

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Wahlster Manfred — Leybold Heraeus G. M. b. H. & Co. KG Hanau, ZRN	
MOZNOSTI UPORABE EPŽ POSTOPKA V JEK- LARSKI INDUSTRIJI	1
Macur Vladimir — Železarna Ravne	
PRAKSA VAKUUMIRANJA JEKLA V ŽELE- ZARNI RAVNE	13
Arh Joža, Železarna Jesenice	
ODZVEPLANJE JEKLA S TRDNO SINTETICNO ZLINDRO V PONVI	21
Stocca Bogdan, Železarna Jesenice	
JEKLA ZA GLOBOKI VLEK	27
Sipek Mitja, Železarna Ravne	
MERJENJE ČASOVNE ODVISNOSTI POTEKA DELOVANJA SILE PRI UDARNEM PREIZKUSU	39
Brudar Božidar, Železarna Jesenice	
ODKRIVANJE POVRŠINSKIH NAPAK NA PA- LICNEM JEKLU S POMOCJO VRTINCNIH TOKOV	47
TEHNIČNE NOVICE	65
Stojan Mihael — Železarna Jesenice	
PREISKAVE ZVARJENIH SPOJEV NA PLOČE- VINI NIOVAL 47	65
DRUŠTVENE VESTI	
Paulin Andrej — FNT Ljubljana	
RAZVOJ UČNIH PROGRAMOV ODSEKA ZA ME- TALURGIJO UNIVERZE V LJUBLJANI TER POROČILO O RAZGOVORU MED INDUSTRIJO IN SOLO O NADALJNJEM RAZVOJU TEH PROGRAMOV.	

LETO 8 ŠT. 1 1974
ŽEZB BQ 8 (I) 1-72 (1974)



VSEBINA

Wahlster Manfred

ZEZB 8 (1) 1974 s 1—11

Možnosti uporabe EPŽ postopka v jeklarski industriji

DK: 669.187.26, 669.046.54/35

ASM/SLA: D8n

Macur Vladimir

ZEZB 8 (1) 1974 s 13—19

Praksa vakuumiranja jekla v Železarni Ravne

DK: 669.982:669.046.517

ASM/SLA: D8m, DgS, 1—73

Arh Joža

ZEZB 8 (1) 1974 s 21—26

Odžveplanje jekla s trdno sintetično žlindro v ponvi

DK: 669.187.5046.546.22

ASM/SLA: AD-a, D 11n

Stocca Bogdan

ZEZB 8 (1) 1974 s 27—38

Jekla za globoki vlek

DK: 669.14.018.26

ASM/SLA: ST-d

Sipek Mitja

ZEZB 8 (1) 1974 s 39—46

Merjenje časovne odvisnosti poteka delovanja sile pri udarnem preizkusu

DK:

ASM/SLA: Q6n

Brudar Božidar

ZEZB 8 (1) 1974 s 47—64

Odkrivanje površinskih napak na paličastem jeklu s pomočjo vrtničastih tokov

DK: 669.14.29, 620.1

ASM/SLA: S 13c

Tehnične novice

Stojan Mihael

ZEZB 8 (1) 1974 s 65

Preiskave zvarjenih spojev na pločevini Nioval 47

Društvene vesti

Paulin Andrej

ZEZB 8 (1) 1974 s

Razvoj učnih programov odseka za metalurgijo Univerze v Ljubljani ter poročilo o razgovoru med industrijo in šolo o nadaljnjem razvoju programov.

INHALT

Wahlster Manfred

ZEZB 8 (1) 1974 s 1—11

**Möglichkeiten für die Anwendung von ESU
Verfahren in der Stahlindustrie**

DK: 669.187.26, 669.046.54/35

ASM/SLA: D8n

Macur Vladimir

ZEZB 8 (1) 1974 s 13—19

**Die Vakuumbehandlung des Stahles im Hüt-
tenwerk Ravne**

DK: 669-982:669.046.517

ASM/SLA: D8m, DgS, 1—73

Arh Joža

ZEZB 8 (1) 1974 s 21—26

**Die Entschwefelung des Stahles mit der
festen synthetischen Schlacke in der Pfanne**

DK: 669.187.5046.546.22

ASM/SLA: AD-a, D 11n

Stocca Bogdan

ZEZB 8 (1) 1974 s 27—38

Tiefziehstähle

DK: 669.14.018.26

ASM/SLA: ST-d

Sipek Mitja

ZEZB 8 (1) 1974 s 39—46

**Die Messung der Zeitabhängigkeit der Kraft-
wirkung bei dem Schlagversuch**

DK:

ASM/SLA: Q6n

Brudar Božidar

ZEZB 8 (1) 1974 s 47—64

**Entdeckung der Oberflächenfehler am Stab-
stahl mit Hilfe der Wirbelströme**

DK: 669.14.29, 620.1

ASM/SLA: S 13c

Technische nachrichten

Stojan Mihael

ZEZB 8 (1) 1974 s 65

**Untersuchungen von Schweissverbindungen
an Blechen »Nioval 47«**

Vereinsnachrichten

Paulin Andrej

ZEZB 8 (1) 1974 s

Entwicklung der Studienprogramme der Me-
tallurgischen Abteilung an der Universität
Ljubljana und der Bericht über die Bespre-
chungen zwischen der Industrie und Schule
über die weitere Entwicklung dieser Pro-
gramme.

CONTENTS

Wahlster Manfred

ZEZB 8 (1) 1974 s 1—11

Use of ESR Process in Steelmaking Industry

DK: 669.187.26, 669.046.54/35

ASM/SLA: D8n

Macur Vladimir

ZEZB 8 (1) 1974 s 13—19

Practice in Vacuum Melting of Steel in Ravne Ironworks

DK: 669-982:669.046.517

ASM/SLA: D8m, DgS, 1—73

Arh Joža

ZEZB 8 (1) 1974 s 21—26

Desulphurisation of Steel in the Ladle by Solid Synthetic Slag

DK: 669.187.5046.546.22

ASM/SLA: AD-a, D 11n

Stocca Bogdan

ZEZB 8 (1) 1974 s 27—38

Steels for Deep Drawing

DK: 669.14.018.26

ASM/SLA: ST-d

Sipek Mitja

ZEZB 8 (1) 1974 s 39—46

Measuring the Time Function of Operating Force in Impact Test

DK:

ASM/SLA: Q6n

Brudar Božidar

ZEZB 8 (1) 1974 s 47—64

Diclosure of Surface Defects on Rod Steel by Eddy Currents

DK: 669.14.29, 620.1

ASM/SLA: S 13c

Technical News

Stojan Mihael

ZEZB 8 (1) 1974 s 65

The Examination of Welded Joints on Heavy Plates of Nioval 47

Association News

Paulin Andrej

ZEZB 8 (1) 1974 s

The Development of Courses of Teaching in the Metallurgical Department of University in Ljubljana and the Report About the Discussion Between Industry and University about Further Development of Teaching Programmes.

СОДЕРЖАНИЕ

Wahlster Manfred

ZEZB 8 (1) 1974 s 1—11

Возможности применения ЕШП способа в сталеплавильной промышленности

DK: 669.187.26, 669.046.54/35

ASM/SLA: D8n

Macur Vladimir

ZEZB 8 (1) 1974 s 13—19

Опыт вакуумирования стали в металлургическом заводе Равне

DK: 669-982:669.046.517

ASM/SLA: D8m, DgS, 1—73

Arh Joža

ZEZB 8 (1) 1974 s 21—26

Обессеривание стали с твёрдым синтетическим шлаком в ковше

DK: 669.187.5046.546.22

ASM/SLA: AD-a, D 11n

Stocca Bogdan

ZEZB 8 (1) 1974 s 27—38

Стали для глубокой вытяжки

DK: 669.14.018.26

ASM/SLA: ST-d

Sipek Mitja

ZEZB 8 (1) 1974 s 39—46

Измерение временной зависимости процесса действия силы при ударном испытании

DK:

ASM/SLA: Q6n

Brudar Božidar

ZEZB 8 (1) 1974 s 47—64

Обнаруживание поверхностных пороков на прутковой стали при помощи турбулентных токов

DK: 669.14.29, 620.1

ASM/SLA: S 13c

Технические новости

Stojan Mihael

ZEZB 8 (1) 1974 s 65

Исследование сварных соединений листовой стали марки Nivoval 47

Осведомления организации

Paulin Andrej

ZEZB 8 (1) 1974 s

Развитие учебных программ кафедры металлургии Люблянского университета и доклад о совещании между индустрии и школы о дальнейшем развитии программы.

Možnosti uporabe EPŽ postopka v jeklarski industriji*

DK: 669.187.26; 669.046.54/35
ASM/SLA: D8n

Manfred Wahlster

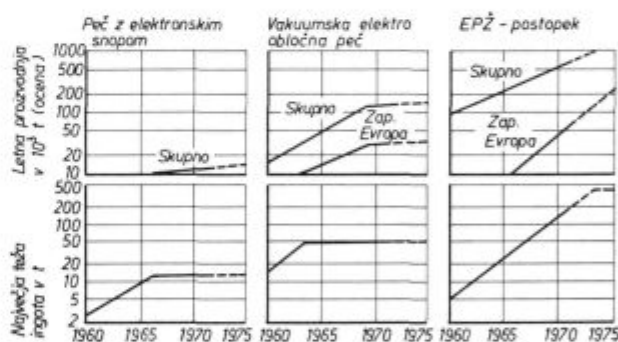
Z namenom splošne predstavitve postopka proizvodnje specialnih jekel z električnim pretaljevanjem pod žlindro je podan kratek pregled razvoja EPŽ postopka z osnovnimi informacijami o glavnih značilnostih. Podane so primerjave EPŽ postopka s konvencionalnimi in vakuumnimi postopki proizvodnje jekel. EPŽ postopek omogoča izdelavo jekel z vrhunskimi kakovostnimi lastnostmi, ker na določen način spreminja kemijsko sestavo, stopnjo čistosti, kompaktnost in makro- ter mikrostrukturo jekel. Težišče članka je v obravnavanju tipičnih področij uporabnosti EPŽ jekel v sodobni industriji, predvsem s stališča izboljšanja kakovosti, v okviru omejenih možnosti pa tudi glede ekonomičnosti s stališča proizvajalca in potrošnika.

UVOD

Razlogi za uporabo posebnih metalurških postopkov¹ so lahko zelo različni in glede na izkušnje v praksi v toku časa lahko zelo različni. Tipičen primer za tak potek predstavlja približno 20-letni razvoj vakuumske metalurgije. Prva industrijska uporaba je bila namenjena predvsem zmanjšanju vsebnosti vodika za odpravo kosmičev v odkovkih. Kasneje je pridobila vakuumska dezoksidacija (CO — reakcija) nov cilj v zniževanju vsebnosti kisika, medtem ko je danes težišče predvsem v homogeniziranju taline, v zagotavljanju možnosti analiznih popravkov, kakor tudi v določeni reproduktivni tehniki dodatkov legirnih in dezoksidacijskih kovin. Popolnoma nove aspekte nudi vakuum-

ski metalurgiji vakuumsko žilavenje za doseganje najnižjih vsebnosti ogljika, kar je posebno pomembno pri transformatorskih ali dinamo pločevinah ter pri nerjavnih jeklih.

Kljub zelo hitremu uveljavljanju električnega pretaljevanja pod žlindro (EPŽ) v vsem svetu (slika 1) ni mogoče brez dobrega poznanja specialnih primerov uporabe z nedvomno gotovostjo trditi, kateri so bili glavni razlogi za industrijsko upo-



Slika 1
Razvoj letne proizvodnje in največje teže ingotov

rabo tega pretaljevalnega procesa. Izmed mnogih možnih razlogov za uporabo takega postopka smo v prikazu slike 2 izbrali nekaj najvažnejših argumentov.

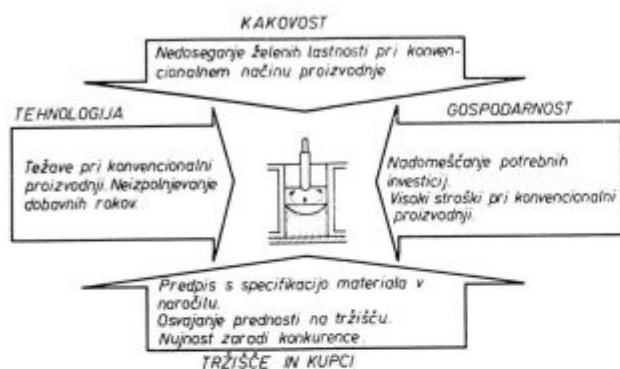
Kakor vemo po izkušnjah, je odločitev za izgradnjo EPŽ naprav odvisna od številnih razlogov, ki jih moramo istočasno po njihovi pomembnosti upoštevati. Nikakor ne moremo pri tem ločiti tehnično-kakovostne aspekte od ocen gospodarne učinkovitosti ter ukrepati samovoljno.

Spremembe lastnosti jekla

Prav številne metalurške podatke o EPŽ postopku obravnava obsežna literatura z rezultati preizkušanja pretaljenih izdelkov. Pretežno se na-

*Članek predstavlja skrajšani povzetek uvodnega predavanja, ki ga je imel prof. dr. — ing. habil. Manfred Wahlster, direktor firme Leybold-Heraeus GmbH. & Co. KG., Hanau, BRD na prvem jugoslovanskem posvetovanju »Električno pretaljevanje jekla pod žlindro« v prireditelji železarni Ravne in Metalurškega inštituta iz Ljubljane na Ravnah na Koroškem septembra 1973.

Članek je v sodelovanju z avtorjem prevedel in priredil za Železarski zbornik Jože Rodič, dipl. inž., Železarna Ravne.



Slika 2 Razlogi za uporabo EPZ postopka

našajo na manjše dimenzije ingotov, pri čemer moramo upoštevati možnost prenašanja ugotovitev na večje preseke ingotov.

Pretaljevanje jekla prav gotovo vodi k spremembam kakovostnih lastnosti², od katerih nekaj najpomembnejših podaja primerjalna tabela na sliki 3.

	Stabše	ENAKO	Boljše	Veliko boljše
Kakovost ingota Površina Poraznost in gostota Izplen			←←←←←	←←←←←
Kemijska sestava Osnovni elementi Vodik Kisik Žveplo Oligoelementi	←←←←←		←←←←←	←←←←←
Stopnja čistosti mikroskopsko makroskopsko			←←←←←	←←←←←
Struktura ingota Blokovne izceje Kristalne izceje	←←←←←		←←←←←	←←←←←
Mehanske lastnosti Trdnost Meja razteznosti Žilavost Izotropnost			←←←←←	←←←←←

x) Napake pretaljevanja!

