

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

Stran

VSEBINA

Holzgruber Wolfgang — INTECO  
G. M. B. H. Bruck/Mur, Avstrija

POSEBNI POSTOPKI V PROIZVODNJI KAKOVOSTNIH IN PLEMENITIH JEKEL

Kovač Janez — Železarna Ravne

NEKAJ ZNAČILNOSTI IN PROBLEMOV V PROIZVODNJI NERJAVNIH JEKEL

Vodopivec Franc, M. Jakupović—  
Metalurški inštitut Ljubljana

ZNAČILNOSTI KVANTITATIVNE METALOGRAFSKE ANALIZE S SPREGO RASTER ELEKTRONSKEGA MIKROSKOPA IN NAPRAVE ZA AVTOMATIČNO ANALIZO SLIKE

Prosenc Viktor, F. Seliškar—VTO,  
Fakulteta za strojništvo Ljubljana

PROBLEM VARIVOSTI DEBELOSTENSKIH VARJENCEV IZ KONSTRUKCIJSKIH JEKEL

LETO 13 ŠT. 2-1979

ŽEZB BQ 13 (2) 45-84 (1979)



# ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTOTE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 13

LJUBLJANA

JUNIJ 1979

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	
Wolfgang Holzgruber <b>Posebni postopki v proizvodnji kakovostnih in plemenitih jekel</b> 45 UDK: 669.185:669.187.2 ASM/SLA: D5, D8, D9	Wolfgang Holzgruber <b>Wandlungen in der Verfahrenstechnik bei der Herstellung von Qualitäts und Edelmählen</b> 45 UDK: 669.185:669.187.2 ASM/SLA: D5, D8, D9	Wolfgang Holzgruber <b>Development of manufacturing processes for quality and high-grade steel</b> 45 UDK: 669.185:669.187.2 ASM/SLA: D5, D8, D9	Wolfgang Holzgruber <b>Развитие способов в производстве качественных и специальных сталей</b> 45 UDK: 669.185:669.187.2 ASM/SLA: D5, D8, D9
Janez Kovač <b>Nekaj značilnosti in problemov v proizvodnji nerjavnih jekel</b> 63 UDK: 621.775-977:669.15-194 ASM/SLA: Q 23q, F2, SS, M26	Janez Kovač <b>Einige Besonderheiten bei der Erzeugung der nichtrostenden Stähle</b> 63 UDK: 621.775-977:669.15-194 ASM/SLA: Q 23q, F2, SS, M26	Janez Kovač <b>Some characteristics and problems in manufacturing stainless steel</b> 63 UDK: 621.775-977:669.15-194 ASM/SLA: Q 23q, F2, SS, M26	Janez Kovač <b>Несколько характерных свойств и проблем при производстве нержавеющей сталей</b> 63 UDK: 621.775-977:669.15-194 ASM/SLA: Q23q, F2, SS, M26
Franč Vodopivec, M. Jakupović <b>Značilnosti kvantitativne metalografske analize s sprejo raster elektronskega mikroskopa in naprave za avtomatično analizo slike</b> 69 UDK: 620.187 ASM/SLA: Tsh	Franč Vodopivec, M. Jakupović <b>Eigenheiten der Quantitativen metallographischen Analyse am Rasterelektronenmikroskop und der Einrichtung für die automatische Bildanalyse</b> 69 UDK: 620.187 ASM/SLA: Tsh	Franč Vodopivec, M. Jakupović <b>Characteristics of quantitative metallographic analysis with the combination of electron microscope and automatic image analyzer</b> 69 UDK: 620.187 ASM/SLA: Tsh	Franč Vodopivec, M. Jakupović <b>Особенности количественного металлографического анализа с растровым микроскопом для автоматического анализа фазового портрета</b> 69 UDK: 620.187 ASM/SLA: Tsh
Viktor Prosenc, F. Seliškar <b>Problem varivostnosti debelostenskih varjencev iz konstrukcijskih jekel</b> 77 UDK: 621.791.004: :621.791.002 ASM/SLA:: K, K9s, 9-72	Viktor Prosenc, F. Seliškar <b>Probleme der Schweißbarkeit der dickwandigen Konstruktionsteile aus Baustahl</b> 77 UDK: 621.791.004: :621.791.002 ASM/SLA:: K, K9s, 9-72	Viktor Prosenc, F. Seliškar <b>Problematics of Weldability of thick-walled pieces of structural steel</b> 77 UDK: 621.791.004: :621.791.002 ASM/SLA:: K, K9s, 9-72	Viktor Prosenc, F. Seliškar <b>Проблема свариваемости толстостенных сварных соединений из конструкционных сталей</b> 77 UDK: 621.791.004:621.791.002 ASM/SLA: K, K9s, 9-72



SLOVENSKE ŽELEZARNE  
**ŽELEZARNA RAVNE**  
n. sol. o.  
RAVNE NA KOROŠKEM

**PROIZVAJAMO:**

- EPŽ JEKLA
- JEKLENE ULITKE
- ODKOVKE
- KOVANO PALIČASTO JEKLO
- VALJANE PROFILE
- GRELNO ŽICO
- VLEČENO, LUŠČENO IN BRUŠENO JEKLO
- LISTNATE VZMETI
- STROJNE NOŽE
- BRZOREZNO ORODJE IN KROŽNE ŽAGE
- PILE IN RASPE
- VALJE ZA HLADNO VALJANJE
- PILGER VALJE IN TRNE
- STROJE IN ORODJA NA PNEVMATSKI POGON
- KOLESNE DVOJICE
- SESTAVLJENE DELE IN ELEMENTE STROJEV IN NAPRAV
- STROJE ZA MEHANSKO PREOBLIKOVANJE (RAZLIČNE STISKALNICE  
ZA PREOBLIKOVANJE KOVIN V HLADNEM IN VROČEM STANJU ITD.)

**S KVALITETO IN SOLIDNO PROIZVODNJO GARANTIRAMO DOBRO  
SODELOVANJE IN SE PRIPOROČAMO!**





# ŽELEZARNA JESENICE

## Proizvaja:

debelo, srednjo in tanko pločevino  
dinamo trakove  
hladno valjane trakove  
vlečeno, brušeno in luščeno jeklo  
vlečeno žico  
vlečeno žico — patentirano  
pleteno patentirano žico za  
prednapeti beton

hladno oblikovane profile  
cestne varnostne ograje  
jeklene podboje za vrata

dodajni material za varjenje:  
— tehnični plin ARGON  
žičnike  
jekleni sekanec



Panorama Železarna Jesenice



---

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

Control systems for material,  
materials management

Analyses laboratories

Electric arc furnaces

Basic oxygen furnaces

(BOF) SIP Converter,  
AOD Converter

Energy dispatch and control

Pollution monitoring

Heat treating optimization

Tailor-made software and systems  
for your specific requirements

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

Kontrolni sistemi za  
materialno gospodarstvo

Analitski laboratorij

Elektro obločne peči

Bazične kisikove peči

LD — konverter in kisikovi  
žilavilni postopki s pihanjem  
od spodaj

AOD — konverter

Kontinuirno litje

Sistemi razdelitve in kontrole  
porabe energije

Krmiljenje čistilnih naprav

Optimizacija toplotne obdelave

Software in sistemi prilagojeni  
vašim posebnim zahtevam

**PROCESS CORPORATION**

P. O. Box 11528

PITTSBURGH, PA 15238

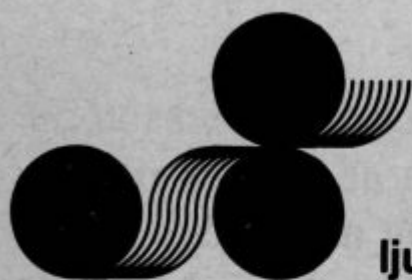
USA

For more detailed information please  
contact the European representative:

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

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

---



## slovenske železarne ljubljana

**ŽELEZARNA JESENICE:** proizvaja debelo in srednjo pločevino ter hladnovaljane trakove različnih kvalitiet. Vlečeno, luščeno in brušeno jeklo. Valjano in vlečeno žico v različnih kvalitetah in površinskih obdelavah. Hladno oblikovane profile, ograje za avtoceste in vratne podboje. Žične proizvode: žeblice, bodečo žico, žico, elektrode in praške za varjenje, vrvi in patentirane žice, jeklen pesek, tehnične pline: kisik in argon.

**ŽELEZARNA RAVNE:** proizvaja toplovaljane in kovane profile ter vlečene, brušene in luščene palice, v vseh vrstah kvalitetnih in plemenitih jekel, jeklene odlitke, industrijske nože, brzorezna orodja in krožne žage za obdelavo jekla, kovin in lesa; pile, vzmeti, pnevmatske stroje in orodja, valje za hladno valjanje kovin, univerzalne in kovaške ekscentrične stiskalnice, sestavne dele za vagončke, diske za poljedelske stroje ...

**ŽELEZARNA ŠTORE:** proizvaja toplovaljane ter vlečene in brušene palice, v vzmetnih in ostalih kvalitetnih vrstah jekla, specialno surovo železo za livarne, ulitke iz sive in nodularne litine, litoželezne valje, ki jih lahko obdelajo in obrusijo, kontilite profile ...

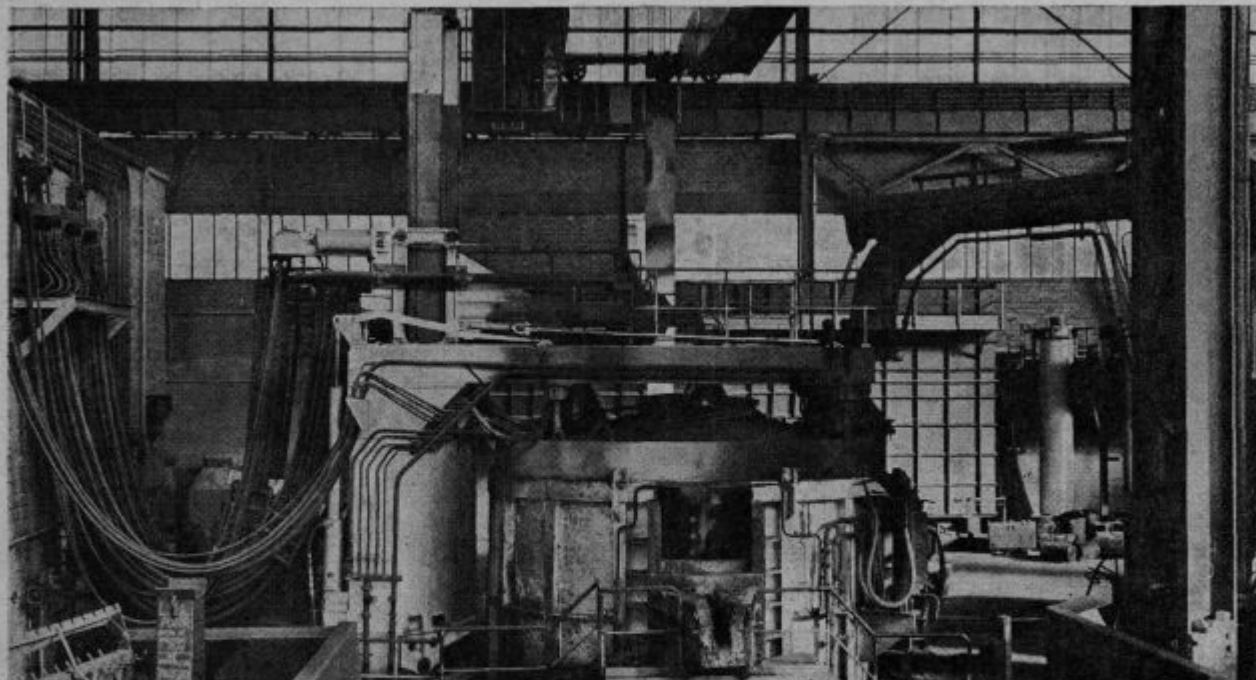
**TOVARNA VERIG LEŠCE:** proizvaja verige za široko potrošnjo, tehnične in siderne verige, opremo za verige, snežne in zaščitne verige za vozila, kovinske in lesne vijake, hangervijake, razcepke, kovice, odkovke in stiskance ...

**PLAMEN KROPA:** proizvaja matične, nastavne in sponkske vijake za splošne namene, matične in nastavne vijake srednje klase, matice in kovice.

**TOVIL LJUBLJANA:** proizvaja vijake za kovine in za pločevino z ravnim in križnim utorom, samorezne vijake, vijake za les in kovice ...

**ŽIČNA CELJE:** proizvaja iz žice razna pletiva, tkanine, mrežaste armature in predfabrikate, gabione, vibracijska sita in mreže za rudarstvo, žične transportne trakove, vzmeti, žične vložke in drugo žično konfekcijo.

**METALURŠKI INŠTITUT LJUBLJANA:** raziskuje na področjih: priprava mineralnih surovin, surovega železa, proizvodnje jekla, barvne metalurgije, livarstva, termične obdelave in plastične predelave jekla in kovin. Vršni kemijske, metalografske in fizikalne analize.



40 t elektropeč Birlec v Železarni Ravne

## **Posebni postopki v proizvodnji kakovostnih in plemenitih jekel\***

Dr. Wolfgang Holzgruber

UDK: 669.185:669.187.2  
ASM/SLA: D5, D8, D9

### 1. UVOD

V uvodu predavanja o razvojnih smereh tehnologije v proizvodnji jekla bi rad najprej spregovoril o glavnih smernicah dosedanjega in prihodnjega razvoja porabe jekla in proizvodnih postopkov, v nadaljevanju pa bi prešel na jasno začrtane smernice v proizvodnji elektro jekla in s tem tudi v proizvodnji kvalitetnih ter plemenitih jekel.

Svetovna potrošnja jekla stagnira pri ca. 750 milijonih ton na leto, kar ustreza povprečni porabi ca. 200 kg letno na prebivalca. V industrijsko razvitih državah porabijo letno 600 do 800 kg jekla na prebivalca, pri čemer pa moramo upoštevati izvoz teh dežel v dežele v razvoju.

Načelno lahko računamo srednjeročno s povečanjem svetovne porabe jekla, predvsem zaradi naraščanja števila prebivalcev in povečane letne porabe jekla na prebivalca v danes še malo razvitih industrijskih deželah. V razvitih industrijskih deželah bo proizvodnja jekla na prebivalca prej stagnirala ali celo nazadovala, obenem pa se bo težišče proizvodnje premaknilo v smeri kvalitetnejših izdelkov.

Na sliki 1 je prikazana približna ocena dolgoročnega razvoja proizvodnje jekla.

S predpostavko, da bo število prebivalcev v naslednjih 100 letih naraslo na približno 8 milijard in da se bo poraba jekla na prebivalca do takrat

## **„Wandlungen in der Verfahrenstechnik bei der Herstellung von Qualitäts und Edelstählen“**

### 1. EINLEITUNG

Als Einleitung zu meinem heutigen Vortrag über Trends in der Technologie der Stahlerstellung möchte ich zunächst einmal auf die großen Linien der bisherigen und zukünftigen Entwicklung des Stahlverbrauches und der angewendeten Erzeugungsverfahren eingehen und von dort in der weiteren Folge überleiten auf die heute sich klar abzeichnenden Trends bei der Elektrostahlerzeugung und damit auch der Erzeugung von Qualitäts- und Edelstählen.

Der Weltstahlverbrauch stagniert heute bei etwa 750 Millionen t/Jahr, was einem durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch von etwa 200 kg per Jahr entspricht. Im Vergleich dazu liegt der Pro-Kopf-Verbrauch der Industrieländer zwischen 600 und 800 kg, wobei aber der Export dieser Länder in die Entwicklungsländer berücksichtigt werden muß.

Grundsätzlich ist weltweit mittelfristig mit einem weiteren Ansteigen des Stahlverbrauchs zu rechnen, wobei als treibende Kräfte des Stahlverbrauchs primär das Bevölkerungswachstum und der steigende Pro-Kopf-Verbrauch der zur Zeit noch wenig industrialisierten Länder anzusehen ist. Dabei wird in den industrialisierten Ländern die Pro-Kopf-Erzeugung eher stagnieren oder sogar zurückgehen und der Erzeugungsschwerpunkt sich zu qualitativ höherwertigeren Produkten verlagern.

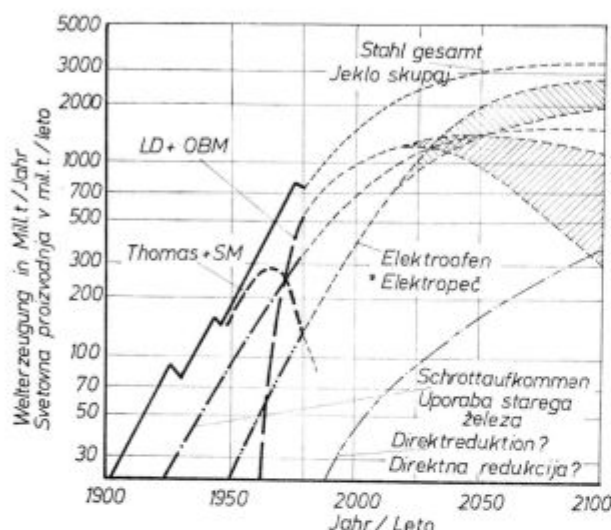
Eine grobe Abschätzung der sich abzeichnenden langfristigen Entwicklung der Stahlproduktion ergibt die in **Bild 1** gezeigten Zusammenhänge.

\* Referat na jeklarskem dnevu XXIV. strokovnega posvetovanja 6. oktobra 1978 v Portorožu.

Dr. Wolfgang Holzgruber, dipl. ing. met. je soustanovitelj firme INTECO — Internationale Technische Beratung Ges. m. b. H. A-8600 Bruck/Mur, Bahnhofstr. 9, Avstrija.



ustalila pri ca. 400 kg letno, bo letna svetovna proizvodnja jekla dosegla približno 3,2 milijardi ton. Najmanj 50 % te količine jekla bomo v obdobju 10 let ponovno uporabili kot staro železo, s tem pa bo celotna količina kovinskega vložka sestavljena iz 1,6 milijarde ton starega železa in 1,6 milijarde ton pomlajenega vložka v obliki surovega železa ali direktno reduciranih peletov. Danes še ni mogoče oceniti, v kateri smeri se bodo razvijali postopki direktne redukcije in prav tako še ne vemo, če jim bo uspelo izpodriniti zelo učinkovite plavžne postopke. Prav gotovo pa se bo delež direktne redukcije občutno povečal. S tem pa bodo nekje v sredini naslednjega stoletja postopki s kisikom dosegli svoj višek in nato se bo njihov pomen zmanjševal.



V sredini prihodnjega stoletja naj bi več kot 50 % celotne proizvodnje jekla izdelali v električnih pečeh, pri čemer bodo posebno v deželah v razvoju, večji delež dobile mini jeklarne, ki bodo obratovale na osnovi starega železa in železove gobe in bodo tako prispevale k regionalizaciji svetovne proizvodnje jekla.

Ker so proizvodni procesi izpostavljeni visokim kakovostnim zahtevam in zaradi naraščajočega know-how, bodo plemenita jekla gotovo še dalj časa proizvajali predvsem v deželah, ki so znane kot klasične proizvajalke teh jekel. Zato je naloga jeklarske industrije v visoko industrijsko razvitih državah, da razvija in uporablja najmodernejšo tehnologijo, da bi bila lahko kos vse večjim zahtevam prihodnosti.

Če preidemo sedaj na proizvodnjo elektrojekla, lahko ugotovimo, da se elektroobložna peč, ki je bila prvotno univerzalna naprava za taljenje in jeklarsko tehnološko obdelavo, vedno bolj uporablja le za en sam namen, namreč za čimbolj ekonomično taljenje kovinskega vložka, pri čemer metalurška obdelava tekoče kovine stopa, predvsem v proizvodnji trgovinskih jekel, vse bolj v ozadje.

Kvalitetna in plemenita jekla še danes v glavnem proizvajamo v elektro-obložnih pečeh po kla-

Unter der Annahme, daß sich die Bevölkerungszahl in den nächsten 100 Jahren bei etwa 8 Milliarden Menschen einpendeln wird und daß der Pro-Kopf-Stahlverbrauch bis dann eine Sättigung um 400 kg im Jahr erreicht haben wird, sollte die Weltstahlerzeugung etwa 3,2 Milliarden t je Jahr erreichen. Mindestens 50 % dieser Stahlmenge werden innerhalb eines Zeitraums von 10 Jahren wieder als Schrott eingesetzt werden, womit der gesamte metallische Einsatz aus 1,6 Milliarden t Schrott und 1,6 Milliarden t jungfräulichen Eisen in Form von Roheisen oder direktreduzierten Pellets bestehen würde. Es ist heute noch nicht abzuschätzen welche Entwicklung die Direkt-Reduktionsverfahren nehmen werden und ob es ihnen gelingen wird das überaus leistungsfähige Hochofenverfahren zu verdrängen. Sicher aber wird der Anteil der Direkt-Reduktion noch erheblich ansteigen. Damit würde dann der Fall eintreten, daß etwa um die Mitte des nächsten Jahrhunderts die Sauerstoffverfahren ein Maximum

Bild 1  
Langfristige Entwicklung der Stahlerzeugung in der Welt nach W. Dettmering

Slika 1  
Dolgoročni razvoj svetovne proizvodnje jekla po W. Dettmeringu

Fig. 1  
Future development of world production of steel by W. Dettmering

durchlaufen werden um dann in ihrer Bedeutung zurückzugehen.

Mitte des nächsten Jahrhunderts sollten dann auch mehr als 50 % der Gesamtstahlerzeugung in Elektroöfen hergestellt werden, wobei insbesondere in den Entwicklungsländern eine Reihe von Ministahlwerken auf der Basis Schrot und Eisenschwamm einen wachsenden Anteil einnehmen und so zur Regionalisierung der Weltstahlproduktion beitragen werden.

Wegen der hohen qualitativen Anforderungen an den Produktionsprozeß und des eher noch zunehmenden know hows werden Edelstähle sicher noch längere Zeit vorwiegend in den klassischen Stahl ländern erzeugt werden. Die Stahlindustrie der hochindustrialisierten Länder sieht sich daher vor die Aufgabe gestellt modernste Technologien zu entwickeln und einzusetzen um den wachsenden Anforderungen der Zukunft gerecht zu werden.

Wenn wir uns nun von diesem Hintergrund der Entwicklung der Elektrostahlerzeugung zuwenden, so ist festzustellen, daß der ursprünglich als universelles Schmelz- und Behandlungsgerät geschaffene Elektrolichtbogenofen hinsichtlich seines Einsatzes immer mehr einem einzigen Zweck zugeführt wird; dem möglichst wirtschaft-

Bild 2

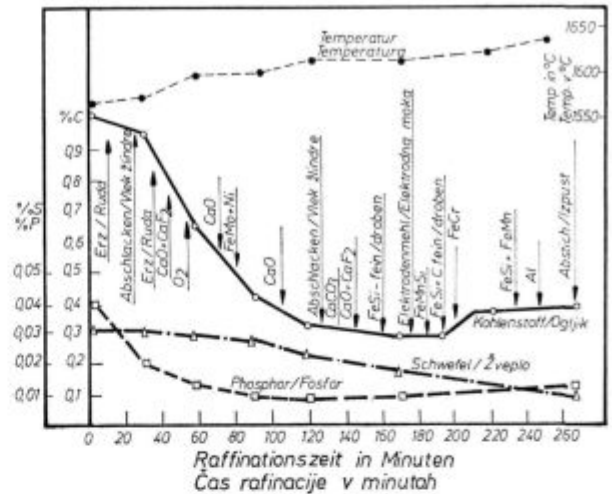
Schmelzverlauf eines legierten Vergütungsstahles nach dem Zweischlackenverfahren im basischen Lichtbogenofen (nach M. Signora, R. Cardano und L. Toni)

Slika 2

Potek šarže legiranega jekla za poboljšanje po klasičnem dvožlindrinem postopku v bazični elektroobložni peči (po M. Signora, R. Cardano in L. Toni)

Fig. 2

Melting course of heat-treatable steel using classical two-slag process in a basic arc furnace. (by M. Signora, R. Cardano and L. Toni)



sičnem dvožlindrinem postopku, pri katerem traja celotna šarža praviloma 5 do 6 ur. Na sliki 2 vidimo primer poteka celotne šarže legiranega jekla za poboljšanje. Vzrok za tako dolgo rafiniranje moramo iskati v dejstvu, da hitrosti reakcij, ki potekajo na fazni meji med kovino in žlindro v toku odfosforenja in odžveplanja, ne moremo poljubno povečati, dokler se pogoji za prehod materiala bistveno ne izboljšajo.

Razvoj zadnjih deset do dvajset let je prinesel celo vrsto novih delnih postopkov in dodatnih postopkov za obdelavo jekla v ponovci ali v posebnih posodah, katere so uvedli v prakso, da bi tako povečali ekonomičnost postopkov in dosegli boljše rezultate glede vsebnosti nezaželenega fosforja in žvepla ter nekovinskih vključkov.

## 2. Jeklarska obdelava v peči

Če najprej spregovorimo o postopkih za intenziviranje posameznih faz v procesu med rafinacijo taline v elektroobložni peči, moramo seveda na prvem mestu omeniti vpihovanje plinastega kisika za **žilavenje — znižanje vsebnosti ogljika**. S tem dosežemo 10 krat večjo hitrost žilavenja kot pri žilavenju z rudo, s tem pa skrajšamo čas žilavenja od 1 do 2 ur na samo nekaj minut. Razen tega pa smo lahko z uporabo plinastega kisika tudi prvič žilavili jekla z visoko vsebnostjo kroma, oz. mangana do nizke vsebnosti ogljika.

Razmere za **odfosforenje** pa so pri vpihovanju plinastega kisika neugodne, ker na fazni meji med kovino in plinskimi mehurčki sicer obstaja zadovoljiva FeO aktivnost, vendar pa manjka apno, ki je potrebno za razklop fosforjevega pentoksida.

Apno se sicer nahaja v žlindri, vendar pa je vsebnost FeO v žlindri odvisna od prehoda kisika s kovine v žlindro in je zato večkrat nižja od ravnotežne koncentracije FeO, ki ustreza vsebnosti kisika v jekleni kopeli in s tem njeni vsebnosti ogljika. S tem pa so metalurški pogoji za sproščanje fosforja v žlindri tako dolgo neugodni, dokler

lichen Einschmelzen des metallischen Einsatzes, wobei die metallurgische Behandlung des flüssigen Metalls vor allem bei der Herstellung von Handelstahlgüten weitgehend in den Hintergrund tritt.

Bei der Herstellung von Qualitäts- und Edeltählen werden jedoch auch heute noch in großem Umfang Stähle im Elektrolichtbogenofen nach dem klassischen Zweischlackenverfahren hergestellt, wobei Chargenfolgezeiten um 5—6 Stunden die Regel sind, wie dies am Beispiel des Schmelzverlaufs eines legierten Vergütungsstahles in Bild 2 gezeigt ist. Die Ursache für diese langen Raffinationszeiten ist in der Tatsache zu suchen, daß die Geschwindigkeit der an der Phasengrenze Metall-Schlacke ablaufenden Reaktionen der Entphosphorung und Entschwefelung nicht in beliebiger Weise beschleunigt werden können solange nicht die Bedingungen für den Stoffübergang wesentlich verbessert werden.

Um auch bei der Herstellung dieser Stähle einerseits zu einer wirtschaftlicheren Arbeitsweise zu gelangen und andererseits auch bessere Ergebnisse hinsichtlich des Gehalts unerwünschter Stahlbegleitelemente wie Schwefel und Phosphor sowie der nichtmetallischen Einschlüsse zu gelangen wurde in den letzten 10—20 Jahren eine Reihe von Verfahrensschritten und zusätzlichen Stahlbehandlungsverfahren, welche entweder in der Pfanne oder eigenen Behandlungsgefäßen durchgeführt werden, entwickelt und in die Praxis eingeführt.

## 2. BEHANDLUNGSMAßNAHMEN IM OFEN

Wenn wir zunächst von Verfahrensschritten zur Intensivierung einzelner Prozeßabschnitte während der Raffination der Schmelze im Lichtbogenofen sprechen müßte eigentlich an erster Stelle das Einblasen von gasförmigem Sauerstoff zum Frischen **des Kohlenstoffs** genannt werden. Damit wurde es möglich, die Kohlenstofffrischgeschwindigkeit um mehr als das 10-fache gegenüber dem Frischen mit Erz zu erhöhen und so die Zeit für die Frischperiode von 1—2 Stunden

ustrezno zmanjšana vsebnost ogljika v jekleni kopeli proti koncu žilavenja ne omogoči višje vsebnosti FeO v žlindri.

Znano je, da je lokalno ločevanje mejnih faznih ploskev bistven vzrok za težave pri prehodu kisika v kovino, kakor tudi za odfosforenjenje, in da je s tem onemogočena univerzalna uporaba hitrega in cenenege vpihovanja kisika tudi pri višjih začet-

auf wenige Minuten abzukürzen. Außerdem konnten durch Anwendung gasförmigen Sauerstoffs erstmals auch Stähle mit hohen Gehalten an Cr bzw. Mn auf niedrige Kohlenstoffgehalte gefrischt werden.

Die Verhältnisse für die **Entphosphorung** liegen jedoch beim Einblasen von gasförmigen Sauerstoff ungünstig, da an der Phasengrenze Metall — Gasblase zwar eine ausreichend hohe FeO-Aktivität besteht, aber der für eine wirksame Abbindung des Phosphorpentoxyds notwendige Kalk an dieser Stelle fehlt.

