANJE

Z navadnim rastrskim elektronskim mikroskopom je težko opazovati dinamične spremembe procesov v vzorcu pri uporabi naprav za trganje ali naprav za ogrevanje zaradi majhne hitrosti rastriranja.

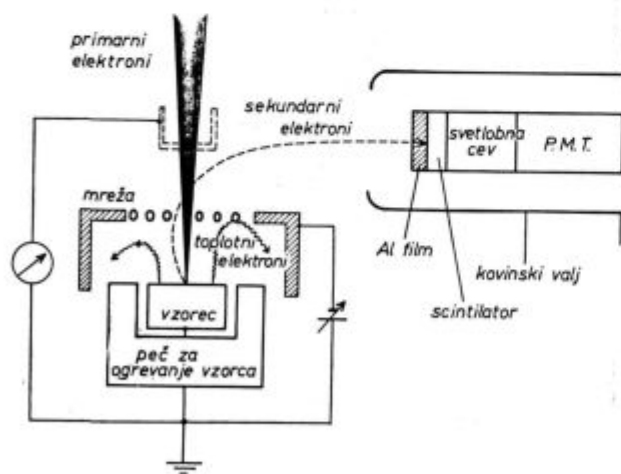
Te težave smo premagali tako, da uporabljamo navadno TV tehniko, tj. hitro rastriranje.

Vzroki, da smo uporabili standardni TV sistem, so naslednji:

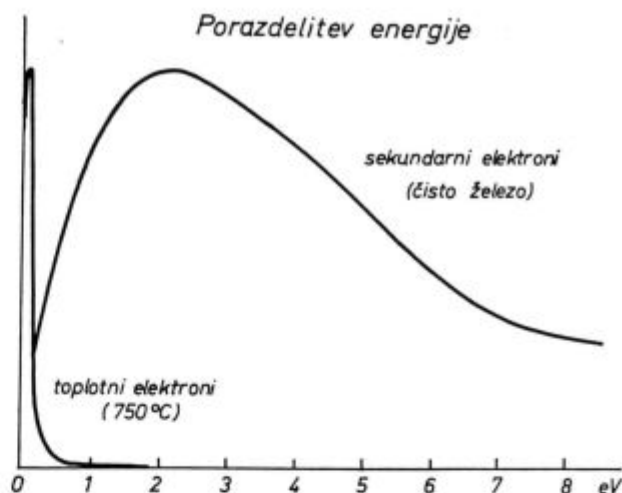
1. Za slikovno enoto lahko uporabimo navadni monitor video.
2. Kot lahko sinhroniziramo okvirno frekvenco rastriranja s frekvenco izvira energije (50 do 60 Hz), lahko eliminiramo vpliv magnetnega polja, ki moti in povzroča popačenje in nestabilnost podobe.
3. Migetanje podobe je za oko zanemarljivo.
4. Navadni magnetoskop lahko uporabimo za snemanje slike.

Ločljivost slike omejujejeta svetlost in premer elektronskega snopa ter razmerje med signalom in ozadjem slike. Pri tem poskusu smo dobili ločljivost slike 1000 \AA na prelomni kovinski površini pri pospeševalni napetosti 25 kV, snopovem toku 3×10^{-9} amperov ter razmerju signal—ozadje 30.

Shemo REMa s TV napravo rastriranja prikazuje slika 5.

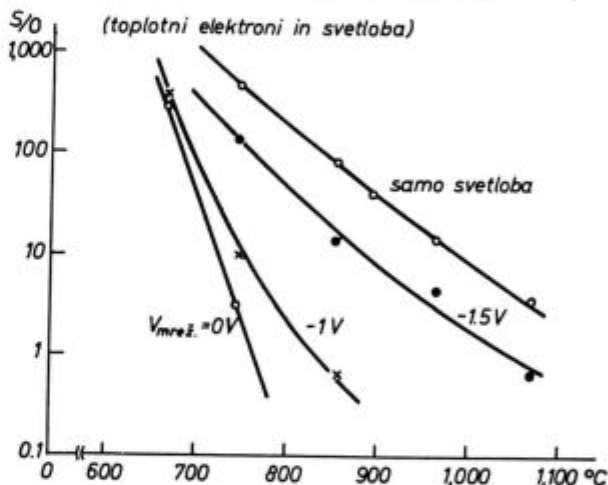


Slika 7
Shematični diagram naprave za ogrevanje vzorca

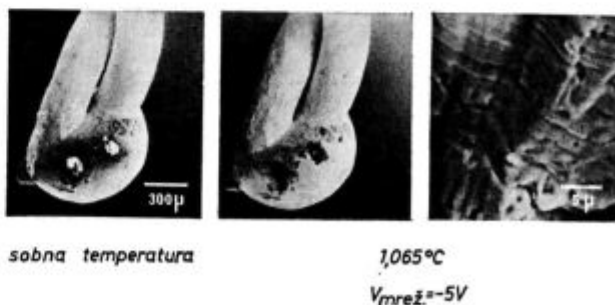


Slika 8
Porazdelitev energije toplotnih elektronov in energije sekundarnih elektronov skupaj s toplotnimi pri 750°C

Razmerje med signalom (intenzivnost sekundarnih elektronov) in ozadjem



Slika 9
Razmerje med signalom (sekundarni elektroni) in ozadjem (toplotni elektroni in svetloba). S/O je razmerje signal-ozadje

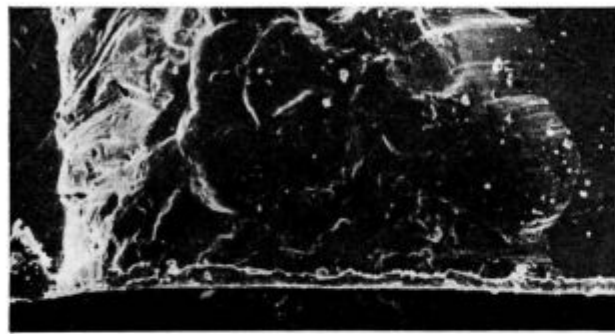


Slika 10
Konica termoelementa pri sobni temperaturi in pri 1065°C

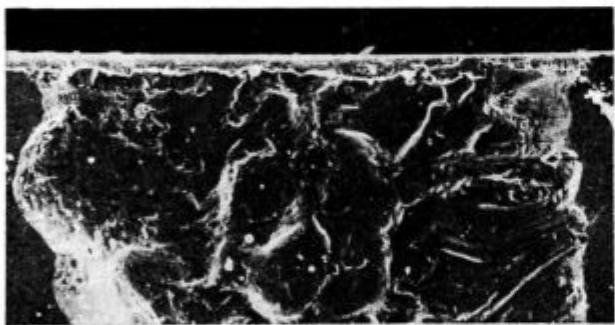


Slika 11
Sprememba perlitne strukture jekla z 0,4 % C
pri okoli 720° C

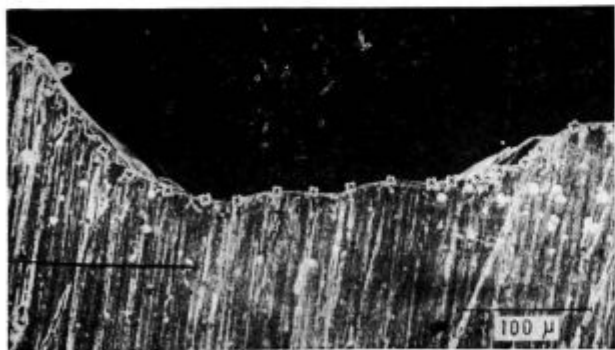
$V_{mrež} = -5V$



a



b



c

Slika 12
Par stereo posnetkov zareze na bakrovem bloku in pogled
po preseku

Poglavitne točke, ki jih moramo upoštevati pri tem inštrumentu, so tuljave za rastriranje v elektronski optični koloni in detektor za rastrirane elektrone.

Spremembe v vzorcu pri uporabi naprave za trganje prikazujejo slike 6 a, b in c.

NAPRAVA ZA OGREVANJE VZORCA ZA SEKUNDARNO ELEKTRONSKO PODOBO

Izdelali smo napravo za ogrevanje vzorca za scanning elektronsko mikroskopijo. Podobno napravo uporabljamo pri elektronski mikrosondi. Pri uporabi te naprave za ogrevanje vzorcev pri rastrskem elektronskem mikroskopu pa nastaneta dva problema. Pretehtati moramo, kako ločiti toplotne elektrone od sekundarnih elektronov, da dobimo dobro kvaliteto sekundarne elektronske podobe. Drugi problem se pokaže v tem, da je detektor za sekundarne elektrone občutljiv tudi za svetlobne fotone, ki jih emitirata vzorec in peč pri visokih temperaturah. Detektor moramo zaščititi pred temi svetlobnimi fotoni.

Slika 7 kaže shematični diagram te naprave. Temperaturo vzorca lahko spreminjamo od sobne temperature do 1100° C. Nikljevo mrežico, na katero je pritisnjena zaviralna napetost, uporabljamo za ločenje termičnih elektronov od sekundarnih elektronov. Scientilator in svetlobna cev sta obložena v kovinski valj, ki ščiti pred svetlobo. Celo scientilatorja je pokrito s tankim aluminijskim filmom, debelim 1500 Å.

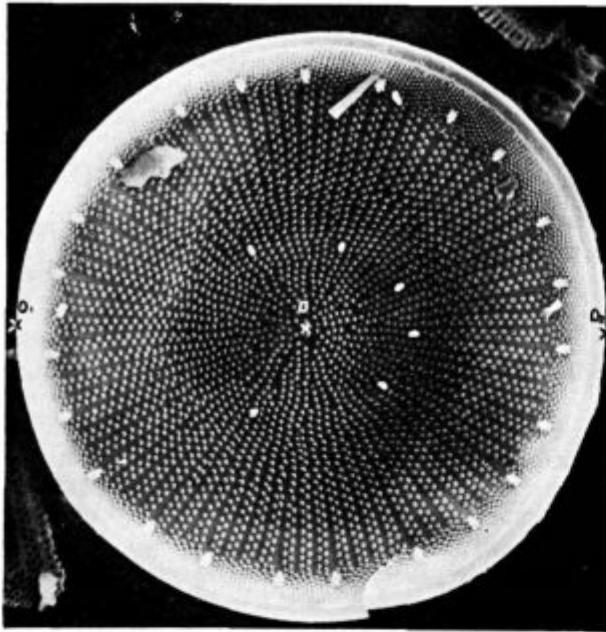
Slika 8 prikazuje porazdelitev energije toplotnih elektronov in porazdelitev energije sekundarnih elektronov skupaj s toplotnimi elektroni pri 750° C. Toplotni elektroni imajo manjšo energijo kot sekundarni elektroni. Kot kaže slika, zadušimo toplotne elektrone popolnoma, če je napetost mrežice pod minus 2 volta. Pod temi pogoji zadušimo tudi nekaj sekundarnih elektronov. Preostali sekundarni elektroni zadostujejo za dobro kvaliteto slike.

Slika 9 kaže odvisnost razmerja med signalom (sekundarnimi elektroni) in ozadjem (toplotni elektroni in svetloba) ter temperaturo vzorca za različne napetosti mrežice.

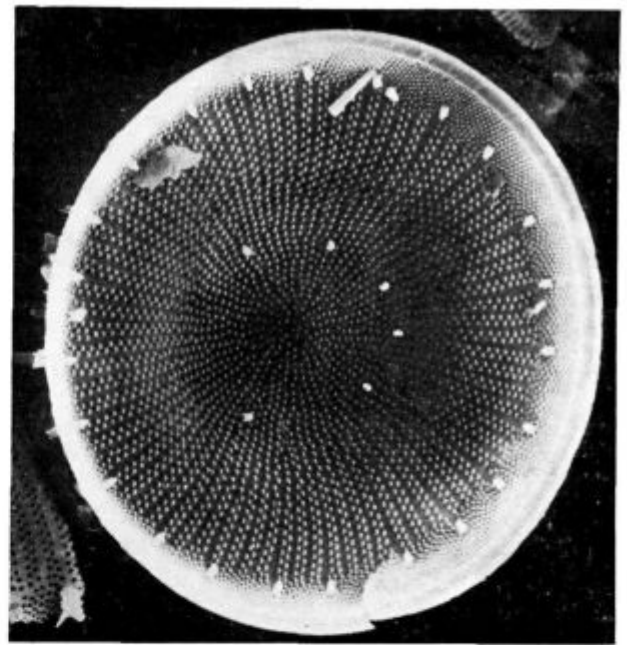
Slika 10 kaže podobo konice termoelementa pri sobni temperaturi in pri 1065° C. Kvaliteta slike pri visoki temperaturi je enaka kot pri sobni temperaturi.

Slika 11 kaže spremembo perlitne strukture jekla z 0,4 % C pri temperaturi okoli 720° C.

Po tej metodi lahko opazujemo vzorec pri visoki temperaturi, ne da bi motili toplotni elektroni. Namestitve te naprave za ogrevanje vzorcev v REM



a



b

skupaj z TV napravo za rastriranje dovoljuje tudi opazovanje hitrih dinamičnih sprememb v vzorcu, če spreminjamo temperaturo.

STEREOMIKROGRAFSKA ANALIZA

Ko opazujemo vzorec z REM, pogosto želimo izmeriti višino (ali globino) tvorb na površini vzorca. V tem primeru lahko ocenimo višino navadno po senci na posameznih mikrografskih slikah. Za kvantitativno meritev višine pa potrebujemo par mikrografskih slik z istega polja, ki sta posneti pod različnima zornima kotoma. Višino izračunamo z analizo razlike med obema mikrografskima slikama.

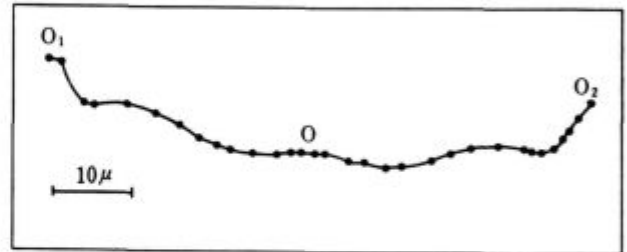
Slika 12 kaže par stereo posnetkov (a in b) zareze na bakrenem bloku z razliko nagibnega kota 20° , ter pogled po preseku zareze, prikazane na (a) in (b). Izračunana globina točk na robu vzorca je narisana na mikrografski sliki (c), kot primerjava s pogledom po preseku. Izračunana globina se dobro ujema z dejansko globino.

Par stereo posnetkov diatomejske zemlje z razliko nagibnih kotov 20° kažeta sliki 13 a in b.

Izračunani presek vzdolž črte O_1-O-O_2 je na sliki 13 c in kaže, da ima vzorec obliko pladnja.

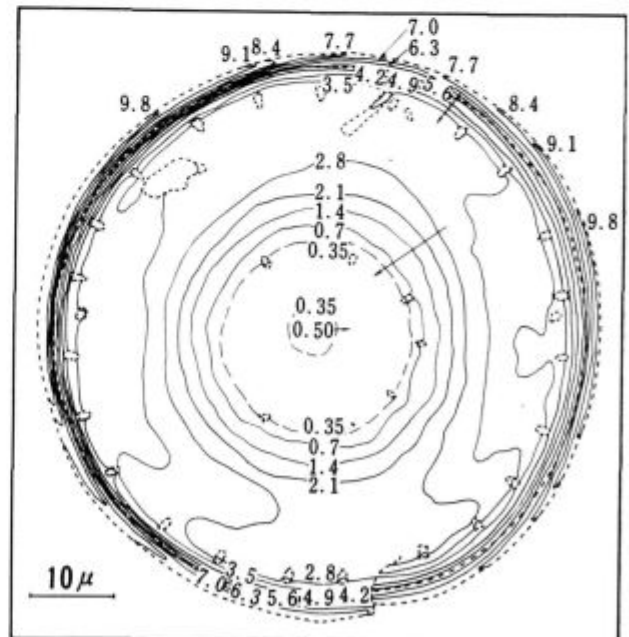
Konturno podobo vzorca lahko dobimo z vrsto presekov vzdolž različnih črt na vzorcu. Vsekakor je to zamuden postopek; delo lahko olajša stereoskopski risalni inštrument, ki ga uporabljamo pri fotogrametriji.