Slika 3 Vpliv EPZ postopka na lastnosti jekla

Po teh podatkih je površina ingotov boljša, gostota ingota večja in izplen v primerjavi s konvencionalno izdelanimi ingoti precej izboljššan. Kemijska sestava jekla se lahko spreminja v obe smeri. Lahko oksidirajoči elementi kot silicij, aluminij ali mangan utrpijo izgube z odgorom, v kolikor nismo podvzeli posebnih ukrepov med pretaljevanjem ali v prilagajanju kemijske sestave elektrod za pretaljevanje. Isto velja za kisik in žveplo, kar pa je seveda z ozirom na kakovostne lastnosti vsekakor zaželeno. Ker postopek ne poteka v vakuumu, ni mogoče pri električnem pretaljevanju pod žlindro pričakovati znižanja vsebnosti nekaterih oligo elementov in vodika. Zaradi navze-manja vlage iz zraka ali zaradi tvorcev žlindre obstaja celo težnja k navzemanju vodika. Zaradi tega je praviloma pri večjih presekih ingotov

potrebno uporabiti elektrode iz vakuumiranega jekla. Najvažnejše izboljšave se nanašajo na mikroskopsko in makroskopsko stopnjo čistosti kakor tudi na zmanjšanje blokovnih in kristalnih izcej. Prav iz tega izhajajo predvsem mnogo boljše žilavostne lastnosti.

Ali sploh nastopajo in v kakšnem obsegu se pojavljajo spremembe lastnosti³ zaradi pretaljevanja v primerjavi s konvencionalno izdelanimi jekli, ni odvisno samo od kakovosti in lastnosti primerjanih vrst jekel, saj npr. tudi vakuumaska obdelava ali drugi posebni metalurški postopki zadoščajo za visoke kakovostne zahteve.

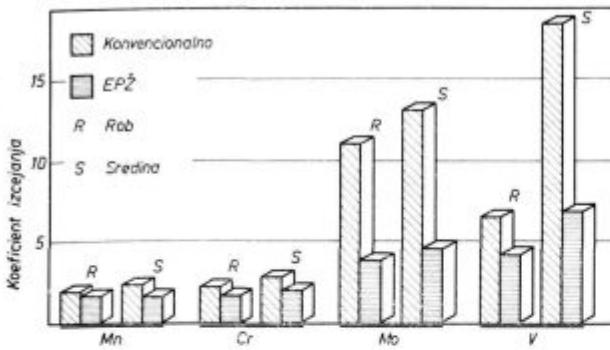
Blokovne izceje povzročajo predvsem pri velikih odkovskih proizvajalca in uporabniku jekla često zelo težko rešljive probleme. Tako npr. z normalno toplotno obdelavo ni mogoče doseči pričakovane strukture v mnogih področjih ingota, ki imajo prevelike razlike v kemijski sestavi.

Slika 4 prikazuje, da EPZ postopek skoraj popolnoma odstrani fenomen blokovnega izcejanja celo v območju večjih presekov pri strjevanju. Za primerjavo so podane vrednosti konvencionalno izdelanih velikih kovaških ingotov iz literaturnih podatkov. Sele tu pridejo prav do veljave prednosti električnega pretaljevanja pod žlindro. Tudi novejša metalurške tehnike litja, med katerimi je eden najuspešnejših postopek »after pouring«, ki ga je razvila japonska jeklarna v Murooran/Hokkaido, predstavlja sicer uspešno, vendar le prehodno rešitev za izdelavo velikih kovaških ingotov z zanesljivo in reproduktivno stopnjo blokovnih izcej. Problema enakomerne porazdelitve vključkov in preprečevanja večjih, pretežno ekso-genih oksidnih delcev tudi ta postopek ni mogel rešiti.

	Konvencionalno	„After pouring“	EPZ
V %	0,02	0,02	0,02
Si %	0,05	0,03	0,03
Mn %	0,06	0,05	0,04
P %	0,007	0,003	0,002
S %	0,008	0,004	0,003
Mh %	0,11	0,08	0,03
Cr %	0,17	0,10	0,05
Ni %	0,24	0,20	0,07
O ppm	100	70	20
C %	0,10	0,07	0,03

Slika 4 Blokovne izceje v težkih odkovskih (poprečne vrednosti za ingote težje od 70 t)

Zaradi fizikalnih procesov v območju likvidus — solidus na kristalizacijski fronti tudi pri EPZ postopku ni mogoče popolnoma preprečiti kristalnih — ali mikroizcej. V primerjavi s konvencionalno izdelanim jeklom pa so pri EPZ jeklu tudi kristalne ali mikroizceje precej manjše tudi v kakovostno kritičnih delih ingota kot npr. v sredini. Tipične podatke⁶ za ingote orodnega jekla za delo v vročem X 40 Cr Mo V 5.1 prikazuje slika 5. Stop-



Slika 5

Razmerje izcej v orodnem jeklu za delo v vročem W. Nr. 2343/X40 CrMoV 5. 1/C. 4751/utop Mol.

njo izcejanja podaja razmerje med maksimalno in minimalno koncentracijo nekega elementa, določeno z elektronskim mikroanalizatorjem.

Nadaljnje podrobnosti o izboljšanjih, doseženih z EPZ postopkom, posebno glede uporabnostnih lastnosti in mehanskih vrednosti bomo v nadaljnji obravnavi pregledali za posamezne vrste jekel.

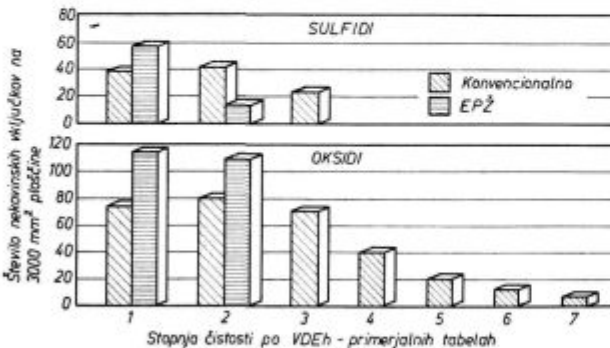
PRIMERJALNE PREISKAVE EPZ JEKEL IN KONVENCIONALNO IZDELANIH JEKEL

V sledečem bomo na kratko obravnavali tipične spremembe in izboljšave, ki jih dosegamo z EPZ jeklom v primerjavi s konvencionalno izdelanim jeklom. Podrobnejše podatke lahko dobimo iz literature, ki je navedena v tabeli 3 k zaključkom.

Valji za hladno valjanje

Za hladno valjanje jeklenih trakov, trakov neželeznih kovin in kovinskih folij je odločilnega pomena homogenost strukture in stopnja čistosti jekla za valje. Nekovinski vključki, ki se pojavljajo na površini valjev, škodujejo kakovosti valjanec, ali pa povzročajo celo izmeček.

Doslej zbrane izkušnje v industrijskem obsegu so pri EPZ valjih z območjem premerov od 200 do 800 mm pokazale odlične rezultate. Izboljšana stopnja čistosti (slika 6) omogoča zmanjšanje potreb-



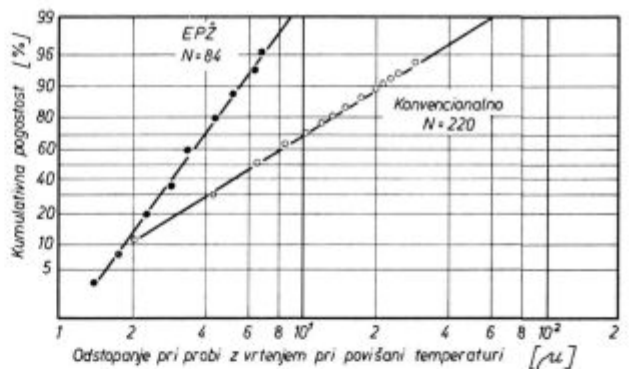
Slika 6

Število in velikost nekovinskih vključkov v valjih za hladno valjanje (jeklo: W. Nr. 2304/85 CrMo 7/C. 4740/OHV 4)

nega brušenja pri ponovni obdelavi površine, s čimer pa se podaljša življenjska doba valjev za 50 % in več. Odsotnost večjih nekovinskih vključkov zagotavlja tudi pri globlje kaljenih valjih večjo varnost proti luščenju. Probleme, ki so poznani predvsem pri najvišje obremenjenih valjih tandemskih ogrodij, se da z izbiro najprimernejših parametrov pretaljevanja pod zlindro skoraj popolnoma rešiti.

Kalander valji

Najpomembnejše zahteve pri visoko vrednih kalander valjih⁷ so zvezane z najvišjo čistostjo in z lastnostmi pri vrtenju na povišani temperaturi — npr. za vlečenje in oblaganje tehničnih magnetnih trakov. Zahteve so včasih tako visoke, da jih s konvencionalno izdelanimi valji skoraj ni mogoče gospodarno realizirati. Brez kakršnega koli izmečka je uspelo podjetju Rheinstahl v Hattingenu v zadnjih letih izdelati več sto kalander valjev za ekstremne zahteve potrošnikov glede polirne sposobnosti in kakovosti površine. Pri tem je še posebno pomembna struktura strjevanja, ki je popolnoma simetrična z ozirom na os (enakomerne horizontalne in vertikalne izceje) EPZ ingotov. Tako je omogočena izredno enakomerna mehanska obdelovalnost in poboljšanje.



Slika 7

Vpliv pretaljevanja na obnašanje kalander-valjev ob vrtenju pri povišani temperaturi

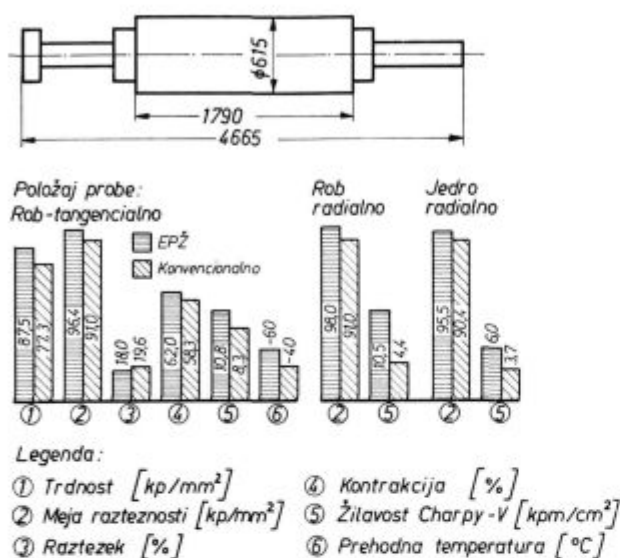
Iz vrednotenje obnašanja pri vrtenju na povišani temperaturi kalander valjev, ogretil na 200° C (slika 7), kaže, da so vsi EPZ valji zadovoljevali maksimalno dopustno najvišjo vrednost odstopanja 10 mikronov, medtem ko jih od konvencionalno izdelanih kalander valjev zadovoljevalo zahtevo le 70 %.

ROTORJI

Induktorske osi:

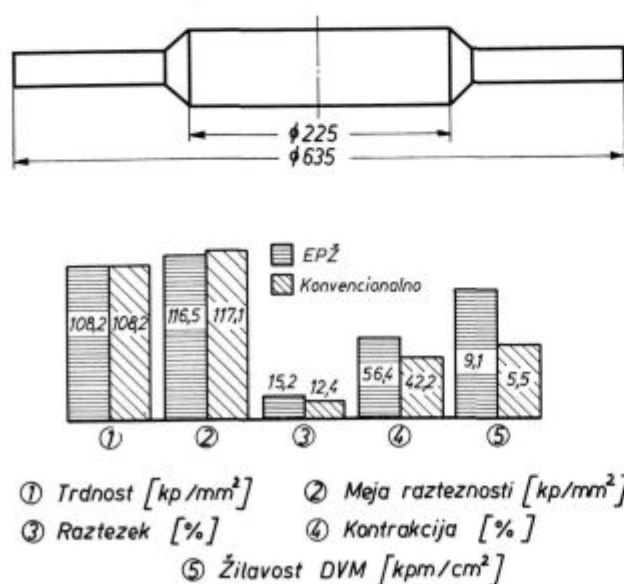
Zaradi visokih obremenitev je uporaba pretaljenega jekla za turbinske in generatorske osi posebno interesantna. Od različnih posebnih metalurških postopkov, ki so se uveljavili, upoštevajoč tudi posebne postopke litja, nudi glede porazde-

litve vključkov⁸ ali glede zmanjševanja blokovnih izcej le malo kateri zadovoljivo zanesljivost. Več ali manj vsi ti postopki predstavljajo le delen uspeh, ker poteka kristalizacije predvsem pri večjih presekih ni mogoče več obvladati z določenimi vplivi. Primerjava mehanskih lastnosti tangencialnih in radialnih prob iz zunanega dela (slika 8)



Slika 8
Primerjava mehanskih lastnosti rotorjev
(Jeklo: 28 NiCrMoV 14.5)

nam omogoča, da spoznamo nekaj za rotorje pomembnih ugotovitev. Pogoji strjevanja praktično ne vplivajo na trdnost in mejo razteznosti pri enakem stanju poboljšanja, kar je primerjava rotorjev dokaj jasno pokazala. Zarezna udarna žilavost pa je pri konvencionalnem jeklu proti jedru vse manjša in na tem mestu pade na polovico onih



Slika 9
Primerjava mehanskih lastnosti turbinskih kolutov (Jeklo: W. Nr. 6582/34 CrNiMo 6/C. 5431/VcNMo 150)

vrednosti, ki jih dobimo ob površini. V splošnem padajo žilavostne vrednosti tudi pri EPZ jeklu proti jedru, vendar je ta padec mnogo manj izražen in izhaja od višjih absolutnih vrednosti. Pri določanju 20⁰ C nižje prehodne temperature je treba upoštevati, da je bilo poboljšanje zaradi sposobnosti primerjave reducirano na presek 1500 mm.

Turbinski koluti:

Podoben rezultat so dale tudi preiskave turbinskih kolutov iz jekla 34 CrNiMo 6 (slika 9). Poleg razlik v udarni žilavosti zaslužijo posebno pozornost izboljšave, ki jih dosežemo z električnim pretaljevanjem pod žlindro pri raztežku in kontraktiji.

Generatorski rotorji:

Kot dopolnitev k tem informacijam iz proizvodnje rotorjev v Hattingenu lahko omenimo še novejšo podatke M. Kroneisa in sodelavcev⁹ o preiskavi 8,9 t — generatorskega rotorja iz EPZ jekla v primerjavi z rotorjem, izdelanim iz vakuumiranega jekla. (Slika 10) Pri raztežku in kontraktiji so ugotovljene razlike, ki pa ne pridejo posebno do izraza. Absolutne vrednosti zarezne udarne žilavosti so precej višje, posebno pa pride do izraza prehodna temperatura, ki je pri odkovku iz EPZ jekla približno za 20⁰ C nižja.

