

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA	Stran
Jezeršek Aleksander — Zelezarna Jesenice	
NOVA HLADNA VALJARNA NA JESENICAH . . . . .	1
Kejžar Rajko — Zavod za varjenje SRS, Ljubljana	
PRIGOR IN ODGOR ELEMENTOV SILICIJA IN MANGANA PRI VARJENJU POD PRASKOM EP 10 IN EP 50 . . . . .	11
Kejžar Rajko — Zavod za varjenje SRS, Ljubljana	
VPLIV DEZOKSINDANTOV NA VSEBNOST KISIKA V CISTEM VARU IN IZKORISTEK Cr IZ PLASČA PRI ELEKTROOBLOCNEM VARJE- NJU . . . . .	19
Stular Pavel — Zavod za varjenje SRS Ljubljana	
POD ELEKTROPREVODNO ŽLINDRO PRETA- LJENA VARILNA ŽICA ZA ELEKTRICNA TA- LILNA VARJENJA . . . . .	29
Segel Jože — Zelezarna Ravne	
AVTOMATSKA OBDELAVA PODATKOV TEH- NICNE KONTROLE IN RAZISKAV . . . . .	35
TEHNICNE NOVICE . . . . .	45
Mesec Ivan, Stojan Miha — Zelezarna Jesenice	
DODAJNI MATERIAL ZA VARJENJE KON- STRUKCIJSKIH JEKEL S POVISANO ODPOR- NOSTJO PROTI ATMOSFERSKI KOROZIJU, KI GA PROIZVAJA ŽELEZARNA JESENICE . . . . .	45

LETO 9 ŠT.1 1975

ŽEZB BQ 9 (1) 1 - 48 (1975)



Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Clani Jože Rodič, dipl. inž., Viktor Logar, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.

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

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

# VSEBINA

DK: 624.9 : 336.645

ASM/SLA: W 23 f

A. Jezeršek

**Nova hladna valjarna na Jesenicah**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 str. 1—9

Zelezarna Jesenice gradi na Jesenicah novo hladno valjarno, ki bo proizvajala v glavnem nerjavna jekla, dinamo pločevino jekla za globoko vlečenje. Opremo bodo dobavile firme Waterbury Farrel, Production Machinery Corporation, Ruthner in general Electric. Dobavljene bodo: linija za pripravo trakov, dve lužilni liniji, Sendzimir valjčno ogrodje, duo-kvarto dresirno ogrodje, linija za finalizacijo dinamo trakov, zvonaste peči in tri krožne škarje.

Valjarna bo začela s proizvodnjo konec leta 1976. Tehnologija v valjarni je kupljena kot Know-How od firme Armco. Valjarna bo organizirana po sistemu »Jointventure Unite« s soudeležbo inozemskih dobaviteljev.

DK: 621.791.01

ASM/SLA: K9n, K 1a

R. Kejžar

**Vpliv dezoksidantov na vsebnost kisika v čistem varu in izkoristek Cr iz plašča pri elektroobločnem varjenju**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 str. 19—27

Potek reakcij med varjenjem, vpliv žic EO, EPP Cr 6 in Pr 18/8 pri izdelavi varilnih elektrod na prenos kisika, odvisnost in porazdelitev elementov med žldro in čistim zvarom od načina legiranja, tj. iz plašča ali iz žice.

Rezultati so osnova za teoretični izračun optimalne sestave in debeline oplášenja pri visokolegiranih elektrodah (Pr 18/8).

DK: 669.014.648 621.971.01

ASM/SLA: K 1e, K9a

R. Kejžar

**Prigor in odgor elementov Si in Mn pri varjenju pod praškoma EP 10 in EP 50**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 str. 11—17

Opisan je potek oksidacijsko redukcijskih reakcij med staljeno žldro in talno čistega vara pri varjenju pod praškom EP 10 in EP 50 in žico EPP 1, EPP 2 in EPP 3.

Koeficienti termodinamične aktivnosti v zvaru so izračunani s pomočjo konstante medsebojnega vpliva  $\epsilon_{i,j}$ . Koeficienti termodinamične aktivnosti posameznih komponent v varilni žldri pa po enačbah, ki so izvedene na osnovi jonske teorije in termodinamike žlinder in so v skladu s teoretičnimi izpeljavami po Kožuevovu.

DK: 669.187.6 669.046.582

ASM/SLA: D8p, K 1d

P. Stular

**Pod elektro prevodno žldro pretaljena varilna žica za električna talilna varjenja**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 str. 29—34

Razvoj varilnih žic za električna talilna varjenja za varjenje nizkoogljičnih jekel z dodatkom ferotitana kot inkulatorja. Bloki za izdelavo varilne žice so bili izdelani s pretaljevanjem pod žldro ob dodatku ferotitana. Čisti zvar izdelan iz take žice ima finoiznato strukturo in povišano žilavost v primerjavi z lastnostmi čistega vara, ki je izdelan z običajno varilno žico.

DK: 519.24.562

ASM/SLA: X14k, A9, A5f, S1.

J. Segel

**Avtomatična obdelava podatkov tehnične kontrole in raziskav**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1, str. 35—43

Obdelava podatkov neuspele proizvodnje, analiza nivoja in nihanj kvalitete izdelkov, raziskave zakonitosti v tehnološkem procesu in vzrokov nepravne kakovosti z uporabo matematično statističnih analiz na računalniku.

Obravnavani informacijski sistem je bil razvit v Zelezarni Ravne.

# INHALT

DK: 621.791.01  
ASM/SLA: K9n, K1a

R. Kežar

**Der Einfluss der Desoxydanten auf den Sauerstoffgehalt im Schweißgut und das Ausbringen von Chrom aus der Ummantelung beim Lichtbogenschweißen**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 S. 19—27

Der Verlauf der Reaktionen während des Schweißens wird behandelt, weiter der Einfluss der Drähte EO, EPP Cr 6 und Pr 18/8 bei der Erzeugung von Schweißelektroden, auf die Übertragung von Sauerstoff, und die Abhängigkeit der Verteilung der Elemente zwischen Schlacke und Schweißgut von der Legierungsart, das heisst, aus der Ummantelung oder aus dem Draht.

Diese Ergebnisse sind die Grundlage für die theoretische Ausrechnung einer optimalen Zusammensetzung und Dicke der Ummantelung bei hochlegierten Elektroden (Pr 18/8).

DK: 624.9: 336.645  
ASM/SLA: W 23f

A. Jezeršek

**Das neue Kaltbandwalzwerk in Jesenice**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 S. 1—9

Das Hüttenwerk Jesenice baut in Jesenice ein neues Kaltbandwalzwerk, welches hauptsächlich die Produktion von nichtrostenden Stählen, Elektroblech und Tiefziehstahlqualitäten aufnehmen wird. Die nötige Ausrüstung wird von den Firmen Waterbury Farrel, Production Machinery Corporation, Ruthner und General Electric, geliefert. Es werden geliefert: eine Bandaufbereitungsline, zwei Beizlinien, Sendzimir Walzgerüst, ein Duo-Quarto-Dresiergerüst, eine Linie für die Finalisierung der Dynamobänder, Haubenöfen und drei Kreismesserspaltanlagen.

Das Walzwerk fängt mit der Produktion am Ende des Jahres 1976. Die Technologie des Walzwerkes wird nach dem Know-How der Firma ARMCO ausgeführt. Der Betrieb wird nach »Jointventure unit« organisiert, mit der Beteiligung ausländischer Lieferanten.

DK: 669.187.6 669.046.582  
ASM/SLA: D8p, K1d

P. Stular

**Im Elektroschlackeumschmelzverfahren umgeschmolzener Schweißdraht für die elektrischen Schmelzschweißverfahren**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 S. 29—34

Die Entwicklung der Schweißdrähte für die elektrischen Schmelzschweißverfahren, zum Schweißen niedriggekohlter Stähle, mit dem Zusatz eines Inokulators — des Ferrotitans, ist beschrieben. Die Blöcke für die Herstellung des Schweißdrahtes sind im Elektroschlackeumschmelzverfahren mit dem Zusatz von Ferrotitan hergestellt worden. Das Schweißgut, welches mit einem solchen Draht geschweisst wird, besitzt ein feinkörniges Gefüge und eine erhöhte Zähigkeit, im Vergleich zu den Eigenschaften, welche am Schweißgut aus üblichem Schweißdraht erzielt werden.

DK: 669.014.648 621.791.01  
ASM/SLA: K1e, K9n

R. Kežar

**Der Zu- und Abbrand von Legierungselementen Si und Mn beim Unterpulverschweißen mit Schweißpulver EP 10 und EP 50**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 S. 11—17

Der Verlauf der Oxydations-Reduktions-Reaktionen zwischen der erschmolzenen Schlacke und der Schweißgutschmelze beim Unterpulverschweißen mit den Pulvern EP 10 und EP 50, und Schweißdrähten EPP 1, EPP 2 und EPP 3, ist beschrieben.

Die Koeffiziente der thermodynamischen Aktivität im Schweißgut sind mit Hilfe der Konstanten des gegenseitigen Einflusses  $\alpha_{i(j)}$  ausgerechnet, und die Koeffiziente der thermodynamischen Aktivität der einzelnen Komponenten in der Schweißschlacke, nach den Gleichungen, welche auf Grund der Ionentheorie, und der Schlacken-thermodynamik ausgeführt sind und mit den theoretischen Ausführungen nach Kozeurov übereinstimmen.

ASM/SLA: X14k, A9, A5f, S12  
DK: 519.24.562

J. Segel

**Automatische Datenbearbeitung der technischen Kontrolle und der Forschung**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 S. 35—43

Die Bearbeitung der Daten aus der Fehlproduktion, die Analyse des Qualitätsniveaus und der Qualitätsschwankungen, die Untersuchungen der Gesetzmässigkeiten im technologischen Verfahren und der Ursachen für eine nichtentsprechende Qualität, werden in dem Artikel mittels der mathematisch statistischen Analysen am Computer repräsentiert.

Der behandelte Informationssystem ist im Hüttenwerk Ravne entwickelt worden.

# CONTENTS

DK: 624.9: 336.645  
ASM/SLA: W 23f

A. Jezeršek

## New Cold Rolling Plant in Jesenice Ironworks

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 p. 1-9

A new cold rolling plant for stainless steel strips, transformer steel strips, and mild steel strips is constructed in the Jesenice ironworks. The equipment will be delivered by companies Waterbury Farrel, Production Machinery Corporation, Ruthner, and General Electric. There will be a train for coil preparation, 2 pickling lines, a Sendzimir rolling mill, a two-high-four-high temper rolling mill, a train for final rolling of the transformer steel strips, bell furnaces, and three shearing lines.

The rolling plant will be in operation in late 1976. The rolling technology will be arranged according to the ARMCO Know-How. The plant will be organized as a joint venture unit with partial investment of the equipment deliverers.

DK: 621.791.01  
ASM/SLA: K9n, K1a

R. Kejžar

## Influence of Deoxidizing Agents on the Oxygen Content in the Pure Weld, and the Chromium Yield from the Electrode Coating in Electric Arc Welding

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 p. 19-27

The chemical reactions occurring during welding are analyzed. The influence of EO, EPP Cr 6, and Pr 18/8 wires for on the «oxygen transfer» in manufacturing welding wires, and the influence of the alloying of weld (by wire coating or by wire itself) on the distribution of elements between the slag and the weld were studied.

The findings are used as the basis for theoretical calculations of the optimal composition and thickness of the coating for high-alloyed wire (Pr 18/8).

DK: 669.014.648 621.791.01  
ASM/SLA: K1e, K9n

R. Kejžar

## Gain and Loss of Elements (Silicon and Manganese) in Submerged Arc Welding using EP 10 and EP 50 Welding Powders

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 p. 11-17

Redox reactions between the molten slag and the metal melt in weld in submerged arc welding with EP 10 and EP 50 welding powders and EPP 1, EPP 2, and EPP 3 welding wires were analyzed.

The thermodynamic activity coefficients of components in the weld were calculated by using the constants of mutual interactions,  $\sigma_{i(j)}$ , and the coefficients of thermodynamic activities of components in the welding slag according to the expressions which were deduced from the ionic theory of slags and their thermodynamic behaviour proposed by Kozheurov.

DK: 669.187.6 669.046.582  
ASM/SLA: D8p, K1d

P. Stular

## Welding wire for Electro-Fusion Welding, Manufactured by Electro Slag Remelting Process Using a Conductive Slag

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 p. 29-34

The paper describes the development of welding wire for electro-fusion welding of low-carbon steel containing inoculators in form of ferrotitanium. The electro-slag remelting process in a conductive slag and simultaneous adding of ferrotitanium were applied in manufacturing ingots for further working into the welding wire. The welds where this type of wire was used have a fine-grained structure and a higher notch toughness compared to the welds where a usual welding wire was used.

DK: 519.24.562  
ASM/SLA: X14k, A9, A5f, S12

J. Segel

## Computer Data Treatment of the Technical Control and Investigations

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 p. 35-43

Use of computer in technical control and metallurgical investigations represents a new advance in controlling the quality of products.

The paper presents the information system containing the treatment of informations of the unsuccessful production, the analysis of the quality level of products and its oscillations, the investigations of rules in the technological process and of reasons for unadequate quality. Statistical methods were adjusted for the computer treatment.

The presented information system was developed in Ravne Ironworks.

# СОДЕРЖАНИЕ

DK: 621.791.01  
ASM/SLA: K9n, K1a

R. Kejžar

**Влияние раскислителей на содержание кислорода в чистом сварном соединении и выход Cr из оболочки при электро-дуговой сварке.**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 s. 19—27

Рассмотрен процесс реакций во время сварки; влияние употребления проволок EO, EPP Cr 6 Pr 18/8 при изготовлении электрода на «передачу кислорода», также зависимость распределения элементов между шлаком и сварочного соединения от легирования сварочного соединения. При этом надо учесть, что процесс легирования может происходить из оболочки или же из проволоки.

Полученные данные представляют собой основание для теоретического вычисления оптимального состава и толщины покрытия Тiа высоко легированного электрода (Pr 18/8).

DK: 624.9: 336.645  
ASM/SLA: W23f

A. Jezeršek

**Новый холодный прокатный цех на Есеницах.**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 s. 1—9

В постройке находится новый холодный прокатный цех предназначенный для прокатки полос из нержавеющей, динамной и мягкой стали. Оборудование для цеха доставят предприятия: Waterburg Farrel, Production Machinery Corporation, Ruthner и General Electric.

Цех получит также линию для подготовки рудовов, две линии для травления металла, прокатную кать Sendzimir, дроссировочную дуо-кварто кать, линию для финальной выделки динамных полос, копаковые печи и три линии для разреза.

Прокатный цех начнет работать к концу 1976 г. Технология работы будет осуществлена со стороны фирмы ARMCO по принципу Know-How. Организация цеха на базе «joint venture unit», при участии поставщиков оборудования также как вкладчиков.

DK: 669.187.6 669.046.582  
ASM/SLA: D8p, K1d

P. Stular

**Сварочная проволока для электроплавильной сварки приготовленная путём электрошлакового переплава.**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 s. 29—34

В статье описано развитие сварочной проволоки для электроплавильной сварки малоуглеродистых сортов стали с содержанием ферротитана как инкулятора. Для такого производства сварочной проволоки приготовлены слитки процессом электрошлакового переплава при добавке ферротитана. Сварочное соединение получено сваркой с этой проволокой в сравнении с сваркой с обыкновенной проволокой имеет мелкозернистую структуру и повышенную режущую вязкость.

DK: 669.014.648 621.791.01  
ASM/SLA: K1e, K9n

R. Kejžar

**Пригор и угар элементов (кремния и марганца) при сварке под флюсами EP 10 и EP 50.**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 s. 11—17

Рассмотрен процесс окислительно-восстановительных реакций между расплавленным шлаком и металлом сварочной ванны при сварке под сварочным флюсом EP 10 и EP 50 с проволоками EPP 1, EPP 2 и EPP 3.

Вычисление коэффициентов термодинамической активности компонент в сварочной ванне выполнено при помощи постоянных совместного влияния «e<sub>i</sub>(j)» а коэффициентов термодинамической активности компонент в сварочном шлаке по уравнениям, которые разработаны на основании ионной теории и термодинамики шлака в согласовании с теоретическими выводами.

DK: 519.24.562  
ASM/SLA: X14k, A9, A5f, S12

J. Segel

**Автоматическая обработка данных технического контроля и исследований.**

Zelezarski zbornik 9 (1975) 1 s. 35—43

Применение счётчика в области технического контроля и металлургических исследования представляет собой новый прогресс управления и надзора над качеством изделий.

В статье рассматривается информационная система которая охватывает: обработку информации неудачного производства, анализ уровня и колебание качества изделий, исследование закономерности технологического процесса и причины неудачного производства, всё упомянутое при употреблении математическо-статистического анализа на счётчике.

Рассмотренная информационная система была разработана в металлургическом заводе Равне.

## Nova hladna valjarna na Jesenicah

DK: 624.9 336.645

ASM/SLA: W23F

Aleksander Jezeršek

*V članku je opis dela, ki je bilo opravljeno pri pripravi investicijskega projekta za novo hladno valjarno. Opisana je tudi oprema, ki jo bodo dobavili proizvajalci opreme, in sedanje stanje gradilišča.*

Zgodovina hladnega valjanja na Jesenicah sega prav v prva leta tega stoletja, v leto 1904. Takrat so na Jesenicah hladno izvaljali prvi trak in do pred kratkim bili edini oskrbovalec jugoslovanskega tržišča s temi izdelki.

Zadnji pomembnejši poseg v povečanje kapacitete za hladno valjanje je bil leta 1957, ko smo postavili zadnji novi stroj, tj. Siemag kvarto ogrodje.

Z vložkom se je stara hladna valjarna delno oskrbovala iz lastnih valjarn in delno iz uvoza. Z izgradnjo bluminga in štekla si je Železarna ustvarila osnovo za oskrbovanje stare hladne valjarne z vložkom in istočasno možnost proizvodnje toplih valjanih trakov do širine 1050 mm ter teže kolobarjev do 8 ton, tj. oskrbovanje nove hladne valjarne.

Istočasno z gradnjo teh objektov pa so že nastajali tudi prvi idejni projekti nove hladne valjarne, ki predstavlja logično nadaljevanje in zaključitev proizvodnega ciklusa.

Od takrat pa do danes so se proizvodne in tržne razmere v Jugoslaviji bistveno spremenile. Pojavili sta se dve novi hladni valjarni v Skopju in Smederevu, planirana pa je še v Banja Luki v okviru podjetja Unis — Sarajevo. Vse te tri hladne valjarne naj bi proizvajale predvsem mehke HVT in izdelke iz njih, tj. pocinkane in plastificirane trakove itd.

### STUDIJ TRZIŠČA

Železarna Jesenice je v tem času s svojo službo marketinga stalno analizirala spremembe na tržišču. Pri študiju tržišča so se pojavili resni proble-

mi, ki so dajali čisto zelo optimistične napovedi, ki pa so se zdele nerealne. Iz statističnih podatkov in ugotavljanja trenda naraščanja potrošnje, je bilo nemogoče dobiti pravo sliko, ker podatki ne vsebujejo ločeno posameznih kvalitete. Drugi problem so bili podatki od direktnih potrošnikov. V kratkem časovnem obdobju ponovljene ankete so se pri istih potrošnikih bistveno razlikovali, včasih tudi za 100 %. Te razlike so izhajale iz prevelikih apetitov potrošnikov glede lastnega razvoja in nejasnih izvoznih načrtov ali pa so se potrošniki bali s svojimi podatki razkriti svojo bodočo proizvodnjo in razvojne načrte.

V zvezi s tem pa smo morali vzeti v obzir tudi to, da je v času študija tržišča bila predelovalna industrija, vsaj v Sloveniji, na prioriteten mestu in da je pričakovala, da v tem pogledu ne bo sprememb.

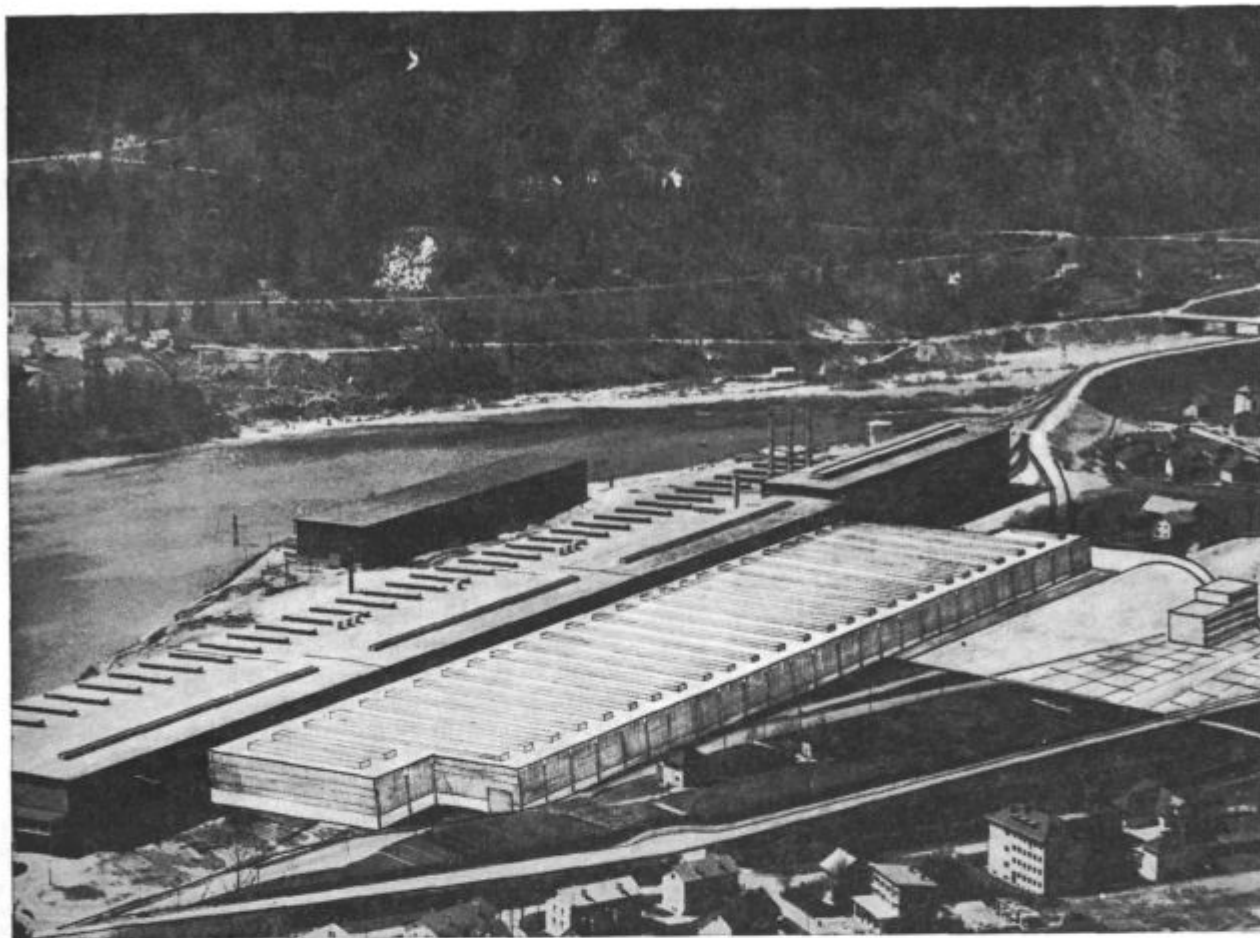
Težave pri vrednotenju podatkov so bile tudi v tem, da tuje izkušnje študija tržišča niso bile povsem uporabne za naše razmere ter da je ta veja komercialne aktivnosti v naši črni metalurgiji slabo razvita.

Zbrani in obdelani podatki, preverjeni tudi v tujih organizacijah, ki se ukvarjajo s študijem tržišča, o trenutnem stanju in trendih potrošnje so bili predloženi domačim in tujim financierjem, ki so potrdili, da je analiza zadovoljiva in da je proizvodni program dobro izbran ter perspektiven za nadaljnje razširjenje hladne valjarne.

### EKONOMIKA IN PROIZVODNI PROGRAM

Izredno pomembna nam je bila ves čas priprav ekonomika nove hladne valjarne. Upoštevajoč zmoglosti tržišča po odvzemu proizvodnje nove hladne valjarne, so na sektorju za ekonomiko izvajali intenzivne analize s ciljem, da se postavijo minimalne meje kombiniranega proizvodnega programa, ki bi upošteval bolj akumulativne proizvode ob manj akumulativnih, tako da bi bilo zagotovljeno vračanje najetih posojil za izgradnjo, pokrivanje stroškov proizvodnje in ustvarjanje

Aleksander Jezeršek je diplomirani inženir metalurgije in vodja hladne valjarne v izgradnji v Železarni Jesenice



Slika 1

Lokacija nove hladne valjarne ob obstoječi vroči valjarni

Fig. 1

Location of the new cold rolling plant next to the existent hot rolling plant

dovolj ostanka dohodka za razširjeno reprodukcijo. Odgovor je, da je to mogoče, če so izpolnjeni poleg določenega mešanega programa še naslednji kriteriji:

— Vse obstoječe kapaciete v predhodnih obratih morajo biti usposobljene in njihova usposobljenost preverjena tako, da bodo lahko oskrbovale novo hladno valjarno z vložkom, ko bodo nove naprave pripravljene za proizvodnjo.

— Uvajalni čas in stroški morajo biti minimalni.

— Nova oprema mora biti izbrana tako, da bo krila sedanji proizvodni program in zagotavljala kritje bodočih zahtev tržišča z minimalnimi dodatnimi sredstvi in novimi napravami.

— Oprema mora biti izbrana tako, da bo proizvajala najboljšo kvaliteto in ne bo zahtevala prevelikega vzdrževanja.

— Organizacija vzdrževanja mora biti predvsem preventivnega značaja.

— Produktivnost novih naprav mora biti sodobna.

— Tehnološke stroške mora pokrivati izboljšani izplen in izboljšana kvaliteta ali zmanjšanje potrebne delovne sile.

— Hladna valjarna mora biti zgrajena in pripravljena za obratovanje v predvidenem planiranem roku.

— Organizacijsko in kadrovsko mora biti nova hladna valjarna formirana vsaj ob začetku montiranja opreme.

Že ob zadnji veliki rekonstrukciji in investiciji v bluming in štekel valjarno smo mislili na bodočo novo hladno valjarno, zato te naprave po zmogljivosti in kvaliteti omogočajo oskrbovanje nove hladne valjarne s potrebnim vložkom. Potrebna dodatna oprema je že dobavljena in bo kmalu montirana.

V jeklarni ni bistvenih zadržkov za proizvodnjo jekla. Treba je izvesti potrebne organizacijske ukrepe in uvesti manjše tehnološke izboljšave, predvsem pri obzidavi peči, ter olajšati delo pri pečeh z majhnimi dodatnimi posegi, da bo intenzivna in kontinuirna izdelava jekla normalno mogoča.

Za uspešno realizacijo ostalih točk se je Železarna odločila, delno na lastno pobudo, delno na pritisk domačih in tujih financierjev, da s firmo ARMCO Steel Corporation sklene pogodbo za KNOW-HOW za proizvodnjo jekel za elektroindustrijo ter nerjavna jekla. Ta KNOW-HOW je



poleg prenosa tehnologije za izdelavo, predelavo in finalizacijo obvezoval ARMCO, da je ocenil primernost opreme v predhodnih obratih za predvideni proizvodni program, da je nudil pomoč in nasvet pri izbiri opreme in njeni razporeditvi, da omogoča šolanje potrebnih kadrov za vse stopnje proizvodnje in vzdrževanja, da nudi pomoč in nasvet pri organizaciji proizvodnje in vzdrževanja.

S posebno pogodbo, sklenjeno z ARMCO za Liaison inženirja, pa si je Železarna zagotovila pomoč in prenos njenih bogatih izkušenj pri sami operativi gradnje ter koordinaciji z domačimi inženiring organizacijami in tujimi dobavitelji opreme, s čimer si želimo zagotoviti, da bo gradnja izvedena v predvidenem roku.

Ob upoštevanju vseh do sedaj navedenih faktorjev in kriterijev, izvršenih študij ter mnogih variant in ob upoštevanju možnosti za nadaljnjo ekspanzijo nove hladne valjarne, smo postavili naslednji letni proizvodni program:

30.000 ton HVT za uporabo v elektro industriji (dinamo)

15.000 ton HVT iz nerjavnih jekel

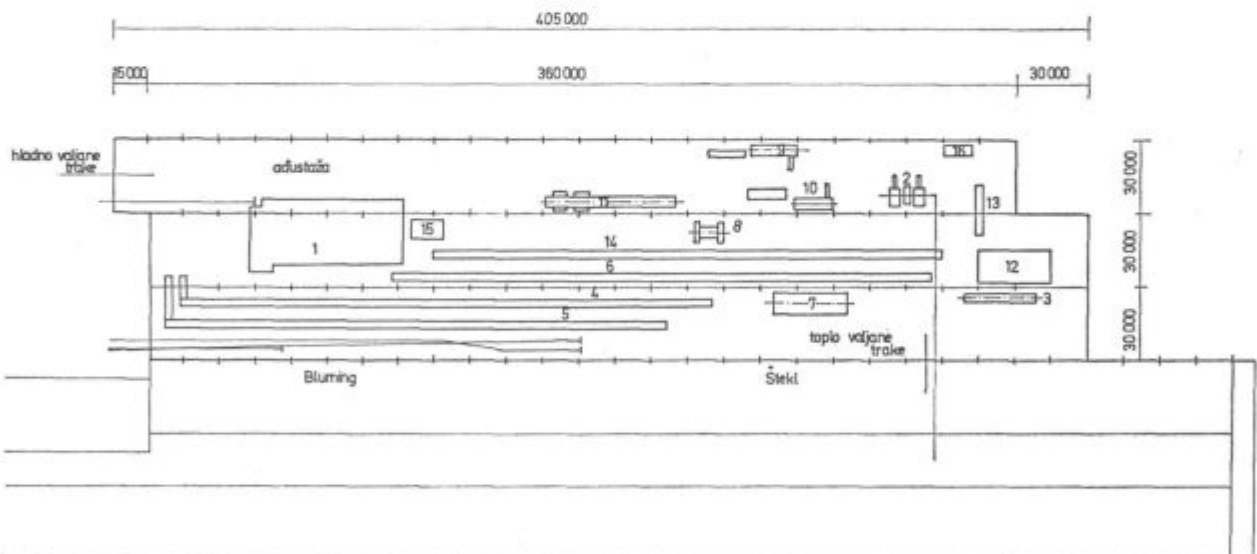
70.000 ton HVT mehkih jekel za globoko vlečenje.

Kvalitetno bo proizvodnja dinamo obsegala trakove z vatnimi izgubami od 0,9 do 3,6 W/kg in

dimenzijsko od 0,35 mm do 0,75 mm po debelini, po širini pa vse možnosti do 1000 mm. Trakovi bodo po želji kupcev enostransko ali obojestransko površinsko izolirani z vodotopnimi laki ali fosfatnimi prevlekami.

Nerjavni HVT bodo izdelani lahko iz vseh kvalitet jekel, predvidenih po JUS, in še iz novih kvalitet, ki so v proizvodnem programu firme ARMCO. Izvedba površine bo možna do kvalitet 2 B po AISI, oziroma III c po DIN ter še dodatno z brušeno površino razne finoče zrna po željah kupcev. Dimenzijsko obsega program po debelini od 0,2 mm do 3,00 mm, po širini do 1000 mm in v primeru plošč od 600 mm do 6000 mm dolžine. Vse odpremljene pošiljke bodo imele med vsakim navojem ali med vsako ploščo vpeljan zaščitni papir, ki bo zaščitil površino pred poškodbami. Papir bo lahko tudi samolepljiv, to je ostal bo lahko na površini in jo ščitil med vsemi fazami predelave pri potrošnikih.

Mehka jekla za globoko vlečenje bodo v programu kot dopolnilo do polne izkoriščenosti naprav. Predvsem naj bi v obdobju do popolne usposobljenosti hladnih valjarn v Skopju in Smederevu dopolnjevala povpraševanje tržišča na področju tankih debelin do 0,2 mm.



Slika 2  
Situacija razporeditve opreme

Fig. 2  
General lay out of the plant

1. Sendzimir ogrodje; 2. Dresirno ogrodje; 3. Linija za pripravo kolobarjev; 4. Linija za luženje trakov nerjavnega jekla; 5. Linija za luženje trakov mehkega in dinamo jekla; 6. Linija za razogljivanje in rekristalizacijo dinamo trakov; 7. Linija za brušenje nerjavnih trakov; 8. Linija za previjanje; 9. Linija za vzdolžni prerez dinamo trakov in povijanje; 10. Linija za vzdolžni prerez trakov mehkega in nerjavnega jekla; 11. Linija za prečni prerez; 12. Zvonaste žarilne peči; 13. Transporter kolobarjev; 14. Linija za razogljivanje in rekristalizacijo dinamo trakov (bodoča dograditev); 15. Brusilnica valjev Sendzimir ogrodja; 16. Brusilnica valjev dresirnega ogrodja.

1. Sendzimir mill; 2. Temper mill; 3. Coil build-up line; 4. Stainless steel anneal and pickling line; 5. Carbon and silicon pickling line; 6. Decarburization and recrystallization line for CRNO steel; 7. Abrasive polishing line; 8. Recoiling line; 9. Carbon and stainless steel slitting line; 10. Silicon steel slitting and strapping line; 11. Cut-to-length line; 12. Stack annealing furnaces; 13. Coil handling equipment; 14. Decarburization and recrystallization line for CRNO steel (future construction); 15. Sendzimir mill roll grinder; 16. Temper mill roll grinder.