Naslednjo konturno podobo smo napravili s stereoskopskim risalnim inštrumentom Autograph

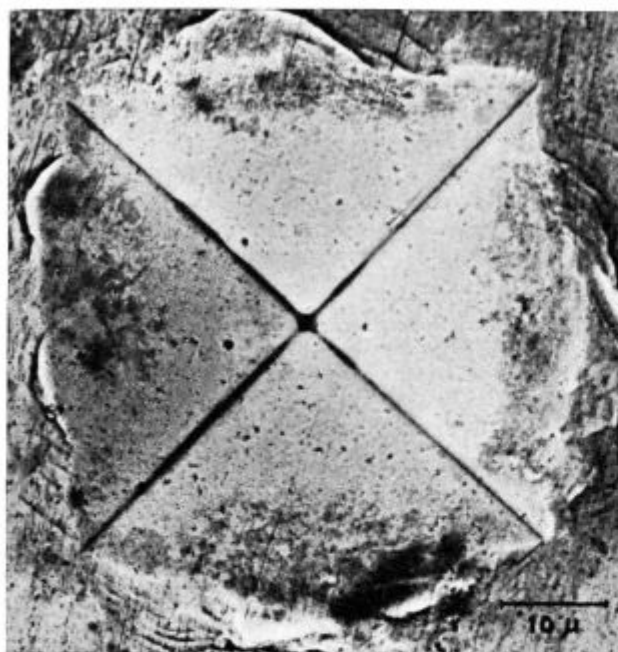


c

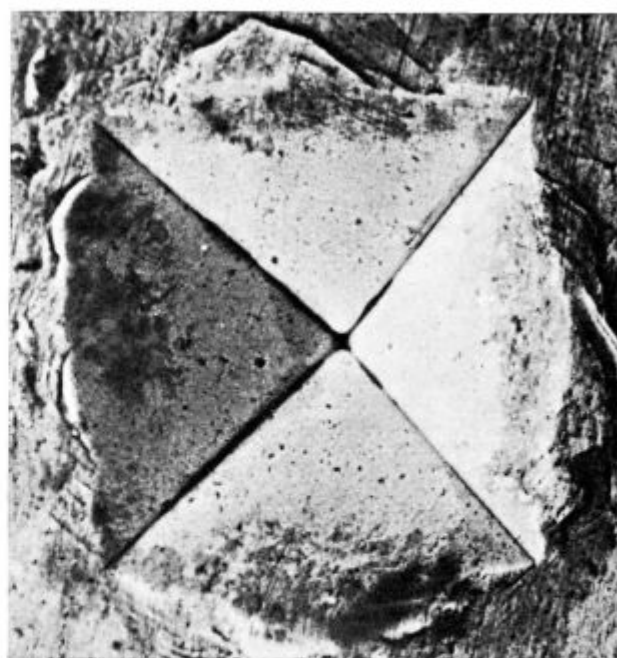
Slika 13
Par stereo posnetkov diatomejske zemlje



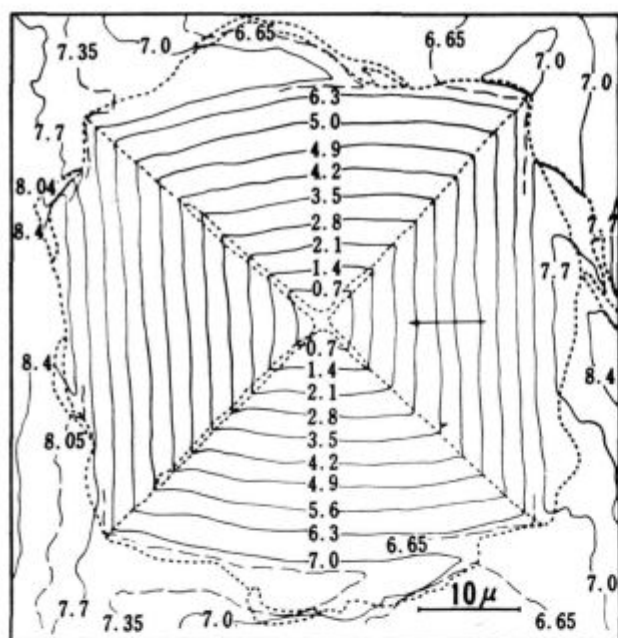
Slika 14
Konturna slika diatomejske zemlje



a



b



c

Slika 15
Par stereo posnetkov vtiska diamantnega stožca
in njegova kontrarna slika

A7, ki ga izdeluje Wild Heerbrugg Ltd. Slika 14 je konturna podoba diatomske zemlje, prikazane pri paru stereo na sliki 13.

Konturni interval je $0,7\mu$, puščica nakazuje smer nagiba navzdol. Slike 15 a, b in c pa prikazujejo par stereo vtiska diamantne konice merilnika trdote po Vickersu in njegovo konturno podobo.

UPORABA MIKROGRAFIJE

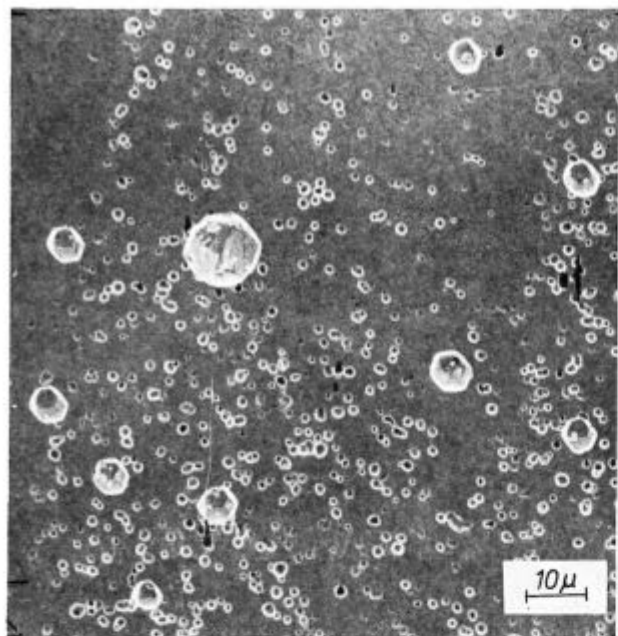
V naslednjem bomo prikazali več primerov uporabe mikrografije.

Slika 16 prikazuje jedkalne jamice na nerjavnem jeklu.

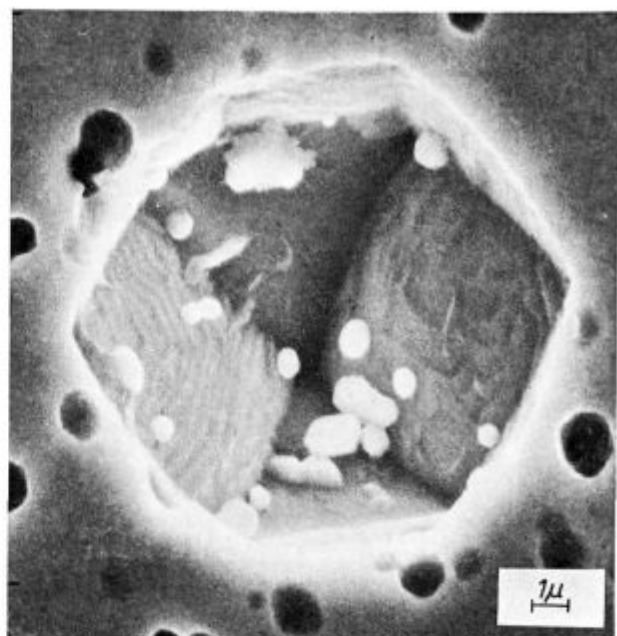
Slika 17 kaže prelom (21,8 % Cr, 7,9 % Ni, 0,05 % Mo, 0,02 % C) nerjavnega jekla zaradi napetostne korozije.

Uporabo disperzijskega rentgenskega spektrometra pri rastrskem mikroskopu kaže slika 18. To so vzorci prelomne površine jekla (13 % Cr, 2 % Mo, 1 % W, 2 % TiO₂). Slika 18 a je sekundarna elektronska slika, ki kaže vključke TiO₂ v jeklu. Slika 18 b je specifična x slika za Ti in ustreza sliki 18 a. Slika 18 pa kaže profil koncentracije Ti, superponiran na sekundarno elektronsko podobo. Slika 19 kaže difuzijo dušika pri nitriranju jekla ter trdoto po Vickersu. Prikazani sta tudi dve podobi iz odbitih elektronov (topografija in sestava).

Slika 20 prikazuje uporabo nedisperzijske rentgenske spektroskopije, in sicer smo dobili z njo točkovno analizo osnove ter 3000 do 4000 Å velikega karbidnega delca na školjkastem prelomu nerjavnega jekla. Odsotnost konice za nikelj pri analizi delca kaže, da vzbujena prostornina ne prekriva osnove, ki vsebuje velike količine niklja. (To uporabo citiramo iz »Use of a non-dispersive X-ray spectrometer on the scanning electron microscope«, avtorjev J. C. Russ in A. K. Kabaya, JEOLCO (ZDA) INC.)

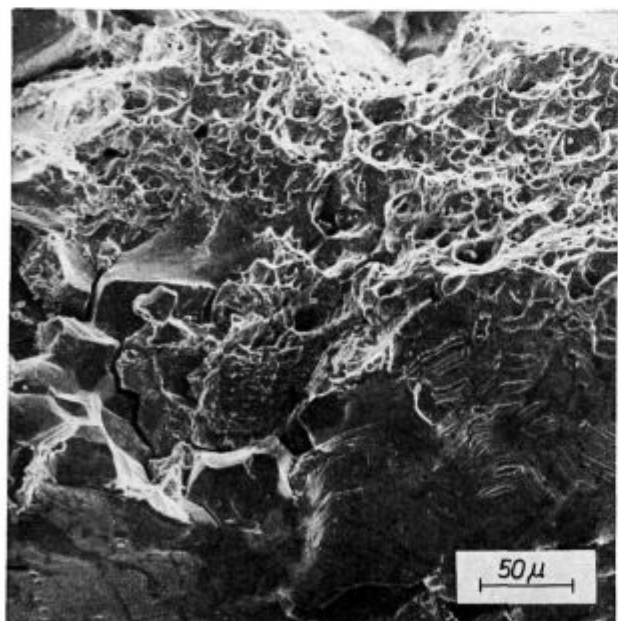


a) povečava 1000 ×

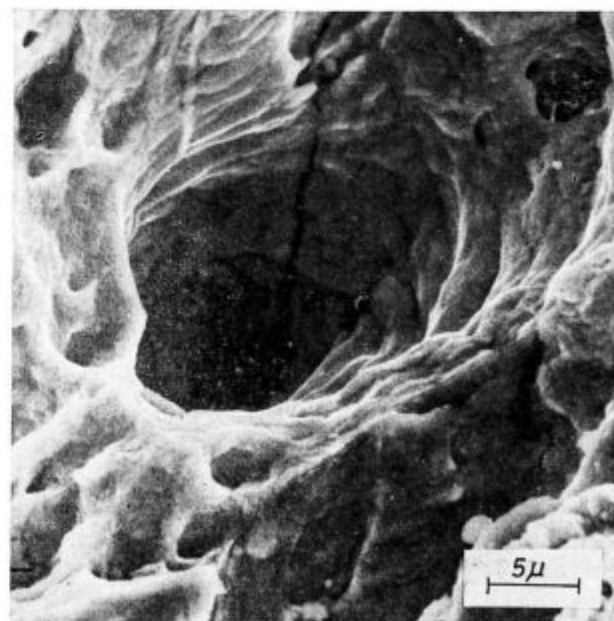


b) povečava 6000 ×

Slika 16
Jedkalna jamica na nerjavnem jeklu

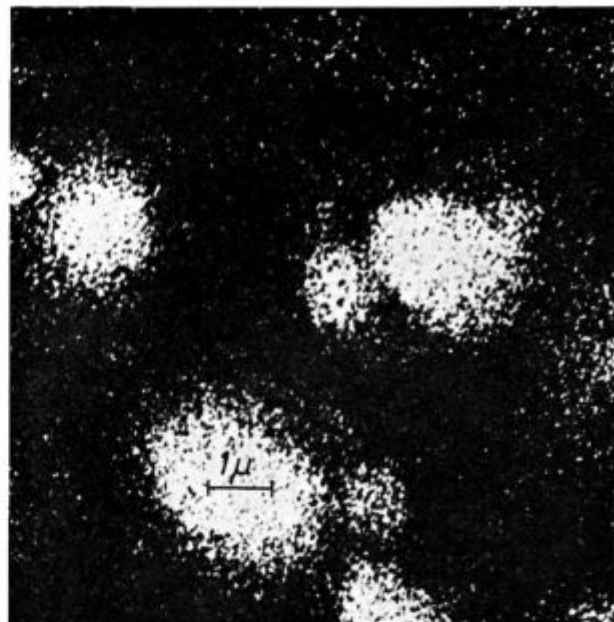


a) povečava 300 ×



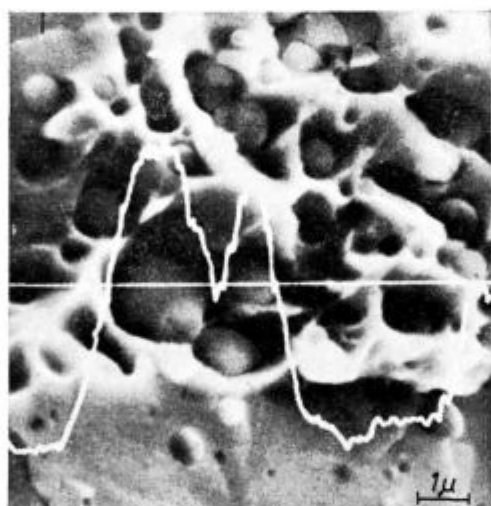
b) povečava 3000 ×

Slika 17
Prelom zaradi napetostne korozije nerjavnega jekla



a) sekundarna elektronska podoba. Povečava 8000 ×.

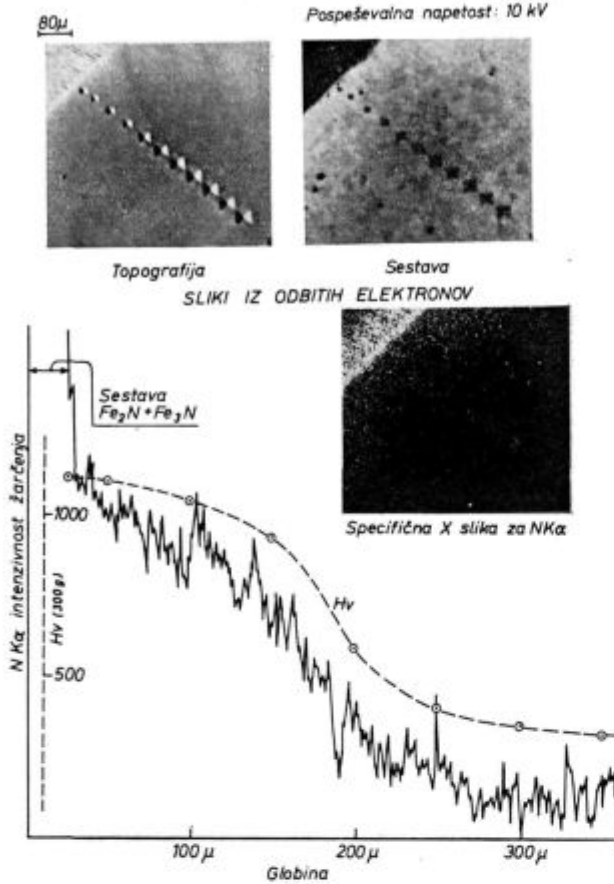
b) rentgenska podoba Ti $K\alpha_1$ Povečava 8000 ×.



c) profil črte Ti superponiran na sekundarno elektronsko sliko. Povečava 8000 ×.

Slika 18
Vključki TiO₂ v jeklu

Nitriranje jekla

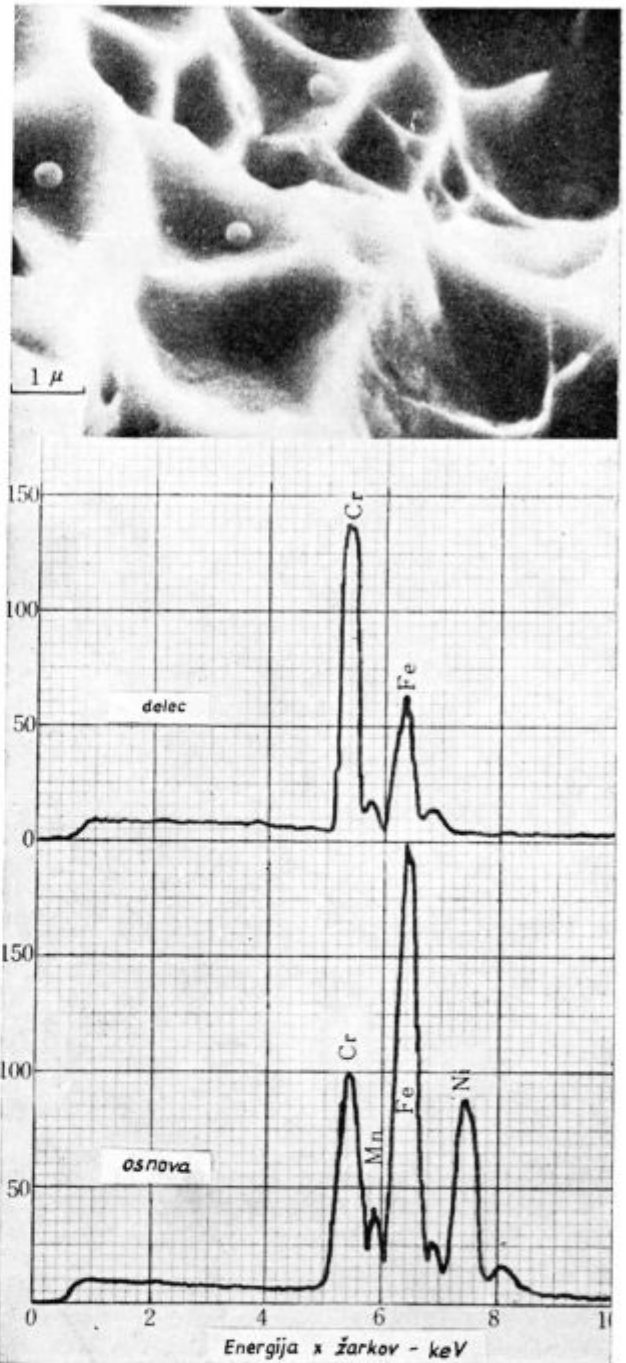


Slika 19
Difuzija dušika pri nitriranju jekla in trdota po Vickersu

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit ist die Konstruktion und die Arbeitsweise des Mikroskopes, welcher für die Bildung des Bildes der beobachteten Fläche die sekundären Elektronen benutzt, beschrieben. Da diese Elektronen wegen der kleinen Energiemenge aus einer sehr dünnen Oberflächenschichte entkommen ist der Auflösungsbereich des Raster-Elektronenmikroskops bis 200 Å, was zwar weniger ist als bei den durchstrahlbaren Elektronenmikroskopen, jedoch aber vielmehr als bei den Lichtmikroskopen und neben dem ist das direkte Beobachten des Gefüges möglich. Wegen der kleinen Apertur der Objektlinie hat der Raster-Elektronenmikroskop einen fein fokussierten Bund auf einer ziemlichen Länge, deswegen hat der Mikroskop eine hohe Tiefschärfe und ist das beste Mittel für das direkte Beobachten der rauhen und runden Oberflächen.