Rotorji plinskih turbin:

Tudi na področju jekel obstojnih na povišanih temperaturah so ugotovljene zelo ugodne izkušnje z EPZ jeklom (slika 11). Pri enakem postopku poboljšanja in praktično enakih žilavostnih lastnosti kažejo pretaljeni bloki za rotorje plinskih turbin približno 15 kp/mm² višjo mejo razteznosti oz. približno 10 kp/mm² višjo natezno trdnost v primerjavi s konvencionalno izdelanimi rotorji iz iste osnovne taline. Pri trgalnih poizkusih v vročem znašajo razlike v 0,2 meji ca. 15 kp/mm² pri 400⁰ C in 5,6 kp/mm² pri 700⁰ C. To pomeni vsekakor povišanje za 30 do 40 %.

Utopi:

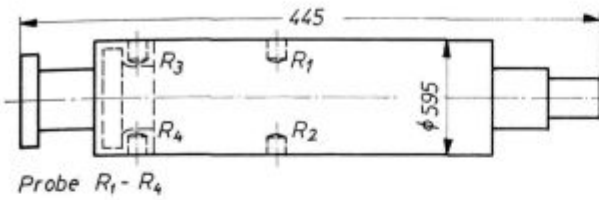
Največje kakovostne zahteve pri utopih predstavlja zadovoljiva žilavost, enakomerna obdelovalnost in odlična sposobnost za poliranje. Povečanje obstojnosti orodja lahko dosežemo s poboljšanjem na nekoliko višjo trdnost, ker so EPZ jekla manj nagnjena h krhkosti. Tehnične prednosti uporabe EPZ jekel za utope prikazuje slika 12. Zelo majhna anizotropnost žilavosti in mnoge dosedanje izkušnje kažejo, da lahko utope ali druga orodja pri stiskanju z uspehom izdelamo iz EPZ ingotov v nepredelanem stanju.

Mehki magneti:

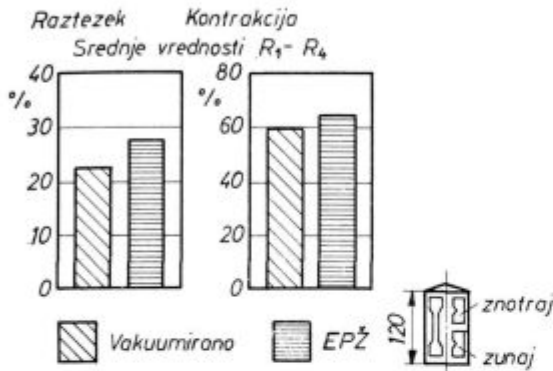
Za velike pospeševalnike se zahteva homogenost plošč za polske čevlje. Poleg določene kemijske sestave uporabljane jekla se zahteva tudi izred-

Sestava v ut. %

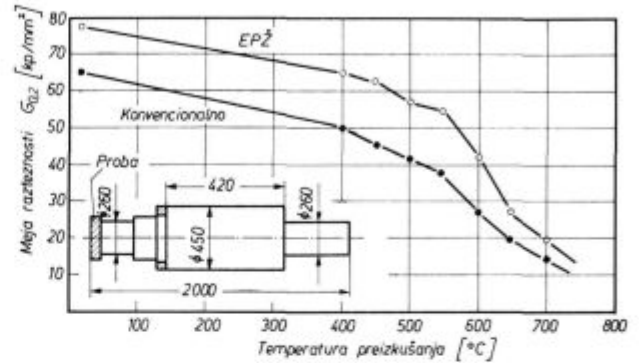
C	Si	Mn	Mo	Ni	V
0,22	0,25	0,35	0,34	3,10	0,07



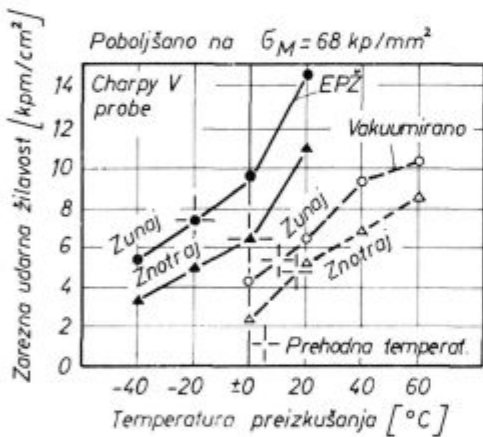
Probe R₁-R₄



lastnosti privede do optimalnih rezultatov. Pri spoznavanju najpomembnejših vplivov na kakovostno stopnjo te skupine jekel zavzema vsekakor stopnja čistosti in lita struktura odločujoč pomen. Na osnovi novejšje, zelo obsežne literature⁶ lahko navedemo le nekaj primerov, ki so prav enako interesantni za proizvajalca, predelovalca in uporabnika.



Slika 11 Natezni preizkus v vročem za rotor plinske turbine (Jeklo: X20 CrMoV 12.1)



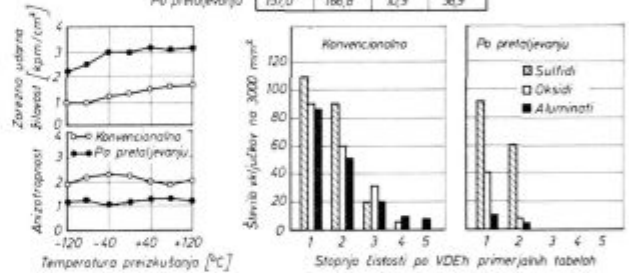
Slika 10 Primerjava mehanskih lastnosti 8,9 t generatorskega rotorja

no nizka vsebnost oligoelementov in čim manjše razlike v velikosti zrna, visoka stopnja čistosti in minimalne mikroizceje. Vse to je odločilnega pomena za doseganje karakterističnih magnetnih lastnosti. Raziskave oblik polja¹⁰ na oddaljenosti 4 mm od površine pilskega čevlja v več x- in y-smerih (slika 13) potrjujejo pričakovane primerjalne odnose pri uporabi EPZ jekla. Dodatno se dosežejo tudi nekoliko višje vrednosti indukcije v primerjavi s konvencionalnim jeklom.

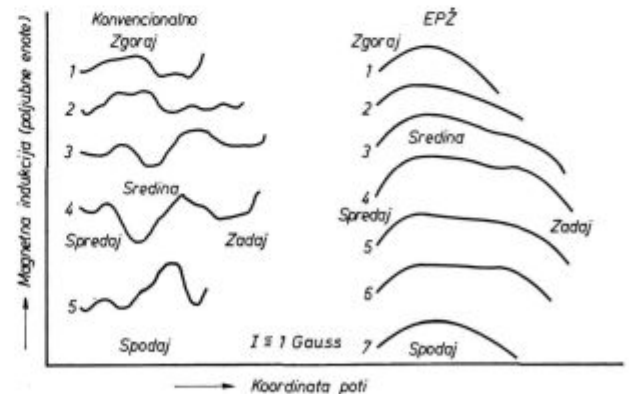
Orodna jekla in jekla za kroglične ležaje

Orodja in kroglični ležaji so pri uporabi večkrat izpostavljeni izrednim obremenitvam in dokaj zapletenim odnosom različnih lastnosti. V takih primerih šele natančno orientirana kombinacija

σ_T	σ_M	σ	ψ	
kp/mm ²				
Konvencionalno	143,0	160,7	10,8	41,9
Po pretaljevanju	157,0	166,8	10,9	38,9



Slika 12 Vpliv pretaljevanja na kakovost orodnega jekla za utope (Jeklo: 55 NiCrMo 6.4)

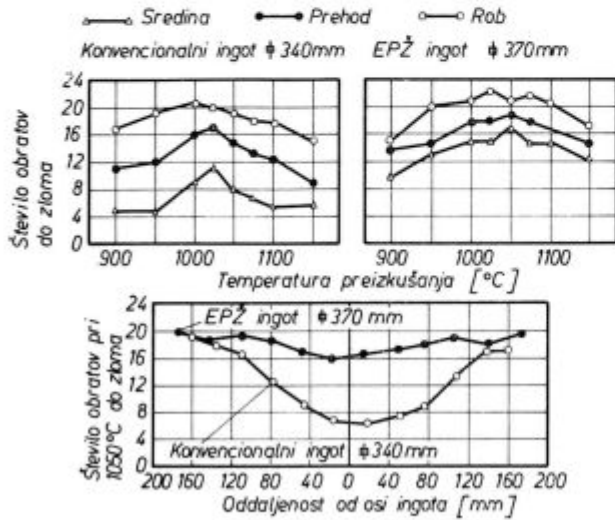


Slika 13 Potek linij polja pred ploščo pilskega čevlja

Orodna jekla za delo v vročem

Zaradi težavne predelave, ki je značilna za to skupino orodnih jekel, ima sposobnost za vroče preoblikovanje tako tehničen kot gospodarni po-

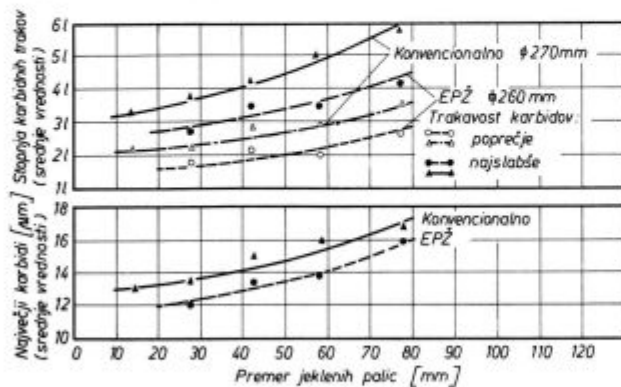
men. Podatki torzijskega poizkusa v vročem (slika 14) kažejo boljše predelavno sposobnost EPZ jekel in manjše razlike med vrednostmi ugotovljenimi s probami iz roba in sredine. Tudi najmanjša potrebna stopnja predelave za doseganje potrebne gostote in mehansko tehnoloških lastnosti po vsem preseku bloka in v prečni smeri je lahko pri EPZ ingotih znatno manjša.



Slika 14 Poizkus torzije v vročem za ugotavljanje predelovalne sposobnosti orodnega jekla za delo v vročem — v litem odn. nepredelanem stanju (Jeklo: W. Nr. 2343/X40 CrMoV 5.1/Č. 4751/utop Mo 1)

Brzorezna jekla

Večkrat srečamo v publikacijah omenjeno izboljšano stopnjo homogenosti EPZ brzoreznic jekel v primerjavi s konvencionalno izdelanimi brzoreznimi jekli. Te ugotovitve so bile večkrat potrjene tudi s kvantitativnim izrednotenjem razporeditve karbidov in velikosti karbidnih zrn, kar prikazuje tudi slika 15 za valjano brzorezno jeklo. Krivulje na tej sliki prikazujejo poprečno vrednost in oceno najslabšega mesta za karbidno trakavost kakor tudi za največjo velikost karbidov. Ti podatki izhajajo iz kontrole v tekoči proizvodnji

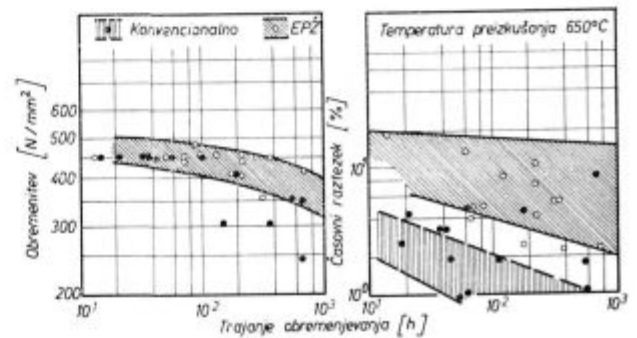


Slika 15 Trakavost karbidov in velikost karbidov valjanega brzoreznega jekla tipa 6-5-2 (po Stahl-Eisen-Prüfblatt 1615-59)

jekla tipa 6 — 5 — 2, pri čemer pa je treba upoštevati, da je problematika pri brzoreznic jeklih dokaj kompleksna in kakovostne lastnosti v veliki meri zavisijo od optimalne uskladitve vseh tehnoloških parametrov tako pri pretaljevanju kot pri predelavi in toplotni obdelavi.

Ognjeodporna avstenitna jekla

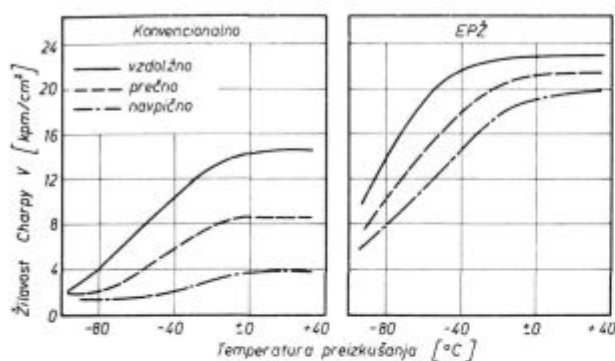
Avstenitna ognjeodporna jekla se izdelujejo podobno kot 12 % — kromova jekla v električnih obločnih pečeh. Šele z izdelavo velikih odkovkov¹¹ se je izkazala potreba pretaljevanja teh vrst jekel. Jeklo X 5 NiCrTi 26.15 je tipičen predstavnik te skupine jekel in zato so zanj na sliki 16 prikazane lastnosti ugotovljene s preizkušanjem trajne trdnosti. Slika jasno prikazuje prednosti, ki jih EPZ postopek na tem področju nudi. Pri klasičnem taljenju tega jekla na zraku je jeklo onečiščeno z gnezdi titanovih nitridov, obdanih z oksidno oblogo. S pretaljevanjem ni samo izboljšana stopnja čistosti, ampak so dosežene tudi pomembne tehnološke lastnosti z višjo trajno trdnostjo.



Slika 16 Trajnostne lastnosti jekla X5 NiCrTi 26.15

Pločevine

Kljub dejstvu, da razpolaga samo Sovjetska zveza z več ducati EPZ naprav za izdelavo bram, je splošno pristopno poznavanje izkušenj, predvsem glede materialnih izboljšav na področju pločevin več kot skromno. Temu se lahko upravičeno čudimo toliko bolj, ker tehnični problemi pri izdelavi in predelavi visoko vrednih debelih pločevin npr. za reaktorje in tlačne posode nikakor niso manjši kot npr. pri izdelavi generatorjev. Zanimivost uporabe EPZ postopka na tem področju vsekakor narašča zaradi zahtev po enakomernosti vseh lastnosti po celotnem preseku pločevine. Vedno ostrejšje so zahteve po minimalni anizotropnosti žilavostnih lastnosti vzdolž, prečno in navpično z ozirom na smer valjanja. Tudi sposobnost za varjenje je lahko pri EPZ jeklu precej boljša, posebna pomena pa je reševanje problemov izcejanja v srednjem delu kakor tudi lokalne koncentracije sulfidnih vključkov. Podatki za 25 mm pločevine finoizrnatnega jekla St 52-3 za jeklo različnega izvora kažejo glede žilavosti pomembne izboljšave pri EPZ postopku, ki so za konstrukterja



Slika 17

Vpliv pretaljevanja na žilavost finoizrnatnega jekla (debelina pločevine 25 mm)

velikega pomena (slika 17). Pri tem je predvsem zmanjšanje anizotropnosti najpomembnejša kvaliteta izboljšava, seveda poleg absolutno višjih vrednosti žilavosti.