Največji odvzemniki proizvodnje nove hladne valjarne bodo Sever — Gorenje iz Subotice, Elektrokovina iz Maribora, Iskra iz Kranja, Rade Končar iz Zagreba, Energoinvest iz Sarajeva, Gorenje iz Velenja, Kovinoplastika iz Loža, Kontakt iz Zagreba, Bratstvo iz Ohrida, Saturnus iz Ljubljane in drugi ter vse veletrgovske hiše z jeklom v Jugoslaviji.

## OPREMA HLADNE VALJARNE

Prvi resnejši kontakti z dobavitelji opreme za novo hladno valjarno segajo v leto 1967. S spremembo proizvodnega programa od prvotno samo globokega vleka v prvih variantah na kvalitetno in visoko legirana jekla v končni varianti, se je oprema počasi spreminjala in v letu 1970 v glavnem že obsegala sedanji izbor in obseg. V začetku leta 1973 je železarna razpisala mednarodno licitacijo za dobavo opreme. Dolgoletni predhodni razgovori z različnimi potencialnimi dobavitelji in ogled mnogih hladnih valjarn v Evropi in ZDA so omogočili, da je ob razpisu predpisala dovolj precizne tehnološko-tehnične pogoje za vsako predvideno proizvodno enoto. Tako so ponudbe, ki so prihajale, bile med seboj primerljive in smo jih lahko pri izboru ocenjevali po notnih kriterijih. Pri samem izboru dobaviteljev so poleg običajnih finančnih pogojev upoštevali še pripravljenost ponudnikov sovlagati v novo hladno valjarno in njene reference, predvsem v zadnjih letih. Posebna komisija z mnogo podkomisijami je izbrala naslednje firme kot dobavitelje opreme:

- Waterbury Farrel za valjarniško opremo
- Production Machinery Corporation za procesne linije
- General Electric za elektro opremo
- Ruthner za regeneracijo kislin, kislinska skladišča in elektrolitsko sekcijo lužilne linije nerjavnih jekel

Da so izbrali predvsem ameriške dobavitelje opreme, je narekovalo dejstvo, da so finančno-kreditni pogoji ameriških bank in dobaviteljev ugodni. Težo za odločitev pa je odločila pripravljenost dobaviteljev za finančno sovlaganje v novo hladno valjarno in kratki dobavni roki, česar evropski dobavitelji niso mogli zagotoviti.

Oprema, ki jo bodo ti dobavitelji dobavili, je naslednja:

1. Linija za pripravo kolobarjev
  - debelina trakov: 2,0 do 6,0 mm (7,0 mm debeli konci)
  - Širina trakov: 550 do 1050 mm
  - teža kolobarjev: 8 ton vhodni
  - 16 ton izhodni — maksim.
  - hitrost: 15—100 mm/min.

Originalni toplo valjani trakovi iz štekla so težki maksimalno do 8 ton. Da bi se povečala produktivnost vseh ostalih naprav zaradi zmanjšanja

uvajalnih časov, mrtvih časov pri reverziranju in podobno, je treba teže kolobarjev za hladno deformacijo in procesne linije povečati. Linija služi temu namenu s pomočjo varilnega stroja, ki zvari 2, po potrebi tudi 3 toplo valjane trakove v večjo enoto.

### 2. Lužilna linija za dinamno in mehka jekla:

debelina trakov:	2,0 do 6,0 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobar.	16 ton maksim.
hitrost:	8—62 m/min.

Lužilno sredstvo bo solna kislina, ki se bo totalno regenerirala v napravi, ki jo bo dobavila firma Ruthner.

### 3. Zarilno lužilna linija za nerjavne trakove:

debelina trakov:	0,5 do 6,0 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobar.	16 ton maksim.
hitrost:	5—39 m/min.

Linija bo služila za žarjenje in luženje toplo in hladno valjanih trakov. Posebnost linije je, da bo namesto aktivne žveplene kisline uporabljala elektrolitsko luženje z nevtralnimi natrijevim sulfatom, ki se pod vplivom električnega toka med elektrodami spremeni v aktivno žvepleno kislino. Kot celota pa je reakcija vse kopeli nevtralna. S tem odpadejo resni problemi z regeneracijo ali nevtralizacijo odpadne, izrabljene žveplene kisline, ker se nevtralni elektrolit ne izrablja. Dokončno luženje se bo vršilo s solitrno kislino ali mešanico solitrne in fluorovodikove kisline.

### 4. Sendzimir valjčno ogrodje:

tip:	ZR 21—44
začetna debelina trakov:	2,0 do 6,0 mm
končna debelina trakov:	0,2 do 3,00 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobarjev:	16 ton maks.
hitrost:	610 m/min. maks.

Značilnosti ogrodja so, da služi za močne redukcije debeline in da dela z visokimi nategi. V našem primeru bo opremljeno z dvema hladnima sistemoma: z emulzijo za valjanje pri velikih hitrostih za dinamno in mehko jeklo in z mineralnim oljem za valjanje nerjavnih jekel. Opremljeno bo z avtomatsko kontrolo debeline, tipa ESP in avtomatskim zaviranjem ter pospeševanjem za valjanje zavarjenih in defektnih mest, ki lahko povzročijo, da se pretrga trak.

### 5. Dresirno ogrodje:

Tip:	kombinirano duo-kvarto ogrodje
debelina trakov:	0,2 do 3,0 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobarjev:	16 ton maks./m
hitrost:	305 m/min. maks.

Ogrodje služi za dresiranje mehkih jekel v kvarto izvedbi in za skin pass v duo izvedbi za nerjavna jekla. Značilno je, da bo delalo s konstantnim valjčnim pritiskom in da bo nastavna naprava delovala po principu hidravlike.

6. Linija za razogljichenje in rekristalizacijo dinamo trakov:

debelina trakov:	0,35 do 0,75 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobarjev:	16 ton maks.
hitrost:	12—70 m/min.

Linija služi za finalizacijo dinamo trakov, da se dosežejo potrebne magnetne lastnosti. Ogrevne peči bodo kurjene v začetni fazi z mešanico butan-propan plina, so po predvidene za uporabo zemeljskega plina.

Zaščitna atmosfera bo na bazi mešanice dušika in vodika. V liniji bo tudi naprava za nanašanje izolacijske prevleke na bazi vodotopnih lakov in fosfata.

7. Zvonaste peči:

število peči:	9
število baz:	17
teža šarže:	64 ton maks.

Peči bodo služile za mehko žarjenje hladno valjanih trakov mehkega jekla in delno za vhodno žarjenje toplo valjanih trakov nerjavnega jekla feritnega in martenzitnega tipa. Kurjene bodo v začetni fazi z mešanico butan-propan plina, so pa opremljene za uporabo zemeljskega plina. Zaščitni plin bo na bazi mešanice dušika in vodika.

8. Brusilna linija za nerjavne trakove:

debelina trakov:	0,5 do 3,0 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobarjev:	16 ton maks.
hitrost:	3—18 m/min.

Linija bo služila za popraviljanje površine nerjavnih trakov in za finalno brušenje površine po željah kupcev. Opremljena bo z dvojnimi brusilnimi glavami za mokro brušenje obeh površin trakov (spodnje in zgornje). Linija bo reverzurna.

9. Previjalna linija:

debelina trakov:	0,2 do 3,0 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobarjev:	16 ton maks.
hitrost:	30—150 m/min.

Linija je namenjena v sedanji fazi za previjanje hladno valjanih trakov mehkega jekla pred žarjenjem. Hladno valjani trakovi po valjanju na Sendzimir ogrodju so zaradi visokih nategov tesno naviti in bi direktno žarjenje lahko povzročilo zlepljenje navojev med seboj. Da se to prepreči, se morajo trakovi previti z manjšim nategom. V bodoči fazi, ko se bo količina mehkega jekla zmanjšala, bo linija služila za obrez in razrez v ožje trakove kot linija za vzdolžni razrez.

10. Linija za vzdolžni razrez in povijanje:

debelina trakov:	0,35 do 1,5 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobarjev:	16 ton maks.
število rezov:	25 maks.
hitrost:	125 m/min. maks.

Linija bo služila predvsem za razrez dinamo trakov v ožje trakove. Predvidena je za uporabo nožev iz karbidnih trdin, zaradi česar je opremljena s posebno izvedbo rezilnega ogrodja. Linija ima v svojem podaljšku povijalno-pakirno linijo, ki bo olajšala in pospešila delo pri odpremi dinamo trakov.

11. Linija za vzdolžni razrez nerjavnih in mehkih jekel:

debelina trakov:	0,2 do 3,0 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobarjev:	16 ton maks.
št. rezov:	25 maks.
hitrost:	30—160 m/min.

Linija je predvidena za vzdolžni razrez trakov mehkih jekel in nerjavnih trakov v ožje trakove.

12. Linija za prečni razrez:

debelina trakov:	0,5 do 3,0 mm
širina trakov:	550 do 1000 mm
teža kolobarjev:	16 ton maks.
teža paketa:	10 ton maks.
dolžina plošč:	600—6000 mm

Linija je namenjena za prečni razrez vseh kvalitete proizvodnega programa hladne valjarne, predvsem mehkih in nerjavnih jekel, ker je količina dinamo trakov, razrezanih v plošče, nepomembna.

13. Regeneracija solne kisline in nevtralizacija odpadnih kislin:

Nabavo obeh naprav narekujejo dva vzroka: ekonomičnost obratovanja ter zaščita okolja. Regeneracija solne kisline dela na principu totalne regeneracije. Dobavila jo bo firma Ruthner in njen produkt je solna kislina, ki se vrača v proces, ter železov oksid v prašni obliki, katerega uporabljajo v pigmentni industriji ter v industriji feritov in permanentnih magnetov.

V nevtralizaciji se bo s pomočjo apnene brozge izvršila nevtralizacija vseh kislih vod z obeh lužilnih linij ter odpadnih izrabljenih kislin z linije za luženje nerjavnih trakov. Nevtralna tekoča masa se bo v usedalniku izločila ter preko vakuumskih filtrov izločala iz vodne emulzije. Voda se bo lahko vračala v proces ali pa jo bodo spuščali preko odvodnih kanalov v reko. Kvaliteta odpadne vode je taka, da ne bo škodovala življenju v vodi in ne bo škodljiva za okolico.

14. Ostale pomožne naprave:

Ostale pomožne naprave, ki bodo tudi dobavljene iz tujine, so naslednje:

- a) brusilni stroj za brušenje valjev Sendzimir ogrodja
- b) brusilni stroj za brušenje valjev dresirnega ogrodja
- c) generatorji za elektrolitsko pridobivanje vodika iz vode
- d) mešalne in sušilne naprave za zaščitne atmosfere
- e) transportni trak za kolobarje z obračalcem

Iz obstoječih obratov pa bo prenesena v novo hladno valjarno naslednja oprema:

- a) natezni stroj za plošče
- b) brusilni stroj za plošče
- c) škarje za pravokotni odrez

Pri tem je morda potrebna razlaga, zakaj smo se odločili za zaščitno atmosfero na bazi mešanice dušika in vodika. Železarna je za potrebe svojih obstoječih naprav, predvsem jeklarne, zgradila kisikarno, katere stranski produkt je zelo čisti dušik. Po študiji tujih podatkov ter primerjavi stroškov na volumsko enoto smo ugotovili, da je najekonomičnejša pot mešanje vodika iz elektrolize z dušikom, ki v sedanji fazi predstavlja odpadni produkt kisikarne. Odločitev za tak način oblikovanja zaščitne atmosfere je tudi v tem, da ostali dve surovini za naše razmere nista primerni: amonijak je lokacijsko po svojem izvoru zelo oddaljen in njegova dobava ni zagotovljena; zemeljski plin ali butansko propanska mešanica pa sta po svojem izvoru predraga — potreben je dovoz na Jesenice — in zahtevata še dodatne naprave za primerno pripravo zaščitnega plina. Poleg tega pa nista primerna za vse naše namene.

### BODOČE RAZŠIRJANJE HLADNE VALJARNE

Pri načrtovanju nove hladne valjarne smo stalno mislili, kako razširjati njeno proizvodnjo, oziroma kako jo še bolj specializirati. Izbrana oprema omogoča:

1. podvojiti proizvodnjo dinamo trakov ob nabavi nove linije za razogljčenje in rekristalizacijo. Prostor za to linijo je že predviden v obstoječih halah. Pri tej razširitvi pa se seveda nujno zmanjša količina mehkih jekel za globoki vlek za ca. 40.000 ton letno;

2. povečati proizvodnjo nerjavnih trakov na ca. 50.000 ton letno z nabavo dodatne lužilne linije ali linije za svetlo žarjenje, nabavo novega Sendzimir ogrodja in izgradnjo nove paralelne hale;

3. že s samo sedanjo opremo je mogoče razširiti proizvodni program na hladno valjane trakove visokoogljčnih in nizkolegiranih orodnih jekel, in sicer ob primernem zmanjšanju mehkih jekel za globoki vlek.

V katero od teh smeri se bo nova hladna valjarna v bodočnosti razvijala, je odvisno od tržnih razmer.

### ORGANIZACIJA HLADNE VALJARNE

Nova hladna valjarna bo z ozirom na velik pomen in zaradi finančne soudeležbe tujih partnerjev samostojna poslovna enota v sklopu Železarne Jesenice z nekaj drugačnimi pravicami in dolžnostmi, kot jih imajo sedanje TOZD v železarni. Pri tem mislimo predvsem na samostojni finančni obračun, ker mora biti letna bilanca predložena mednarodnemu upravnemu odboru, ki ga bodo sestavljali trije predstavniki Železarne Jesenice in dva predstavnika tujih finančnih partnerjev.

Hladna valjarna bo zaposlovala okrog 300 ljudi v proizvodnji in režiji in bo obratovala 7000 ur letno, brez upoštevanja časa za preventivno in remontno vzdrževanje. Pretežna večina delovne sile bo kadrovana v okviru Železarne same in le deloma iz ostalih virov. Za šolanje delovne sile je zadolženo vodstvo hladne valjarne v izgradnji skupno z ostalimi službami železarne.

Osnovni princip notranje organiziranosti nove hladne valjarne je zamišljen na samokontroli. Izkušnje s sedanjo organizacijsko sposobnostjo kvalitetne kontrole in sedanji odnos neposrednih proizvajalcev ne dajejo garancije za uspešno zasledovanje in kvaliteto proizvodnje. Z načelom samokontrole želimo ustvariti v novi hladni valjarni novo miselnost pri neposrednih proizvajalcih, da je za uspešnost poslovanja, kvaliteto, izplen in količino odpadka odgovoren vsak delavec v proizvodnji. Hladna valjarna naj bi bila tudi preizkusni kamen za uvedbo tega načela tudi v ostalih proizvodnih obratih v železarni.

### INVESTICIJSKI STROŠKI IN FINANCIRANJE

Po investicijskem programu znašajo investicijski stroški ob delnem upoštevanju podražitev po pozicijah naslednje vsote:

gradbena dela	206,8 milij. din
uvozna oprema	385,2 milij. din
domača oprema	63,6 milij. din
montaža opreme	40,1 milij. din
carina in transport	80,9 milij. din
ostali stroški	73,8 milij. din
nepredvidena oprema in podražitve	126,5 milij. din
provizije bankam	
prispevki	46,4 milij. din
interkalarne obresti	114,1 milij. din
kritje izgube HV leta 1976 in 1977	76,0 milij. din
obratna sredstva	237,4 milij. din
skupaj:	1,450,8 milij. din

Finančna sredstva so predvidena z naslednjimi sporazumi, oziroma pogodbami:

— pogodba o sovlaganju sredstev in ustanovitvi »Joint Venture Unit« s firmami ARMCO, Production Machinery Co, Waterbury Farrel in General Electric

— Pogodba o kreditiranju z Ljubljansko banko

— Pogodba o kreditih za tujo opremo in del domače opreme z EXIM banko, IFC Washington, Pittsburgh National Bank, Waterbury Farrel in Ruthner

— Angažiranje lastnih sredstev z garancijo Ljubljanske banke

— Pogodba o garanciji Ljubljanske banke za najete tuje kredite

### ORGANIZACIJA PROJEKTA

Celotno organizacijo projekta izvaja Železarna Jesenice z lastnim kadrom.

Po mnogih spremembah in variantah, ki so sledile začetni ideji in prvim investicijskim projektom, ki so bili predloženi predvsem domačim samoupravnim organom v potrditev in ki še niso naleteli pri finančnikih na dovolj razumevanja zaradi znane situacije prioritete ali neprioritete baznim industrijam, se je na podlagi študije tržišča, ekonomskega izračuna in postavitve dokončnega proizvodnega programa formiral v letu 1970 team, oziroma združenje teamov, ki so se lahko lotili dokončnega investicijskega programa. Tuji finančni partnerji, predvsem Mednarodna korporacija za investicije v Jugoslaviji (IICY) s sedežem v Londonu, Mednarodna finančna korporacija (IFC) s sedežem v Washingtonu in domača finančna institucija Ljubljanska banka, so bistveno vplivale na spremenjeno in poglobljeno obdelavo projekta.

Iz teamov, ki so sodelovali pri izdelavi investicijskega projekta, sta se razvili po dokončni sklenitvi vseh pogodb v zvezi z novo hladno valjarno dve skupini:

- skupina za izvedbo projekta
- skupina za organiziranje proizvodnje

Obe skupini delujeta v okviru sektorja novogradenj z direktorjem sektorja, ki je istočasno direktor projekta in neposredno odgovoren za projekt. Njemu je direktno odgovoren vodja izgradnje s svojimi sodelavci za področja projektiranja in izgradnje posameznih projektov. Skupno bo sodelovalo v okviru te skupine 40 inženirjev in tehnikov ter še dodatno 10 strokovnjakov iz drugih sektorjev železarne Jesenice. Direktorju projekta je odgovoren vodja hladne valjarne v izgradnji, ki mora s svojo grupo pripraviti potrebne predpise in normative za organizacijo proizvodnje, pripraviti kadre in izvesti preizkus in prevzem opreme in voditi proizvodnjo.

### LOKACIJA IN IZVAJANJE PROJEKTA

Lokacija nove hladne valjarne je na severni strani obstoječe valjarne Bela. Za pridobitev zadostnega prostora za proizvodne hale in za bodočo razširitev je bilo potrebno prestaviti cesto I 1 a reda Jesenice—Ljubljana. Prav tako so prestavili strugo potoka Javornik, izdelali nov železniški podvoz na progi Jesenice—Ljubljana in uredili nov vhod v valjarne Bela skupaj z novo cestno povezavo med valjarno Bela in valjarno Javornik. Za potrebe vodstvenega in tehničnega osebja bodo postavili upravno zgradbo s sanitarijami in garderobami za delavce hladne valjarne. Potrebna je bila tudi prestavitev 35 kV povezave med valjarno Bela in valjarno Javornik. Urediti bo potrebno tudi železniško in cestno povezavo z obstoječim omrežjem na področju valjarne Bela za potrebe hladne valjarne.

Na celotnem področju hladne valjarne je bilo treba izvršiti 150.000 kub. metrov površinskih izkopov zemlje za pripravo terena za hale.

Proizvodne hale bodo razporejene v treh paralelnih halah širine po 30 m, dolžine 390, 390 in 375 m ter skupne površine 34.650 kv. metrov. Višina hal bo 16 m, žerjavnih prog pa 9 m.

Nosilni skelet bo sestavljen iz nosilcev in hladno oblikovanih profilov. Izdelan bo izključno iz materiala, ki ga proizvaja železarna sama, in sicer v kvaliteti Nionical 40 in Jekor 35. Uporaba tega materiala zagotavlja manjše teže konstrukcij in nižje vzdrževalne stroške konstrukcije. Streha in fasade bodo izdelane iz dvojne aluminijaste valovite ploščevine z vmesno izolacijo. Na strehi bodo nadsvetlobniki.

Hale bodo opremljene z osmimi žerjavi nosilnosti po 20 Mp. Poleg tega so predvidene tudi instalacije za razsvetljavo, ventilacijo in gretje hal.

V odpremnem delu hal bo tudi regalno skladišče s skupno koristno površino regalov 2.000 kv. metrov. Izdelani bodo tudi pomožni prostori, ki obsegajo delavnice, skladišče rezervnih delov, delovodske pisarne in sanitarije.

Za izvajanje del je bil izdelan mrežni program, ki obsega naslednja področja:

— projektivno-tehnično, ki vključuje potrebno projektiranje in izgradnjo objektov ter preizkušnje naprav in puščanje v poizkusno proizvodnjo,

— finančno, ki zajema pridobitev vseh potrebnih kreditov in garancij zanje ter dinamično plačil,

— tehnološko-organizacijsko, ki zajema pripravo vseh potrebnih normativov za proizvodnjo, organizacijskih predpisov, tehnološko testiranje naprav in uvajanje nove proizvodnje.

— kadrovsko, ki obsega izbor in pripravo vseh potrebnih kadrov,

— tržno, ki predvideva pripravo tržišča z analizo potreb in cen ter propagando.

Po terminskem planu bo trajala izgradnja hladne valjarne 30 mesecev, to je od januarja 1974 do

julija 1976, ko se bo pričela poizkusna proizvodnja. Glavne aktivnosti bodo potekale v naslednjih terminih:

priprava gradbišča in površinski izkopi:  
februar 1974—julij 1974

izdelava temeljev hal:  
april 1974—september 1974

dobava in montaža hal:  
julij 1974—marec 1975

dobava in montaža žerjavov:  
januar 1975—avgust 1975

projektiranje naprav:  
november 1973—marec 1975

projektiranje temeljev naprav:  
september 1974—maj 1975

dobava opreme:  
marec 1975—september 1975

montaža opreme:  
junij 1975—junij 1976

poizkusni pogon:  
januar 1976—december 1976

Ob navedenih aktivnostih je treba omeniti, da so nekatera dela začeli pripravljati že v letu 1973, in sicer projektiranje lokacije, zunanje ureditve, nekaterih pomožnih naprav, projektiranje hal. Tudi ameriški dobavitelji so začeli s projektiranjem naprav že ob koncu 1973. leta.

V septembru 1974 lahko ugotovimo, da je stanje projekta v glavnem v skladu s planiranimi termini. Če ne bo kakšnih nepredvidenih zaprek, lahko pričakujemo, da bo celotni projekt izveden v predvidenih 30 mesecih, kar bi bil vsekakor rekordni dosežek.

## ZAKLJUČEK

Priprave za gradnjo nove hladne valjarne na Jesenicah so trajale sorazmerno dolgo časa. Splet okoliščin, ki je bil včasih zelo neohrabrujoč, je omogočil, da so teami, ki so se ukvarjali s hladno valjarno, imeli dovolj časa, da so temeljito preštudirali vse mogoče variante, upoštevali in preverili v obratovanju pri mnogih obiskih v tujini vso predvideno opremo, zbrali dovolj podatkov za učinkovit in uspešen ekonomski predračun in sestavili realne mrežne diagrame za gradnjo. Tako se sedaj, ko se je gradnja začela, lahko vsi, ki so vključeni pri tem delu, dejansko posvečajo tekočim organizacijskim problemom same izgradnje, organizaciji notranjega ustroja nove hladne valjarne, prenašanjem in adaptiranjem tehnologije, organizaciji vzdrževanja in niso obremenjeni, kot se je to često do sedaj dogajalo, s sprotnim popravljanjem projekta. Vse je dokončno postavljeno in odločeno, in nobene bistvene spremembe v sedanji fazi niso več mogoče. To dejstvo zagotavlja, da bo to ogromno in drago delo opravljeno v roku in v ponos delovnemu kolektivu Železarne Jesenice ter v zadovoljstvo vsem našim potrošnikom.

## ZUSAMMENFASSUNG

Das neue Kaltbandwalzwerk in Jesenice mit einer Jahresproduktion von 30 000 t kaltgewalzten Elektrobändern, 15 000 t kaltgewalzten nichtrostenden und säurebeständigen Stählen und 70 000 t kaltgewalzten Tiefziehqualitäten, bekommt seine ersten physischen Formen.

Die vorgesehenen Investitionskosten im jetzigen Zustand betragen insgesamt 1450 Millionen Dinar. Die Ausrüstungslieferanten sind an der gesamten Summe der Investitionskosten mit 385 Millionen Dinar beteiligt.

Die Auswahl des Erzeugungsprogrammes des neuen Kaltbandwalzwerkes beruht auf einer Marktforschungsanalyse des gesamten jugoslawischen Raumes in den letzten Jahren. Die neuen Kaltbandwalzwerke in Skopje und Smederevo, sowie das neu geplante Kaltbandwalzwerk im Rahmen des Unternehmens UNIS in Banja Luka, haben hauptsächlich die Produktion von weichen Stahlsorten vorgesehen. Es war aus diesen Gründen dringend, dass sich

das Hüttenwerk in Jesenice im Bezug auf seine ungünstige Rohstofflage, für die Produktion hochwertiger Stahlgüten entschieden hat, um damit den gesamten jugoslawischen Wirtschaftsraum zu versorgen. Die Ausrüstung, welche im Rahmen der Verträge mit ausländischen Lieferanten geliefert wird, gewährleistet eine spätere Auffassung der Produktion von weichen Stahlsorten, bzw. das Einhalten von nur kleinen Mengen, und das Vergrößern der Produktion von nichtrostenden Stählen und Elektroblechqualitäten. Beim Projektieren ist besondere Aufmerksamkeit der zukünftigen Erweiterung des Kaltbandwalzwerkes im Sinne der hochwertigen Stahlsorten gewidmet worden.

Das Hüttenwerk Jesenice empfiehlt die angenehme Pflicht, die Öffentlichkeit über einige Einzelheiten bei der Projektierung, über die Ausrüstung, über das technologische Verfahren, welches auf einer Lizenz der Firma ARMCO für die Erzeugung der nichtrostenden und Elektroblechqualitäten beruht, zu informieren.

## SUMMARY

The new cold rolling plant in Jesenice will produce 30,000 t HVT transformer steel, 15,000 t HVT stainless steel, and 70,000 t HVT mild deep-drawing steel per year, and the final shape of its final form is already visible.

The investment costs at the moment are expected to be 1,450 million dinars. The equipment deliverers will contribute 385 million dinars and they will invest a part of this sum as their contribution to the investment costs.

The chosen production program of the new cold rolling plant is based on the analysis of the market demands which quite substantially changed in the recent years through the whole Yugoslavia. Cold rolling plants in Skopje and Smederevo and the expected new cold rolling plant in the UNIS company in Banja Luka will mainly produce rolled mild steel and semiproducts of the mild steel. Because of unsuitable location the Jesenice Iron-

works had to decide for such a production program which will include products of higher value and they will be supplied to the whole Yugoslav market. The equipment which will be delivered according to the signed subcontracts with foreign deliverers guarantee that later production of mild steel semiproducts can be dropped or retained on a low level and the production of stainless steel and electrical steel semiproducts increased. In designing an especial attention was attributed to further enlargement of the

cold rolling plant according to the previously mentioned changes of the production program.

The Jesenice Ironworks feel a pleasant duty to inform the public about some details of the construction of the new cold rolling plant while it is designed, about the progress of construction, about the equipment and general production program and technological process which will be based and the know-how of Armco Company for transformer and stainless steel.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

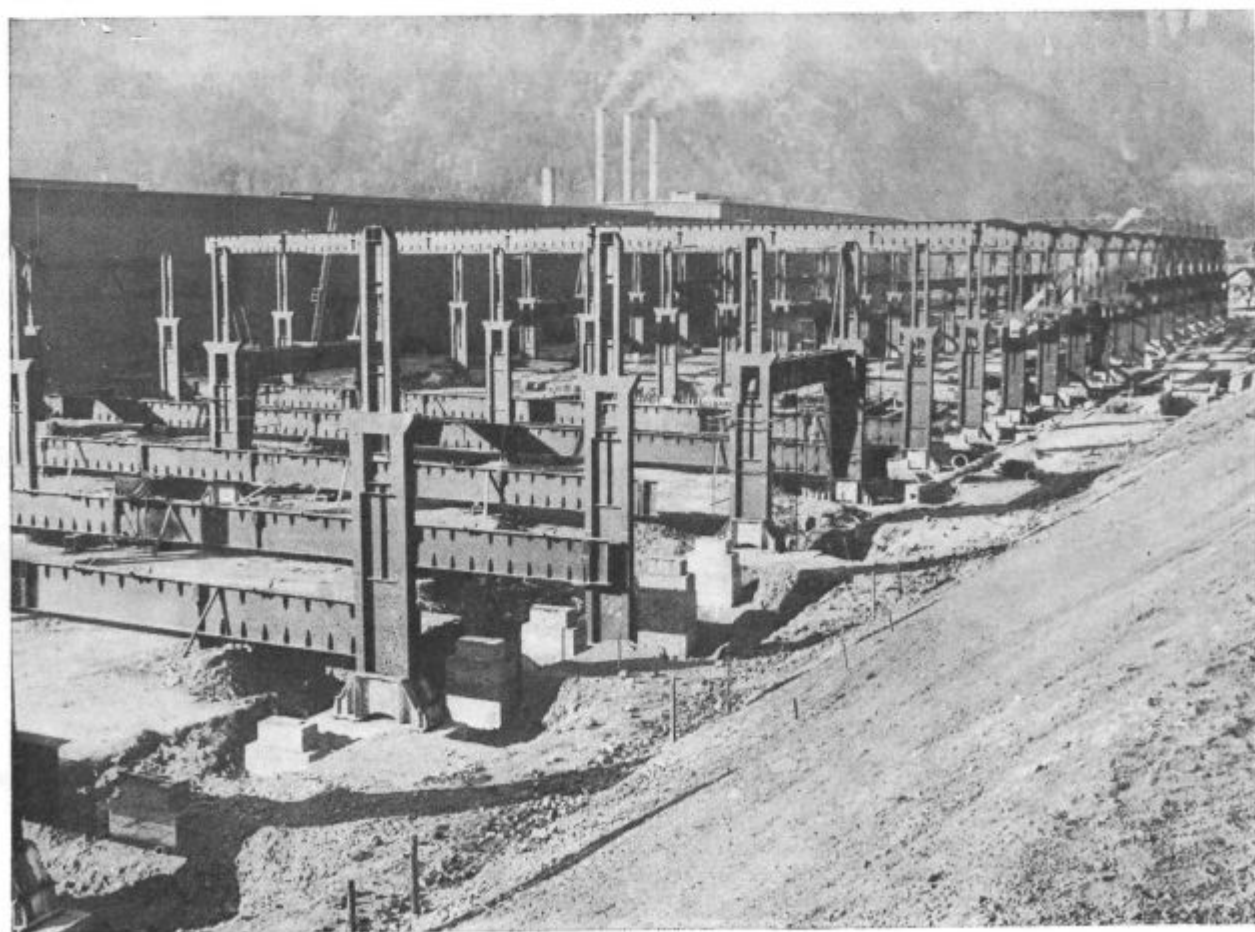
Новый холодный прокатный цех проектная годовая мощность которого будет 30.000 т динамной стали, 15.000 т нержавеющей стали и 70.000 т мягкой стали в форме полос глубокой вытяжки постепенно получает свои первые физические формы. В настоящем моменте капитальные вложения представляют сумму 1.450 милл. дин. Поставщики оборудования участвуют также вкладчики с суммой 385 милл. дин. при капитальном вложении.

Решающий фактор выбора программы производства основан на прослеживании ситуации рынка, так как именно в последние годы с общей точки зрения ситуация производства стали в Югославии существенно изменилась. Холодные прокатные цехи в Скопье и в Смедереву, а также и планированная постройка нового холодного прокатного цеха промышленного предприятия UNIS в Банья Лука планируют главным образом производство мягкой стали соотв. изделий из мягкой стали. Поэтому такая ситуация безусловно требовала чтобы металлургический завод Есенице, при учёте своего весьма благоприятного местополо-

жения, принял решение в своей программе производить изделия более высокой ценности имея при этом возможность с своими изделиями снабжать весь югославский рынок. Оборудование, которое будет на основании заключения контрактов поставлено со стороны поставщиков, позволит познейший переход от производства мягкой стали, соотв. ограничить это производство на минимум на увеличение производства нержавеющей стали или же на сорта стали, которые требуют электропромышленность. При проектировании взято во внимание будущее расширение этого прокатного цеха при учёте упомянутых марок стали.

Металлургический завод Есенице считает за свою обязанность уведомить общественность о некоторых подробностях постройки этого прокатного цеха во время проектирования, о ходе строительных работ, о оборудовании, а также в грубых чертах о технологическом процессе, который в этом прокатном цехе, что касается динамной и нержавеющей стали, будет осуществлят на принципе KNOW-HOW со стороны фирмы ARMCO.

Montaža stebrov hale nove hladne valjarne na Beli.





# Prigor in odgor elementov (silicija in mangana) pri varjenju pod praškoma EP 10 in EP 50

DK: 669.014.648  
621.791.01  
ASM/SLA: K1e, K9n

Rajko Kežar

Taljeni silikatni visoko manganski prašek EP 10 je primeren za varjenje v kombinaciji z nizko legiranimi žicami (EPP 1 in EPP 2), taljeni visoko silikatni prašek EP 50 pa je primeren za varjenje v kombinaciji z visoko legiranimi žicami (EPP 3).

Pri varjenju pod varilnimi praški (1, 2) poteka med raztaljeno žlindro in talino vara oksidacijsko redukcijske reakcije, ki teže k vzpostavitvi ravnotežja. Potek omenjenih reakcij je odvisen od kemične sestave žlindre in vara ter odločilen za prigor in odgor elementov med varjenjem.