Wenn dem Raster-Elektronenmikroskop noch einer oder mehrere Kristallspektrometer zugegeben werden, entsteht eine Aparatur, die zur röntgenographischen Analyse der Mikrobestandteile gebraucht wird. Der Mikroskop kann mit einer schnellen Fernsehkamera ausgestattet werden, die ein momentanes Bild liefert und somit das Beobachten eines dynamischen Prozesses zum Beispiel das Zerreißen des Drahtes unter der Last möglich macht. Der



Slika 20
Karbidi, bogati kroma, na školjkastem prelomu nerjavnega jekla

Mikroskop kann auch mit einem Heiztisch ausgestattet werden. Die Aufnahmen welche am Raster-Mikroskop erhältlich sind, können auch für quantitative stereomikrographische Analyse der beobachteten Oberflächen gebraucht werden. Am Ende dieses Artikels sind einige Aufnahmen beigefügt, welche den Anwendungsbereich der Raster-Mikroskope und der Elektronen-Mikroanalysatoren darstellen.

SUMMARY

In the paper construction and operation of the microscope is described where secondary electrons are used to form the picture of the observed surface. Because these electrons due to small energy come from a very thin surface layer the resolution of the scanning electron microscope is about 200 Å what is much less than in transmission electron microscopes. But it is much greater than in optical microscopes, and on the other hand the sample surface can be directly observed. Due to small aperture of the objective the scanning electron microscope has finely focused probe along considerable length, and the microscope has a great depth of field and is the best apparatus for direct observing rough and rounded surfaces.

If one or more crystal spectrometers are added to the scanning electron microscope an equipment is made which can be used for X-ray analysis of microconstituents. The microscope can be equipped with a fast television camera which gives immediate picture and thus dynamic processes as tensile breaking of wire can be observed. The microscope can also be completed with the equipment for heating the samples. Photographs which are obtained on the scanning microscope can be used also for quantitative stereomicrographic analysis of observed surfaces. At the end of the paper few photographs are given which show the field of applicability of the scanning microscopes and electron microanalyzers.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описана конструкция и способ употребления микроскопа, который для изображения осмотренной поверхности пользуется выбитыми (второстепенными) электронами. Так как эти электроны происходят вследствие слабой энергии из весьма тонкого слоя поверхности то отделение сеткового (scanning) электронного микроскопа до 200 Å, т. е. меньше чем при приборах просвечивания, но всё таки больше чем при оптических микроскопах. При этом можно осматривать непосредственно поверхность образцов. Вследствии низкой апертуры объективной линзы имеет сетковой электронный микроскоп очень хорошо фокусирован пучек электронов на довольноую длину что позволяет наблюдать довольно ясно шероховатые и округлённые поверхности непосредственно.

Если сетковому электронному микроскопу добавить один или несколько спектрометров для рентгеновых лучей, получается прибор который можно употребить для рентгеновского микроанализа. Микроскоп можно снабжить с быстрой телевизионной камерой которая дает изображение в мгновении и таким образом позволяет осматривание динамических процессов, нпр. разрыв проволоки под влиянием притягательной силы. Микроскоп можно дополнить с снаряжением для согревания образцов. Полученные съёмки можно применить для стереомикрографского анализа осмотренных поверхностей. В конце статьи несколько съёмков которые показывают зону употребления сетковых микроскопов и электронных микроанализаторов.



Odkovki iz Zvezarne Ravne

Kovinska prevleka s cinkom

V Železarni Jesenice se je pojavila kvalitetna problematika pocinkane pločevine.

Izdelali smo preiskave vpliva temperature taline, časa zadrževanja v talini in hitrosti izvlačenja, kakor tudi vplive posameznih elementov v jeklu in v talini na pocinkanje.

Rezultati, ki smo jih dosegli, so zadovoljivi predvsem glede znižanja teže in izboljšanja kvalitete prevleke. Zaključki so podani na podlagi doseženih rezultatov.

UVOD

Da bi zaščitili razne jeklene predmete, med katere spadajo pločevina, trakovi itd., od atmosferske korozije, jih prekrijemo s številnimi kovinskimi ali nekovinskimi prevlekami. Ena od najstarejših in do danes najbolj razširjenih je prevleka s cinkom oziroma s cinkovo zlitino. Preko 2/3 svetovne proizvodnje cinka se porabi v te namene. Cinkova prevleka je odporna proti koroziji tudi v močno onesnaženih industrijskih atmosferah.

Cinkova prevleka se odlikuje po visoki kemični odpornosti, zato ker ima cink negativnejši potencial od železa. Zaščita preneha šele tedaj, ko se izrabi skoraj celotna prevleka ali tedaj, ko se njena površina močno poškoduje. Razumljivo, da je trajanje tega zaščitnega delovanja odvisno od časa, od korozivnih sredstev ter od debeline prevleke. S tanjšo prevleko zaščitimo predmete, ki so izpostavljeni blagi koroziji — suhi in čisti zrak, z debelejšo pa predmete, ki so izpostavljeni močnejši koroziji — industrijski ali morski zrak. Cink na vlažnem zraku, kakor tudi v vodi, reagira z ogljikovo kislino in s kisikom ter tvori soli. Prav tako reagira s CO_2 , SO_2 , H_2S ter z bazami.

Poznamo tri različne načine nanašanja cinka na površino jeklenih predmetov.

1. Metalizacija
2. Elektrolitsko pocinkanje
3. Toplo pocinkanje

Metalizacija

Pod pojmom metalizacija razumemo proces nanašanja kovinskih prevlek na površino drugih predmetov, v našem primeru cinka na jeklo. To nanašanje se vrši z razprševanjem raztopljenega cinka na površino, ki mora biti predhodno dobro očiščena. Cinkova žica se raztaplja s pomočjo acetilena ali električnega toka.

Ves proces sloni na principu lepljenja kovinskih delcev na površini predmetov. Na uspešno metalizacijo vplivajo: temperatura, stanje površine ter hitrost udarjanja delcev cinka na površino, kakor tudi velikost razpršenih delcev.

Debelina oziroma količina nanešene prevleke je lahko različna in je odvisna od nameravane zaščite. Cink nanašamo s pomočjo metalizatorjev.

Z metalizacijo se pločevina in trakovi ne pocinkajo.

Elektrolitsko pocinkanje

Tehnologija elektrolitskega pocinkanja je še v razvoju. Elektrolitsko se pocinkajo izključno trakovi. Poznani so trije različni elektroliti.

Prevleka pri elektrolitskem pocinkanju se odlikuje po kemični čistoči, kemični odpornosti in zelo dobrem oprijemanju cinka na osnovno površino jekla. Prevleka, ki jo dobimo na elektrolitski način, posebno po kislem postopku, ima zelo svetlo površino in je zelo plastična, tako, da je mogoče pocinkane trakove hladno deformirati.

Poraba cinka na enoto površine je neprimerno manjša kot pri toplem pocinkanju, debelina pa je enakomernejša. Ker je trajanje zaščite pred korozijo odvisno od debeline prevleke, se ta lahko izdeluje v različnih debelinah.

Toplo pocinkanje

Topli način pocinkanja je zelo star. Prvi začetki segajo tja do leta 1741, ko so v Franciji prvič poskušali zaščititi jeklene predmete pred korozijo. Po skromnih začetkih se je tehnologija počasi razvijala in s tem proizvodnja naraščala. V začetku se je pocinkanje uporabljalo le za zaščito pločevine, kasneje pa za cevi, žico itd. Prva proga za toplo kontinuirano pocinkanje trakov je bila zgrajena šele leta 1936. Razvoj pocinkanja trakov je bil v predvojnih letih zelo počasen. Hitro ekspanzijo smo doživeli šele po letu 1950.

Od vseh naprav za kontinuirano pocinkanje jih danes cca 60 % obratuje po Sendzimir postopku, cca 20 % po postopku, ki so zelo podobni Sendzimirju, cca 15 % po Cook-Nortemann-u in cca 5 % po drugih postopkih.

V tem članku bom obravnaval le postopek pocinkanja toplo valjane pločevine. Ta postopek je še močno razširjen in v Jugoslaviji edini v uporabi.

Z namenom, da bi izboljšali kvaliteto pocinkanja pločevine, smo v Železarni Jesenice izdelali številne preiskave, katerih rezultate bom podal v nadaljevanju članka.

POCINKANJE PLOČEVINE

PREDPRIPRAVA POVRŠINE

Kot vložek za pocinkanje se uporablja običajno pločevina formata 1000×2000 mm. Ta pločevina je glede na tehnološki postopek predelave prekrita s produkti oksidacije.

Eden od osnovnih pogojev za uspešno pocinkanje je ta, da mora biti površina prosta oksidov, rje in drugih nečistoč. V ta namen je potrebno pred samim pocinkanjem izvesti naslednje obdelave površine:

- razmaščevanje
- izpiranje
- luženje — izpiranje
- fluksanje — sušenje

Ad a) Razmaščevanje

Razmaščevanje je izredno pomembno. Obvezno ga moramo izvajati tam, kjer uporabljamo kot vložek pločevino z mastno površino. Predvsem pride to v poštev pri pločevini, ki jo izrezujemo iz hladno valjanih trakov. Ta postopek pa praviloma opuščamo pri pločevini, ki se izdeluje po starem vročem postopku in posebno tam, kjer se pločevina pred luženjem toplotno obdela v oksidativni atmosferi.

Slabo razmaščevanje povzroča težave pri luženju, ker prepreči delovanje kisline. Slabo razmaščena površina nam neizogibno povzroča nepocinkana mesta na površini pločevine.

Pločevino lahko razmastimo na razne načine, in sicer: elektrolitsko, v topilih, v vročem apnenem mleku, s segrevanjem v oksidativnih atmosferah nad 550°C , v kislinah ki imajo oksidativni značaj itd. Zveplena in solna kislina nista za to prikladni. Razmastitev v apnenem mleku je zelo star postopek, danes v glavnem opuščen. Tam, kjer se razmaščevanje izvede v topilih ali v detergentih, se zaradi hitrejšega in efikasnejšega čiščenja opravi to s pomočjo vibratorjev.

Ad b) Izpiranje

Izpiramo z vročo ali hladno vodo. Z izpiranjem odstranimo s površine snovi, ki so se oprijele površine pri izvlačenju iz razmaščevalnega sredstva.

Ad c) Luženje

Luženje je postopek odstranjevanja produktov oksidacije železa, ki prekrivajo površino pločevine. Lužimo običajno v raztopinah HCl in H_2SO_4 .

V oksidni plasti zasledimo tri vrste oksidov, in sicer FeO, ki se drži površine železa, Fe_3O_4 in Fe_2O_3 , ki se nahaja na zunanji površini oksidnega sloja. Debelina in sestava teh oksidnih plasti je odvisna od temperature valjanja, žarjenja in od atmosfere, pri kateri se vrši predelava ali obdelava.

Poznano je, da se FeO najlaže, Fe_2O_3 pa najteže raztaplja v kislinah. Ker je FeO najbolj topen, moramo že pri žarjenju in valjanju gledati na to, da so pogoji taki, da se tvori čim več FeO. To ugodno vpliva na ekonomičnost luženja in na kvaliteto lužene površine.

Drugih oksidov pri nizkoogljičnih jeklih ne zasledimo. Čas luženja je odvisen od debeline oksidnega sloja, od temperature in od jakosti lužine. Vsako preluženje ima kvarne posledice za poznejše pocinkanje. Za luženje se običajno uporablja trgovsko razredčena vodna raztopina HCl jakosti od 4–16 % ali 5–20 % H_2SO_4 kislina. Pogostokrat uporabljamo kombinacijo obeh kislin s tem, da zadnje luženje opravljamo v solni kislini. Obe kislini imata svoje dobre in slabe lastnosti, vendar je za kvalitetnejše pocinkanje le priporočljivo luženje tudi v HCl.

Po vsakem luženju je potrebno temeljito izpiranje.

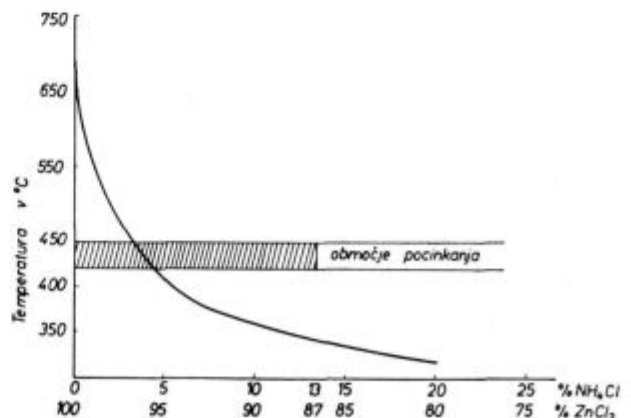
Ad d) Fluksanje

Fluksanje lahko opravljamo na različne načine, odvisno pač od tehnologije pocinkanja. Poznamo dva načina, in sicer mokro in suho pocinkanje. Pri suhem postopku moramo izprano površino pred pocinkanjem prevleči s fluksom, da preprečimo oksidacijo površine. Fluks služi istočasno tudi kot spajkalo.

Pred pocinkanjem je potrebno s fluksom premazano površino temeljito posušiti. To delamo v posebnih pečeh. Obenem s sušenjem se pločevina predgreje, kar nedvomno ugodno vpliva na hitrost pocinkanja ter na kvaliteto prevleke.

Fluks mora imeti nizko viskoznost, nizko temperaturo izparevanja in sposobnost hitrega odstranjevanja s površine pri potapljanju v Zn talino (glej slika 1).

V kolikor ima fluks previsoko viskoznost, mu moramo primešati sredstvo, ki povečuje omočenje površine. Pri suhem postopku se pogostokrat uporablja mešanica cinkovega klorida in amonklorida. NH_4Cl namreč znižuje viskoznost in temperaturo izparevanja.



Slika 1
Krivulja izparevanja mešanice NH_4Cl in ZnCl_2

Uporaba mešanice bogatejše od 10 % NH_4Cl ni priporočljiva tam, kjer cinkova talina vsebuje aluminij. Pri pocinkanju se namreč tvori aluminijev klorid, ki izhaja iz kopeli v obliki belih par in tako zmanjšuje vsebnost aluminija v talini.

Fluks mora biti vedno čist. Kolikor narašča kislost zaradi slabega izpiranja (prisotnost H_2SO_4) obstoja nevarnost za nastajanje železovih soli, ki kvarno vplivajo na pocinkanje. Da se tej nevarnosti izognemo, je priporočljivo dajati v fluks nekaj koščkov cinka.

Pri mokrem pocinkanju fluks plava na talini tako, da odpade sušenje površine. Fluks ima pri tem postopku to nalogo, da prevleče površino potapljaajoče pločevine in da s tem odstrani morebitni oksidni film s površine, da odstrani vodo in da prepreči brizganje taline. Obenem služi tudi kot spajkalo. Kot fluks se običajno uporablja salmijak (tehnični NH_4Cl), kateremu dodamo nekaj glicerina.

KADI ZA POCINKANJE IN STRANSKI PRODUKTI

Površina s fluksom prekritih predmetov ali stene kadi se ob dotiku s cinkovo talino prekrijejo s slojem cinka oziroma spojine Zn-Fe. Pocinkanje se vrši pri temperaturi 430–450° C. Praksa je namreč pokazala, da so višje temperature izredno škodljive zaradi močnega razjedanja sten kadi in zaradi intenzivne tvorbe trdega cinka in cinkovega pepela. Procesi raztapljanja potekajo mnogo bolj intenzivno, če vsebuje jeklo večje količine Si.

Pri izdelavi moramo skrbeti, da so kadi pravilno dimenzionirane, da ne bi bila talina podvržena nihanju temperature. Zelo važen je pri tem način ogrevanja ter razmerje med količino cinka

in urno proizvodnjo. Pri 30 t talini naj količina pocinkanih predmetov ne bi bila večja od 10–15 t v 8 urah. Ogrevanje pa mora biti tako, da ne pride v nobenem slučaju do lokalnega pregretja sten. Poznano nam je, da se stene kadi prekrijejo s slojem trdega cinka, ki ščiti železo pred nadaljnjim raztapljanjem. Pri temp. nad 450° C pa se začenja sloj trdega cinka raztapljati in zato ne ščiti več.