Der Kalk liegt zwar in der Schlacke vor, doch wird deren FeO-Gehalt durch den Sauerstoffübergang vom Metall in die Schlacke bestimmt und ist

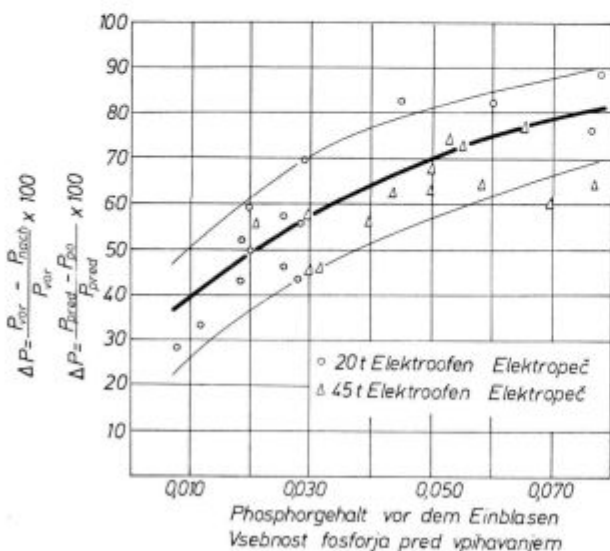


Bild 3

Entphosphorung beim gleichzeitigen Einblasen von Sauerstoff und CaO-reichen Schlackenmischungen

Slika 3

Odfosforenjenje pri istočasnem vpihavanju kisika in žlindrinih mešanic bogatih s CaO

Fig. 3

Dephosphorisation at simultaneous injection of oxygen and slag mixtures bearing CaO

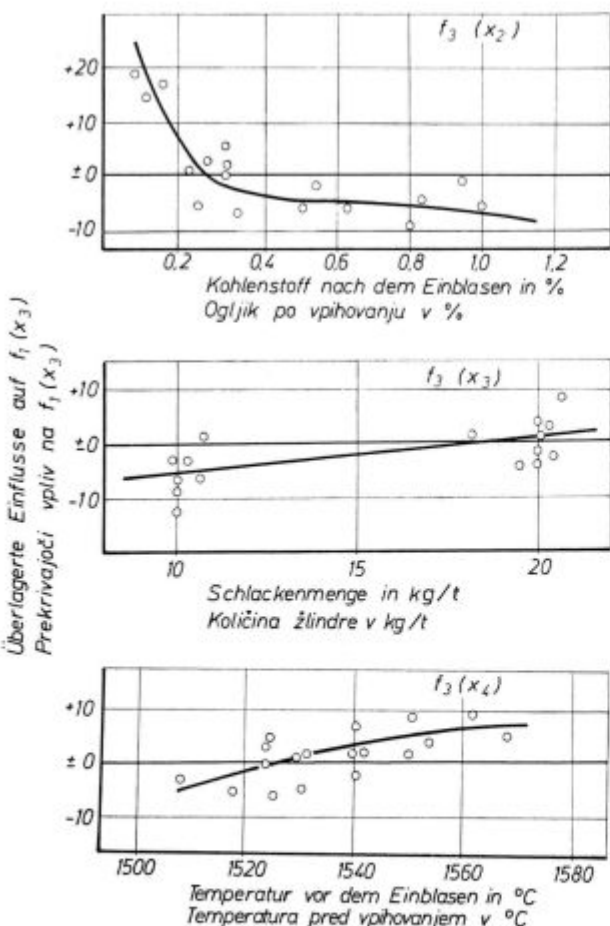


Bild 4

Überlagerte Einflüsse auf die Entphosphorung im 20 t EO, durch Einblasen von gasförmigem Sauerstoff mit Schlackenbildnern

Slika 4

Prekrivajoči vplivi na odfosforenjenje v 20 t elektro obločni peči zaradi vpihovanja plinastega kisika in žlindrotvornih snovi

Fig. 4

nace due to the injection of gaseous oxygen and slag Additive effect on dephosphorisation in a 20 ton arc forming substances



nih vsebnosti fosforja. Te neugodnosti lahko odstranimo tako, da istočasno s kisikom vpihavamo v jekleno kopel tudi apno, jedavec in FeO. S tem pa se v emulziji jekla, žlindre in plina, ki se tvori med vpihovanjem, poleg odličnih kinetičnih pogojev ustvarijo tudi tisti metalurški pogoji, ki omogočajo hitro odfosforenjenje pred razogljčenjem ali istočasno z njim.

Na sliki 3 vidimo primer rezultatov, ki jih dosežemo z vpihovanjem kisika in žlindrotvornih snovi. Po teh rezultatih lahko pri začetni vsebnosti fosforja od 0,015 do 0,075 % med vpihovanjem zmanjšamo vsebnost za 50 do 80 %, kar ustreza vsebnosti fosforja po vpihovanju 0,007 do 0,015 %. Dodaten vpliv ima še vsebnost ogljika v talini po vpihovanju (slika 4), saj določa vsebnost (FeO) v žlindri. Manjši vpliv imata še količina vpihane žlindre ter temperatura taline pred vpihovanjem. Načelno lahko z vpihovanjem žlindrotvornih sestavin v peč, potem ko smo odstranili žilavilno žlindro, pospešujemo tudi **odžveplanje** taline. Vpihovanje je zanimivo predvsem pri manjših talinah zaradi vodenja temperature.

Bild 5

Entschwefelungsgrad während der Feinungszeit im Lichtbogenofen beim Einblasen von Schlacke bei Beginn der Feinungszeit nach Vordesoxidation mit Al und Fe Mn Si

Slika 5

Stopnja odžveplanja med rafinacijo v elektro obločni peči pri vpihovanju žlindre na začetku rafinacije po pred-desoksidaciji z Al in Fe Mn Si

Fig. 5

Degree of desulphurisation during the refining in an electroarc furnace at the injection of slag at the beginning of the refining process after the fore-deoxidization with Al and Fe Mn Si

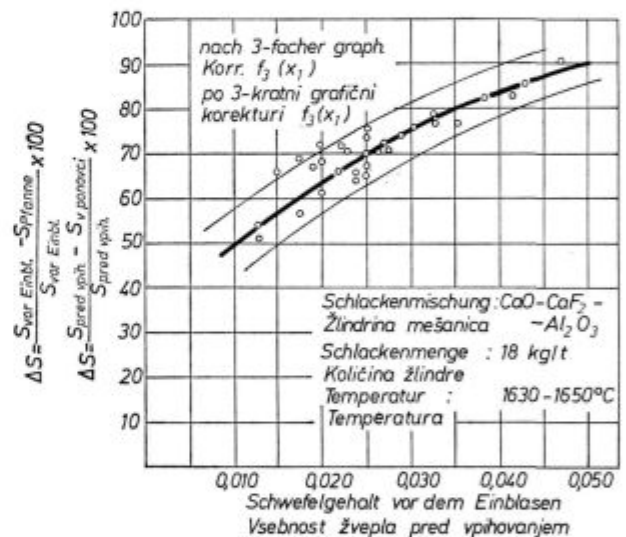
Na sliki 5 so zbrani rezultati, dobljeni z vpihovanjem žlindre v 16-tonski elektroobločni peči. Iz rezultatov lahko razberemo, da pri začetni vsebnosti žvepla med 0,015 do 0,050 % dosežemo z vpihovanjem 55 do 90 % stopnjo odžveplanja, kar ustreza končnim vsebnostim žvepla 0,005 do 0,007 odstotka.

Razen začetne vsebnosti pa na rezultat odžveplanja vplivajo še drugi dejavniki, kar je razvidno iz slike 6.

Zanimiv je predvsem vpliv sestave žlindre, kar se izraža v razmerju med bazičnostjo CaO/SiO<sub>2</sub> in vsebnostjo glinice. Najboljše rezultate dobimo pri razmerju med 0,25 in 0,50. Tu se ujema z rezultati, ki jih je dobil H. Grunner s sodelavci pri firmi

damit eher niedriger als die dem Sauerstoffgehalt des Stahlbades und damit dessen Kohlenstoffgehalt entsprechende Gleichgewichts-FeO-Konzentration. Damit sind aber die metallurgischen Voraussetzungen für eine Abbindung des Phosphors in der Schlacke solange ungünstig, solange nicht ein entsprechend niedriger Kohlenstoffgehalt des Stahlbades gegen Ende des Frischvorgangs höhere FeO-Gehalte in der Schlacke ermöglicht.

Daß eine örtliche Trennung der Phasengrenzflächen für den Sauerstoffübergang ins Metall einerseits sowie für die Entphosphorung andererseits die wesentliche Ursache für diese Schwierigkeiten war und damit eine universelle Anwendung des zeitsparenden und kostengünstigeren Sauerstoffblasens auch bei höheren Phosphoreinlauffwerten verhinderte, wurde erkannt. Der Nachteil kann in konsequenter Weise dadurch behoben werden, daß mit dem Sauerstoff gleichzeitig Kalk, Flußspat und FeO in das Stahlbad eingeblasen werden. Damit werden in der während des Einblasevorgangs gebildeten Stahl-Schlacke-Gasemulsion zusätzlich zu den hervorragenden kinetischen Bedingungen auch jene metallurgischen



Voraussetzungen geschaffen, die einen raschen Ablauf der Entphosphorung vor oder gleichzeitig mit der Entkohlung ermöglichen.

Als Beispiel für Ergebnisse, welche beim Einblasen von Sauerstoff und Schlackenbildner erzielt werden zeigt **Bild 3**. Danach kann bei Phosphor-Anfangsgehalten von 0,015—0,075 % während des Einblasevorgangs ein Phosphor-Abbau von 50—80 % erzielt werden, was Phosphorgehalten nach dem Einblasen von 0,007—0,015 % entspricht. Einen zusätzlichen Einfluß übt noch der Kohlenstoffgehalt der Schmelze nach dem Einblasen aus (**Bild 4**), da dadurch der (FeO)-Gehalt der Schlacke bestimmt wird. Einen geringen Einfluß hat noch die Menge der eingeblasenen Schlacke, sowie die Temperatur der Schmelze vor dem Einblasen.

Mannesmann z vpihovanjem žilindrnih mešanic v ponovco. Ta vpliv si razlagamo tako, da imajo visoko bazične CaO - CaF<sub>2</sub> žilindre z vsebnostjo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> med 10 in 25 % pri razmeroma nizki likvidus temperaturi visoko topnost za kalcijev sulfid, s čimer so dani dobri fizikalni in metalurški pogoji za odžveplanje taline.

Glede gospodarnosti je zelo zanimiv podatek, da držanje v peči od 15 do 85 minut nima nobenega vpliva na celoten postopek odžveplanja. Pri daljšem držanju v peči sicer opazimo po vpihova-

Grundsätzlich kann auch die **Entschwefelung** der Schmelze durch Einblasen von Schlackenbildnern in den Ofen im Anschluß an das Abziehen der Frischschlacke intensiviert werden, wobei das Einblasen in den Ofen vor allem bei kleinen Schmelzengrößen aus Gründen der Temperaturführung interessant sein wird.

Ergebnisse, welche beim Einblasen von Schlacken in einem 16 t Elektroofen erzielt werden, sind in **Bild 5** zusammengefaßt. Daraus ist zu ersehen, daß bei Ausgangsschwefelgehalten von 0,015—0,050 vor dem Einblasen ein Entschwefelungsgrad von 55—90 % erzielt wird, was Endschwefelgehalten zwischen 0,005 und 0,007 entspricht.

Abgesehen vom Ausgangsgehalt beeinflussen jedoch auch andere Einflußgrößen das Ergebnis der Entschwefelung wie **Bild 6** zeigt.

Interessant ist hier vor allem der Einfluß der Schlackenzusammensetzung, ausgedrückt durch das Verhältnis der Basizität CaO/SiO<sub>2</sub> zum Tonerdegehalt, wo bei Werten zwischen 0,25 und 0,50 die besten Ergebnisse erzielt werden. Dies steht in Übereinstimmung mit Ergebnissen welche H. Grunner und Mitarbeiter bei Mannesmann beim Einblasen von Schlackemischungen in die Pflanze erzielt haben. Dieser Einfluß ist damit zu erklären, daß hochbasische CaO-CaF<sub>2</sub>-Schlacken mit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalten zwischen 10 und 25 % bei verhältnismäßig niedriger Liquidustemperatur über eine vergleichsweise hohe Löslichkeit für Kalzi-umsulfid verfügen und damit gute physikalische

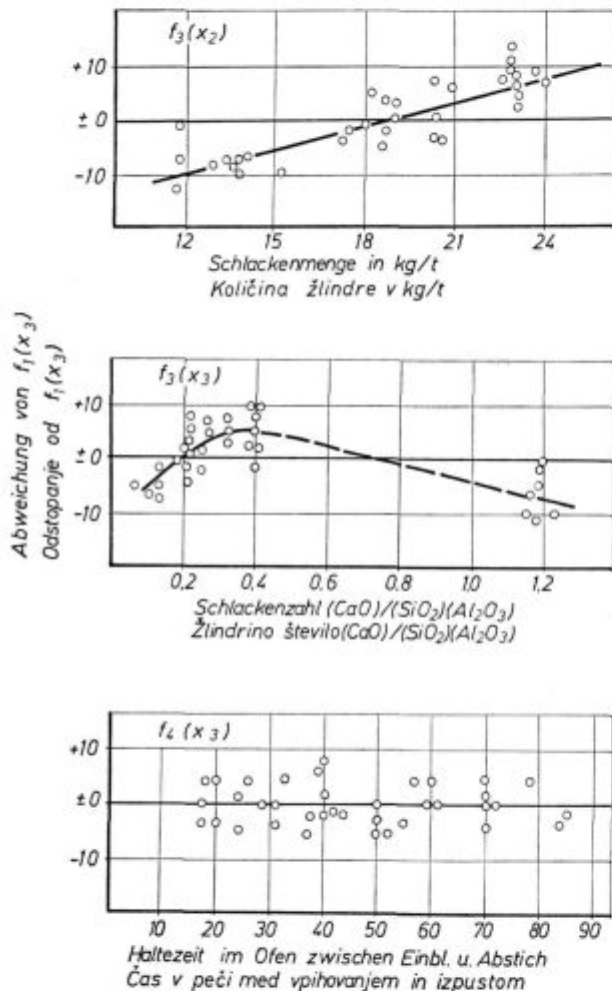


Bild 6  
 Überlagerte Einflüsse auf den Entschwefelungsgrad beim Einblasen von Schlacke in den Lichtbogenofen zwischen Einblasebeginn und Pflanze

Slika 6  
 Prekrivajoči vplivi na stopnjo odžveplanja pri vpihovanju žilindre v elektro oblačno peč

Fig. 6  
 Additive effect on the degree of desulphurization at the blowing of slag into an arc furnace

nju nadaljnje znižanje vsebnosti žvepla, kar je značilno za rafiniranje, vendar pa se ta efekt izravna z ustrezno manjšim znižanjem vsebnosti žvepla med izpustom. Če pa je čas držanja v peči krajši in zato tudi znižanje vsebnosti žvepla manjše, lahko računamo s toliko večjim odžveplanjem med izpustom.

Vpihovanje žilindre v elektro oblačnih pečeh daje predvsem pri manjših pečeh možnost za intenziviranje odžveplanja, istočasno pa tudi možnost za povečanje storilnosti peči.

und metallurgische Voraussetzungen für eine weitgehende Entschwefelung der behandelten Schmelze mitbringen.

Von besonderem wirtschaftlichen Interesse ist jedoch die Tatsache, daß die Haltezeit im Ofen zwischen 15 und 85 Minuten keinen Einfluß auf die Gesamtentschwefelung ausübt. Wohl wird bei langen Haltezeiten im Ofen nach dem Einblasen noch ein weiterer Abbau des Schwefels, wie in der Feinungszeit üblich, beobachtet, doch wird dieser Effekt wieder durch einen entsprechend geringen Schwefelabbau während des Abstiches

### 3. Jeklarska obdelava izven peči

Pri teži šarž nad 30 ton je primerno, da čim več obdelovalnih postopkov izvedemo zunaj peči v zato prirejenih livnih ponvah ali v posebnih obdelovalnih posodah, kot pri postopkih AOD in CLU, da bi pocenili proizvodnjo, pa tudi dosegli, predvsem z dodatnim mešanjem in izpiranjem, ugodne kinetične pogoje za potek metalurških reakcij.

#### 3.1 Obdelava v ponovci

Za obdelovalne postopke v ponovci, ki jih bo mo najprej obdelali, je potrebna ustrezna prilagoditev livne ponovce. Predvsem je potrebna obloga višje kakovosti na osnovi glinice, dolomita ali magnezita, da bi zadostili dodatnim obremenitvam. Potrebna je tudi zasunska zapora v dnu ponovce, ker mašilni drog ne vzdrži daljših temperaturnih obremenitev. Uporaba mašilnega droga po obdelavi, kar je običajno za prejšnje ASEA - SKF naprave, pa ni zaželena.

Načelno lahko pri obdelavi taline v ponvi izvaja naslednje postopke posamično ali v kombinacijah:

— induktivno mešanje ali prepihanje z argonom za premešanje in homogenizacijo taline glede temperature in kemične sestave,

— vpihovanje praškastih trdnih snovi s pomočjo nosilnega plina za legiranje, dezoksidacijo in/ali odžveplanje taline,

Bild 7

Entschwefelung von 20 t Schmelzen beim Einblasen von Schlacken in die Pfanne (Zustellung: Hoch Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Slika 7

Odžveplanje taline 20 t šarže z vpihovanjem žlindre v ponovco (Obloga: visok Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Fig 7

Desulphurization of 20 ton melt by blowing of slag into the ladle (Lining high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

wettgemacht. Ist dagegen die Haltezeit im Ofen kurz und der Schwefelabbau nach dem Einblasen entsprechend geringer, so kann mit einer umso stärkeren Entschwefelung während des Abstiches gerechnet werden.

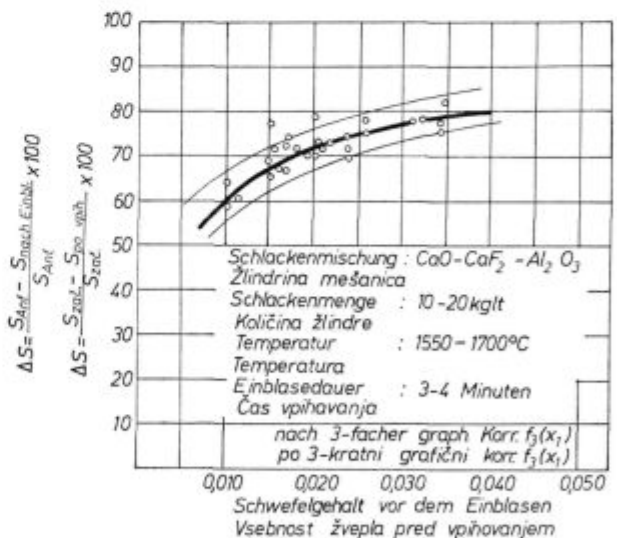
Das Einblasen von Schlacken in den Elektrolichtbogenofen stellt damit vor allem bei kleineren Ofengrößen eine sinnvolle Möglichkeit zur Intensivierung der Entschwefelung bei gleichzeitiger Möglichkeit der Steigerung der Ofenleistung dar.

### 3. BEHANDLUGSMAßNAHMEN AUßERHALB DES OFENS

Bei Schmelzgrößen über 30 t wird es sinnvoll, möglichst viele Behandlungsschritte außerhalb des Ofens entweder in der dafür adaptierten Gießpfanne selbst oder in eigenen Behältergefäßen, wie beim AOD- und CLU-Verfahren, durchzuführen, um einerseits möglichst kostengünstig zu arbeiten und andererseits vor allem günstige kinetische Bedingungen für den Ablauf metallurgischer Reaktionen durch eine zusätzliche Rühr- oder Spülbehandlung zu schaffen.

#### 3.1. Pfannenbehandlung

Die Durchführung von Pfannenbehandlungsverfahren, welche zunächst besprochen werden sollen, setzt einmal eine entsprechende Anpassung der Gießpfannen voraus. Im allgemeinen wird hier eine höherwertige Zustellung auf Tonerde, Dolomit- oder Magnesitbasis gefordert werden müssen um den zusätzlichen Beanspruchungen



— izvajanje vakuumiranja za odplinjevanje (zmanjšanje vsebnosti vodika), dezoksidacijo (vakuum — ogljik — dezoksidacija), oziroma razogljčenje na najnižje vsebnosti ogljika (predvsem v proizvodnji jekel, ki so odporna proti koroziji),

— dodatno elektro obločno ogrevanje na zraku ali pod znižanim tlakom za kritje temperaturnih

gerech zu werden. Weiters ist eine Ausrüstung mit Schieberverschluß zweckmäßig, da eine Stopfenstange der längeren Temperaturbelastung nicht standhält und ein Einsetzen der Stopfenstangen nach der Behandlung, wie dies bei den früheren ASEA-SKF-Anlagen gemacht wird, nicht immer wünschenswert ist.



izgub, ki nastopijo pri dolgotrajnejšem obdelovanju, oziroma pri dodajanju večjih količin legirnih elementov, s čimer to omogočimo.

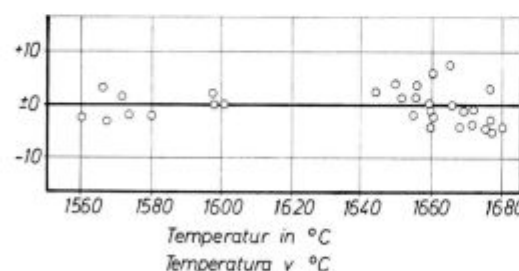
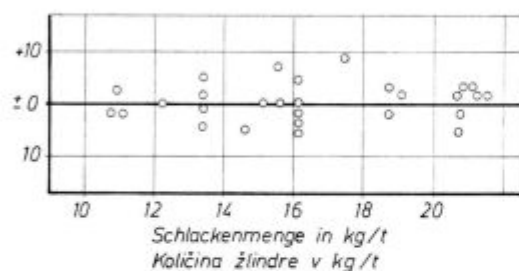
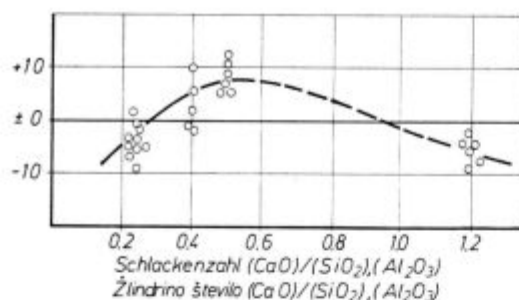
K temu bomo obravnavali nekaj primerov:

### Vpihovanje žlinder in žlindrnih mešanic v ponovco

Na sliki 7 so prikazani podatki, ki smo jih dobili pri vpihovanju žlindr za odžveplanje taline 20-tonske šarže iz elektro peči v ponovci z visoko glinično šamotno oblogo. Pri vsebnosti žvepla pred vpihovanjem 0,010 do 0,035 % smo dosegli 60 do 80 % stopnjo odžveplanja. Končne vsebnosti žvepla so bile med 0,004 in 0,007 %.

Tudi pri vpihovanju v ponovco opazimo precejšen vpliv sestave žlindre na rezultat odžveplanja. Najboljše rezultate smo dobili pri razmerju  $\text{CaO} : \text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  okrog 0,4 do 0,6, kar je razvidno iz zgornjega dela na sliki 8. V primerjavi z rezultati vpihovanja v peč se zdi, da so številke pomaknjene k višjim vrednostim, kar lahko razložimo s tem, da žlindre naknadno sprejmejo glinico iz obloge in pride zato pri izvrednotenju do navideznega efekta.

V nasprotju z vpihovanjem v elektro obložno peč tu količina žlindre med 10 in 20 kg/t ne vpliva na rezultat, prav tako tudi ne temperatura po vpihovanju. Ne glede na to, ali smo taline po vpiho-



Überlagerte Einflüsse auf  $\Delta S$  - Pflanze  
Prekrivajoči vpliv na  $\Delta S$  - v ponovci

Grundsätzlich können bei einer Schmelzbehandlung in der Pflanze folgende Behandlungsmaßnahmen entweder einzeln oder in Kombination angewendet werden:

— Induktives Rühren oder Ar-Spülen zur Durchmischung und Homogenisierung der Schmelze in bezug auf Temperatur und chemische Zusammensetzung

— Einblasen pulverförmiger Feststoffe mittels eines Trägergases zum Legieren, Desoxydieren und/oder Entschwefeln der Schmelze

— Durchführung einer Vakuumbehandlung zum Zwecke der Entgasung (Wasserstoffabbau), der Desoxydation (Vakuum-Kohlenstoff-Desoxydation) bzw. der Entkohlung auf niedrigste Kohlenstoffgehalte (insbesondere bei der Erzeugung von korrosionsbeständigen Stählen)

— Zusätzliche Lichtbogenbeheizung an Luft oder unter abgesenktem Druck zur Abdeckung der bei längerer Behandlungsdauer auftretenden Temperaturverluste bzw. um den nachträglichen Zusatz größerer Mengen von Legierungselementen möglich zu machen.

Dazu sollen nun einige Beispiele besprochen werden:

### Einblasen von Schlacken und Schlackenmischungen in die Pflanze

Ergebnisse, welche beim Einblasen von Schlacken zur Entschwefelung von 20 t-Elektroofen-Schmelzen in einer Pflanze mit hochtonerdehaltiger Zustellung erzielt wurden, sind in Bild 7 dargestellt. Bei Schwefelgehalten vor dem Einblasen zwischen 0,010 und 0,035 % konnte ein Entschwefelungsgrad zwischen 60 und 80 % erzielt werden. Die Endschwefelgehalte lagen damit zwischen 0,004 und 0,007 %.

Auch beim Einblasen in die Pflanze wird wieder ein deutlicher Einfluß der Schlacken-zusammensetzung auf das Ergebnis der Entschwefelung beobachtet, wobei die besten Ergebnisse bei einem Verhältnis von  $\text{CaO} : \text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  um 0,4 bis 0,6 erzielt werden, wie das obere Teilbild in Bild 8 zeigt. Gegenüber den Ergebnissen des Einblasens in den Ofen erscheinen die Zahlen zu höheren Werten verschoben, was unter Umständen damit zu erklären ist, daß die Schlacken nach-

Bild 8

Überlagerte Einflüsse auf die Entschwefelung beim Einblasen pulverförmiger Schlackenstoffe in die Pflanze

Slika 8

Prekrivajoči vplivi na odžveplanje pri vpihovanju praškastih žlindrnih snovi v ponovco

Fig. 8

Additive effect of influences on the desulphurization at the blowing of pulverized slag substances into the ladle

vanju takoj izlili (temperature med 1560 in 1600°C) ali pa smo jih pred tem še degazirali (temperature med 1650 in 1680°C), smo dobili praktično vedno primerljive rezultate.

### Vpihavanje CaSi v ponovco

Na sliki 9 so prikazani rezultati vpihovanja kalcijevih legur po preddezoksidaciji z aluminijem v ponovce s kapaciteto 70 do 120 ton. Kot lahko razberemo iz rezultatov, pri vpihovanju v šamotne ponovce skoraj ne presežemo 50 % stopnje odžveplanja in pri 70-tonskih ponovcah pride do večjih razsipanij. Pri 120-tonskih ponovcah, pri katerih

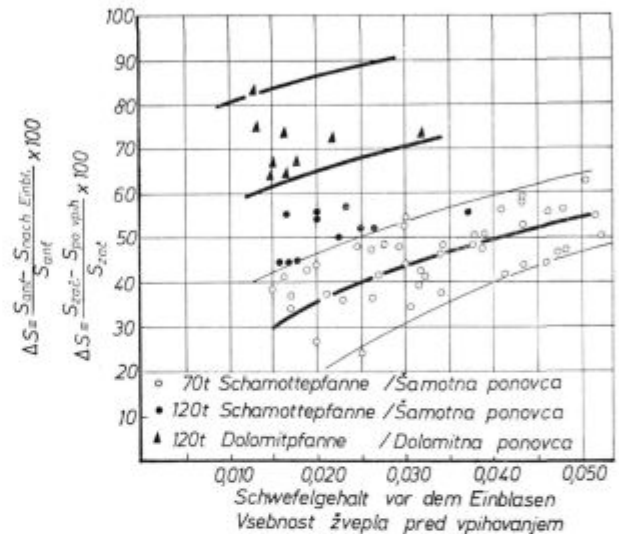
tráglich noch Tonerde aus der Zustellung aufgenommen haben und damit Effekt in der Auswertung vorgetäuscht wurde.

Im Gegensatz zum Einblasen in den Lichtbogenofen hat eine Schlackenmenge zwischen 10 und 20 kg/t keinen Einfluß auf das erzielte Ergebnis. Ebenfalls ohne Einfluß bleibt hier der Einfluß der Temperatur nach dem Einblasen. Unabhängig davon ob die Schmelzen nach dem Einblasen sofort vergossen wurden (Temperaturen zwischen 1560 und 1600°C) oder ob sie nachträglich noch entgast wurden (Temperaturen zwischen 1650 und 1680°C), wurden praktisch immer vergleichbare Ergebnisse erzielt.

Bild 9  
Ergebnisse beim Einblasen von CaSi (CaC<sub>2</sub>) in Giesspfannen mit Schamotte bzw. Dolomitzustellung

Slika 9  
Rezultati pri vpihovanju CaSi (CaC<sub>2</sub>) v livno ponovco s šamotno oziroma dolomitno oblogo

Fig. 9  
Results of blowing of CaSi (CaC<sub>2</sub>) into a casting ladle with fireclay lining and dolomite lining



je možna tudi globlja potopitev in je manjši kontakt s kislino oblogo ponve, dobimo boljše rezultate kot pri 70-tonskih.

Za dobre rezultate odžveplanja pri vpihovanju CaSi je poleg globine vpihovanja in drobno porazdeljenih legur zelo pomembna tudi uporaba bazično obloženih ponovc pri istovrstnem pokritju taline z visoko bazično prestrežno žlindro. V tem primeru lahko pri začetni vsebnosti žvepla med 0,015 in 0,030 % dosežemo reproducibilne končne vsebnosti žvepla med 0,002 in 0,008 %, kar ustreza 70—90 % stopnji odžveplanja.