## UVOD

Vzpostavljanje ravnotežja med talino žlindre in vara poteka v skladu z naslednjo ravnotežno enačbo<sup>3, 11</sup>.

$$a_{O/} = \frac{a_{(FeO)}}{K_{Fe}^a} = \frac{a_{(MnO)}}{K_{Mn}^a \cdot a_{Mn/}} = \sqrt{\frac{a_{(SiO_2)}}{K_{Si}^a \cdot a_{Si/}}} = \frac{\geq 1}{K_C^a \cdot a_{C/}} \quad (\text{en. 1})$$

Zaradi kratkega časa, ki je med varjenjem pod varilnimi praški na razpolago za potek reakcij (ko sta varilna žlindra in kovina vara v raztaljenem stanju), te ne potečejo do konca — med žlindro in varom se vzpostavi navidezno ravnotežje.

## I. ZAKONITOSTI PRIGORA, OZ. ODGORA SI IN Mn MED VARJENJEM POD VARILNIMA PRAŠKOMA EP 10 IN EP 50

### 1. Varjenje ter kemične analize žic, čistih varov in varilnih žlinder

Vzpostavljanje navideznega ravnotežja med žlindro in varom smo raziskali za varjenja z žicami EPP 1, EPP 2 in EPP 3 pod varilnima praškoma EP 10 in EP 50.

Vsa varjenja smo izvedli z žicami, dimenzije  $\varnothing 4$  mm, pod približno enakimi pogoji ( $I = \text{ca.}$

Avtor je doktor metalurških znanosti in raziskovalni svetnik na Zavodu za varjenje SRS v Ljubljani.

Naloga je bila izdelana, ko je bil avtor še v Zvezni železarni Jesenice.

600 A,  $U = \text{ca. } 35$  V in hitrostjo varjenja ca. 50 cm v minuti).

Kemične analize žic, ki smo jih uporabljali pri varjenju, so podane v tabeli 1, čistih varov v tabeli 2, varilnih žlinder pa v tabeli 3.

Tabela 1: Kemična analiza žic

	% C	% Si	% Mn
EPP 1	0,08	0,14	0,60
EPP 2	0,11	0,18	1,18
EPP 3	0,10	0,17	1,61

Tabela 2: Kemična analiza čistih varov

	% C	% Si	% Mn
EPP 1/EP 10	0,03	0,32	1,17
EPP 1/EP 50	0,03	0,50	0,42
EPP 2/EP 10	0,04	0,36	1,45
EPP 2/EP 50	0,06	0,68	0,67
EPP 3/EP 10	0,05	0,35	1,64
EPP 3/EP 50	0,06	0,61	0,71

### 2. Računanje ravnotežne vsebnosti Mn in Si ( $\approx \text{Ce}$ )<sup>12</sup>

Oksidacijsko redukcijske reakcije, ki potekajo med talino žlindre in vara, teže k vzpostavitvi ravnotežja. H kateri količini Mn in Si v varu pa v izbranem primeru teže, sem izračunal iz naslednjih enačb:

$$K'_{Mn, Fe} = \frac{a_{(MnO)}}{a_{(FeO)} \cdot \% Mn/}$$

$$\text{in } K'_{Si, Fe} = \frac{a_{(SiO_2)}}{a_{(FeO)}^2 \cdot \% Si/}$$

ki sem jih izpeljal iz enačb<sup>4</sup>:

$$\log K'_{Fe} = \log \frac{a_{(FeO)}}{\% O/} = \frac{6320}{T} - 2,73 \quad (\text{en. 2})$$

$$\log K'_{Mn} = \log \frac{a_{(MnO)}}{\% Mn/ \cdot \% O/} = \frac{12760}{T} - 5,68 \quad (\text{en. 3})$$

$$\log K'_{Si} = \log \frac{a_{(SiO_2)}}{\% Si/ \cdot \% O/} = \frac{28300}{T} - 10,6 \quad (\text{en. 4})$$

Tabela 3: Kemična analiza varilnih žlinder

	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% FeO	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% MnO	% CaO	% MgO	% CaF <sub>2</sub>
EPP 1/EP 10	38,40	6,45	4,30	0,74	29,38	6,15	4,04	8,20
EPP 1/EP 50	47,00	3,00	3,00	0,31	3,96	27,33	6,66	6,00
EPP 2/EP 10	37,20	6,40	4,38	0,50	29,59	6,02	4,45	7,60
EPP 2/EP 50	47,20	3,10	2,43	0,64	4,33	26,89	6,26	7,00
EPP 3/EP 10	37,40	6,76	4,38	1,12	28,64	6,27	4,64	7,80
EPP 3/EP 50	47,70	3,87	2,86	0,63	4,26	26,91	6,70	7,00

Ravnotežne vsebnosti »C<sub>e</sub>« sem izračunal pri srednji temperaturi varjenja 2050° K<sup>5, 6</sup>

$$\log K'_{Mn, Fe} = \log K'_{Mn} - \log K'_{Fe} = \frac{6440}{T} - 2,95; K'_{Mn, Fe} = 1,55$$

$$C_e = \% Mn / = \frac{X_{MnO} \cdot f_{MnO}(2050^\circ K)}{X_{FeO} \cdot f_{FeO}(2050^\circ K) \cdot 1,55} \quad (\text{en. 5})$$

$$\log K'_{Si, Fe} = \log K'_{Si} - 2 \cdot \log K'_{Fe} = \frac{15660}{T} - 5,14;$$

$$K'_{Si, Fe} = 316$$

$$C_e = \% Si / = \frac{X_{SiO_2} \cdot f_{SiO_2}(2050^\circ K)}{X_{FeO}^2 \cdot f_{FeO}^2(2050^\circ K) \cdot 316} \quad (\text{en. 6})$$

Op.: V izpeljanih enačbah nista upoštevana koeficienta termodinamične aktivnosti  $f_{Mn}$  in  $f_{Si}$ . Za temperaturo 1600° C jih lahko izračunamo s pomočjo konstant medsebojnega vpliva »e<sub>i</sub><sup>(j)</sup>«<sup>7, 8</sup>

$f_{Mn} = ca. 1; \log f_{Si} = e_{Si}^{(C)} (\% C) + e_{Si}^{(Si)} (\% Si) = -2 \log (24 \% C + 32 \% Si)$ . Ker pa je v našem primeru temperatura višja (2050° K) se vrednosti za koeficient aktivnosti približajo vrednosti 1. Temperaturna odvisnost konstant medsebojnega vpliva je naslednja<sup>9</sup>:

$$e_i^{(j)} = A(j) \exp. \left( \frac{\Delta E}{RT} \right)$$

$X_{FeO}$ ,  $X_{MnO}$  in  $X_{SiO_2}$  so ionski ulomki komponent FeO, MnO in SiO<sub>2</sub> v varilni žilindri. Računal sem jih po naslednji splošni enačbi<sup>10, 11</sup>:

$$X_j = \frac{v_j \cdot n_j}{K \sum_{i=1}^K v_i \cdot n_i} \quad (\text{en. 7})$$

$v_j$  — število kovinskih atomov v molekuli izbrane komponente  
 $n_j$  — koncentracija izbrane komponente varilne žilindre v g - molih

Koeficiente termodinamične aktivnosti komponent varilne žilindre » $f_{FeO}$ «, » $f_{MnO}$ « in » $f_{SiO_2}$ « pri temperaturi 1600° C sem računal po naslednjih enačbah, ki sem jih izpeljal na osnovi ionske teorije in termodinamike žlinder v skladu s teoret-

skimi izpeljavami Kožeuropa<sup>10, 11</sup>:

$$\log f_{FeO} = X_{SiO_2} [1,16 X_{MnO} + 3,15 (X_{CaO} + X_{MgO})] + 0,268 (2 X_{SiO_2} - X_{FeO} - X_{MnO} - X_{CaO} - X_{MgO})^2 - 2 (2 X_{SiO_2} - X_{FeO} - X_{MnO} - X_{CaO} - X_{MgO}) \cdot (3 X_{SiO_2} + X_{Al_2O_3} + X_{Fe_2O_3} + X_{CaF_2}) \cdot [0,268 X_{FeO} + 0,606 X_{MnO} + 0,734 (X_{CaO} + X_{MgO})] \quad (\text{en. 8})$$

$$\log f_{MnO} = \log f_{FeO} - 1,16 X_{SiO_2} + 0,338 (2 X_{SiO_2} - X_{FeO} - X_{MnO} - X_{CaO} - X_{MgO})^2 \quad (\text{en. 9})$$

$$\log f_{SiO_2} = \log f_{FeO} - 1,16 X_{MnO} - 3,15 (X_{CaO} + X_{MgO}) - 0,268 \cdot (2 X_{SiO_2} - X_{FeO} - X_{MnO} - X_{CaO} - X_{MgO})^2 + 6 (2 X_{SiO_2} - X_{FeO} - X_{MnO} - X_{CaO} - X_{MgO}) \cdot [0,268 X_{FeO} + 0,606 X_{MnO} + 0,734 (X_{CaO} + X_{MgO})] \quad (\text{en. 10})$$

Enačbe 8, 9 in 10 veljajo za kisle žilindre, to je v našem primeru, ko velja pogoj:  $2 X_{SiO_2} > (X_{FeO} + X_{MnO} + X_{CaO} + X_{MgO})$ . Če ta pogoj ni izpolnjen (bazične žilindre), pa odpadejo členi, ki upoštevajo polimerizacijo, in enačbe 8, 9 in 10 preidejo v naslednje oblike:

$$\log f_{FeO} = X_{SiO_2} [1,16 X_{MnO} + 3,15 (X_{CaO} + X_{MgO})] \quad (\text{en. 11})$$

$$\log f_{MnO} = \log f_{FeO} - 1,16 X_{SiO_2} \quad (\text{en. 12})$$

$$\log f_{SiO_2} = \log f_{FeO} - 1,16 X_{MnO} - 3,15 (X_{CaO} + X_{MgO}) \quad (\text{en. 13})$$

Enačbe za izračunavanje koeficientov termodinamične aktivnosti za naš sistem varilnih žlinder sem izpeljal z naslednjimi poenostavitvami<sup>11</sup>:

— CaF<sub>2</sub> z ostalimi sestavinami ne tvori spojini  
 — Vpliv Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> je zanemarljivo majhen (izraz za količino vezi Me—O—Me, ki je pomembna za upoštevanje polimerizacije, sem izpeljal s predpostavko, da oksida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ne oddajata, pa tudi ne vežeta O<sup>2-</sup> ionov — vpliv polimerizacije Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> je v primerjavi z vplivom polimerizacije SiO<sub>2</sub> na koeficiente aktivnosti zanemarljiv).  
 — Med vplivom CaO in MgO na koeficiente aktivnosti ni bistvene razlike.

Enačbe od 8 do 13 so izpeljane za računanje koeficientov termodinamične aktivnosti pri temperaturi 1600° C. Če bi jih izpeljal za katero drugo temperaturo, bi se spremenili v podanih enačbah

le izračunani faktorji  $\frac{Q_{ij}}{4,575 T} \ln \frac{q_i}{4,575 T}$ , to je številke 1,16; 3,15; 0,268; 0,606; 0,734 in 0,338

( $Q_{ij}$  — toplote mešanja:  $Q_{FeO, MnO} = Q_{FeO, CaO} = Q_{FeO, SiO_2} = Q_{MnO, CaO} = 0$ ,  $Q_{MnO, SiO_2} = -10\ 000$  kal,  $Q_{CaO, SiO_2} = -27\ 000$  kal;

$q_i$  — toplote polimerizacije:  $q_{FeO} = 2300$  kal,  $q_{MnO} = 5200$  kal,  $q_{CaO} = 6300$  kal)<sup>10</sup>

Splošna enačba za izračun koeficienta termodinamične aktivnosti izbrane komponente v talini žilindre je naslednja:

$$\log f_L = \sum_{i=1}^{L-1} X_i \cdot \frac{Q_{iL}}{4,575 \cdot T} + \sum_{i=L+1}^K X_i \cdot \frac{Q_{Li}}{4,575 \cdot T} - \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{j=i+1}^K X_i \cdot X_j \cdot \frac{Q_{ij}}{4,575 \cdot T}$$

(velja le za bazične žilindre — pri kislih žilindrah moramo upoštevati še povečanje notranje in proste energije zaradi polimerizacije).

Za računanje koeficientov aktivnosti komponent varilne žilindre pri srednji temperaturi varjenja 2050° K nisem postavjal posebnih enačb, temveč sem iz splošne enačbe za izračunavanje koeficienta aktivnosti izpostavil T (temperaturo) ter dobil naslednjo temperaturno odvisnost:

$$T \cdot \log f_L = \text{const.}$$

$$1873 \cdot \log f_{Me_2O_3} (1873^\circ K) = 2050 \cdot \log f_{Me_2O_3} (2050^\circ K)$$

Koeficiente termodinamične aktivnosti, ki sem jih po enačbah od 8 do 13 računal za temperaturo 1600° C, sem preračunal na temperaturo 2050° K po naslednji enačbi<sup>11</sup>:

$$\log f_{Me_2O_3} (2050^\circ K) = \frac{1873}{2050} \cdot \log f_{Me_2O_3} (1873^\circ K) \quad (\text{en. 14})$$

Tabela 4: Prikaz smeri, kako poteka vzpostavljanje ravnotežja med talino žilindre in kovine vara pri varjenju pod varilnima praškoma EP 10 in EP 50 za reakciji: /Mn/ + (FeO)  $\rightleftharpoons$  /Fe/ + (MnO) in /Si/ + 2 (FeO)  $\rightleftharpoons$  2 /Fe/ + (SiO<sub>2</sub>)

	Reakcija: /Mn/ + (FeO) $\rightleftharpoons$ /Fe/ + (MnO)			Reakcija: /Si/ + 2 (FeO) $\rightleftharpoons$ 2 /Fe/ + (SiO <sub>2</sub> )			
	$C_2$	$C_v$	$C_e$	$C_2$	$C_v$	$C_e$	( $C_e^*$ )
EPP 1/EP 10	0,60	→ 1,17	→ 1,83	0,14	→ 0,32	→ 0,58	(0,43)
EPP 1/EP 50	0,60	→ 0,42	→ 0,31	0,14	→ 0,50	→ 0,65	(0,46)
EPP 2/EP 10	1,18	→ 1,45	→ 1,82	0,18	→ 0,36	→ 0,46	(0,36)
EPP 2/EP 50	1,18	→ 0,67	→ 0,44	0,18	→ 0,68	→ 1,14	(0,69)
EPP 3/EP 10	1,61	→ 1,64	→ 1,77	0,17	→ 0,35	→ 0,45	(0,35)
EPP 3/EP 50	1,61	→ 0,71	→ 0,37	0,17	→ 0,61	→ 0,80	(0,54)

$C_2$  — vsebnost Mn in Si v varilni žici (ut. %)

$C_v$  — vsebnost Mn in Si v čistem varu (ut. %)

$C_e^*$  — ravnotežna vsebnost Mn in Si (ut. %); računana s predpostavko, da je  $f_{Si} = 1$

$C_e$  — ravnotežna vsebnost Mn in Si (ut. %); računana s  $f_{Si} (1600^\circ C) = 0,32 \cdot \% Si$

V tabeli 4 in diagramih na slikah od 1 do 4 je prikazan potek vzpostavljanja ravnotežja med raztaljeno žilindro in kovinsko talino vara pri varjenju pod varilnimi praški. Vsebnosti Mn in Si v varilni žici in čistem varu so analizirane, ravnotežne koncentracije Mn in Si pa izračunane iz analiz žilinder (tabela 3) po enačbah 5 in 6.

Op.: Dejanska ravnotežna vsebnost Si je med obema izračunanima vrednostima (višja od  $C_e^*$  in nekoliko nižja od  $C_e$  — glej tabelo 4).

Iz tabele 4 in diagramov na slikah od 1 do 4 je razvidno, da je vsebnost Mn in Si v čistem varu » $C_v$ « vedno med vsebnostjo Mn in Si v žici » $C_2$ « in ravnotežno vsebnostjo Mn in Si » $C_e$ «. To dokazuje, da reakcije med žilindro in kovino vara niso dokončane ter da bo nastopil odgor elementa v tistih primerih, ko je ravnotežna vsebnost elementa » $C_e$ «, ki je izračunana iz analize varilne žilindre, nižja od vsebnosti elementa v žici » $C_2$ «.

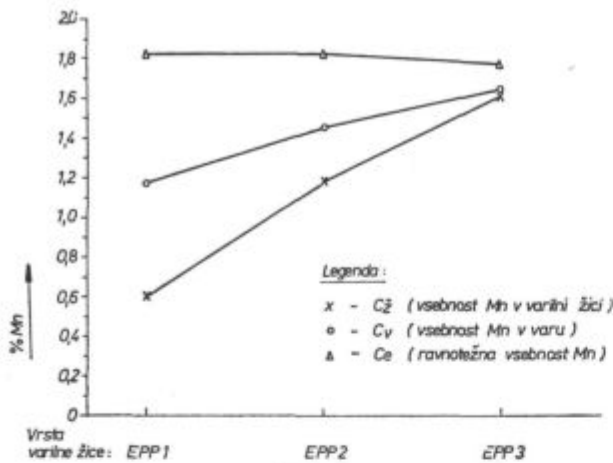
$C_e < C_2$  — odgor elementa

$C_e > C_2$  — prigor elementa

### 3. Računanje ravnotežne aktivnosti kisika v talni kovine vara pri srednji temperaturi varjenja 2050° K

Potek oksidacijsko redukcijskih reakcij med raztaljeno žilindro in talino vara pri varjenju pod varilnimi praški je lepo viden tudi iz primerjave ravnotežnih aktivnosti kisika, ki so izračunane na osnovi vsebnosti FeO v žilindri (s pomočjo konstante  $K_{Fe}^a$ ), na osnovi vsebnosti MnO v žilindri in Mn v varu (s pomočjo konstante  $K_{Mn}^a$ ) in na osnovi vsebnosti SiO<sub>2</sub> v žilindri in Si v varu (s pomočjo konstante  $K_{Si}^a$ ).

Konstante  $K_{Fe}^a$ ,  $K_{Mn}^a$  in  $K_{Si}^a$  sem za temperaturo 2050° K izračunal iz enačb 1, 3 in 4, ki sem jih pisal v obliki aktivnosti, ker so količine Si v varu

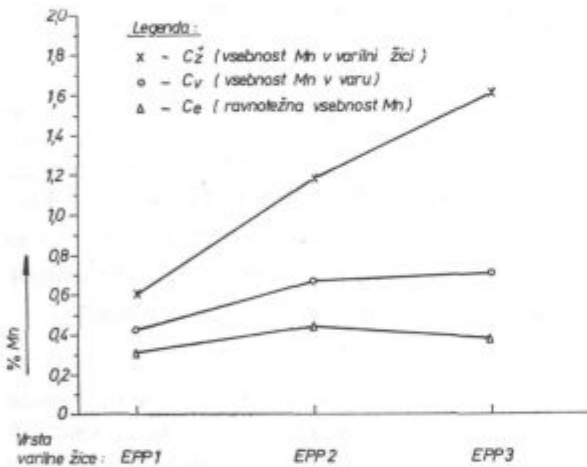


Slika 1

Vzpostavljanje navideznega ravnotežja reakcije:  $Mn + (FeO) \rightleftharpoons Fe + (MnO)$ , pri varjenju pod praškom EP 10 z žicami EPP 1, EPP 2 in EPP 3

Fig. 1

Established quasi-equilibrium of the reaction  $Mn + (FeO) \rightleftharpoons Fe + (MnO)$  in submerged arc welding using EP 10 powder and EPP 1, EPP 2, and EPP 3 wires



Slika 2

Vzpostavljanje navideznega ravnotežja reakcije:  $Mn + (FeO) \rightleftharpoons Fe + (MnO)$ , pri varjenju pod praškom EP 50 z žicami EPP 1, EPP 2 in EPP 3

Fig. 2

Established quasi-equilibrium of the reaction  $Mn + (FeO) \rightleftharpoons Fe + (MnO)$  in submerged arc welding using EP 50 powder and EPP 1, EPP 2, and EPP 3 wires

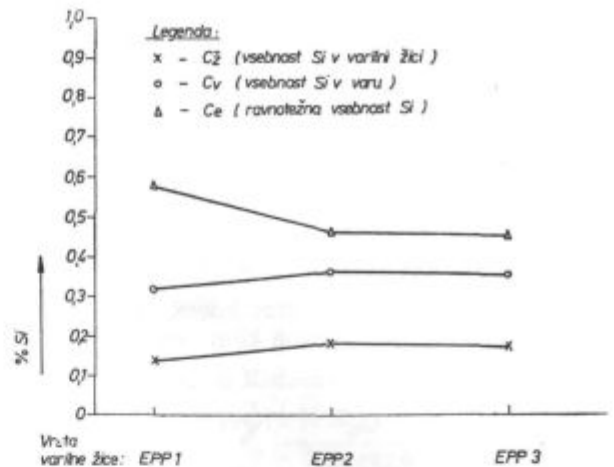
znatne ter jih moramo zato kljub visoki srednji temperaturi varjenja upoštevati.<sup>11</sup>

$$K_{Fe}^a = \frac{X_{FeO} \cdot f_{FeO} (2050^{\circ} K)}{a_{O/}} = 2,26$$

$$K_{Mn}^a = \frac{X_{MnO} \cdot f_{MnO} (2050^{\circ} K)}{a_{O/} \cdot \% Mn/} = 3,47$$

$$K_{Si}^a = \frac{X_{SiO_2} \cdot f_{SiO_2} (2050^{\circ} K)}{a_{O/}^2 \cdot \% Si/ \cdot f_{Si} (2050^{\circ} K)} = 1585$$

Studij poteka reakcij na osnovi primerjanja ravnotežnih aktivnosti kisikov izvira iz ravnotežne

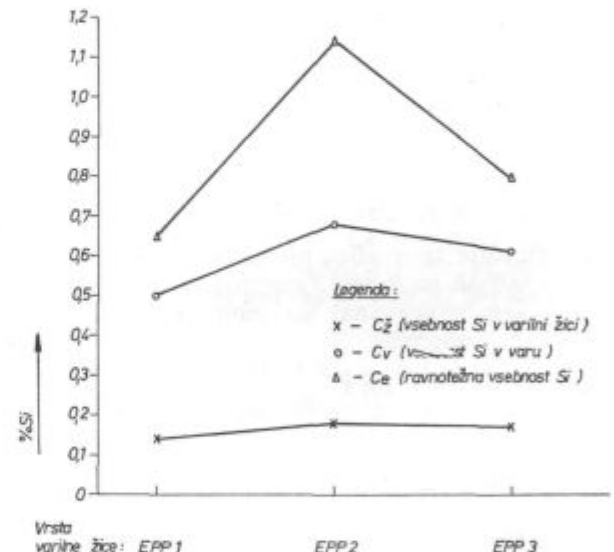


Slika 3

Vzpostavljanje navideznega ravnotežja reakcije:  $Si + 2(FeO) \rightleftharpoons 2(Fe) + (SiO_2)$ , pri varjenju pod praškom EP 10 z žicami EPP 1, EPP 2 in EPP 3

Fig. 3

Established quasi-equilibrium of the reaction  $Si + 2(FeO) \rightleftharpoons 2(Fe) + (SiO_2)$  in submerged arc welding using EP 10 powder and EPP 1, EPP 2, and EPP 3 wires



Slika 4

Vzpostavljanje navideznega ravnotežja reakcije:  $Si + 2(FeO) \rightleftharpoons 2(Fe) + (SiO_2)$ , pri varjenju pod praškom EP 50 z žicami EPP 1, EPP 2 in EPP 3

Fig. 4

Established quasi-equilibrium of the reaction  $Si + 2(FeO) \rightleftharpoons 2(Fe) + (SiO_2)$  in submerged arc welding using EP 50 powder and EPP 1, EPP 2, and EPP 3 wires

enačbe (en. 1), ki jo lahko pišemo v naslednji obliki:

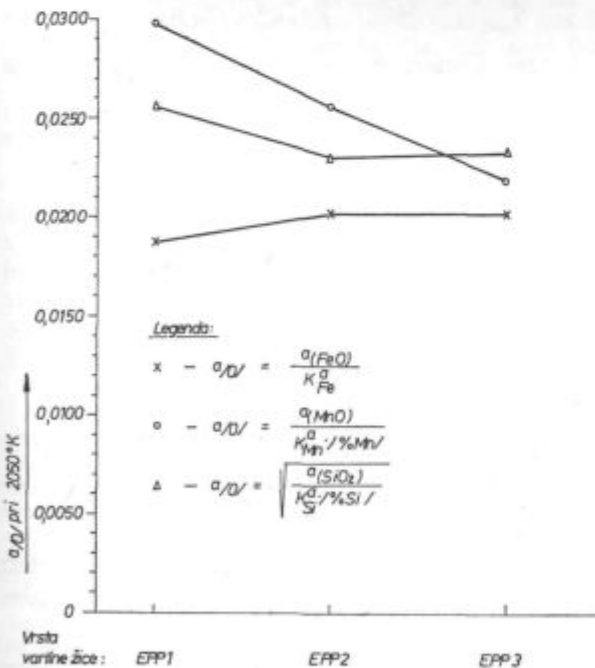
$$a_{O/} = \frac{X_{FeO} \cdot f_{FeO} (2050^{\circ} K)}{2,26} = \frac{X_{MnO} \cdot f_{MnO} (2050^{\circ} K)}{3,47 \cdot \% Mn/} = \sqrt{\frac{X_{SiO_2} \cdot f_{SiO_2} (2050^{\circ} K)}{1585 \cdot \% Si/ \cdot f_{Si} (2050^{\circ} K)}} \quad (\text{en. 15})$$

V tabeli 5 in diagramih na slikah 5 in 6 so podane izračunane ravnotežne aktivnosti kisikov v talini kovine vara pri temperaturi 2050<sup>o</sup> K.

Tabela 5: Primerjava ravnotežnih aktivnosti kisikov v talini kovine vara (2050<sup>o</sup> K), ki so izračunane s pomočjo konstant  $K_{Fe}^a$ ,  $K_{Mn}^a$  in  $K_{Si}^a$

	$\frac{a(FeO)}{K_{Fe}^a}$	$\frac{a(MnO)}{K_{Mn}^a \cdot a/Mn/}$	$\sqrt{\frac{a(SiO_2)}{K_{Si}^a \cdot a/Si/}}$
EPP 1/EP 10	0,0188	0,0298	0,0256 (0,0227)
EPP 1/EP 50	0,0169	0,0125	0,0194 (0,0158)
EPP 2/EP 10	0,0202	0,0256	0,0230 (0,0200)
EPP 2/EP 50	0,0131	0,0087	0,0171 (0,0131)
EPP 3/EP 10	0,0202	0,0219	0,0233 (0,0202)
EPP 3/EP 50	0,0151	0,0081	0,0175 (0,0138)

Op.: Ravnotežne aktivnosti kisikov v talini kovine vara (2050<sup>o</sup> K) s pomočjo konstante  $K_{Si}^a$  sem računal tako, da sem enkrat predpostavljal, da je  $f_{Si} = 1$ , drugič pa sem računal kar z  $f_{Si}$  (1600<sup>o</sup> C) (podatek v oklepaju). Dejanska ravnotežna aktivnost kisika je med obema izračunanima vrednostma.

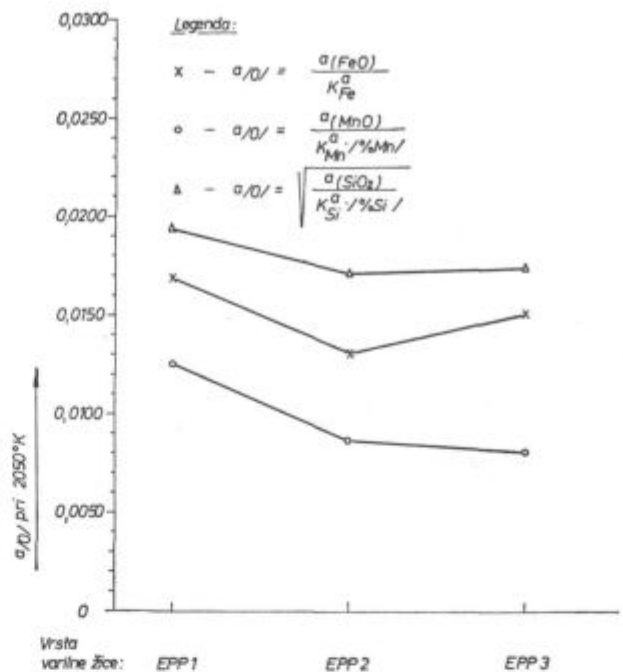


Slika 5

Izračunane ravnotežne aktivnosti kisikov v talini kovine vara (2050<sup>o</sup> K) pri varjenju pod praškom EP 10 z žicami EPP 1, EPP 2 in EPP 3

Fig. 5

Calculated equilibrium oxygen activities in the metal melt of the weld (2050 K) in submerged arc welding using EP 10 powder and EPP 1, EPP 2, and EPP 3 wires



Slika 6

Izračunane ravnotežne aktivnosti kisikov v talini kovine vara (2050<sup>o</sup> K) pri varjenju pod praškom EP 50 z žicami EPP 1, EPP 2 in EPP 3

Fig. 6

Calculated equilibrium oxygen activities in the metal melt of the weld (2050 K) in submerged arc welding using EP 50 powder and EPP 1, EPP 2, and EPP 3 wires

Ravnotežne aktivnosti kisikov, ki so izračunane s pomočjo različnih konstant ( $K_{Fe}^a$ ,  $K_{Mn}^a$  in  $K_{Si}^a$ ), se v istem primeru varjenja med seboj razlikujejo zato, ker oksidacijsko redukcijsko reakcije med raztaljeno žilindro in talino kovine vara ne utegnejo poteči do konca. Žilindra in var zamrzne pred vzpostavitvijo ravnotežja — vzpostavi se navidezno ravnotežje.

Prigor Si in Mn med varjenjem nastopi v primeru, če ju železo reducira iz varilne žilindre (glej sliko 5 in tabelo 5 — primeri varjenja EPP 1/EP 10, EPP 2/EP 10 in EPP 3/EP 10):

$$\frac{X_{FeO} \cdot f_{FeO}}{K_a^{Fe}} < \frac{X_{MnO} \cdot f_{MnO}}{K_{Mn}^a \cdot \%Mn/} \text{ in}$$

$$\frac{X_{FeO} \cdot f_{FeO}}{K_{Fe}^a} < \sqrt{\frac{X_{SiO_2} \cdot f_{SiO_2}}{K_{Si}^a \cdot \%Si/ \cdot f_{Si}}}$$

V opisanem primeru redukcije z železom je koncentracija MnO, oziroma SiO<sub>2</sub> v varilni žilindri večja, koncentracija Mn oziroma Si v varu pa manjša, kot bi odgovarjalo ravnotežnim pogojem.

Prigor Si in odgor Mn med varjenjem pa nastopi, če Mn reducira Si iz varilne žilindre (glej sliko 6 in tabelo 5 — primeri varjenja EPP 1/EP 50, EPP 2/EP 50 in EPP 3/EP 50):

Tabela 6: Mehanske vrednosti čistih varov

	meja raztezanja (kp/mm <sup>2</sup> )	trdnost (kp/mm <sup>2</sup> )	raztezek %	kontrakcija (%)	žilavost po V Notch (kpm/cm <sup>2</sup> )		
					+ 20° C	0° C	- 20° C
EPP 1/EP 10	39,3	48,9	28,0	64,0	10,7	7,8	4,9
EPP 1/EP 50	40,4	49,2	18,0	28,5	6,3	4,5	4,2
EPP 2/EP 10	41,7	53,0	30,0	64,1	9,2	7,2	4,7
EPP 2/EP 50	43,0	54,3	28,0	53,0	8,1	5,3	3,7
EPP 3/EP 10	40,8	52,2	26,0	52,5	9,1	2,8	1,3
EPP 3/EP 50	41,5	52,2	30,0	66,4	9,7	5,0	4,3

$$\frac{X_{\text{MnO}} \cdot f_{\text{MnO}}}{K_{\text{Mn}}^a \cdot \% \text{ Mn}} < \sqrt{\frac{X_{\text{SiO}_2} \cdot f_{\text{SiO}_2}}{K_{\text{Si}}^a \cdot \% \text{ Si} \cdot f_{\text{Si}}}}$$

V tem primeru reducira Mn poleg Si tudi Fe iz varilne žilindre:

$$\frac{X_{\text{MnO}} \cdot f_{\text{MnO}}}{K_{\text{Mn}}^a \cdot \% \text{ Mn}} < \frac{X_{\text{FeO}} \cdot f_{\text{FeO}}}{K_{\text{Fe}}^a}$$

V primeru redukcije varilne žilindre z Mn je koncentracija SiO<sub>2</sub>, oziroma FeO v varilni žilindri večja, koncentracija Si v varu pa manjša, kot bi odgovarjalo ravnotežnim pogojem.

## II. FIZIKALNE LASTNOSTI ČISTIH VAROV, VARJENIH Z ŽICAMI EPP 1, EPP 2 IN EPP 3 POD VARILNIMA PRAŠKOMA EP 10 IN EP 50

Čistim varom vseh opisanih kombinacij varjenj smo določili fizikalne lastnosti. Rezultati mehanskih preiskav so podani v tabeli 6.

Iz mehanskih vrednosti je razvidno, da sta za varjenje pod taljenim silikatnim visoko manganskim praškom EP 10 primerni žici EPP 1 in EPP 2, za varjenje pod taljenim visoko silikatnim praškom EP 50 pa žica EPP 3. Solidne mehanske vrednosti dobimo pri varjenju pod praškom EP 50 tudi z žico EPP 2.

## ZAKLJUČEK

1. Oksidacijsko redukcijske reakcije med raztaljeno varilno žilindro in kovinsko talino vara pri varjenju pod varilnimi praški ne potečejo do konca. Žilindra in var zamrzneta pred vzpostavitvijo ravnotežja — vzpostavi se navidezno ravnotežje.