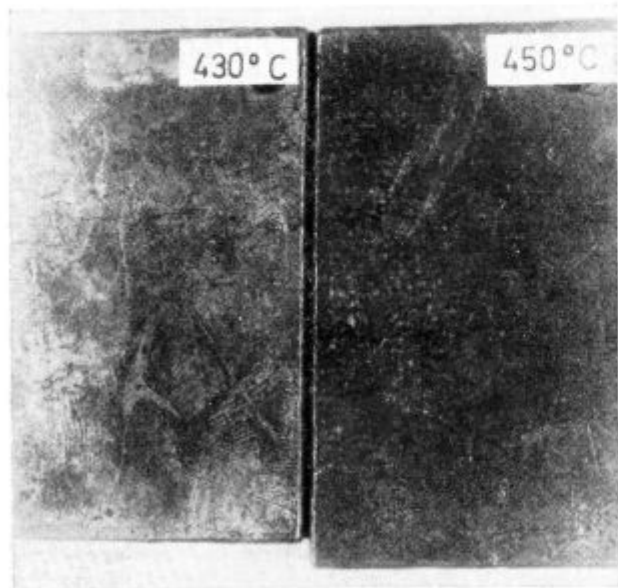
Sliki 2 a in 2 b nam prikazujeta nekaj vzorcev Armco jekla, ki smo jih izpostavili za dobo 1 meseca različnim temperaturam, in to v talini, ki jo uporabljamo v Železarni Jesenice. Na sliki 3 se prav lepo vidi vpliv temperature na intenzivnost raztapljanja železa.

Raztapljanje je do cca 450° C počasno, nato rapidno narašča. Vzorce dimenzije 100 × 60 × 5 mm smo pred potapljanjem površinsko očistili do kovinskega sijaja.

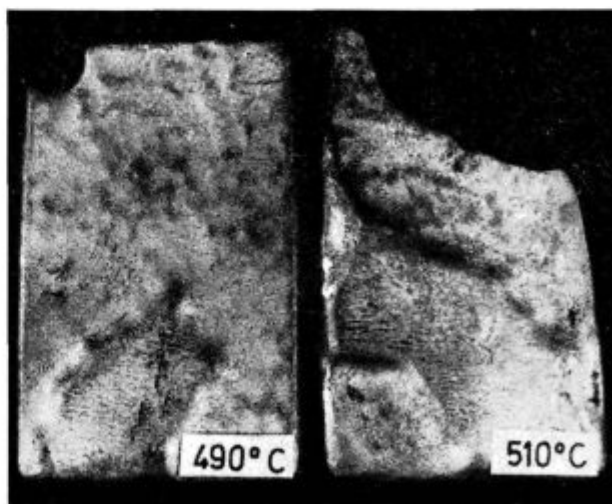
Slika 4 a in 4 b prikazujeta poškodovane stene kadi, kjer je prišlo zaradi lokalnega pregretja do močnega raztapljanja Fe in do preboja sten.

Istocasno smo preiskovali vpliv C (od 0.05 do 0.1 %), Cu (od 0.1–0.4 %), Al (od 0.03–0.1 %), Si (od 0.02–0.40 %) ter vplive toplotne obdelave (strukture) na raztapljanje železa. Ugotovili smo, da je z naraščanjem vsebnosti navedenih elementov naraščala topnost Fe, vendar je bilo to raztapljanje tako majhno, da smo ga zanemarili razen seveda pri jeklih, ki so vsebovala večje količine Si. Vpliva toplotnih obdelav na topnost Fe nismo mogli zaslediti. V zvezi s tem bi poudaril, da so odveč bojzani, da je zvar najboljše del kadi. Pri varjenju moramo paziti le na to, da izbiramo le elektrode, ki so po sestavi čim bolj podobne sestavi kadi ter da odstranimo toplotne napetosti, ki nastanejo pri varjenju. Razumljivo, zvar mora biti brez večjih nečistoč, mehurčkov ter razpok.

Talino lahko ogrevamo na različne načine. Najbolj primerno zaradi dobre regulacije je električno ogrevanje. Pri ogrevanju s plinom, mazutom itd. pa obstoja velika nevarnost višjih temperatur ob

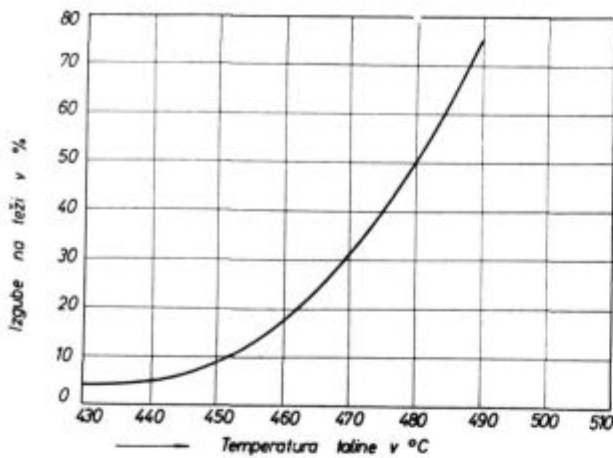


2 a



2 b

Slika 2a–b Raztapljanje vzorcev v temperaturnem območju 430–510° C



Slika 3

Raztapljanje Fe v odvisnosti od temperature. Čas zadržanja v talini 1 mesec

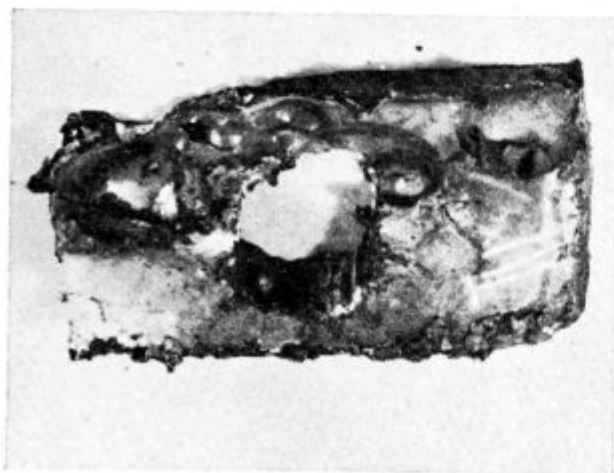
gorilcih ter s tem večja nevarnost pregrevanja oziroma hitrejšega raztapljanja sten kadi. Ogrevanje s plamenom zahteva posebno razporeditev kurilnih kanalov.

Za izdelavo kadi za cinkovo talino priporočamo pločevino s čim manjšo vsebnostjo elementov. Najbolj primerna sta Armco železo in Č 1060.

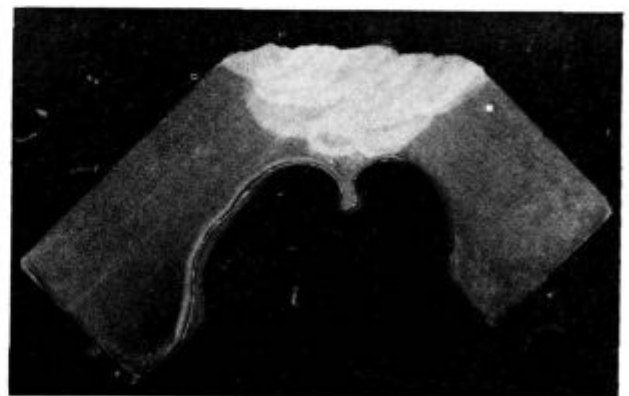
Trdi cink

Pri pocinkanju se tvori trdi cink, to je spojina cinka z železom, ki jo označujemo s FeZn_3 (22 % Fe) in FeZn_7 (11 % Fe). Trdi cink je nezogibni produkt pri pocinkanju. Na njegov nastanek vplivajo: temperatura pocinkanja, vsebnost Si, površina pocinkane pločevine ter slabo luženje oziroma slabo izpiranje.

Trdi cink ima nekoliko večjo specifično težo od cinkove taline. Če ta miruje, se trdi cink sorazmerno hitro usede na dno kadi, če pa je talina v gibanju, kakor pri pocinkanju, pa lebdi in je zato čas usedanja na dno kopeli neprimerno daljši.



4 a



4 b

Slika 4a—b Raztapljanje sten kadi zaradi lokalnega pregretja

Količino trdega cinka, ki nastane pri obratovanju, je težko predpisati, vendar pri pravilnem delu ne bi smela biti večja od 5 % od teže porabljenega cinka. Trdi cink, ki se usede na sloj svinca, ki se običajno nahaja na dnu kopeli, se da z lahkoto odstraniti.

Cinkov pepel

Cinkov pepel je sestavljen iz oksidov elementov, ki se nahajajo v cinkovi talini. Predvsem so to oksidi cinka. V cinkovem pepelu se v manjši meri nahajajo tudi trdi cink in kloridi. Intenzivnost tvorbe cinkovega pepela je odvisna od številnih faktorjev, od katerih je najvažnejša temperatura kopeli ter površina taline.

VPLIV RAZLIČNIH FAKTORJEV NA POCINKANJE

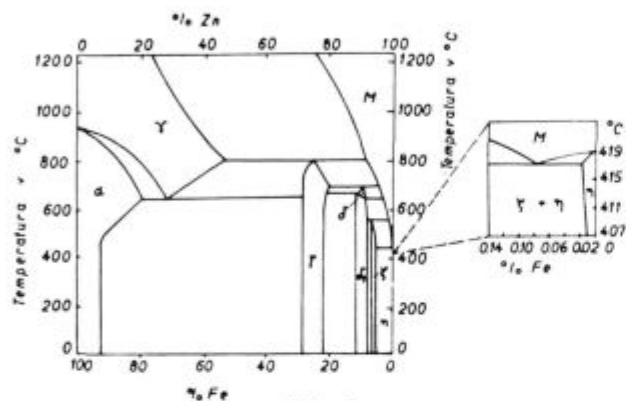
Pri potapljanju katerega koli jeklenega ali železnega predmeta v cinkovo talino pride do difuzije železa v tekoči cink. Pri tem se na površini predmetov tvori prevleka zelo nehomogene zlitine, ki vsebuje na stični površini železa visok odstotek tega elementa. Vsebnost Fe v prevleki pada, bolj ko se približujemo njeni površini, tako da zasledimo na sami površini le čisti cink. Prevleka je sestavljena iz več faz. Faze, ki jih dobimo pri 450° C in 3-minutnem potapljanju, so naslednje: (glej sliko 5).

1. γ (gama) faza — ima od 21—28 % Fe in se drži površine železa. Debelina znaša od 1—2 μ
2. δ (delta) faza — ima od 7—21 % Fe. Debelina znaša od 7—15 μ . Ta faza je izredno krhka.
3. ζ (zeta) faza — ima od 7—6.2 % Fe. Debelina znaša od 30—40 μ
4. η (eta) faza — ima debelino od 8—12 μ in je sestavljena iz čistega Zn.

Debelina prevleke, kakor tudi debelina posameznih faz pa je močno odvisna od vplivov številnih faktorjev, kot so:

1. Sestava jekla
2. Luženje
3. Fluksanje — sušenje
4. Temperatura taline
5. Čas zadrževanja v talini
6. Hitrost izvlačanja
7. Hitrost ohlajevanja
8. Sestava taline — vpliv elementov
9. Vpliv površine

Te vplive bomo obravnavali vsakega posebej. Navajali bomo predvsem rezultate, ki smo jih dosegli pri laboratorijskih in obratnih preiskavah.



Slika 5
Diagram stanja Fe-Zn po J. Schrammu

Ad 1. Sestava jekla:

Za kvalitetno pocinkanje je nujno potrebno uporabljati kvalitetni izhodni material. V vsakem primeru pa je potrebno imeti material brez površinskih napak, predvsem nečistoč, zaradi katerih dobimo tako imenovana nepocinkana mesta ali gresasto površino.

Površina naj bi bila čimbolj gladka. Pri gladki površini dobimo enakomernjšo debelino, manjšo težo prevleke ter lepe cvetne kristale. Zato je priporočljivo toplotno valjano pločevino hladno valjati — dresirati pred pocinkanjem.

Omenili smo že, da je Si nezaželen element. Jeklo za pocinkanje naj ne bi imelo večjo vsebnost od 0,3—0,4 % Si. Pri višji vsebnosti se tvori na površini predmetov oksidni film bogat na Si, ki ga je težko odstraniti z luženjem. Če se ta film ne odstrani, poteka pri pocinkanju med talino in oksidnim filmom zelo intenzivna reakcija, zaradi katere nastane zelo kompakten sloj Zn — Fe zlitine, ki povzroča krhkost prevleke. V kolikor moramo pocinkati jeklo ali litino, ki vsebuje večjo vsebnost od zgoraj navedenega Si, potem moramo lužiti v posebnih kislinah (HNO₃ in HCl).

Drugi elementi kot so Mn, Cu, Cr, S, P itd., če niso prisotni v večjih količinah, nimajo večjega vpliva na pocinkanje.

V Železarni Jesenice v glavnem pocinkamo pomirjena in nepomirjena nizko ogljična jekla in jekla za patentiranje. Najbolj primerna sestava pločevine za pocinkanje je naslednja:

C	max. 0.1 %
Si	max. 0.01 %
Mn	0.25—0.5 %
P	max. 0.05 %
S	max. 0.05 %
Cu	max. 0.5 %
Cr	max. 0.2 %
Al	max. 0.05 %

Kakor je iz navedene analize razvidno, je vsebnost posameznih elementov v jeklu sorazmerno nizka.

Laboratorijske preiskave pocinkanja smo opravljali na nepomirjeni pločevini kvalitete Č 0147. Dimenzija vzorcev je bila 200 × 150 × 0,5 mm. Vzorce smo izrezali iz toplotno valjane pločevine, ki je bila predhodno dresirana (deformacija je znašala komaj 1 %), in žarjena v zvonastih pečeh pri temp. 670—690° C ter počasi ohlajena. Vzorci hladno valjane pločevine (deformacija cca 70 %) so bili rekristalizacijsko žarjeni ter ojačani.

Ad 2. Luženje

O tvorbi škaje in o luženju smo že delno govorili. Pri naših preiskavah smo toplotno valjano pločevino kombinirano lužili v H₂SO₄ in HCl.

Luženje v H₂SO₄:

Za izdelavo kislin smo uporabili tehnično 58—60 Bë t. j. 71—78 % žvepleno kislino, prosto primesi kot so As, Sb in Cu. Ti elementi izredno motijo pri luženju, ker se usedejo na površino pločevine. Pločevina se tako prekrije s črnim slojem, ki zelo otežkoča pocinkanje.

Lužili smo v 5—20 % H₂SO₄ pri temperaturi 55—65° C. Čas luženja je nihal od 7—20 min., odvisno od debeline škaje ter jakosti kisline.

Sveži lužini smo dodajali ca. 4—5 gr/l FeSO₄, da bi zmanjšali topnost železa v kislini in povečali reakcijo z oksidi, razumljivo ob istočasnem dodatku štedilnega luga. Kot štedilni lug smo uporabljali Adacit, in sicer v količini 600—800 gr/m³. Štedilni lug smo redno regenerirali. Ob tej priliki moram pripomniti, da smo pri večjih količinah štedilnega luga imeli precejšnje težave pri pocinkanju, ki so se kazale predvsem v obliki nepocinkanih mest in slabo oprijemajoče prevleke.

Redno smo kontrolirali vsebnost FeSO₄ v lužini; vsebnost je nihala med 30—70 gr/l, tako da nam ta ni vplivala na potek luženja.

Luženje v HCl:

V žvepljenih kislinah smo lužili le toliko časa, da smo odstranili le glavni del oksidov. Luženje smo nadaljevali v solni kislini pri temperaturi 20—30° C. Jakost kisline je znašala od 4—15 %. Količina Fe v lužini se je gibala med 25—50 gr/Fe/l

lužine. Čas luženja je bil kratek in predvsem odvisen od jakosti kisline. Po končanem luženju smo pločevino dobro izpirali.

Tak kombiniran način luženja ima mnoge prednosti pred samim luženjem v H_2SO_4 . Te prednosti so: manjša izguba na teži pločevine, izostanek lužilne krhkosti ter gladkejša površina.

Pri preluženju se je površina pločevine prekrila s tankimi sajastimi produkti, ki se v kislinah ne raztapljajo. To so predvsem elementi, ki so elektro pozitivnejši od železa in zato se usedejo na površino pločevine. Sajasta površina izredno negativno vpliva na kvaliteto prevleke in jo je zato potrebno odstraniti s krtačenjem in istočasnim spiranjem. Na vzorcih, ki smo jih namenoma prelužili, smo odstranjevali te sajaste produkte z luženjem v blagi vodni raztopini HNO_3 . Čas potapljanja v solitni kislini je bil zelo kratek.

Površina je postala kovinsko čista in se je dala odlično pocinkati. Poudariti pa moram, da ima tako kislinsko čiščenje nekatere slabe lastnosti in se zato zelo redko uporablja. V Železarni Jesenice ne uporabljamo po luženju v H_2SO_4 in HCl nobene čiščenja, ker ima površina zelo lep izgled.

Naj velja vedno pravilo, da je boljše pravilno lužiti kot dodatno čistiti.

Ad 3. Fluksanje — sušenje

Zasledovali smo vplive različnih sestav fluksa ter temperature sušenja na kvaliteto prevleke. Sestava fluksa oziroma njegova točka izparevanja vpliva na njegovo hitrost odstranjevanja s površine pri potapljanju v cinkovo talino.

Preiskave smo opravljali v klasičnem $ZnCl_2$ in v mešanici $ZnCl_2$ in NH_4Cl . — Rezultati, ki smo jih dosegli, so razvidni na priloženi tabeli.