### Vpihovanja žlinder in kalcijevih legur na stopnjo čistosti

Kolikor kažejo doslej izvršena izrednotenja talin, ki smo jih odžveplali z vpihovanjem žlinder, ni mogoče ugotoviti sprememb stopnje čistosti in porazdelitve nekovinskih vključkov v primerjavi z neobdelanimi talinami. Bistvene razlike pri izrednotenju talin s primerljivimi vsebnostmi žvepla tudi ni mogoče pričakovati.

Drugače pa so razmere pri vpihovanju kalcijevih legur, ker gre pri tem tudi kalcij v jeklu v raztopino ter s tem sodeluje pri nastajanju oksidnih in sulfidnih vključkov. Tipičen vključek, ki na

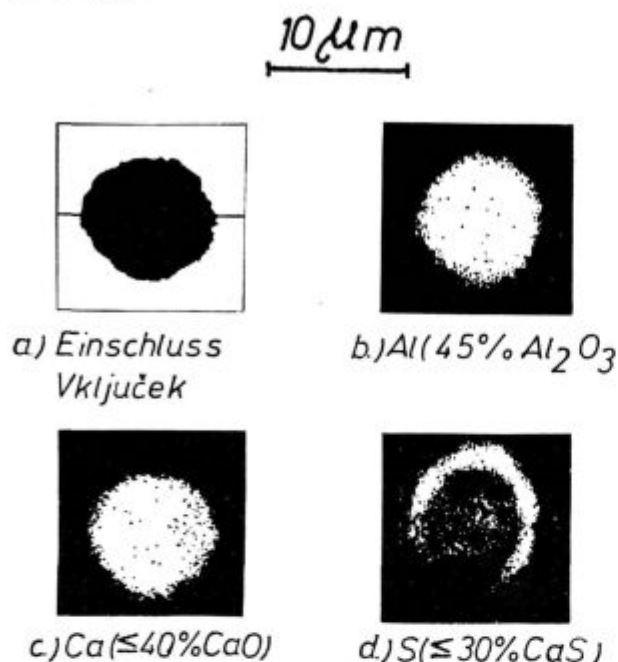
### Einblasen von CaSi in die Pfanne

Ergebnisse, welche beim Einblasen von Kalziumlegierungen im Anschluß an eine Aluminiumvordesoxydation in Pfannen mit 70 und 120 t Kapazität berichtet werden, sind in Bild 9 dargestellt.

Daraus ist einmal abzulesen, daß beim Einblasen in Schamottepfannen ein Entschwefelungsgrad von 50 % kaum überschritten wird, wobei vor allem bei Pfannen mit 70 t verhältnismäßig große Streuungen auftreten. Bei 120 t-Pfannen, bei welchen auch eine größere Eintauchtiefe möglich ist und weniger Kontakt mit der sauren Pfannen-zustellung besteht, werden bessere Ergebnisse als bei 70 t-Pfannen berichtet.

Um beim Einblasen von CaSi gute Entschwefelungsergebnisse zu erzielen, ist, abgesehen von der Einblasetiefe und den feinverteilten Einbringen der Legierung, die Verwendung basisch zugestellter Pfannen bei gleichzeitiger Abdeckung der Schmelze mit einer hochbasischen Auffangschlacke von wesentlicher Bedeutung. In diesem Fall können bei Anfangsschwefelgehalten zwischen 0,015 und 0,030 % reproduzierbare Endschwefelgehalte zwischen 0,002 und 0,008 % entsprechend einem Entschwefelungsgrad zwischen 70 und 90 % erreicht werden.

stane pri dezoksidaciji z aluminijem ter naknadni obdelavi s kalcijem, je prikazan na sliki 10. Pri tem gre za  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$  — žlindrin vključek s približno 45 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in 40 %  $\text{CaO}$ , ki raztaplja do 30 %  $\text{CaS}$ .



**Einfluß des Einblasens von Schlacken und Kalziumlegierungen auf den Reinheitsgrad**

Soweit die bisher durchgeführten Auswertungen von Schmelzen, welche durch Einblasen von Schlacken entschwefelt wurden, zeigen, kann im Vergleich zu unbehandelten Schmelzen keine Veränderung im Reinheitsgrad und in der Verteilung der nichtmetallischen Einschlüsse nachgewiesen werden. Ein wesentlicher Unterschied ist auch kaum zu erwarten, wenn Schmelzen mit vergleichbaren Schwefelgehalten ausgewertet werden.

Anders liegen hier die Verhältnisse beim Einblasen von Kalziumlegierungen, da dabei auch Kalzium im Stahl in Lösung geht und damit bei der Bildung der Oxyd- und Sulfideinschlüsse wirksam wird. Ein typischer Einschlus, wie er

Bild 10  
Nach Behandlung mit Aluminium und Kalzium gebildetes Schlackenteilchen

Slika 10  
Žlindrin vključek, nastal po obdelavi z aluminijem in kalcijem

Fig. 10  
Slag inclusion formed after treatment with Ca and Al

Ker se pri takšni obdelavi kalcij topi v jeklu, učinkuje še tudi pri tvorjenju nekovinskih vključkov med strjevanjem. S tem pa se spremenijo tudi vrste vključkov, ki jih ugotovimo pri analizi, kakor kaže slika 11.

Modifikacija vključkov, ki ostanejo v jeklu zaradi obdelave taline s kalcijem, vpliva pri nelegiranih in malolegiranih jeklih na žilavost jekla, kar je razvidno iz slike 12, v kateri primerjamo kontrakcijo v smeri debeline debele pločevine za neobdelane in s kalcijem obdelane taline v odvisnosti od vsebnosti žvepla.

nach einer Desoxydation mit Aluminium und einer anschließenden Kalziumbehandlung der Schmelze gebildet wird, ist in **Bild 10** gezeigt. Es handelt sich hier um ein Kalkaluminat-schlackenteilchen mit etwa 45 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und 40 %  $\text{CaO}$ , in welchem bis zu 30 %  $\text{CaS}$  gelöst ist.

Da bei einer derartigen Behandlung das Kalzium im Stahl gelöst wird, ist es auch bei der Bildung der nichtmetallischen Einschlüsse bei der Erstarrung noch wirksam. Damit ändern sich aber auch die bei der Schlackenauswertung festgestellten Einschlusstypen, wie aus **Bild 11** zu entnehmen ist.

Die aufgrund einer Ca-Behandlung der Schmelze bewirkte Modifikation der im Stahl verbleibenden Einschlüsse übt bei unlegierten und niedriglegierten Stählen auch einen Einfluß auf die Zähigkeitseigenschaften des Stahles aus, wie aus

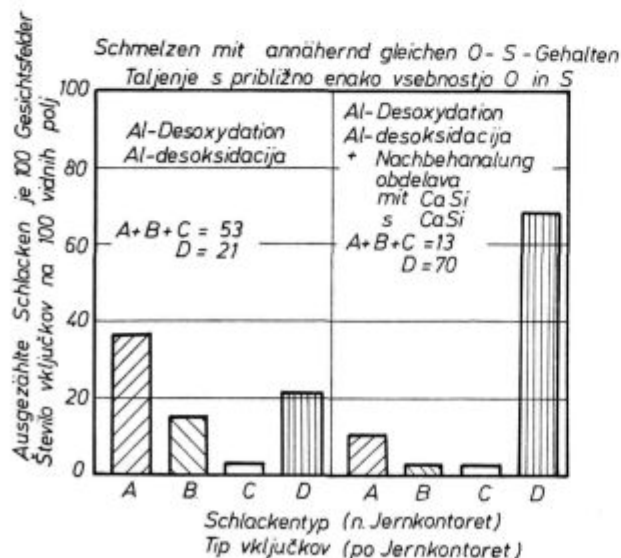


Bild 11  
Durschnittswerte der Schlackenauswertung nach Jernkontoret von unbehandelten und Ca-behandelten Schmelzen

Slika 11  
Poprečne vrednosti izrednotenja vključkov po Jernkontoret za neobdelane in s Ca-obdelane taline

Fig. 11  
The average values of marks of inclusions after Jernkontoret for the melts treated with Ca and without treatment



Bild 12

Zusammenhang zwischen Schwefelgehalt und Einschnürung in Richtung durch die Dicke bei Grobblechen (nach Nürnberg u. Mitarbeitern)

Slika 12

Zveza med vsebnostjo žvepla in kontrakcijo v smeri debeline pločevine (po Nürnberg s sodelavci)

Fig. 12

The correlation between the sulphur content and the reduction of area in the direction of plate thickness

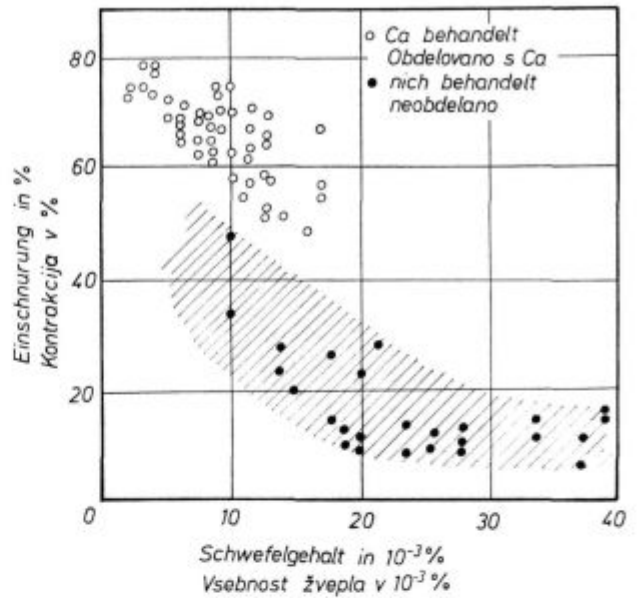


Bild 12 zu erkennen ist, in welchem die Einschnürung in Richtung durch die Dicke von Grobblechen von unbehandelten und Ca-behandelten Schmelzen in Abhängigkeit vom Schwefelgehalt gegenübergestellt ist.

**Povečanje produktivnosti z obdelavo v ponovci**

Na sliki 13 vidimo, kako lahko obdelava v ponovci z dodatnim ogrevanjem in s prenosom redukcijske periode v ponovco poveča storilnost elektro obločne peči. Če talimo dve uri in upoštevamo že skrajšan čas za žilavenje in rafinacijo pri klasičnem dvožilndrnem postopku, celoten čas trajanja šarže skoraj ni krajši od petih ur. Proizvodna storilnost peči znaša tako približno 10 ton na uro.

Ce pa pri največjem izkoristku vpihovanja, žilavenja in rafinacije vključno z medfaznim odžilndranjem te postopke skrajšamo na nekaj več kot eno uro, je možno skrajšati celoten čas od šarže do šarže na 3 1/2 ure. S tem pa povečamo storilnost peči na približno 15 ton/uro.

Ce elektro obločno peč uporabljamo samo za taljenje in žilavenje, znaša čas od šarže do šarže 2 3/4 — 3 ure, kar ustreza storilnosti peči 18 ton

**Produktionssteigerung durch Pfannenbehandlung**

Wie durch Anwendung einer Pfannenbehandlung mit Zusatzbeheizung und Verlegung der Reduktionsperiode in die Pfanne die Leistung eines Elektrolichtbogenofens gesteigert werden kann, geht aus Bild 13 hervor, wonach unter der Annahme einer Einschmelzzeit von zwei Stunden und einer bereits verkürzten Frisch- und Feinungsperiode beim klassischen Zweischlackenverfahren Chargenfolgezeiten von 5 Stunden kaum unterschritten werden. Damit wird eine Erzeugungslleistung des Ofens von etwa 10 t/h erzielt.

Bild 13

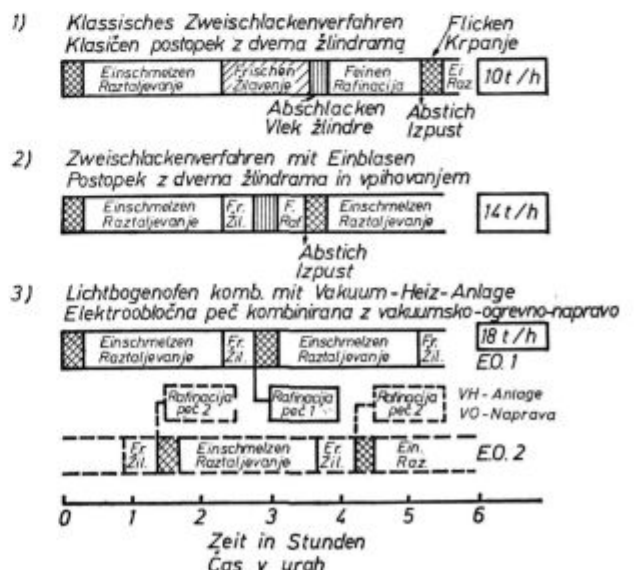
Vergleich des Zeitaufwands für die Herstellung von 50 t-Schmelzen nach dem klassischen Zweischlackenverfahren, dem Zwei-schlackenverfahren mit Einblasen und einem LBO kombiniert mit Vakuum — Heiz-Anlage

Slika 13

Primerjava potrebnega časa za 50 t-šarže po klasičnem dvožilndrinem postopku, dvožilndrinem postopku z vpihovanjem in EOP kombinirane z vakuumsko-ogrevalno napravo

Fig. 13

The time necessary for a 50 ton charge using — classical two-slag process — two-slag process and injection — an arc furnace combined with vacuum or using a heating installation



na uro. Končna obdelava taline se potem izvrši v vakuumski ogrevalni napravi, za kar je potrebnih še dodatnih 45 do 60 minut.

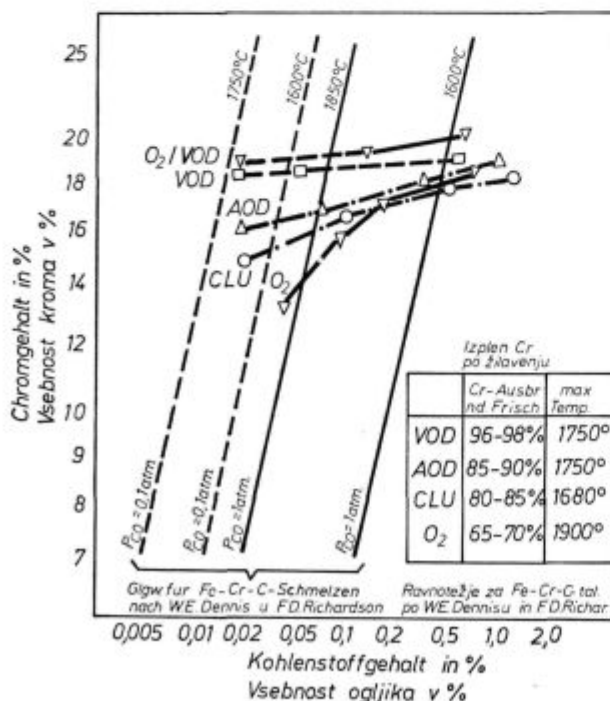
Med obdelavo taline v vakuumski ogrevalni napravi poteka legiranje, pri čemer zaradi dobrega premešavanja taline z induktivnim mešanjem, oziroma preprihovanjem z argonom, dosežemo natančne analize jekla.

### 3.2 Postopek z uporabo posebnih naprav za obdelavo jekla

Poleg postopkov, ki jih izvajamo neposredno v livni ponovci, so razvili konvertorske postopke, predvsem za žilavenje visoko legiranih kromovih jekel. Ti postopki omogočajo najnižje vsebnosti ogljika brez uporabe vakuumu. Sem prištevamo AOD- in CLU- postopka, pri katerih CO-parcialni tlak v odpadnem plinu predvsem proti koncu periode žilavenja zaradi dodajanja inertnega plina k plinu za žilavenje toliko znižamo, da omogočimo najnižje vsebnosti ogljika, ob precejšnjem preprečevanju odgora kroma.

Na sliki 14 smo primerjali potek kroma in ogljika pri AOD- in CLU-postopkih v primerjavi z žilavenjem s plinastim kisikom v elektro obločni peči in z vakuumskim žilavenjem s kisikom v livni ponvi. Iz primerjave je razvidno, da pride pri žilavenju s plinastim kisikom v elektro obločni peči zaradi visokih parcialnih tlakov CO pod 0,20 % C kljub visokim temperaturam do močnega odgora kroma, izkoristek kroma po žilavenju pa je med 70 in 85 %.

Postopka AOD in CLU sta glede izkoristka kroma z 80–90 % občutno boljša, kljub nižjim temperaturam, kar je posledica znižanja parcialnega tlaka CO v odpadnem plinu zaradi dodajanja inertnega plina k plinu za žilavenje.



Werden dagegen unter bestmöglicher Ausnützung der Einblaseverfahren, Frischperiode und Feinungsperiode einschließlich Zwischenabschläcken auf zusammen knapp über eine Stunde gekürzt, so erscheinen Chargenfolgezeiten von 3 1/2 Stunden möglich. Damit kann eine Ofenleistung von etwa 14 t/h erzielt werden.

Wird der Lichtbogenofen nur für Einschmelzen und Frischen eingesetzt, so sollten Chargenfolgezeiten von 2 3/4 bis 3 Stunden möglich sein, was einer Ofenleistung von 18 t/h entspricht. Die Fertigbehandlung der Schmelze erfolgt dann in der Vakuum-Heiz-Anlage wofür ein zusätzlicher Zeitaufwand von 45–60 Minuten erforderlich ist.

Während der Behandlung der Schmelze in der Vakuum-Heiz-Anlage erfolgt das Legieren, wobei aufgrund der guten Durchmischung der Schmelze durch die induktive Umrührung bzw. Argonspülung eine hohe Analysentreffsicherheit erzielt wird.

### 3.2. Verfahren unter Verwendung eigener Behandlungsgefäße

Neben den Verfahren, welche direkt in der Gießpfanne durchgeführt werden, wurden insbesondere für das Frischen hoch-Cr-legierter Stähle Konverterverfahren entwickelt, welche die Erzielung niedrigster Kohlenstoffgehalte ohne Anwendung von Vakuum ermöglichten. Dazu zählen das AOD- und CLU-Verfahren, bei welchen durch Zusatz von inerten Gasen zum Frischgas der CO-Partialdruck im Abgas vor allem gegen Ende der Frischperiode soweit abgesenkt wird, daß die Erzielung niedrigster Kohlenstoffgehalte bei weitgehender Vermeidung des Cr-Abbrandes möglich wird.

Als Beispiel wird in Bild 14 der Chrom- und Kohlenstoffverlauf beim AOD- und CLU-Verfahren im Vergleich zum Frischen mit gasförmigem Sauerstoff im Elektrolichtbogenofen und dem Vakuum-Sauerstofffrischen in der Gießpfanne gegenübergestellt. Daraus erkennt man, daß beim Frischen mit gasförmigem Sauerstoff im Lichtbogenofen aufgrund des hohen CO-Partialdrucks unter

Bild 14  
Abbrand von Chrom und Kohlenstoff beim Frischen hoch Chrom legierter Stähle bei verschiedenen heute üblichen Verfahrensvarianten

Slika 14  
Odgor kroma in ogljika pri žilavenju visokolegiranih kromovih jekel pri različnih variantah novo uvedenih postopkov

Fig. 14  
Oxidizing loss of chromium and carbon at the oxidation process in chromium high alloyed steels at various processes used today

Najboljše pogoje za popolno žilavenje visoko legiranih kromovih jekel pa daje VOD-postopek, ki ga izvajamo v ponovci, ker najprej žilavimo pod znižanim tlakom med 30 in 40 torri, proti koncu procesa pa izvedemo še rafinacijsko razogljčevanje samo z izkuvanjem s pomočjo preprihovanja z argonom pod pritiskom, ki je znižan na približno 1 torr. S tem postopkom se skoraj popolnoma izognemo odgoru kroma in izkoristek kroma znaša 96 do 98 %.

Na sliki 15 sta prikazana še poteka za ogljik in kisik pri opisanih postopkih. Pri žilavenju s čistim kisikom v elektro obločni peči ima talina zelo visoke vsebnosti kisika. Razmeroma visoke so tudi vsebnosti kisika pri AOD- in CLU-postopkih na začetku žilavenja pri atmosferskem pritisku. Proti koncu procesa pa se delež inertnega plina v žilavilnem plinu močno poveča, s tem pa se zniža parcialni tlak CO v odpadnem plinu, tako da je možno nadaljnje žilavenje ogljika brez naraščanja kisika. V primerjavi s temi tremi postopki so vsebnosti

etwa 0,20 % C trotz hoher Prozeßtemperaturen ein verstärkter Cr-Abbrand auftritt und ein Cr-Ausbringen nach dem Frischen zwischen 70 und 85 % erzielt wird.

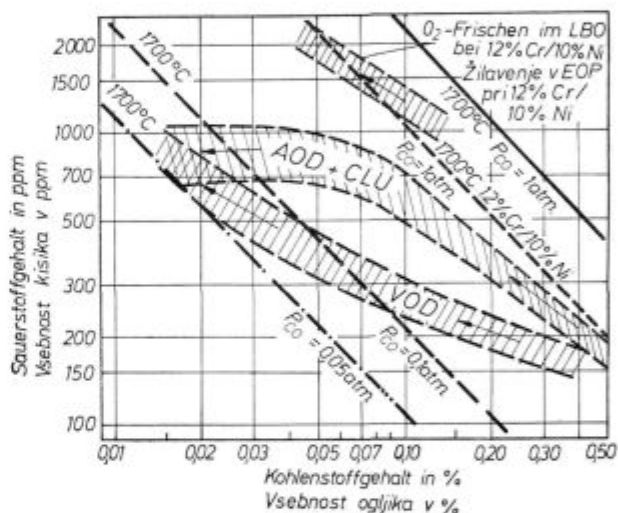
Das AOD-Verfahren und CLU-Verfahren liegen hinsichtlich des Cr-Ausbringens mit 80—90 % trotz niedrigerer Prozeßtemperaturen deutlich besser, was auf die Absenkung des CO-Partialdrucks im Abgas durch Inertgaszusatz zum Frischgas zurückzuführen ist.

Die besten Voraussetzungen für ein weitgehendes Frischen hoch-Cr-legierter Stähle sind jedoch bei dem in der Pfanne durchgeführten VOD-Verfahren gegeben, da hier zunächst das Frischen unter abgesenktem Druck zwischen 30 und 40 Torr erfolgt und die Feinentkohlung gegen Ende des Prozesses allein durch Auskochen mittels Ar-Spülen bei einem etwa auf 1 Torr abgesenktem Druck erfolgt. Damit kann der Cr-Abbrand nahezu vollständig vermieden werden und es wird ein Cr-Ausbringen von 96—98 % erzielt.

Bild 15  
Der Verlauf von Kohlenstoff und Sauerstoff von Cr-Ni-Stählen beim AOD-CLU- und VOD-Verfahren

Slika 15  
Potek ogljika in kisika za Cr-Ni jekla pri AOD-, CLU- in VOD-postopku

Fig. 15  
The trend of carbon and oxygen for the Cr-Ni steels at the AOD, CLU and VOD processes



kisika pri VOD-postopku, ki ga vedno izvajamo z močno znižanim parcialnim tlakom CO, med celotnim žilavenjem nizke, končne vsebnosti pa so enake ali pa le nekaj nižje kot pri AOD- in CLU-postopkih.

#### 4. ZAKLJUČKI IN POVZETEK

Potem, ko sem podal dolgoročno prognozo razvoja proizvodnje jekla na splošno in še posebej za proizvodnjo elektro jekla, sem poskušal s pomočjo nekaterih izbranih primerov podati pregled tistih postopkov, ki jih danes vse bolj uporabljamo, da bi pospešili proizvodni proces in dosegli kvalitetnejše rezultate z izrabo kinetičnih spoznanj, kljub močno skrajšanemu času obdelave.

Pri proizvodnji jekel v elektro obločnih pečeh smo desetletja, vse do danes nadaljevali prakso, prevzeto od postopkov žilavenja v pečeh in še posebej od SM-postopka. Žilavenje ogljika je po-

Im folgenden Bild 15 wird noch der Verlauf von Kohlenstoff und Sauerstoff bei den besprochenen Verfahren gezeigt. Man sieht daraus, daß beim Frischen mit reinem Sauerstoff im Lichtbogenofen sehr hohe Sauerstoffgehalte in der Schmelze auftreten. Verhältnismäßig hoch liegen auch die Sauerstoffgehalte bei den bei Atmosphärendruck durchgeführten AOD- und CLU-Verfahren am Anfang der Frischphase. Gegen Ende des Prozesses wird dagegen der Anteil von Inertgasen im Frischgas stark erhöht und damit der CO-Partialdruck im Abgas abgesenkt, sodaß ein weiteres Frischen des Kohlenstoffs ohne weiteren Anstieg des Sauerstoffs möglich wird. Im Vergleich dazu treten beim VOD-Verfahren, bei welchem immer mit stark erniedrigtem CO Partialdruck gefahren wird, während des gesamten Frischverlaufs niedrige Sauerstoffgehalte auf, wobei aber die Endgehalte gleich oder nur knapp niedriger als beim AOD- und CLU-Verfahren liegen.



tekalo z dodajanjem rude v žlindro pri istočasnem nenehnem ogrevanju. Takšen postopek je bil potreben pri SM-procesu, saj je bilo le na ta način omogočeno učinkovito ogrevanje s plamenom, povečevanje temperature kopeli ter potrebne temperature izpusta. Istočasno pa je obstajal pri tem delovnem postopku in potrebni piltvi kopeli dober kontakt med kovino in žlindro, tako da so bili pri daljšem času omogočeni tudi dobri rezultati pri reakcijah med kovino in žlindro.

Ta delovni postopek smo najprej prenesli tudi v periodo rafinacije v elektro obločni peči, kjer je bila vsa skrivnost v dolgotrajnem ležanju pod skrbno pripravljeno rafinacijsko žlindro, s čimer smo najprej dosegli počasno nižanje vsebnosti kisika z difuzijsko dezoksidacijo, za tem pa še znižanje vsebnosti žvepla. Namesto da bi z dobrim mešanjem jekla in žlindre ustvarili dobre kinetične pogoje za potek reakcij, smo to prepuščali času in le v izjemnih primerih pomešali jeklo z žlindro.

Prva znaka za opustitev tega delovnega postopka, ki že sam po sebi ni najprimernejši za elektro obločno peč, sta bila žilavenje s plinastim kisikom za skrajšanje periode žilavenja ter že pred tem posamezna uporaba Perrinovega postopka. Perrinov postopek je močno pomešanje jekla s staljeno žlindro med izpustom v ponovci. S tem postopkom intenziviramo odžveplanje. Omeniti moram še prakso hkratnega izpusta rafinacijske žlindre.

V letih med 1960 in 1970 je postalo očitno, da se je začel uvajati nov proces, saj smo preizkusili celo vrsto postopkov za intenziviranje dezoksidacije ter reakcij med jeklom in žlindro. V to časovno obdobje spadajo poleg že uvedenega postopka obdelave v vakuumu še razvoj prvih aparatov za vpihanje praškastih snovi v talino jekla, s kate-

4. **Schlussfolgerungen und Zusammenfassung:**

Ich habe versucht im Anschluß an eine längerfristige Prognose der sich abzeichnenden Entwicklung der Stahlerzeugung im allgemeinen und der Elektrostahlerzeugung im besonderen an Hand einiger ausgewählter Beispiele einen Überblick zu geben über jene Verfahren und Verfahrensschritte, welche heute mehr und mehr angewendet werden um den Prozeßablauf zu beschleunigen und um trotz stark verkürzter Behandlungszeiten durch Ausnützung kinetischer Überlegungen auch in qualitativer Hinsicht bessere Ergebnisse zu erzielen.

Bei der Herstellung von Stählen im Elektrolichtbogenofen wurde Jahrzehnte hindurch die von den Herdfrischverfahren und hier vor allem dem SM-Verfahren übernommene Praxis fortgeführt und wird auch heute vielfach noch angewendet. Danach erfolgte das Frischen des Kohlenstoffs durch Erzzugabe zur Schlacke bei gleichzeitiger ständiger Beheizung. Diese Verfahrensweise war beim SM-Prozeß notwendig, da nur auf diese Art eine wirkungsvolle Beheizung durch die Flammengase und eine Steigerung der Badtemperatur sowie die Erzielung der geforderten Abstichttemperaturen möglich war. Gleichzeitig war bei dieser Arbeitsweise und der dabei nötigen flachen Badtiefe ein guter Kontakt zwischen Metall und Schlacke gegeben, sodaß bei der langen Zeit auch gute Ergebnisse bei den Metall-Schlackenreaktionen erzielt wurden.

Diese Arbeitsweise wurde zunächst auch auf die Feinungsperiode im Elektrolichtbogenofen übertragen, wo ein langes Liegen unter einer sorgfältig bereiteten Feinungsschlacke das Geheimnis war um durch Diffusionsdesoxydation zunächst einen langsamen Sauerstoffabbau und im Anschluß daran einen Abbau des Schwefels zu erzielen. Anstatt günstige kinetische Bedingungen für den Reaktionsablauf durch eine innige Durchmischung oder Durchrührung von Stahl und Schlacke zu schaffen zog man es vor die Zeit für sich arbeiten zu lassen und Stahl und Schlacke nur fallweise durchzurühren.