2. Vsebnost Mn in Si v čistem varu »C<sub>v</sub>« je vedno med vsebnostjo Mn in Si v žici »C<sub>2</sub>« in ravnotežno vsebnostjo Mn in Si »C<sub>e</sub>«, ki je izračunana iz analize varilne žilindre.

Odgor elementa bo nastopil, če bo: C<sub>e</sub> < C<sub>2</sub>, prigor pa v primeru, če bo C<sub>e</sub> > C<sub>2</sub>.

3. Potek oksidacijsko redukcijskih reakcij med raztaljeno žilindro in talino vara pri varjenju pod varilnimi praški je viden tudi iz primerjave ravn-

težnih vsebnosti kisika, ki so izračunane s pomočjo različnih konstant (K<sub>a</sub><sup>Fe</sup>, K<sub>Mn</sub><sup>a</sup> in K<sub>Si</sub><sup>a</sup>) za isti primer varjenja. Te se zaradi nedokončanega poteka oksidacijsko redukcijskih reakcij med seboj razlikujejo.

Prigor Si in Mn med varjenjem nastopi v primeru, če ju železo reducira iz varilne žilindre:

$$\frac{X_{\text{FeO}} \cdot f_{\text{FeO}}}{K_{\text{Fe}}^a} < \frac{X_{\text{MnO}} \cdot f_{\text{MnO}}}{K_{\text{Mn}}^a \cdot \% \text{ Mn}}$$

$$\frac{X_{\text{FeO}} \cdot f_{\text{FeO}}}{K_{\text{Fe}}^a} < \sqrt{\frac{X_{\text{SiO}_2} \cdot f_{\text{SiO}_2}}{K_{\text{Si}}^a \cdot \% \text{ Si} \cdot f_{\text{Si}}}}$$

Prigor Si in odgor Mn med varjenjem pa nastopi, če Mn reducira Si iz varilne žilindre:

$$\frac{X_{\text{MnO}} \cdot f_{\text{MnO}}}{K_{\text{Mn}}^a \cdot \% \text{ Mn}} < \sqrt{\frac{X_{\text{SiO}_2} \cdot f_{\text{SiO}_2}}{K_{\text{Si}}^a \cdot \% \text{ Si} \cdot f_{\text{Si}}}}$$

V tem primeru reducira Mn poleg Si tudi Fe iz varilne žilindre:

$$\frac{X_{\text{MnO}} \cdot f_{\text{MnO}}}{K_{\text{Mn}}^a \cdot \% \text{ Mn}} < \frac{X_{\text{FeO}} \cdot f_{\text{FeO}}}{K_{\text{Fe}}^a}$$

4. Taljeni silikatni visoko manganski prašek EP 10 je primeren za varjenje v kombinaciji z nizko legiranimi žicama EPP 1 in EPP 2, taljeni visoko silikatni prašek EP 50 pa je primeren za varjenje v kombinaciji z visoko legirano žico EPP 3.

## Literatura

1. Kock: »Handbuch der Schweisstechnologie Lichtbogen-schweissen« — Düsseldorf 1961
2. D. Seferijan: »Metalurgija zavarivanja« — Beograd 1969
3. J. H. Palm: Welding Journal 51 (1972), št. 7, str. 358-S/360-S
4. A. A. Kazakov: »Kislorod v židkoi stali« — Moskva 1972
5. A. A. Erohin: Fizika i hemija obrabotki materialov (1969), št. 5, str. 56/61
6. L. Limpel: Varilna tehnika 22 (1973), št. 1 str. 1/5
7. J. F. Elliott, M. Gleiser: »Thermochemistry for Steel-making — II« — London 1960
8. D. Ja. Povolockij: »Razkisenie stali« — Moskva 1972
9. V. I. Javojskij: »Theorie der Stahlerzeugung« — Leipzig 1969
10. V. A. Kožurov: »Termodinamika metallurģičeskikh šlakov« — Sverdlovsk 1955
11. R. Kejžar: »Vpliv dezoksidantov na prenos kisika pri varjenju z oplasčenimi elektrodami« (Disertacija — Fakulteta za NT Univerza v Ljubljani, Ljubljana 1974)

ZUSAMMENFASSUNG

Beim Unterpulverschweißen verlaufen zwischen der Schweißschlacke und der Schweißgutschmelze Oxydations-reduktionsreaktionen, welche zu der Einstellung des Gleichgewichtes neigen. Der Verlauf der genannten Reaktionen ist von der chemischen Zusammensetzung der Schlacke und des Schweißgutes abhängig und entscheidend für den Zubrand und Abbrand der Legierungselemente während des Schweißens.

Der Gehalt von Mn und Si ist im Schweißgut »C<sub>z</sub>« immer zwischen dem Mn und Si Gehalt im Draht »C<sub>z</sub>« und dem Gleichgewichtsgesamt des Mn und Si »C<sub>z</sub>«, welcher aus der chemischen Zusammensetzung der Schweißschlacke ausgerechnet ist (Abbrand: C<sub>z</sub> < C<sub>z</sub>, Zubrand: C<sub>z</sub> > C<sub>z</sub>)

Ein Zubrand von Si und Mn während des Schweißens tritt auf im Falle, wenn diese durch den Eisen aus der Schweißschlacke reduziert werden:

$$\frac{X_{FeO} f_{FeO}}{K_{Fe}^a} < \frac{X_{MnO} f_{MnO}}{K_{Mn}^a / \% Mn/} \text{ und}$$

$$\frac{X_{FeO} f_{FeO}}{K_{Fe}^a} < \sqrt{\frac{X_{SiO_2} E_{SiO_2}}{K_{Si}^a / \% Si/E_{Si}}}$$

Ein Zubrand von Si und Abbrand von Mn während des Schweißens teilt auf, wenn Mn den Si aus der Schweißschlacke reduziert:

$$\frac{X_{MnO} f_{MnO}}{K_{Mn}^a / \% Mn/} < \sqrt{\frac{X_{SiO_2} f_{SiO_2}}{K_{Si}^a / \% Si/E_{Si}}}$$

In diesem Fall reduziert Mn neben Si auch Fe aus der Schweißschlacke:

$$\frac{X_{MnO} f_{MnO}}{K_{Mn}^a / \% Mn/} < \frac{X_{FeO} f_{FeO}}{K_{Fe}^a}$$

Unterschiede zwischen einzelnen Gliedern der Gleichgewichtsgleiche treten auf wegen des Einfrierens der Reaktionen zwischen der Schlacke und dem Schweißgut vor der Einstellung des Gleichgewichtes.

SUMMARY

In submerged arc welding redox reactions between molten slag and metal take place in order to achieve the equilibrium. Course of the mentioned reactions depends mainly on the chemical composition of slag and weld and it is essential for loss or gain of alloying elements.

Mn and Si content in pure weld »C<sub>z</sub>« lies always between the Mn and Si content in the rod »C<sub>z</sub>« and the equilibrium content of Mn and Si, »C<sub>z</sub>«, calculated from the analysis of welding slag (gain: C<sub>z</sub> > C<sub>z</sub>, loss: C<sub>z</sub> < C<sub>z</sub>).

Gain of Si and Mn during welding occurs if they are reduced from the welding slag by iron:

$$\frac{X_{FeO} f_{FeO}}{K_{Fe}^a} < \frac{X_{MnO} f_{MnO}}{K_{Mn}^a / \% Mn/} \text{ and}$$

$$\frac{X_{FeO} f_{FeO}}{K_{Fe}^a} < \sqrt{\frac{X_{SiO_2} E_{SiO_2}}{K_{Si}^a / \% Si/E_{Si}}}$$

Gain of Si and loss of Mn during welding occurs when Si is reduced from the slag by Mn:

$$\frac{X_{MnO} f_{MnO}}{K_{Mn}^a / \% Mn/} < \sqrt{\frac{X_{SiO_2} f_{SiO_2}}{K_{Si}^a / \% Si/E_{Si}}}$$

In this case also Fe from the slag is reduced by Mn:

$$\frac{X_{MnO} f_{MnO}}{K_{Mn}^a / \% Mn/} < \frac{X_{FeO} f_{FeO}}{K_{Fe}^a}$$

Differences between the single terms of the equilibrium equation (equation 1) appear due to freezing of the system before the equilibrium is achieved.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сварки под сварочными порошками между расплавленным шлаком и расплавленным металлом происходят окислительно-редукционные реакции, которые стремятся восстановить равновесие. Поток этих реакций зависит от химического состава шлака и сварного шва и имеет главную роль на увеличение выхода элементов и утар элементов во время сварки.

Содержание Mn и Si в чистом сварочном шву »C<sub>z</sub>« находится всегда в пределах содержания Mn и Si в проволоки »C<sub>z</sub>« и содержанием равновесия Mn и Si в »C<sub>z</sub>«, которое высчитана из анализа сварочного шлака (угар: C<sub>z</sub> < C<sub>z</sub>; пригор: C<sub>z</sub> > C<sub>z</sub>).

$$\frac{X_{FeO} f_{FeO}}{K_{Fe}^a} < \frac{X_{MnO} f_{MnO}}{K_{Mn}^a / \% Mn/} \text{ и}$$

$$\frac{X_{FeO} f_{FeO}}{K_{Fe}^a} < \sqrt{\frac{X_{SiO_2} E_{SiO_2}}{K_{Si}^a / \% Si/E_{Si}}}$$

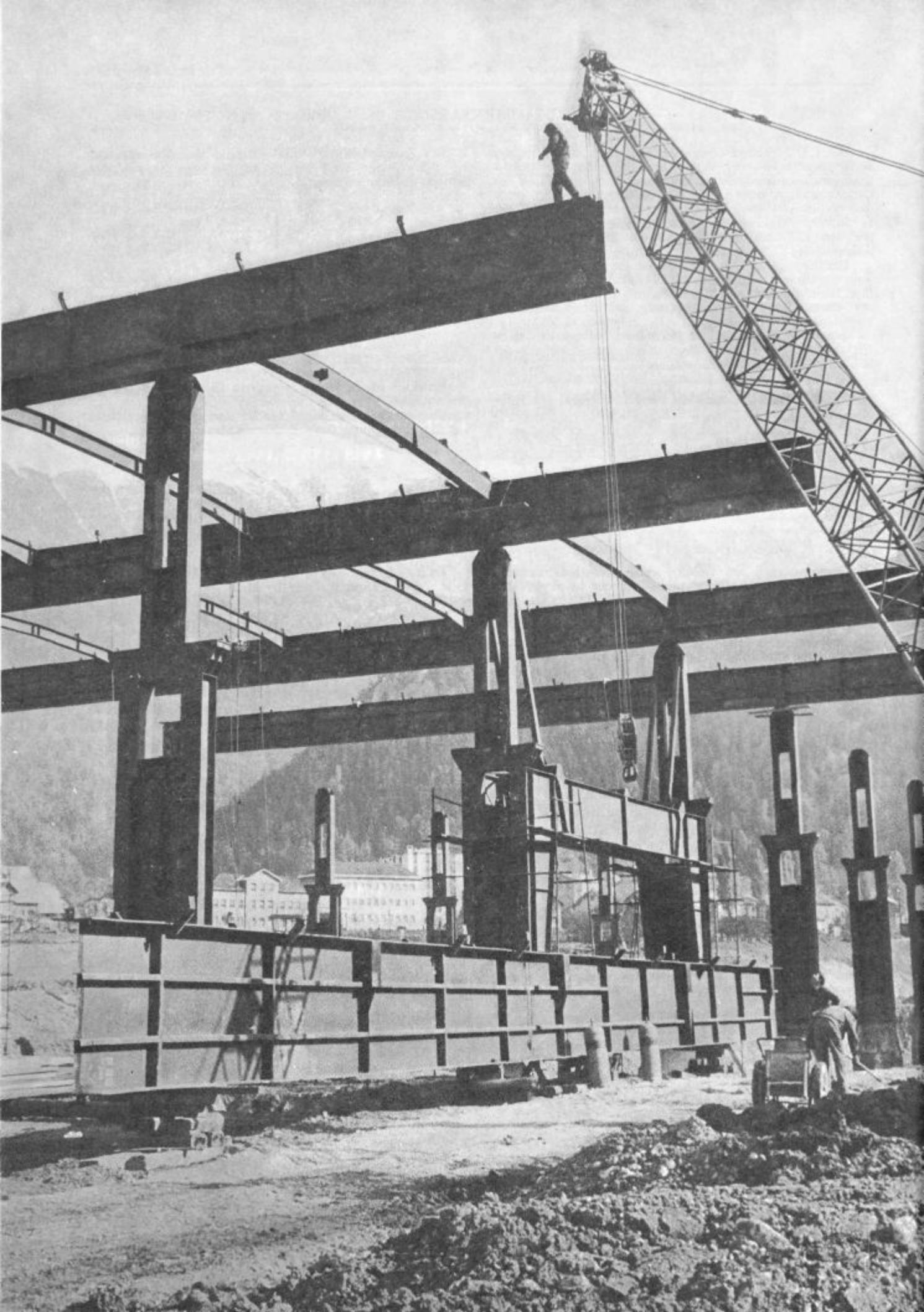
Увеличение выхода и утар во время сварки наступают тогда, когда редуцирует из сварочного шлака:

$$\frac{X_{MnO} f_{MnO}}{K_{Mn}^a / \% Mn/} < \sqrt{\frac{X_{SiO_2} f_{SiO_2}}{K_{Si}^a / \% Si/E_{Si}}}$$

В этом случае Mn редуцирует кроме Si также Fe из сварочного шлака:

$$\frac{X_{MnO} f_{MnO}}{K_{Mn}^a / \% Mn/} < \frac{X_{FeO} f_{FeO}}{K_{Fe}^a}$$

Разницы между отдельными членами уравнения равновесия (уравни. 1) наступят вследствие замораживания реакций между шлаком и сварочным швом до восстановления равновесия.





# Vpliv dezoksidantov na vsebnost kisika v čistem varu in izkoristek Cr iz plašča pri elektroobločnem varjenju

Rajko Kežar

Zakovitosti poteka reakcij med varjenjem z visokolegiranimi oplasčenimi elektrodami (Pr 18/8) so ugotovljene na osnovi matematične obdelave rezultatov raziskav.

Pri visoko legiranih elektrodah (legiranje vara s kromom iz plašča) pride do omejitev uporabnosti teh elektrod zaradi visokih minimalnih izkoristkov varjenja.

Prenos kisika iz plinske faze v talino žlindre in vara je pri elektrodah, ki so oblikovane na nelegirano žico »EO«, nekoliko višji kot pri elektrodah, ki so oblikovane na legirani žici »EPP Cr 6 in PR 18/8« (razlike v oddaljevanju). Razlike v porazdelitvi kroma med žlindro in varom pa so kljub razlikam v načinu legiranja vara s kromom neznatne.

Vsebnosti kisika v čistih varih, ki so zavarjeni z visoko legiranimi elektrodami, so nad 500 ppm.

## UVOD

Pri varjenju z oplasčenimi elektrodami je sestava elektrodne obloge, od katere je odvisna ionizacija obločne atmosfere (stabilnost varjenja<sup>(8, 9, 10)</sup>) in sestava varilne žlindre osnovnega pomena za varilno tehnične lastnosti elektrode. Fizikalne lastnosti (predvsem temperatura taljenja in viskoznost) varilne žlindre namreč odločilno vplivajo na možnost varjenja v raznih prisilnih položajih<sup>(26)</sup>, velik vpliv pa imajo tudi na videz in kvaliteto vara. Odločilen vpliv na sestavo vara in v veliki meri tudi na kvaliteto vara pa imajo fizikalno kemični procesi, ki se odvijajo med varjenjem. To so reakcije prenosa kisika iz plinske faze v talino žlindre in vara<sup>(6)</sup> ter reakcije vzpostavljanja navideznega ravnotežja med raztaljeno žlindro in kovinsko talino vara<sup>(1, 6, 13)</sup>. Zelo kratek čas, ki je na razpolago za potek reakcij med varjenjem — čas od raztalitve do zamrznjenja vara je le 3—8 sekund<sup>(3)</sup> — onemogoča vzpostavitev ravnotežja.

Članek je izveček iz raziskovalne naloge, ki je bila financirana iz sredstev za raziskave in razvoj Železarne Jesenice ter Sklada Borisa Kidriča.

Avtor je doktor metalurških znanosti in raziskovalni svetnik na Zavodu za varjenje SRS v Ljubljani.

Naloga je bila izdelana, ko je bil avtor še v Železarni Jesenice.

## I. FIZIKALNE LASTNOSTI VARILNE ŽLINDRE IN SESTAVA ELEKTRODNE ŽICE — OSNOVI PRI IZBIRI POIZKUSNIH ELEKTROD

### 1. Žlindre, ki nastajajo pri varjenju visokolegiranih prokron jekel

Pri varjenju z elektrodami za varjenje visokolegiranih prokron jekel nastajajo odvisno do sestave elektrodne obloge rutilne in bazične žlindre, ki vsebujejo poleg  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  in  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  še manjše količine alkalijskih oksidov,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$  in  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ . Povprečna sestava te vrste varilne žlindre z območjem glede vsebnosti komponent  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{CaO}$  in  $\text{TiO}_2$ , ki so močno odvisne od sestave oplasčenja, je podana v tabeli 1.

Od sestave varilne žlindre, to je njenih fizikalnih lastnosti (predvsem temperature taljenja in viskoznosti); je odvisna primernost elektrod za varjenje v različnih legah, v veliki meri pa sta od fizikalnih lastnosti varilne žlindre odvisna tudi videz in kvaliteta vara<sup>(6, 26)</sup>.

Za določanje viskoznosti raztaljenih žlinder obstoji več metod<sup>(23)</sup>. Stanje varilnih žlinder smo ugotavljali z določanjem temperature zmehčiča s pomočjo segerjevih stožcev ter z določanjem temperature taljenja in temperature lahko tekočega stanja žlindre po metodi izlivanja žlindre, ki smo jo razvili tako, da čim bolj ustreza dejanskemu stanju varilnih žlinder — kratkotrajno (ca. 5 minut) taljenje pod redukcijskimi pogoji (zaradi dezoksidantov v elektrodi so tudi varilne žlindre delno reducirane, običajno celo bolj kot po 5 minutnem taljenju v grafitnem lončku blizu temperature taljenja<sup>(6, 24)</sup>).

Varilne žlindre podobno kot stekla nimajo izrazitega tališča, temveč bolj ali manj široko območje taljenja — omehčanja. Pri razvoju elektrod nas zanimata predvsem temperatura, pri kateri prične žlindra teči (temperatura taljenja — interpolacija krivulje v diagramu, ki podaja temperaturno odvisnost iztekanja žlindre, na 0 %-no iztekanje) in temperatura, ko je žlindra lahko tekoča (80 %-no iztekanje)<sup>(6, 24)</sup>.

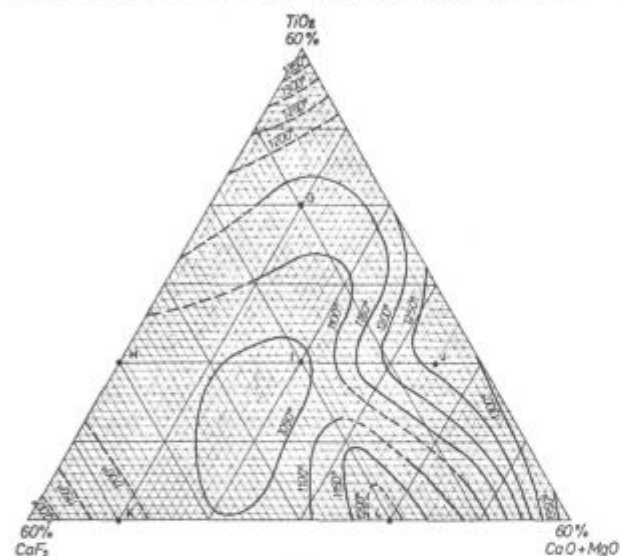
Trokomponentni diagrami temperatur zmehčiča, temperatur taljenja in temperatur lahko teko-

Tabela 1 — Povprečna sestava varilne žilindre (solidna dezoksidacija vara — Pr 18/8)

CaF <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	FeO (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	alk. oks. (%)
5—45	5—30*	0—40	ca. 20	ca. 3	ca. 5	ca. 7	ca. 3	0—5*	ca. 2	ca. 2

\* v trokomentnih diagramih (slike 1, 2 in 3) je s spreminjanjem vsote (CaO + MgO) od 0—60% zajeto tudi področje bolj bazičnih žilinder, ki je zanimivo za razvoj elektrod za varjenja v smeri od zgoraj navzdol.

čega stanja za področje žilinder, ki nastajajo pri varjenju visoko legiranih prokron jekel z oplaščenimi elektrodami so podani na slikah 1, 2 in 3<sup>(24)</sup>.

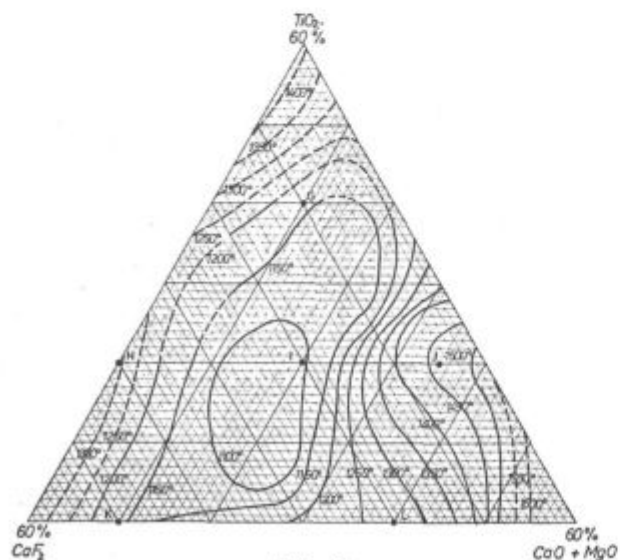


Slika 1

Trokomentni diagram zmečklišč varilnih žilinder

Fig. 1

Ternary diagram of softening points for welding slags

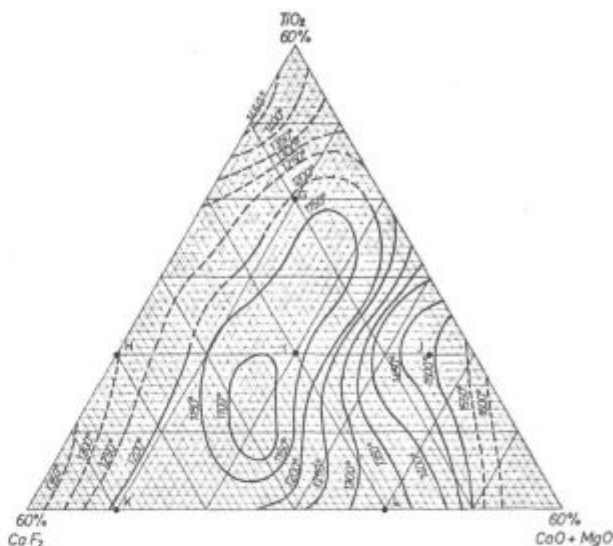


Slika 2

Trokomentni diagram taljenja varilnih žilinder

Fig. 2

Ternary diagrams of melting for welding slags



Slika 3

Trokomentni diagram lahko tekočega stanja varilnih žilinder

Fig. 3

Ternary diagram of low viscous state for welding slags

Pri vseh treh diagramih (slika 1, 2 in 3) smo opazovali vpliv (CaO + MgO), CaF<sub>2</sub> in TiO<sub>2</sub> na stanje žilindre. Vsebnost ostalih oksidov, ki so običajno tudi v varilni žilindri, pa je bila približno naslednja: 6,3 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3,3 % MnO, 3,0 % FeO, 1,3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 20,4 % SiO<sub>2</sub>, 3,7 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in 2 % K<sub>2</sub>O.

Izbrane sestave varilnih žilinder, ki naj nastajajo med varjenjem s poizkusnimi visokolegiranimi elektrodami za varjenje prokron jekel, so v trokomentnih diagramih označene z »G«, »H«, »I«, »J«, »K« in »L«.

Žilindre omenjenih (izbranih sestav nastajajo pri varjenju z drugo elektrodo vsake od poizkusnih serij (količina dezoksidantov je pri teh elektrodah izbrana tako, da je čisti var skoraj optimalno dezoksidiran). Elektrode iste serije se med seboj razlikujejo le v vsebnosti dezoksidantov, ki je pri prvi elektrodni serije najmanjša (elektroda vsebuje le legirne dodatke — je brez posebej dodanih dezoksidantov) ter sem jo pri ostalih elektrodah povečeval na račun dodatka Fe v prahu. Zaradi razlik v vsebnosti dezoksidantov v elektrodni oblogi se varilne žilindre iste serije elektrod med seboj nekoliko razlikujejo v vsebnosti FeO, MnO, SiO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Pri varjenju visoko legiranih prokron jekel — razvoju elektrod za varjenje teh jekel — je zelo problematično zapekanje žilindre na var. Odvisno je od sestave varilne žilindre, to je njene kristalne

rešetke na varu — prisotnosti FeO, TiO<sub>2</sub> in špinelov (Fe, Mn) O. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>(28)</sup>. Pri naših raziskavah so se zapekale na var žlindre sestave »I« in »J«. V tem delu trokomponentnega diagrama je torej področje kemičnih sestav varilnih žlinder (z okoli 20 % TiO<sub>2</sub> in nad 10 % CaO), ki niso primerne, da bi nastajale med varjenjem.

## 2. Vpliv načina legiranja vara na minimalni izkoristek varjenja

Oplaščenja poizkusnih elektrod sem izbral na osnovi izračunanih orientacijskih sestav elektrodnih mešanic in izračunanih faktorjev oplaščenja. Oboje sem izračunal iz izbranih sestav varilnih žlinder za oblikovanje na elektrodne žice sestave EO, EPP Cr 6 in Pr 18/8 (glej tabelo 2).

Tabela 2 — Sestave elektrodnih žic

Vrsta žice	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Nb (%)
EO	0,04	0,02	0,47	—	—	—	—
EPP Cr 6	0,09	0,25	0,70	6,75	0,35	0,55	—
Pr 18/8	0,06	0,40	1,35	19,50	9,50	—	0,5

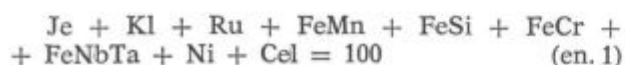
Vzpostavljane navideznega ravnotežja sem pri računanju orientacijske sestave elektrodne mešanice in faktorja oplaščenja upošteval tako, da sem ju izračunal na osnovi povprečne vsebnosti Si, Mn, Cr, Ni in Nb v solidno dezoksidiranem varu (glej tabelo 3) in odgovarjajoče povprečne vsebnosti FeO, MnO, SiO<sub>2</sub> in Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v varilni žindri (glej tabelo 1).

Tabela 3 — Povprečna sestava solidno dezoksidirana visoko legiranega vara (Pr 18/8)

Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ni (%)	Nb (%)
0,5	1,0	18,5	8,5	ca. 1,0

Poseben problem, ki se pojavi pri izdelavi visoko legiranih elektrod (legiranje vara iz plašča), pa je visok minimalen izkoristek varjenja. Te vrste elektrode imajo tudi visok faktor oplaščenja.

Pri visoko produktivnih elektrodah zvišujemo izkoristek varjenja z dodatkom »Fe v prahu« v elektrodno mešanico (plašč). Elektrode, ki v plašču nimajo »Fe v prahu«, imajo minimalen izkoristek varjenja — elektrodna mešanica (en. 1) ne vsebuje Fe v prahu.



Izkoristek varjenja se poveča le zaradi legiranja vara

$$\eta = \frac{G_z + G_{kov}}{G_z} \quad (\text{en. 2})$$

$$G_{kov} = [(\text{FeMn} + \text{FeSi} + \text{FeCr} + \text{NbTa} + \text{Ni}) - (\text{Fe}_{oks} + \text{Mn}_{oks} + \text{Si}_{oks} + \text{Cr}_{oks} + \text{Nb}_{oks})] = \frac{G_{z1}}{z1} = \frac{G_v}{G_v} \cdot \frac{V_z \cdot 0,231 \cdot 7,8 \cdot \eta}{100 \cdot z} \quad (\text{en. 3})$$

$$\frac{G_{z1}}{G_v} = 0,231 \quad (\text{isto razmerje kot pri bazično oplaščenih elektrodah za varjenje nelegiranih in nizko legiranih jekel — lit. 6})$$

$$z1 = 100 \cdot z$$

$$G_v = V_z \cdot 7,8 \cdot \eta$$

Legenda oznak pri enačbah 1, 2 in 3:

Je, Kl, Ru, FeMn, FeSi, FeCr, FeNbTa, Ni in Cel — % jedavca, kalcita, rutila, FeMn, FeSi, FeCr, FeNbTa, Ni v prahu in celita v elektrodni mešanici (tudi količina v gramih na 100 g elektrodne mešanice)

z1 — količina varilne žindre; računano v gramih na 100 g elektrodne mešanice

Fe<sub>oks</sub>, Mn<sub>oks</sub>, Si<sub>oks</sub>, Cr<sub>oks</sub> in Nb<sub>oks</sub> — količina Fe, Mn, Si, Cr in Nb, ki se oksidira; računamo v gramih na 100 g elektrodne mešanice

G<sub>z</sub>, G<sub>v</sub>, G<sub>z1</sub> in G<sub>kov</sub> — količina žice, vara, žindre in količina kovine, ki pridejo v var iz elektrodne obloge; računano v gramih na količino žice:

$$G_z = 7,8 \cdot V_z$$

$$V_z = \text{volumen žice} \quad (V_z = \frac{h \cdot \pi \cdot d^2}{4})$$

η — izkoristek varjenja

z — konstanta; določa razmerje med količino neke sestave v žindri in elektrodni mešanici pri izbrani elektrodi

Opomba: Izračunavanje orientacijskih sestav elektrodnih mešanic, faktorjev oplaščenja in minimalnih izkoristkov varjenja je podrobno obdelano v prilogi literature 6 in poročilu Metalurškega inštituta v Ljubljani z istim naslovom, kot ga ima članek (članek je izveček iz tega poročila).

Za izdelavo visokolegiranih oplaščenih elektrod (Pr 18/8) sem izračunal po enačbah 1, 2 in 3 (z upoštevanjem sestave žice, vara in žindre;

$$\text{primer: FeMn} = \frac{(\text{Mn}_v - \text{Mn}_z) + \text{Mn}_{z1}}{0,8}$$

$$\text{in Mn}_{oks} = \frac{\% \text{ MnO}}{100} \cdot \frac{55}{71} \cdot z1$$

Mn<sub>z</sub>, Mn<sub>v</sub> in Mn<sub>z1</sub> — količina Mn v žici, varu in žindri; računano v gramih na 100 g elektrodne mešanice.

% MnO — vsebnost MnO v varilni žindri], da so v primeru žindre sestave »G« pri razmerju G<sub>z1</sub>/G<sub>v</sub> = 0,231 in oblikovanju na žice EO, EPP Cr 6 in Pr 18/8 naslednje minimalne vrednosti za

izkoristek varjenja ( $\eta_{\min}$ ) in faktor oplaščenja ( $f_{\min}$ ):

EO — žica	$\eta_{\min} = 1,71$	$f_{\min} = 1,96$
EPP Cr 6 — žica	$\eta_{\min} = 1,51$	$f_{\min} = 1,88$
PR 18/8 — žica	$\eta_{\min} = 0,995$	$f_{\min} = 1,57$

Pri izdelavi visokolegiranih elektrod (legiranje vara s kromom iz plašča) pride do omejitev le zato, ker imajo te elektrode vedno visok minimalen izkoristek varjenja in so zato neprimerne za posebne zahteve varjenja. Nizek izkoristek varjenja — varjenje v tankih slojih — je le pri visoko legiranih elektrodah, pri katerih je legiranje vara s kromom iz elektrodne žice.