Flux	Temperatura sušenja °C	Čas potapljanja sek.	Kvaliteta pocinkane površine
100 gr/l $ZnCl_2$	150	5	veliko nepocinkanih mest
		10	srednje nepocinkanih mest
		15	malo nepocinkanih mest
		20	brez nepocinkanih mest
90 gr/l $ZnCl_2$ 10 gr/l NH_4Cl	150	5	srednje nepocinkanih mest
		10	malo nepocinkanih mest
		15	brez nepocinkanih mest
80 gr/l $ZnCl_2$ 20 gr/l NH_4Cl	150	5	redka nepocinkanih mest
		10	brez nepocinkanih mest

Za preiskave sušenja fluksa smo izbrali temperaturo $150^\circ C$, ker je ta ustrezala obratovalnim pogojem že obstoječe sušilne peči v naši pocinkovalnici, čeprav smo ugotovili, da je z naraščajočo vsebnostjo amonklorida potrebna nižja temperatura sušenja. Preiskave potapljanja smo opravljali v talini, ki je vsebovala ca. 0.9 % Pb in na pločevini deb. 0.5 mm.

Kljub ugodnim rezultatom vodne raztopine $ZnCl_2$ in NH_4Cl nismo osvojili. Kakor sem že omenil NH_4Cl reagira z Al v Zn talini in tvori aluminijev klorid, ki sublimira pri $180^\circ C$. Zaradi te reakcije se zmanjšuje vsebnost aluminija v talini.

Za naše potrebe smo izbrali 60—66 Bë vodno raztopino cinkovega klorida.

Preiskave pocinkanja

Pri preiskavah vpliva posameznih faktorjev na pocinkanje je bilo potrebno najprej ugotoviti vplive temperature taline, časa potapljanja in hitrosti izvlečenja glede na kvaliteto in na težo prevleke. Šele tedaj, ko so nam bili poznani ti trije pogoji, smo pristopili k preiskavam vplivov legirnih elementov.

Vpliv prej treh omenjenih faktorjev smo ugotavljali v talini, ki je vsebovala ca. 0.9 % Pb. Talino s Pb smo izbrali zato, ker ta element ugodno vpliva na pocinkanje.

Za izdelavo talin smo uporabljali izključno elektrolitski Zn.

Glede poznejših rezultatov moram že v uvodu poudariti, da so vse ugotovljene teže prevleke nekoliko višje od normalnih, to pa zato, ker smo izvršili laboratorijske preiskave na manjših vzorcih, od katerih se je talina težko odtekala.

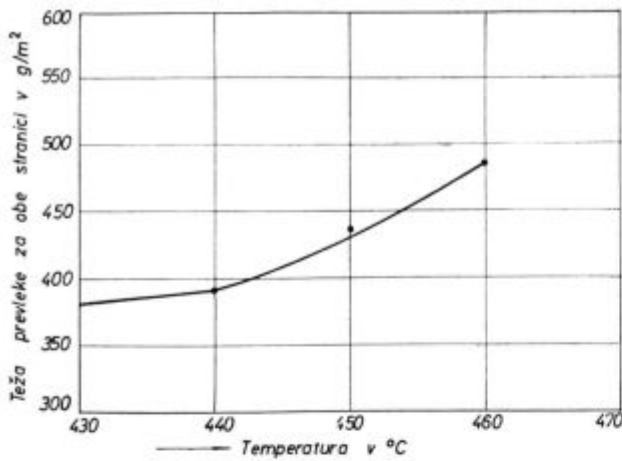
Ad 4. Temperatura taline

Vpliv temperature na pocinkanje smo raziskovali le v temperaturnem območju $430—450^\circ C$. Višjih temperatur nismo obravnavali zaradi številnih negativnih posledic pocinkanja.

Vzroke za naraščanje teže prevleke pri višjih temperaturah je treba iskati v intenzivnejši tvorbi spojine železa in cinka, kar smo že obravnavali. Poprečna vrednost rezultatov vpliva temperature taline na težo prevleke je razvidna na diagramu št. 6.

Drugi pogoji pocinkanja so bili naslednji:
Čas potapljanja — 20 sek.
Hitrost izvlečenja — 5 cm/sek.

Temperaturo smo merili s kontaktnim pirometrom, ki je bil na polovici višine taline in 1 cm odmaknjen od stene kadi. Temperaturo smo kontrolirali z instrumentom občutljivosti $\pm 5^\circ C$. Da bi se v celoti izognili nevarnosti lokalnega pregretja sten kadi in s tem nevarnosti prevelikega raztapljanja Fe, smo med steno kadi in špirale vgradili zaščitno steno.



Slika 6

Naraščanje teže prevleke v odvisnosti od temperature

Ad 5. Čas zadrževanja v talini

V praksi mora biti čas potapljanja funkcija oblike in predvsem debeline obravnavanega predmeta. Ta čas mora biti tako dolg, da se izvrši popolna toplotna izmenjava med predmetom, ki ga želimo pocinkati, in cinkovo talino.

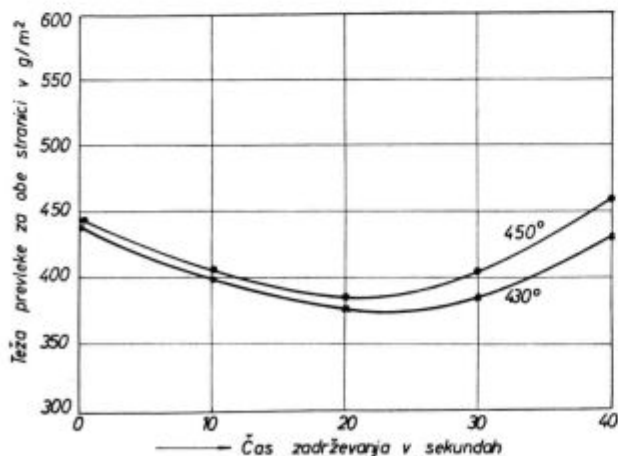
Na kratko povedano, vpliv časa potapljanja je naslednji:

Pri prekratkem času potapljanja, vendar dovolj dolgem, da se prevlečenje površine le izvrši, je debelina prevleke večja od normalne, zato ker se predmet prehitro ohladi. Posledica tega je slabo odtekanje cinka. Pri predolgem potapljanju, ki je večje od potrebnega časa za toplotno izmenjavo, bo nastala prevleka težja zaradi neprekinjenega obogatitja z železom in zaradi močnega naraščanja viskoznosti.

Vplive časa zadrževanja smo preiskovali pri naslednjih pogojih:

Temperatura 430 in 450°C
 Hitrost izvlačenja 5 cm/sek.
 Čas potapljanja 10–40 sek.

Rezultati, ki smo jih dosegli, so razvidni na sliki 7.



Slika 7

Vpliv časa zadrževanja v talini na težo prevleke

Ad 6. Hitrosti izvlačenja

Hitrost izvlačenja ima odločujoč vpliv na težo ter na enakomernost debeline prevleke. Ta hitrost mora biti točno določena. Vsako odstopanje ima negativne posledice. Pri prevelikih hitrostih izvlačenja nosi pocinkan predmet s seboj prevelike količine cinka. Poleg tega je prevleka zelo neenakomerna. Pri počasnem izvlačenju pa obstaja nevarnost, da dobimo sicer enakomerno, vendar pretanko plast prevleke, zato ker ima cink dovolj časa, da odteče s površine pocinkanih predmetov.

V zvezi s tem naj navedem, da različne teže prevleke, ki jih zahtevajo norme, dosežemo ravno z različno hitrostjo izvlačenja.

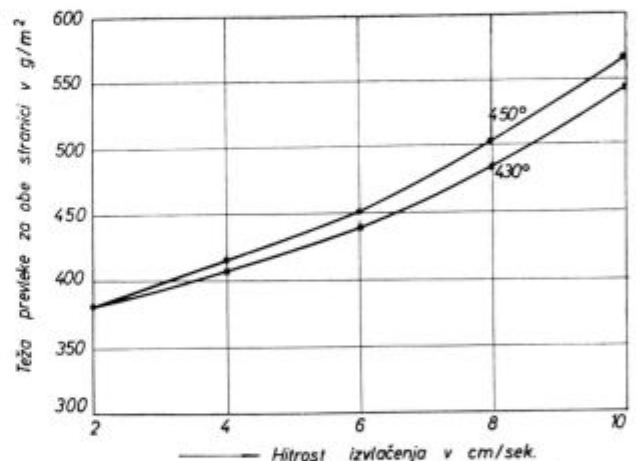
Da bi ugotovili tisto hitrost izvlačenja, ki bi najbolj ustrezala našim zahtevam, smo preiskovali pocinkanje pod naslednjimi pogoji:

Temp. taline 430 in 450°C

Čas potapljanja 20 sek.

Hitrost izvlačenja od 2–10 cm/sek.

Rezultati, ki smo jih dosegli in ki so navedeni v diagramu 8, kažejo na konstantno skoraj enakomerno naraščanje teže prevleke v odvisnosti od hitrosti izvlačenja. Glede na naše zahteve po prevleki, smo si izbrali hitrost od cca 4–6 cm/sek.



Slika 8

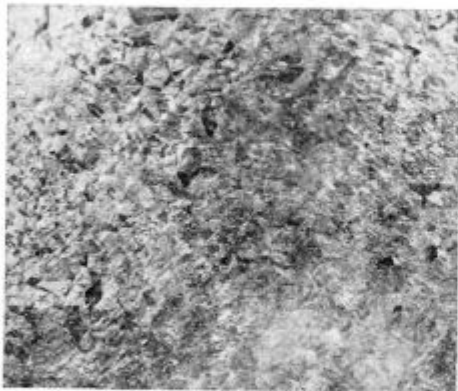
Odvisnost teže prevleke od hitrosti izvlačenja

Ad 7. Hitrost ohlajevanja

Poznano je dejstvo, da ima hitrost ohlajevanja viden vpliv na težo, na sestavo in s tem na kvaliteto cinkove prevleke. Vse do cca 300°C poteka močna difuzija železa zaradi katere močno naraščata sloja delta in zeta. Naraščajoča debelina teh dveh slojev samo povečuje krhkost prevleke. Debelino teh lahko zmanjšamo le na ta način, da pocinkan predmet hitro ohladimo, in to v vodi ali na zraku.

Hitrost ohlajevanja ima svoj vpliv tudi na videz površine. Velikost kristalov je odvisna od časa kristalizacije. Čim počasnejše je ohlajevanje, večji bodo kristali.

V našem laboratoriju smo preiskovali pocinkanje z različnimi hitrostmi ohlajevanja, po izvlačenju iz kopeli. Ohlajevali smo na mirujočem zraku, s pihanjem mrzlega in toplega zraka ter na ta način, da smo hitrost ohlajevanja zmanjševali z držanjem pločevine v pečici, ki je bila segreta na 200° C. Rezultati, ki smo jih dosegli v teh laboratorijskih raziskavah, so razvidni na slikah 9, 10 in 11.



Slika 9
Ohlajevanje s pihanjem mrzlega zraka



Slika 10
Ohlajevanje na mirujočem zraku



Slika 11
Ohlajevanje v pečici (200° C)

Iz navedenih slik je prav lepo razviden vpliv hitrosti ohlajevanja na rast oziroma na izoblikovanje kristalov.

Preiskave upogibanja, ki smo jih izvedli na različno ohlajenih vzorcih, so dale pozitivne rezultate le pri pločevini, ki je bila hitro ohlajena, predvsem na oni, ki je bila ohlajena na zraku.

Na koncu naj pripomnimo, da smo vpliv hitrosti ohlajevanja ugotavljali na pločevini, ki je bila pocinkana pod naslednjimi pogoji:

Temperatura 430—450° C

Hitrost izvlačenja 5 cm/sek.

Čas potapljanja 20 sek.

Hitrost ohlajevanja vpliva tudi na težo prevleke, posebno če se ta počasi ohlaja. Poznano je, da je naraščanje teže, odnosno Fe — v prevleki, funkcija časa in temperature.

V obratnih razmerah se pločevina ohlaja običajno na zraku. To ohlajevanje je za debeline izpod 0.75 mm dovolj veliko, da dosežemo lepo razvite kristale z dobrimi upogibnimi lastnostmi. Pri pločevini nad 1 mm debeline pa je to ohlajevanje na zraku prepočasno zaradi prevelike toplotne kapacitete materiala. Zaradi tega počasnega ohlajevanja se prevleka obogati z Fe, kristali izgubijo svoj lep sijaj, postanejo gresasti, mat barve. Upogibi so na splošno slabi.

Ad 8. Sestave talin

Sestava taline ima izreden vpliv na obliko kristalizacije, težo, sestavo ter na korozijsko obstojnost prevleke.

Vpliv elementov smo preiskovali pri konstantnih pogojih, izbrali smo tiste, pri katerih smo kakor sem že navedel, dosegli optimalne vrednosti. Ti pogoji so:

Temperatura 430° C

Hitrost izvlačenja 5 cm/sek.

Čas potapljanja 20 sek.

Preiskave so potekale tako, da smo pocinkali najprej v čisti Zn talini in nato v talini z dodatkom drugih elementov, v prvi vrsti Pb, Sn in Al.

Kot vložek smo vedno uporabljali elektrolitski cink, čistoče 99.93 %. Elemente smo dodajali v cinkovo talino bodisi v elementarni obliki, bodisi v obliki zlitin. Vedno smo uporabljali kovine s čim manjšo vsebnostjo primesi.

Za pocinkanje nam je služila mala uporona ogrevana pečica s kadjo kapacitete 80 kg. Pocinkanje smo preiskovali na pločevini dimenzije 150 × 150 × 0.5 mm. Rezultati so bili naslednji:

Čisti Zn:

Pocinkanje pločevine v čisti Zn talini je potekalo z izrednimi težavami. Naj naštejemo le nekaj teh težav:

1. Zaradi sorazmerno visoke temperature tališča cinka (419° C) smo bili primorani te preiskave izvesti le pri temp. 450° C. Odstranjevanje fluksa s površine je bilo izredno težavno. Čestokrat smo dobili na površini pločevine številna večja nepo-

cinkana mesta, na katerih je bilo mogoče opaziti ostanke fluksa, ker se je ta slabo odstranjeval zaradi slabe sposobnosti omočenja površine z Zn.

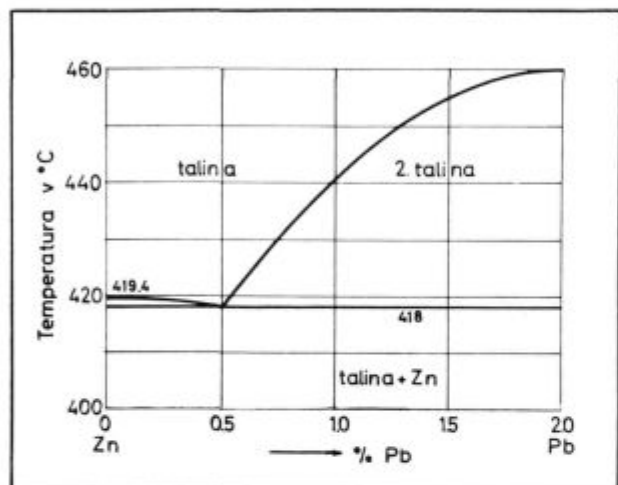
2. Prevleka je bila zelo neenakomerna, hrapava, z mat barvo in z zelo neizrazitimi kristali.

Zaradi slabih rezultatov smo vse nadaljnje preiskave v čisti cinkovi talini opustili.

Zn + 0.3 — 1.5 % Pb

Svinec ima zelo blagodejen vpliv na pocinkanje, ker zmanjšuje viskoznost taline ter povečuje s tem sposobnost omočenja, zato ga številne Zn taline tudi vsebujejo.

Preiskave pocinkanja smo opravljali v intervalu od 0.3 — 1.5 % Pb. Svinec smo dodajali v talino v elementarni obliki in v obliki zlitine Zn-Pb.



Slika 12
Diagram stanja Zn-Pb

Ugotavljali smo vpliv svinca na težo prevleke, vendar pri temperaturi 430° C nismo mogli zaslediti večjega vpliva, čeprav je imela prevleka tendenco rahlega naraščanja z naraščajočo vsebnostjo svinca.

Za optimalno vsebnost svinca v Zn talini smo izbrali vsebnost 0.8—1.0 % in to zaradi več razlogov. Pri višji vsebnosti Pb smo namreč ugotovili močno nabiranje tega elementa na dnu kadi zaradi prekoračenja meje topnosti. Maksimalna topnost Pb v tekočem Zn znaša pri 419° C 0.5 %, pri 450° C pa 1.3 %. Slika 12.

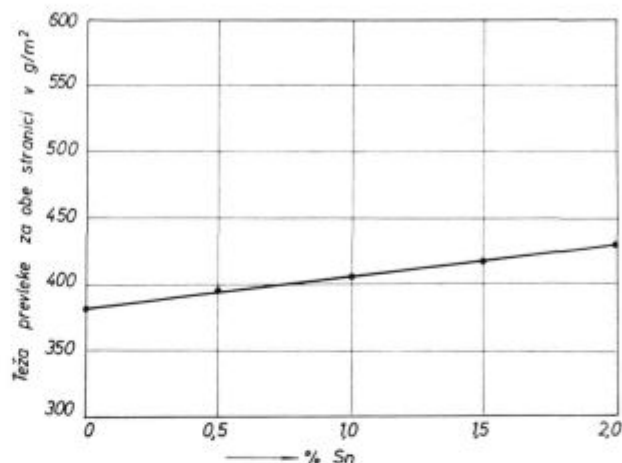
Velikost kristalov z naraščajočo vsebnostjo svinca narašča, kristali so mat barve, brez sijaja, ne glede na vsebnost svinca. Pripomniti moramo, da svinec v veliki meri nevtralizira in odstrani kvaren vpliv Fe, ki močno zmanjšuje sposobnost omočenja.