Erste Anzeichen zur Abkehr von dieser an sich für den Elektrolichtbogenofen nicht unbedingt zweckmäßigsten Arbeitsweise waren einerseits die Einführung des Frischens mit gasförmigem Sauerstoff zur Verkürzung der Frischperiode und andererseits eigentlich schon vorher die vereinzelt Anwendung des Perrinverfahrens, einer innigen Durchmischung des Stahles mit einer vor-

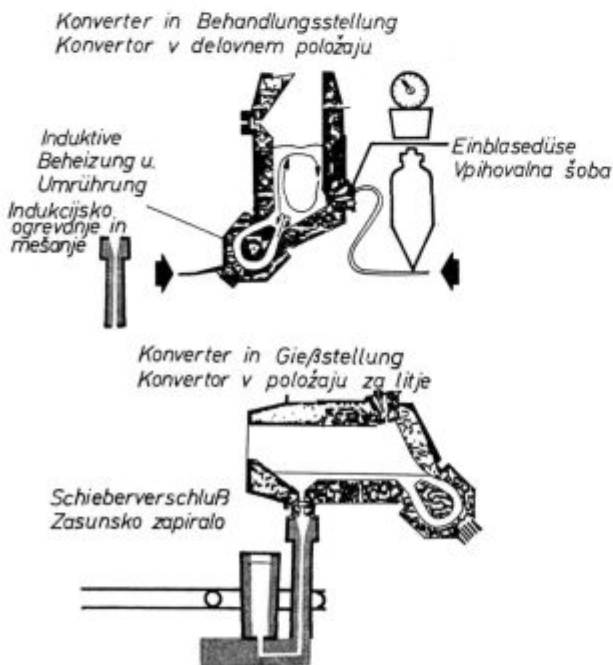


Bild 16  
Das UDDACON-Verfahren zur Behandlung und Beheizung von Metallschmelzen

Slika 16  
UDACON-postopek za obdelavo in ogrevanje kovinskih talin

Fig. 16  
The UDDACON — the process for the treatment and heating of metal melts

rimi najprej nismo dosegli dobrih rezultatov. Sem prištevamo tudi prve naprave ASEA — SKF in naprave Finkl za obdelavo talin v ponvah pri istočasnem ogrevanju in induktivnem mešanju, oziroma preprihovanju z argonom, potem ko je bilo ugotovljeno, da z mešanjem in preprihovanjem v elektro obločnih pečeh ne moremo pričakovati ugodnih rezultatov glede pospeševanja reakcij med jeklom in žlindro ter da dolgotrajno preprihovanje z argonom v ponvah zaradi temperaturnih izgub ni mogoče.

V to obdobje prištevamo še razvoj funkcionalnih zapor z zasunom in kakovostnih obzidav za ponve, s čimer so bili tudi po tej strani omogočeni pogoji za prenos metalurške obdelave v ponove.

Istočasno smo se intenzivno ukvarjali tudi z izboljšanjem postopka za proizvodnjo malo ogljikovih visoko legiranih kromovih jekel. Ta razvoj smo zaključili najprej z uvedbo postopka žilavenja v vakuumu, po 1970. letu smo uvedli postopek AOD, končno pa še postopek CLU.

Danes smo torej v situaciji, ko se elektro obločna peč vse bolj uporablja kot agregat za hitro in gospodarno taljenje kovinskega vložka, vse manj pa kot agregat za metalurško obdelavo. Ta tendenca se kaže tudi v uporabi vse močnejših transformatorjev in v razvoju vodno hlajenih sten in stropov, ki mu bo najverjetneje sledil razvoj vodno hlajenih ognjišč, itd. Skoraj vse metalurške obdelovalne postopke lahko danes izvajamo v za to prirejenih ponvah ali v posebnih posodah za metalurško obdelavo jekla. Predvsem velja to za žilavenje in izgotavljanje visoko legiranih kromovih jekel, odpornih proti koroziji, kakor tudi za legiranje, dezoksidacijo, degazacijo in odžveplanje nelegiranih in legiranih jekel.

Razogljichenje in odfosforenje nelegiranih in malolegiranih jekel danes praktično še povsod izvajajo v elektro obločnih pečeh, ker je zamenjava žlindre v ponvi težka in zapletena.

Žlindro lahko sicer razmeroma enostavno zamenjamo pri konvertorskih postopkih (AOD in CLU) za žilavenje kromovih jekel, vendar pri teh postopkih ni možnosti za dodatno ogrevanje, ki bi bilo potrebno pri obdelavi malo legiranih jekel.

Nadaljnji razvoj metalurških postopkov je možen v smeri adaptacije livnih ponov, ki bi omogočale izpust ali odsesavanje žlindre pri postopkih obdelave v ponvi. Druga možnost je, da konvertorske postopke opremimo s pripravami za ogrevanje, razplinjenje in vpihovanje praškastih snovi.

Morda predstavlja že prezkusni konvertor UD-DACON pri Uddeholmu (slika 16) obdelovalno posodo prihodnosti. V tem konvertorju talino z induktorjem istočasno mešajo in ogrevajo, žlindrotvorne sestavine, legirna in dezoksidacijska sredstva pa je možno vpihovati z inertnimi ali oksidirnimi nosilnimi plini. Litje se izvaja direktno iz konvertorja z zasunsko zaporo.

geschmolzenen Schlacke während des Abstiches in der Pfanne, zur Intensivierung der Entschwefelung. An dieser Stelle muß auch die Praxis des Mitlaufenlassens der Feinungsschlacke während des Abstiches genannt werden.

Daß allenthalben ein Umdenkprozeß eingesetzt hatte, wird in den Jahren zwischen 1960 und 1970 deutlich, wo eine Reihe von Verfahrensschritten mit dem Ziel der Intensivierung von Desoxydation sowie Stahl-Schlacke-Reaktionen erprobt wurden. In diesen Zeitraum fielen im Anschluß an die bereits erfolgte Einführung der Vakuumverhandlungsverfahren die Entwicklung von ersten Geräten zum Einblasen pulverförmiger Feststoffe in Stahlschmelzen, ohne daß damit sofort durchschlagende Erfolge erzielt worden wären. Dazu zählen aber auch die ersten ASEA-SKF- und Finkl-Anlagen zur Behandlung von Schmelzen in der Pfanne bei gleichzeitiger Beheizung und induktivem Umrühren bzw. Ar-Spülen, nachdem man erkannt hatte, daß einerseits Rührspulen bei Elektrolichtbogenöfen keine Vorteile hinsichtlich einer Beschleunigung von Metall-Schlacke-Reaktionen erwarten ließen und daß andererseits ein Argonspülen in der Pfanne über einen längeren Zeitraum hinweg wegen des Temperaturverlustes nicht möglich war.

In diesen Zeitraum fällt auch die Entwicklung von funktionsfähigen Schieberverschlüssen und hochwertigen Pfannenzustellungen, sodaß damit auch von dieser Seite her die Voraussetzungen für die Verlegung von metallurgischen Behandlungen in die Pfanne möglich wurde.

Gleichzeitig wurde auch intensiv an der Verbesserung der Verfahren zur Herstellung niedriggekohlter hoch-Cr-legierter Stähle gearbeitet und diese Entwicklung zunächst mit Einführung der Vakuumfrischverfahren und nach 1970 des AOD- und schließlich des CLU-Verfahrens abgeschlossen.

Wir befinden uns also heute in einer Situation, in welcher der Elektrolichtbogenofen immer mehr als Aggregat zum raschen und wirtschaftlichen Einschmelzen des metallischen Einsatzes benötigt wird und immer weniger als metallurgisches Behandlungsaggregat herangezogen wird. Diese Tendenz zeigt sich auch im Einsatz immer stärkerer Transformatoren, der Entwicklung von wassergekühlten Wänden und Decken, der voraussichtlich die Entwicklung wassergekühlter Herde folgen wird u. s. w.

Nahezu alle metallurgischen Behandlungsschritte können heute entweder in der dafür adaptierten Pfanne oder in eigenen Behandlungsgefäßen durchgeführt werden. Dies gilt heute vor allem für das Frischen und Fertigmachen hoch-Cr-legierter korrosionsbeständiger Stähle sowie das Legieren, Desoxydieren, Entgasen und Entschwefeln von unlegierten und legierten Stählen.

Die Entkohlung und Entphosphorung unlegierter und niedriglegierter Stähle wird heute praktisch noch überall im Elektrolichtbogenofen durchgeführt, da ein Schlackenwechsel bei den

## Literatur:

1. DETTMERING, W.: Stahl u. Eisen 95 (1975), S. 1222—1228
2. SIGNORA, M., R. CARDANO und L. TONI: Offizielle Protokolle der ersten italienischen Großschmiedetagung, Terni, 26.—29. September 1961, S. 515/28
3. HOLZGRUBER, W.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 120 (1975), S. 407—415
4. HOLZGRUBER, W.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 123 (1978), S. 278—285
5. GRUNER, H., F. BARDENHEUER, H. W. ROMMERSWINKEL und H. SCHULTE: Stahl und Eisen 96 (1976), S. 960—964
6. NÜRNBERG, K., E. SPETZLER und W. KLAPDAR: »The Use of Alkaline Earths for the Metallurgy in the Ladle«, paper presented at 5 ème Journée Internationale de Siderurgie in Paris am 18. Oktober 1976.
7. PLÖCKINGER, E. W. HOLZGRUBER und G. KUHNELT: Radex Rundschau 1969, S. 508—517
8. NORBERG, L. G. und P. A. LUNDSTRÖM: »UDDACON — The Key to new metallurgical routes« in SCANINJECT 14: 1 —12, veröffentlicht durch Jernkontoret

Pfannenbehandlungsverfahren nur schwer und umständlich durchzuführen ist.

Ein Schlackenwechsel kann zwar verhältnismäßig einfach bei den für das Frischen Cr-legierter Stähle entwickelten Konverterverfahren (AOD- und CLU) durchgeführt werden, doch verfügen diese Verfahren wieder nicht über zusätzliche Beheizungsmöglichkeiten, welche bei der Behandlung niedriglegierter Stähle erforderlich wären.

Eine Weiterentwicklung der metallurgischen Verfahrensschritte erscheint daher in der Richtung möglich, daß entweder die bei Pfannenbehandlungsverfahren eingesetzten Gießpfannen so adaptiert werden, daß ein Abziehen oder Absaugen der Schlacke möglich wird oder, daß die Konverterverfahren zusätzlich mit Vorrichtungen zur Beheizung, zum Entgasen und zum Einblasen pulverförmiger Feststoffe ausgerüstet werden.

Möglicherweise stellt der bei Uddeholm als Versuchsanlage gebaute UDDACON-Konverter (Bild 16) bereits ein derartiges Behandlungsgefäß der Zukunft dar. Die Schmelze wird darin durch einen Induktor gleichzeitig umgerührt und aufgeheizt, wobei Schlackenbildner sowie Legierungs- und Desoxydationsmittel mittels inerte oder oxydierender Trägergase in die Schmelze eingeblasen werden können. Das Gießen erfolgt ebenfalls direkt aus dem Konverter über einen Schieberverschluss.

Mit diesem Ausblick will ich meine Ausführungen schließen und danke für Ihre Aufmerksamkeit.



## SUMMARY

Beside the long-term prognosis of the development of steel manufacturing also the review of those procedures is given which are nowadays more applied because of the intensification of the manufacturing and improvement and assuring the quality of steel.

Standard technological processes in electric arc furnaces were long lasting since they were based essentially on the experiences in the open-hearth furnaces.

After a long contact of the steel melt with the carefully prepared refining slag at first the carbon content commenced to be slowly reduced due to the diffusional deoxidation, then the sulphur content was being reduced. Instead of achieving good kinetic conditions for reactions by a good stirring of slag and steel melt, the process was left to the diffusion and only in exceptional cases the steel was stirred with slag.

The first modernisation of the process which itself was not the most suitable for the electric arc furnace was achieved by the introduction of the gaseous oxygen into refining in order to shorten the refining period, and before it also the Perrin process. Characteristic of the last process is intensive mixing of steel and molten slag in ladle during tapping which highly increases the intensity of desulphurisation. At this occasion, also the practice of simultaneous tapping of the refining slag must be mentioned.

In 1960 to 1970 the steel-making development and research was directed to the processes for intensification of deoxidation and reactions occurring between steel and slag. Beside the already introduced treatments in vacuums, the first set-ups were developed for injecting powders into the steel melt.

When found that stirring and blowing in electric arc furnaces does not give satisfactory increase of the reaction rates between the steel and the slag, and that long lasting blowing with argon in laddles is not possible due to temperature drop, the first ASEA — SKF, and Finkl equipment appeared to treat the melt in laddles at the simultaneous heating and inductive stirring or blowing with argon.

Conditions to transfer metallurgical treatment into laddles were given by developing suitable closing devices with dampers and with development of the quality linings for laddles.

Development for improving the manufacturing process for low carbon high alloyed chromium steel was closed at first by the introduction of the refining in vacuum. In 1970 AOD and finally also CLU process were introduced.

Today the electric arc furnace is more and more used as a furnace for fast and economic melting. Therefore stronger transformers and special cooling systems for the furnace are used. The metallurgical treatment is transferred to specially adjusted laddles.

Decarburisation and dephosphorisation are still much occurring in the furnaces since changing slag in the ladle is difficult and complicated.

Slag can be simply changed in a converter processes (AOD and CLU) but there is no possibility for additional heating needed in treating low alloyed steel.

New ideas bring various combinations and adjustments of set-ups. Especially the pilot plant UDDACON converter in Uddeholm is an interesting novelty in this development.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наряду с долгорочным прогнозом о развитии производства стали, приведен обзор тех способов, которые в настоящее время имеют большое значение на ускорение процесса производства и на улучшение качества стали.

Классические технологические способы в электрической дуговой печи были самым продолжительными, так как в сущности основаны на опытах производства стали в СМ-печах.

При длительной задержки расплава стали под тщательной подготовленным шлаком для рафинирования мы сперва с диффузионным раскислением постепенно снижали содержание углерода, а затем снижали серу. Вместо того, чтобы с хорошим перемешиванием стали и шлака создать благоприятные кинетические условия для течения реакций, мы это предоставили времени, и только в редких примерах смешивали сталь с шлаком.

Первая модернизация способа производства стали, хотя не особенно подходящая для электрической дуговой печи, представляла, с целью сокращения процесса, фришование с газообразным кислородом. До этого был применен способ по Перрину, состоявший в интенсивном перемешивании стали с расплавленным шлаком во время выпуска расплава в ковше, что значительно увеличивает интенсивность на удаление серы. Также надо упомянуть способ одновременного выпуска шлака для рафинирования с расплавом стали.

В годах 1960—1970 исследования в области выплавки стали были направлены к развитию интенсификации раскисления и реакций между металлом и шлаком. Наряду с введением способов обработки расплава в вакууме, появились первые приборы для вдувания порошкового материала в расплав стали.

После того, как установлено, что с перемешиванием и с продуванием в электрической дуговой печи нельзя, что касается

ускорения реакции между металлом и шлаком, ожидать удовлетворительные результаты, а продолжительное продувание расплава с аргоном в ковше, вследствие снижения темп-ры, оказалось не применимо, появились первые устройства ASEA — SKF и устройство финка для обработки расплава в ковшах при одновременном прогреве и индукционном перемешиванию, соотв. продуванием с аргоном.

Условия для переноса металлургической обработки расплава в ковше был подан на основании улучшения функциональных створных устройств и качества футеровки для ковшей. Развитие для улучшения способа для производства малоуглеродистых высоколегированных хромистых сталей было сначала выполнено с введением фришования в вакууме. После 1970 г. введен способ AOD и, наконец, еще способ CLU.

В настоящее время электрическая дуговая печь нашла свое применение для быстрого и экономического плавления. Поэтому в употребление введены трансформаторы все большей мощности, а для охлаждения печей специальные холодильные системы. Металлургическая обработка расплава перешла в специально подготовленные ковше. Обезуглероживание и дефосфоризация все еще опирается на выполнение этого процесса в печах, так как замена шлака в ковше затруднительна и сложна.

При конверторных процессах (AOD и CLU) замена шлака несложна, но нет возможности добавочного нагрева, которое бы было необходимо при обработке малолегированных сталей.

Новые идеи повлекут за собой разные комбинации и приспособленные агрегатов. Специальный для развития процесса в этом направлении представляет, как интересная новость, опытный конвертор UDDACON при Uddeholm-y.



# Nekaj značilnosti in problemov v proizvodnji nerjavnih jekel

UDK: 621.775-977:669.15-194  
ASM/SLA: Q 23q, F 2, SS, M 26

Janez Kovač

*Pri izdelavi in predelavi nerjavnih jekel pogosto nastajajo težave, za katere obstaja več vzrokov. Ena glavnih nevšečnosti, ki povzročajo slabo plastičnost in s tem slabo predelovalnost teh jekel, je pojav delta ferita. V članku je kratek opis nastanka in vplivov delta ferita na plastičnost pri nerjavnih jeklih. Zbranih je nekaj rezultatov dosedanjih raziskav na tem področju. Na koncu so navedene ugotovitve raziskave nerjavnega jekla C. 4570 (prokron 2 special) v Zelezarni Ravne v zvezi s preoblikovalno sposobnostjo, odvisno od vsebnosti delta ferita.*

## UVOD

Nerjavna jekla so obstojna proti koroziji zaradi povečane vsebnosti kroma, ki tvori na površini oksidno plast, nepropustno proti nadaljnji koroziji. Z dodatkom niklja in molibdena še bolj povečamo pasivnost jekla proti korozivnim medijem. Kljub temu še obstaja možnost interkristalne korozije.

Nevarnost pojava interkristalne korozije je največja pri naslednjih pogojih:

— če je vsebnost ogljika tako velika, da se pri toplotni obdelavi kromovi karbidi ne raztopijo popolnoma;

— če jeklo pri toplotni obdelavi ogrevamo v območje kritičnih temperatur (500—900 °C), kjer nastopa po mejah kristalov izločanje karbidov.

Važen pogoj za zahtevno korozivno obstojnost je čim manjša vsebnost ogljika, ker v nasprotnem primeru izločeni karbidi zmanjšujejo vsebnost kroma v osnovni masi in s tem korozivno obstojnost jekla. Z začetkom proizvodnje ferokroma z nizkim ogljikom so že leta 1930 uspeli proizvesti krom-nikljevo jeklo z 0,03 % C, medtem ko v zadnjih desetletjih krom-nikljevo jeklo z vsebnostjo 0,03 % C ni več redkost. Zaradi težav pri izdelavi in predelavi krom-nikljevih jekel z ustrežno nizko vsebnostjo ogljika se je uveljavila proizvodnja stabiliziranih vrst nerjavnih jekel, pri katerih je del ogljika vezan s titanom, tantalom, niobijem ali z drugim elementom v stabilnejše in manj škodljive karbide.

Obstaja več vrst nerjavnih jekel. Delimo jih glede na odpornost proti koroziji in ognjeodpornost ter glede na različne mehanske lastnosti. Nadalje jih razdelimo po strukturi na feritna, martenzitna

in avstenitna jekla. Nerjavna jekla avstenitnega tipa imajo največje področje uporabe. Kljub temu tudi ostale vrste uporabljamo v tehniki dokaj pogosto.

## Izdelava in predelava jekla

V proizvodnji nerjavnih jekel je največji problem izdelati talino ter ingote, ki so sposobni za nadaljnjo predelavo. Ocenitev plastičnosti lite strukture je precej nezanesljiva zaradi mnogih vplivnih dejavnikov, kot so: temperatura in čas litja, oblika in dimenzija ingota, način zalaganja in ogrevanja ingotov itd. Glavni problem plastične predelave teh jekel so površinske napake, ki zmanjšujejo plastičnost zaradi dvofazne strukture. Večina napak nastaja na površini valjancev, posebno na robovih. Na sliki 1 so prikazane raztrganine



Slika 1  
Raztrganine na površini gredice  
Fig. 1  
Pulls on the surface of a billet

Janez Kovač je diplomirani inženir metalurgije in raziskovalec za plastično predelavo jekel v Zelezarni Ravne.



na površini gredice. Nastale razpoke so večinoma prečne in njihov začetek praviloma sledi kristalnimi mejam. Pri plastični predelavi, na mejah med alfa in gama fazo, nastopajo napetosti, in zato je dvofazna struktura glavni vzrok slabe plastičnosti nerjavnih jekel. Znano je, da ima na tvorbo alfa faze v nerjavnih jeklih odločilen vpliv kemijska sestava jekla in režim ogrevanja ingotov. Temperatura litja, oblika in dimenzija ingotov prav tako močno vplivajo na količino alfa faze, oziroma na vsebnost delta ferita. V jeklih, pri katerih je razmerje med kromom in nikljem veliko, in v jeklih, legiranih z Mo, Al, Ti ali Nb, vedno nastopi določena količina delta ferita.

Dejavniki, ki vplivajo na nastanek alfa faze, so naslednji:

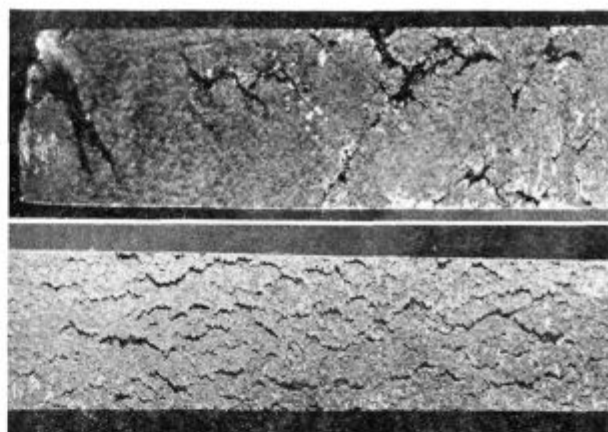
a) Tekočnost taline je odločilnega pomena za vlivanje in ima neposredni vpliv na kakovost površine ingotov. Tekočnost taline, ki je pri visokolegiranih nerjavnih jeklih ne moremo vedno zagotoviti v ustrezni meri posredno s kakovostjo površine ingotov, močno vpliva na potek plastične predelave.

b) Struktura ingotov po strjevanju

Vzdolžni presek ingotov nerjavnih jekel kaže po strjenju dve karakteristični coni. Prva je enakoosna in je sestavljena iz drobnih kristalov, druga pa je transkristalna. Vsekakor pa obstaja ozka povezana odvisnosti plastičnosti od tipa strukture, čeprav ni točno določeno, katera struktura je boljše za plastično predelavo.

Iz dosedanjih raziskav razporeditve alfa faze po prečnem in vzdolžnem preseku ingota lahko zaključimo naslednje:

— neposredno pod površino ingota je vsebnost alfa faze minimalna celo pri talinah, ki so glede kemijske sestave nagnjene k izločanju večjih količin alfa faze;



Slika 3  
Razpoke na površini valjanca  
Fig. 3

Cracks on the surface of the rolled piece

— vsebnost alfa faze se povečuje od površine v notranjost ingota in

— po vzdolžnem preseku ingota ne nastopajo bistvene razlike v vsebnosti alfa faze.

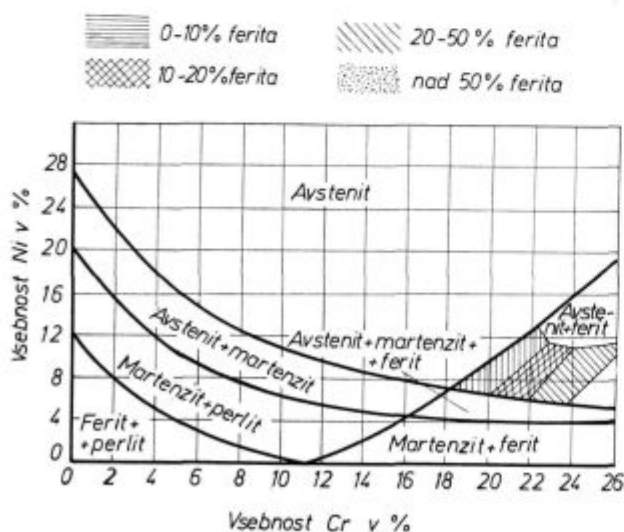
Z raziskavami je ugotovljeno, da neenakomerna porazporeditev alfa faze nastopa zaradi različne porazdelitve temperature v prečnem preseku ingotov, ko se jeklo ohlaja v kokili. Na površini ima alfa faza globularno obliko, medtem ko je v sredini ingota izločena po mejah kristalov hkrati s kromovimi karbidi.

c) Kemijska sestava jekla

Kemijska sestava ima bistven vpliv na strukturo jekla. Nerjavna jekla prištevamo k najbolj razširjenemu štirikomponentnemu sistemu. Krom ima prostorsko centrirano kubično mrežo in stabilizira alfa fazo, medtem ko ima nikelj ploskovno centrirano kubično mrežo in stabilizira gama fazo. Za razliko od ogljika nikelj ne zmanjša vsebnosti kroma v trdni raztopini. Elementi, ki pospešujejo tvorbo alfa faze, so naslednji: Cr, Si, Mo, Al, Ti, Nb, Ta in P, medtem ko C, Ni, Mn in N<sub>2</sub> pospešujejo tvorbo gama faze. Določitev vpliva posameznih elementov na strukturno sestavo teh jekel je zelo težavna.

Dodatek niklja Cr-Ni zlitinam razširi gama območje. Pri določeni vsebnosti niklja se premena gama faze v alfa popolnoma prepreči in tako dobimo jeklo z avstenitno strukturo. Pri vmesnih vsebnostih, ko njegova vsebnost ne zadošča za nastanek popolne avstenitne strukture, dobimo avstenitno — feritno, avstenitno — martenzito ali martenzito jeklo z večjo ali manjšo vsebnostjo avstenita. Na sliki 2 je prikazan strukturni diagram Cr-Ni jekla z 0,1—0,13 % C, 0,3—0,48 % Mn in 0,23 do 0,37 % Si.

Kot je že navedeno, je za odstranitev možnosti pojava interkristalne korozije potrebno Cr-Ni avstenitnim jeklom dodajati v določenem odnosu do ogljika titan ali niobij. Dodatek titana ustreza 4,0 do 5,5-kratni vsebnosti ogljika, medtem ko je dodatek niobija enak 8 do 10-kratni vsebnosti ogljika.



Slika 2  
Strukturni diagram Cr-Ni jekel\*  
Fig. 1  
Structure diagram of Cr-Ni steel\*

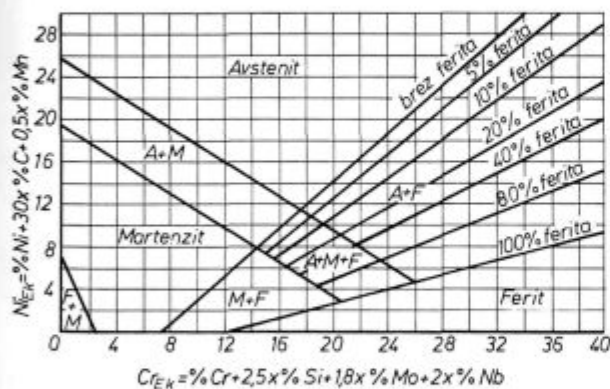
### Vpliv dvofazne strukture

Medtem ko so majhne vsebnosti delta ferita manj škodljive za plastično predelavo, so vsebnosti delta ferita nad 10 % zelo neprijetne, in torej neposredno vplivajo na plastičnost teh vrst jekel. Razpoke, ki nastajajo pri vroči predelavi, povzročijo feritni delci zaradi različne plastičnosti alfa in gama faze. Negativni vpliv delta ferita na plastičnost nerjavnih jekel lahko pripisujemo preoblikovalnim lastnostim in rekristalizacijskim hitrostim avstenita in ferita, ki sta osnovni strukturi teh jekel. Na sliki 3 sta prikazana dva tipična primera razpok na površini gredic pri plastični predelavi.

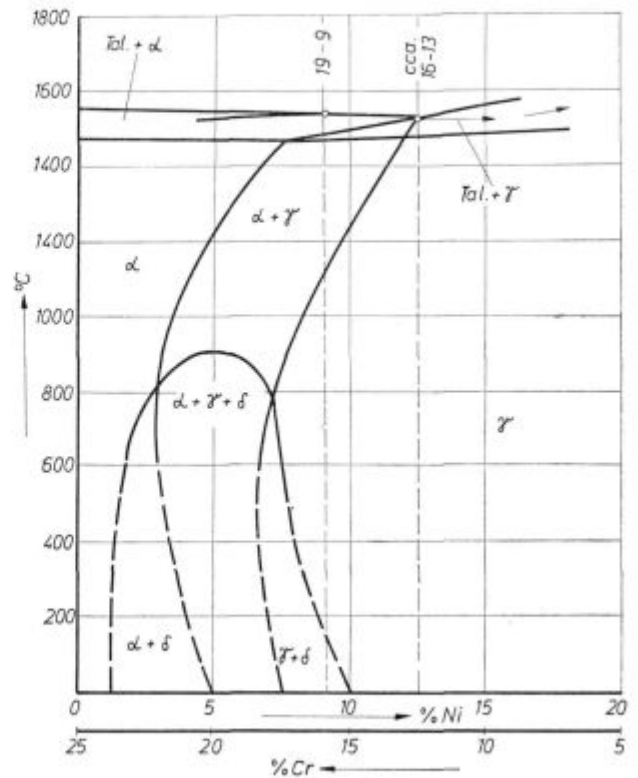
### Nastanek delta ferita

V jeklih z visoko vsebnostjo kroma in v avstenitnih Cr-Ni jeklih skoraj vedno nastopa delta ferit. Nerjavna jekla avstenitno — feritnega in avstenitno — martenzitega tipa vsebujejo neko določeno količino delta ferita. Delta ferit se pojavlja in ostane v strukturi nerjavnih jekel odvisno od sestave, temperature in stanja predelave. Pri avstenitno — feritnih jeklih je prisoten v celem temperaturnem intervalu od strdišča do sobne temperature in je njegov nastanek pogojen predvsem s kemično sestavo jekla. Temperaturni interval pojavljanja je najizrazitejši v območju visokih temperatur toplotne in vroče predelave 900—1250 °C.