Gospodarnost

Če ugotovljamo, da je širjenje uporabe EPŽ postopka v jeklarski industriji nekako obotavljajoče, se samo po sebi postavlja vprašanje po vzrokih takega razvoja. V veliki meri lahko pri tem pomembno vlogo pripisujemo konservativnosti proizvajalcev in uporabnikov jekla. Še važnejše pa izgledajo pač okoliščine, da se EPŽ postopek preveč enostransko obravnava z gledišča

Tabela 1: Primerjava proizvodnih stroškov za konvencionalno tehnologijo in EPŽ postopek
TURBINSKI ROTOR 4,2 t

Konvencionalna izdelava			EPŽ — postopek
DM	9.876	(12,0 t) Vložek (8,8 t)	7.242 DM
—	—	Stroški pretaljevanja (400 DM/t)	3.520
—	1.383	(4,2 t) Vrednost odpadka (1,0 t)	— 320
	8.493	— povratnega starega železa	
		Surovi ingot	10.442
		(Ogrevanje)	
		(Kovanje)	
	3.720	(Kontrolirano ohlajevanje)	3.720
	12.213		14.162
		(Mehanska obdelava)	
		(UZ — preiskave)	
	6.450	(Poboljšanje)	6.450
	18.663		20.612
	1.680	(9 %) Izguba pri končnem prevzemu (4,5 %)	928
	20.343		21.540

VALJ ZA HLADNO VALJANJE 4,6 t

Konvencionalna tehnologija (iz 10-tonskega ingota)			EPŽ — postopek (iz 22,5 t bloka za 4 valje)
DM	4.411	(8,6 t) Vložek (7,0 t)	3.591 DM
—	—	Stroški pretaljevanja (400 DM/t)	2.800
—	293	(2,1 t) Vrednost odpadka (0,6 t)	— 83
	4.118	— povratnega starega železa	
		Surovi ingot	6.474
		(Ogrevanje)	
		(Kovanje — reducirano)	
	3.122	(Kontrolirano ohlajevanje)	1.962
	7.240		8.436
		(Mehanska obdelava)	
		(UZ — kontrola)	
	11.086	(Poboljšanje)	11.086
	18.318		19.522
	1.465	(8 %) Izguba pri končnem prevzemu (4 %)	780
	19.783		20.202

kvalitetnega izboljšanja, medtem ko se aspekti gospodarnih možnosti tega postopka komaj obravnavajo, največkrat pa tudi zelo napačno.

Tabela 1 kaže dva primera primerjave stroškov za izdelavo 4,2 t turbinskega rotorja in 4,6 t valja za hladno valjanje. Ta primerjava glavnih postavk med konvencionalno izdelavo in EPŽ postopkom nam jasno kaže, kje so glavne razlike. Slaba stran glede stroškov je pri EPŽ jeklu seveda v dodatnih stroških pretaljevanja, kar pa predvsem pri večjih blokih lahko v veliki meri kompenziramo z boljšim izplenom (manjšo količino vložka) kakor tudi z zmanjšanjem tveganja za izmeček. Zmanjšana stopnja predelave, zaradi katere lahko pri kovanju večkrat celo opustimo krčenje ingotov, kakor tudi izboljšave pri toplotni obdelavi in poenostavitve na področju kontrole kakovosti v toku celotnega procesa predstavljajo lahko tudi zelo pomembne pridobitve, ki pa v tem pregledu niti niso upoštevane.

Posamezne kalkulacije za določanje dobrih in slabih strani uporabe EPŽ postopka glede na stroške so predvsem pri proizvajalcih z zelo širokim kvalitetnim programom dokaj težavne in zamudne. Danes pa že razpolagamo z novjšimi osnovami za tako izračunavanje s pomočjo uporabe nomogramov, pri čemer lahko z razmeroma majhnim trudom izračunamo, kje lahko konvencionalni postopek izdelave popolnoma ali pa delno zamenjamo z EPŽ postopkom. V kolikšni meri stroške

pretaljevanja za EPŽ ingot lahko kompenziramo s prihranki pri materialnih stroških in stroških nadaljnje predelave ali pri stroških zmanjšane izdelke, zavisi predvsem od določenih okoliščin pri posameznih proizvajalcih in za posamezne izdelke. S pomočjo zgoraj omenjenih diferenciranih računskih operacij lahko ob določenih osnovnih podatkih, ki jih moramo poznati, celotne stroške v primerjavi med EPŽ in konvencionalnim postopkom dokaj natančno določimo.

Tabela 2 vsebuje za nekaj izbranih tipičnih odkovkov po omenjenem načinu izračunane celotne proizvodne stroške upoštevajoč tri različne nivoje stroškov pretaljevanja 250, 350 in 450 DM/t, ki so navedeni v zadnjih treh kolonah. Tu so podani relativni proizvodni stroški ob upoštevanju stroškov konvencionalne tehnologije kot 100 %. Ob upoštevanju glavnih ugotovitev so večletne proizvodne izkušnje pri Rhein Stahl-Hüttenwerke AG v Hattingenu pokazale, da v območju ingotov do 10 t v veliki meri lahko pri določenih izdelkih dosežemo izenačene stroške za izdelavo odkovkov iz EPŽ jekla in konvencionalno izdelanega jekla. Ta ugotovitev je v enem od novjših ameriških poročil¹³ potrjena tudi za področje proizvodnje debele pločevine.

Predpogoj za doseganje take gospodarnosti EPŽ postopka pa je visoka časovna izkoriščenost naprave in konsekvantno izkoriščanje vseh material-

Tabela 2: Primerjalna kalkulacija tipičnih odkovkov

Kovani izdelek	Vrsta jekla	Gotovi kovani izdelek v stanju dobave		Relativni proizvodni stroški EPŽ/konvencionalno jeklo v % (konv. = 100 %)						
		Teža t	Vrednost ca. DM/t	po tehnoloških fazah pri stroških pretaljevanja 450 DM/t				celotni proizvodni stroški v % pri stroških pretaljevanja DM/t		
				Material	Kovanje	Obdelava	Izmeček	250	350	450
Paličasto jeklo 400 mm Ø	X20Cr13	1—5	1650	162	98	100	66	112	119	126
Obroč	100Cr6	6,7	3750	177	99	100	57	108	113	118
Obroč	X5CrNi18.9	20,2	10450	106	96	100	65	90	93	96
Valj za hladno valjanje	80Cr7	4,6	5400	163	46	100	68	97	100	103
Kalander valj	65Cr6	7,7	7500	172	48	98	50	98	100	102
Rotor	X20CrMoV12.1	1	7150	142	84	96	57	98	101	104
Rotor	25NiCrMo14.5	8	5700	140	71	100	57	97	101	105
Rotor	28NiCrMo7.4	11	7050	120	30	100	41	84	90	96
Rotor	25NiCrMo14.5	15	5400	136	69	100	57	96	100	104
Rotor	28NiCrMo7.4	44	5950	119	60	100	53	87	91	95
Rotor	28NiCrMo7.4	68	5400	136	57	100	55	90	94	99
Rotor	28NiCrMo7.4	117	6600	125	81	100	54	89	93	97

Tabela 3: Izboljšanje kakovosti z uporabo EPŽ postopka

Izdelek	Vrsta jekla (tipičen primer)	Vzrok izmečka Problemi pri konvencionalni izdelavi	Izboljšave z EPŽ postopkom	Literatura
Valj	80 Cr Mo 7	Nemetalni vključki. Luščenje na površini.	Zanesljivo doseganje najvišje trdote pri in- dukcijskem globljem kaljenju. Večja izdrž- ljivost.	7., 8.
Kroglični ali valjni ležaj	100 Cr 6 100 Cr Mo 85	Garantirana čistost na delovni površini. Na- pake pri UZ kontroli.	Izboljšanje karbidnih izcej. Manjša občutlji- vost za razpoke pri ka- ljenju.	6.
Rotorji Turbinske in generatorske osi	26 Ni Cr Mo V 14.5 30 Ni Cr Mo V 5.11 X20 Cr Mo V 12.1	Nekovinski vključki, poroznost jedra, oblo- ge na mejah zrn.	Odpade vmesno odla- ganje, velik del čišče- nja, odpade krčenje. Večja žilavost in nižja prehodna temperatura.	8., 14.
Turbinski rotorji	34 Cr Ni Mo 6	Nekovinski vključki. Velika predelava. Ob- čutljivost na centralno poroznost.	Znatno zmanjšanje iz- mečka. Enakomernej- še mehanske vrednosti. Visoka žilavost.	8., 14.
U t o p i	50 Cr Mo 4 55 Ni Cr Mo V 6 56 Ni Cr Mo V 7	Nezadovoljiva sposob- nost za poliranje in mehansko obdelavo	Možna je uporaba v nepredelanem stanju. Višja trdota pri enaki žilavosti.	8.
Orodno jeklo za delo v vročem	X40 Cr Mo V 5.1	Prenizka prečna žila- vost pri veliki stopnji predelave, nagnjenje k izraziti trakavosti v vzdolžni smeri.	Visoka trdnost po po- boljšanju pri enaki ži- lavosti.	6.
Brzorezno jeklo	S 6-5-2	Nezadovoljiva stopnja homogenosti. Slaba predelavnost v vročem.	Dobra predelavna spo- sobnost pri višji vseb- nosti ogljika. Enako- merne karbidne izceje.	6.
Nerjavna jekla	X 2 Cr Ni 189	Nezadovoljiva sposob- nost poliranja in ne- ustrezna kakovost po- vršine. Slaba čistost.	Visoka korozijska ob- stojnost. Izboljšana stopnja čistosti glede nitridov. Visoka žila- vost.	11.
Ognjeodporna jekla	X17 Cr MoV Nb 12.1	Nezadovoljiva stopnja čistosti. Visoka vseb- nost delta-ferita in ne- homogenost.	Izboljšana izdržljivost. Natančna sestava in vi- soka stabilnost struk- ture.	11.
Visoko-trdna jekla za poboljšanje	X38 Cr Mo V 5.1 X41 Cr Mo V 5.1	Nemetalni vključki. Neustrezna žilavost v prečni smeri.	Manjša stopnja prede- lave. Večji izkoristek ingota in manjša ob- čutljivost za zarezje.	13. 14.
Debela pločevina	St 52/3 20 Ni Cr Mo 36	Nekovinski vključki. Izcejanje v sredini. Dvoplastnost. Sposob- nost za varjenje.	Višja žilavost. Manjša anizotropnost in homo- gena porazdelitev me- hanskih vrednosti.	3.

nih izboljšav, ki jih nudijo EPŽ ingoti. Velikost ingotov seveda tudi odločilno vpliva na relativne proizvodne stroške. Nikoli pa ne smemo pri ocenjevanju gospodarnosti EPŽ postopka pozabiti na prednostno vlogo gotovih izdelkov na tržišču, ki se večkrat tudi indirektno plača.

Zaključki

V zadnjem desetletju se je EPŽ postopek v industrijskem merilu močno uveljavil in delno celo izpodrinil vakuumsko elektro obločno peč. Pregled najvažnejših izkušenj s pretaljenimi izdelki ali vrstami jekla podaja tabela 3. Visoki stopnji poznavanja EPŽ postopka in zbranim ugodnim izkušnjam se v razvoju z zavirajočo vlogo zoperstavlja predvsem konservativnost jeklarske industrije, zaradi česar je v celoti širjenje tega postopka precej počasnejše kakor bi bilo mogoče in upravičeno. Največja pomanjkljivost je pri tem nepoznavanje gospodarnih možnosti in realnih ocen za konsekventno uporabljane EPŽ naprave. Pri odločanju o uporabi EPŽ postopka se največkrat enostransko upoštevajo povečani stroški, ki odločajo o ceni EPŽ ingotov kot dražjega vložka za nadaljnjo predelavo. Te povečane stroške se skuša opravičiti z boljšo kakovostjo in daljšo življenjsko dobo konstrukcijskih delov ali orodij, pozablja pa se na možnosti kompenziranja stroškov z vsemi

ostalimi vplivnimi faktorji od spremenjene materialne bilance do številnih ugodnih sprememb v posameznih fazah tehnološkega postopka.

Literatura

1. M. Wahlster und H. Spitzer: Stahl und Eisen 92 (1972) S. 961/972
2. M. Wahlster: Neue Hütte 16 (1971) S. 611/614
3. M. Wahlster: Rheinstahl Technik 9 (1971) S. 83—90
4. H. Löwenkamp, A. Choudhury, R. Jauch, F. Regnitter: Stahl und Eisen 93 (1973) S. 625—635
5. H. Löwenkamp: Sixth International Forgemasters Meeting 1—6. Oct. 1972, Cherry Hill, N. J. USA
6. A. Randak, A. Stauz, W. Verderber: Stahl und Eisen 92 (1972) S. 981/993
7. H. J. Klingelhöfer, A. Choudhury: Rheinstahl Technik 1 (1970) S. 20/24
E. Königer: Revue de métallurgie 6 (1970) S. 515/522
8. E. Zimmermann, E. Königer, W. Poettering: Radex-Rundschau 5 (1971) S. 563/576
9. M. Kroneis, E. Krainer, H. Hojas, Th. Kamletz: 5. Internationale Schmiedetagung 6.—9. 5. 1970, Terni/Italien
10. W. Schwermann: Unveröffentl. Forschungsbericht der Rheinstahl Hüttenwerke AG., Hattingen
11. H. Spitzer: Stahl und Eisen 92 (1972) S. 994/1002
12. M. Wahlster und E. Zimmermann: Sixth International Forgemasters Meeting 1.—6. Oct. 1972, Cherry Hill, N. J. USA
13. R. Irving: Iron Age 12 (1972) S. 50/52
14. E. Plöckinger: Stahl und Eisen 92 (1972) S. 972/981

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Artikel ist ein Einführungsvortrag auf der ersten jugoslawischen Beratung über das Elektroschlackeschmelzverfahren, welche von dem Hüttenwerk Ravne im September 1973 veranstaltet wurde. Deshalb ist in der Einleitung eine kurze Übersicht über die Entwicklung des ESU Verfahrens mit den Grunddaten über die Eigenheiten und Anwendungszweck desselben gegeben. Es sind besonders die Änderungen der Qualitätseigenschaften dieser Stähle und eine Vergleichung des ESU Verfahrens mit den konventionellen und Vakuumverfahren für die Stahlerzeugung behandelt. Besonders bedeutend sind die Änderungen der chemischen Zusammensetzung, des Reinheitsgrades des Makro- und Mikrogefüges. Einige Beispiele der

typischen Werkzeugstahlorten für die Warm- und Kaltbearbeitung sind angegeben.

In Form kurzer Informationen sind die Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen zwischen dem ESU Stahl und dem konventionellen Stahl, besonders für einige Fertigerzeugnisse angegeben: Kaltwalzen, Kalander Walzen, Rotoren, Induktorachsen, Turbinenscheiben, Teile der Generatoren und Gasturbinen, Gesenke, Weichmagneten, Werkzeugstähle, Kugel und Wälzlagerstähle, Warmarbeitsstähle, Schnelldrehstähle.