Zn + 0.8—0.9 Pb + 0.1—2 % Sn

Kositer dodajamo v Zn talino, predvsem z namenom, da dobimo lepe in velike kristale. Topnost Sn pri temperaturah nad 419° C je popolna.

Kositer smo dodajali v obliki zlitine Zn — Pb — Sn. Najboljše rezultate smo dosegli pri vrednosti od 0.3—0.5 % Sn. Kristali so bili lepo razviti, veliki, vendar brez izrazitega sijaja. Dodatki preko 0.5 % Sn niso imeli nobenega vpliva na obliko kristalov, pri 1 % Sn pa se je že pokazal škodljiv vpliv tega elementa. Kristali so namreč postajali mat barve in nekoliko gresaste oblike.

Bistvenega vpliva na povečanje teže prevleke nismo mogli zaslediti, čeprav je ta rahlo naraščala. Slika 13.



Slika 13
Vpliv Sn na težo prevleke

Pri preiskavah sposobnosti upogibanja pa smo ugotovili, da plastičnost prevleke pada z naraščajočo vsebnostjo kositra. Pri vsebnosti 1.0 % Sn pločevina ni več vzdržala nobenega upogiba, ki ga predpisujejo norme.

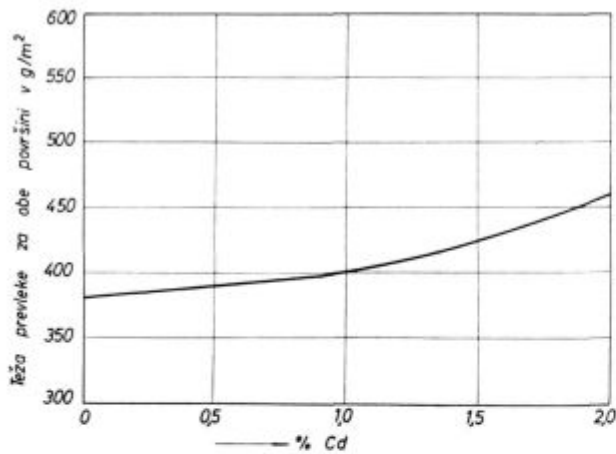
Zn + 0.8—1.0 Pb + 0.1—2 % Cd

Preiskave smo opravljali v talinah z 0.1 do 2 % Cd. Kadmij smo dodajali v talino v obliki zlitine Zn-Pb-Cd. Rezultati, ki smo jih dosegli, so bili naslednji:

Kadmij do 0.3 % nima nobenega vpliva na kvaliteto prevleke, niti na velikost kristalov. Velikost kristalov začenja naraščati šele pri vsebnosti Cd nad 0.5 %. Kristali postanejo srednje veliki in lepo razviti, vendar mat barve. Pripomniti moramo ob tej priliki, da so bili ti kristali vedno manjši in so imeli manjši sijaj kot pri dodatku Sn. Kadmij vpliva občutno na naraščanje teže prevleke, kakor tudi na poslabšane sposobnosti upogibanja. Slika 14.

Zn + 0.8—1.0 Pb + 0.5 Sn + 0.02—0.3 Al

Navedene elemente smo dodajali v obliki zlitine Zn-Pb-Sn-Al, ki je imela nižje tališče od tališča Zn taline. Dodajali smo jo z enostavnim potapljanjem s pomočjo posebne preluknjane posode.



Slika 14
Vpliv Cd na težo prevleke

Od vseh preiskav pocinkanja so nam dale preiskave z dodatkom Al najboljše rezultate. Kristali prevleke so bili izredno lepo razviti in sijajni (slika 15). Ugotovili smo, da dobivajo kristali lep sijaj že pri 0.05 % Al. Pri vrednosti Al nad 0.2 % pa je začela postajati površina prevleke gresasta. Ta gresavost je naraščala z naraščajočo vsebnostjo Al. Zaradi intenzivnejše tvorbe produktov oksidacije na površini taline je prišlo do večjega lepljenja teh delcev na površino, kar daje kristalom gresasti videz.

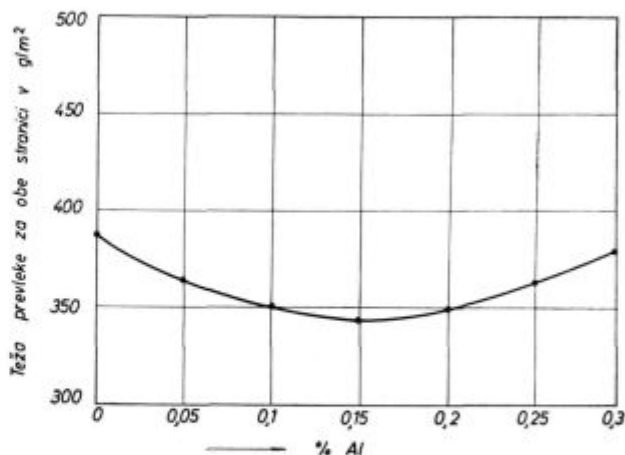


Slika 15
Izgled kristalov ob dodatku 0.15 Al

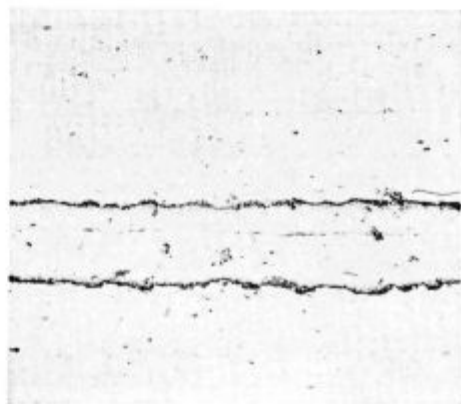
S preiskavami smo želeli ugotoviti tudi vpliv Al na spremembo faz in s tem na spremembo teže prevleke. Kakor je iz diagrama slike 16 razvidno, Al vpliva na težo prevleke. Ta teža pada do vsebnosti ca 0.20 % Al in nato začenja rahlo naraščati. Vzroke za naraščanje teže prevleke je treba iskati v gresasti površini.

Poznano je, da Al vpliva predvsem na izoblikovanje gama (γ) in delta (δ) faze. Že pri vsebnosti 0.05 % Al smo ugotovili občutno zmanjšanje delta

faze, medtem ko je gama faza že popolnoma izginila. Pri 0.1 % Al pa je tudi delta faza izginila. Ker je delta faza zelo krhka, je razumljivo, da Al izredno vpliva na plastičnost prevleke.

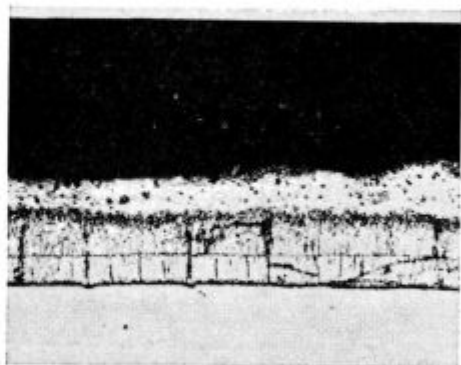


Slika 16
Vpliv Al na težo prevleke



Slika 17
Mikro posnetek prevleke — 200 ×

Na sliki 17 je lepo vidna zelo tanka faza zeta in eta (ζ in η) (temneje obarvana) ter čista eta faza (η) (belo obravana).

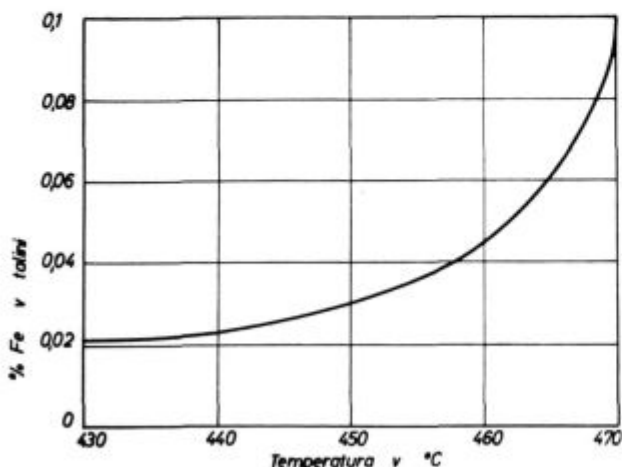


Slika 18
Mikro posnetek prevleke — 200 ×

Delta faza se kljub dodatku Al lahko pojavi, vendar so potrebne za to višje temperature in daljši čas potapljanja. Na sliki 18 vidimo strukturo, ki smo jo dosegli pri 5-minutnem potapljanju in pri 450° C.

Vpliv Fe na pocinkanje

Železo je v manjših ali večjih količinah vedno prisotno v Zn talini. Topnost Fe v Zn talini pri nizkih temperaturah ni velika, nad 450° C pa začne močno naraščati (glej sliko 19).



Slika 19
Topnost Fe v Zn talini

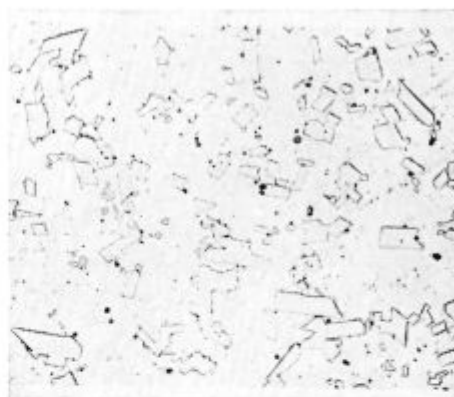
Če je količina železa večja od maksimalne raztopnosti tega elementa v cinku, potem se ta izloči v obliki zelo drobnih kristalov železo-cinkovih metaloidov, kar ima zelo škodljive posledice.

Fe vnašamo v talino predvsem s pločevino. Pri normalnem obratovanju naj bi cinkova talina ne vsebovala nad 0.07 % Fe.

Pri preiskavah smo ugotovili, da male količine železa nimajo bistvenega vpliva na težo prevleke, vplivajo pa na videz površine, oziroma na kvaliteto prevleke. Pri vsebnosti nad 0.15 % Fe pa smo že zasledili občutnejše naraščanje teže prevleke. Pri višji vsebnosti od 0.25 % Fe pa je talina že tako nasičena z lebdječimi kristali Fe-Zn, da je vsako pocinkanje zelo otežkočeno. Slika 20 nam prikazuje kristale Zn-Fe, v talini s cca 0.7 % Fe.

Ad 9. Vpliv površine na pocinkanje

Z namenom, da bi ugotovili vpliv kvalitete površine na pocinkanje, smo preiskovali pocinkanje na toplo valjani, toplo valjani in naknadno dresirani ter hladno valjani pločevini, in sicer v talini z 1 % Pb, 0.3 % Sn, 0.1 % Al, 430° C, potapljanje 20 sek., izvlačenje 5 cm/sek. Vzorcev vseh treh različno obdelanih površin smo pred pocinkanjem žarili in lužili. Najboljše rezultate smo dosegli pri



Slika 20
Makro posnetek taline — 100 ×

hladno valjani in dresirani pločevini. Zaradi gladke površine in boljšega odtekanja taline je bila teža prevleke manjša in enakomernjša kot pri toplo valjani pločevini, kristali pa izredno lepo razviti in sijajni (glej sliko 21).



Slika 21
Videz kristalov prevleke hladno valjane pločevine

Zaključki

Pri preiskavah pocinkanja smo zasledili naslednje:

1. Temperatura taline ne sme biti večja od 450° C.
2. Kadi naj bodo izdelani iz jekla, ki ima čim nižjo vsebnost elementov, predvsem silicija.
3. Fluks mora biti take sestave, da ga je mogoče čim hitreje odstraniti s površine pri potapljanju.
4. Temperatura sušenja fluksa naj ne bo višja od 150° C.
5. Najoptimalnejši pogoji pocinkanja so naslednji:

temperatura 430—440° C
čas potapljanja 20—30 sek.
hitrost izvlačanja 4—6 cm/sek.
talina: 0.9—1 % Pb
0.3—0.6 % Sn
0.1—0.15 % Al
max. 0.07 % Fe

6. Na zmanjšanje teže prevleke vpliva predvsem Al, temperatura taline, hitrost izvlačanja in čas zadrževanja kopeli.

7. Na velikost kristalov vpliva Sn, na sijaj kristalov pa element Al.

8. Na kvaliteto upogiba vpliva predvsem Al.

9. Na kvaliteto pocinkanja vpliva tudi luženje, in sicer predvsem luženje v HCl.

10. Površina pločevine mora biti čim bolj gladka.

Literatura

The Making, Shaping and Treating of Steel — United States Steel
J. Serebiakova — Stal 1961, No. 1, str. 92—94.
J. Smirnov — Stal 1959, No. 8, str. 764—767.
Eisenberger — Blech 1963, No. 5, str. 262—264.
Eisenberger — Blech 1963, No. 7, str. 442—444.
W. Rädcker — Stahl und Eisen, No. 12, str. 713—718.
R. Souske — La galvanisation a Choud. (Dunod — Paris 1963).

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Qualitätsüberwachung der warmgewalzten und verzinkten Bleche haben wir zahlreiche Mangelhaftigkeiten festgestellt. Der Zinküberzug war zu schwer, ungleichmäßig dick, die Kristallform war nicht ausgeprägt und die Biegeigenschaften waren schlecht. Die Kristalle waren matt. Auch der Ausfall wegen der zahlreichen nicht verzinkten Stellen war zu gross.

Da die oben angewendeten Fehler von vielen Faktoren beeinflusst werden, haben wir Untersuchungen von der Oberflächenvorbereitung bis zu dem Verzinken durchgeführt. Mit besonderer Aufmerksamkeit haben wir den Ein-

fluss, der Badtemperatur, der Zeit des Aufenthaltes der Bleche im Bad, der Ausziehgeschwindigkeit und den Einfluss verschiedener Elemente auf das Zinkgewicht des Oberflächenaussehen u. s. w. untersucht.

Im Bezug auf die sehr häufigen Schadensfälle an den Zinkwannen (Wannendurchlauf) haben wir auch den Einfluss verschiedener Elemente auf das Zinkgewicht das untersucht.

Im Artikel sind die Ergebnisse der laboratorischen Untersuchungen dargegeben. Diese Ergebnisse haben wir mit Erfolg in die Betriebsverhältnisse übertragen.

SUMMARY

Testing the quality of rolled and zinc coated sheet numerous disadvantages were found. The zinc coating was too heavy, not uniformly thick with undistinctive crystals, and bending properties were very poor. Crystals had a very dull color. At the same time also a very high percentage of rejected material due to numerous uncovered spots was stated.

As it can be supposed that the previously mentioned disadvantages can be influenced by different parameters materials were tested from the surface finish to the final zinc coating of the sheet. Mainly influence of the melt tem-

perature, of the holding time in the melt, of the drawing-out rate, of the impurities' influence on the weight of zinc, of the phases size, of the surface appearance, etc. were investigated and analyzed.

Due to very often breakdowns of baths with the zinc melt (break-through of the bath) temperature influence on iron dissolving rate was also studied.

The paper presents results of laboratory experiments. These results were successfully transferred into plants for industrial zinc coating.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведено сравнение между стальными откованными, закалёнными пламенем валками фирмы VOEST (Австрия) и откованными валками других производителей которые употреблены в горячем прокатном цехе Ranshofen. Как особенное преимущество этого нового сорта валков надо упомянуть лучшую поверхность бочки и повышенную износостойкости пламенно закалённых шейк. Для дальнейшего сравнения качества надо учесть ещё другие измерения. Во первых потерю диаметра валка на 1 мм истирания. В среднем при этих валках фирмы VOEST оно составляет 0.567 мм; прежде употребляемые валки имели истирание 0.844 мм; таким образом новый сорт валков дает улучшение в

высоте 33 %. Также надо взят во внимание что при этих валках существует гарантия на 50 мм истирания, между тем как прежнии валки были израсходованы при 2/мм потери диаметра. В конечном результате эти валки 3 раза лучше предыдущих. Другое качественное сравнение: эффективность прокатки в тоннах на мм отшлифованог диаметра. Также эти валки фирмы VOEST, в сравнении с предыдущими, показали эффективность свыше 89 %. Приблизительно тоже можно указать на стоимость валков, с доставкой к цеху Ranshofen, эти валки приблизительно за тот же процент дешевле как указано при качестве в сравнении с прежде применимыми валками.

Problematičnost določevanja nastopanja delta ferita v avstenitnih nerjavnih jeklih

V tehnologiji vroče predelave avstenitnih nerjavnih jekel predstavlja prisotnost delta ferita faktor, ki povzroča težave, ki so toliko večje, če je vsebnost te faze nekontrolirana. V članku se obravnava problem določevanja delta ferita s pomočjo računske metode, ki je za konkretni primer, ko se želi določiti vsebnost delta faze v vlitih blokih na podlagi znane kemične sestave skoro edino mogoča.

Rezultati izračunane vsebnosti in primerjava z metalografsko določeno vsebnostjo, so pokazali velike razlike na podlagi katere se ta metoda ne more smatrati za dovolj točno.