Nagnjenje jekla k tvorbi delta ferita je precej odvisno od kemične sestave. Vpliv posameznih elementov na strukturo sestavo je mogoče približno izraziti z njihovim ekvivalentnim vplivom v odnosu na vpliv Cr in Ni. Ti ekvivalentni vplivi izražajo minimalno potrebno vsebnost določenega elementa na popolno preprečitev pojava alfa faze, oziroma gama faze. Z ozirom na zapletenost vpliva različnih dejavnikov na pojav in vsebnost delta ferita obstaja več načinov določevanja. Večina je osnovana na empiričnih podatkih in se rezultati posameznih načinov med seboj razlikujejo. Eden od najbolj uporabljenih načinov je znani Schaefflerjev diagram, ki je prikazan na sliki 4.



Slika 4  
Schaefflerjev strukturalni diagram  
Fig. 4  
Schaeffler's structure diagram



Slika 5  
Ravnotežni diagram stanja sistema Fe-Cr-Ni  
Fig. 5  
Phase diagram of the Fe-Cr-Ni system

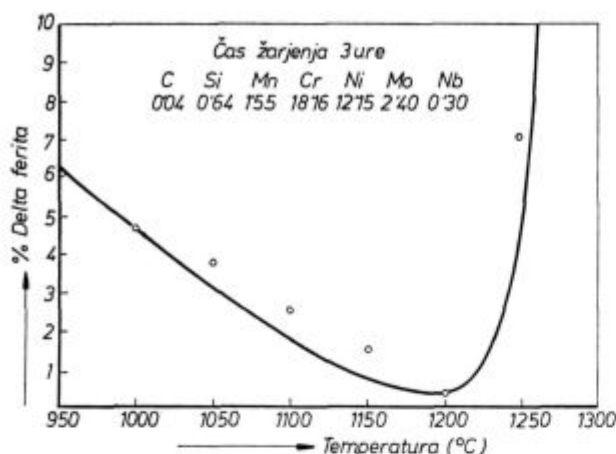
Pri konstrukciji diagrama so upoštevani najbolj pogosti legirni elementi ter elementi stabilizatorji, ki vežejo C in N v stabilno obliko karbonytridov, ki so tudi pri visokih temperaturah netopni v osnovni avstenitni masi.

Vpliv temperature na nastajanje delta ferita je predvsem pomemben v čistih avstenitnih jeklih, nekaj manj pri avstenitno — feritnih in avstenitno — feritno — martenzitnih jeklih. Nastajanje delta ferita v območju visokih temperatur lahko zasledujemo na sliki 5, ki predstavlja poenostavljen diagram stanja ternarnega sistema Fe-Cr-Ni. Resnično stanje v jeklu je mnogo bolj zapleteno zaradi vpliva ostalih elementov.

Diagram nam kljub temu omogoča razumevanje mehanizma nastanka delta ferita in pogojev, v katerih delta ferit nastopa v strukturi nerjavnega jekla.

### Vpliv delta ferita na plastično predelavo

Plastičnost nerjavnih jekel je odvisna od temperature, časa ogrevanja, vsebnosti delta ferita, litega stanja ter topnosti ogljika, oziroma karbidov v odvisnosti od temperature. Ogljik že v majhnih količinah vpliva na obstojnost posameznih faz in pri višjih temperaturah širi gama fazo in prehaja v trdno raztopino. Povečanje temperature nad območje obstoja homogenega avstenita omogoča pojav delta ferita.



Slika 6  
Vpliv temperature na vsebnost delta ferita<sup>2</sup>

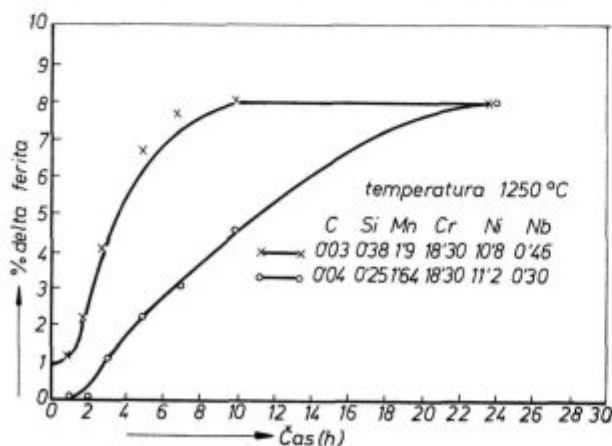
Fig. 6

Temperature influence on the amount of delta ferrite<sup>2</sup>

V temperaturnem območju 400—900 °C se vsebnost delta ferita litega stanja skoraj ne omenja, nastopa samo minimalno izločanje karbidov. Do temperature 1200 °C se vsebnost delta ferita postopoma zmanjšuje, medtem ko se v temperaturnem območju 1250—1300 °C postopoma povečuje. Povečanje vsebnosti delta ferita se pričinja na kristalnih mejah in se širi v notranjost ingota. V ingotu poteka najhitreje premena alfa faze v gama v površinskem sloju, ker je v njem avstenit manj stabilen in teži k izravnavi vsebnosti alfa faze površinskega sloja in jedra ingota.

Tudi rezultati preiskav,<sup>2</sup> izvršenih na jeklu Č 4582 (prokron 11 Nb), ki so prikazani na sliki 6, potrjujejo prej navedene ugotovitve o spremembi delta ferita s temperaturo. Iz diagrama je razvidno, da z naraščanjem temperature vsebnost delta ferita pada, od temperature 1200 °C pa začne spet občutno naraščati.

Podoben efekt kot temperatura ima tudi čas zadržanja na temperaturi. Pri daljših časih se začne vsebnost delta ferita večati in doseže po ne-



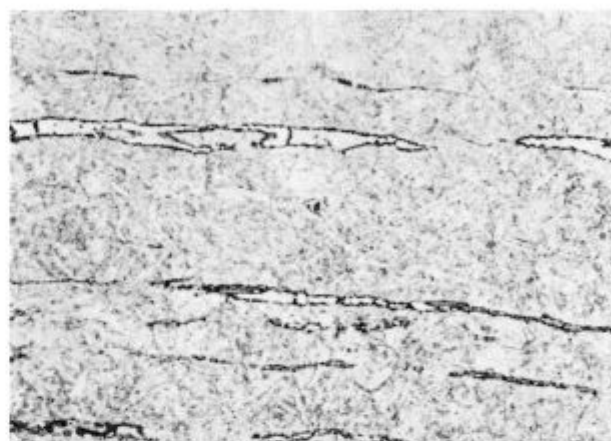
Slika 7  
Vpliv časa na vsebnost delta ferita<sup>2</sup>

Fig. 7

Time influence on the amount of delta ferrite<sup>2</sup>

kem določenem času maksimalno vsebnost, ki se nato pri še daljših časih bistveno ne spreminja. Oba efekta, tako temperatura kot čas, sta podvržena vplivu sestave jekla (slika 7).

V železarni Ravne smo raziskovali vpliv vsebnosti delta ferita na predelovalno sposobnost jekla Č 4570 (Prokron 2 sp.). Zasedovali smo 23 šarž tega jekla v redni proizvodnji. Kemijska sestava

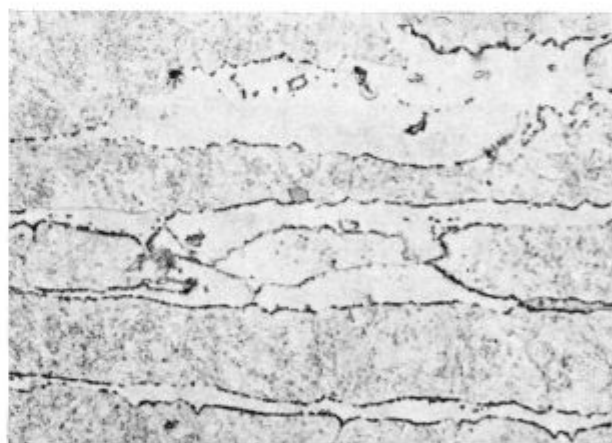


Slika 8

Primer mikrostrukture jekla Č 4570 (Prokron 2 sp.) v valjanem stanju (pov. 200 ×)

Fig. 8

An example of the microstructure of the C. 4570 steel (prokron 2 sp.), as rolled. Magnification 200 x



Slika 9

Primer mikrostrukture jekla Č 4570 (Prokron 2 sp.) v valjanem stanju (pov. 200 ×)

Fig. 9

An example of the microstructure of the C. 4570 steel (prokron 2 sp.), as rolled. Magnification 200 x

šarž je bila v predpisanih mejah, in sicer 0,17 do 0,22 % C, 0,006 — 0,030 % S, 0,30 — 0,55 % Si, 16,30 do 17,40 % Cr, 1,98 — 2,65 % Ni, 0,54 — 0,69 % Mn in 0,03 — 0,20 % Mo. Ugotovljeno je bilo, da na vsebnost delta ferita v jeklu razen temperature in časa ogrevanja precej vpliva sestava jekla, četudi je znotraj predpisanih mej. Pri nižjih vsebnostih delta ferita (manj kot 10 %) pri plastični predelavi

$$X_{12} = f(X_4)$$

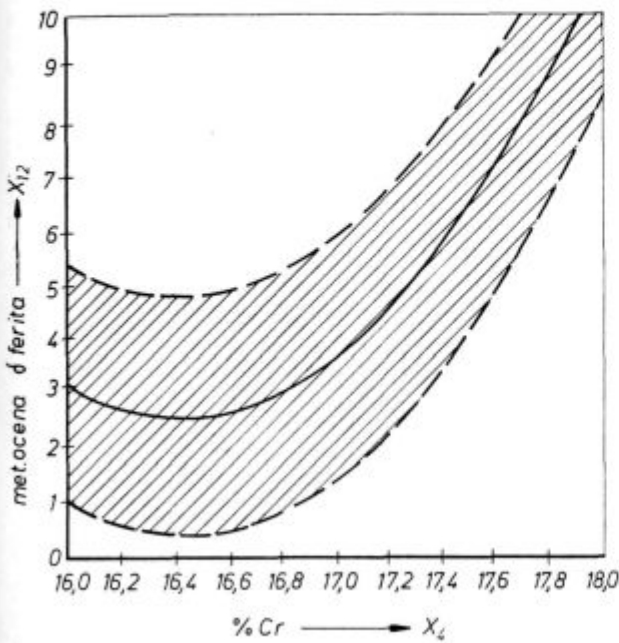
$$X_{12} = 284,515 - 3,131X_4^2 + 0,127X_4^3 \pm 2,2$$

$N = 23 \quad R^2 = 0,27 \quad S_y = 1,13$   
 $P = 90,0\% \quad R = 0,52$

$$X_{12} = f(X_5)$$

$$X_{12} = 10,195 - 3,008X_5 \pm 2,3$$

$N = 23 \quad R^2 = 0,19 \quad S_y = 1,17$   
 $P = 95,0\% \quad R = 0,43$

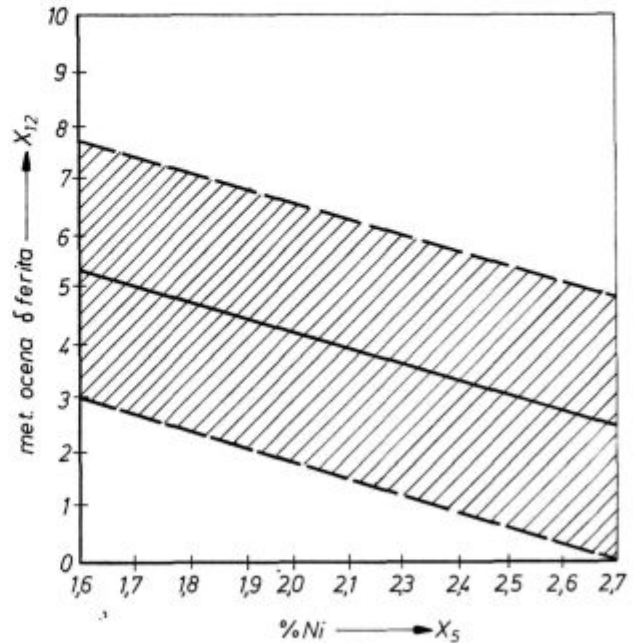


Slika 10

Vpliv kroma na tvorbo delta ferita v jeklu Č 4570 (Prokron 2 sp.)

Fig. 10

Influence of chromium on the formation of delta ferrite in Č. 4570 steel (prokron 2 sp.)



Slika 11

Vpliv niklja na tvorbo delta ferita v jeklu Č 4570 (Prokron 2 sp.)

Fig. 11

Influence of nickel on the formation of delta ferrite in Č. 4570 steel (prokron 2 sp.)

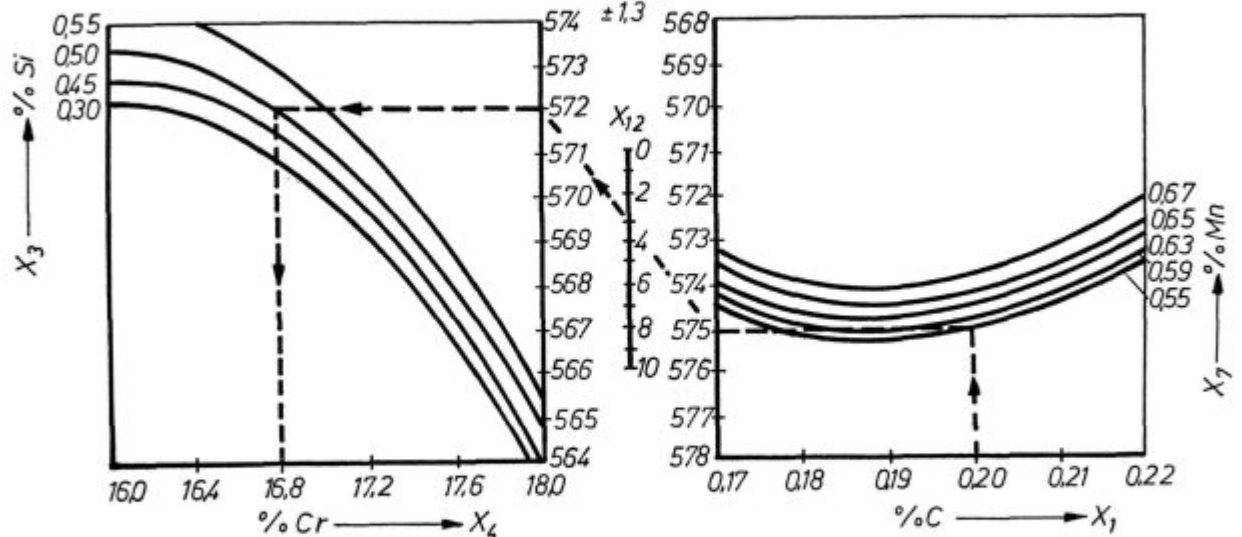
$$X_{12} = f(X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8)$$

$$X_{12} = 474,569 + 761,903 X_1 - 2009,019 X_2^2 + 104,053 X_7 - 94,503 X_7 + 34,219 X_3^2 - 49,93 X_3^2 + 72,089 X_4 + 2,248 X_4^2 \pm 1,3$$

$N = 23 \quad R = 0,82 \quad S_y = 0,6$   
 $P = 99\% \quad R^2 = 0,91$

$X_1 = \%C$   
 $X_3 = \%Si$   
 $X_4 = \%Cr$

$X_7 = \%Mn$   
 $X_{12} = \text{met. ocena } \delta \text{ ferita}$



Slika 12

Nomogram vpliva Cr, Si, C in Mn na tvorbo delta ferita v jeklu Č 4570 (Prokron 2 sp.)

Fig. 12

Nomogram of the influence of Cr, Si, C, and Mn on the formation of delta ferrite in Č. 4570 steel (prokron 2 sp.)



ni bilo težav, medtem ko smo pri višji vsebnosti (okoli 15 %) opazili razpoke na površini valjanca (glej sliko 3).

Na osnovi kemijske sestave šarž smo določili pričakovano vsebnost delta ferita s Schaefflerjevimi diagramom. Obenem smo z metalografskim pregledom struktur ocenili vsebnost delta ferita po GOST 11878. Primerjava dobljenih rezultatov ne kaže večjih odstopanj. Na sliki 8 je prikazana vsebnost delta ferita, ki ustreza po tabeli GOST oceni 2; oziroma 2—4 % in na sliki 9 vsebnost delta ferita z oceno 7, ki ustreza vsebnosti 15—18 %.

Z matematično — statistično analizo porazdelitve in regresije smo določili vpliv posameznih elementov na tvorbo delta ferita in s tem na predelovalno sposobnost tega jekla. Rezultati analiz so prikazani na slikah 10, 11 in 12.

Na sliki 10 je prikazan diagram vpliva kroma na vsebnost delta ferita, iz katere je razvidno, da povečana vsebnost kroma močno zvišuje vsebnost delta ferita, to pa poslabša plastičnost jekla.

Vpliv niklja na tvorbo delta ferita prikazuje slika 11.

Z nomogramom na sliki 12 so prikazani vplivni elementi na tvorbo delta ferita v jeklu Č 4570 (Prokron 2 sp.). Tako lahko ugotovimo najugodnejšo kemično sestavo za čimnižje vsebnosti delta ferita in za zagotavljanje zadovoljive plastičnosti pri predelavi.

#### Zaključek:

Skupina nerjavnih jekel je v tehniki zastopana z veliko vrst jekel, ki se pri izdelavi in predelavi različno obnašajo. Glavni problem predelovalnosti nerjavnih jekel so karakteristične napake (raztrganine na površini), ki so v glavnem posledica dvofazne strukture. Raziskave nekaterih vrst teh jekel so pokazale, da je za uspešno izdelavo in predelavo potrebno izpolniti nekatere pogoje, kot so:

1. kemična sestava mora biti takšna, da ima jeklo v litem stanju manj kot 10% alfa faze (delta ferita);
2. ogrevanje nerjavnih jekel mora biti v predpisanem območju temperature (1160—1230°C) in časa;
3. obstaja možnost ugodne kombinacije kemijske sestave za jeklo Č 4570 (Prokron 2 sp.) znotraj predpisanega območja za dosego čimnižje vsebnosti delta ferita in s tem izboljšanje plastičnosti jekla.

#### Literatura:

1. Rapatz F., Die Edelmärkte, Berlin, Springer Verlag 1962, str. 599—607
2. Jezeršek A.: Problematičnost določevanja nastajanja delta ferita v avstenitnih nerjavnih jeklih, Zelezarski zbornik 1970, št. 2
3. Božić B.: Fizička metalurgija, Beograd 1964, str. 425 do 429
4. Schaeffler: Metal Progress 1949, str. 680
5. Zajkov M. A.: Režimi deformaci i usilija pri gorjačej prokatke, Sverdlovsk, Metallurgizdat 1960
6. Vizjak F.: Vpliv alfa faze na plastičnost Cr-Ni avstenitnih jekel, Zelezarski zbornik 1972, št. 4
7. Stocca B.: Vzroki slabe plastičnosti jekel tipa 18/8, Zelezarski zbornik 1972, št. 1

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Gruppe der nichtrostenden Stähle besteht aus einer grossen Zahl verschiedenartiger Stähle, welche sich bei der Erzeugung und Verarbeitung auch ganz verschieden betragen. Das wichtigste Problem bei der Warmverformung der nichtrostenden Stähle sind Oberflächenfehler welche als Folge eines zweiphasigen Gefüges sind.

Die Untersuchungen an einigen Stahlsorten zeigen, dass für eine erfolgreiche Erzeugung und Verarbeitung folgende Bedingungen erfüllt sein müssen:

1. Der Stahl soll eine solche chemische Zusammen-

setzung aufweisen, dass im Gusszustand weniger als 10% des Delta-Ferrites enthalten sind.

— 2. Die Erwärmung der nichtrostenden Stähle soll im vorgeschriebenem Temperaturbereich von 1160 bis 1230°C und vorgeschriebener Zeit erfolgen.

— 3. Im Bereich der vorgeschriebenen Analysengrenzen ist es beim Stahl Č 4570 (Prokron 2 sp.) möglich die chemische Zusammensetzung so zu wählen, dass ein niedriger Delta-Ferritgehalt und damit eine gute Verformbarkeit gewährleistet wird.

### SUMMARY

The group of stainless steel consists of a great number of steels which behave differently in manufacturing and working. The main problem in working stainless steel are the characteristic defects (pulls one the surface) which are mainly the consequence of the two-phase structure. Investigations of some steel types showed that some conditions must be fulfilled for successful manufacturing and working:

— chemical composition must be such that steel, as cast, contains less than 10% alpha phase (delta ferrite).

— heating of stainless steel must be in the prescribed temperature (1160 to 1230°C) and time range.

— the possibility of favourable combination of chemical composition of Č.4570 (Prokron 2 sp.) exists inside the prescribed range to obtain the lowest possible delta ferrite content and thus the improved plasticity of steel.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Группа нержавеющей сталей содержит большое число марок сталей, поведение которых при переработке весьма различно. Главный вопрос, что касается обрабатываемости нержавеющей сталей представляет возникновение типичных дефектов (поверхностные трещины), причина которых двухфазная структура. Исследования некоторых марок этих сталей показали, что для обеспечения успешного изготовления и переработки сталей надо выполнить соответствующие условия, а именно:

— 1. Расплав стали, что касается химического состава должен иметь не более 10-ти % альфа-фазы (дельта-феррит);

— 2. Нагрев нержавеющей сталей должен быть в предписанном диапазоне темп-ры (1160—1230°C) и времени.

Исследования, выполненные на стали марки Č. 4570 (Prokron 2 sp.) показали, что при благоприятной комбинации химического состава внутри предписанных пределов есть возможность для получения расплава с низким содержанием дельта-феррита и, таким образом улучшения пластичности стали.

# Značilnosti kvantitativne metalografske analize s sprego raster-elektronskega mikroskopa in naprave za analizo slike

UDK: 620.187

ASM/SLA: Tsh

F. Vodopivec in M. Jakupovič

*Opis značilnosti naprave in njenih prednosti pred napravami, ki analizirajo optično sliko vzorca. Analiza dosegljive natančnosti dela naprave in njene ločljivosti. Analiza subjektivnih analitskih napak. Razprava o obsegu analize, ki da realno sliko analiziranega vzorca.*

## UVOD

Lastnosti kovinskih gradiv so odvisne od sestave in mikrostrukture. S pomočjo različnih postopkov za kemično analizo se določa količina posamičnih elementov v gradivih, po posebnih metodah tudi količina posamičnih faz, npr. nekovinskih vključkov, karbidov in podobno. Tako dobljene številčne vrednosti se uporabljajo kot parameter pri iskanju korelacij z uporabnimi in predelovalnimi lastnostmi gradiv.

Metalografija se je dolgo časa razvijala predvsem v smeri kvalitativnega spoznavanja mikrostrukture kovin. Velika raznovrstnost mikrostruktur tudi pri enaki osnovni sestavi kovinskih gradiv je bila vzrok, da se razmeroma dolgo časa niso razvile rutinske metode za kvantitativno ovrednotenje mikrostrukture. Zadovoljevali smo se s tem, da smo s pomočjo optičnega mikroskopa (OM) ovrednotili najbolj značilne parametre mikrostrukture (velikost zrn, količina in velikost vključkov, trakavost in podobno) po primerjalni metodi in pri tem uporabljali etalone, ki so najbolj popolni v ASTM in GOST standardih. Ta način ovrednotenja mikrostrukture je subjektiven, zato ima za posledico precejšnje razlike pri oceni istega vzorca v različnih laboratorijih; razlika je celo med oceno, ki jo izvršijo različne osebe v istem laboratoriju. Ruddlestone in sodelavci navajajo na osnovi BISRA izkušenj<sup>1</sup>, da subjektivna napaka onemogoča, da bi se izboljšale sedanje primerjalne metode, zato nima pravega smisla naprej razvijati take metode. Pred leti so v okviru UJŽ (Udruženje jugoslovenskih železara) v 11 laboratorijih v Jugoslaviji določili količine vključkov v 11 identičnih vzorcih jekla. Rezultati so se razlikovali za 50 % od

aritmetičnega povprečja pri ovrednotenju sulfidnih vključkov<sup>2</sup>. To potrjuje angleške izkušnje.

Zato je razvoj metod za kvantitativno analizo mikrostrukture (kvantitativna metalografija — KM) usmerjala potreba po numeričnem ovrednotenju in potreba po večji točnosti in ponovljivosti. KM seveda ni nič novega. V preteklosti so bile poznane in z uspehom uporabljene tudi pri različne metode za kvantitativno ovrednotenje posamičnih parametrov mikrostrukture. Naj navedemo nekaj primerov: raziskava raztapljanja in tvorbe karbidov v jeklu za kroglične ležaje<sup>3</sup>, dogajanja pri ogrevanju dinamo jekla<sup>4</sup>, korelacija med količino sulfidnih vključkov in lastnostmi jekel<sup>5,6,7</sup>, dogajanja pri rekristalizaciji in normalizaciji mikrolegiranega jekla<sup>8,9</sup>, kinetika premene avstenita v mikrolegiranih jeklih<sup>10,11</sup>, raziskave statične in dinamične rekristalizacije feritnih in avstenitnih jekel<sup>12</sup> in drugo.

Vendar je razširjenje metod za KM omogočil šele razvoj avtomatičnih naprav za analizo slike. Historiat razvoja teh naprav, od intergracijskih mizic do sodobnih naprav, najdemo v delu J. Rodiča<sup>13</sup>, ki poroča tudi o uporabnih izkušnjah pri raziskavah ledeburitnega jekla z 1,5 % C in 12 % Cr<sup>14</sup>. Obe razpravi sta lahko dostopni, zato njune vsebine ne bomo ponavljali.

Za kvantitativno ovrednotenje mikrostrukture so potrebni naslednji podatki: volumski delež posamičnih sestavnih faz (vključki, karbidi itd.), povprečna velikost kristalnih zrn matriksa, povprečna velikost zrn sestavnih faz, histogram porazdelitve velikosti zrn teh faz in enakomernost v porazdelitvi posamičnih komponent v mikrostrukturi (izceje, trakavost itd.).

Osnova za moderno KM so naprave za analizo slike. O napravah, ki delujejo na osnovi OM, je poročal J. Rodič, zato bomo le na kratko povzeli njihovo zgradbo. Televizijska kamera posname sliko OM ali posnetek, televizijska slika se nato diskriminira v odvisnosti od svetilnosti posamičnih faz, nato se avtomatično preštejejo in izmerijo zrna teh faz, podatki se vodijo v računalnik, ki jih uredi, računsko obdela in odtipka rezultate ali jih pokaže na zaslonu v odvisnosti od vrste programa, začetnih pogojev in posebnih vprašanj.

Natančnost dela IMA naprave (naprave za analizo slike) je odvisna od kontrasta posamičnih faz

dr. Franc Vodopivec, dipl. inž., je samostojni raziskovalec na Metalurškem inštitutu v Ljubljani

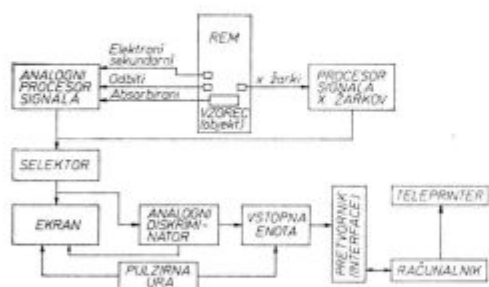
M. Jakupovič, met. tehn., je sodelavec na Metalurškem inštitutu v Ljubljani

v mikrostrukturi in od ločljivosti mikroskopa. Lahko pričakujemo zato večjo natančnost tam, kjer so velike razlike v optičnem kontrastu (na primer nekovinski vključki v jeklu) in večje težave tam, kjer je majhen svetlobni kontrast (na primer karbidi in intermetalne faze v jeklih). Zato pravilno ugotavlja Rodič, da je potrebno vložiti mnogo dela pri razvoju KM v izboljšanje priprave obruskov in povečanje svetlobnega kontrasta med fazami, ki oblikujejo mikrostrukturo gradiv.

Drugi parameter kvalitete KM je ločljivost mikroskopa. Teoretična ločljivost optičnega mikroskopa pri opazovanju v zeleni svetlobi je  $0,175 \mu\text{m}^{15}$ . Izkušen metalograf ve povedati, da je taka ločljivost nedosegljiva pri rutinskem delu z OM in da je potrebna posebna skrb že tedaj, ko opazujemo delce z velikostjo okoli mikrona, še posebej pa je potrebno pazljivo delo, če hočemo izmeriti njihovo velikost s sprejemljivo napako.

Televizijska kamera sicer nekajkrat poveča sliko OM, zato na ekranu opazujemo pri povečavi do 10000 krat, vendar to ne more odpraviti napake, ki nastane zaradi omejene ločljivosti OM, ki da osnovno sliko. Za tvorbo slike mikrostrukture pa je mogoče uporabiti tudi drugačne mikroskope, predvsem elektronske mikroskope, tako presevalne kot rasterske (REM). Za večino metalurških laboratorijev je posebno zanimiv REM zato, ker omogoča, da neposredno opazujemo površino obruskov, ki so pripravljene za OM.