## II. POTEK REAKCIJ MED VARJENJEM

### 1. Dezoksidacija vara

Pri varjenju z oplaščenimi elektrodami se iz taline vara ne uspe izločiti celotna količina oksidnih vključkov. Preostali oksidni vključki zvišujejo vsebnost kisika v varu. Ta je v varih, ki so zavarjeni z elektrodami za varjenje nelegiranih in nizko legiranih jekel, redno nad 200 ppm (glej literaturo 6 in 30), v varih, ki so zavarjeni z elektrodami za varjenje visoko legiranih prokron jekel, pa nad 500 ppm (glej sliko 4). Razlike nastopijo zaradi razlik v koeficientih termodinamične aktivnosti, ki jih lahko izračunamo s pomočjo konstant medsebojnega vpliva  $\epsilon_{e_i(j)}$  (4, 5) po naslednji enačbi (6, 7):

$$\log f_O = e_O(C) (\% C) + e_O(Si) (\% Si) + e_O(Mn) (\% Mn) + e_O(Cr) (\% Cr) + e_O(Ni) (\% Ni)$$

$$\log f_O = -10^{-2} (13 \cdot \% C + 14 \cdot \% Si + 4,1 \cdot \% Cr - 0,6 \cdot \% Ni) \quad (\text{en. 4})$$

a) Nizko legiran var (0,08 % C, 0,5 % Si, 0,9 % Mn);

$$f_O = 0,83$$

b) Visoko legiran var (0,07 % C, 0,5 % Si, 1,0 % Mn, 18,5 % Cr, 8,5 % Ni);

$$f_O = 0,13$$

Ravnotežne vsebnosti kisika pri optimalno dezoksidiranih varih (optimalna žilavost vara), ki so zavarjeni z elektrodami za varjenje nelegiranih in nizko legiranih jekel, so okoli 50 ppm (6). Ravnotežna vsebnost kisika pri enako dezoksidiranih varih, zavarjenih z elektrodami za varjenje prokron jekel, bo torej naslednja:

$\% O /$  — nizko legiran var =  $\% O /$  — visoko legiran var (pogoj, da sta vara enako dezoksidirana) /  $\% O / \cdot f_O = \text{konst.};$   
(50 ppm  $O_2 = 0,0050 \% O_2$ )

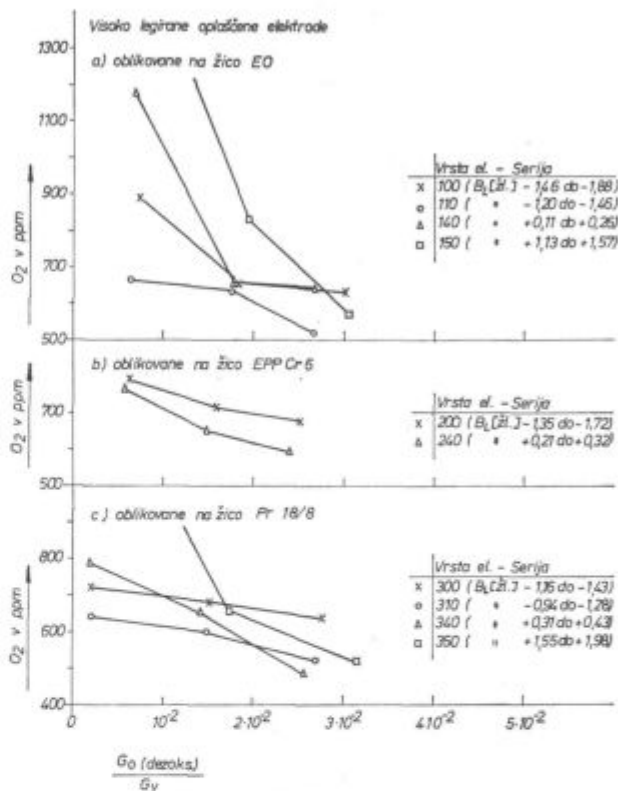
$$\% O / \text{ — visoko legiran var} = \frac{0,0050 \cdot 0,83}{0,13} =$$

$$= 0,0320; 320 \text{ ppm } O_2$$

Če prištejemo izračunani ravnotežni vsebnosti kisika še kisik, ki je vezan v vključkih (ta je pri

legiranih in nelegiranih varih približno enak — nad 150 ppm), dobimo, da je celotna vsebnost kisika v varu nad 470 ppm. To se povsem ujema tudi s praktičnimi ugotovitvami, da je vsebnost kisika v visokolegiranih varih (Pr 18/8), ki so optimalno dezoksidirani, običajno nad 500 ppm.

Celotna vsebnost kisika v visoko legiranem varu (Pr 18/8) je v odvisnosti od dodatka dezoksidantov v elektrodni oblogi prikazana na sliki 4.



Slika 4

Vpliv dodatka dezoksidantov v elektrodni oblogi na celotno vsebnost kisika v varu

Fig. 4

Influence of addition of deoxidizing agents in the electrode coating on the total oxygen content in the weld

V diagramu sem dodatek dezoksidanta v elektrodni oblogi prikazoval kot  $\% G_{O(\text{dezoks.})} / G_v$ , to je kot količino kisika, ki jo teoretično lahko vežejo dezoksidanti v elektrodni oblogi na enoto vara. Računal sem jo po naslednji enačbi (6):

$$\frac{G_{O(\text{dezoks.})}}{G_v} = \Sigma (\text{dezoks.} \Sigma \% \text{ Me v dezoks.} \frac{y \cdot 16}{x \cdot M_{\text{Me}}}) \cdot 10^{-2} \cdot \frac{G_{\text{Zl}}}{Zl \cdot G_v} \quad (\text{en. 5})$$

dezoks. — so % FeMn, % FeSi, % FeTi, % FeCr in % FeNbTa v elektrodni mešanici

% Me v dezoks. — vsebnost kovin (Mn, Si, Ti, Al in C) v dezoksidantih

$M_{\text{Me}}$  — atomska masa kovine »Me«, ki tvori oksid  $\text{Me}_x\text{O}_y$

Iz slike 4 je razvidno, da pri visoko legiranih elektrodah tudi legirni elementi vplivajo na dezoksidacijo vara. Le pri močno bazično oplášenih elektrodah (glej  $B_L$  [žl.] na sliki 4) je po varjenju z visoko legiranimi elektrodami z nizko vsebnostjo dezoksidantov v plašču (prva elektroda vsake serije elektrod je bila pripravljena brez dodatka dezoksidanta — FeSi) celotna vsebnost kisika v varu zelo visoka.

Previsok dodatek dezoksidantov v elektrodi ne vpliva bistveno na znižanje celotne vsebnosti kisika v varu, povzroči pa poslabšanje žilavosti vara zaradi legiranja vara s Si in Mn.

Količina dezoksidantov, ki mora biti v elektrodi, da dobimo po varjenju optimalno žilavost vara, je odvisna predvsem od sestave in debeline oplášenja<sup>6/</sup>.

Med varjenjem poteka oksidacija elementov (poraba dezoksidantov) le s kisikom, ki pride iz plinske faze v talino žlindre in vara, ter kisikom, ki vstopa v reakcije vzpostavljanja navideznega ravnotežja zaradi redukcije varilne žlindre<sup>6/</sup>.

**2. Prenos kisika iz plinske faze v talino žlindre in vara**

Vzrok za prenos kisika iz plinske faze v talino žlindre in kovine je oksidacija površine kapljice<sup>6, 12/</sup>, nastanek feritov<sup>19/</sup> in prenos vodika v var<sup>14/</sup>.

Prenos kisika iz plinske faze v talino žlindre in vara je odvisen od sestave elektrode na naslednji način:

a) elektrodna obloga

— fizikalne lastnosti in bazičnost teoretične taline elektrodne obloge, to je žlindre, ki nastaja ob nastanku kapljic, vplivajo na hitrost reakcij s plinsko fazo (zvišanje bazičnosti jih pospešuje)

— sestava varilne žlindre in količina plinov, ki nastajajo med varjenjem, pa vplivata na odtaljevanje (velikost kapljic)

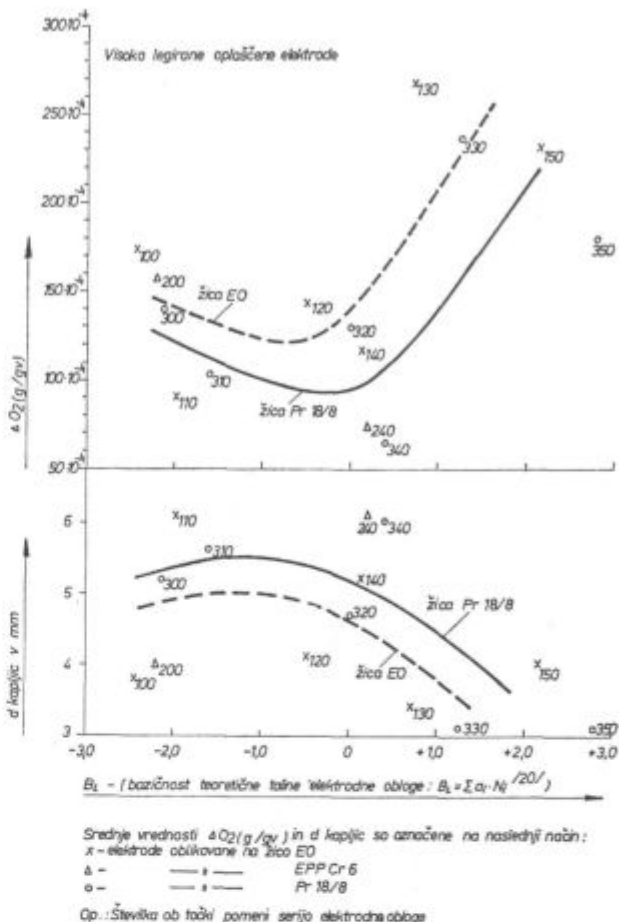
b) elektrodna žica

— na odtaljevanje, to je velikost kapljic, vpliva tudi dezoksidiranost kapljic.

Prenos kisika iz plinske faze v talino žlindre in vara za varjenje z visoko legiranimi elektrodami (Pr 18/8) je v odvisnosti od bazičnosti teoretične taline in odtaljevanja podan na sliki 5.

Ugotovitve se ujemaajo z ugotovitvami glede velikosti odtaljenih kapljic in »prenosa kisika« pri varjenju nelegiranih in nizkolegiranih jekel (glej literaturo 6 in 30). Dopolnjene pa so še glede vpliva uporabe različno dezoksidiranih in legiranih žic pri izdelavi elektrod ter glede vpliva nastajajočih plinov CO<sub>2</sub> na velikost odtaljenih kapljic in »prenos kisika«.

Kapljice, ki se odtaljujejo pri varjenju z oplášenimi elektrodami oblikovanimi na žico EO, ki vsebuje bistveno manj dezoksidantov kot žica Pr 18/8 (glej tabelo 2), so ob nastajanju slabše dezoksidirane kot kapljice, ki se odtaljujejo pri varje-



Slika 5

Odvisnost prenosa kisika iz plinske faze v talino kovine in žlindre od sestave elektrodne žice in elektrodne obloge (bazičnosti teoretične taline elektrodne obloge in odtaljevanja — poprečne velikosti kapljic)

Fig. 5

Relationship between the oxygen transfer from the gaseous phase into the molten metal and slag, and the composition of electrode wire and electrode coating (basicity of theoretical melt of the electrode coating and melting rate — average size of drops)

nju z ustreznimi elektrodami, oblikovanimi na žico Pr 18/8. Ker je kisik površinsko aktivna snov, ki zmanjšuje površinsko napetost ter s tem v zvezi velikost kapljic<sup>27/</sup>, je razumljivo, da so slabše dezoksidirane kapljice, ki nastajajo pri varjenju z oplášenimi elektrodami, oblikovanimi na EO — žico, manjše velikosti (črtkana krivulja v spodnjem diagramu na sliki 5). Odtaljevanje v drobnejših kapljicah pa je vzrok za višji »prenos kisika« pri varjenju z oplášenimi elektrodami oblikovanimi na EO — žico (črtkana krivulja v zgornjem diagramu na sliki 5).

Odstopanja od krivulj pojasnjuje vpliv, ki ga ima sestava elektrodne obloge, to je sestava varilne žlindre (fizikalne lastnosti; temp. taljenja in viskoznost) in količina nastajajočih plinov CO<sub>2</sub> (glej tabelo 4 — zvišanje količine nastajajočih plinov CO<sub>2</sub> povzroči odtaljevanje v drobnejših kapljicah ter s tem povečanje »prenosa kisika«), na hitrost reakcij s plinsko fazo in odtaljevanje.

Tabela 4: Vpliv sestave elektrodne obloge (bazičnosti teoretične taline in količine nastajajočih plinov  $G_{CO_2}$  v g/g v) na prenos kisika » $\Delta O_2$  (g/gv)« in velikost kapljic v odvisnosti od sestave elektrodne žice

El. žica Serija	EO 100	110	120	130	140	150
$B_L$ — teor. talina	-2,42	-1,97	-0,47	+0,73	+0,15	+2,16
$\Delta O_2$ ( $10^{-4}$ g/gv)	173	91	144	268	117	232
d kapljic v mm	3,8	5,0	4,1	3,4	5,2	4,0
$G_{CO_2}$ ( $10^{-2}$ g/gv)	2,0	∅	3,4	6,9	1,9	7,7
El. žica Serija	EPP Cr 6 200				240	
$B_L$ — teor. talina	-2,20				+0,19	
$\Delta O_2$ ( $10^{-4}$ g/g v)	158				74	
d kapljic v mm	4,0				6,1	
$G_{CO_2}$ ( $10^{-2}$ g/g v)	2,0				1,6	
El. žica Serija	Pr 18/8 300	310	320	330	340	350
$B_L$ — teor. talina	-2,12	-1,59	+0,02	+1,27	+0,41	+2,84
$\Delta O_2$ ( $10^{-4}$ g/g v)	140	103	130	237	65	180
d kapljic v mm	5,2	5,6	4,7	3,1	6,0	3,1
$G_{CO_2}$ ( $10^{-2}$ g/g v)	1,7	∅	3,1	6,9	1,1	7,5

Opomba:  $\Delta O_2$  ( $10^{-4}$  g/g v) in d kapljic v mm sta srednji vrednosti prvih treh elektrod serije (pri vseh serijah vsebuje prva elektroda serije le legirne dodatke, druga toliko FeSi, da je var skoraj optimalno dezoksidiran, tretja pa prebitek FeSi)

Tudi dodatek kromita v elektrodno oblogo ne vpliva bistveno na »prenos kisika« (tabela 5). Dezoksidacija s FeTi (namesto s FeSi) pa povzroči zvišanje »prenosa kisika« (tabela 5). Zadnja ugotovitev se ujema tudi z ugotovitvami glede vpliva dezoksidantov na »prenos kisika« v literaturi 6. Ta je najvišji pri dezoksidaciji s FeMn, najnižja pa pri dezoksidaciji s FeSi. Glede »prenosa kisika« si dezoksidanti slede v približno naslednjem vrstnem redu: FeMn, FeTi, ZrSi, Al, CaSi, in FeSi.<sup>6/</sup>

### 3. Reakcije med raztaljeno žlindro in kovinsko talino

Vzpostavljane ravnotežja med raztaljeno žlindro in talino vara (redukcija varilne žlindre) poteka po naslednji ravnotežni enačbi:

$$a_{O/} = \frac{a_{(FeO)}}{K_{Fe}^a} = \frac{a_{(MnO)}}{K_{Mn}^a \cdot a_{/Mn/}} = \sqrt{\frac{a_{(SiO_2)}}{K_{Si}^a \cdot a_{/Si/}}} =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{a_{(Cr_2O_3)}}{K_{Cr}^a \cdot a_{/Cr/}^2}} = \sqrt[5]{\frac{a_{(Nb_2O_5)}}{K_{Nb}^a \cdot a_{/Nb/}^2}} \quad (\text{en. 6})$$

V skladu z ravnotežno enačbo (en. 6) in ugotovitvami glede hitrosti poteka fizikalno-kemičnih procesov med varjenjem (glej lit. 6 in 30) smo z obdelavo rezultatov raziskav na računalniku IBM 360/30 po metodi najmanjših kvadratov izpeljali

enačbe vzpostavljanja navideznega ravnotežja med žlindro in varom tudi za varjenje z visoko legiranimi oplaščenimi elektrodami. Izpeljane enačbe veljajo v območju raziskav (od 0,05 do 0,15 ut % celotne vsebnosti kisika v varu) za visoko legirane oplaščene elektrode, ki so osušene pri temperaturi 450° C, za varjenje z enosmernim tokom na + pol.

Praktično dobljeni rezultati se glede na razmere pri varjenju (pogoji dezoksidacije vara z opla-

Tabela 5: Vpliv kromita in FeTi v elektrodni oblogi prenos kisika » $\Delta O_2$  (g/gv)«

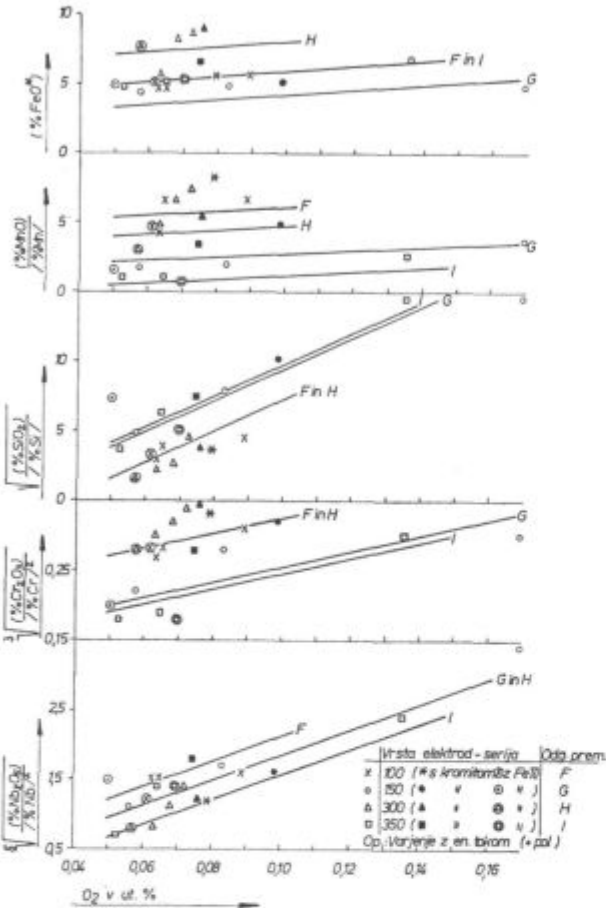
Serija	$\Delta O_2$ ( $10^{-4}$ g/g v)*	$\Delta O_2$ ( $10^{-4}$ g/g v)**	$\Delta O_2$ ( $10^{-4}$ g/g v)***
100	173	198	211
110	91	97	133
140	117	103	122
150	232	252	223
200	158	168	208
240	74	85	78
300	140	153	185
310	103	133	143
340	65	85	110
350	180	176	219

\* Srednja vrednost prvih treh elektrod serije.

\*\* Elektrode s kromitom v plašču (10 % FeCr v elektrodni mešanici je zamenjano s kromitom. V elektrodno mešanico pa je dodana tudi dodatna količina FeSi, ki je potrebna za redukcijo kromita).

\*\*\* Elektrode s FeTi v plašču (Optimalna dezoksidacija vara s FeTi. Dodatek FeSi pri drugi elektrodni seriji smo zamenjali z ustrežno količino FeTi).

ščenimi elektrodami so veliko odvisni od varilca: drža in odmaknjenost elektrode ter hitrost varjenja močno vplivajo na temperaturo varjenja, obliko kopeli in debelino vara) zelo dobro ujemajo z izpeljanimi enačbami. Ujemanje je razvidno iz stopnje korelacije, prikazano pa je tudi na sliki 6. sliki 6.



Slika 6

Vzpostavljane navideznega ravnotežja med žlindro in varom pri varjenju z visokolegiranimi oplasčenimi elektrodami (elektrode za varjenje prokron jekel)

Fig. 6

Achievement of quasi-equilibrium between the slag and the weld in welding with high-alloyed coated electrodes (electrode for welding Prokron steel)

Premice, vrisane v diagramih na sliki 6, so bile izračunane po naslednjih enačbah vzpostavljanja navideznega ravnotežja med žlindro in varom pri varjenju z visokolegiranimi oplasčenimi elektrodami (Pr 18/8):

$$(\% \text{FeO}^*) = 9,88 + 18,2 \cdot [\text{O}] - 0,033 \cdot \% \text{SiO}_2 - 0,61 \cdot B_L - 3,12 \cdot \eta;$$

71,2 % na korelacija (en. 7)

$$\frac{(\% \text{MnO})}{\% \text{Mn}} = 0,98 + 14,4 \cdot [\text{O}] - 0,128 \cdot \% \text{SiO}_2 - 0,78 \cdot B_L + 2,18 \cdot \eta;$$

75,7 % na korelacija (en. 8)

$$\sqrt{\frac{(\% \text{SiO}_2)}{\% \text{Si}}} = -4,11 + 112,4 \cdot [\text{O}] + 0,061 \cdot \% \text{SiO}_2 + 0,64 \cdot B_L + 0,11 \cdot \eta;$$

91,9 % na korelacija (en. 9)

$$\sqrt[3]{\frac{(\% \text{Cr}_2\text{O}_3)}{\% \text{Cr}^2}} = 0,21 + 1,1 \cdot [\text{O}] - 0,002 \cdot \% \text{SiO}_2 - 0,02 \cdot B_L;$$

79,1 % na korelacija (en. 10)

$$\sqrt[5]{\frac{(\% \text{Nb}_2\text{O}_5)}{\% \text{Nb}^2}} = -0,38 + 18,0 \cdot [\text{O}] - 0,013 \cdot \% \text{SiO}_2 - 0,05 \cdot B_L + 0,40 \cdot \eta;$$

92,7 % na korelacija (en. 11)

Legenda oznak v podanih enačbah:

(% FeO\*) = (% FeO) + 1,35 (% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)  
 % FeO, % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % MnO, % SiO<sub>2</sub>, % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — sestavine varilne žilindre (ut. %)  
 % Mn, % Si, % Cr in % Nb — sestavine vara (ut. %)  
 [O] — celotna vsebnost kisika v varu (ut. %)

$B_L = \sum a_i N_i^{1/6, 20/}$ ; bazičnost varilne žilindre

$\eta$  = izkoristek varjenja (računano na težo oddaljene elektrodne žice)

Pogoji za izračun premic (slika 6) so bili naslednji:

Oznaka premice	% SiO <sub>2</sub> v žlindri	B <sub>L</sub> žilindre	$\eta$ -varjenja	Serijska*
F	ca. 17	— ca. 1,7	ca. 2,05	100
G	ca. 23	+ ca. 1,1	ca. 1,95	150
H	ca. 11	— ca. 1,2	ca. 1,29	300
I	ca. 20	+ ca. 1,9	ca. 1,30	350

\* Serijska je podana le informativno.

Poleg dobrega ujemanja praktično dobljenih rezultatov (točke) z izpeljanimi enačbami (premiče) je iz diagramov na sliki 6 razvidno še, da se tudi rezultati, ki smo jih dobili pri varjenju z elektrodami, pri katerih smo var dezoksidirali z FeTi, dobro ujemajo z izpeljanimi enačbami (odgovarjajočimi premicami). V vseh primerih so nekoliko višji le rezultati porazdelitve kroma med žlindro in varom pri elektrodah, ki smo jim dodali v oblogo kromit (vedno nad odgovarjajočo premico — glej sliko 6).

ZAKLJUČEK

1. Za področje kemičnih sestav žlinder, ki nastajajo pri varjenju prokron jekel z visoko legiranimi oplasčenimi elektrodami (Pr 18/8), izdelani trokomponentni diagrami temp. zmehčišč, taljenja

in lahko tekočega stanja podajajo sestave varilnih žlinder, ki so primerne, da nastajajo med varjenjem. Zaradi zapekanja žlindre na var pa ni zaželeno, da med varjenjem nastajajo žlindre, podobne sestavama »I« in »J«, to je žlindre, ki vsebujejo nad 10 % CaO in okoli 20 % TiO<sub>2</sub>.

2. Vsebnosti kisika v čistih varih, ki so zavarjeni z visoko legiranimi elektrodami, so redno nad 500 ppm. Vzrok za višjo vsebnost kisika v teh varih, v primerjavi z nelegiranimi in nizkolegiranimi vari (nad 200 ppm), je znatno nižji koeficient termodinamične aktivnosti kisika v talini visoko legiranega vara.

3. Pri visoko legiranih elektrodah (legiranje vara s kromom iz plašča) pride do omejitev uporabnosti teh elektrod le zato, ker imajo te vrste elektrod vedno visok minimalen izkoristek varjenja in so zato neprimerne za posebne zahteve varjenja. Nizek izkoristek varjenja (varjenje v tankih slojih) je možen le pri visokolegiranih elektrodah, pri katerih je legiranje vara s kromom iz elektrodne žice.

4. Teoretično izračunavanje sestave in debeline oplaščenja temelji na poteku fizikalno kemičnih procesov med varjenjem, to je na zakonitostih prenosa kisika iz plinske faze v talino žlindre in kovine (slika 5) in zakonitostih vzpostavljanja navideznega ravnotežja med žlindro in varom (enačbe 7, 8, 9, 10 in 11).

5. Prenos kisika iz plinske faze v talino žlindre in vara je pri elektrodah, ki so oblikovane na legirano žico »EO«, nekoliko višji kot pri elektrodah, ki so oblikovane na legirani žici »EPP Cr 6 in Pr 18/8« (razlike v oddaljevanju). Razlike v porazdelitvi kroma med žlindro in varom pa so kljub razlikam v načinu legiranja vara s kromom neznatne (med premicama F in H na sliki 6 pri porazdelitvi Cr ni razlike, premici G in I pa se le malenkost razlikujeta — premici F in G predstavljata legiranje vara s kromom iz plašča, premici H in I pa iz žice). Le pri elektrodah, ki imajo v plašču kromit, se vzpostavi po varjenju nekoliko

višje razmerje 
$$\sqrt[3]{\frac{(\% \text{Cr}_2\text{O}_3)}{\% \text{Cr}^2}}$$

6. Z izbiro izkoristka varjenja, količine in sestave žlindre (diagrami stanja) ter sestave vara (Schaefflerjev diagram) lahko na osnovi ugotovljenih zakonitosti poteka reakcij med varjenjem izračunamo optimalno sestavo in debelino oplaščenja za elektrodo, da bo ustrezala predpisanim zahtevam.

## Literatura

1. J. H. Palm: *Welding Journal* 51 (1972), št. 7, str. 358-s/360-s.
2. I. N. Golikov/G. M. Icković: *Stalj* (1973), št. 7, str. 591/616.
3. W. Hummitzsch, L. Hense: *Schweissen und Schneiden* 14 (1962), št. 5, str. 201/210.
4. J. F. Elliot, M. Gleiser: *Thermochemistry for Steelmaking — II*, (Addison — Wesley Publishing Co INC, London 1960)
5. D. Ja. Povolockij: *Razkisljenje stali* (Izdateljstvo »Metallurgija«, Moskva 1972).
6. R. Kejžar: *Vpliv dezoksidantov na prenos kisika pri varjenju z oplaščenimi elektrodami* (Disertacija — Fakulteta za NT, Univerza v Ljubljani, Ljubljana 1974).
7. E. Plöckinger, H. Straube, G. Kühnelt: *Radex — Rundschau* (1965), št. 2, str. 447/460.
8. M. Beckert, A. Neumann: *Grundlagen der Schweiss-technik* (VEB Verlag Technik, Berlin 1969).
9. Koch: *Handbuch der Schweiss-technologie Lichtbogen-schweissen* (Deutscher Verlag für Schweiss-technik — DVS — GMBH, Düsseldorf 1961).
10. D. Seferijan: *Metalurgija zavarivanja* (Gradževinska knjiga, Beograd 1969).
11. W. Hummitzsch: *Schweissen und Schneiden* 13 (1961), št. 5, str. 187/195.
12. A. N. Bjikov, A. A. Erohin: *Svaročnoe proizvodstvo* (1965), št. 7, str. 25/28.
13. A. A. Erohin: *Fizika i hemija obrabotki materialov* (1969), št. 5, str. 56/61.
14. P. Stular: *Studij varjenja pod žlindro — I*. (Poročilo Zavoda za varjenje SRS, Ljubljana 1968).
15. M. G. Froberg, M. L. Kapoor: *Schweissen und Schneiden* 24 (1972), št. 8, str. 293/295.
16. B. E. Lopaev, A. A. Pliševskij, V. V. Stepanov: *Avtomatičeskaja svarka* (1966), št. 1, str. 27/29.
17. A. I. Bočorišvili, S. B. Jakobašvili: *Svaročnoe proizvodstvo* (1968), št. 10, str. 13/15.
18. V. D. E.: *Die physikalische Chemie der Eisen und Stahlerzeugung* (Verlag Stahleisen M. B. H., Düsseldorf 1964)
19. H. Miska, M. Wahlster: *Archiv für das Eisenhüttenwesen* 44 (1973), št. 1, str. 19/25.
20. Eūchi Tsunetomi, Haruo Fujita: *Soud. Techn. conn* 26 (1972), št. 3/4, str. 125/139.
21. H. Samang: *Die Keramik* (Springer — Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1958).
22. *Spravočnik himika I*. (Gosudarstvennoe naučno-tehničeskoe izdateljstvo himičeskoj literaturji, Leningrad/Moskva 1962).
23. A. Rosina, F. Seme, B. Hofbauer: *Nadaljevanje študije strukture staljenih metalurških žlinder in silikatnih talin — II*. (Poročilo Metalurškega inštituta, Ljubljana 1973).
24. D. Sikoček: *Nekatere fizikalne lastnosti varilnih žlinder pri varjenju prokron jekel* (Diplomsko delo — Fakulteta za NT, Univerza v Ljubljani, Ljubljana 1974).
25. M. Kosec: *Poročilo o preiskavi žlinder* (Poročilo inštituta »Jožef Stefana«, Ljubljana 1974).
26. R. Kejžar: *Železarski zbornik* 6 (1972), št. 1, str. 47/63.
27. I. K. Pohodnja, G. G. Korickij: *Svaročnoe proizvodstvo* (1970), št. 8, str. 32/33.
28. I. K. Pohodnja, I. R. Javdošin, V. I. Karmanov, V. G. Vojtkević: *Avtomatičeskaja svarka* (1974), št. 5, str. 5/9.
29. I. Limpel: *Zavarivanje* (1974), št. 5, str. 159/167.
30. R. Kejžar: *Železarski zbornik* 8 (1974), št. 4, str. 193—201.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Gesetzmässigkeiten, im Reaktionsverlauf während des Schweißens, sind auf Grund der mathematischen Datenverarbeitung der Untersuchungsergebnisse bestimmt worden.

Die Anwendung des EO Drahtes bei der Erzeugung von Schweißelektroden verursacht, dass die Sauerstoffübertragung während des Schweißens etwas grösser ist. Die



Verteilung von Chrom zwischen der Schlacke und dem Schweißgut ist von der Legierungsart fast unabhängig.

Die Anwendung der hochlegierten Elektroden (legieren aus dem Mantel) ist mit einem hohen minimalen Ausbringen beim Schweißen begrenz).

Die ausgearbeiteten Schlackenzustandsdiagramme und die festgestellten Gesetzmässigkeiten beim Reaktionsverlauf während des Schweißens, sind die Grundlage für die theoretische Ausrechnung der optimalen Zusammensetzung und der Dicke der Elektrodenummantelung.

### SUMMARY

Rules connected to the chemical reactions occurring during welding were determined by mathematical treatment of investigation results.

Use of EO wire in electrode manufacturing causes a relatively higher «oxygen transfer» during welding. Distribution of chromium between the slag and the weld is nearly independent of the way of alloying the weld.

Applicability of high-alloyed electrodes (alloying from the electrode coating) is limited by a high minimal yield of welding.

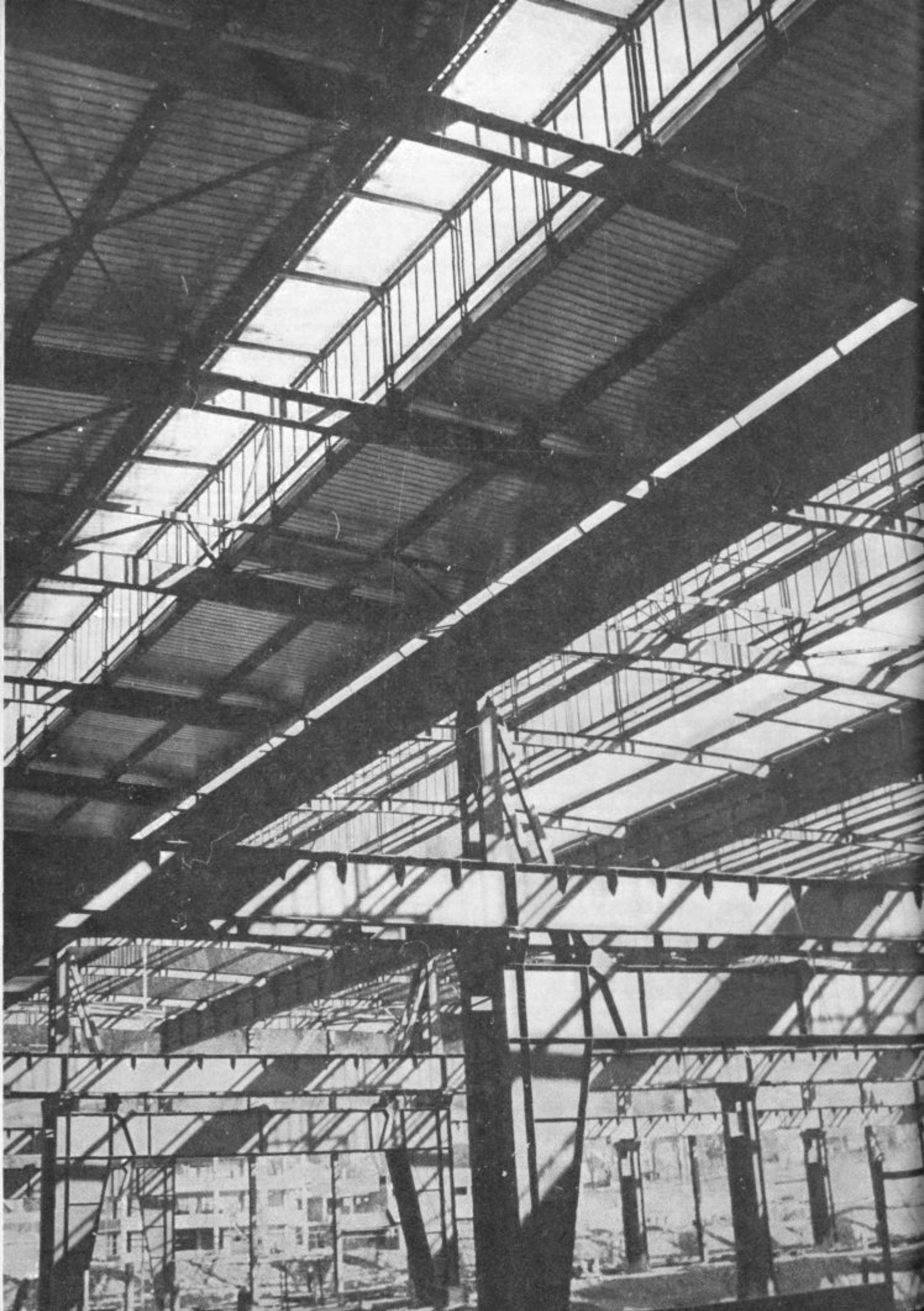
Constructed phase diagrams for slags and the determined rules for the course of chemical reactions during the welding are basis for theoretical evaluation of the optimal composition and thickness of electrode coating.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Закономерности течения реакций во время сварки определены на основании обработки полученных результатов исследования. Применение проволоки - EO для изготовления электродов причиняет немного повышенный «перенос кислорода» во время сварки. Распределение хрома между шлаком и сварным швом почти независимо от легирования шва.