An einigen praktischen Beispielen wird vom ökonomischen Gesichtspunkt die Bewertungsweise für die Anwendbarkeit des ESU Verfahrens vom Standpunkt des Erzeugers und des Verbrauchers anschaulich behandelt.

SUMMARY

The paper represents the plenary paper to the Yugoslav Conference on «Electric Slag Remelting of Steel» which was organized by Ravne Ironworks in September 1973. Therefore a short review on development of ESR process with basic informations on main characteristics and applicability was given. A special emphasis was given to change of quality properties of steel and to comparison of ESR process with the other common processes of steelmaking using vacuum or not. Especially important are changes of chemical composition, purity, macro- and micro-structure. Some examples of typical tool steels for hot and cold working were used as an illustration.

Results of comparative investigations between ESR steel and normally made steel, especially for some final products (rolls for cold rolling, calander rolls, rotors, inductor axes, turbine blades, parts of generators and gas turbines, dies, soft magnets, tool steels, steels for ball bearings and roll bearings, tool steels for hot working, high speed steels, heat resistant austenitic steels, sheet) were presented as short informations.

Some practical examples give a very evident picture on economic aspects and the way how to estimate the applicability of ESR process with the respect to profitability from the viewpoint of the manufacturer and the consumer.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статья даёт итог вступной лекции первого югославского совещания о: «Электрическая переплавка стали под шлаком», которое организовал Металлургический завод, Равне, в сентябре 1973 г. Рассмотрено развитие ЕПЖ-способа, включая основные характеристики и назначения способа. Рассмотрены качественные изменения стали и сравнение ЕПЖ-способа с обычными способами производства стали, а также с характеристиками стали произведённой вакуумированием. Особое значение имеет изменение химического состава, степени чистоты и макро- и микро-структуры стали. Приведено несколько примеров применения этого способа при производстве некоторых типовых марок инструментальной стали для горячей и холодной переработки.

В форме коротких информации даны результаты сравнения ЕПЖ-стали с сталями полученными обыкновенными способами, в особенности когда эта сталь предназначена для некоторых конечных изделий больших качественных требований, и. пр.: валки для холодной прокатки, каландр-валки, роторы, оси для индукторов, пластины для турбин, составные части для генераторов и газовых турбин, сталь для штамповки, для ролико- и шарикоподшипников, инструментальная сталь для горячей работы, аустенитная жаростойкая сталь, сталь для листового проката.

На несколько примеров из промышленной практики весьма наглядно рассмотрены экономические аспекты и способ оценки применения ЕПЖ-способа, что касается рентабельности с точки зрения производителя и потребителя.



TVORNICA OLOVAKA · ŠKOLSKOG I KANCELARIJSKOG PRIBORA · ZAGREB

proizvaja

ZA PISANJE PO KOVINAH

1. MAGIGRAF

— grafitni svinčnik, ki se briše z vodo.

2. SPECIALCOLOR

— pastelni svinčniki v šestih barvah, ki se ne brišejo.

3. MARKER

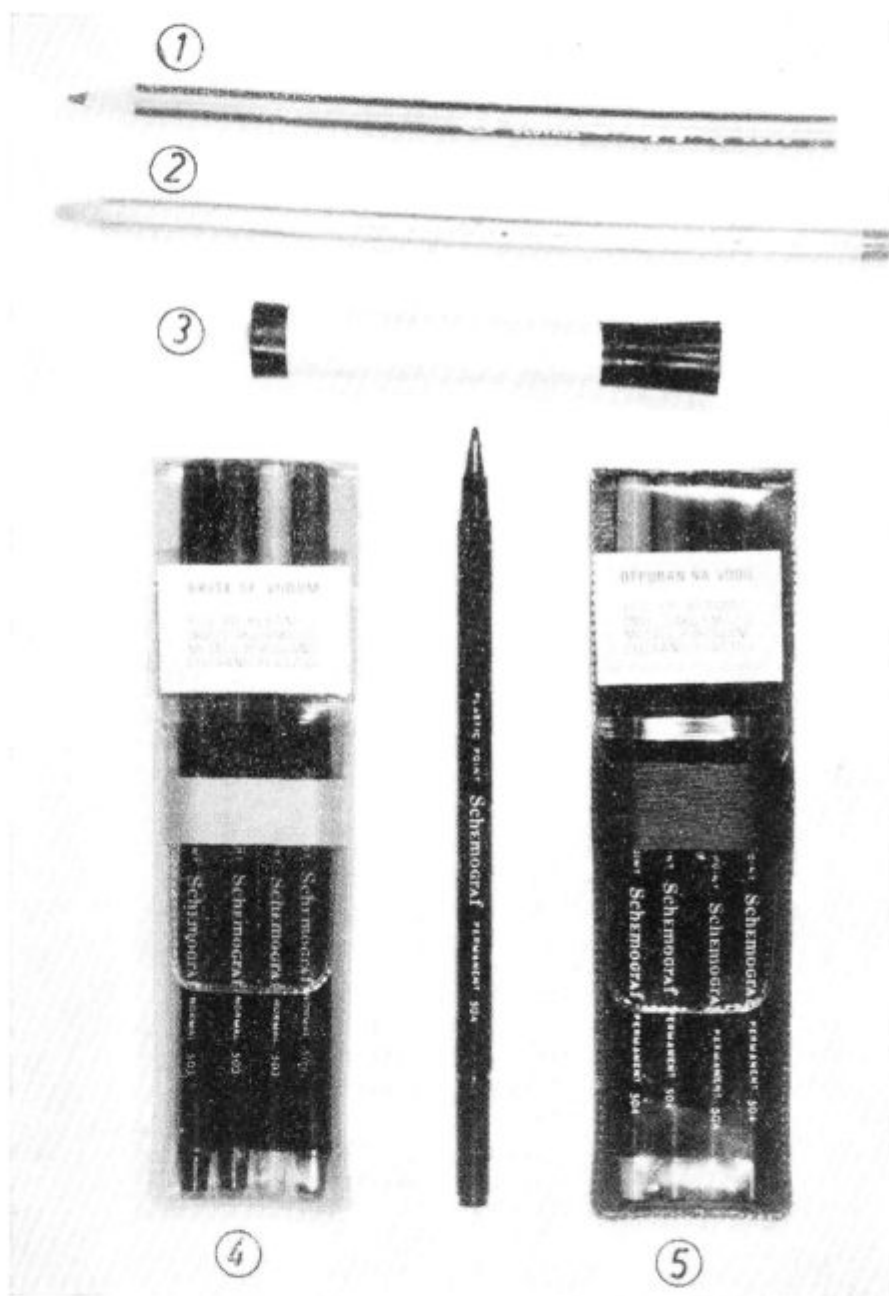
— flomastrji v štirih barvah (rdeča, modra, črna in bela), ki so odporni proti vodi in se ne brišejo. Pišejo tudi po keramiki, steklu, celofanu, plastiki in lesu.

4. SCHEMOGRAF NORMAL

— se briše z vodo.

5. SCHEMOGRAF PERMANENT

— se ne briše.



Flomastrji tipa Schemograf se uporabljajo tudi za pisanje po keramiki, lesu, steklu, emajlu, porcelanu, celofanu in plastiki.

Praksa vakuumiranja jekla v Železarni Ravne

DK: 669—982:669.046.517
ASM-SLA: D8m, Dgs, 1-73

Vladimir Macur

Resumé

V članku je kratek opis konstrukcije vakuumske komore in tehnologije vakuumiranja. Poleg mnogih prednosti imamo tudi težave, ki nastajajo zaradi visoke prehodne temperature. Razvoj v svetu gre v smeri elektroobločnega in indukcijskega ogrevanja taline med vakuumiranjem, kar pa je zelo drago. Temperaturo preboda bomo znižali s predgrevanjem ponve. Za prihodnost je zanimiv postopek vakuumiranja pred pečjo.

UVOD

Enega največjih uspehov zadnjih 25 let pri izdelavi jekla predstavlja industrijska uporaba različnih načinov vakuumiranja jeklene taline. Dosežena večja kakovost jekla krije stroške takega postopka, posebno pri izdelavi večjih blokov. Različne metode vakuumske metalurgije dajo jekla z nujno potrebnimi visokimi lastnostmi:

- izboljšanje plastične in toplotne predelave,
- višje vrednosti raztezka in kontrakcije,
- višje vrednosti žilavosti v prečni smeri,
- zmanjšanje nagnjenosti h kosmičavosti,
- zmanjšanje količine nekovinskih vključkov.

To se doseže s preprečitvijo kontakta jeklene taline z atmosfero in odstranitvijo raztopljenih plinov v jeklu (O, H, N), nekovinskih vključkov in kovin z nizkim tališčem kot Cu, Pb, Sn, Bi in drugih. Istočasno postopki vakuumiranja omogočajo skrajšanje metalurških procesov v peči in s tem povečajo ekonomičnost proizvodnje. Nekaterim visoko-legiranim jeklom (npr. nerjavna jekla) postopek izboljša kvaliteto z znižanjem ogljika. Zanimariti ne smemo boljše kristalne strukture, zmanjšanja izcej, večje kompaktnosti odlitkov itd.

Osnovni pomen vakuumske obdelave taline je možnost znižanje vodika, ki je povzročitelj kosmičev v kovancih (1). Za popolno garancijo proti kosmičem naj bo v jeklu maksimalno do 2.10⁻⁴ % H.

Danes je vakuumska tehnika v polnem razvoju. Vsi postopki se hitro izpopolnjujejo in težko je podati obseg vseh tehničnih in kakovostnih možnosti. Skrbno moramo preudariti gospodarnost postopka

in vedeti, kje se bodo vračali stroški izdelave. To velja tako za tiste, ki iščejo najprimernejši delovni postopek, kot za tiste, ki postopek že imajo, pa želijo slediti nadaljnjemu razvoju.

Obdelava taline v vakuumu

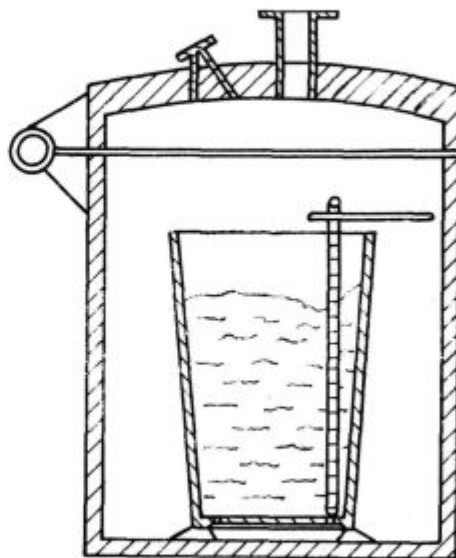
Značilno za postopek vakuumiranja je, da potrebuje podtlake 0,5—10 Torrov. Poznana je cela vrsta postopkov vakuumiranja, vendar vse te variante lahko združimo v štiri skupine:

- 1. vakuumiranje v komori — stacionarno vakuumiranje,
- 2. vakuumiranje curka:
 - a) pri litju iz ponve v ponvo — pretočno vakuumiranje,
 - b) pri litju v kokile,
 - c) pri litju iz peči v vakuumsko ponvo,
- 3. parcialno vakuumiranje (D-H degazacija),
- 4. cirkulacijsko vakuumiranje (R-H degazacija).

Leta 1965 je delalo okoli 300 naprav: 90 po kornem postopku, 135 vakuumiranje v curku in 70 ostalo.

Vakuumiranje v komori

Stacionarna metoda je najenostavnejša. Industrija je ta postopek pričela uporabljati 1952—1955 v SSSR (2). V Železarni Ravne imamo »Stokes«

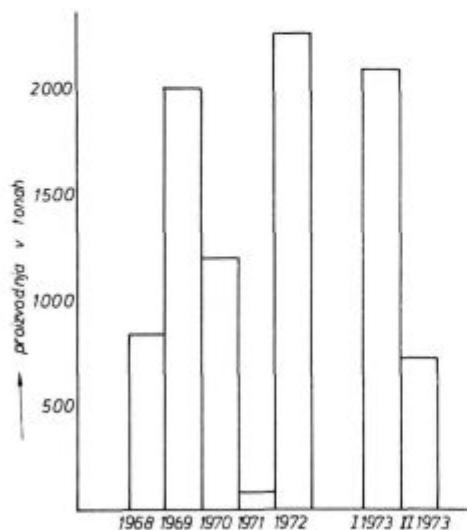


Slika 1

Slika vakuumiranja jeklene taline v komori

*Predavanje na metalurškem srečanju v Portorožu 4.—5. oktobra 1973
Vladimir Macur je diplomirani inženir metalurgije in vodja raziskav za jeklarstvo v Železarni Ravne

napravo, s katero smo pričeli poizkusno obratovati 1968. leta. Narejena je bila za stacionarno vakuumiranje in smo jo preuredili za pretočno vakuumiranje, leta 1971 pa smo ponovno prešli na stacionarno vakuumiranje (sl. 1). Proizvodnja je pričela v letu 1973 naglo naraščati (slika 2).



Slika 2

Proizvodnja vakuimiranega jekla v Zelezarni Ravne

Pred tem smo postopek osvajali, postopoma skrajševali čase vodikovega žarjenja in delali rekonstrukcije na ponvi. Tehnologija je sedaj osvojena; nadaljnjo rast proizvodnje pa ovira ena sama ponva. Nova ponva je naročena.

Bistvo metode je v tem, da se ponovca s tekočim jeklom postavi v vakuumsko komoro (slika 1), komora se zapre in zrak se odsesava. Med zniževanjem pritiska jeklo vzkipi. Intenzivno se začne izločati CO, H in N. Jeklo se meša, izenačuje se temperatura in kemična sestava, izločajo se vključki. Prednosti so v enostavni tehnologiji in izvedbi postopka. Slabost postopka je neučinkovito vakuumiranje pomirjenih legiranih jekel (slabše mešanje) in močno ohlajanje v času vakuumiranja.

Opis in konstrukcija komore

Komora ima valjasto obliko in je pokrita z dobro tesnjenim pokrovom. Montirana je v livni jami. Pokrov se pomika v smeri komore po tračnicah in nad komoro ima možnost pomikanja v vertikalni smeri. Na vrhu komore pokrov naseda v žleb, v katerem je gumijasto tesnilo — neopren. Komora je obzidana s šamotno opeko. Za odsesavanje zraka ima stena odprtino premera 738 mm. Pokrov je znotraj obložen s plastmi pločevine in azbesta. Ima dve zastekljeni odprtini za opazovanje in dozator za dodatek ferolegur in dezoksidantov. Sistem ima dva kondenzorja, na katerih je vezanih 6 injektorskih stopenj. Kondenzirana para odteka skupno z odsesanimi plini v odtočni bazen. Parni injektorji dosežejo podpritisk do 0,5 Torrov. Delov-

ni podpritisk je dosežen v peti minuti. V sedmi minuti spustimo v ponovco argon za boljše mešanje spodnjih plasti jekla. Poraba pare je 6000 kg/h, temperatura pare 280°C in pritisk 8 do 8,5 atm. Poraba vode je 1500—2400 l/min. Prostornina komore je 88,3 m³.