V primeru Cr Ni Mn jekel pa ta metoda popolnoma odpove.

Alotropna modifikacija železa delta ferit, ki je pri čistem železu obstojna od temperature 1390°C navzgor pri ogljičnih in nizkolegiranih jeklih ni pomembna, ker se vsi procesi, bodisi preoblikovanja bodisi termične obdelave, vrše pri nižjih temperaturah. Ker se torej ne pojavlja v strukturi, ne vpliva na lastnosti in tehnologijo teh jekel.

Nastopa pa delta ferit v jeklih z visoko vsebnostjo kroma in zelo pogosto v avstenitnih Cr-Ni jeklih. Čista Cr jekla v odvisnosti od Cr in C prehajajo iz popolnoma feritnih jekel preko raznih stopenj razmerja ferit : martenzit v popolnoma martenzitna.

Pri Cr-Ni jeklih pa se je z razvojem vedno novih kvalitet formirala celo posebna podgrupa avstenitno-feritnih jekel, ki vsebujejo konstantno neko določeno količino delta ferita. Temeljitejše metode preiskave in študije, izvršene v zadnjih treh desetletjih, ko postajajo Cr-Ni jekla vedno bolj masovna in pomembna, pa so pokazala, da nastopa ob posebnih pogojih delta ferit tudi v čisto avstenitnih jeklih. Namensko ali nenamensko nastopanje delta ferita v avstenitnih nerjavnih jeklih pa ima za posledico niz problemov in težav, zaradi katerih je treba posvetiti tem vrstam jekel mnogo pozornosti pri izdelavi, vroči predelavi in termični obdelavi. Namen tega članka je osvetliti nekaj teh problemov, ki se pojavljajo pri proizvodnji in predelavi najpogostejših Cr-Ni in Cr-Ni-Mn jeklih.

Pojav delta ferita

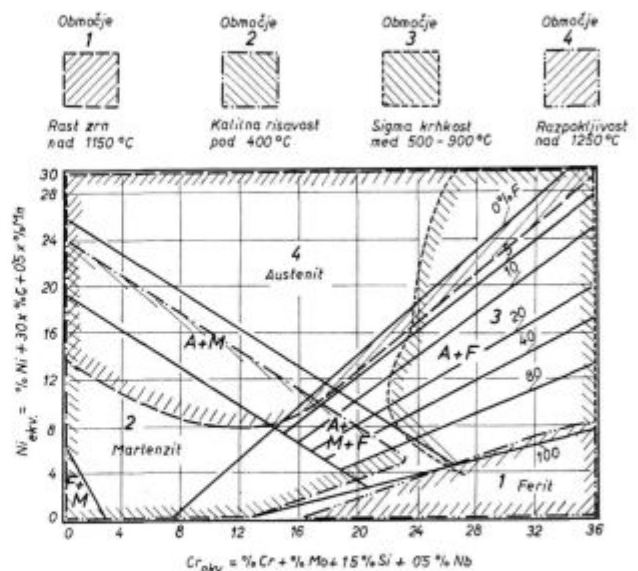
Delta ferit se pojavlja in obstane v strukturi Cr-Ni jekel, odvisno od sestave, temperature in stanja predelave (vlito ali valjano). Pri avstenitno-

feritnih Cr-Ni jeklih je prisoten v celem temperaturnem intervalu od strdišča jekla do sobne temperature in je njegov nastanek pogojen predvsem s kemično sestavo jekel. Pri čistih avstenitnih jeklih se delta ferit pojavlja v odvisnosti od stanja predelave (vlito ali valjano), in od temperature, pri kateri se jeklo nahaja ali s katere se je jeklo hitro ohladilo, tj. gasilo v vodi. Ta temperaturni interval pojavljanja sega v območje visokih temperatur, in sicer med 900 in 1250°C, t.j. do temperatur termične obdelave in vroče predelave.

Vpliv elementov

Delovanje elementov je povezano z njihovim vplivom na odpiranje, oziroma zapiranje gama področja. Ze Maurer¹ je pri konstrukciji svojega znanega diagrama nakazal nastopanje avstenitno-feritnega področja, čeprav je upošteval samo dva osnovna elementa v avstenitnih jeklih, t.j. Cr in Ni. Kasneje so z dolegiranjem in upoštevanjem stalno spremljajočih elementov določili njihov dodatni vpliv. Skušali so celo postaviti faktorje aktivnosti teh elementov, upoštevajoč, da Cr in Ni kot osnovna elementa v avstenitnih jeklih dobijo faktor 1.

Prvemu je uspelo uporabno določiti faktorje aktivnosti Schaefflerju^{2,3}. Razvil je diagram, ki je



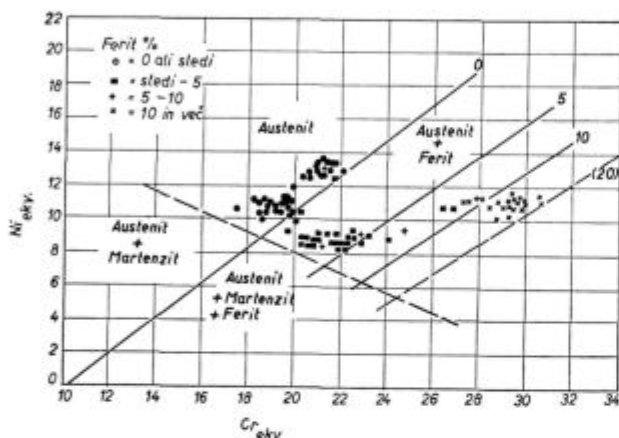
Slika 1
Fazni diagram po Schaefflerju

prikazan na sliki št. 1. Upošteval je najbolj pogoste legirne elemente v Cr-Ni avstenitnih jeklih, tj. Mo, Si, Nb, C in Mn ter postavil faktorje aktivnosti, ki veljajo za določanje delta ferita v zvarih. Prvi faktorji, ki jih je postavil leta 1947 so bili za Cr ekvivalent naslednji: Si = 2,5, Mo = 1,8, Nb = 2, medtem ko so faktorji za Ni ekvivalent ves čas enaki. Označeni faktorji v diagramu na sliki št. 1 veljajo od leta 1949. Long⁴ je leta 1960 korigiral ta diagram, oziroma upošteval še ostale elemente, ki se tudi pojavljajo v zvarih v naslednjo obliko:

$$Cr_{ekv} = \% Cr + Mo + 3/2 \% Si + 1/2 \% Nb$$

$$Ni_{ekv} = \% Ni + 30 \% C + 30 \% N + 1/2 \% Mn$$

Na osnovi teh diagramov, veljavnih za določanje delta ferita v zvarih, sta L. Pryce in K. V. Andrews⁵ izdelala diagram (slika št. 2), veljaven za kontrolo vsebnosti delta ferita pri temperaturah valjanja za razne tipe avstenitnih nerjavnih jekel in predlagala naslednje ekvivalente, oziroma faktorje aktivnosti za posamezne elemente:



Slika 2
Fazni diagram po Prycejju

Za jeklo 18—8

$$Cr_{ekv} = \% Cr + 3 \% Si$$

$$Ni_{ekv} = \% Ni + 0,5 \% Mn + 21 \% C + 11,5 \% N$$

Za jeklo 18—8 Ti

$$Cr_{ekv} = \% Cr + 3 \% Si + 10 \% Ti$$

$$Ni_{ekv} = \% Ni + 0,5 \% Mn + 21 \% C$$

Za jeklo 18—8 Mo-Ti

$$Cr_{ekv} = \% Cr + 2 \% Si + \% Mo + 10 \% Ti$$

$$Ni_{ekv} = \% Ni + 0,5 \% Mn + 21 \% C$$

Pri vsebnosti Mo v jeklu $\leq 1\%$ je faktor Mo = 1, medtem ko je pri vsebnosti Mo v jeklu 2—3 % vredost faktorja Mo = 4.

Za jeklo 18—8 Nb

$$Cr_{ekv} = \% Cr + 3 \% Si + 4 \% Nb$$

$$Ni_{ekv} = \% Ni + 0,5 \% Mn + 21 \% C$$

Pri tem sta določila, da je treba upoštevati korekturno vrednost za C, Ti in Nb, in sicer tisto, ki je dejansko raztopljena v jeklu in ni vezana na stabilne karbonitride.

Tako velja

$$C^- = 0,03 \%$$

$$Ti^- = \% Ti - 4 [(\% C - 0,03) + \% N]$$

$$Nb^- = \% Nb - 8 [(\% C - 0,03) + \% N]$$

Najnovejše obsežno delo o problematiki pojavljanja in določanja delta ferita v odvisnosti od sestave je opravil B. Guiraldeng⁶. Rezultat njegovega dela je korektura do sedaj obravnavanih faktorjev aktivnosti po Schaefflerju in Pryce, in sicer predlaga naslednje:

$$Al = 1,5$$

$$Si = 2$$

$$Mo = 4$$

$$Ti = 3$$

$$C = 30 \text{ za vlito in gašeno jeklo}$$

$$C = 15 \text{ za valjano in gašeno jeklo}$$

$$N = \text{brez vpliva}$$

$$N = 20 \text{ za vlito in gašeno jeklo}$$

$$Mn = 15 \text{ za valjano in gašeno jeklo}$$

Iz vseh do sedaj navedenih faktorjev vidimo, da obstaja precejšnja razlika v absolutnih vrednostih med posameznimi avtorji. Trenutno sta najbolj uporabljiva diagrama: Schaefflerjev za zware in Pryceov za valjano jeklo.

Pri vplivu elementov je treba posvetiti posebno pozornost elementom stabilizatorjem, t.j. Ti in Nb-Ta, ki so v Cr-Ni jeklih namensko dodani zaradi vezave C in N v stabilno obliko karbonitridov, ki so tudi pri visokih temperaturah skoraj netopni v osnovni avstenitni masi in zaradi tega omogočajo varjenje teh jekel brez nevarnosti nastopanja interkristalne korozije zaradi izločanja kromovih karbidov v prehodnih toplotnih vplivnih conah varov.

Že Pryce in Andrews⁵ sta v svojem delu z absolutno vsebnostjo faktorjev aktivnosti za Ti in Nb-Ta nakazala različčen vpliv na količino nastalega delta ferita, kadar sta v višku, torej kadar ne delujeta več samo kot stabilizatorja, temveč že kot aktivna feritotvorna elementa.

Eksperimentalni podatki, podani v tabeli 1 in in 2 kažejo vpliv vsebnosti obeh elementov v količinah, večjih kot so potrebni za stabilizacijo na spreminjanje vsebnosti delta ferita v strukturi jekla s kemično sestavo 0,10 % C, 18 % Cr, 8 % Ni.

Ti : C % delta ferita

5 : 1 0,3

7 : 1 10

7,5 : 1 14

8 : 1 19

tabela št. 1

Nb-Ta : C % delta ferita

7 : 1 0,2

8 : 1 0,2

10 : 1 0,2

12 : 1 0,2

15 : 1 0,5

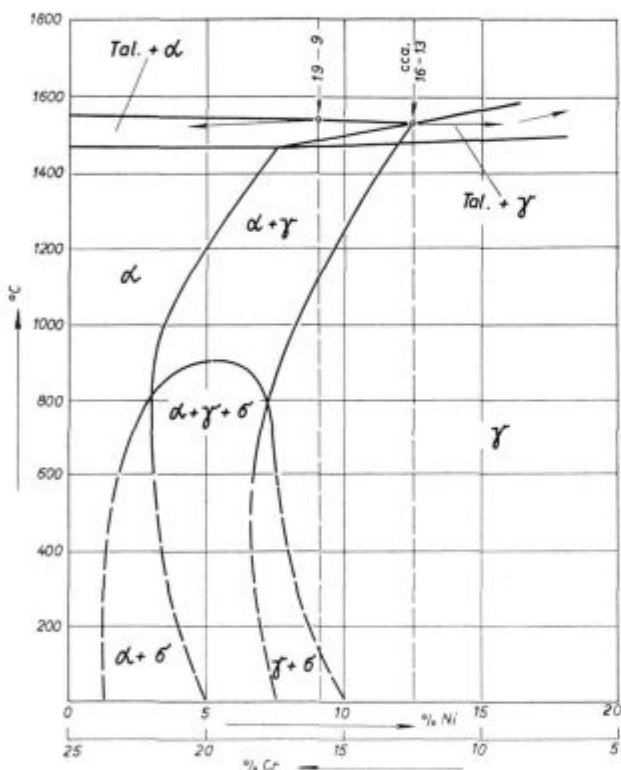
tabela št. 2

Če upoštevamo, da je jeklo vsebovalo še neko malo, nedoločeno količino N, vidimo, da tudi tako močno korigirani ekvivalentni, kot jih je postavil Pryce, ne veljajo popolnoma.

Iz podatkov vidimo, da prestabilizacija z Nb-Ta ne deluje tako močno na nastopanje delta ferita kot prestabilizacija s Ti. Zaradi tega je potrebno posebno paziti na količinsko pravilno dodajanje stabilizatorjev jeklu v peč ali ponovco.

Vpliv temperature

Vpliv temperature na nastopanje delta ferita je predvsem pomemben v čistih avstenitnih jeklih. Seveda pa je enako pomemben tudi pri avstenitno-feritnih jeklih. Pod pojmom »čisto avstenitno jeklo« razumemo tisto avstenitno jeklo, katerega lahko ob optimalnih pogojih tako termično obdelamo, t. j. gasimo, da v strukturi ni nobene sledi delta ferita. Pojav nastajanja delta ferita v območju visokih temperatur lahko zasledujemo na diagramu na sliki št. 3, ki prikazuje poenostavljen dia-

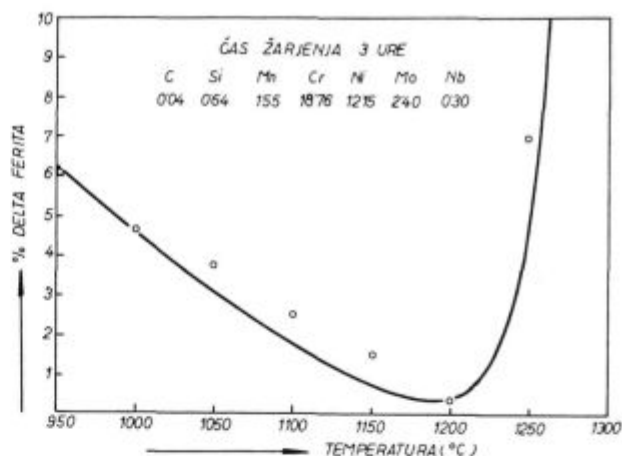


Slika 3

Diagram stanja Fe-Cr-Ni pri 75 % Fe

gram stanja ternarnega sistema Fe-Cr-Ni, rezanega pri 75 % Fe. Resnično stanje je seveda v jeklu zaradi ostalih elementov (C, Si, Mn, in drugih), mnogo bolj komplicirano, vendar nam pričujoči diagram omogoča razumevanje mehanizma nastanka delta ferita in pogoje, pod katerimi ta faza ostane ali pa je ni v strukturi gašenega jekla.

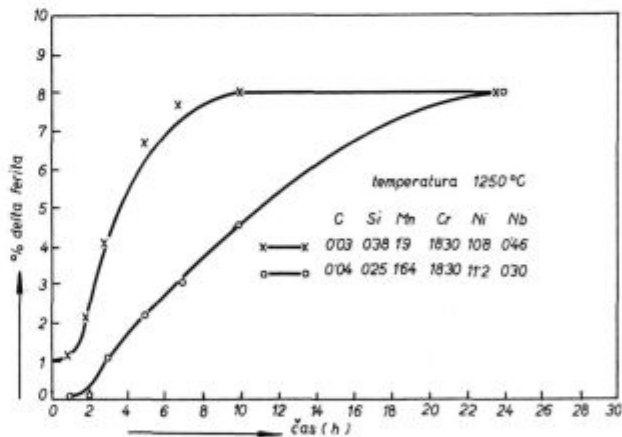
Iz diagrama se vidi, da jeklo pri ogrevanju na temperature gašenja lahko pride v dvofazno območje, kjer sta v ravnotežju gama in delta fazi.



Slika 4

Vpliv temperature na vsebnost delta ferita za C 4582

V kolikor je ta temperatura gašenja izbrana previsoko, je tudi količina delta faze v strukturi jekla večja. Podobno in še bolj izrazito je povečanje vsebnosti delta faze v strukturi, kadar ogrevamo jeklo na temperature, primerne za predelavo v vročem, ker so te temperature še mnogo višje od temperatur gašenja. Tudi rezultati preiskav, izvršenih na jeklu, npr. C 4582 (diagram na sliki 4) potrjujejo to dejstvo. Iz diagrama je razvidno, da sprva z naraščanjem temperature vsebnost delta faze pada, od 1200°C naprej pa začne zopet občutno naraščati.