Употребление высоко легированных электрод (легирование из оболочки) ограничена высоким минимальным выходом сварки.

Предложенные диаграммы о состоянии шлака и утвержденные закономерности процесса течения реакций во время сварки представляют собой основание для теоретического расчёта оптимального состава и толщины оболочки электрод.



# Pod elektro prevodno žlindro pretaljena varilna žica za električna talilna varjenja

DK: 669.187.6

669.046.582

ASM/SLA: D 8 p, k 1 d

Pavel Štular

*V članku je opisan razvoj varilne žice, ki je bila izdelana iz ingotov, pretaljenih pod elektro prevodno žlindro z dodatkom ferotitana kot inokulatorja za varjenje nizkoogljčnih jekel po postopkih (pol)avtomatskega obločnega varjenja pod praškom (EPP) v zaščiti CO<sub>2</sub> in pod elektroprevodno žlindro (EZ). Navedeni varilni načini so izredno gospodarni, toda zaradi njihove relativno velike talilne zvarne kopeli je struktura zvara izrazito grobo zrnata in zato zarezna žilavost relativno nizka.*

*Z ustreznim dodajanjem ferotitana je bila dosežena fino zrnata kristalizacija relativno velikih zvarnih talin in s tem znatno višja zarezna žilavost zvarov pri neizpremenjenih ostalih mehanskih karakteristikah, kar je v članku razvidno iz primerjalnih podatkov z mehanskimi karakteristikami zvarov, varjenih z običajno varilno žico.*

## 1. UVOD

Pri študiju tehnoloških, fizikalno-kemičnih, metaloznanstvenih in elektriških problemov avtomatskega električnega varjenja pod žlindro (1), (2), (3), (5) smo uporabili variantni postopek varjenja pod žlindro, t. j. pretaljevanje pod žlindro za poizkus razvoja varilne žice (elektrode) za različna avtomatska električna varjenja pod praškom, pod žlindro, v zaščiti CO<sub>2</sub> itd. (4), (6), (7), (8).

Vsako električno talilno varjenje je pravzaprav mikroelektro-metalurški postopek pretaljevanja kovine, avtomatsko električno varjenje pod žlindro pa ima tudi za makroelektro-metalurgijo pretaljevanja kovin izreden pomen. Varjenje, ki ima v mnogočem svoje osnove v metalurgiji, s postopkom pretaljevanja pod žlindro oplaja kot mlajša tehniška panoga metalurgijo s tem, da ji nudi pomemben način pretaljevanja kovin, posebej jekla za posebne namene.

»Makro« pretaljevanje pod žlindro v sodobni metalurgiji zadnjih 10 let v primerjavi z elektro pretaljevanjem določenih vrst jekel v vakuumski obločni peči ali elektro pretaljevanjem v plazemski peči, oziroma v peči na elektronski snop ni

samo enakovreden postopek, ampak celo kvalitetno prekaša omenjene ostale sodobne načine pretaljevanja (9), (10).

Kot je znano, so izumili električno varjenje pod žlindro in iz njega še električno pretaljevanje pod žlindro (EPŽ) na Patonovem inštitutu za varjenje v Kijevu l. 1957 (11).

V Jugoslaviji smo pričeli z uvajanjem tehnologije varjenja in pretaljevanja pod žlindro na Zavodu za varjenje v Ljubljani l. 1962, t. j. 5 let po izumu, z razvojem in raziskavami pa smo se pričeli ukvarjati l. 1964. Od tega časa pa do danes nismo osvojili samo tehnologije, prenesli smo jo v prakso, razvili praške, dodajni material, odkrili nove fenomene in izdelali prvo polindustrijsko napravo za tovrstno varjenje za Inštitut tovarne Đ. Đaković v Slavonskem Brodu (12).

Na metalurškem področju pretaljevanja pod žlindro v SFRJ zasledimo prve raziskovalne rezultate l. 1971 (13) na Metalurškem inštitutu v Ljubljani. V svetu pretaljujejo na ta način jeklene bloke, težke nekaj deset ton, pri nas pa je v zadnjih dveh letih z uspehom uvedla to tehnologijo v metalurško prakso prva Železarna Ravne s pomočjo Metalurškega inštituta.

## 2. POMEN PRETALJEVANJA POD ŽLINDRO ZA METALURGIJO, VARJENJE IN VARJENE KONSTRUKCIJE

Danes je splošno poznano, da je kvaliteta kovine za varjeno konstrukcijo odločilnega pomena.

Količina nečistoč z nizkim tališčem, plinov in nekovinskih vključkov v jeklu, kakor tudi homogenost njegove strukture, v veliki meri vplivajo na odpornost jekla proti toplotnim deformacijam in strukturnim spremembam pri varjenju.

V primeru varjenih konstrukcij in zelo debelih pločevin, kjer imamo opravka s trodimenzionalnimi napetostmi, sta čistoča in homogenost v strukturi jekla posebno važni. V tem primeru mora biti jeklo izotropno, z minimalnimi plastičnimi lastnostmi, ne samo vzdolžno in prečno na smer valjanja, ampak tudi po debelini; poleg tega mora biti to jeklo odporno proti krhkosti v hladnem.

Navesti bi mogli številna raziskovalna dela v svetu, kjer se ukvarjajo s problematiko čistosti in homogenosti kovin za varjene konstrukcije.

Dr. Pavel Štular, dipl. ing.

Direktor Zavoda za varjenje SRS, Ljubljana, Ptujška 19

Z navedenim pa ne trdimo, da je treba specialno čista jekla uporabljati za vsako varjeno konstrukcijo, ampak samo tam, kjer je ekonomsko in tehnično opravičljivo. Na primer: navadno Siemens-Martin jeklo ustreza pri izdelavi bagerjev in goseničarjev, toda če bi jih stalno uporabljali pri zelo nizkih temperaturah, bi morale biti jekla čistejša, da bi bilo bolj odporno proti krhkemu lomu; podobno je s posodami, ki imajo zelo debele stene in delajo pri zelo visokih temperaturah in visokih pritiskih, n. pr. nekateri parni kotli, ohišja nuklearnih reaktorjev itd.

Gre pa tudi še za nejasne in neugodne strani »čiste kovine«. Bolj kot je kovina čista, manj fino je zrno, ker je zmanjšano število centrov strjevanja in rekristalizacije. Znano je npr., da je varjnost nerjavnega jekla, pridobljenega pri električnem pretaljevanju v vakuumski peči, slabša. Prav tako ni še pojasnjen vpliv čistoče določenih jekel na trajnost varjenih spojev. Vsekakor pa je v splošnem bolje uporabljati čista jekla, predvsem pri uporabi postopkov talilnega varjenja.

Eden od možnosti uporabe »specialne elektro metalurgije«, tj. pretaljevanja pod žilindro, je tudi izdelava elektrod in žic, tj. dodatnega materiala za varjenje. Čim bolj je dodatni material čist, tem manj škodljivih elementov bo v zvaru, npr. žvepla in fosforja. Pri tem je izdelava elektrod in žic dražja, toda kvaliteta zvarjenih spojev boljša, kar je posebnega pomena za specialna in legirana jekla ali za bolj obremenjene varjene konstrukcije, pri katerih je važna predvsem tudi visoka žilavost zvarjenih spojev.

### 3. NAMEN RAZISKAVE

Ker je talina kovine pri postopku pretaljevanja prav tako kot pri postopku varjenja prekrita s talino žilindre, v kateri se dodatni material odtaljuje, so s tem dane možnosti za rafinacijo kovine in dodatno legiranje kot tudi za vnašanje inokulatorjev, tj. kalilotvorcev.

Osnovni namen raziskave je bil v tem, da med pretaljevanjem v kokilo eksperimentalno določimo optimalne pogoje, s katerimi bomo dosegli maksimalni efekt vpliva inokulatorjev.

V glavnem smo pričakovali:

- vpliv na zrnatost pretaljenega ingota
- vpliv na mehanske karakteristike vara;

predvsem smo zasledovali spremembe žilavosti in deloma vpliv na statične mehanske karakteristike pretaljenega materiala.

Menili smo, da bi iz ingotov, ki bi v teh predposkusih dali dobre rezultate, lahko izdelali žico, s katero bi dosegli boljše mehanske lastnosti zvarov pri varjenju v različnih tehnikah varjenja. Žica z inokulatorji je predvsem zanimiva za postopke varjenja, ki »delajo z veliko talino« in so zato zvari grobo kristalinični ter imajo sorazmerno nizke žilavosti: EPP, CO<sub>2</sub>, ročno obločno varje-

nje z elektrodami večjih premerov itn., torej za postopke, ki se v praksi zaradi ekonomske upravičenosti iz dneva v dan vedno bolj uveljavljajo.

Če bi uspelo z vnašanjem inokulatorjev razviti žico, ki bi pri ekonomsko zanimivih postopkih varjenja dala zares ugodnejše rezultate, bi s tem uspelo razviti sodobne in perspektivne dodatne materiale za varjenje, ki bi zadovoljili tako ekonomske kot tudi tehnološke zahteve.

### 4. OPIS PREIZKUSOV

V kokilo z rahlo koničnimi zidovi višine 260 mm ali v kokilo kvadratnega presega smo talili žico z naslednjimi pogoji:

žica  $\varnothing = 2,5$  mm

$I_{var} = 650$  A s + polom na elektrodi

$U_{var} = 32-44$  (odvisno od elektroprevodnosti taline praška)

$v_{žice} = 8,6-9,4$  m/min

količina hladilne vode = 5—6 l/min

začetna količina praška = 5 g/cm<sup>2</sup> osnovne ploskve ingota

Ferolegure smo dodajali direktno na talino žilindre v enakomernih časovnih presledkih (30 s), v točno določenih količinah (1,2; 2,4; in 4,8 g FeTi v prahu, zavitega v filtrirni papir).

Opravili smo tudi poskuse, da smo v jekleno cevko, ki je imela podobno kemično sestavo kot žica, ki jo pretaljujemo, dali ustrezno količino FeTi v prahu, nakar smo cevko montirali v kokilo in pustili, da se je med procesom varjenja odtaljevala z naraščanjem nivoja taline žilindre. Slaba stran tega postopka je v tem, da se kaj rado zgodi, razlogi so različni, da v določenem trenutku zdrsi vsa količina legiranega dodatka v talino.

Poskušali smo tudi z drugimi postopki dodajanja ferolegur; dodajanje z vpihavanjem s pomočjo argona direktno v kovinsko talino, dodajanje v mešanici s praškom za varjenje, vendar je iz praktičnih razlogov še najbolj uspevalo legiranje po prvem opisanem načinu.

Zelo dobre rezultate, enakomerno legiran zvar, smo dobili z legiranjem preko aglomeriranega praška, katerega smo dodajali med pretaljevanjem. Tak način bi bil zelo zanimiv pri praktičnih industrijskih pretaljevanjih, medtem ko je za laboratorijske metode nekoliko neprikladen, ker je priprava ene šarže praška (0,5 kg) precej zamudno delo. Tudi za primerjavo rezultatov je zadeva komplicirana, ker kot vezivo dodajamo še vedno steklo in s tem takoj nastanejo sicer dobro prevodni, vendar komplicirani kemični sistemi žilinder.

Kot legirani dodatek smo izbrali ferotitan, ki na prehodu skozi talino žilindre že reagira, nastajajo titanovi nitridi, karbonitridi in oksidi, ki imajo že kalilotvoren karakter.

Ko so bili rezultati poskusov večkrat potrjeni, je bila izdelana »receptura« za ožji izbor ingotov, katere smo prekovali v palice  $\varnothing 10$  in jih nato potegnili v žice  $\varnothing 4$  ali manj, da bi napravili s tako izdelano žico še varilno tehnične preizkuse.

## 5. RAZISKANI MATERIALI

### 5.1. Žica

Za vse preizkuse v raziskavi smo uporabili žico EPP 2  $\varnothing 2,5$ , izdelek Železarnice Jesenice.

Kemična sestava žice je naslednja:

C %	Si %	Mn %	S %	P %
0,09	0,04	1,10	0,022	0,018

Ker smo spremljali predvsem koncentracijo Ti v zvaru, smo namenoma izbrali žico z nekoliko višjo vsebnostjo Mn, razvili pa smo praške, ki so glede prigrora ali odgora mangana skoraj nevtralni.

### 5.2. Praški

Kot osnovne komponente za izdelavo naših praškov smo uporabljali kalcit, kremen, rutil ter jedavec v prahu. Vse surovine so tehnične in zmlate v prah granulacije, ki se najpogosteje uporablja pri izdelavi elektrodnih plaščev.

V glavnem smo uporabljali taljene praške, deloma sintrane praške in le redko aglomerirane, čeprav menimo, da bi pri polindustrijskem načinu izdelave take žice ravno aglomerirani praški imeli velik pomen zaradi možnosti enakomernega legiranja ingota. Seveda bi morali ravnovesne pogoje še posebej določiti.

Poskusi, da bi z dodajanjem praška med varjenjem, kateremu bi dodali določeno količino ferotitana, dosegli enakomernjšo koncentracijo tega elementa v ingotu, niso bili uspešni, ker je zaradi razlik v gostoti in zrnatosti prišlo do zbiranja ferotitana na dnu posode s praškom, še zlasti v primeru mešanja s taljenim praškom.

Agglomeriran prašek ima v tem pogledu znatne prednosti, moramo pa pred mešanjem z vodnim steklom ferotitan pasivizirati.

### 5.3. Razviti sistemi praškov $\text{CaO-SiO}_2\text{-TiO}_2\text{-CaF}_2$

Ker za praktično pretaljevanje mora talina praška imeti ustrezno električno prevodnost, se nismo mogli zadovoljiti samo s teoretično ugodnimi sestavinami, ampak smo morali zadovoljiti tudi praktično zahtevo prevodnosti taline. Praški so bili sestavljeni na dveh osnovnih sestavah, in sicer:

- praški na osnovi monokalcijevega silikata in
- praški na osnovi di-kalcijevega silikata.

Del molekul silicijevega dioksida smo postopoma zamenjali z ekvivalentnim delom titan dioksida in smo na ta način dobili vrsto praškov. Za

ugodnejše tališče in boljšo prevodnost smo stehiometričnim mešančam na 1 gram mol CaO dodajali vedno 1 mol jedavca.

Količine so bile stehiometrično preračunane z ozirom na rezultate kemičnih analiz komponent.

Delna zamenjava  $\text{SiO}_2$  s  $\text{TiO}_2$  je imela osnovni namen preprečevati premočno oksidacijo titana pri prehodu fero-titana skozi plast žilindre v smislu zakona o delovanju mas, istočasno pa naj bi preprečila tudi premočno odstranjevanje oksidov titana iz taline kovine, ker nam fino dispergirani  $\text{TiO}_2$  lahko služijo tudi kot inokulatorji.

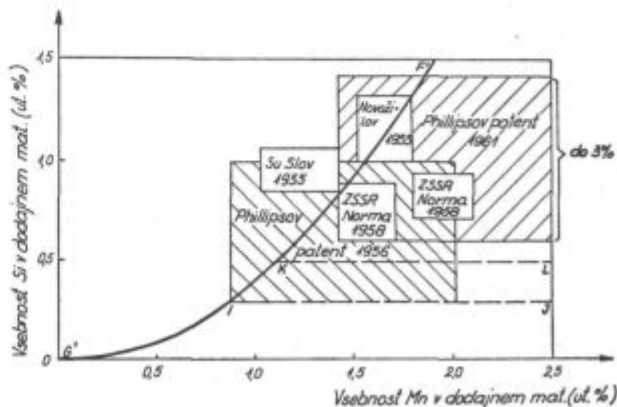
## 6. RAZISKAVE NA PRETALJENIH INGOTIH

Vsak ingot smo prežagali po vzdolžni osi, nakar smo ga obrusili in polirali ter ocenili videz makrostrukture — rast dendritov — in makro kristaliničnost. Odvzeli smo vzorec približno na sredini ingota, kjer smo menili, da se je proces že stabiliziral, in določili mikro velikost kristalnih zrn.

Z večjimi povečavami smo mikroskopsko kvalitativno ocenjevali tudi vključke. Nekatere med njimi smo skušali tudi indentificirati s pomočjo mikro fizikalno-kemičnih metod (mikrosonda, elektronska difrakcija).

Glede mehanskih preiskav smo vedno merili žilavost vzorcev v pretaljenem stanju in žilavost normaliziranih vzorcev.

Pri nekaterih kombinacijah pretaljevanja je normalizacija izredno dvignila žilavost (celo do 30 kpm/cm<sup>2</sup> epruveta DVM). Žica iz takega materiala bi bila, recimo, zelo zanimiva za varjenje korenskega zvara v primerih, ko se nato vari še temenski varek z večjo količino vnesene toplote: tandem varjenje, koren v zaščiti  $\text{CO}_2$  in teme varjeno EPP, kar v mnogih tovarnah redno uporabljajo pri serijski proizvodnji elementov nosilnih varjenih konstrukcij (krožni zvari na tlačnih cevovodih hidrocentral itd.)



Slika 1  
Področja patentne zaščite za žico (elektrodo) pri obločnem varjenju v zaščiti  $\text{CO}_2$  z ozirom na vsebnost dezoksidantov (Si, Mn)

Fig. 1  
Patented wire compositions (Si, Mn) for gas shielded arc welding

Žilavostne preizkušance smo izdelali po predpisih DVM — okrogla zarez (20° C)

Rezultati meritev žilavosti so bili tudi v skladu z meritvami zrnatosti. Zarezne žilavosti vseh serij in kombinacij so bile med 0,5 in 15 kpm/cm<sup>2</sup>.

Rezultati žilavosti pretaljenih vzorcev po normalizaciji v peči (920° C/20 min) pa so bili pri vseh serijah preizkusov in kombinacij med 14 in 28 kpm/cm<sup>2</sup>.

## 7. KONČNE RAZISKAVE Z IZBRANIMI ŽICAMI

Vse raziskave izbranih žic smo izvedli primerjalno z žico, ki se v praksi redno uporablja.

Varili smo enoslojno z obeh strani na pločevini 20 mm — I zvar po postopku EPP. Čisti zvar smo izvedli po JUS C.H3.011, tabela 5 (vrednosti, ki so določene za premer elektrode Ø 10 mm).

Mehanske lastnosti zvara, varjenega enoslojno, so bile določene v smislu norme SSSR ON — 163 (Metal šva i svarnogo soedinenija), medtem ko so bile mehanske karakteristike zvara določene po JUS C.H3.011, s to razliko, da smo izdelali žilavostno epruveto v skladu s predposkusi z U-zarezo.

### 7.1. Uporabljeni materiali

#### 7.1.1. Osnovni material

pločevina — 20 mm  
kvaliteta — Č 0445 V

#### Mehanske lastnosti

Meja plastičnosti kp/mm <sup>2</sup>	Trdnost kp/mm <sup>2</sup>	Raztezek 5 d %	Kontrakcija %
36	47	28	61

Upogibni kot D — 2 a — 180°

varivost določena po JUS C.T3.051 : preizkušena in dobra

#### Kemična analiza:

C %	Si %	Mn %	S %	P %
0,17	0,18	0,53	0,019	0,017
T	20° C	0° C	— 20° C	— 40° C
a <sub>k</sub> (DVM) kpm/cm <sup>2</sup>	11,0	7,9	6,2	5,1

#### 7.1.2. Žica (primerjalna)

EPP 2, Ø 4 mm, Železarna Jesenice, rahlo pokakrena

#### Kemična analiza:

C %	Si %	Mn %	S %	P %
0,10	0,05	1,04	0,022	0,016

Žica je po svoji kemični sestavi zelo podobna analizi žice Ø 2,5, s katero smo izdelali pretaljene ingote. Menimo, da bo zato efekt dolegiranja in inokulatorjev v primerjalni žici toliko bolj izražen (glej poglavje 5.1).

### 7.1.3. Prašek (primerjalni)

EP — 10 izdelek Železarne Jesenice.

Karakteristike praška:

Zrnatost po Tylerju: 12 × 48 (0,3—1,4 mm)

Oznaka po IIW-IIS: 11 ay 496

k = 0,07 za izračun globine uvara iz zveze

$$a = k \sqrt[3]{\frac{I^4}{U^2 v}}$$

pri uporabi (+) pola na žici

## 7.2. Pogoji varjenja

### 7.2.1. Varjenje I-zvara z obeh strani na 20 mm pločevini

I<sub>var</sub> = 800 A ± 30 A      v<sub>var</sub> = 40 cm/min

U<sub>var</sub> = 32 V ± 1 V      a = 13—14 mm

### 7.2.2. Varjenje čistega zvara; pogoji za posamezen varek:

Varka na stiku z osnovnim materialom (2)

I = 350 A

U = 36 V

v = 55 cm/min

a = 3—4 mm

Krovnj varki: (4)

I = 500 A

U = 35 V

v = 35 cm/min

a = 8 mm

## 7.3. Mehanske karakteristike zvara

### 7.3.1. Varjenje z enim varkom

Žica	Meja plastičnosti kp/mm <sup>2</sup>	Trdnost kp/mm <sup>2</sup>	Raztezek L=5d %	Kontrakcija %
EPP — 2	43,6	56,8	28	58
p 3 — II*	39,9	48,2	31	63
p 3 — IV*	42,1	54,3	27	54
p 4 — III*	41,6	55,8	28	50

\* — razvite žice na osnovi rezultatov raziskave

Zarezna žilavost (kpm/cm<sup>2</sup> po DVM) pri varjenju z enim varkom

Žica	20° C	0° C	— 20° C	— 40° C
EPP — 2	10,2	8,4	6,5	4,7
p 3 — II*	13,7	10,1	7,7	6,1
p 3 — IV*	10,4	9,5	7,2	5,0
p 3 — III*	12,2	11,0	6,8	5,6

\* — razvite žice na osnovi rezultatov raziskave

## 7.2.3 Varjenje čistega vara po JUS C.H3.011

Žica	Meja plastičnosti kp/mm <sup>2</sup>	Trdnost kp/mm <sup>2</sup>	Raztezek L=5d %	Kontrakcija %
EPP—2	39,8	48,6	34	62
p 3 — II*	36,7	46,2	33	65
p 3 — IV*	40,6	51,2	29	60
p 3 — III*	39,2	51,5	30	58

\* — razvite žice na osnovi rezultatov raziskave

Zarezna žilavost (kpm/cm<sup>2</sup> po DVM) pri varjenju čistega vara

Žica	20° C	0° C	—20° C	—40° C
EPP—2	14,5	12,0	9,4	8,2
p 3 — II*	17,8	15,6	12,1	9,4
p 3 — IV*	15,6	16,2	14,1	10,7
p 3 — III*	18,2	16,0	15,5	9,8

\* — razvite žice na osnovi rezultatov raziskave

8. POSKUS IZDELAVE ŽICE ZA VARJENJE V ZAŠČITI CO<sub>2</sub>

Enak postopek, ki smo ga doslej uporabili, je zanimiv tudi za razvoj žice za varjenje v zaščiti CO<sub>2</sub>. Posebnost tega razvoja je v tem, da moramo osvojiti žico z zadostno količino dezoksidantov (Si in Mn). Slika 1 prikazuje področja, ki so jih kot uporabna zaščitili s patenti. Zato smo poskušali pri pretaljevanju zadovoljiti to zahtevo na dva načina.

## 8.1. Pretaljevanje žice EPP-2 ter istočasno dodajanje FeMn, FeSi in FeTi

ter

## 8.2. Pretaljevanje žice VAC 60 z dodajanjem FeTi

Docela o uspehu lahko govorimo samo za poskuse 8.2., kar si pa razlagamo tako, da je pri dodajanju FeMn in FeSi skozi žlindro prišlo do vrste dodatnih reakcij in smo zato imeli v varu preveč inokulatorjev in drugih nečistoč ter zato relativno slabe žilavosti.

Pri pretaljevanju žice VAC 60 in z dodajanjem ferotitana pa smo dobili rezultate, ki so precej analogni opisanemu poskusom varjenja po postopku EPP. Ta ugotovitev velja za primerjavo lastnosti žice VAC 60 z žico, ki smo jo dobili iz ingota po pretaljevanju žice VAC 60 z dodajanjem ferotitana.

## 9. ZAKLJUČKI

Na osnovi dobljenih rezultatov lahko napravimo naslednje zaključke:

— s pretaljevanjem pod elektro prevodno žlindro (EPŽ) ter s pravilno dodano količino ferotitana se lahko izdelajo ingoti, ki vsebuje inokulatorje

— ugotovili smo, da so inokulatorji v ingotu titanove spojine in sicer titanovi nitridi in karbo-nitridi

— delovanje inokulatorjev se manifestira v finozrnatosti kristalne strukture ingotov po strjevanju taline

— mehanske lastnosti zvarov, ki jih zvarimo po postopkih, ki imajo veliko talino, dajejo zware z relativno precej boljšimi mehanskimi karakteristikami kot pri uporabi žice sorodne sestave, vendar brez inokulatorjev

— naknadna normalizacija zvarov, vodi v primeru uporabe žice z inokulatorji k še znatnejšemu izboljšanju mehanskih karakteristik (zlasti žilavosti)

— dodatek inokulatorjev daje izrazito pozitivne rezultate v relativno ozkih mejah, ki se jih pri izdelavi žic moramo strogo držati

— postopek dodajanja ferotitana skozi talino žlindre ni preprost proces legiranja taline, ker pri tem postopku ferotitan reagira s talino žlindre. Pri tem nastajajo tudi spojine z visokim tališčem, ki se v finodispergiranem stanju porazdele v talini kovine in delujejo kot kalilitvorci.

## 10. ZAHVALA

Delo sta omogočila znanstveno-raziskovalni sklad Slovenije »Boris Kidrič« in znanstveno-raziskovalni sklad Zavoda za varjenje, za kar obema iskrena hvala. Prav tako gre prisrčna zahvala tudi vodji tehnološkega oddelka dipl. ing. Ivanu Limplu s sodelavci za pomoč pri izvedbi tega dela.

## Literatura

1. P. Stular: Einfluss des Titans beim Elektroschlacken-Schweissen von Stahl. Schweissen und Schneiden, (Düsseldorf) Nr. 6/1967.
2. P. Stular: Vpliv titana in sistema praškov CaO-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> na metalurške in mehanske lastnosti zvarnih spojev pri elektro varjenju pod žlindro; disertacija na Fakulteti za strojništvo in ladjedelnštvo Univerze v Zagrebu; junij 1969
3. P. Stular: The influence of titanium and flux composition on the notch toughness of welds at the structural electroslag welded steels; IIS/IIW Doc. Comm. XII-498-69 in Varilna tehnika, št. 3/1969 (Vpliv titana in sestave praškov na žilavost zvarov na konstrukcijskih jeklih, varjenih pod žlindro)
4. I. Limpl, P. Stular: Poizkus razvoja žice z vsebnostjo inokulatorjev; Zavod za varjenje, 1969; poročilo o raziskovalnem delu za znanstveno-raziskovalni sklad SRS »Boris Kidrič«
5. P. Stular: Vpliv toplotne obdelave na zarezno žilavost pri varjenju fino zmatih jekel, Varilna tehnika št. 3/1970
6. P. Stular: The influence of titanium inoculators in welding wire on notch toughness in CO<sub>2</sub> — UP-ES welding; IIS/IIW Doc. Comm. XII-B-103-72 in Varilna tehnika, št. 1/1972 (Vpliv titanskih inokulatorjev v varilni žici izdelani po postopku elektro pretaljevanja pod žlindro na zarezno žilavost pri varjenju v zaščiti CO<sub>2</sub> pod praškom (EPP) in pod žlindro (EPŽ))

7. P. Stular: Pretaljevanje pod žlindro — poskus izdelave kvalitetnega dodajnega materiala za varjenje; mednarodno posvetovanje »Kvaliteta u zavarivanju« Zagreb, maj 1972, Posebna publikacija Zveze društev za varilno tehniko SFRJ
8. P. Stular: Über einige Legierungseffekte beim Schweißen, Schweißtechnik (Wien) H. 8/1973
9. M. Wahlster, A. Choudhury, K. Forch: Einfluss des Umschmelzens nach Sonderverfahren auf Gefüge und einige Eigenschaften von Stählen; »Stahl und Eisen« 88 H. 22/1968
10. W. Holzgruber, E. Plöckinger: Metalurgischen und verfahrenstechnische Grundlagen des Elektroschlacke-Umschmelzens von Stahl; »Stahl und Eisen«, H. 12/1968
11. B. E. Paton, E. J. Medovar, V. Lataš: Avtomatičeskaja svarka št. 11/1958
12. I. Vrpoljac: Praktična primjena postupka zavarivanja pod troskom u radionici; Zavarivanje, Zagreb, št. 1 in 2/1973
13. B. Koroučić: Vpliv elektro pretaljevanja pod žlindro na kvaliteto jekla za kroglične ležaje (OCR 4 ex Sp); Zvezarski zbornik, št. 4/1971.

### ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund der Untersuchungen und der Entwicklung des Elektroschlackenschweißens, haben wir das Elektroschlackeumschmelzverfahren für die Entwicklung der Schweißdrähte angewandt. Aus den erschmolzenen Blöcken haben wir Schweißdrähte gefertigt, welche für bestimmte Schweißverfahren, bei denen die Schweißschmelze relativ gross ist (zum Beispiel, für das Unterpulverschweißen, für das Schutzgasschweißen mit CO<sub>2</sub>, für das Elektroschlackenschweißen u. s. w.), interessant sein könnten. Aus einer so grossen Schmelze entsteht ein Schweißgut mit relativ grobem Gussgefüge und niedriger Zähigkeit. Mit dem Zusatz eines Inokulators (Ferrotitan) in die Schlackenschmelze haben wir eine feinkörnige Kristallisation der relativ grossen Schweißschmelzen verursacht und damit die Zähigkeit verbessert.

Ferrotitan ist durch die Schlackenschmelze zugegeben worden. Titan reagierte im erheblichen Masse mit der

Schlackenschmelze, und ist in die Stahlschmelze nur zum Teil in elementaren Zustand und zum Teil in Form der Verbindungen übergegangen.

Ein positiver Einfluss bestimmter Menge von Ferrotitan, als Inokulator, im Schweißdraht, ist damit bewiesen worden. Im Artikel sind Vergleichsergebnisse der mechanischen Eigenschaften des Schweißgutes, nach den erwähnten Schweißverfahren, mit üblichen und nach dem beschriebenen Verfahren erzeugten Schweißdrähten angegeben.

Es ist verständlich, dass für eine ökonomische Erzeugung der Schweißdrähte im ESU Verfahren, Industrieanlagen zur Verfügung sein müssen, um die laboratorischen Ergebnisse in die halbindustrielle und industrielle Praxis einführen zu können.

### SUMMARY

Investigating and developing of the electroslag welding process enabled that a similar process of electroslag remelting for welding wire manufacturing was applied and developed at the Institute of Welding in Ljubljana. The remelted ingots were used in manufacturing the welding wire which can be applied in welding a relatively big molten pool, i.e. automatic submerged welding, gas shielded arc welding, electroslag welding, etc. Such a big molten pool, i.e. automatic submerged processes, where occur welding, gas shielded arc welding, electroslag welding, etc. Such a big molten pool causes a relatively coarse grain structure (cast structure) of the weld which has therefore a low notch toughness. Additions of inoculator (ferrotitanium) in the slag melt causes a fine grained crystallization of relatively big molten pools, thus improving the notch toughness.

The adding of inoculator was solved by adding the ferrotitanium through the layer of molten slag, thus ferrotitanium reacted with the molten slag and came into the molten metal partially in elementary form and partially in form of compounds.

Doubtless, addition of ferrotitanium as an inoculator has a positive influence. Comparative results of mechanical properties of welds welded by previously mentioned methods using once usual welding wires and then the wires manufactured by electroslag remelting are cited in the paper.

To justify economically this manufacturing process for the welding wire, the laboratory results must be transferred into a semi- and industrial praxis.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследований и развития электросварки под электрическо-проводным шлаком в Институте для сварки Словении в Любляне употреблен вариационный способ переплавки под электрически проводным шлаком с целью дальнейшего усовершенствования сварочной проволоки. Сварочную проволоку изготовили из переплавленных слитков качеств, которые представляют собой интерес для процессов сварки с относительно большого количества расплавленного сварочного соединения (напр. автоматическая сварка под флюсом, дуговая сварка в защитной атмосфере CO<sub>2</sub>, электросварка под электро-проводным шлаком и пр.) В таком большом расплаве образуется относительно крупнозернистое сварочное соединение, легкой структуры, низкой надразной вязкости. При добавке модификатора (ферротитана) в расплавленный шлак получена мелкозернистая кристаллизация относительно больших сварочных соединений. Этим способом улучшена надразная вязкость.

Способ подачи модификаторов состоит в давки ферротитана через слой расплавленного шлака; таким образом большая часть ферротитана вступила в реакцию с шлаком и только меньшая часть перешла в расплавленный металл частично в элементарном состоянии, частично в форме соединений.

Неоспоримо доказано положительное влияние определенного количества добавки ферротитана как инкулятора в сварочной проволоки.