Ponev sprejme 33—35 ton jekla. Nad nivojem jekla je še 1200 mm praznega prostora zaradi dviganja in brizganja taline, posebno slabo pomirjenih šarž. Obloga ponve in zamašni drog sta iz šamotne opeke z 22—25 % Al₂O₃, ki jo dobavlja Stoecker Kunz. Obloga vzdrži poprečno 16 šarž. Vzvodni mehanizem zamašnega droga zaščitimo z azbestnim platnom.

Tehnologija vakuumiranja

Ce je ponev novo obzidana, odlijemo prvo šaržo po navadnem postopku, da se ponev dobro presuši in pred naslednjo šaržo za vakuumiranje prazno ponev izsesavamo okoli ene ure. Jeklo v 30-tonski elektroobložni peči izdelamo tako, da oksidacijsko žlindro potegnemo 100 %, preddezoksidiramo z aluminijem in ob vklopljeni peči dodajamo vse ferolegure razen tistih za končno dezoksidacijo. Te damo v ponovco. Tik pred prebodom potegnemo še preostalo žlindro. Navadna ogljikova jekla pred vlekom žlindre dobro ogrejemo, dodamo feroman in šaržo izpustimo v ponev, ker se dezoksidira. Tudi med vlekom žlindre sta dve elektrodi vklopljeni. Če je žlindra slabo odstranjena, je efekt vakuumiranja občutno slabši; končni podpritisk je višji. Prebodne temperature so v mejah 1680—1720°C glede na vrsto jekla.

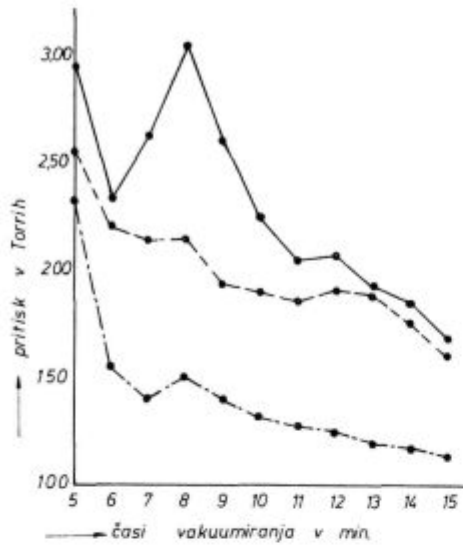
Važen je končni dodatek aluminija. Dodajamo ga v ponev ali potopimo v talino tik pred začetkom vakuumiranja. Če je aluminija v jeklu premalo, je tvorba CO izredno intenzivna, tako da moramo vakuumiranje celo prekiniti. Kljub temu da je prazen prostor ponve v višini 1200 mm, jeklo meče preko roba. Metanje taline iz ponve bi lahko preprečili z delno pomirjenim jeklom in višjimi podpritiski, vendar prednost odstranjevanja O z vakuumsko obdelavo z reakcijo $C + O = CO$ ne moremo izkoristiti zaradi nekontroliranega odgora C.

V podjetju Hüttenwerk — Huckingen delajo s podpritiski 4—15 Torr, šaržo delno pomirijo z FeSi in Al in dosežejo največji efekt odplinjanja med 4. in 7. minuto, ne da bi jeklo metalo iz ponve, vendar delajo nizkoogljkova jekla z 0,10—0,15 % C (3).

Skupni čas od konca preboda do začetka litja je minimalno 27 minut. Okoli izlivka se jeklo strdi, zato so daljši časi odvisni še od časa čiščenja izlivka.

Povprečne padce pritiska med degazacijo kaže slika 3 za vrste jekel Č. 5741 (utop extra 1), Č. 5742 (utop extra 2), Č. 3240 (TV 4) in Č. 4131 (VC 140).

Končno doseženi podpritiski so v mejah 1,2 do 1,7 Torrov. Začetni in končni podpritiski so močno odvisni od tehnologije izdelave jekla, predvsem od



Slika 3

Doseženi poprečni podpritisčki za jekla v času vakuumiranja

- C.5741 (utop extra 1) in C.5742 (utop extra 2)
 C.4131 (VC 140)
 - - - - C.3240 (TV 4)

odstranitve žilindre. Z daljšimi časi bi dosegli nižje podpritiske, vendar so poizkusi pokazali močno izjedanje obloge ponve in naglo ohlajanje jekla (4). Vključki SiO_2 v jeklu narastejo na maksimalno 0,012 %.

Dosežene prednosti pri vakuumiranju

Raziskave poizkusnih talin so pokazale sledeče (4):

- doseženo je bilo 45 % znižanje vodika,
- doseženo je bilo 58 % znižanje dušika,
- doseže se znatno zmanjšanje vključkov tipa Al_2O_3 in SiO_2 ,
- znatno zmanjšanje nevezanega kisika.

Za nas je pomembno znižanje vodika in s tem skrajšanje časov vodikovega žarjenja, posebno večjih odkovkov. Do leta 1973 smo vakuumirali večinoma kvalitete utop ex. 1, utop ex. 2 in TV 4. Sedaj pa že prehajamo na vrsto drugih kvalit, kot so cementacijska jekla in jekla za poboljšanje. Vsaka šarža je bila po žarjenju ultrazvočno pregledana. Čase žarjenja smo pri utopnih jeklih skrajšali za 33 % in pri kvaliteti TV 4 za 56 %.

Ne samo kvaliteta, tudi vrsta izdelka in namen uporabe odločajo, katera šarža se bo vakuumirala.

Dosežena boljša plastičnost pri predelavi, reševanje ozkega grla v žarilnici, skrajšani dobavni roki itd. pa so nadaljnje pomembne prednosti.

Težave pri vakuumiranju

Težave nastajajo zaradi visokih prebodnih temperatur in daljših časov zadrževanja taline v ponvi. Vzdržnost obloge peči in oboka je nižja, zato so potrebna večkratna in skrbna popravila.

Ogrevanje taline na višjo temperaturo zahteva večjo porabo električne energije. Taline v ponvi ne moremo zaščititi, ker moramo žilindro odstraniti in so zato velike toplotne izgube zaradi sevanja.

Pri litju nastopa vrsta težav:

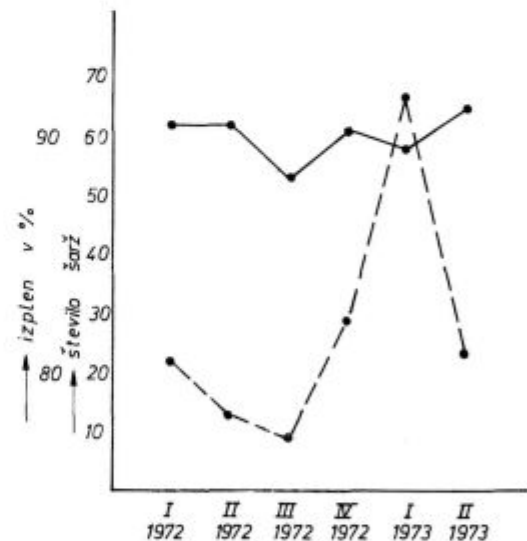
— 1. Težave pri odpiranju zamašnega droga nastopajo zaradi lepljenja zamaška na izlivke in zaradi strjevanja jekla okoli zamaška. Čiščenje strjenega jekla v izlivku s pomočjo kisika je včasih zelo dolgotrajno. Zgodi se, da jeklo priteče s polnim curkom in se ne da ustaviti. Izpleni so takrat občutno nižji.

— 2. Trganje glave zamaška. Pri odpiranju obleži glava na odprtini izlivka. Posledice so podobne kot v prvi točki.

— 3. Prekinitev zamašnega droga v okolici žilindre. Samotni material ima nižje zmehčišče kot so prebodne temperature. Odpiranje ni mogoče in takrat nastanejo velike izgube jekla.

Opisane težave povzročajo sledeče nepravilnosti pri litju: prepočasno litje, prekinjeno litje, direktno litje, vračanje jekla v peč in drugo. Opravljeni so bili različni poizkusi z ognjeodpornim gradivom (5,8), tudi z visoko aluminatnim gradivom. Poskusi se bodo še nadaljevali.

Nekatere težave sedaj že lažje obvladamo. Iz diagrama na sliki 4 je vidno, da izplen narašča in je v letošnjem letu v normalnih mejah.



Slika 4

— Izpleni jekla po četrtletjih in
 število izdelanih šarž

Degazirano jeklo lahko odlijemo z nižjo temperaturo, kljub temu pa moramo jeklo visoko ogreti, da krijemo toplotne izgube. Poleg omenjenih težav je posledica še povečana količina plinov in slabši efekt vakuumiranja. Če bi znižali temperaturo za 40°C , bi rešili vrsto problemov:

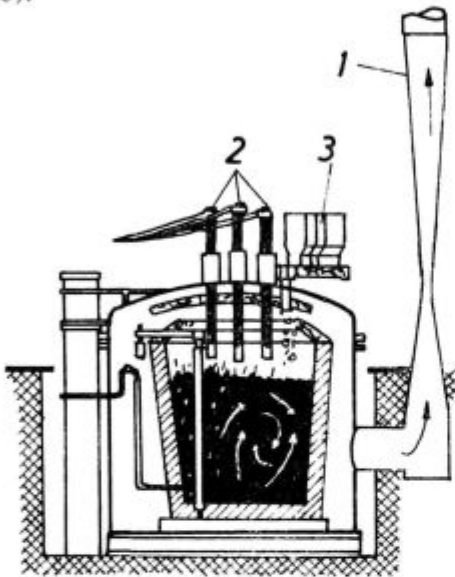
1. dosegli bi čistejše jeklo,
2. povečali bi vzdržnost obloge peči,

3. dosegli bi večjo vzdržnost ponve,
4. omogočili bi boljšo kontrolo tehnologije,
5. dosegli bi večjo zanesljivost zamašnega droga.

Takšne težave imajo tudi drugi, zato pogledjmo še razvoj v svetu in kaj lahko storimo v Železarni Ravne na obstoječi napravi, da bomo še izboljšali kvaliteto jekla in pocenili proizvodnjo.

Nadaljnji razvoj vakuimiranja v ponvah

Za kritje toplotnih izgub nekateri grejejo talino med vakuimiranjem z električnim oblokom, slika 5 (6).



Slika 5

Elektroobložno ogrevanje jekla med vakuimiranjem (6):
 1. — k vakuumskemu sistemu,
 2. — elektrode,
 3. — vibracijski dozatorji.

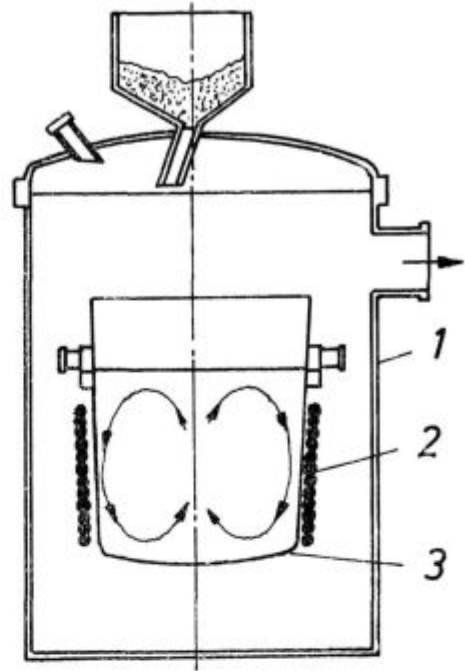
Slika 6 kaže vakuimiranje v ponvi z induktivnim ogrevanjem.

Plašč peči je narejen iz nemagnetnega jekla. V komori je induksijsko navitje, znotraj katerega se postavi ponev z jeklom. Induktor je priključen na tok 1000 A z nizko frekvenco 55 Hz in napetostjo 230 V. Vakuimiranje traja 15 minut pri doseženem končnem pritisku 0,1 mm Hg. Jeklo ogrejejo na 1655—1660°C. Firma Republic steel je pri jeklih za kroglične ležaje dosegla znižanje kisika od 0,0018 — 0,0028 % na 0,0008 — 0,0016 %, dušika od 0,006 — 0,011 % na 0,003 — 0,007 %; vodik pa od 2 — 6 na 1,5 cm³/100 gr (6).

Nekatera podjetja v ZDA prepihujejo talino v ponvi s pomočjo argona skozi zamašni drog. Iz podatkov (2) ni videti, da bi bili uspehi boljši od naših, ko vpihavamo argon skozi porozen kamen na dnu ponve.

Švedski firmi ASEA in SKF iz Helleforsa sta izdelali nov postopek vakuimiranja v loncu. Posoda je iz nemagnetnega jekla in je postavljena v območje induksijskega mešanja, sl. 7.

Posoda ima dva premična pokrova, od katerih eden med vakuimiranjem hermetično zapira pro-



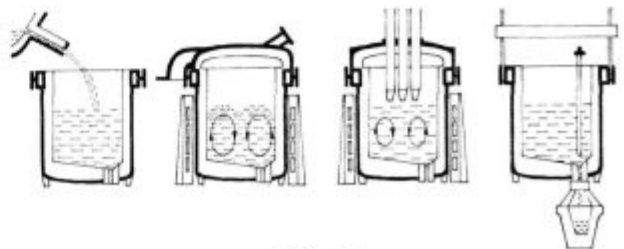
Slika 6

Induksijsko ogrevanje taline pri vakuimiranju v ponvci
 1. — vakuumška komora,
 2. — induksijsko navitje,
 3. — ponovca.

stor, drugi pokrov pa nosi tri elektrode, ki ogrejejo talino po končanem vakuimiranju. Med ogrevanjem taline se vrši korektura elementov in odžveplanje z dodajanjem prašnatnega apna. Odžveplanje je uspešno zaradi močnega induktivnega mešanja taline. Litje je direktno v ingote ali napravo za kontinuirno litje, ne da bi šaržo vmes prelivali. Kisik in vodik se znižata toliko kot pri navadnem vakuimiranju v ponvi, vendar zaradi močnega induktivnega mešanja taline je jeklo bolj čisto in ima manj nekovinskih vključkov. Odgor legirnih elementov je majhen. Analiza je točna. Izpust je pri točno zaželeni temperaturi. Ker se proces rafinacije prenese iz peči v ponev, naraste za 50 % produktivnost peči.

Vsi ti postopki so zelo dragi. »Stockesova« naprava pri nas dobro deluje. Iščejo samo način, kako bi znižali prebodno temperaturo ob nespremenjeni ostali tehnologiji. Za rešitev tega problema imamo dve možnosti:

1. ogreti ponev na 1300 — 1500°C,
2. vakuimirati jeklo pred pečjo.