REM ima teoretično ločljivost pod  $0,01 \mu\text{m}$ , torej za več kot red velikosti boljšo ločljivost kot OM. REM ima tudi zelo veliko globinsko ostrino, zato je mogoče celo neposredno opazovanje zelo reliefnih prelomnih površin. Tretja prednost REM je možnost opazovanja z več vrstami elektronov: sekundarnimi, odbitimi in absorbiranimi. Intenziteta sekundarnih elektronov je odvisna od topografije in deloma od kemijske sestave, intenziteta odbitih in absorbiranih elektronov pa je odvisna neposredno od povprečne atomske teže opazovane faze. Je torej sorazmerna elementni sestavi faze. Zato lahko na osnovi slike odbitih elektronov ločimo posamične faze, ki se razlikujejo po kemični sestavi, četudi med njimi ni optič-

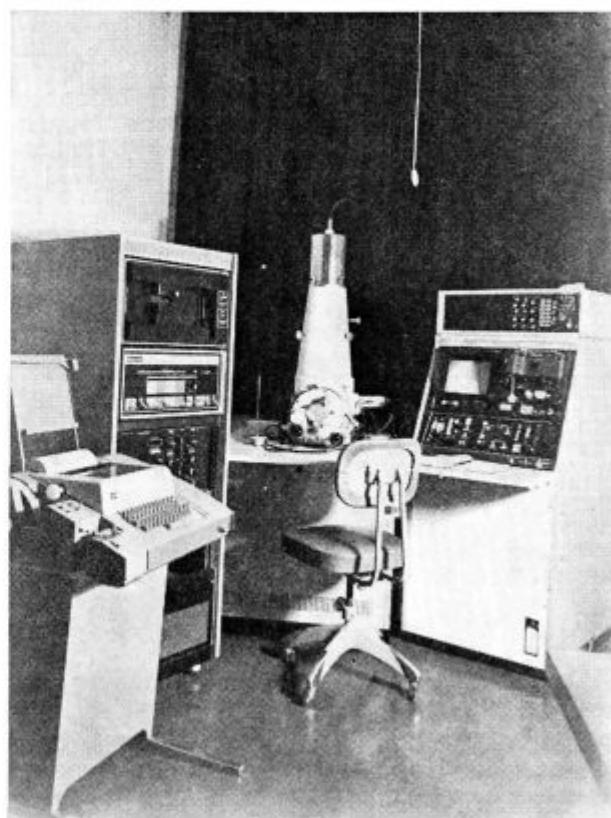


Slika 1

Blok shema sklopa raster mikroskopa — naprava za analizo slike

Fig. 1

Block scheme of the scanning microscope image analyzer combination



Slika 2

Videz sklopa raster mikroskop — naprava za analizo slike na Metalurškem inštitutu v Ljubljani

Fig. 2

Picture of the scanning microscope image analyzer combination in the Institute of Metallurgy in Ljubljana

nega kontrasta. Ločljivost REM je manjša, če opazujemo površino s pomočjo odbitih elektronov. REM je mogoče opremiti tudi z rentgenskimi spektrometri in nato uporabljati specifične X posnetke kot signal za KM. Pri povezavi REM + IMA ni pretvorbe slike, ampak se signal zajema neposredno na vzorcu. To odpravi eno od metodoloških napak.

Menili smo, da ima sklop REM + IMA nekatere prednosti pred sklopom OM + IMA. Zato je bilo odločeno, da na metalurškem inštitutu v Ljubljani nabavimo sprego REM + IMA, čeprav so take naprave danes še razmeroma redke tudi v razvitih državah.

### Zgradba in delo sprega REM + IMA

Blok shemo naprave REM + IMA prikazuje sl. 1<sup>16</sup>. Signal se iz REM vodi skozi analogni procesor in selektor na slikovni ekran, kjer opazujemo normalno (analogno) sliko. Pred ekranom se prestreže signal za IMA in vodi skozi procesor, kjer se pretvori v binarno (črno-belo) sliko. Ekran IMA naprave je sestavljen iz 500 paralelnih črt (lahko tudi več), vsaka od teh pa iz 500 točk, zato obsega celotna površina ekrana 250000 točk (lahko tudi več), oz. digitalnih impulzov. Pri avtomatični ana-



lizi računalnik prešteje število impulzov, ki ustreza diskriminirani fazi in jih razvrsti v razrede. Na zahtevo operaterja podatke, zbrane z enega ali več vidnih polj, računsko obdela in jih prikaže po navodilih operaterja in programu analize. Slika 2 prikazuje napravo na metalurškem inštitutu. Na sliki 3 vidimo, kako se normalna (analogna) slika pretvori z diskriminacijo naprej v binarni signal (črnobelo sliko), nato se ta s pomočjo ure digitira in spravi v obliko, ki jo lahko sprejme računalnik. Računalnik ima posebne logične enote, ki obdelujejo zaporedje prihoda signalov ter omogočajo pravilno ovrednotenje točk, ki oblikujejo ravninsko sliko določene mikrostrukturne faze.

Diskriminator ima dva nivoja. Na diskriminirani sliki se pojavi le faza, ki ustreza določeni intenziteti elektronov, v OM bi rekli določeni svetilnosti.

Na MI je naprava opremljena s standardnimi programi: za količino posamičnih faz, za histogram velikostne porazdelitve zrn po dolžini tetive, za histogram velikostne porazdelitve po površini in za medlamelarno razdaljo. V pogosti uporabi so predvsem prvi trije. Pred analizo operater vstavi v računalnik tudi posebne zahteve in podatke: mikroskopsko povečavo; najmanjše zrno, ki ga je potrebno še upoštevati; interval porazdelitve v histogramih in drugo.

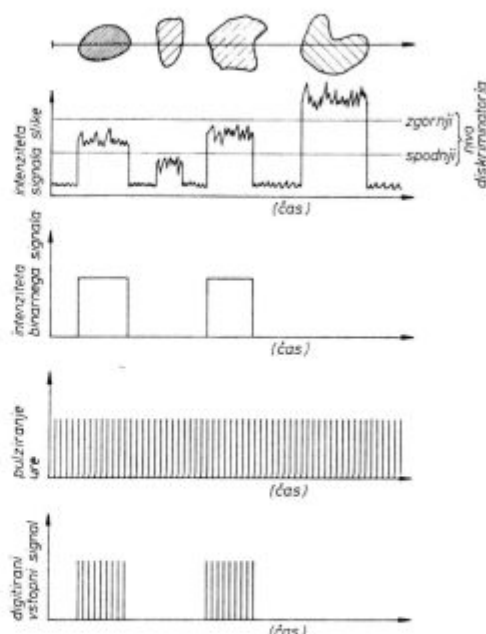
Za tvorbo slike in njeno analizo na zaslonu je na voljo 250000 točk, ne glede na povečavo, zato je ločljivost IMA naprave odvisna od povečave in ločljivosti mikroskopa. Po podatkih proizvajalca dosega ločljivost naprave eno točko na zaslonu. To seveda ne pomeni, da je taka tudi realna ločljivost naprave. Površina zrn različnih faz, ki oblikujejo mikrostrukturo gradiva, se ne ujema s celim številom slikovnih točk. Iz čim več točk je ta slika sestavljena, tem manjša je napaka zaradi nepopolnega prekrivanja točkovne (binarne) slike in realne slike in tem manjša je tudi napaka operaterja pri nastavitvi nivojev diskriminacije.

Točnost rezultatov in ločljivost sta odvisna od kvalitete in stabilnosti naprave, predvsem elektronike in precej tudi od dela operaterja. Vpliv operaterja se kaže v kvaliteti pripravljenega vzorca, v fokusiranju REM in v nastavitvi diskriminacije. Ločljivost je seveda odvisna predvsem od fokusiranja mikroskopa. Premer snopa v REM mora biti pod  $0,01 \mu\text{m}$ , sicer ne moremo pričakovati dobre slike in velike ločljivosti. Iz podatkov, katere navaja že omenjeni Ruddlestone, je razvidno, da so podobni problemi tudi pri uporabi sprege OM + IMA.

## METODOLOŠKE ZNAČILNOSTI DELA S SPREGO REM + IMA

### Točnost analize

Analize zmogljivosti bi ocenili najlaže, če bi imeli na voljo primerjalne etalone. Teh ni, zato ta možnost odpade. Druga možnost je primerjava



Slika 3

Shematičen prikaz pretvorbe analogne slike v binarno in digitiranja binarne slike z visokofrekvenčno uro

Fig. 3

Schematic presentation of the transformation of the analogue image into a binary one, and digitizing binary image by a high-frequency counter

z drugimi aparaturami z analizo identičnih vzorcev. Tega ni bilo mogoče uresničiti, zato se opiramo pri razpravi o točnosti analize in ločljivosti naprave (sposobnosti, da pokaže v realni velikosti tudi najmanjše delce) na večkratno analizo istih vzorcev na osnovi dveh metod za oblikovanje slike vzorca: sekundarnih in odbitih elektronov (SE in BE).

Pred razpravo o ločljivosti, ki je eden od kazalcev kvalitete vseh IMA naprav, moramo oceniti napako zaradi nepopolne stabilnosti elektronike in subjektivno napako operaterja.

Večkratne analize istih vzorcev so pokazale, da je ponovljivost meritev relativno zelo dobra. V jeklu za avtomate s ca. 2 % vključkov MnS je relativno odstopanje pri analizah istega mesta manjše od 0,5 %. Podobno velja za jeklo s ca. 7,4 % karbida  $\text{M}_6\text{C}$ . Odstopanje zraste preko 1 %, če se diskriminacijski nivoji ohranijo nedotaknjeni več kot 5 minut. Ponovljivost 1 % zaradi nestabilnosti aparature je zelo dobra. Pri 2 % vključkov MnS v jeklu za avtomate je absolutno odstopanje 0,04 %, kar je mnogo manj od razlik v količini vključkov v posamičnih mikroskopskih vidnih poljih. Ta odstopanja so prikazana v tabeli 1. Kljub temu se nam zdi, da ne bi bilo umestno, da se analiza zadostnega števila vidnih polj, ki je potrebna, da bi se opredelilo zanesljivo povprečje, izvrši, ne da bi operater občasno nastavil diskriminacijske nivoje.

Pri zelo kratkotrajnih analizah je večja subjektivna napaka operaterja pri delu, kot napaka zaradi nestabilnosti naprave. To napako smo pre-



**Tabela 1: Količina vključkov MnS v jeklu za avtomate in količina karbidov tipa  $M_6C$  v brzoreznem jeklu (v %)**

Polje	Jeklo za avtomate a			Brzorezno jeklo b	
	pov. 300 ×	pov. 1200 ×	3,258	BE pov. 4000 ×	SE
1	1,336	0,658	3,258	8,203	7,070
2	1,986	0,705	1,677	7,390	8,265
3	2,198	1,980	1,892	9,565	7,178
4	1,987	1,587	2,123	5,755	7,210
5	2,017	1,233	1,900	7,700	6,576
6	1,869	1,969	2,853	5,229	7,870
7	2,736	2,495	1,441	5,953	11,943
8	2,457	1,600	0,706	6,010	5,914
9	2,207	2,470	1,632	9,726	8,393
10	1,886	1,521	1,177	5,277	8,376
11	2,040	3,469	1,491	9,407	5,208
12	1,463	1,489	1,432	7,476	9,526
13	2,408	4,095	2,266	2,887	6,268
14	1,537	2,263	2,306	7,844	7,588
15	2,105	0,825	1,377	5,923	6,768
16	2,750	0,360	0,228	6,908	3,726
17	1,958	2,227	4,648	6,891	11,575
18	1,794	2,298	1,160	7,287	7,385
19	1,451	0,795	1,261	5,501	8,185
20	1,859	3,154	1,898	10,501	6,381
21	1,424	1,627	1,592	6,216	7,815
22	1,499	1,862	1,887	8,066	4,990
23	1,245	1,827	0,542	8,196	8,573
24	2,258	1,808	0,794	7,181	7,095
25	1,876	0,881	2,679	9,509	7,856
arit.					
pop.	1,934	1,808	1,769	7,380	7,510
stan.					
dev.	0,410	0,902	0,928	1,500	1,800

a — serija meritev

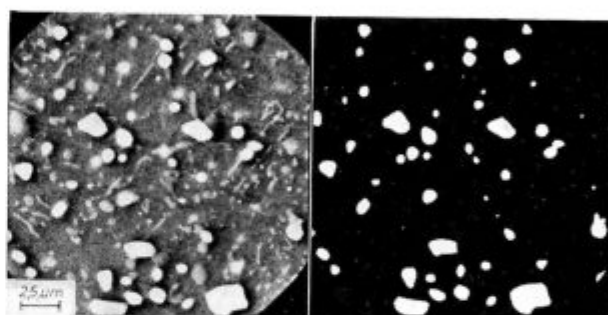
b, c — analizirano na osnovi slike sekundarnih in odbitih elektronov

verili s ponavljanjem analize karbidov tipa  $M_6C$  v istem vidnem polju. Operater je po vsaki analizi ponovno nastavil ostrino slike in diskriminacijska nivoja. Relativno odstopanje pri 10 zaporednih analizah, ki so bile izvršene v serijah ob različnih datumih, je bilo v povprečju pod 5 %. Če upoštevamo, da ima jeklo v povprečju 7,4 % karbidov tipa  $M_6C$ , je torej absolutna napaka 0,37 %. Napaka je bila dvakrat manjša pri analizi količine vključkov MnS v jeklu za avtomate zaradi večjega kontrasta slike in ostrejših kontur vključkov. Lahko zaključimo razpravo o točnosti analize z ugotovitvijo, da relativna napaka ne presega 5 % pri dobrem operaterju in standardni stabilnosti elektronike. Odstopanje se zdi veliko, vendar je majhno, če ga primerjamo z razlikami v količini karbidov in vključkov med različnimi vidnimi polji. Te razlike dosegajo pri karbidnih 50 %, pri vključkih pa celo 100 %. Analitska napaka je tem večja, čim manjši je kontrast med ana-

lizirano fazo in matriksom, zato se mora operater pri izbiri načina oblikovanja slike vzorca ravnati po največjem dosegljivem kontrastu. To se seveda ne sme zgoditi na račun ločljivosti slike. Vir 17 navaja podatek, da je pri spreji OM + IMA subjektivno odstopanje 10 %.

### Geometrična ločljivost

Geometrično ločljivost sprege REM + IMA smo preverili na brzoreznem jeklu, v katerem so bila relativno drobna zrna karbida tipa  $M_6C$ , pa tudi drobna karbidna zrna tipa  $M_3C$ . Meritve so bile časovno premaknjene za ca. 6 mesecev. Prve so bile izvršene kmalu po montaži, druge po presledku ca. 3 mesecev in tretje po ponovnem podobnem presledku. Analize smo izvršili pri enotni povečavi 4000 na osnovi SE in BE slike.

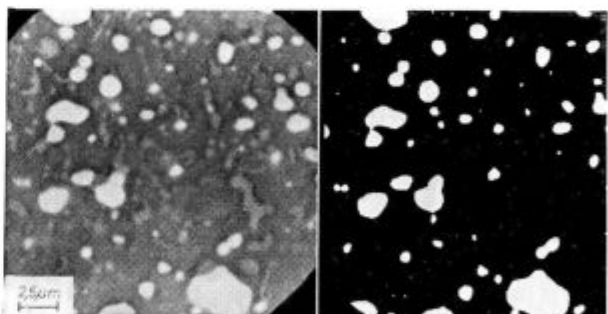


Slika 4

Posnetek karbidov v brzoreznem jeklu s pomočjo sekundarnih elektronov. Karbidna zrna tipa  $M_6C$  so diskriminirana na desni sliki

Fig. 4

Image of carbides in high-speed steel taken by secondary electrons.  $M_6C$  carbide grains are discriminated on the right side of the picture



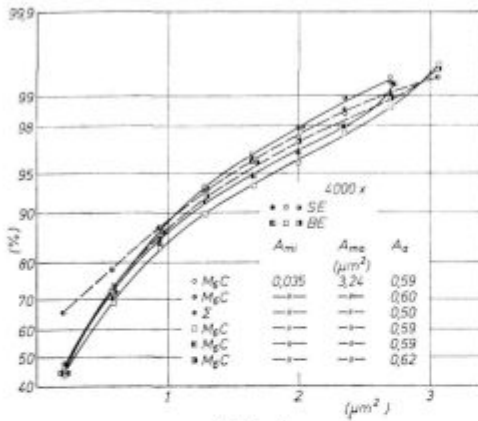
Slika 5

Posnetek karbidov s pomočjo odbitih elektronov v istem jeklu kot. sl. 5

Fig. 5

Image of carbides taken by reflected electrons in the same steel as in Fig. 4

Sliki 4 in 5 prikazujeta normalno in diskriminirano SE in BE sliko karbidov v jeklu. Karbidi tipa  $M_6C$  so bogati z volframom, zato močneje odbijajo elektrone in so na slikah svetlejši. Drugi karbidi so tipa  $M_3C$  in po kontrastu relativno malo odstopajo od matriksa.



Slika 6

Histogrami velikostne porazdelitve karbidov v brzoreznem jeklu, ki je prikazano na sl. 5 in 6. SE-analiza na osnovi slike sekundarnih elektronov; BE-analiza na osnovi slike odbitih elektronov

Fig. 6

Size distribution curve of carbides in high-speed steel shown in Figs. 4 and 5. SE-analysis based on the secondary electrons image; BE — analysis based on the reflected electrons image

Grafikoni kumulativne pogostosti na sl. 6 prikazujejo porazdelitev karbidnih zrn tipa  $M_6C$  in v enem primeru porazdelitev vseh karbidov. V grafikonu so za vsako serijo meritev navedene še velikosti najmanjših in največjih karbidnih zrn, ki so bile upoštevane pri analizi, in aritmetična povprečna velikost vseh izmerjenih zrn. Porazdelitve so bile določene na osnovi meritev ca. 1500 karbidnih zrn.

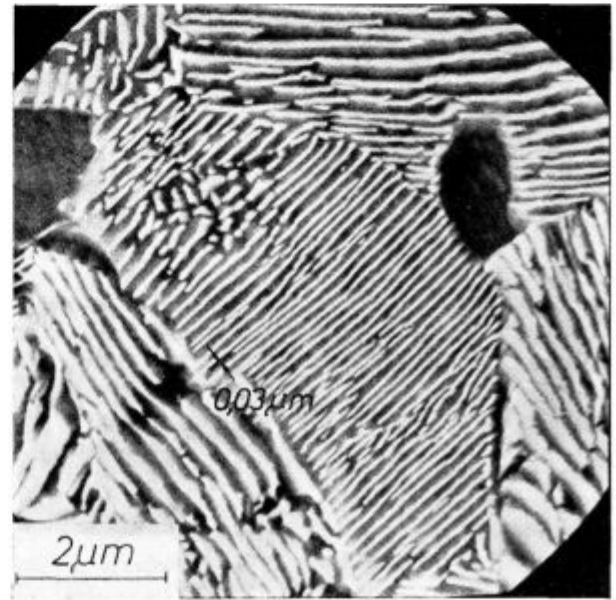
Histogrami nimajo oblike premic. To pove, da porazdelitev, vsaj taka, ki jo določimo na osnovi merjenja velikosti 1500 karbidnih zrn, ne ustreza Gaussovi normalni porazdelitvi (17). Temu je vsaj deloma vzrok metodološki pristop k določanju histogramov. Pri analizi namreč niso bila upoštevana karbidna zrna, katerih binarna slika ni bila sestavljena vsaj iz 10 slikovnih točk na zaslonu, kar ustreza realni velikosti zrna  $0,023 \mu m^2$ . Pri izračunu porazdelitve niso bila upoštevana karbidna zrna, ki so bila manjša od spodnje meje in karbidna zrna, ki so bila večja od zgornje meje histograma. Na primer: v analizi je bilo prešteti 1500 zrn. Pri izračunu porazdelitve ni bilo upoštevanih 64 premajhnih in 30 prevelikih karbidnih zrn. Ni znano, kolikšno je bilo število zrn, manjših od 10 slikovnih točk.

Število karbidnih zrn, ki niso bila upoštevana pri izračunu porazdelitve, je torej precejšnje, in to gotovo nekoliko spači obliko porazdelitve. Ta torej velja le za pogoje, v katerih je bila določena.

S primerjavo posamičnih krivulj na sl. 6 ugotovimo, da dosega relativno odstopanje največ 4 % od povprečne vrednosti, odstopanje od povprečne velikosti zrn pa je celo manjše od 2 %. Pri tem velja poudariti, da so povprečne velikosti karbidnih zrn blizu  $0,6 \mu m^2$ , kar ustreza karbidnim zrnom

s premerom  $0,87 \mu m$ . Slika 7 nam torej pove, da je mogoče s sprego REM + IMA doseči geometrično ločljivost najmanj  $0,2 \mu m$ , kar ustreza površini  $0,035 \mu m^2$ . Na sliki 7 pa vidimo, da je ločljivost SE slike boljša od  $0,05 \mu m$ , zato je zelo verjetno mogoče doseči boljšo ločljivost ob primernem vzorcu.

Slika 8 prikazuje normalno BE sliko in binarno sliko vključkov manganovega sulfida v jeklu na prečnem preseku valjane palice. Histogrami velikosti porazdelitve vključkov (sl. 9), določeni pri različnih povečavah na osnovi ca. 1000 vključkov, odstopajo od povprečne vrednosti največ 4 %. Napaka je torej podobna kot pri porazdelitvi karbidov. Tudi odstopanje pri povprečni velikosti je pod 4 %. Povprečna velikost vključkov se močno

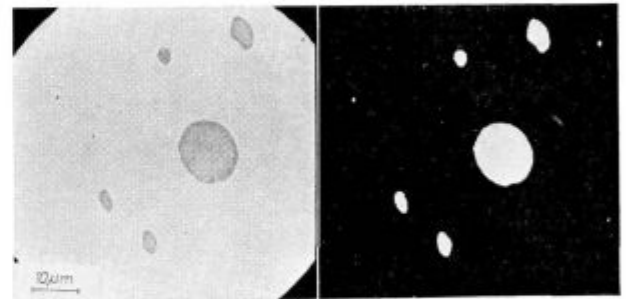


Slika 7

Posnetek lamelnarnega perlita v raster mikroskopu. Označena je cementitna lamela z debelino  $0,03 \mu m$

Fig. 7

Image of lamellar pearlite in the scanning microscope. Cementite lamella with thickness  $0.03 \mu m$  is marked

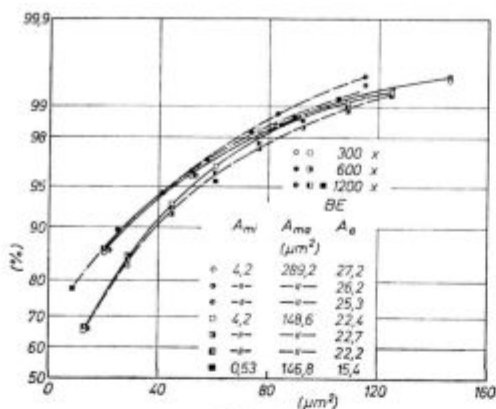


Slika 8

Posnetek vključkov manganovega sulfida na prečnem preseku jekla za avtomate s pomočjo odbitih elektronov

Fig. 8

Image of inclusion of manganese sulphide on the transverse section of free-cutting steel taken by reflected electrons



Slika 9

Histogrami velikostne porazdelitve vključkov manganovega sulfida na prečnem preseku jekla na sl. 9

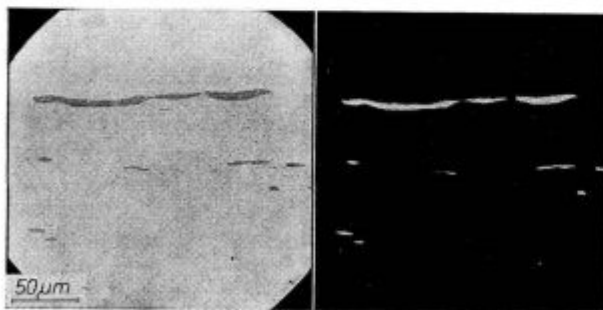
Fig. 9

Size distribution curve of manganese sulphide inclusions on the transverse section of steel in Fig. 8.

spremeni, ko se spremeni zgornja ali spodnja meja velikosti vključkov, ki so bili upoštevani pri analizi.

**Obseg potrebne analize:**

Pri rutinskem delu ni mogoče posvetiti analizi enega vzorca toliko časa, da bi dobili idealno porazdelitev. V skoraj nobenem primeru tudi ni mogoče iz eksperimentalnih razlogov analizirati vključkov in karbidnih zrn v vsem intervalu velikosti, v katerem so prisotni v jeklu, zato je pri analizi potrebno najti optimum, da je mogoče izvršiti analizo v razumnem času in pri tem dobiti zadosti objektivno ovrednotenje vzorca. Rezultati, ki so prikazani na slikah 6 in 9, kažejo, da je mogoče dobiti sliko o velikostni porazdelitvi zrn posamične faze v jeklih, že če analiziramo 1000 do 1500 zrn te faze. Porazdelitev zrn posamičnih faz v kovinskem matriksu ni enakomerna, zato je na različnih mestih površine istega obruska različno število in površina zrn analizirane faze. Zato je



Slika 10

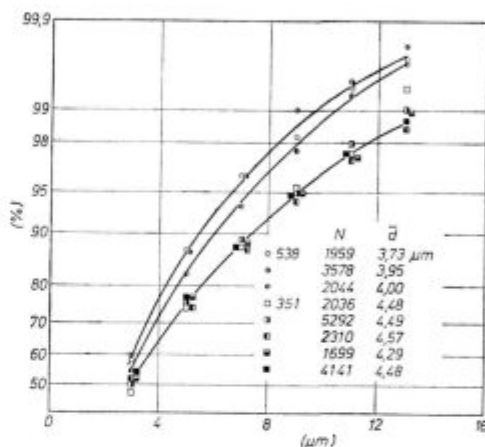
Vključki manganovega sulfida na vzdolžnem preseku jekla za avtomate. Analize, katerih rezultati so na slikah 11 in 12, so bile izvršene na jeklih s podobnimi vključki

Fig. 10

Manganese sulphide inclusions on the longitudinal section of free-cutting steel. Analyses which results are presented in Figs. 11 and 12 were made with steel having similar inclusions

potrebno določiti količino te faze v tem več poljih, čim bolj je porazdelitev neenakomerna, če hočemo dobiti realno povprečje.

Na jeklu za avtomate smo izvršili serijo analiz, na osnovi katerih lahko približno odgovorimo, koliko vidnih polj mikroskopa je potrebno analizirati, da dobimo zadovoljivo povprečje. Povprečna količina vključkov je zadovoljivo definirana, če analiziramo 25 vidnih polj pri povečavah 300 x ali 1200 x na istem vzorcu. Vidno polje ima pri povečavi 300 x 16-krat večjo površino, kot pri povečavi 1200 x. Zato je v prvem primeru povprečna količina določena z analizo približno 2300 vključkov, v drugem primeru pa le z analizo 140 vključkov. Kljub tako veliki razliki med številom izmerjenih vključkov, oz. veliki razliki med analizirano povr-



Slika 11

Histogrami porazdelitve vključkov po debelini na dveh jeklih za avtomate. Porazdelitev je bila določena z neodvisnimi analizami na osnovi različnega števila vključkov: N — število izmerjenih vključkov d — poprečna debelina izmerjenih vključkov

Fig. 11

Size distribution curves of inclusions in the thickness direction for two free-cutting steel. The distribution was determined by independent analyses based on various amounts of inclusions: N — number of measured inclusions, d — average thickness of measured inclusions

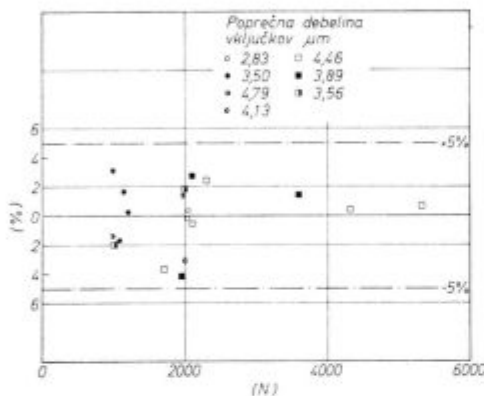
šino, se povprečni vrednosti zadovoljivo ujemata. Lahko torej sklepamo, da zadostuje pri serijskem delu podobne naprave, kot so nekovinski vključki v jeklu, analiza toliko polj, da je celotno izmerjeno število vključkov najmanj 200. V tem primeru bomo dobili povprečje, ki ne bo pomembno odstopalo od povprečja, ki ga dobimo z meritvijo površine, na kateri je desetkrat več vključkov. Analizirana polja morajo biti enakomerno porazdeljena po vzorcu, če le ni izrazite neenakomernosti, na primer: analiza pločevine, v kateri so zaradi dvoplastnosti verige zrnatih oksidnih vključkov. Ta ugotovitev omogoča, da se opredeli čas za analizo vzorca v odvisnosti od točnosti, s katero naj bo definirana povprečna vrednost.

Izvršili smo več paralelnih serij meritev povprečne debeline sulfidnih vključkov v 7 različnih jeklih za avtomate s ciljem, da preverimo, koliko



meritev je potrebnih, da bi opredelili sprejemljivo napako povprečno debelino vključkov, ki so debelejši od  $2\ \mu\text{m}$ . Vključki so bili podobni tistim, ki jih prikazuje sl. 10. Rezultati teh meritev so prikazani v slikah 11 in 12. Na sliki 11 so za dve šarži histogrami kumulativne pogostosti, ki so bili določeni z neodvisnimi analizami, ki so zajemale od 1699 do 5292 vključkov. Iz povprečja vseh neodvisnih meritev smo določili povprečno debelino vključkov, nato pa definirali kot relativno napako odstopanje povprečne vrednosti posamičnih neodvisnih meritev od te povprečne debeline. Rezultati teh meritev so prikazani v grafikonu na sliki 12.

Relativna odstopanja v posamičnih razredih histogramov na sl. 11 so v intervalu 5 %, neodvisno od števila vključkov, na osnovi katere je bila določena debelinska porazdelitev. Enako drži za re-



Slika 12

Na abscisi je število sulfidnih vključkov, katerih debelina je bila izmerjena v vsaki neodvisni seriji. Na ordinati je relativno odstopanje med rezultatom vsake analize in debelino, določeno kot povprečje vseh analiz na istem vzorcu

Fig. 12

Number of sulphide inclusions is plotted on the abscissa. Their thickness was measured in each independent series. Relative deviation of results of each analysis and of thickness determined as an average of all the analyses in the same sample was plotted on the ordinate

lativno odstopanje pri opredelitvi povprečne debeline, na osnovi analize 1000 do 5292 vključkov. Velja torej, da je mogoče pričakovati od avtomatične določitve debeline točnost  $\pm 5\%$  že tedaj, ko analiza zajema ca. 1000 vključkov.