Slika 5

Vpliv časa na vsebnost delta ferita za C 4582

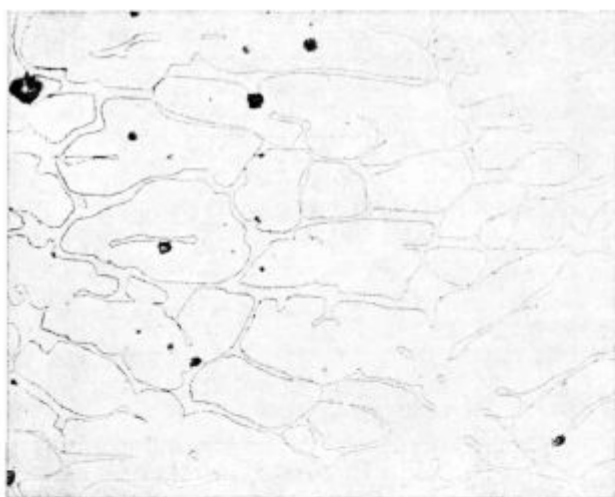
Podoben direktno proporcionalen efekt kot temperatura ima tudi sprememba, oziroma podaljšanje časa zadržanja na temperaturi (sl. 5). Pri daljših časih se začne vsebnost delta faze večati in doseže asimptotično, po nekem določenem času maksimalno vrednost, ki se nato pri še daljših časih bistveno ne spreminja, v kolikor ne pride zaradi vpliva atmosfere do spremembe kemične sestave jekla (npr. razogljčenje). Oba efekta, tako temperatura kot čas, sta podvržena vplivu konkretne sestave jekla. Poteka obeh krivulj nam dajeta vpo-

gled v difuzijske procese, ki vodijo ob izravnava-
krivulj (v primeru vpliva časa) do ravnotežnih
stanj.

Na podlagi takih preiskav, izvršenih za posamez-
ne kvalitete, lahko predpišemo tehnološke po-
stopke, ki nam garantirajo ali točno kontrolirajo
vsebnost delta faze v izdelkih ali pri gašenju.
Mnogo večjega pomena pa so te preiskave za dolo-
čitev parametrov pri ogrevanju polizdelkov, npr.
blumov ali slabov za nadaljnjo predelavo v vročem.

Bistveno nasproten efekt temperature in časa
na vsebnost delta ferita, kot je bil opisan za že pre-
delano jeklo, pa zasledimo pri preiskavah vlitega
jekla. Tu se zaradi selektivnih pogojev jeklo v koki-
lah strjuje s precejšnjimi segregacijam. Posebno
so močne mikrosegregacije.

Če se povrnemo zopet k diagramu stanja na
sliki št. 3, lahko ta pojav pojasnimo, npr.: pri se-
stavi 19—9 se ob prehodu likvidus linije izloča naj-
prej s Cr bogatejša faza; torej feritna. Preostala
talina se bogati z Ni in zaradi tega se bo strdila
v stabilno avstenitno obliko. Pri popolno avstenitni
sestavi, npr. 16—13 pa so razmere obrate: najprej
se izloči z Ni bogata faza in talina se bogati s Cr,
ki se nato strdi v feritno obliko. Čeprav lahko
nastopa v nekaterih primerih, odvisno od sestave,
v obeh primerih enaka vsebnost delta ferita, pa je
občutna razlika v mestu, kje nastopajo posamezne
faze v mikrostrukturi. V prvem primeru 19—9 je



Slika 6
($\times 500$) lito stanje — ohlajeno v kokili

delta ferit v jedru kristalov običajno v primarni
veji, medtem ko je v primeru 16—13 na periferiji,
t.j. okoli ali v medprostorih sekundarnih ali ter-
ciarnih vej dendritov. Primer take strukture vidi-
mo na sl. št. 6. Direktno proporcionalno s časom in
temperaturo pa se te kristalne izceje zaradi difu-
zijskih procesov v določenem obsegu homogenizi-
rajo in v jeklu dobimo neko ravnotežno stanje.
V odvisnosti od kemične sestave potem zasledimo
v strukturi jekla neko višjo ali nižjo vsebnost delta

faze, ki je poleg količinske spremembe pretrpela
tudi oblikovne spremembe. Na sliki št. 7 in 8 vi-
dimo mikrostrukturo istega vzorca kot na sliki
št. 1, žarjenega pri 1250° C 12 ur, kjer se je vseb-
nost delta faze zmanjšala od prvotnih 21 % na
15 %. Pomembnejše od zmanjšanja vsebnosti pa
je sprememba razporeditve, ki je v novejši obliki
s stališča vroče predelave ugodnejša.



Slika 7
($\times 500$) lito stanje — žarjeno 12 ur pri 1250° C,
ohlajeno v vodi

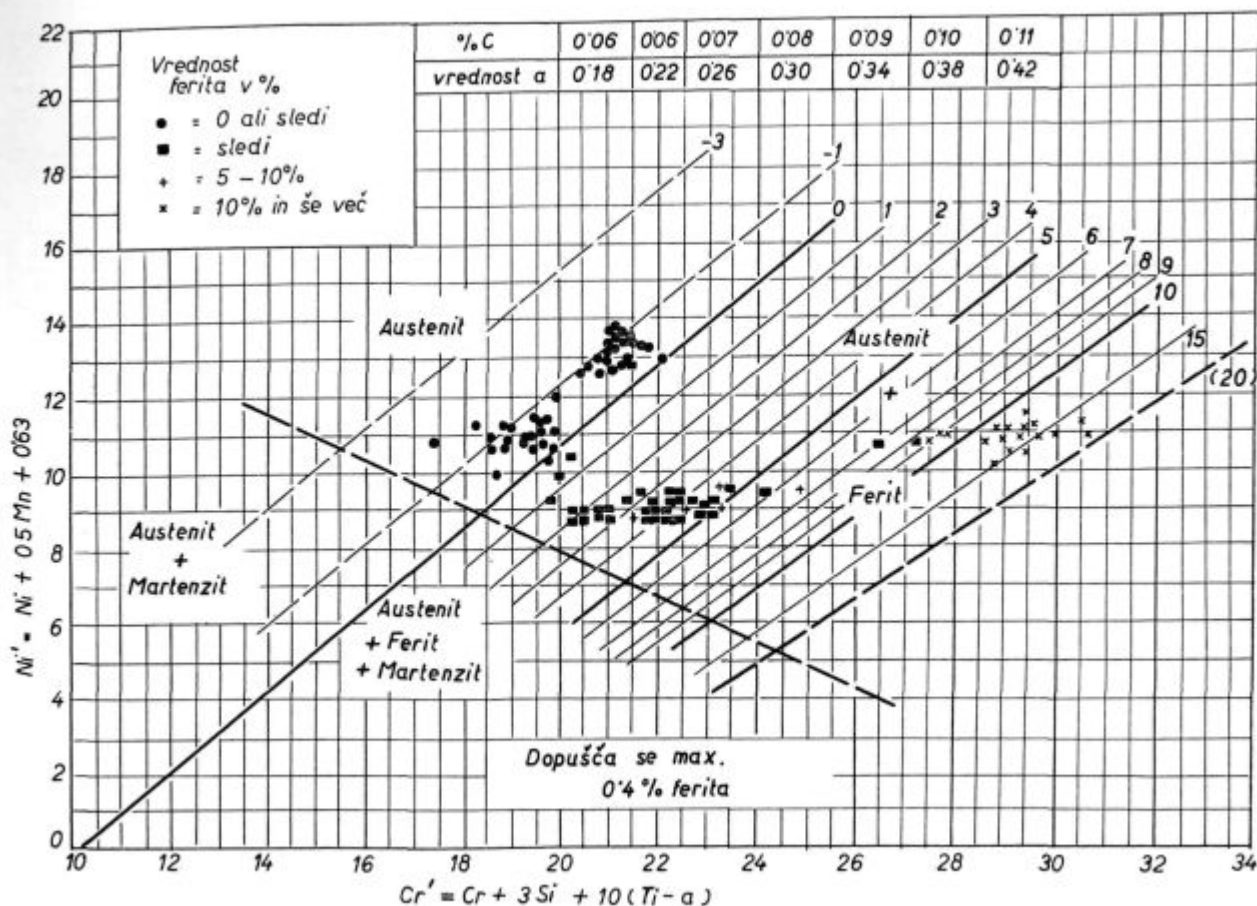


Slika 8
($\times 500$) lito stanje — žarjeno 12 ur pri 1250° C,
ohlajeno v vodi

Ugotovitve preiskav

Za določanje delta faze obstajajo naslednje me-
tode:

- računsko s pomočjo ekvivalentov in diagra-
mov,
- metalografska s planimetriranjem mikro-
strukture,
- rentgenografska,



Slika 9
Modificiran fazni diagram po Pryceju

- računsko s pomočjo gostote jekla,
- z merjenjem električne upornosti,
- z merjenjem magnetnih lastnosti.

Metode določanja ne bi podrobneje opisovali, saj je o njih dovolj podatkov najti v novejši in tekoči literaturi.

V okviru preiskav in pojavov, ki smo jih zasledili, nas je zanimala predvsem metoda določanja s pomočjo računsko ugotovljenih ekvivalentov in diagramov. Zato je tudi v poglavju vpliv elementov na tvorbo delta faze podrobneje opisan. Nekatere firme, oziroma v nekaterih državah so razvili iz že znanih metod, ki slonijo na principu izračuna, ponostavljene diagrame, s pomočjo katerih se da hitro in dokaj točno določiti vsebnost delta faze. Na sliki št. 9 vidimo primer enega takih diagramov ki ga uporabljajo v poljskih jeklnah.

Vzrok za temeljitejšo obravnavanje te računske metode je bila želja, da bi na podlagi kemične analize šarže predvidevali sposobnosti predelave v vročem, z ozirom na vsebnost delta ferita, oziroma, da bi že ob sami kemični sestavi odločili uporabnost šarže za one potrošnike, ki zahtevajo da njihovi finalni izdelki ne bodo podvrženi posledicam vplivov, ki jih magnetno polje povzroča v jeklu.

Pri stalnem zasledovanju in primerjavi rezultatov določanja delta ferita računsko in metalografske metode, smo odkrili bistvene razlike med vsebnostjo delta faze, določeni po eni od obeh omenjenih metod. Skoraj vedno smo ugotovili, da je dejansko v jeklu več delta ferita, kot smo ga določili z računom.

Posebno izrazito je bilo to odstopanje za lito stanje. Iz sestave jekla, ki je na slikah 6, 7 in 8 in ki je bila naslednja:

C	= 0,04 %
Si	= 0,65 %
Mn	= 1,58 %
P	= 0,012 %
S	= 0,031 %
Cr	= 18,90 %
Ni	= 10,12 %
Mo	= 1,97 %
N ₂	= 0,30 %
Nb	= 0,20 %

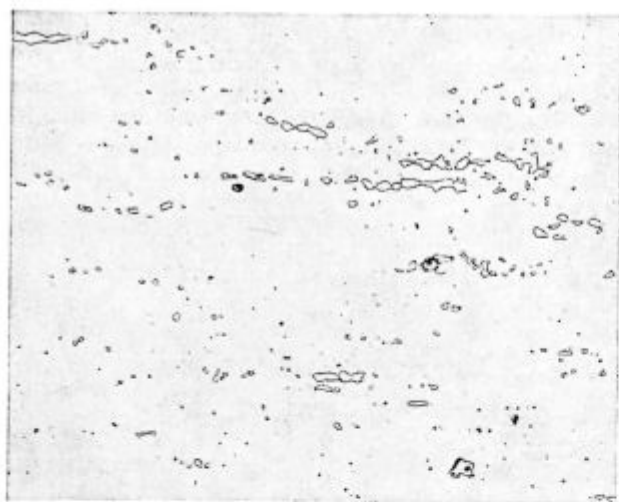
bi računajoč po katerikoli metodi pričakovali okoli 10 % delta ferita. Dejansko smo ga ugotovili 21 %, oziroma 15 % po homogenizaciji. Po valjanju smo ugotovili ca 12 % feritne faze, kar precej odgovarja izračunani vsebnosti (sl. št. 10).



Slika 10
($\times 500$) lito stanje — ohlajeno v kokili

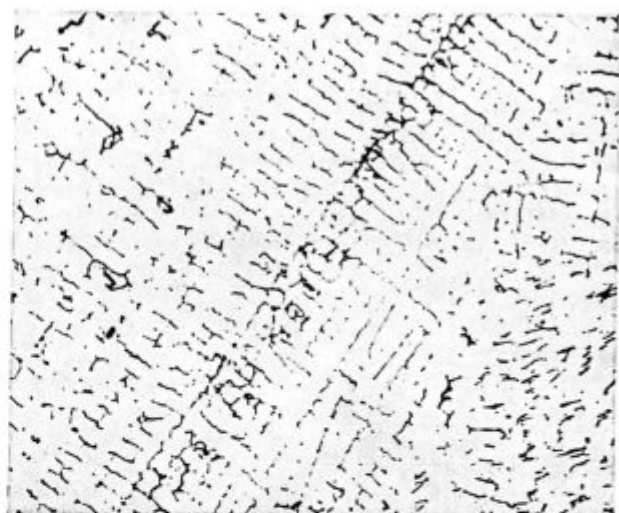
Še večje odstopanje smo zasledili v primeru jekla, sestave

C	=	0,13	%
Si	=	0,63	%
Mn	=	7,20	%
P	=	0,019	%
S	=	0,006	%
Cr	=	18,80	%
Ni	=	8,45	%
N	=	0,029	%
Ti	=	0,30	%



Slika 11
($\times 500$) lito stanje — žarjeno 12 ur pri 1250° C, ohlajeno v vodi

V vlitim stanju je jeklo po metalografski določitvi vsebovalo ca. 8 % — 10 % ferita (slika 14). Po valjanju in gašenju pa je bilo ugotovljeno v strukturi ca. 3—5 % feritne faze (sl. št. 12). Računsko bi po kateremkoli od navedenih avtorjev to jeklo moralo biti popolnoma brez feritne faze.



Slika 12
($\times 500$) valjano stanje

Podobne nenormalne primere smo ugotovili še za druga jekla, ki spadajo v grupo stabilnih homogenih avstenitnih jekel.

ZAKLJUČEK

Uporaba računskih metod za določanje vsebnosti delta ferita v avstenitnih in avstenitno-feritnih Cr-Ni in Cr-Ni-Mn jeklih ni zanesljiva. Izračunane in z diagrami določene vsebnosti odstopanja od onih, ki smo jih določili s planimetriranjem mikrostrukture. Vse računsko določene vsebnosti kažejo nižje vrednosti od dejanskih. Predvsem je to odstopanje občutno pri preiskavi jekla v vlitim stanju, kjer so ugotovljene razlike znašale celo 100 %. Pri valjanih, oziroma toplotno že predelanih izdelkih so te razlike manjše, vendar so še vedno do 50 %. Popolnoma pa ta metoda odpove v primeru preiskave CrNiMn jekel.

Na podlagi ugotovljenih razmer menimo, da je to metodo popolnoma neprimerno uporabljati za določevanje vsebnosti delta ferita v vlitim stanju ter da je namesto nje treba sprejeti ekzaktnejše načine. Ker tudi metalografski način ni najpopolnejši, oziroma zahteva za točne določitve precej vzorcev in s tem tudi precej časa, je najprimernejši in po preizkušnjah najtočnejše določevanje s pomočjo merjenja magnetnih lastnosti. Seveda pa se postavlja vprašanje, kako to metodo aplicirati pri določevanju delta ferita na vlitih blokih, ki se vroči zakladajo v globinske peči.

Literatura

1. Strauss B., Maurer E. Kruppsche Monatshefte 8 (1920) str. 129
2. Schaeffler: Welding J. 1947 str. 601
3. Schaeffler: Metal Progress 1949 str. 680
4. Long W. T. de: Metal Progress 1960 str. 98
5. Pryce L., Andrews K. W.: J. Iron and Steel Inst.
6. Guiradeng P.: Memoires Scientifiques Rev. Metallurg. L XIV (1967) str. 907

ZUSAMMENFASSUNG

Die Anwesenheit von Deltaferit im Gefüge der austenitischen nichtrostenden Stählen verursacht bei der Warmverarbeitung grosse Schwierigkeiten, die noch grösser sind, wenn der Gehalt an dieser Phase nicht kontrolliert wird.

Im Artikel sind die Probleme der Bestimmung von Deltaferit mit einer mathematischen Methode auf Grund der bekannten chemischen Zusammensetzung in den abgegossenen Blöcken erörtert.

Die Ergebnisse der errechneten Gehalte an Deltaferit und die Vergleichung mit den metallographisch bestimmten Werten zeigten ziemliche Unterschiede, auf dessen Grund diese Methode nicht als genügend genau betrachtet werden kann.

Bei den Cr Ni Mn Stählen versagt diese Methode vollkommen.

SUMMARY

In technology of hot processing of austenitic stainless steels the presence of delta ferrite causes troubles which are still greater if the content of this phase is not controlled. The paper treats the problem of determination of delta ferrite using a mathematical method which is nearly the only possible one when delta phase content in cast ingots must be determined by knowing the chemical composition.

Evaluated results were compared with metallographically determined contents, but big differences appeared and therefore this method is supposed to be not accurate enough. When Cr Ni Mn steels are in question this method is completely unusable.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В технологии горячей переработки нержавеющей стали представляет присутствие дельта феррита фактор который причиняет затруднение, тем более когда содержание этой фазы не проверяется.

В статье рассмотрены проблемы определения дельта феррита методом вычисления. На конкретном примере определения содержания дельта феррита в слитках на основании известного хими-

ческого анализа это почти единственный возможный способ определения этой фазы. Не смотря на это вычисленные результаты в сравнении с определением дельта феррита metallographическим способом показали слишком большие разницы и поэтому этот метод вычисления нельзя считать достаточно надёжным. При Cr-Ni-Mn стали этот метод вовсе не применим.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Clani: Jože Rodič, dipl. inž., Janez
Barborič, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.
Tisk: CP »Gorenjski tisk«, Kranj