Slika 7

Operacije pri postopku ASEA — SKF: prebod, vakuimiranje, obložno ogrevanje in litje

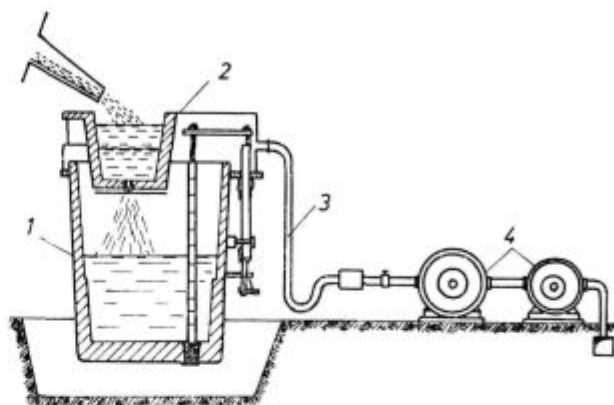
Poskuse s predgreto ponvijo smo že naredili in so nam uspeli. Zamašni drog ponve hladimo z močnim pretokom zraka med ogrevanjem ponve, med prebodom, v času vakuumiranja in med litjem v kokile. Ponev se ogreva v obstoječi vakuumski komori. Pokrov ponve ima tri odprtine, in to za zamašni drog, za gorilec in za vlivanje jekla iz peči. Odprtina za vlivanje ima dimenzije 500×700 mm. Pokrov je obzidan z visoko-aluminatno maso, ki ima SK 33. Med prebodom ostane pokrov na ponvi, da se zmanjšajo toplotne izgube.

Gorilec se pomika hidravlično. Začasno se izvaja ogrevanje z nafto, kasneje morda s tekočim propan-butanom. Namen je v kratkem času akumulirati čimveč toplote v obzidavi ponve.

Poskusi so pokazali, da lahko znižamo prebodno temperaturo za 60°C , kar je zelo ugodno. Delo z zračno hlajenim drogom je težavno in nerodno. Zamašni drog bo odpadel, ko bomo vgradili zasun za zapiranje (7). Na školjko in utor puše (namesto izlivka) je vzdana plošča dna. Nanjo se prilaga premični del drsne plošče. Obe plošči imata odprtino za litje. Hidravlično pomikanje drsne plošče omogoča odpiranje, pripiranje in zapiranje curka, slika 8.

Degaziranje pred pečjo bi predstavljalo že občutno izboljšavo. Ponev se hermetično zapre s po-

krovom. Na ta pokrov se postavi mala ponev, ki prestreže jeklo iz peči. Zapira se lahko z zamašnim drogom ali odprtino zapira aluminijev list. Na pokrov je priključena jeklena cev, ki je povezana



Slika 9

Vakuumiranje jekla pred pečjo

1. — ponovca,
2. — vmesna posoda,
3. — vakumska cev,
4. — sesalci.

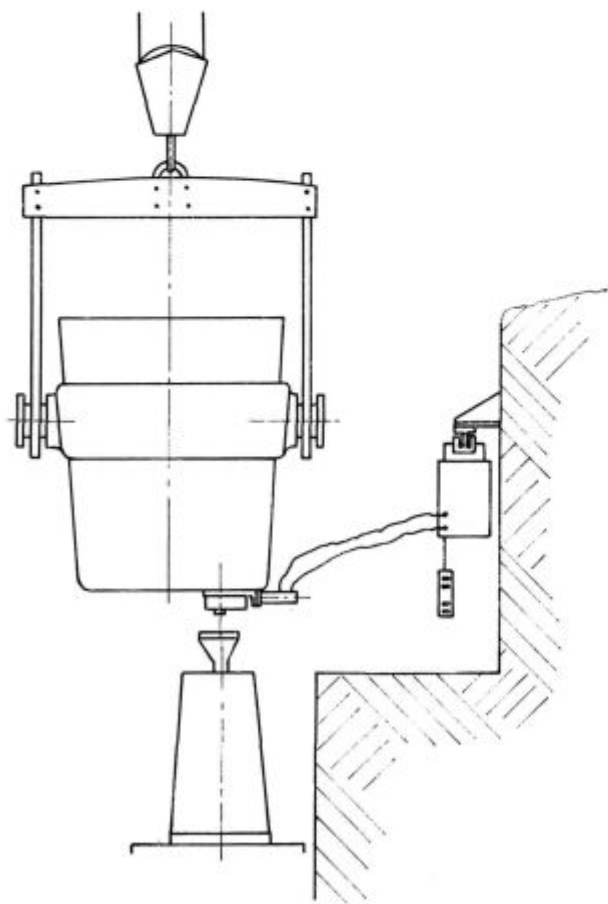
s sesalnim sistemom, slika 9. Ko se doseže v večji ponvi primeren podtlak, se izpusti jeklo iz peči v manjšo ponev in iz te talina odteka v ponev s podtlakom.

Prednost postopka je v tem, da gre jeklo direktno iz peči v vakuumski prostor in tako so toplotne izgube minimalne. Prihranili bi tudi okoli 20 minut pri času. Skupno s časom izlitja bi vakuumiranje trajalo 10 minut. Dosegli bi nižji podtlak ob nižji temperaturi preboda. Dosegli bi čistejše jeklo in odpadle bi tudi težave pri litju. Tem ugodnim predvidevanjem pa stoje nasproti večje investicije in težavna izvedba zatesnitve pokrova.

ZAKLJUČEK

Osnovni pomen vakuumske obdelave jekla je v možnosti znižanja vodika, ki je povzročitelj kosičev v kovancih. Danes je vakuumska tehnika v polnem razvoju. Vsi postopki se hitro izpopolnjujejo in težko je podati obseg vseh tehničnih in kakovostnih možnosti.

Stacionarna metoda je najenostavnejša. S »Stokesovo« napravo smo pričeli poizkusno obratovati 1968. leta. Istočasno z osvajanjem postopka smo skrajševali čase vodikovega žarjenja. Do leta 1973 smo vakuumirali večinoma kvalitete C 5741 utop ex. 1, C.5742 utop ex. 2 in C.3240 TV-4. Sedaj delamo že vrsto kvalitet cementacijskega jekla, jekla za poboljšanje in navadna ogljikova jekla. Za vakuumsko obdelavo ni odločilna samo vrsta materiala, ampak tudi vrsta izdelka in namen uporabe. Čase žarjenja pri utopnih jeklih smo skrajšali za 33 % in pri TV-4 za 56 %. Komora je postavljena v livni jami. Sistem ima dva kondenzatorja, na ka-



Slika 8

Litje z zasunskim zapiralom

terih je vezanih 6 injektorskih stopenj. Doseženi podpritisk je do 0,5 Torrov. Skupni čas vakuumske obdelave traja 15 minut ob doseženem povprečnem podpritisu 1,5 Torrov.

Jeklo v 25-tonski elektroobločni peči izdelamo tako, da oksidacijsko žlindro potegnemo 100 %, preddezoksidiramo z Al in ob vklopljeni peči dodamo vse ferolegure, razen za končno dezoksidacijo, ki pridejo v ponev. Prebodne temperature so v mejah 1680 — 1720° C.

Težave nastajajo zaradi visoke temperature preboda in daljšega časa zadrževanja taline v ponvi. Temperaturo bomo znižali s predgrevanjem ponve. V začetku bo zamašni drog zračno hlajen, kasneje pa bomo šli na zasun za zapiranje ponve. Za prihodnje bi bil zanimiv način vakuumiranja pred pečjo.

Literatura:

1. John Olof Edström: Vakuumbehandling av flytande stal. Jernkontorets annaler, 1962:8, str. 549—679.
2. Samarin A. M., L. M. Novik in drugi: Stalj 1956, št. 8, str. 45.
3. Speith K. G., H. vom Ende und Pfeiffer: »Die Vakuumbehandlung von Stählen in der Giesspfanne« — Stahl und Eisen 80, 1960, str. 737—744.
4. Prešern A.: »Uvajanje vakuumske metalurgije« — Železarski zbornik 1970/4, str. 247—257.
5. Muster J., R. Jelerčič, V. Rac: Opeka za ponve in drogeve v višini žlindre pri evakuiranju. Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, 1973.
6. Linčevskij B. V.: Vakuumnaja metalurgija stali i splavov. Izdateljstvo »METALURGIJA« Moskva 1970.
7. Kovačič S.: Rentabilnost in pomen litja z zasunskim zapiralom pri tehnologiji izdelave jekla. Diplomsko delo — Višja šola za organizacijo dela Kranj, Ravne 1973.
8. Muster J.: Problematika lepljenja čepov na izlivke pri evakuiranju. Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, 1972.

ZUSAMMENFASSUNG

Hüttenwerk Ravne besitzt eine »Stokes« Pfannenentgasungsanlage. Im Jahre 1968 ging diese Anlage versuchsweise in Betrieb. Zur gleichen Zeit mit der Betriebseinnahme des Entgasungsverfahrens sind auch die Glühzeiten zur Wasserstoffentfernung verkürzt worden. Bis zum Jahre 1973 haben wir hauptsächlich die Stahlqualitäten C 5741, C 5742 und C 3240 entgasst.

Jetzt wird schon eine Reihe von Einsatzstahlqualitäten Vergütungsstählen und üblichen Kohlenstoffstählen vakuumbehandelt.

Für die Vakuumbehandlung ist nicht nur die Stahlorte entscheidend, sondern auch das Erzeugnis und der Verwendungszweck. Die Glühzeiten sind bei den Gesenkschmiedestählen um 33 % und bei der Stahlqualität C 3240 um 56 % verkürzt worden.

Die Vakuumkammer ist in der Giesshalle aufgestellt. Das System besteht aus zwei Kondensatoren auf die 6 Dampfstrahler angeschlossen sind. Es wird ein Unter-

druck von 0,5 Torr erreicht. Die Gesamtentgasungsdauer beträgt 15 Minuten bei einem durchschnittlichen Unterdruck von 1,5 Torr.

Die Schwierigkeiten verursachen die hohen Abstichtemperaturen die in den Grenzen von 1680 bis 1720° liegen und einer langen Aufhaltedauer der Schmelze in der Pfanne. Die ersten Versuche mit der vorgewärmten Pfanne zeigen, dass die Schmelze mit einer um 60° C niedrigeren Abstichtemperatur abgestochen werden kann. Die Stopfenstange ist Luftgekühlt. Später werden wir auf Schieberverschluss übergehen.

Die Pfanne wird mit einem Leichtölbrenner auf etwa 1300° C vorgewärmt. Während des Abstiches bleibt der Deckel auf der Pfanne um die Temperaturverluste zu verhindern.

In der Zukunft wäre interessant die Entgasung vor dem Abstich einzuführen, da wir das bestehende Entgasungssystem anwenden könnten.

SUMMARY

The stationary method of steel degassing is the simplest one. Pilot plant operation with Stokes set-up started in Ravne ironworks in 1968. Simultaneously the times of »hydrogen annealing« were reduced. Till 1973 mainly steel qualities C. 5741, C. 5742, and C. 3240 were degassed in vacuum. Now also steels for hardening, steels for hardening and tempering, and plain carbon steels are treated in this way. Not only the material quality but also type of product and usage are important for way of vacuum degassing. Annealing times for die steels were reduced for 33 %, and with steel quality C.3240 even for 56 %.

The degassing chamber is placed in the casting pit. The system has two condensers connected to series of

6 injector steps. The achieved vacuum is 0.5 tor, and the total time of vacuum degassing is 15 minutes at the average pressure 1.5 tor.

Difficulties appear due to high tapping temperatures being between 1680 and 1720° C, and longer time of holding melt in the ladle. The first tests with preheated ladle showed that batches can be tapped at 60° C lower temperature. The stopper rod is cooled by air, later a damper will be used. The ladle is preheated to about 1300° C by an oil burner. During tapping the lid stays on the ladle to reduce heat losses.

In further development vacuum degassing before tapping would be interested as the existent vacuum system could be used.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Самый простой способ дегазации стали это стационарный. Этим способом с устройством отсасывания по Стокес-у, в начале как опытное производство, пользуется Металлургический Завод Равне уже с 1968 года. Постепенно, с усвоением способа, сокра-

щено время водородного отжига. До 1973-го года главным образом вакуумировали стали марок C-5741, C-5742 и C-3240. Упомянутый способ отсасывания употребляют теперь для целого ряда марок стали для цементации, стали для улучшения, а также и для

обыкновенной углеродистой стали. Для обработки стали в вакууме играет роль не только сорт стали, но также и сорт изделия и его назначение. Применению этого способа следовало сокращение времени отжига стали для горячей штамповки на 33 %, а стали марки С-3240 на 56 %.

Прибор для отсасывания размещён в литейной яме. Система состоит из двух конденсоров на которые присоединён 6 степенной инжектор, при чём получается вакуум до 0.5 единиц торра.

Затруднения возникают вследствие высоких выпускных температур, которые находятся в пределах 1680—1720° С., и более

длительной выдержки расплавленного металла в ковше. Первоначальные опыты с подогретым ковшом показали, что расплавленный металл можно выпустить из печи с температурой 60°-ти градусов ниже нормально выпускной темп-ры.

Стопорный стержень охлаждаем воздухом позже намечено применение заслонки. Ковш подогрели прибл. на 1300° С с нефтью. Чтобы уменьшить потерю теплоты, во время выпуска ковш был покрыт крышкой. В будущем можно взять во внимание вакуумирование расплава до выпуска при учёте, что уменьшая в распоряжении устройство для отсасывания вполне применимо для этой варианты способа.

RHEIN - DONAU - STAHL

WIEN - MÜNCHEN - CHUR - MILANO

OSKRBUJEMO EVROPSKE JEKLARNE IN
LIVARNE S STARIM ŽELEZOM.

SMO GENERALNI ZASTOPNIK:

RHEINSTAHL A. G.

KASSEL / B.R.D.

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

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

V ODŽIGALNIH NAPRAVAH
ZA KABLE

VPRAŠANJA IN INFORMACIJE:

RHEIN - DONAU - STAHL

HANDELSGES. M.B.H.

A 1030 WIEN, SALESIANERGASSE 5

TELEFON: 735506 SERIE

TELEX: 11908

Odžveplanje jekla s trdno sintetično žlindro v ponvi

DK: 669.187.5.046.546.22
ASM/SLA: AD-a, D11n

Joža Arh

UVOD

Vsebnost žvepla je v Železarni Jesenice postala pomembna, ko smo po rekonstrukciji valjarne prešli na valjanje velikih blokov. Resen problem pa predstavlja vsebnost žvepla posebno pri jeklih za trakove, ki se valjajo le v eni smeri. Čim tanjši je trak, bolj so sulfidni vključki razpotegnjeni in fini, večja je anizotropija prečno — vzdolžno.

Negativne posledice prevelike količine sulfidnih vključkov se kažejo predvsem:

1. v slabem upogibu v prečni smeri
2. v močni trakavosti, ki predvsem pri jeklih za poboljšanje (Č 1530-31, Č 1730-31) zmanjšuje prekaljivost. Prelom ima lesno strukturo, trak pa se cepi.