V brzoreznem jeklu smo izvršili več analiz količine karbidov  $M_6C$  na osnovi BE in SE slike. Rezultati so prikazani v tabeli 1. Povprečji iz 25 analiziranih polj se razlikujeta med seboj za manj kot 4 %. Vse primerjalne meritve so pokazale, da so razlike med neodvisnimi analizami istih vzorcev v intervalu  $\pm 5\%$ , ob pogoju seveda, da je izvršena analiza toliko polj, ki zagotavlja objektivno povprečje, pri povprečnih vzorcih je to ca. 25 polj. V poglavju **Točnost analize** smo omenili, da je napaka zaradi netočnosti in nestabilnosti aparature manjša od 1 %, subjektivna napaka operaterja pa je v intervalu  $\pm 5\%$ . Podobna so odstopanja pri

paralelnih meritvah. Zato je logično sklepati, da je točnost in reproduktibilnost analize odvisna predvsem od subjektivne napake operaterja. To opravičuje zahtevo, da je za kvalitetno delo s sprejo REM + IMA potreben dober operater.

## ZAKLJUČEK

Na kratko smo opisali zgradbo sprege raster elektronskega mikroskopa in naprave za analizo slike in razpravljali o prednostih, ki jih nudi pred sprejo med optičnim mikroskopom in napravo za analizo slike. Zaradi večje ločljivosti rasterskega elektronskega mikroskopa je mogoče doseči večjo ločljivost. Uporaba sekundarnih elektronov in odbitih elektronov za tvorbo slike omogoča, da se laže kot v optičnem mikroskopu razločijo posamične faze od matriksa. Čeprav je naprava avtomatizirana, pa je potreben dober operater za uspešno delo z njo. V tem primeru je mogoče določiti povprečno količino posamične faze, histogram velikostne porazdelitve zrn te faze in povprečno velikost zrn te faze z napako, ki ni večja od 5 % pri geometrični ločljivosti  $0,2\ \mu\text{m}$  kar pa ni spodnja meja zmogljivosti naprave. Da bi dobili realne histograme za velikostne porazdelitve in realne povprečne vrednosti pri analizi vključkov in karbidov v jeklih, zadostuje analiza 1000 do 1500 delcev. Že na osnovi analize najmanj 200 vključkov pa je mogoče z zadovoljivo natančnostjo opredeliti količino sulfidnih vključkov v jeklu, kjer ni segregiranja in pretirane neenakomernosti v porazdelitvi vključkov.

## Literatura:

1. R. Ruddlestone, J. D. Thornton in M. D. Bowers: Metals Technology 3, št. 9, 422—432, 1976
2. Vodopivec F.: Interno poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, junij 1974
3. Vodopivec F.: Archiv Eisenhüttenwesens 42, 1971, št. 4, 1971
4. Vodopivec F., Arh J. in Ralič B.: Zelezarski zbornik 9, 1975, št. 3, 167—179
5. Vodopivec F., Arh J., Ralič B. in Lavrič T.: Revue de Metallurgie, v tisku
6. Vodopivec F., Gabrovšek M., Rak I., Ralič B. in Zvoček J.: Zelezarski zbornik 12, 1978, št. 1, 1—16
7. Vodopivec F. in Ralič B.: Zelezarski zbornik 8, 1974, št. 3, 165—169
8. Vodopivec F. in Gabrovšek M.: Härtereitechnische Mitteilungen 31, 1976, št. 4, 183—187
9. Vodopivec F., Gabrovšek M. in Kmetič M.: Zelezarski zbornik 11, 1977, št. 1, 13—28
10. Vodopivec F., Gabrovšek M. in Kmetič M.: Härtereitechnische Mitteilungen 32, 1977, št. 6, 284—291
11. Kmetič M., Vodopivec F. in Gabrovšek M.: Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani 492/1976
12. Kveder A.: disertacija na Univerzi v Ljubljani
13. Rodič J.: Zelezarski zbornik 9, 1975, št. 2, 89—106
14. Rodič J.: Zelezarski zbornik 9, 1975, št. 4, 217—238
15. Greffan K.: Disertacija na Univerzi v Hannoverju, 1971, Citirano po ref. 13
16. N. N.: JEOL News 11, 1973, št. 1, 1—12
17. Rose A., Mathesius H. A. in Hougardy H. O.: Archiv Eisenhüttenwesen 40, 1969, št. 4, 323—331



## ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Zusammensetzung eines Rasterbildes, welches in dem empfangsteil mit den elektronischen Bedienungseinrichtungen für die automatische Bildanalyse analysiert wird, hat die Anwendung des Rasterelektronenmikroskopes einige Vorteile im Vergleich mit dem Lichtmikroskop.

Die laterale Punktauflösung von Rasterelektronenmikroskop ist grösser, die Elektronenintensität, die Intensität der rückgestreuten Elektronen ist aber von der chemischen Zusammensetzung der analysierten Phase abhängig. Das bedeutet, dass es möglich ist am Bild Phasen zu unterscheiden, welche sich in der chemischen Zusammensetzung von der Matrix unterscheiden obwohl keine optische Kontraste da sind.

Ein zweiter Vorteil ist in dem, dass unmittelbar das Primärbild der Probe analysiert wird. Es sind mehrere Vergleichsanalysen gemacht worden um die Auflösung des REM, die Analysenreproduzierbarkeit, die Fehler wegen der Unstabilität, der subjektiven Fehler des Operateurs zu bestimmen und schliesslich den Umfang der Analyse zu bewerten deren Durchschnittswerte eine noch annehmbare Genauigkeit haben können.

Diese Vergleichsuntersuchungen zeigten, dass der Fehler wegen der Unstabilität der Anlage kleiner als 1% beträgt, der subjektive Fehler des Operateurs bei der Bild-

analyse mit genügendem Kontrast bewegt sich in einem Intervall von 5% vom Durchschnitt. Eine mehrfache Analyse der Karbide an einem Werkzeugstahl hat mit Hilfe des Bildes der sekundären und rückgestreuten Elektronen eine durchschnittliche Karbidgrösse von  $0,6 \mu\text{m}^2$  mit einer Abweichung kleiner als 5% ergeben, wobei die untere Grösse bei der Analyse berücksichtigten Körner  $0,2 \mu\text{m}^2$  betragen hat. Die Histogramme der Verteilung der Karbidkorngrösse zwischen  $0,2$  und  $3,2 \mu\text{m}^2$  weichen gegenseitig um weniger als 5% ab. In Automatenstählen hat die Abweichung der durchschnittlichen Einschlussgrösse und der Histogramme der Einschlussgrößenverteilung nicht grösser als 5% betragen, wenn die Analyse auf Grund von 1000 oder 5000 Einschlüssen durchgeführt worden ist. Die Abweichung des Volumenanteils der Einschlüsse war nicht grösser als 5%, wenn dieser auf Grund der Analyse einer solchen Feldzahl bestimmt worden ist, dass einmal ca 150 Einschlüsse und das nächstmal ca 1500 Einschlüsse berücksichtigt worden sind. Dieses bedeutet, dass es möglich ist eine Genauigkeit im Intervall von  $\pm 5\%$  zu erreichen, welche dem subjektiven Fehler des Operateurs entspricht, mit verhältnismässig kurzdauernden Analysen der Proben in welchen die Verteilung der einzelnen Phasen nicht zu ungleichmässig ist.

## SUMMARY

Scanning electron microscope has some advantages over the optical microscope in formation of the image which is analyzed by the automatic image analyzer. Scanning electron microscope has higher resolving power and the electron intensity especially that of reflected electrons depends on the chemical composition of the analyzed phase. It means that phases on the image can be resolved if they have different chemical composition than the matrix though their optical contrast is the same. The second advantage is that primary image of the sample is directly analyzed. Numerous comparative analyses were made in order to determine the resolving power of the analyzer, the reproducibility of analyses, the errors due to the instability, the subjective error of the operator, and finally to estimate the extent of analysis which gives average results with acceptable accuracy. It was found that the error due to the instability of the analyzer is less than 1% while the subjective error of the operator analysing images with

sufficient contrast is about 5% of the average values. In analysis of carbides in tool steel the average carbide size of  $0,6 \mu\text{m}^2$  was determined by repeated analyses and by taking images with secondary and reflected electrons. Deviation was less than 5% while the lower size of considered grain was  $0,2 \mu\text{m}^2$ . Particle size distribution curves of carbide grains with the sizes between  $0,2$  and  $3,2 \mu\text{m}^2$  varied for less than 5%. Particle size distribution curves and the average size did not vary more than 5% in free-cutting steel if the analysis was made with 1000 to 5000 inclusions. The volume portion of inclusions deviate less than 5% if it was determined by the analysis of such a number of fields that once about 150 and then 1500 inclusions were taken in account. It means that the accuracy in the  $\pm 5\%$  range can be obtained which corresponds to the subjective error of the operator while analyses are relatively short, and distribution of single phases in the samples was not extremely ununiform.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При образовании фазового портрета, анализ которого выполняется в приборе автоматического анализа растрового изображения, применение растрового электронного микроскопа имеет при сравнении с применением оптического микроскопа некоторые преимущества. Растровый электронный микроскоп имеет более лучшую способность разрешения интенсивности электронов. При этом надо взять во внимание, что интенсивность отклоненных электронов зависит от химического состава анализируемой фазы. Это значит, что можно различать фазы, которые отступают от химического состава матрицы не смотря на то, что изображение не различается что касается оптической контрастности. Следующее преимущество в том, что анализ первичного изображения образца выполняется непосредственно. Выполнен целый ряд сравнительных анализов с целью, чтобы определить: способность прибора разрешения интенсивности электронов, воспроизводительности анализа, погрешности вследствие нестабильности, субъективную погрешность оператора и, наконец, общую оценку анализа, средние результаты которого находятся в пределах приемленной точ-

ности. Оказалось, что погрешность из-за нестабильности прибора не превышает 1%, а субъективная погрешность оператора при анализе фазового портрета с достаточным контрастом находится в пределах 5-ти % среднего значения. При анализе карбидов в инструментальной стали, при помощи фазового портрета вторичных и отклоненных электронов определяли среднюю величину карбидов, которая составляет  $0,6 \mu\text{m}^2$  с погрешностью, которая не превышала 5-ти %, при чем, как нижний предел взяты зерна величины  $0,2 \mu\text{m}^2$ . Гистограммы градаций по размерам зерен величины в пределах между  $0,2$  и  $3,2 \mu\text{m}^2$  различались между собой не более, чем на 5%. Объемная доля включений также не отклонялась более чем на 5%, когда это определение было основано при анализе такого количества полей, что отвечало в одном случае 150-ти, а в другом случае прб. 1500 включением. Это значит, точность определения можно получить в интервале 5-ти % с сравнительно непродолжительными анализами образцов, в которых распределение отдельных фаз не слишком неравномерно.

# Problem varivosti debelostenskih varjencev iz konstrukcijskih jekel

UDK: 621.791.004:621.791.002  
ASM/SLA: K, k9s, 9-72

V. Prosenc in F. Seliškar

*Razpoke raznih izvorov kot problem varivosti nelegiranih konstrukcijskih jekel velikih debelin; analiza razpok na zvarjenem strojnem delu; primerjava sestave jekla z mehanskimi lastnostmi in dolžino razpok v varjencu; preskušanje varivosti s preskušanci z lastno vpetostjo; možnosti za vplivanje na varivost z avtomatizacijo varjenja.*

## 1. UVOD

Pri varjenju debelostenskih varjencev se pojavljajo številne težave, predvsem če debeline prekoračijo 40 do 50 mm. Tedaj varivost ni problematična samo pri zahtevnejših materialih (malo, srednje ali močno legiranih, oz. mikrolegiranih jeklih), ampak tudi že pri nelegiranih kvalitetah C 0462, 0463, 0563 in podobnih, ki so v normalnih debelinah pločevine (10 do 20 mm) vedno lahko variva. Problemi izhajajo iz številnih tehnoloških razlogov, ki so vedno prisotni pri varjenju debelih presekov. Ti so: velika hitrost ohlajanja vara zaradi intenzivnega odvoda toplote, velik dovod dodajnega materiala in z njim tudi toplote, neugodno večosno napetostno stanje v varu in velika togost varjene konstrukcije, ki se težko prilagodi z lastno plastično deformacijo varilnim napetostim.

Škodljivi vpliv vodika je pri velikih debelinah mnogo bolj izražen kot pri tankih materialih in tudi homogenost jekla je bolj problematična.

## 2. Postavitev problema

Največji problem pri varjenju debelostenskih varjencev je pokljivost. Vsi prej navedeni dejavniki prispevajo k nastajanju razpok. Te se lahko pojavljajo v varu ali v osnovnem materialu. Začetek imajo lahko v varu, a najpogosteje v prehodni coni in se nato nadaljujejo po prehodni coni ali pa prehajajo v var, oziroma osnovni material. Razpoke so vedno posledica notranjih napetosti in pogosteje nastajajo med ohlajanjem kot pa med ogrevanjem varjenca.

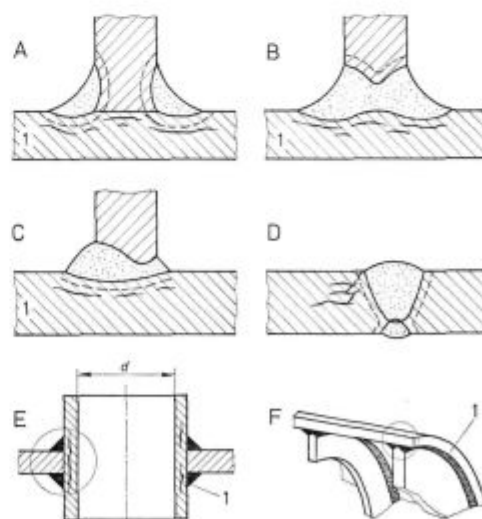
2.1 *Razpoke v varu* so lahko vroče ali hladne, a neposredni vzroki so lahko metalurški (široki interval strjevanja, nečistoče v materialu, oz. varu, nehomogenosti, neugodne strukturne spremene) ali

pa so splošni — varilski: neugodna ali nepravilna tehnologija varjenja, nekvaliteten dodajni material, vodik v varu, nekvalitetna izvedba varjenja in še drugo.

2.2 *Razpoke v osnovnem materialu* imajo lahko delno enake vzroke kot one v varu. To so predvsem metalurški vzroki: neprimerna sestava jekla, preveč nečistoč (žveplo), nehomogeni material (trakasta struktura), neustrezna predelava (valjanje), ki vodi do neustreznih mehanskih lastnosti, predvsem do prevelikih razlik v vzdolžni in prečni smeri ter po debelini.

2.3 *Lamelarni lom* je posebna vrsta razpok, ki se pojavljajo v osnovnem materialu. So izrazita posledica varilnih napetosti po debelini in metalurške nehomogenosti jekla. Skoraj vedno imajo svoj začetek v osnovnem materialu ali tik pod varom v prehodni coni, se nadaljujejo po osnovnem materialu in le redko prehajajo v var. Posebno nevarno je, če ostanejo zaprte pod površino in ne dosežejo večjih dimenzij ter se zato izmaknejo kontroli. Te so kasneje lahko izhodišče za porušitve.

Na sliki 1 je nekaj značilnih mest v varih za nastajanje lamelarnih razpok. V vseh primerih je oblika vara v konstrukciji takšna, da je osnovni material obremenjen v smeri debeline.

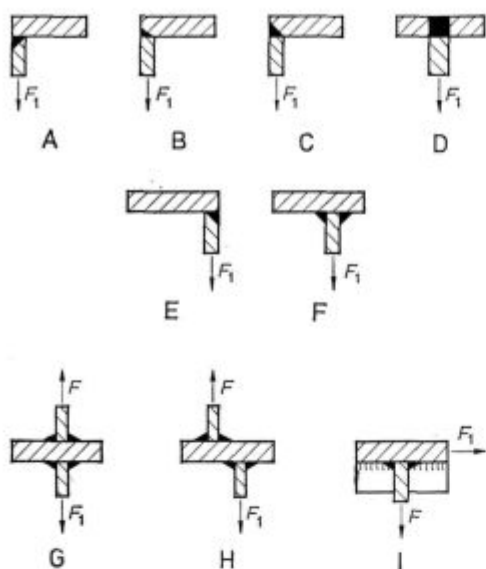


Slika 1  
Nekaj značilnih mest za pojavljanje lamelarnih razpok pod zviri

Fig. 1  
Some characteristic areas where lamellar cracks appeared under welds

Prof. dr. Viktor Prosenc, VTO — Fakulteta za strojništvo Ljubljana

Seliškar Franc, dipl. ing. — TZ Litostroj, Ljubljana



Slika 2

Nekateri obliki zvarov z različno nagnjenostjo k lamelnim razpokam

A zelo neugodno, B, C in D ugodnejše, E neugodno, F odmik z roba je ugodnejši, G slabo, H boljše, J vzdolžna lamela razmere izboljša

Fig. 2

Some shapes of welds with various susceptibility to lamellar cracking

A very unfavourable, B, C, and D more favourable, E unfavourable, F away from the edge is more favourable, G bad, H better, J longitudinal lamella improves the situation

K nastajanju lamelnih razpok prispeva svoj delež nekvaliteten material, nepravilna zasnova varjene konstrukcije, nepravilna izvedba varjenja in priprava varnega roba. Jeklo, ki naj bi bilo odporno proti lamelnemu lomu, naj bi bilo zelo čisto, s čim bolj izotropnimi mehanskimi lastnostmi.

Številni raziskovalci [1], [2] so iskali povezavo med sestavo, načinom izdelave in predelave jekla ter lamelnim lomom. Ugotovljeno je, da imajo zelo slab vpliv sulfidne in tudi oksidne nečistoče, izločene v obliki trakov. Zato naj žveplo v jeklu ne bi prekoračilo 0,01 %, ker se nad to vrednostjo že pojavljajo lamelarne razpoke, nižje pa ne. Istočasno mora biti zagotovljena tudi dobra dezoksidacija [3].

Odpornost proti lamelnemu lomu nakazujejo mehanske lastnosti v smeri debeline materiala. Največji poudarek je na kontrakciji v smeri debeline. Najnižja prečna kontrakcija (po debelini) naj bi bila ob nizki stopnji vpetosti najmanj 25 %, pri večjih vpetostih mora biti znatno višja. Zelo važno je torej konstruiranje, kjer naj bo velik poudarek na razporejanju in oblikovanju varov. Na sliki 2 je nekaj primerov oblike in namestitve varov s slabim vplivom na pokljivost in za primerjavo so prikazane ugodnejše izvedbe.

### 3. Analiza razpok na varjenem strojnem delu

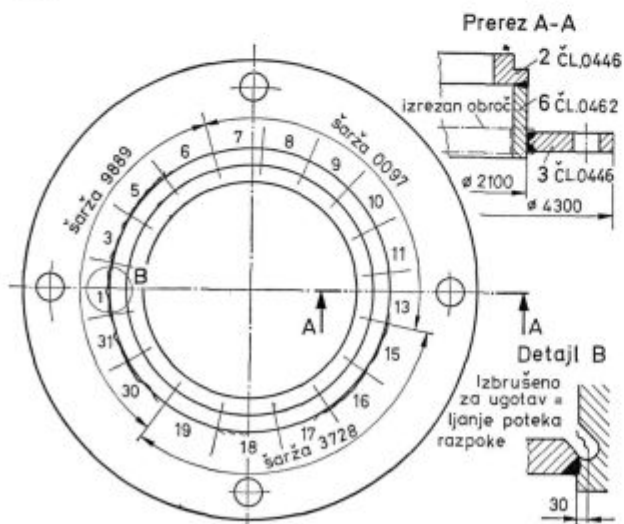
Pri varjenju strojnega dela večjih dimenzij iz jekla Č 0462, debeline 40 mm, in iz jeklene litine ČL 0446, debeline 80 mm, je prišlo do številnih razpok. Varjenec (slika 3) je bil izrazito toga konstrukcija z veliko stopnjo vpetosti. Pri varjenju krožnega vara — K, kjer je bila predpisana popolna prevaritev, so bile ugotovljene po celem obodu številne razpoke. Pri oceni oblike konstrukcije in namestitve vara je bila umestna ugotovitev, da bi bile razpoke lahko lamelarne, če bi bilo jeklo k temu nagnjeno.

Pri sanaciji varjenca je bil izrezan cel var - K. S tem je bila bistveno spremenjena oblika varnega spoja, a izrezani var je bil podvržen številnim preiskavam (mehaničnim, kemičnim in metalografskim).

### 3.1 Mehanske preiskave

Pozicija, iz katere je bil izrezan obroč (razpokani var), je bila iz jekla Č 0462, a sestavljena iz treh različnih šarž. Obroč je bil razrezan na 17 segmentov, dolžine 400 do 500 mm, od katerih je 6 pripadalo šarži št. 0097, 6 šarži št. 9889 in 5 šarži št. 3728. Kemična sestava in mehanske lastnosti v vzdolžni smeri so bile znane že iz prevzemnih atestov. Dodatno so bile ugotovljene še mehanske lastnosti v smeri debeline.

Rezultati so navedeni v tabeli. Iz nje je razvidno, da kemična sestava v vseh točkah ustreza predpisu za kvaliteto Č 0462. Odstopanja pri žveplu so od 0,022 do 0,035 %. Tudi pri mehanskih lastnostih so opazna odstopanja, vendar so ta v vzdolžni smeri nebitvena, celo na izrezanem obroču pri varjenju. Izrazite pa so razlike pri kontrakciji po debelini, ki je bila ugotovljena na izrezanih segmentih. Pri šarži št. 0097 z žveplom 0,022 % do 0,025 % je bila kontrakcija 19 do 33,8 %, pri šarži št. 9889 z žveplom od 0,030 do 0,035 % je bila kon-



Slika 3

Skica varjenca z označenimi razpokami

Fig. 3

Sketch of the welded piece with marked cracks

Tabela: Kemične sestave in mehanske lastnosti jekla iz izrezanih segmentov

		Številka šarže		
		0097	3728	9889
<b>KEMIČNA ANALIZA %</b>				
C		0,13 — 0,15	0,13 — 0,16	0,13 — 0,17
Si		0,22 — 0,28	0,22 — 0,26	0,15 — 0,18
Mn		0,53 — 0,59	0,63 — 0,70	0,60 — 0,67
P		0,016 — 0,020	0,016 — 0,022	0,011 — 0,012
S		0,022 — 0,025	0,030 — 0,035	0,031 — 0,035
N <sub>2</sub>		0,006	0,007	0,005
<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b> (iz atesta)				
Meja plastičnosti	N.mm <sup>-2</sup>	317	286	279
Trdnost	N.mm <sup>-2</sup>	460	466	420
Razteznost	%	27	26	29
Žilavost	J	24,8 — 37,8	47,4 — 50,0	46,7 — 49,4
Kontrakcija	%	65,8	60,5	65,2
<b>MEHANSKE LASTNOSTI</b> (po debelini materiala)				
Meja plastičnosti	N.mm <sup>-2</sup>	287 — 385	203 — 267	229 — 343
Trdnost	N.mm <sup>-2</sup>	458 — 483	438 — 484	404 — 429
Kontrakcija	%	19 — 33	5,6 — 15	6,6 — 12,6
Žilavost	J	10,3 — 11	2,0 — 8,4	7,6 — 10,9
<b>ANALIZA RAZPOK</b>				
Štev. razpokanih segmentov		3	6	4
Skupna dolžina razpok	mm	205	2150	1530
isto	%	7,5	79,5	68

trakcija 5,6 do 15 % in pri šarži št. 3728 z žveplom med 0,031 in 0,035 % je bila 6,5 do 11,5 %. Iz navedenega sledi, da so bile kontrakcije pri vseh treh šaržah sorazmerno nizke; vendar je najvišja pri šarži z najnižjim žveplom, ki izkazuje istočasno tudi najboljšo žilavost (določeno na segmentih).

Po ugotovitvah skupne dolžine razpok na izrezanih segmentih se rezultati zelo dobro ujemajo z žilavostjo in kontrakcijo po debelini. Pri šarži št. 0097 je skupna dolžina razpok na treh segmentih samo 205 mm, kar je 7,5 % od skupne dolžine. Na segmentih šarže št. 9889, ki ima najslabše mehanske lastnosti, je skupna dolžina razpok 2150 mm, tj. 79,5 %, a na segmentih šarže št. 3728 je razpok v skupni dolžini 1530 mm, oziroma 68 %.

### 3.2 Metalografske preiskave

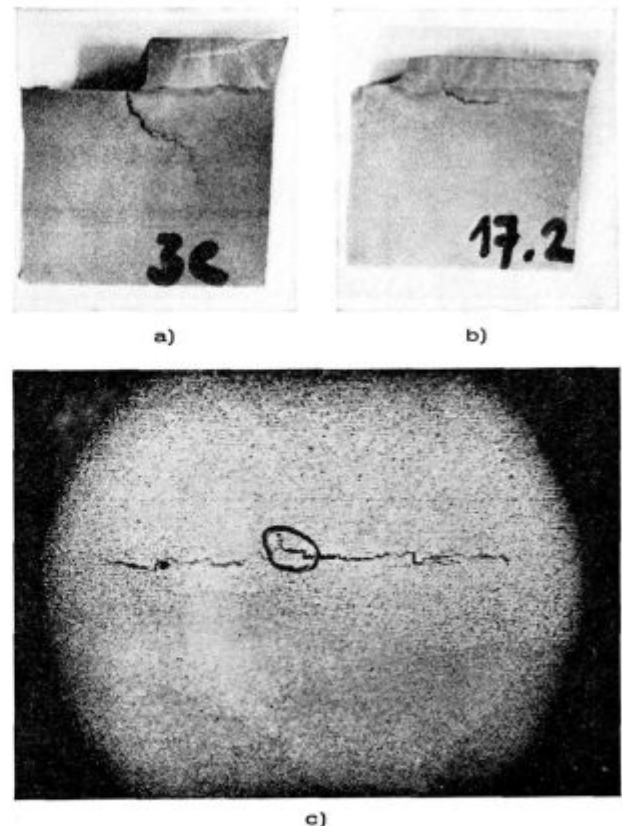
Po pregledu z ultrazvokom je sledila še metalografska preiskava razpok, da bi ugotovili, kakšen je njihov potek. Preiskava kaže, da se pričenjajo vse razpoke v prehodni coni, se širijo pod varom

Slika 4

Potek razpok v nekaterih izrezanih segmentih  
a) šarža 9889, b) šarža 3728, c) šarža 0097

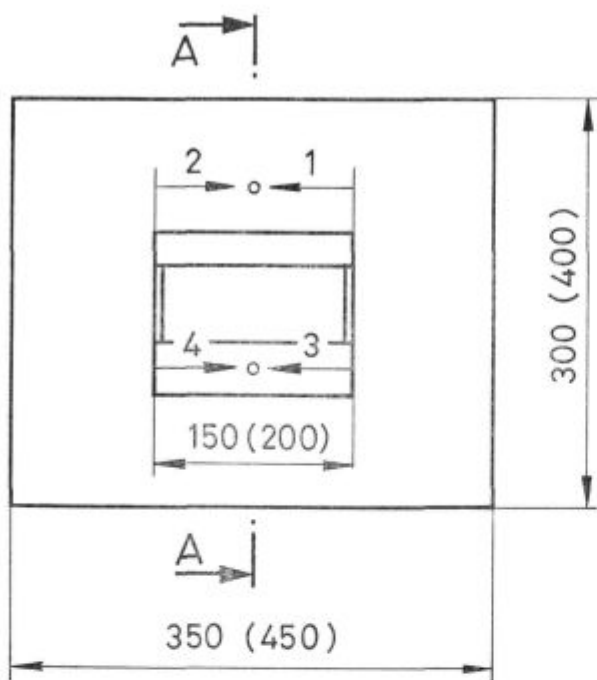
Fig. 4

Crack course in some cut sections a heat 9889, b heat 3728, c heat 0097

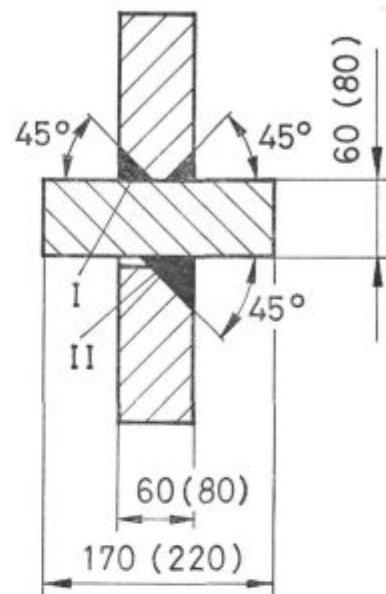




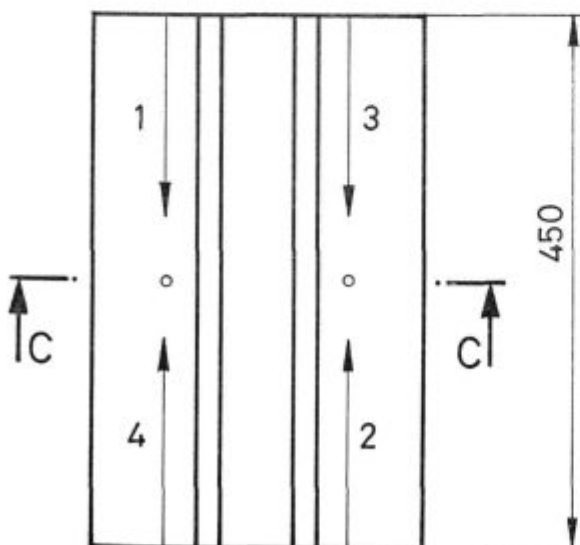
a) Test Window



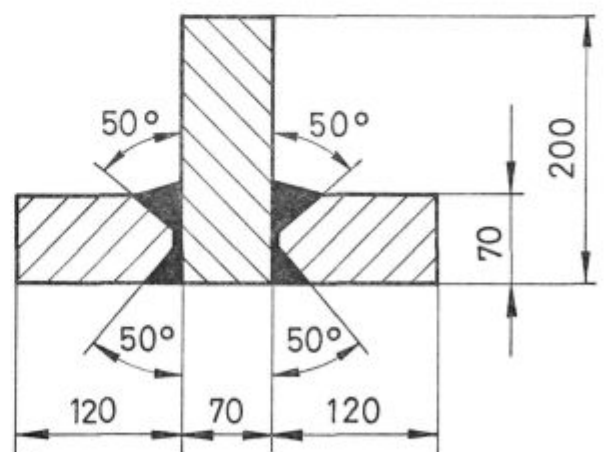
Prerez A-A



b) Dvojni zvar K



Prerez C-C



Št. varilne probe: 1 2 3  
Temp. predgretja [°C]: 0 150 200

Slika 5  
Obliki preskušancev za ugotavljanje varivosti z lastnim vpetjem, okenski (Window-test), dvojni zvar-K  
Fig. 5

Shapes of test pieces for testing weldability by own rigity of samples, window-test, double K weld

ali pa prehajajo v osnovni material. Iz makrometalografskih posnetkov (slika 4) je razvidno, da ima le malo razpok takšen potek, ki bi ustrezal predstavi lamelnarnega loma in je le-ta samo nekoliko nakazan.