В статье приведены механические характеристики сварочных соединений сравнявая обыкновенные сварочные проволоки с проволоками усовершенствованные описанным способом.

Само собой разумеется, что с экономической точки зрения для приготовления сварочной проволоки описанным способом необходимо изготовить промышленное устройство для переплавки и перенести лабораторные исследования в полупромышленное и промышленное выполнение.



# Avtomatska obdelava podatkov tehnične kontrole in raziskav

DK: 519.24:562  
ASM-SLA:X14k, A9, A5f, S12

Jože Šegel

*Uporaba računalnika na področju tehnične kontrole in metalurških raziskav pomeni nov napredek v razvoju upravljanja kakovosti izdelkov.*

*Članek obravnava informacijski sistem, ki obsega obdelavo informacij, neuspele proizvodnje, analize nivoja in nihanj kakovosti izdelkov, raziskave zakonitosti v tehnološkem procesu in vzrokov neprave kakovosti z uporabo matematično statističnih analiz na računalniku.*

*Obravnavani informacijski sistem je bil razvit v železarni Ravne.*

## 1. NAMEN IN NAČELO

Količina in kakovost informacij je merilo za stopnjo organiziranosti sistema — tako kot je entropija merilo za stopnjo dezorganiziranosti. Pomanjkanje informacij je značilno za neurejen sistem, to je sistem, kjer vlada kaos in slučajnost. **Čim več informacij imamo, tem bolj organiziran je sistem in tem lažje ga upravljamo.** Upravljati pomeni s stališča kibernetike, izbirati optimalno pot za doseg zastavljenih ciljev; to pomeni množico akcij, ki učinkujejo na sistem, da bi se realizirali cilji sistema ali cilji upravljanja.

Ni se mogoče izogniti vedno novim in novim napakam, kajti rušenje sistemov, dezorganizacija, vrivanje napak je pogojeno s temeljnim zakonom o entropiji v naravi, tehniki in družbi.

V realnem svetu ni noben objekt upravljanja popolnoma izoliran od zunanjih vplivov. Noben kompleksni upravljalni sistem in objekt upravljanja ne deluje nikdar v pogojih popolne informacije. Razlogov za nepopolnost informacij je več: cilji, ki jih želimo doseči, niso popolnoma definirani, upravljalnega sistema ne poznamo dovolj dobro, različne naključne zunanje vplive poznamo parcialno itd.

Ali niso ravno te komponente še posebej značilne za upravljanje kakovosti izdelkov in polizdelkov v industriji?

Uporaba matematičnega modela je bistven element tehnične teorije upravljanja. Metode matematične teorije dajejo možnost, da se upravljalne akcije formulirajo kvantitativno na bolj znanstvenih osnovah za razliko od empirično-intuitivnega načina upravljanja. Matematični modeli upravlja-

nja imajo za določene primere svoje prednosti, pri tem pa ne smemo pozabiti, da to ne velja na splošno. Za primere izdelave ustreznih kompleksnih modelov je treba najti določen kompromis med matematičnim in empirično-intuitivnim modelom upravljanja. Uporaba samo empirično-intuitivnega modela upravljanja ima skoraj neomejeno področje. Ta model pa ne daje nobene garancije, da je takšno upravljanje dobro.

Ustrezna začetna količina informacij povečuje verjetnost, da bolj uspešno dosegamo zastavljene cilje. Pomembna je rast začetne količine informacij, to je večje znanje in večja informiranost vseh udeležencev procesa upravljanja.

Prizadevati si moramo, da v mejah možnosti uvajamo v vse modele upravljanja čim več znanstvenih dognanj in novih metod opisovanja, kot matematiko in kibernetiko. Tako uvajamo možnosti, da upravljalne modele obdelujemo s pomočjo računalnikov in različnih avtomatov.

Preidimo iz splošnega na konkretno in se omejimo na informativne sisteme, s pomočjo katerih upravljamo kakovost metalurških izdelkov, ter se vprašajmo, kako povečati smotrnost dela na tem področju in kakšna je vloga obdelave podatkov tehnične kontrole in raziskav.

Pri upravljanju kakovosti izdelkov črne metalurgije močno prevladuje empirično-intuitivni način upravljanja. Danes ni več mogoče reševati vseh nalog upravljanja z navadnimi tehničnimi sredstvi, kot tudi ne z modelom, ki v svojem bistvu temelji samo na empirično-intuitivnih metodah. Potrebno je intenzivno uvajanje sodobnih metod operativskega raziskovanja, matematično statističnih metod in obdelavo informacij s pomočjo računalnika.

Pomen AOP je pri reševanju tehnološke, kontrolne in kakovostne problematike neposredno povezan s pomenom **integralne kontrole kakovosti**.

**Mesto AOP v integralni kontroli kakovosti je v sistemu povratnih informacij.** Pri osnovnih nalogah kontrolne službe, ki so:

— usmerjati proizvodnjo k izdelavi **prave kakovosti izdelka**,

— izboljšati kakovostni nivo vhodnih surovin in

— preprečiti nadaljnje obdelave takih polizdelkov, od katerih ne moremo pričakovati kvalitetnih izdelkov,

ima AOP nalogo, da vsebinsko bogati in širi obseg povratnih informacij. Čim bolj vsebinsko bo-

Jože Šegel je diplomiran inženir metalurgije in vodja projektov AOP-TKR v železarni Ravne.

gate so povratne informacije, tem bolj se večja vloga kontrole.

Iz povedanega lahko definiramo cilje avtomatske obdelave podatkov tehnične kontrole in raziskav (AOP — TKR):

- zmanjšati stroške kakovosti izdelkov in povečati učinek kontrole,
- zmanjšati stroške kakovosti,
- dati osnovo za objektivno garancijo kakovosti izdelkov,
- pomoč pri racionalizaciji tehnoloških postopkov,
- izboljšati pregled proizvodnih možnosti in
- izboljšati izkoriščenost surovin.

V osnovi mora biti sistem AOP-TKR zgrajen tako, da združuje in povezuje med sabo informacije:

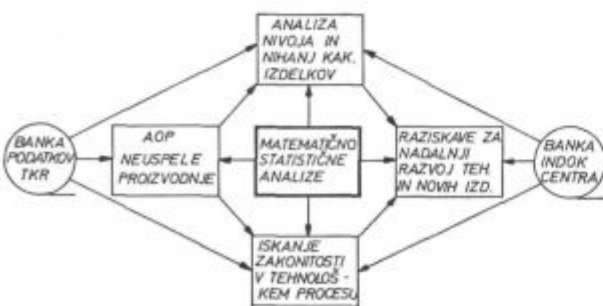
- službe kontrole kakovosti,
- službe razvoja in raziskav,
- metalurške in kemijske laboratorije,
- INDOK (informativno dokumentacijski center),
- tehnologe in operativno vodstvo v obratih in
- službo AOP.

**2. RAZDELITEV SISTEMA AVTOMATSKE OBDELAVE PODATKOV TEHNIČNE KONTROLE IN RAZISKAV**

Celoten sistem AOP-TKR razdelimo po vsebini in funkcionalnosti na področja:

- a) AOP — neuspele proizvodnje,
- b) matematično statistične analize,
- c) analize nivoja in nihanj kakovosti izdelkov,
- d) iskanje zakonitosti v tehnološkem procesu in vzrokov nepravilne kakovosti izdelkov,
- e) polnjenje in uporaba banke podatkov tehnične kontrole in raziskav,
- f) analiza stroškov kakovosti,
- h) AOP za INDOK center.

Na sliki 1 je prikazana razdelitev in povezanost področij AOP-TKR.



Slika 1

Razdelitev sistema avtomatske obdelave podatkov tehnične kontrole in raziskav

Fig. 1

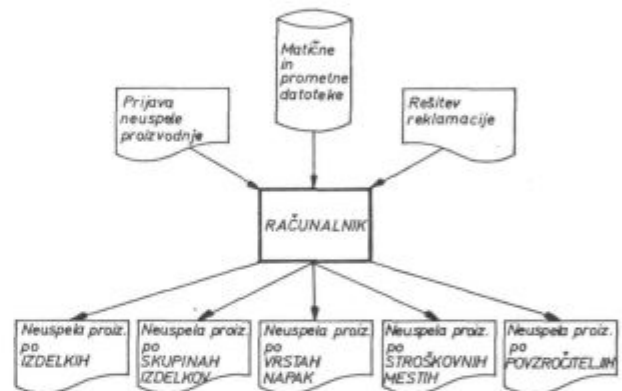
System of automatic data treatment for technical control and investigations

**3. AOP NEUSPELE PROIZVODNJE**

Pomembno področje uporabe računalnika pri upravljanju kakovosti izdelkov predstavlja AOP neuspele proizvodnje. Stroški neuspele proizvodnje so del celotnih stroškov kakovosti. Pri notranjih kakor tudi pri zunanjih izgubah ločimo naslednje vrste neuspele proizvodnje:

- izmeček (škart),
- popravila na izdelku ali polizdelku in
- prekvalifikacije enega izdelka v drugega.

Glede na skupino in vrsto neuspele proizvodnje obravnavamo informacije s tega področja skupaj, ločeno ali v raznih kombinacijah. Osnovna naloga je, da nazorno in objektivno prikažemo, kateri izdelki, skupine izdelkov, napak, stroškovna mesta in povzročitelji povzročajo največ stroškov neuspele proizvodnje. Na osnovi teh informacij lahko pristopimo k izbiri najučinkovitejših akcij odpravljanja stroškov neuspele proizvodnje.



Slika 2

Sistem avtomatske obdelave podatkov neuspele proizvodnje

Fig. 2

System of automatic data treatment of unsuccessful production

Na sliki 2 je shema obširne obdelave podatkov neuspele proizvodnje na računalniku.

Izvirne podatke o neuspeli proizvodnji zbira služba kontrole kakovosti na obrazcih:

- prijava neuspele proizvodnje in
- rešitev reklamacije.

Ti podatki se preko luknjanih kartic ali drugega vhodnega medija prenašajo v računalnik, kjer se formalno in logično kontrolirajo in dopolnjujejo z matičnimi in prometnimi podatki o izdelku, tehnologiji, naročilu, izvršenem delu in popravilih. Tako pripravljene podatke so osnova za nadaljnjo obdelavo, ki daje poročila in analize o neuspeli proizvodnji po:

- izdelkih,
- skupinah izdelkov,
- napakah
- povzročiteljih,
- stroškovnih mestih,
- obratih, TOZD in celotno podjetje.

Glede na vsebino posameznih vrst poročil moramo ločiti nivo direktorjev, obratovodij in raziskovalcev, oz. tehnologov.

Poročila in analize morajo biti:

- točne,
- pregledne in
- pravočasne.

S primerno organizacijo toka informacij in smotrno uporabo računalnika so v osnovi zagotovljene vse tri komponente. Vse tri so enako pomembne, ustavimo pa se le pri preglednosti.

Razdelimo obliko obveščanja v dve skupini:

- pismeno in tabelarično obliko ter
- vizuelno obliko.

Slikovni prikaz si človek zapomni hitreje, bolje in trajnejše kot pismeni ali tabelarični. Ker je za vizuelno obliko obveščanja potrebno vložiti veliko dela, so pomembne nove možnosti, ki jih daje uporaba računalnika.

Primer rezultata uporabe računalnika pri obdelavi podatkov neuspele proizvodnje in hkrati primer vizuelne oblike obveščanja kaže slika 3.

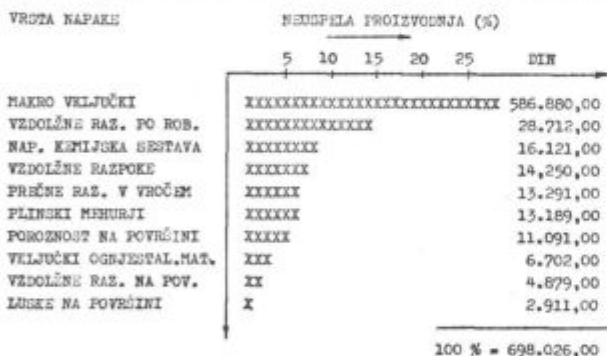
ČELEZARNA RAVNE - AOP

DATUM: 2.11. 73 STRAN: 1

POROČILO: HISTOGRAM NEUSPELE PROIZVODNJE PO NAPAKAH

OBRAZ:

OBDOBJE:



Slika 3

Testni primer oblike poročila iz računalnika o napakah na izdelku

Fig. 3

Trial form of computer report on defects of a product

Služba za razvoj tehnologije in raziskave dobiva iz službe AOP redna poročila o neuspehi proizvodnji. Na osnovi teh podatkov pristopi k reševanju tiste problematike, pri kateri bo razvojno raziskovalno delo imelo največji učinek. Pri reševanju neuspele proizvodnje bodo imeli prednost tisti izdelki, pri katerih lahko v bodoče pričakujemo največ stroškov neuspele proizvodnje; torej tisti, ki bodo glede na odstotek neuspele proizvodnje in na planirano izdelano količino

povzročili največ stroškov. Ostala problematika neuspele proizvodnje pa se bo reševala le toliko, kot to dopuščajo proste kapacitete.

#### 4. MATEMATIČNO STATISTIČNE ANALIZE

Z obdelavo izvornih podatkov dobimo tabele, histograme, diagrame, nomograme, enačbe in drugo, ki nam dajejo nove podatke — nove informacije. Toda te nove informacije niso »izrasle« v procesu pretvarjanja. Skrite so že v izvornih podatkih in so zdaj dobile le drugo vsebinsko obliko. Pri tem nastane celo delna izguba kakovosti informacije, ker pač interpretacije in ekstra polacije postanejo neverodostojne, v njih raste element slučajnosti.

Ker s tabelaričnim prikazom podatkov ne dobimo vseh pomembnih informacij, ki jih izvorni podatki vsebujejo, je nujno, da nam bodo dostopne tudi te »prikrite« informacije.

V nadaljevanju bomo našli nekaj metod obdelave podatkov, ki so za področje upravljanja kakovosti še posebej pomembne in koristne. Te metode so matematično statistične analize.

Poznamo veliko vrst matematično statističnih analiz. Na tem mestu naj omenimo samo tiste, ki so za industrijsko podjetje in računalniško obdelavo najbolj primerne in učinkovite. To so:

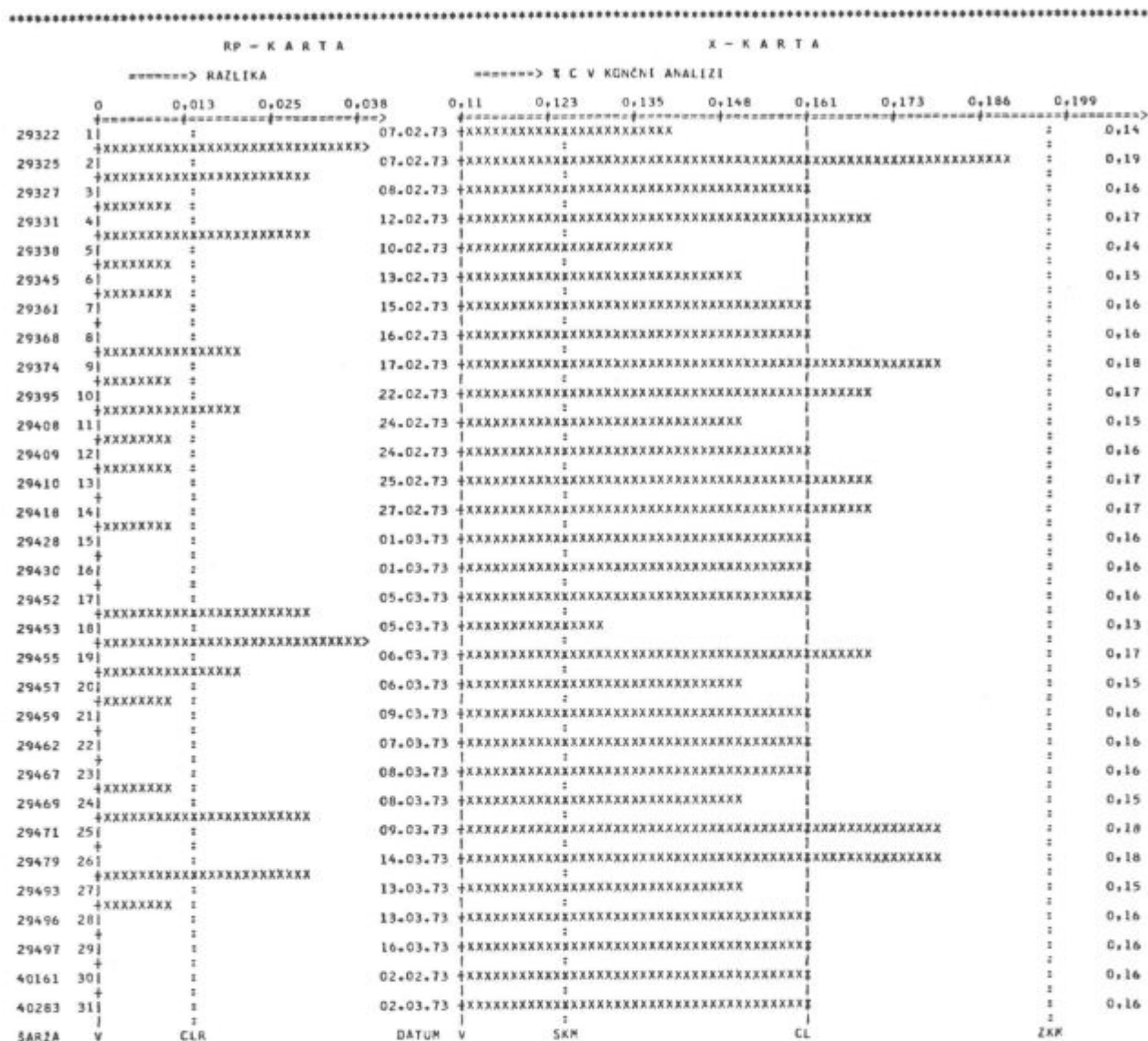
- statistične kontrolne karte,
- analiza porazdelitve,
- primerjave vezanih in nevezanih množic podatkov,
- analiza korelacije in
- analiza regresije.

#### 5. ANALIZA NIVOJA IN NIHANJA KAKOVOSTI IZDELKOV

Pri analizi nivoja in nihanja kakovosti posameznega izdelka, polizdelka ali skupine izdelkov uporabljamo največ statistične kontrolne karte in analizo porazdelitve.

Cilj grafičnega prikaza s pomočjo kontrolne karte je ocenitev, ali lahko posamezne podatke smatramo statistično v kontrolnih mejah, kakšen je kakovostni nivo izdelka in kakšna so nihanja kakovosti. Karta ima vrisane kontrolne meje, ki so lahko PREDPISANE ali NARAVNE. Če so vrisane predpisane meje, vidimo, koliko podatkov je izven mej v določenih časovnih obdobjih in kateri so to. Nihanja znotraj naravnih mej so slučajna, torej nanje pri normalnem delu brez bistvenih sprememb ne moremo vplivati in obratno.

Na sliki 4 vidimo primer uporabe kontrolne karte X-Rp, ki jo lahko zriše običajen komercialni računalnik.



CLR = 0,013 ZMR = 0,044 SKM = 0,125 CL = 0,161 ZKM = 0,196 I ZNAK = 0,0012 ENOTE

OPOMBA: ZMR, SKM IN ZKM SO PRIRODNE TOLERANCE. VSA ODSTOPANJA OD TEM MEJ SO NESLUČAJNA.

Slika 4

Na računalniku zrisana kontrolna karta X-Rp

Fig. 4

Computer control graph X-Rp

Pri analizi porazdelitve dobi tehnik poleg osnovnih statističnih podatkov (srednje vrednosti, standardnega odklona, histograma itd.) in rezultatov testa o obliki porazdelitve še odgovore na vprašanja:

- ali obstaja realni razlog za mnenje, da je prišlo v procesu do nepredvidene spremembe,
- ali je z namernimi spremembami proizvodnega postopka ali vložka dosežen željeni cilj in

— kakšne tolerance kakovosti lahko garantiramo pri obstoječem tehnološkem postopku.

Na sliki 5 vidimo primer rezultata analize porazdelitve iz računalnika IBM 370.

Rezultat analize porazdelitve vsebuje tudi podatke za risanje porazdelitve v verjetnostno mrežo. Uporaba verjetnostne mreže je pri statističnih analizah zelo praktična, ker nam omogoča hitro in neposredno grafično določanje srednje vrednosti, standardnega odklona in meje za katero koli

območje statistične gotovosti. Za primer vzemimo prikaz mehanskih lastnosti jeklo litine Čl. 0545, ki jih kaže slika 6. Diagram je rezultat obdelave podatkov določenega obdobja z analizo porazde-

litve na računalniku. Poleg zgoraj naštetih statističnih parametrov lahko na sliki direktno odčitamo, kakšen riziko sprejemamo pri določenih kakovostnih zahtevah kupca.

**ŽELEZARNA RAVNE — AOP**

OZNAKA: MSAP10 DATUM: 19.07.74 STRAN: 2

OBDELAVA: 1577

**ANALIZA PORAZDELITVE**

MNOŽICE: 4

OBDELAVA ZA: ANALIZO VREDNOSTI JEKLA Č. 4732 (VCMO1140)

VRSTA MERITVE: % CR V KONČNI ANALIZI

KODA: 8005

STEVILO PODATKOV N = 224

SREDNJA VREDNOST X = 1,028

STANDARDNI ODKLON S = 0,0622

KOEFIČIENT VARIACIJE V = 6,06 %

SPODNJA MEJA X - 3S = 0,8413

ZGORNJA MEJA X + 3S = 1,215

IZVEN SKRAJNIH MEJ (X ± 3S) SO VREDNOSTI: 1,220 1,250

PORAZDELITEV JE NORMALNA GAUSSOVA

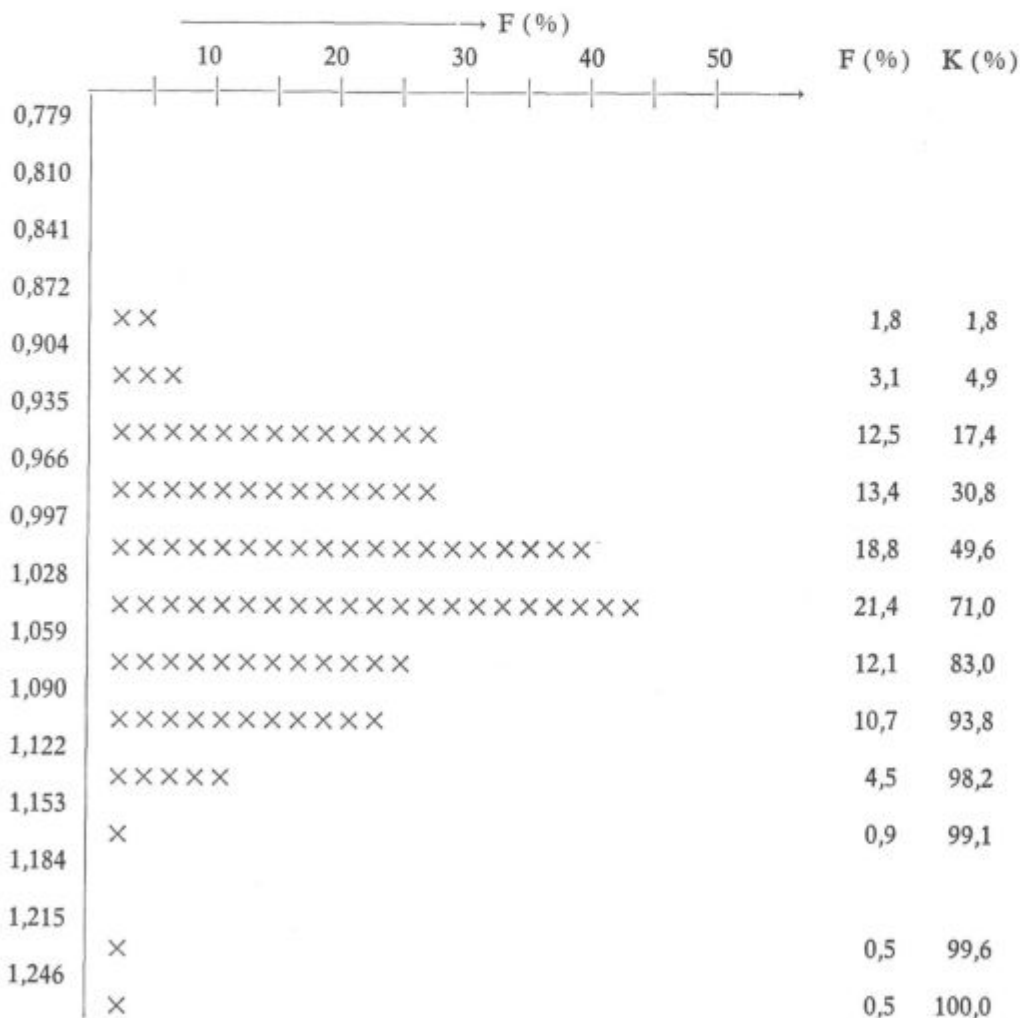
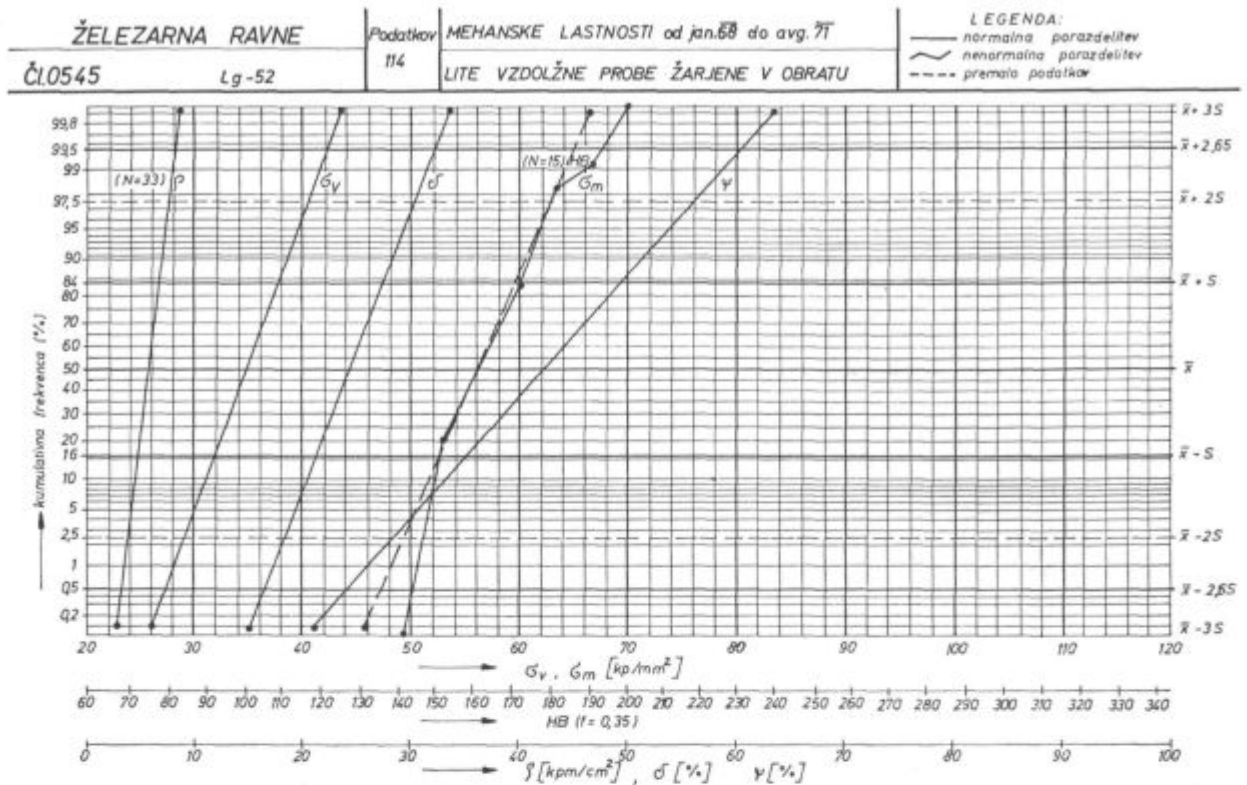


Fig. 5

Computer results of the distribution analysis

Slika 5

Iz računalnika dobljeni rezultat analize porazdelitve



Slika 6  
Mehanske lastnosti jeklene litine Č1.0545

Fig. 6  
Mechanical properties of Č1.0545 cast steel

**Omejitve:**

% C: 0,39—0,45  
% Cr: 0,98—1,06

Število podatkov: 24

Pomembnost enačbe	99,9 %
Koeficient determinacije se poveča za	0,78587
Koeficient determinacije	0,78587
Koeficient multikorelacije	0,88649
Standardna napaka odvisne spremenljivke	2,89708
Napaka za 95 % pomembno območje (± 1,96 S)	5,67827

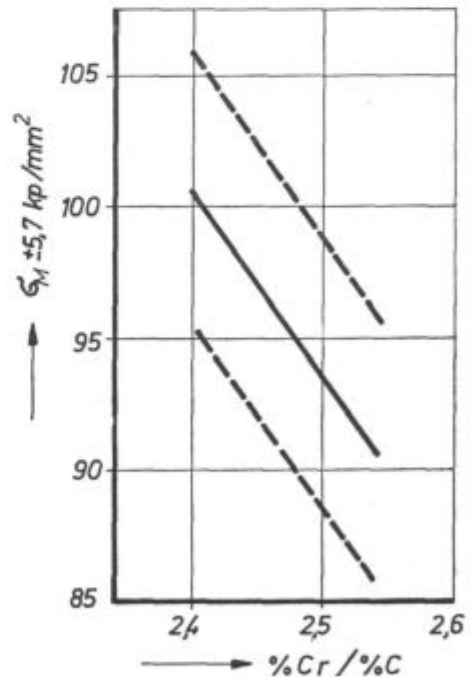
$\sigma_m = 285,6 - 77,5 \% Cr / \% C \pm 5,7 \text{ kp/mm}^2$

**6. ISKANJE ZAKONITOSTI V TEHNOLOŠKEM POSTOPKU IN VZROKOV NEPRAVE KAKOVOSTI IZDELKOV**

Primerna uporaba matematične statistike pride močno do izraza pri iskanju vzrokov neprave kakovosti izdelkov in zakonitosti v tehnološkem postopku. Za to področje uporabljamo predvsem naslednje analize:

- primerjavo vezanih množic,
- primerjavo nevezanih množic,
- analizo korelacije in
- analizo regresije.

Od naštetih vrst analiz dobimo največ informacija pri analizi regresije, in sicer:



Slika 7  
Primer rezultata analize regresije

Fig. 7  
Example of results of regression analysis

- kateri parametri vplivajo na kakovost izdelka (ali kakšno drugo odvisno spremenljivko),
- enačbo odvisnosti,

- diagram ali nomogram odvisnosti,
- v kakšni meri je determiniran vpliv neodvisnih spremenljivk na odvisno spremenljivko,
- kako statistično pomembna je dobljena enačba,
- kakšen je standardni odklon odvisne spremenljivke pri dobljeni enačbi,
- kakšna je napaka enačbe in druge informacije.

Na sliki 7 imamo prikazan rezultat analize regresije, pri kateri iščemo vpliv kemijske sestave na natezno trdnost določenega jekla. Poleg diagrama imamo še vse ostale informacije, ki nam jih nudi analiza regresije na računalniku.

## 7. POMEN IN UPORABA BANKE PODATKOV V SISTEMU AOP-TKR

Uporaba metod matematične statistike je pri reševanju problemov v proizvodnji, kontroli in pri raziskavah izredno pomembna, praktično izvedljiva, učinkovita, pa samo z uporabo računalnikov.

Razvoj uporabe statističnih metod lahko razdelimo v naslednje faze:

I. Študij metodike, vzgoja kadrov in reševanje preprostejših nalog »peš« ali z običajnimi pisarniškim računskimi pripomočki — kar kljub zelo omejenim možnostim zahteva posebno poznanje metod. NEUCINKOVITO DELO, MNOGO TRUDA ZA MALO REZULTATOV.

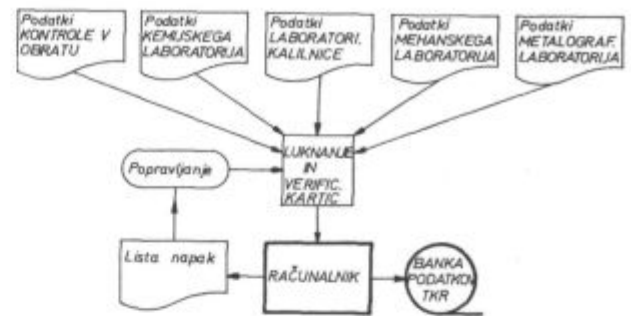
II. Uvedba uporabe računalnikov za izvajanje analiz po ustrezno pripravljenih programih zelo poveča možnosti in približa metode matematične statistike širokemu krogu uporabnikov. Mogoče so obsežne analize na višji stopnji brez posebnega poglobljanja uporabnikov v metodiko izvajanja analiz. OZKO GRLO POSTANE PRIPRAVA PODATKOV.

III. Organizirana AOP v sistemu integralne kontrole kakovosti s svojimi možnostmi neposrednega izkoriščanja bogatih zalog banke podatkov omogoča masovno uporabo matematično statističnih metod, ki postanejo osnovno orodje pri oblikovanju povratnih informacij. DOBRA ORGANIZACIJA — VELIKA UCINKOVITOST.

Banka podatkov je torej logična posledica razvoja uporabe računalnika na področju uporabe matematično statističnih metod in hkrati uporabe računalnika na področju upravljanja kakovosti izdelkov.