Iz te analize sledi zaključek, da pri varjenju velikih debelin ne zadošča samo poznavanje mehanskih lastnosti po dolžini, ampak je važna predvsem kontrakcija po debelini, ki je vedno povezana z nizkim žveplom.

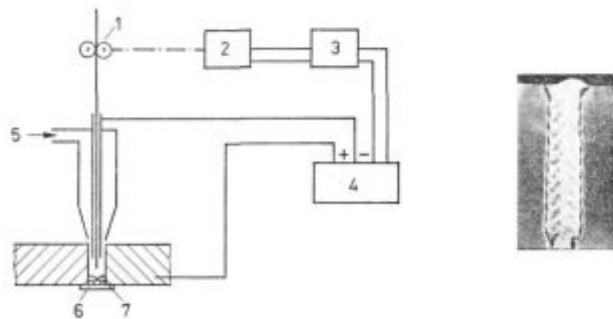
#### 4. Preskus varivosti s preskušanci z lastno vpetostjo

Vzporedno s preskusom izrezanega vara so bili napravljeni precej številni varivostni preskusi na preskušancih z lastnim notranjim vpetjem. Izbrana sta bila dva preskušanca, dvojni var - K in Window - test (preskus z oknom) (slika 5). Preskusni material je bil jeklo Č 0462, Č 0463 in Č 0563, debeline 60, 70 in 80 mm. Varjenje je bilo ročno, z dovodom toplote 12 do 20 kJ.cm<sup>-1</sup> pri elektrodah premera 3,25 mm in 15 do 25 kJ.cm<sup>-1</sup> pri elektrodah premera 5 mm, izvedeno pri sobni temperaturi in s predgrevanjem na 150 °C. Za opazoritev posebno neugodnih pogojev je bila serija poskusov, opravljena pri temperaturi okolice s forsiranim ohlajanjem vara in varjeno z nesusenimi bazičnimi elektrodami.

Preskus je pokazal, da je s preskušanci le težko doseči tako neugodne pogoje, kot se pojavljajo v realnih varjenjih. Napake, predvsem razpoke, so se pojavile le v dveh primerih, in to pri varjenju s forsiranim ohlajanjem v hladni vodi.

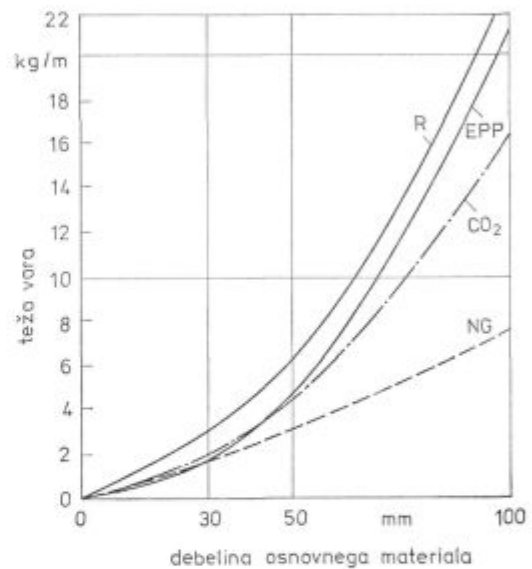
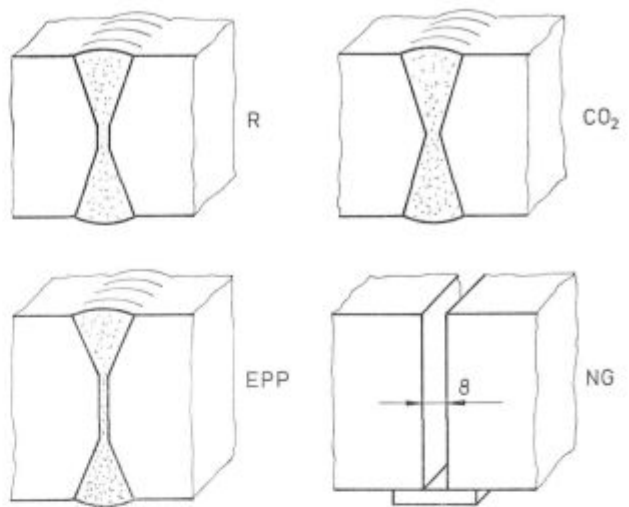
#### 5. Vpliv avtomatizacije varjenja na varivost

V definiciji varivosti neke kovine ali zlitine ni obsežna samo vrsta, sestava, kvaliteta in debelina osnovnega materiala, ampak tudi varilni postopek. Zato je možno z izbiranjem varilnega postopka vplivati na varivost. Predvsem je zanimivo, če zamenjava ročnega varjenja z avtomatskim lahko varivost izboljša. Pri avtomatskem varjenju se dosežejo večje hitrosti taljenja in so koti posnetja



Slika 6  
a) Princip varjenja v ozki regii  
b) Makro posnetek zvara (v ozki regii).

Fig. 6  
a) Principle of welding in a narrow gap  
b) Macropicture of the weld (in narrow gap)



Slika 7

Primerjava porabe dodatnega materiala in priprava zvarnega roba pri: R ročnem obločnem varjenju, EPP (pod praškom, CO<sub>2</sub> po MAG postopku, NG varjenje v ozki regii

Fig. 7

Comparison of filler consumption and preparation of the welding edge at: R hand metal arc welding, EPP submerged arc welding, CO<sub>2</sub> MAG process, NG welding in narrow gap

varnega roba lahko bolj strmi. Zato je poraba dodatnega materiala manjša. S tem se skrajša čas varjenja, zmanjša potrebni dovod toplote in z njim varilne napetosti po varjenju.

Za varjenje posebno velikih debelin je ugoden postopek varjenja »v ozki regii« — Narrow-gap. [4] Shematično je prikazan na sliki 6a, a na sliki 6b je makroposnetek vara v ozki regii [5]. Varjenje je v zaščitni atmosferi. Širina varne špranje je zelo ozka in poraba dodatnega materiala majhna. [6] V sliki 7 je prikazana poraba dodatnega materiala pri štirih varilnih postopkih. Vidna je prednost polavtomatskih in avtomatskih načinov varjenja, a pred vsemj je varjenje v ozki regii.

## 6. ZAKLJUČEK

Varivost debelostenskih varjencev je vedno kritična. Za uspešno varjenje je treba zagotoviti cel sklop ukrepov, ki se začinjajo pri pravilni konstrukciji, ustrezni kvaliteti osnovnega materiala, pravilni varilski tehnologiji in zadostni tehnološki disciplini, ki zagotavlja kvalitetno izvedbo varilskih del.

Tudi avtomatizacija varilnih postopkov lahko prispeva izdaten delež k izboljšanju varivostnih pogojev.

## Literatura:

1. Wilson, G. W.: Minimizing lamellar tearing by improving Z-direction ductility. Weld. J. (1974) nov., s. 611
2. Kobayashi, K. in sodel.: Propagation de fissures de fatigue Soud. et techn. conn. 32 (1978) 4/5, s. 127
3. Autorski kolektiv: Soud. et techn. conn. 31 (1977) 5/6, s.
4. Soudage Narrow. gap, Cahiers techniques Sciaky, (1977) 10
5. Henderson, I. in K. Seifert: Untersuchung verschiedener Badsicherungen beim Engspaltschweissen eines Reaktorbaustahles. Schweiss. Schneid. 26 (1976) 8, s. 291
6. Beokert, M. in R. Probst: Betrachtungen zum Schweißen von Nähten geringen Volumens... Schweiss. u. Schneid. 28 (1976) 8, s. 287

## ZUSAMMENFASSUNG

Ein grosses Problem beim Schweißen von dickwandigem Grundwerkstoff ist die Rissigkeit. Lamellenbrüche sind ganz besondere Fehler, deren Ursache metallurgische Unreinigkeiten im Stahl sind.

Die metallographische Untersuchung eines Risses an einer Schweissverbindung aus Stahl C 0462 und einer Dicke von 40 mm und Stahlguss CL 0446 und 80 mm Dicke, und die chemischen und mechanischen Untersuchungen am Stahl in der Dickenrichtung haben eine unmittelbare

Verbindung zwischen der Risslänge, dem Schwefelgehalt und der Einschnürrung in der Dickenrichtung ergeben. An Rissen war der Lamellenbruch nur leicht angezeigt. An verschiedenen Proben welche bei der Versuchsdurchführung eingespannt werden, können die Verhältnisse beim Schweißen nicht zuverlässig reproduziert werden. Automatisierung der Schweissverfahren kann die Schweissbarkeit günstig beeinflussen, da die Wärmezufuhr niedriger ist und damit auch die Schweissspannungen.

## SUMMARY

The greatest problem in welding thick-walled pieces is their susceptibility to cracking. Lamellar fractures appearing mainly because of metallurgical non-homogeneities in steel are a special type of cracks. Metallographic analysis of cracks in 40 mm thick welded piece of C 0462 steel and 80 mm thick welded piece of CL 0446 cast steel showed at simultaneous chemical and mechanical investigations of steel in the direction of thickness that direct relation-

ship exists between the length of cracks and the sulphur content, and the contraction in transversal direction (thickness). The lamellar characteristic of the cracks was only slightly indicated. Test pieces having own rigidity cannot reliably reproduce conditions in welding. Automation of the welding process can favourably influence the weldability since the needed heat input is reduced and thus also the welding stresses.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существенный вопрос при сварки толстостенных сварных соединений представляет наличие трещин. Своеобразный вид трещин это слоистые трещины, которые образуются главным образом вследствие металлургических неоднородностей в стали. На сварных образцах стали марки С. 0462 толщиной 40 мм и стального литья марки CL. 0446 толщиной 80 мм, выполненные химические и механические исследования в направлении толщины образца показали непосредственную связь между длиной трещин и % серы, а

также связь с сужением в поперечном направлении (по толщине). Слоистый вид трещин только слегка примечен. На образцах с самонапряжением нет надежных возможностей воспроизводить условия, которые возникают при сварки. Автоматизация сварки может повлиять положительно на свариваемость, так как уменьшает введение необходимого количества теплоты, и с этим также сварочные напряжения.





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

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

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

# VSEBINA

UDK: 669.185:669.187.2  
ASM/SLA: D5, D8, D9

Metalurgija — izdelava jekla — posebni postopki ponovna metalurgija — vakuumška metalurgija

W. Hozlgruber

**Posebni postopki v proizvodnji kakovostnih in plemenitih jekel**  
Železarski zbornik 13 (1979) 2 s 45—61

Razvoj proizvodnje jekla v svetu in postopkov za izdelavo jekla. Potreba po izboljšanju odfosforenja, odžveplanja in čiščenje jekla z intenziviranjem posameznih proizvodnih faz. Pospeševanje odfosforenja in odžveplanja z vpihovanjem prašnatih snovi. Obdelava jekla v ponvi, kakor preprihovanje z argonom, vpihovanje raznih žlinder ali CaSi za odžveplanje in dezoksidacijo, kakor tudi ogrevanje v vakuumu. Izdelava visokolegiranih Cr in Cr-Ni jekel v konvertorjih.

Avtorski izvleček

UDK: 621.775-977:669.15-194  
ASM/SLA: Q23q, F2, SS, M26

Metalurgija — toplo preoblikovanje, plastičnost, delta ferit, nerjavno jeklo

J. Kovač

**Nekaj značilnosti in problemov v proizvodnji nerjavnih jekel**  
Železarski zbornik 13 (1979) 2 s 63—68

Pri izdelavi in predelavi nerjavnih jekel pogosto nastajajo težave, za katere obstaja več vzrokov. Ena glavnih nevšečnosti, ki povzročajo slabo plastičnost in s tem slabo predelovalnost teh jekel, je pojav delta ferita. V članku je kratek opis nastanka in vplivov delta ferita na plastičnost pri nerjavnih jeklih. Podanih je nekaj rezultatov dosedanjih raziskav na tem področju. Na koncu so navedene ugotovitve raziskave nerjavnega jekla Č.4570 (prokron 2 special) v železarni Ravne v zvezi s preoblikovalno sposobnostjo odvisno od vsebnosti delta ferita.

Avtorski izvleček

UDK: 620.187  
ASM/SLA: Tsh

Metalurgija — metalografija — analiza slike — karbidi — nekovinski vključki

F. Vodopivec in M. Jakupović

**Značilnosti kvantitativne metalografske analize s sprejo raster elektronski mikroskop naprava za avtomatično analizo slike**  
Železarski zbornik 13 (1979) 2 s 69—76

Opisana je zgradba naprave, njen način dela in analizirane njene prednosti pred sprejo optično mikroskop-napravo za analizo slike. S sistematičnimi preizkusi je bila preverjena reproduktibilnost in ugotovljeno, da je napaka zaradi nestabilnosti manjša od 1 %, subjektivna napaka operaterja pa dosega do 5 %. Z analizami količine in velikostne porazdelitve karbidov tipa  $M_6C$  v orodnem jeklu in vključkov manganovega sulfida v jeklu za avtomate je bila preverjena ločljivost naprave. Rezultati kažejo, da je mogoče doseči pri analizi karbidov ločljivost do  $0,2 \mu m$  pri poprečni velikosti karbidnih zrn  $0,6 \mu m$ . Številne analize so pokazale, da se da definirati na osnovi analize ca 1000 vključkov in karbidnih zrn velikostna porazdelitev z odstopanjem, ki ni večje od 5 %.

Primerjalne analize jekla za avtomate so pokazale razliko pod 5 % med količino vključkov, ki je določena na osnovi analize tolikega števila polj, da je bilo izmerjenih ca 1500 vključkov in ca 150 vključkov. To kaže, da je mogoče v sistemih, kjer so komponente enakomerno porazdeljene, določiti volumski delež posamičnih faz z analizo razmeroma majhnega števila vidnih polj.

Avtorski izvleček

UDK: 621.791.004:621.791.002  
ASM/SLA: K, K9s, 9—72

Metalurgija — varjenje — varivost — nelegirano jeklo — razpoke v zvarih — varivostni preskusi

V. Prosenec, F. Seliškar

**Problem varivosti debelostenskih varjencev iz konstrukcijskih jekel**  
Železarski zbornik 13 (1979) 2 s 77—82

Z naraščajočo debelino postaja varivost konstrukcijskih jekel problematična. Pojavljajo se razne vrste razpok med in po varjenju. Analiza razpok, ki so se pojavile v varjencu iz Č.0462 debeline 40 in 80 mm, je pokazala neposredno povezavo med % S v jeklu, mehanskimi lastnostmi po debelini in dolžino razpok. Razpoke niso imele značilnega lamelnarnega poteka. S preskušanci z lastno vpetostjo ni možno zanesljivo reproducirati pogojev, ki nastopajo v zvarjenj konstrukciji. Avtomatizacija varjenja lahko ugodno vpliva na varivost z zmanjšanjem potrebnega dovoda dodatnega materiala in toplote.

Avtorski izvleček

# INHALT

UDK: 621.775-977:669.15-194

Metallurgie — Warmformgebung — Verformbarkeit — Deltaferrit — Nichtrostender Stähle

J. Kovač

**Einige Besonderheiten bei der Erzeugung der nichtrostenden Stähle**  
Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 s 63—68

Die Erzeugung und Verarbeitung der nichtrostenden Stähle ist oft mit Schwierigkeiten verbunden, für welche mehrere Gründe bestehen können. Ein wichtiger Grund für die schlechte Verformbarkeit dieser Stähle ist das Auftreten des Deltaferrits im Stahl. Im Artikel ist eine kurze Beschreibung über das Entstehen von Deltaferrit und über den Einfluss von Deltaferrit auf die Verformbarkeit der nichtrostenden Stähle gegeben. Einige Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen auf diesem Gebiet sind angegeben. Am Ende werden noch die Untersuchungsergebnisse für einen nichtrostenden Stahl C 4570 (Prokron 2 special) aus dem Erzeugungsprogramm des Hüttenwerkes Ravne über die Verformungsfähigkeit abhängig vom Deltaferritgehalt angegeben.

Auszug des Autors

UDK: 669.185:669.187.2

ASM/SLA: D5, D8, D9

Metallurgie — Stahlerzeugung — Sonderverfahren — Pfannenmetallurgie — Vakuummetallurgie

W. Holzgruber

**Wandlungen in der Verfahrenstechnik bei der Herstellung von Qualitäts- und Edeltählen**

Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 s 45—61

Entwicklung der Weltstahlproduktion und der angewendeten Verfahren; Notwendigkeit der Verbesserung der Entphosphorung, Entschwefelung und des Reinheitsgrades durch Intensivierung einzelner Verfahrensschritte; Beschleunigung der Entphosphorung und Entschwefelung im Ofen durch Einblasen pulverförmiger Feststoffe; Behandlungsmassnahmen in der Pfanne, wie Ar-Spülen, Einblasen von Schlacken oder CaSi zur Entschwefelung und Desoxidation sowie Vakuum-Heizbehandlung; Konverterverfahren zur Herstellung hochlegierter Cr- und Cr-Ni-Stähle; Ausblick.

Auszug des Autors

UDK: 621.791.004:621.791.002

Metallurgie-Schweissen-Schweisbarkeit-Unlegierter Stahl-Risse in Schweissverbindungen — Schweisbarkeitsversuche

V. Prosenec, F. Seliškar

**Probleme der Schweisbarkeit der dickwandigen Konstruktionsteile aus Baustahl**

Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 s 77—82

Mit zunehmender Dicke wird die Schweisbarkeit der Baustähle problematisch. Risse treten auf in Schweissverbindungen während des Schweißens und nach dem Schweißen. Die Untersuchungen der in der Schweissverbindung aus Stahl C 0462 auftretenden Risse zeigten, dass zwischen der Risslänge, dem Schwefelgehalt im Stahl und den mechanischen Eigenschaften in der Dickenrichtung eine unmittelbare Verbindung besteht. Die Risse zeigten keinen Lamellenrissverlauf. Es ist unmöglich an Proben welche bei der Versuchsdurchführung eingespannt werden, die Bedingungen welche in einer geschweissten Konstruktion herrschen, zuverlässig reproduzieren zu können.

Die Automatisierung der Schweissverfahren kann die Schweisbarkeit durch die Verminderung des nötigen Zusatzwerkstoffes und der Wärme günstig beeinflussen.

Auszug des Autors

UDK: 620.187

ASM/SLA: Tsh

Metallurgie — Metallographie — Bildanalyse — Karbide — Nichtmetallische Einschlüsse

F. Vodopivec, M. Jakupović

**Eigenheiten der quantitativen metallographischen Analyse am Rasterelektronenmikroskop und der Einrichtung für die automatische Bildanalyse**

Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 s 69—76

Die gesamte Einrichtung des REM und die Arbeitsweise sind beschrieben. Weiter werden deren Vorteile zu der Kombination Lichtmikroskop mit der Einrichtung für die Bildanalyse beschrieben. Durch systematische Untersuchungen ist die Reproduzierbarkeit überprüft worden und festgestellt, dass der Fehler wegen der Unstabilität kleiner als 1 % beträgt, und der subjektive Fehler des Operateurs nicht grösser als 5 % wird. Durch die Analysen der Menge und der Grössenverteilung der Karbide des Types  $M_3C$  in einem Werkzeugstahl und der Mangansulfideinschlüsse in einem Automatenstahl ist das Auflösungsvermögen, der Einrichtung überprüft worden. Die Ergebnisse zeigten, dass es bei der Analyse der Karbide möglich ist eine Auflösung bis  $0,2 \mu m$  bei einer durchschnittlichen Karbidkorngrösse von  $0,6 \mu m$  zu erreichen. Die umfangreichen Analysen zeigten, dass es möglich ist auf Grund der Analyse von ca 1000 Einschlüssen und Karbidkörnern eine Grössenverteilung mit der Abweichung die nicht grösser ist als 5 % zu definieren.

Vergleichsanalysen an einem Automatenstahl haben ein Unterschied von 5 % zwischen der Einschlussmenge welche auf Grund der Analyse einer solchen Feldzahl ermittelt worden ist, dass ca 1500 Einschlüsse und ca 150 Einschlüsse bestimmt worden sind, ergeben. Dadurch ist es möglich, in Systemen wo die einzelnen Komponenten gleichmässig verteilt sind, den Volumenanteil der einzelnen Phasen durch die Analyse von verhältnismässig kleiner Feldzahl zu bestimmen.

Auszug des Autors

# CONTENTS

UDK: 669.185:669.187.2  
ASM/SLA: D5, D8, D9

Metallurgy — Steels making — Special processes — Ladle metallurgy — Vacuum metallurgy

W. Holzgruber

**Special processes for manufacturing quality and high-grade steel**  
Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 S 45—61

Development of steelmaking in the world. Necessity to improve dephosphorisation, desulphurisation and purity of steel by intensifying single manufacturing stages. Intensification of dephosphorisation and desulphurisation by injection of powders. Steel treatment in ladle as well as blowing by argon, injection of various slags or CaSi for desulphurisation or oxidation as well as heating in vacuum. Manufacturing high alloyed Cr and Cr-Ni steel in converters.

Author's Abstract

UDK: 621.775-977:669.15-194  
ASM/SLA: Q23q, F2, SS, M26

Metallurgy — Hot forming, plasticity, delta ferrite, stainless steel

J. Kovač

**Some characteristics and problem in manufacturing stainless steel**  
Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 S 63—68

In manufacturing and working stainless steel frequent difficulties appear because of various reasons. One of the main troubles which causes bad plasticity and thus bad workability of this steel is the appearance of delta ferrite. Paper presents short description of the formation and the influence of delta ferrite on the plasticity of stainless steel. Some obtained results of investigations are given. At the end, the findings of the investigation of C.4570 stainless steel (prokron 2 special) in Ravne Ironworks are cited. Relationship between the workability and the amount of delta ferrite was analyzed.

Author's Abstract

UDK: 620.187  
ASM/SLA: Tsh

Metallurgy — Metallography — Picture analysis — Carbides — Non-metallic inclusions

F. Vodopivec, M. Jakupovič

**Characteristics of quantitative metallographic analysis with the combination of electron microscope and automatic image analyzer**  
Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 S 69—76

The construction of the apparatus, its principle of operation are described, and the advantages over the combination of optical microscope and the image analyzer are analyzed. Reproducibility was checked by systematic tests and it was found that error due to the unstableness is less than 1%, and the subjective error of the operator does not overcome 5%. The analysis of the amount and the size distribution of MnC carbides in tool steel, and the analysis of manganese sulphide in free-cutting steel was used to check the resolving power of the analyzer. Results show that the resolving power down to  $0.2 \mu\text{m}^2$  could be achieved in carbide analysis at the average carbide grain size of  $0.6 \mu\text{m}^2$ . Numerous analyses showed that about 1000 inclusions can be defined by the analysis while the carbide grain size distribution does not vary more than 5%.

Comparative analyses of free-cutting steel showed a difference of less than 5% if the amount of inclusions was determined by analysis of such number of fields that 1500 inclusions or only 150 inclusions were measured. It means that in the systems with uniformly distributed constituents the volume portion of single phases can be determined with analysis of a relatively small number of fields.

Author's Abstract

UDK 621.791.004:621.791.002  
ASM/SLA: K, K9s, 9-72

Metallurgy — Welding — Weldability — Unalloyed steel — Cracks in welds — Weldability tests

V. Prosenč, F. Seliškar

**Problematics of Weldability of thick-walled pieces of structural steel**  
Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 S 77—82

The increased thickness causes the problems in welding structural steel. Various cracks during and after the welding appear. Analysis of cracks which appeared in the 40 and 80 mm thick welded pieces of C 0462 steel indicated direct connection between the sulphur content in steel, the mechanical properties in the thickness direction, and the crack lengths. The cracks did not have characteristic lamellar course. Test pieces having own rigidity cannot reliably reproduce the conditions which occur in the welded structure. Automation of the welding can favourably influence the weldability by the reduction of the needed filler and heat input.

Author's Abstract



## СОДЕРЖАНИЕ

УДК: 621.775-977:669.15-194  
АСМ/САА: Q23q, ф2, СС, М26

**Металлургия — горячая деформация — пластичность — дельта-феррит — нержавеющая сталь**

J. Kovač

**Несколько характерных свойств и проблем при производстве нержавеющей стали**

Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 С 63—68

Вследствии разных возникают при изготовлении и переработки нержавеющей сталей часто разные затруднения. Одна из главных неприятностей представляет собою неудовлетворительная пластичность и, в связи с этим недостаточная способность к переработки этих сталей из-за присутствия дельта-феррита в расплаве металла. В статье подано короткое описание о образовании и влияния дельта-феррита на пластичность нержавеющей сталей. Приведены выводы исследования нержавеющей стали марки С 4570 (Prokrop 2 special) в металлургическом заводе Железарна Равне, касающийся способности стали к деформации в зависимости от содержания дельта-феррита.

Автореф.

УДК: 669.185:669.187.2  
АСМ/САА: А5, А8, А9

**Металлургия — производство стали — специальные способы производства — металлургия разливочных ковшей — вакуумная металлургия**

W. Holzgruber

**Развитие способов в производстве качественных и специальных сталей**

Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 С 45—61

Мировое развитие производства стали и развитие отдельных способов этого производства. Необходимость улучшения дефосфоризации, десульфуризации и чистоты стали интенсификацией отдельных аз производства. Ускорение дефосфоризации и десульфурации способом вдувания порошковых веществ. Обработка стали в ковше, продувание с аргоном, дувание разных шлаков или CaSi для десульфурации и для раскисления, также для нагрева в вакууму. Изготовление высоколегированных Cr и Cr-Ni сталей в конверторах.

Автореф.

УДК: 621.791.004:621.791.002  
АСМ/САА:

**Металлургия — сварка — свариваемость — нелегированная сталь — трещины в сварных швах — испытания свариваемости**

V. Prosenc, F. Seliškar

**Проблема свариваемости толстостенных сварных соединений из конструкционных сталей**

Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 С 77—82

С увеличением толщины стен становится свариваемость конструкционных сталей проблематичнее. Во время и после сварки появляются разного вида трещины. Анализ трещин, которые оказались в сварном образце стали марки С 0462 толщины 40 и 80 мм указал на непосредственную связь между содержанием серы в стали и механическими свойствами по толщине и по длине трещин. Трещины не имеют типичный слоистый вид. На образцах с самонапряжением нет возможности надёжно воспроизводить условия, которые возникают в сварной конструкции. Автоматизация сварки может повлиять положительно на свариваемость с уменьшением необходимого введения приданного материала и теплоты.

Автореф.

УДК: 620.187  
АСМ/САА: Tsh

**Металлургия — металлография — анализ фазового портрета — неметаллически включения**

F. Vodopivec, M. Jakupović

**Особенности количественного металлографического анализа с ретровым электронным микроскопом для автоматического анализа фазового портрета**

Zelezarski zbornik 13 (1979) 2 С 69—76

Дано описание и действие прибора. Рассмотрены преимущества прибора при сравнении с оптическим микроскопом для анализа фазового портрета. С систематическими испытаниями проверена возможность воспроизводимости и установлено, что погрешность вследствие нестабильности меньше 1-го %, в то время как субъективная погрешность оператора доходит и до 5-ти %. С анализом количества и величины распределения карбидов вида MnS в инструментальной стали и включений сульфидов марганца в автоматной стали проверена способность прибора за деактивность. Результаты показали, что при анализе карбидов в величине зерен от 0,6  $\mu\text{m}^2$  деактивность достигает величины до 0,2  $\mu\text{m}^2$ . Многочисленные анализы показали, что на основании анализа можно определить приба. 1000 включений и карбидных зерен, что касается распределения величины причем установлено, что погрешность не превышает 5-ти %.

Сравнительные анализы, выполненные с автоматными стали на основании анализа соответственного числа полей, что отвечало измерению приба. 1500 и приба. 150 включений, показали, что отклонения между величиной отдельных включений не превышало пределы 5-ти %. Это показывает, что в системах с сравнительно равномерным распределением компонент можно определить объемную долю отдельных фаз также при анализе относительно небольшого числа видимых полей.

Автореф.