Formiranje banke podatkov na magnetnih trakovih zahteva uvedbo urejenega kontrolnega sistema, nove, za računalnik prirejene dokumentacije za zajemanje izvirnih podatkov in izdelavo potrebnih kontrolnih programov, s pomočjo katerih redno prenašamo vse podatke v banko podatkov.

Izvirne podatke meritev v obratu, kemijskem laboratoriju in metalurških laboratorijih prenaša-



Slika 8

Polnjenje banke podatkov tehnične kontrole in raziskav

Fig. 8

Filling of data bank for technical control and investigations



Slika 9

Struktura banke podatkov

Fig. 9

Structure of data bank

mo v enotno banko podatkov, tako kot to kaže slika 8.

Zaradi racionalnejše zasedenosti eksternega spomina računalnika organiziramo banko podatkov strukturno. Na sliki 9 vidimo, kako na posamezno šaržo (ali delovni nalog) vezemo izvirne podatke meritev. Struktura se gradi na osnovi skupne številke delovnega naloga.

Iz banke podatkov s pomočjo primernih programov zbiramo željene podatke. Podatke v računalniku v tabelarni obliki, tako da so pripravljene za poljubno matematično statistično obdelavo. Pri zbiranju podatkov moramo na primernih obrazcih (parametričnih karticah) definirati:

a) karakteristične podatke, kot:

- vrsto jekla,
- dimenzijo in dimenzijski razred,
- stanje toplotne obdelave pri meritvi,
- peč itd.

b) obdobje (npr. zadnjih dveh let) in

c) vrste meritev, ki jih želimo obravnavati (npr. kemijska sestava jekla, natezna trdnost in velikost zrna).

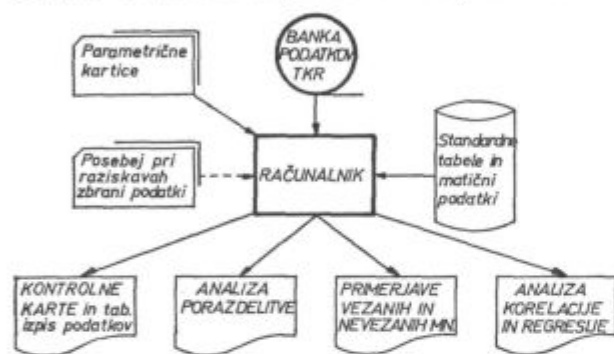
Podatke lahko pred obdelavo prečiščujemo in dopolnjujemo s posebej pri raziskavi zbranimi podatki.

Zbrane in prečiščene izvirne podatke v računalniku lahko:

- a) izpišemo v tabelarni izvorni obliki in (ali)  
 b) obdelujemo z:
- risanjem kontrolne karte,
  - analizo porazdelitve,
  - analizo primerjave vezanih množic,
  - analizo primerjave nevezanih množic,
  - analizo korelacije ali (in)
  - analizo multiregresije.

Slika 10. kaže shemo uporabe banke podatkov.

Pri matematično statističnih analizah z uporabo banke podatkov odpade zamudno zbiranje podatkov. To pomeni, da lahko dobi raziskovalec ali tehnolog v nekaj minutah ali urah (odvisno od zasedenosti računalnika) izpisane izvorne in (ali) z matematično statističnimi analizami obdelane podatke tistih meritev, ki so bile v preteklosti že



Slika 10

Uporaba banke podatkov za matematično statistične analize

Fig. 10

Use of data bank for mathematical statistical analyses

opravljene. S tem prihranimo veliko časa, še posebej pa pospešimo tisto fazo raziskav, kjer analiziramo obstoječe podatke.

Banko podatkov lahko hitro in učinkovito uporabimo pri izdelkih in polizdelkih ter pri raziskavah zakonitosti v tehnološkem procesu.

## 8. SKLEPI

Uporaba računalnika pomeni nov napredek v razvoju upravljanja kakovosti. Mesto avtomatske obdelave podatkov v integralni kontroli kakovosti rabljamo pri analizah nivoja in nihanj kakovosti je v sistemu povratnih informacij, pri čemer ima obdelava na računalniku nalogo, da vsebinsko bogati in širi obseg povratnih informacij.

Sistem avtomatske obdelave podatkov za upravljanje kakovosti obsega področja obdelav informacij neuspele proizvodnje, analiz nivoja in nihanj kakovosti izdelkov, raziskave zakonitosti v tehnološkem procesu in vzrokov neprave kakovosti izdelkov z uporabo matematično statističnih analiz na računalniku.

Obraunavani informacijski sistem predstavlja solidno osnovo za bolj množično uporabo računalnika in matematično statističnih analiz na področju reševanja tehnološke, kontrolne in kakovostne problematike. Sistem je zgrajen tako, da ga lahko razvijemo in dopolnujemo z novimi vrstami obdelav podatkov in novimi matematičnimi metodami.

## Literatura

1. J. Rose: Survey of Cybernetics, Books LTD, London (1969)
2. Savas: Computer Control Industrial Processes, Mc Graw — Hill, London (1971)
3. E. Yourdon: Design of On-line Computer System, Prentice-Hall, INC, New Jersey (1972)
4. J. Rodič, J. Šegel: Izvajanje metod matematične statistike z razpoložljivimi računalniškimi programi, Višja šola za organizacijo dela, Kranj (1974)
5. J. Šegel: Uporaba računalnika pri obdelavi informacij za upravljanje kakovosti, Organizacija in kadri, Kranj (1974), 4, st. 327—335

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Anwendung eines Computers stellt einen neuen Fortschritt in der Entwicklung der Qualitätskontrollen dar. Die automatische Datenbearbeitung hat in der integralen Qualitätskontrolle ihren Platz im System der Rückinformationen. Die Aufgabe der Datenbearbeitung am Computer ist, den Umfang der Rückinformationen, inhaltlich reicher und breiter zu machen.

Das System der automatischen Datenbearbeitung in der Qualitätskontrolle umfasst das Gebiet der Informationen über die Fehlproduktion, die Analysen über das Niveau und die Qualitätsstreuungen der Erzeugnisse, Untersuchungen der Gesetzmässigkeiten im technologischen Verfahren

und der Ursachen der nichtgerechten Qualität der Erzeugnisse, mit der Anwendung der mathematisch-statistischen Analysen am Computer.

Der behandelte Informationssystem stellt eine zuverlässige Grundlage für eine massenhafte Anwendung des Computers und der mathematisch-statistischen Analysen auf dem Gebiet der Lösung der technologischen Kontroll- und Qualitätsproblematik. Das System ist so ausgebaut, dass es mit neuen Reihen der Datenbearbeitung, und neuen mathematischen Methoden, entwickelt und ergänzt werden kann.

## SUMMARY

Application of computer represents a new advance in controlling the quality of products. Basis of automatic treatment of data in an integral control is the system of back informations. The computer treatment enables richer

and broader extent of back informations.

The system of automatic data treatment in controlling the quality includes the data treatment of unsuccessful production, analyses of the quality level of products and



its oscillations, investigations of rules in the technological process and of reasons for unadequate quality, using statistical methods adjusted for the computer treatment of data.

The presented information system is a good basis for

a more intensive use of computer and of mathematical statistics in solving problems of technological processes and quality control. The system is composed so that it can be further developed and supplemented with new ways of data treatment and new mathematical methods.

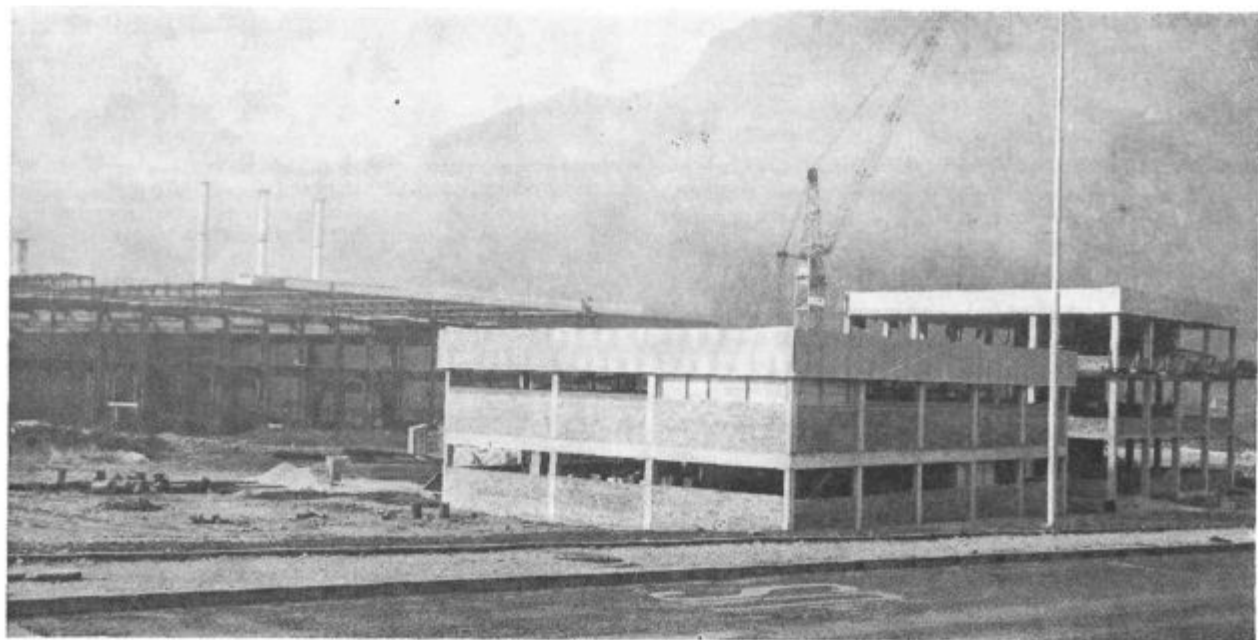
### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение счётчика в развитии управления над качеством представляет собой дальнейший прогресс этого развития. В интегральном контроле качества центральное место имеет система возвратных информации, причём задача обработки на счётчике состоит в обогащении и расширении объёма возвратных информации. Система автоматической обработки данных для управления над качеством охватывает область информации неудачного производства, анализ уровня и колебания качества изделий, исследования закономерности технологического процесса и причин

неудачного качества изделий, применяя математическо-статистический анализ на счётчике. Разработанная система информации представляет собой солидное основание для всё более широкого применения счётчика и математическо-статистического анализа в области выяснения технологических, качественных и контрольных проблем.

Система разработана так, что позволяет дальнейшее развитие и дополнение с новыми видами обработанных данных и с новыми математическими методами.

Del gradbišča nove hladne valjarne.



## **Dodajni material za varjenje konstrukcijskih jekel s povišano odpornostjo proti atmosferski koroziji, ki ga proizvaja železarna Jesenice**

Ivan Mesec  
Miha Stojan

### I. UVOD

Navadna konstrukcijska jekla, ki so stalno izpostavljena delovanju atmosfere, so podvržena procesu oksidacije, kar vodi do počasnega propadanja, oziroma okvare, če jekla niso na neki način zaščitena. Najenostavnejši način zaščite takih jekel proti atmosferski koroziji je nanos raznih zaščitnih premazov na površino. Da bi pri posameznih konstrukcijah povečali ekonomičnost, obstojnost ter s tem daljšo življenjsko dobo ob istočasnem zmanjšanju stroškov vzdrževanja, so mnogi jeklarški laboratoriji poskušali ta problem rešiti z dodatki različnih legirnih elementov. Raziskave v tej smeri so pripeljale do cele vrste novih nizkolegiranih jekel, legiranih s Cu, Ni, Cr, V, P, katerih obstojnost proti atmosferski koroziji je 4–6-krat večja od navadnih konstrukcijskih jekel z istimi fizikalnimi lastnostmi. S skupnim imenom imenujemo to jeklo »jeklo s povišano odpornostjo proti atmosferski koroziji«. Vzrok povečane korozijske odpornosti je pojav, da se na površini tvori, v nasprotju z navadnimi jekli, gosta in trdno oprijeta prevleka (patina), ki nima por in ščiti jeklo pred nadaljnjo korozijo. Lahko rečemo, da jeklo ščiti samo sebe. Hitrost tvorbe zaščitne prevleke je odvisna od letnega časa, vremena in same atmosfere. Najhitrejša je v krajih z višjim SO<sub>2</sub> v ozračju (industrijsko področje). Proces tvorbe površinske prevleke je končan po približno dveh letih. Po tem času se proces oksidacije toliko zmanjša, da je konstrukcija lahko izpostavljena normalnim atmosferskim vplivom brez zaščitnega sloja barve ali kakega drugega zaščitnega sredstva.

Mehanizem tvorbe zaščitne prevleke do danes še ni popolnoma razjasnjen. Poznamo pa, da je zaščitni sloj bogatejši z dodanimi legirnimi elementi, kot sama osnova (jeklo) in da se po strukturi razlikuje od strukture rje navadnih jekel.

Legirni elementi, ki povišajo odpornost proti atmosferski koroziji, istočasno povečajo tudi odpornost proti obrabi in obstojnost pri višjih temperaturah.

Jekla s povišano odpornostjo proti atmosferski koroziji so žilava, se dajo dobro obdelovati in se dajo zelo dobro variti. Variti jih je možno plamen-

sko in elektroobložno, kar je osnovni pogoj njihove ekonomske uporabe. Elektroobložno jih je mogoče variti po vseh znanih postopkih varjenja: ročno, avtomatsko pod praškom (EPP), v zaščitni atmosferi (TIG, MIG, MAG) in pod žlindro (EPZ). Da bi bil zavarjeni spoj korozijsko enako odporen kot osnovno jeklo, mora biti tudi dodajni material za varjenje odgovarjajoče legiran. Normalno je dodajni material enake sestave kot osnovni, to je legirana s Cu, Ni (Cr). Pri tem mora vsota Cu + Cr + Ni + V + P znašati minimalno 1 %. Uporablja pa se tudi dodajni material, legiran samo z Ni v območju 1–2,5 % Ni, odvisno od kvaliteten zahtev vara. Danes so na razpolago in v uporabi legirani dodajni materiali že za vse postopke varjenja. Legirni dodajni material je nujno uporabljati predvsem pri večslojnem varjenju. Pri enoslojnem varjenju (I zvan) pa ta zahteva ni tako nujna in je možno variti tudi z nelegiranim dodajnim materialom. Zaradi velikega mešanja z osnovo dobimo v var zadosti legirnih elementov in s tem zadovoljivo korozijsko obstojnost.

Pri večslojnem varjenju večjih dimenzij je tudi ekonomično prve sloje variti z nelegiranim dodajnim materialom, zadnje površinske pa z legiranim. Nelegiran dodajni material se lahko uporablja tudi v primerih, ko konstrukcija ni izpostavljena atmosferski koroziji.

Zaradi povišane odpornosti proti atmosferski koroziji se ta jekla uporabljajo predvsem pri gradnji hal, mostov, cevovodov, oljnih tankov, oblog fasad ter v avtomobilski in vagonski industriji. Zaradi velike ekonomičnosti pa se uporabljajo vedno več tudi pri izgradnji industrijskih objektov.

Danes poznamo že več vrst teh jekel, ki so na trgu z različnimi komercialnimi imeni, kot npr.:

COR — TEN A, B, C  
Patinax 37 (HOAG)  
Resista (Hoesch)  
Korralpin (Alpina)  
Alcodur (Böhler)  
A cor 37  
A cor 50  
itd.

Istočasno je za varjenje na razpolago odgovarjajoči dodajni material za naslednje namene:

1. Rutilne elektrode — za nižje kvalitetne zahteve in za varjenje kotnih varov
2. Bazične elektrode — za višje kvalitetne zahteve
3. Žice in praški za avtomatsko EPP varjenje
4. Žice za varjenje v zaščitni atmosferi po TIG, MIG in MAG postopku
5. Polnjena žica za varjenje po MIG in MAG postopku.

## II. JEKLA IN DODAJNI MATERIAL PROIZVODNJE ŽELEZARNE JESENICE

V vrsti novih konstrukcijskih jekel, ki jih proizvaja Železarna Jesenice, se nahajajo tudi jekla s povišano odpornostjo proti atmosferski koroziji. Za te namene proizvajamo naslednje kvalitete jekel: Je-Kor, Nionical 40, Nionical 45 (Tabela št. 1).

Navedena jekla so ca. 4-krat bolj odporna proti atmosferski koroziji kot fizikalno enakovredna navadna jekla.

Jeklo kvalitete Je-Kor se uporablja za manj zahtevne konstrukcije, katerih debelina ne presega 10 mm. Jeklo kvalitete Nionical 40 in Nionical 45 se lahko uporabi tudi za bolj obremenjene konstrukcije, ki morajo imeti povečano odpornost

proti atmosferski koroziji in istočasno visoko žilavost pri normalni in nizkih temperaturah. Za varjenje teh jekel je na razpolago lastni dodajni material, in to:

1. Elektrode za ročno obločno varjenje: EVB CuNi, EVB Ni
2. Žica in praški za avtomatsko EPP varjenje:  
Žica: EPP 2 CuNi, EPP 2 Ni  
Praški: EP 40, EP 45, OP 40 TT
3. Varilne žice za varjenje v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub>:  
VAC 60 CuNi VAC 60 Ni
4. Polnjena žica za varjenje v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub>:  
Fluxofil 40  
Fluxofil 48

Kemijske in fizikalne lastnosti posameznih dodajnih materialov so podane v tabeli št. 2.

## III. VARILNO TEHNOLOŠKE RAZISKAVE

Z ustreznim dodajnim materialom je raziskovalni oddelek Železarne Jesenice omenjena jekla že varilno tehnološke preiskal.

Izvršeni so bili številni preizkusi vpliva vrste dodajnega materiala, pogojev varjenja, dovedene energije in priprave žlebov.

Tabela št. 1: Lastnosti jekel

### 1. Kemijska sestava

Kvaliteta		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
Je-Kor	max.	0.14	0.50	0.40	0.50	0.50	0.40 %
Nionical 40	max.	0.18	0.40	0.70	0.50	0.50	0.35 %
Nionical 45	max.	0.19	0.40	0.70	0.50	0.60	0.35

### 2. Mehanske lastnosti (pločevine)

Kvaliteta	meja raztez. (kp/mm <sup>2</sup> )	trdnost (kp/mm <sup>2</sup> )	raztezek 5 d %	upogib vzdolž.	upogib prečno
Je-Kor	35	50—65	min. 20	2 a	3 a
Nionical 40	40	50—65	min. 20	2 a	3 a
Nionical 45	45	55—70	min. 20	3 a	4 a

### 3. Žilavost

Kvaliteta	smer	nestarano (V-Notch) kpm/cm <sup>2</sup>				starano 5 % (DVM) kpm/cm <sup>2</sup>	
		20	0	—20	—40	20	0
Je-Kor	vzdolžno	6	6	—	—	3.5	—
	prečno	6	6	—	—	3.5	—
Nionical 40	vzdolžno	6	6	6	5	6	5
	prečno	6	6	5	4	5	—
Nionical 45	vzdolžno	6	6	5	3.5	5	4
	prečno	6	6	5	4	6	—

Tabela št. 2 — Lastnosti dodajnih materialov

## 1. Lastnosti varilnih žic (kemijska sestava)

vrsta varilne žice	C	Si	Mn	Cu	Ni
EPP 2 CuNi	0.10	0.20	1.10	0.45	0.55 %
EPP 2 Ni	0.09	0.20	1.0	—	1.10 %
VAC 60 CuNi	0.10	0.85	1.5	0.5	0.5 %
VAC 60 Ni	0.09	0.70	1.50	—	1.05 %

## 2. Lastnosti čistih varov

vrsta dodajnega materiala	kemijska analiza					mehanske lastnosti			žilavost V' — Notch (kpm/cm <sup>2</sup> )				
	C	Si	Mn	Cu	Ni	meja raz. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	raztez. L5d %	minimalno				
									20	0	-20	-40	-60
EVB CuNi	.07	.50	.90	.45	.60	47—55	55—63	22—26	14	10	8	7	5
EVB Ni	.06	.50	.95	—	1.10	50—58	58—66	22—26	14	12	10	8	6
EPP 2 CuNi/EP 40	.08	.25	1.25	.45	.50	45—55	55—65	22—28	12	8	6	5	4
EPP 2 CuNi/EP 45	.07	.40	.70	.45	.50	42—52	52—62	22—28	12	8	6	4	—
EPP 2 CuNi/OP 40 TT	.06	.30	.80	.45	.50	42—50	52—60	22—26	14	12	10	8	6
EPP 2 Ni/EP 40	.08	.25	1.25	—	1.0	45—55	55—65	22—26	12	8	6	5	4
EPP 2 Ni/EP 45	.08	.40	.70	—	1.0	42—52	52—62	22—28	12	8	6	4	—
EPP 2 Ni/OP 40 TT	.06	.30	.80	—	1.0	42—50	52—60	22—26	14	12	10	8	6
VAC 60 CuNi/CO <sub>2</sub>	.09	.55	1.0	.5	.5	44—54	55—65	22—30	10	8	6	4	—
VAC 60 Ni/CO <sub>2</sub>	.08	.45	1.0	—	—	45—52	57—64	22—30	10	8	6	4	—
Fluxofil 40/CO <sub>2</sub>	.06	.30	1.40	—	1.2	48—54	56—62	24—28	18	16	12	8	4
Fluxofil 48/CO <sub>2</sub>	.06	.30	1.20	.5	1.2	48—54	50—62	22—26	18	16	12	8	4

Rezultati preiskav so naslednji:

Jekla Nionical 40, Nionical 45 in Je-kor 35 se dobro varijo. Pred varjenjem predgrevanje do debeline 15 mm ni potrebno, kar velja še posebno za jeklo Nionical 45. Nad debelino pločevine 15 mm je priporočljivo predgrevanje na 100° C. Med varjenjem naj se pločevina ne pregreva, po vsakem varku se mora okolica vara ohladiti do 200° C. Zaželjeno je variti s čim več vankov, če hočemo dobiti dobro žilavost pri nizkih temperaturah.

Preiskave so bile izvršene tudi na staranih vzorcih. Med varjenjem naj se oblok čim manj prekinja.

Pogoji varjenja:

a) Pri ročnem varjenju z elektrodo je potrebno koren variti z elektrodo  $\varnothing$  3,25 mm, nato z  $\varnothing$  4 mm in polnilne varke z elektrodo  $\varnothing$  5 mm. Za vertikalno in nadglavno lego se uporablja premer elektrode 4 mm. Ugodno je variti s sledečimi pogoji:

$\varnothing$ 3,25 mm	100 A	10 cm/min.
$\varnothing$ 4 mm	165 A	10 cm/min.
$\varnothing$ 5 mm	220 A	15—20 cm/min.

Suhe elektrode naj bodo pred uporabo ogrete na temperaturo 100—150° C.

b) Pri polavtomatskem varjenju v zaščitnem plinu CO<sub>2</sub> naj se vari z žico premera  $\varnothing$  1,2 mm s tokom 180—220 A, napetostjo 30 V ter hitrostjo varjenja 10—25 cm/min pri pretoku plina 16 l/min. Če hočemo doseči še boljše mehanske lastnosti, varimo v mešanici plinov Ar/CO<sub>2</sub> 80 : 20, kar velja še posebno za jeklo Nionical 45.

c) Pri avtomatskem varjenju pod praškom varimo korenski var s tokom 580 A, napetostjo 35 V in hitrostjo varjenja 40 cm/min. Vlažen prašek je potrebno pred uporabo sušiti na 200° C. S praškom EP 40 in EP 45 lahko varimo z izmeničnim ali istosmernim tokom. Boljše rezultate dobimo z istosmernim tokom. Tudi pri tej vrsti varjenja velja,

Tabela št. 3 — Je-Kor 35, debelina 10 mm, V zvar

vrsta dodajnega materiala	meja razt. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	upogib D = 3 a	minimalna žilavost mkp/cm <sup>2</sup> , 0° C, v zvaru		Trdota HV	
				varjeno stanje	V-Notch mkp/cm <sup>2</sup> starano 5 %, 250° C	TVC	var
EVB 60 CuNi	40	55	180	12—16	5—10	230	210
EPP 2 CuNi - EP 40	42	57	180	7—9	4—6	250	200
VAC 60 CuNi/CO <sub>2</sub>	40	54	180	8—10	6—8	250	210

da z večjim številom varkov dobimo boljše mehanske lastnosti.

Po varjenju je koristno počasno ohlajanje posebno v hladnejšem vremenu. Priprava robov za varjenje je lahko plamenska s sekatorjem, na škarjah ali skobelnem stroju. Za večje debeline je priporočljivo, pri plamenskem rezanju, predhodno predgrevanje. Običajno varimo pločevino različne debeline z naslednjim številom varkov:

6 mm	I var	2 varka
10—15 mm	V var	4—6 varkov
nad 15 mm	2/3 X var	nad 6 varkov

Površina pločevine na mestu varjenja mora biti čista. Spenjanje pred varjenjem naj bo z odgovarjajočo elektrodo. Pri večjih debelinah pločevine mora biti uvedeno predgrevanje, kar velja še posebno za jeklo Nionical 45.

V tabelah št. 3, 4, 5 so navedene minimalne mehanske vrednosti zvarnega spoja, ki jih dobimo na zvarjenih vzorcih z ustreznim dodajnim materialom.

Na osnovi dobljenih rezultatov je razvidno, da je za varjenje pri temperaturah do 0° C možno uporabiti vse navedene kombinacije, ki so podane v tabelah.

Pri nižjih temperaturah pa se za posamezne temperaturne zahteve priporoča uporaba naslednjega dodajnega materiala:

1. Za zahteve do —40° C:

EVB CuNi	VAC 60 CuNi/CO <sub>2</sub>
EPP 2 CuNi (EP-40 EP 45)	VAC 60 Ni/CO <sub>2</sub>
EPP 2 Ni (EP 40 EP 45)	Fluxofil 48/CO <sub>2</sub>

2. Za zahteve do —60° C:

EVB Ni
EPP 2 Ni/OP 40 TT
VAC 60 Ni/meš. plini
Fluxofil 40/meš. plini

Opomba:

a) Za potrebe, kjer ni potrebno, da so jekla antikorozijsko odporna, se lahko uporabi tudi dodajni material, ki ni legiran s Cu, Ni kot npr. EVB 50, EVB 60, EPP 3, VAC 60.

b) Elektrode EVB CuNi, EVB Ni ter varilne žice EPP 2 CuNi, EPP 2 Ni, VAC 60 CuNi, VAC 60 Ni proizvajamo v lastni proizvodnji.

c) Praški EP 40 in EP 45 so taljeni praški. Proizvajamo jih v lastni proizvodnji in so namenjeni za kvalitetne zahteve varov do —20° C, oziroma —40° C. Prašek OP 40 TT je aglomeriran in je namenjen za kvalitetne zahteve do —60° C. Trenutno še ni v lastni proizvodnji, temveč ga dobavljamo na osnovi kooperacije s firmo Oerlikon. Zato je za njegovo nabavo potrebno daljše predhodno naročilo po dogovoru. Isto velja tudi za polnjeno žico Fluxofil 48 in Fluxofil 40.

Tabela št. 4 — Nionical 40, debelina 10 mm, »V« zvar

vrsta dodajnega materiala	meja razt. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	upogib D = 3 a	minimalna žilavost mkp/cm <sup>2</sup> , 0° C, v zvaru				maksimalna trd. HV	
				varjeno	starano 5 % 250° C	žarjeno 580° C 3h peč	žarj. + star.	TVC	var
EVB 60 CuNi	42	58,5	180	12—15	5—8	10—12	6—9	240	220
EVB 60 Ni	43	58,2	180	15—20	9—12	12—14	8—10	240	220
EPP 2 Ni — EP 40	44,2	60,6	180	8—10	4—6	6—8	3,5—5	230	210
EPP 2 CuNi — EP 40	42,0	58,0	180	7—9	3,5—5	4—6	3,5—5	250	220
VAC 60 CuNi/CO <sub>2</sub>	42,5	60,5	180	8—10	6—8	6—8	8—10	250	210
VAC 60 Ni/CO <sub>2</sub>	42,0	60,7	180	8—14	8—10	8—10	4—6	250	230

Tabela št. 5 — Nionical 45, 12 mm, V zvar

vrsta dodajnega materiala	meja razt. kp/mm <sup>2</sup>	trdnost kp/mm <sup>2</sup>	upogib D = 3 a	minimalna žilavost mkp/cm <sup>2</sup> , 0° C, v zvaru				maksimalna trdota	
				varjeno	starano 5 % 250° C	žarjeno 580° C 3h	žarj. + star.	TVC	var
EVB 60 CuNi	47	62	180	12—14	10—12	8—10	6—9	300	250
EVB 60 Ni	50	63	180	18—18	10—12	8—10	8—10	320	240
EPP 2 Ni — EP 40	48	64	180	8—10	6—8	4—6	4—6	280	220
EPP 2 CuNi — EP 40	46	62	180	7—9	4—6	3,5—5	3,5—5	260	220
VAC 60 CuNi/CO <sub>2</sub>	45	60	180	7—9	6—8	4—6	4—6	300	250
VAC 60 Ni/CO <sub>2</sub>	50	62	180	8—12	8—10	4—6	4—6	320	260

# Vsebina VIII. letnika »Železarskega zbornika«

	str.		str.
1. Wahlster Manfred — Leybold Heraeus G. M. b. H. & Co. KG <b>Možnost uporabe EPZ postopka v jeklarski industriji</b>	1	16. Zalar Bogdan — Metalurški inštitut Ljubljana <b>Aplikacija zakonitosti odžveplanja v procese utrjevanja pelet iz pirinitnih ogorkov</b>	147
2. Macur Vladimir — Železarna Ravne <b>Praksa vakuumiranja jekla v Železarni Ravne</b>	13	17. Prešeren Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana Alenka Rodič — Železarna Ravne <b>Preizkušanje nove sintetične žlindre za rafinacijo v električni oblačni peči</b>	155
3. Arh Jože — Železarna Jesenice <b>Odžveplanje jekla s trdno sintetično žlindro v ponvi</b>	21	18. Vodopivec F., B. Ralič — Metalurški inštitut Ljubljana <b>Mikrostruktura dogajanja med žarjenjem jekla z 0,035 % C in 1,96 % Si v temperaturnem intervalu 680° C do 915° C</b>	
4. Stocca Bogdan — Železarna Jesenice <b>Jekla za globoki vlek</b>	27	19. Uranc Franc — Železarna Ravne <b>Obraba rudarskih naprav in orodij za hladno oblikovanje jekla</b>	171
5. Šipek Mitja — Železarna Ravne <b>Merjenje časovne odvisnosti poteka delovne sile pri udarnem preizkusu</b>	39	20. Souvent Peter — Rudnik in topilnica svinca Mežica <b>Topilnica svinca rudnika Mežica in zaščita okolja</b>	179
6. Brudar Božidar — Železarna Jesenice <b>Odkrivanje površinskih napak na paličnem jeklu s pomočjo vrtničastih tokov</b>	47	21. Tehnične novice Rodič Jože — Železarna Ravne <b>Novo orodno jeklo OA 2 v proizvodnem programu Železarne Ravne</b>	185
7. Tehnične novice Stojan Mihael — Železarna Jesenice <b>Preiskave zvarjenih spojev na pločevini nioval</b>	65 65	22. Kejžar Rajko — Železarna Jesenice <b>Vzpostavljanje navideznega ravnotežja med žlindro in kovino pri dezoksidaciji jekla in varjenju</b>	193
8. Društvene vesti Paulin Andrej — FNT Ljubljana <b>Razvoj učnih programov odseka za metalurgijo univerze v Ljubljani ter poročilo o razgovoru med industrijo in šolo o nadaljnjem razvoju teh programov</b>		23. Razingar Anton — Železarna Jesenice <b>Svinec kot avtomatni dodatek v jeklih za cementacijo in poboljšanje ter njegov vpliv na predelavnost in fizikalne lastnosti jekel</b>	203
9. Rodič Jože — Železarna Ravne <b>Proizvodnja EPZ jekla — novost v železarni Ravne</b>	73	24. Vodopivec F., B. Ralič — Metalurški inštitut Ljubljana <b>O spremembah v sestavi primarnih karbidnih zrn in izcej v jeklu za kroglične ležaje med homogenizacijskim žarjenjem</b>	217
10. Kroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana <b>Izboljšanje kvalitete visoko legiranih jekel s pretaljevanjem pod žlindro</b>	89	25. Brudar Božidar — Železarna Jesenice <b>Izdelava matematičnega modela za ogrevanje jekla v industrijskih pečeh</b>	223
11. Razingar Anton — Železarna Jesenice <b>Značilnosti porazdelitve svinca v 5 tonskih blokih svinčevih jekel</b>	99	26. Stocca Bogdan — Železarna Jesenice <b>Vpliv titana na plastičnost ognjeodpornega feritnega jekla z 22–24 % Cr</b>	235
12. Vodopivec Franc, B. Ralič — Metalurški inštitut Ljubljana <b>Evolucija sestave nekovinskih oksidnih vključkov med taljenjem jekla C 1730 v elektro peči</b>	111	27. Tehnične novice Černe Franc — Železarna Ravne <b>Primerjava meroobstoynosti orodnih jekel</b>	243
13. Kovač Janez — Železarna Ravne <b>Primerjalno preizkušanje trdote pri povišanih temperaturah</b>	119	28. Društvene vesti Paulin Andrej — FNT Ljubljana <b>Poročilo IV. seje upravnega odbora ZRGMIT — SRS dne 12. 6. 1974 v Ljubljani</b>	249
14. Društvene vesti <b>Odlomki iz raziskovalnega dela v slovenskih železarnah</b>	125 125		
15. Smajič Nijaz — Metalurški inštitut Ljubljana <b>Pomen in možnosti neposredne redukcije zelenih peletov</b>	129		