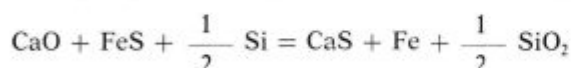
Da dosežemo zadovoljivo čistočo pri jeklih za trakove, smejo imeti nizko ogljična jekla za trakove, izdelana na električni peči, največ 0,015 % S, jekla za poboljšanje (Č 1530-31, Č 1730-31) pa največ 0,010 % S.

Zahteve so torej znane.

Problem pa je v tem, kako dosežati tako nizka žvepla.

Teoretične osnove odžveplanja

Če je jeklo izdelano z dvema žlindroma, če ga torej izpustimo iz peči skupno z rafinacijsko žlindro, ki je bodisi bela — obdelana le s CaSi ali FeSi, ali karbidne narave — obdelana s CaSi + C, potem za odžveplanje lahko napišemo naslednji reakciji:



Hitrost teh metalurških reakcij med žlindro in kovino pa je omejena z difuzijsko hitrostjo v reakciji sodelujočih elementov na meji med žlindro in kovino. Z odstranitvijo tega zavirajočega elementa bi hitrost reakcij mnogokrat povečali. Na hitrost reakcij pa znatno vpliva tudi razmerje med velikostjo fazne meje (med površino) žlindra — kovina in volumnom reagirajočih faz. S povečanjem razmerja med velikostjo faznih mej in volumnom, ali enostavnije, s povečanjem površine proti volumnu, se skrajšajo difuzijske poti, reakcije potečejo zato mnogo hitreje.

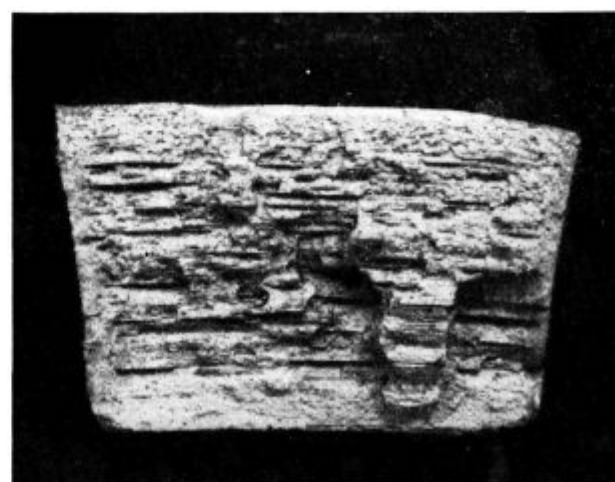
Najugodnejše pogoje za hiter potek rafinacijskih reakcij ustvarimo z enakomerno razpršitvijo finih delcev žlindre ugodne kemične sestave v obdelovanem jeklu.

Na teh spoznanjih je zasnovan način rafinacije jekla s tekočo sintetično žlindro v ponvi po Perrinu. Jeklo se spusti iz peči z veliko hitrostjo nad 10 t na minuto in višine 4 do 7 m na raztaljeno sintetično žlindro. Pri tem pride do emulzije žlindre v jeklu v obliki kapljic, premera 0,1 mm, in kot posledica zelo intenziven potek rafinacijskih reakcij.

MOŽNOST UVEDBE PERRINOVEGA POSTOPKA RAFINACIJE S SINTETIČNO ŽLINDRO V PONVI V NAŠI JEKLARNI

Naš kvalitetni program obsega precej vrst jekla, kjer je dovoljena vsebnost žvepla največ 0,010 %. Tako nizka žvepla dosegamo lahko le na električni peči, ki je opremljena z induktivnim mešalcem, pri dobrem vložku in daljši rafinaciji, torej pri najboljših pogojih.

Pri iskanju načina, kako predvsem cenejše in (tudi) hitrejše priti do željenega rezultata, smo preiskali tudi možnosti za uvedbo Perrinovega postopka. Po tem postopku bi namreč lahko obdelovali tako elektro kakor tudi SM jekla, s čimer bi lahko predvsem izboljšali kvaliteto SM jekla. Žal smo pri iskanju prostora za primerne talilne peči naleteli na dvoje ovir, ki nam zaenkrat preprečujeta uvedbo tega postopka.



Slika 1
Lesni prelom kot posledica trakavosti oziroma prevelike količine sulfidnih vključkov

Joža Arh je diplomirani inženir metalurgije in višji strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice

1. enofazne peči, ki bi jo lahko postavili med dve SM peči iz elektroenergetskih razlogov, neena-
komerna obremenitev faz, ne smemo postaviti;

2. za trifazno peč pa nimamo ustreznega prostora.

Razen navedenega bi oviral uspešno perrinizir-
ranje še premajhen padec jekla v ponev. Tega pa
zaradi visoko postavljene livne jame ne moremo
povečati. Obešalne kljuke so zato kratke, jarem
med njima leži tako nizko nad robom ponve, da
ovira curek jekla pri padcu v ponev.

Poskusi odžveplanja jekla s trdno sintetično žlindro

Z uporabo sintetične žlindre v trdnem stanju
odpadejo težave pri pretaljevanju. Žlindro je mož-
no dobiti od zunanjega dobavitelja v željeni zrna-
tosti. Uporaba trdne sintetične žlindre pa je zveza-
na z izgubo toplote, ker se žlindra mora raztaliti
na račun toplote jekla. Količina žlindre je zaradi
tega omejena na ca 2 % teže jekla v primerjavi
s 4 do 6 % pri uporabi tekoče sintetične žlindre.
Iz izstega razloga pa je tudi rafinacijski učinek trd-
nih sintetičnih žlinder manjši.

Izbira sestave sintetične žlindre in način dodajanja v ponev

Sestavo sintetične žlindre moramo tako izbrati,
da dosežemo najboljši rafinacijski učinek, to je
največjo stopnjo odžveplanja in dezoksidacije. Ta-
lišče žlindre mora biti kolikor mogoče nizko, da se
hitro raztali. Izbira je lahko zelo pestra, od na-

menko sestavljenih pretaljenih ali le zmešanih
komponent, kakor so CaO, CaF₂ in Al₂O₃, do raznih
odpadnih žlinder, npr. od pretaljevanja aluminija in
podobno.

Žlindra mora biti fino zmleta pod 1 mm preme-
ra zrna. Dodamo jo lahko na dno ponve pred vli-
vanjem ali v curek jekla ali delno na dno in delno
v curek jekla, kakor smo delali tudi pri naših
poskusih.

Rezultati preiskav:

1. Taljena sintetična žlindra sistema CaO —
Al₂O₃ eutektične sestave.

Dobavljena žlindra je imela naslednjo sestavo:

CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	vлага	cena
48,38	43,66	2,90	0,72	0,06 %	3,5 din/kg

Poskuse smo delali na 8 t in 60 t peči.

Dodatek žlindre je znašal 10 kg/t jekla, to pa je
najmanjša količina, ki se pri takem načinu še rabi.
Ker smo žlindro morali ročno zmetati v ponev in
v curek, poskusi z večjimi količinami niso bili
možni. Vse šarže so bile izdelane po dvožlindrnem
postopku. Pri odlitju šarže je lastna žlindra tekla
v ponev skupno z jeklom. Rezultati so zbrani
v tabeli 1.

Iz tabele 1 je zlasti zanimiva šarža EA 4569, kva-
liteta Č 1530. Ta je bila izdelana brez rafinacije. Pri
tej šarži smo po oksidaciji posneli žlindro, legirali
na golo in odlili ob dodatku sintetične žlindre,
stopnja odžveplanja je znašala 55 %. Stopnja od-
žveplanja se nasploh giblje od 35 do 60 % in se
ujema z navedbami v tuji literaturi.

Tabela 1 — Rezultati odžveplanja s trdno sintetično žlindro v ponvi

Šarža	kvaliteta	količina žlindre kg/t	%S v jeklu pred prebodom	%S v jeklu po odžveplanju	stopnja odžveplanja %	Čistoča jekla po JK			
						G	A+C	B+D	skup.
EA 4450	Č 1730	10	0,030	0,015	50	G	1,52	1,80	3,32
						N	1,60	1,84	3,44
EA 4469	Č 1730	10	0,020	0,008	60	G	1,08	1,32	2,40
						N	0,84	1,32	2,16
EA 4567	Č 1530	10	0,031	0,013	58	G	2,40	1,84	4,24
						S	2,12	1,84	3,90
						N	2,28	1,88	4,16
EA 4569	Č 1530	10	0,038	0,017	55				
EA 4571	Č 1730	10	0,022	0,009	59	G	0,76	1,96	2,72
						S	0,92	2,00	2,92
						N	0,92	1,96	2,88
EA 4585	Č 1734	10	0,026	0,015	42	G	0,96	1,76	2,72
						S	0,80	1,88	2,68
						N	1,16	1,60	2,76
EA 4589	Č 1734	10	0,022	0,009	59	G	0,88	1,96	2,84
						S	0,92	1,88	2,80
						N	0,96	1,72	2,68

Poskusi s taljeno sintetično žlindro so dali dobre rezultate. Vendar je zaradi zelo visoke cene smiselno uporabljati taljeno sintetično žlindro le takrat, kadar z uporabo te žlindre lahko bistveno skrajšamo šaržo, torej da delamo brez rafinacije ali da pri zelo visokem žveplu v vložku s pomočjo sintetične žlindre še lahko izdelamo predpisano kvaliteto.

Uporaba sintetične žlindre pri normalni rafinaciji in pri načinu dela, kakršnega pri nas sedaj uporabljamo, nima nobene bistvene kvalitete prednosti, nasprotno, stroški so znašali okrog 4 stare dinarje na kg odlitega jekla, kar je odločno preveč.

2. Poskusi odžveplanja z mešanico $\text{CaO} + \text{CaF}_2$ in $\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{CaSi}$

Zaradi visoke cene taljene sintetične žlindre smo poskusili tudi z netaljenimi mešanici naslednje sestave:

	CaO	CaF ₂	CaSi		cena din/kg
1.	85	15	—	%	0,35
2.	68	12	20	%	0,46

Apno in CaSi sta imela zrno pod 3 mm, jedavec pod 1 mm. Mešanico nam je v veliki količini pripravila Industrija apna Kresnice.

Poskuse smo delali z dodatkom 10 in 5 kg/t jekla pri šaržah, ki so bile izdelane z eno žlindro in dvema žlindrama.

Pri vseh poskusih smo polovico uporabljene mešanice zmetali na dno ponve, drugo polovico pa v curek jekla. Mešanica je bila v vrečah 25 do 30 kg. Vse delo smo morali opraviti ročno, kar je pri naših razmerah zelo težko.

Rezultate teh poskusov lahko strnemo v naslednjih zaključkih:

1. Nestaljena sintetična mešanica je bistveno slabša od staljene.

2. Pri šaržah, ki so izdelane z dvema žlindrama in so v peči legirane s Si, lahko pričakujemo določeno stopnjo odžveplanja tudi s tako mešanico, in to od 15 do 50 %, odvisno od sestave (C, Si, Mn).

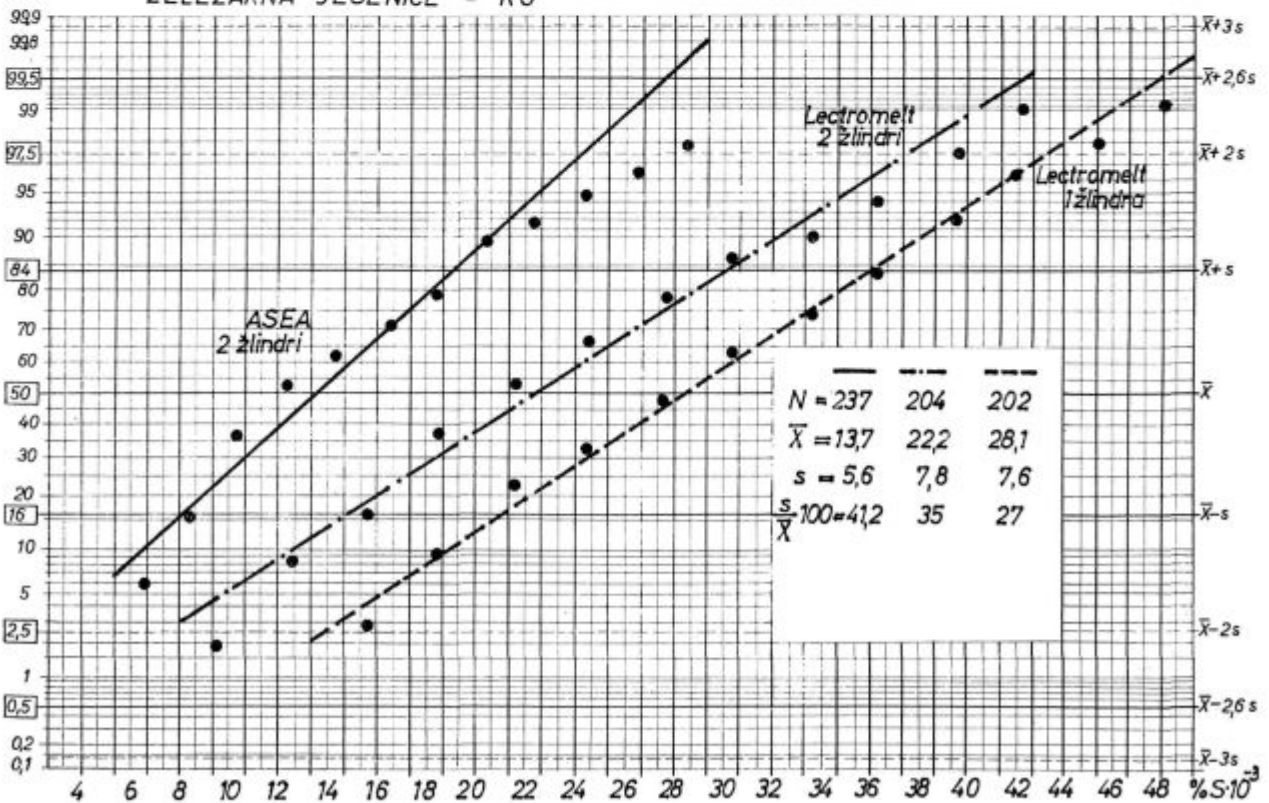
3. Z odžveplanjem lahko računamo tudi, če so šarže izdelane z eno (črno) žlindro, če imajo nad 0,30 % C. Stopnja odžveplanja znaša lahko v tem primeru do 30 %.

4. Pri nizko ogljičnih jeklih, ki so izdelana z eno žlindro, praktično ni odžveplanja med izpustom jekla iz peči v ponev.

NAČIN VODENJA RAFINACIJE IN POGOJI ZA DOBRO ODŽVEPLANJE MED IZPUSTOM JEKLA V PONEV Z LASTNO ŽLINDRO

Uporaba sintetične žlindre za odžveplanje med izpustom jekla ima nekaj slabih strani, zaradi katerih stalna raba ne pride v poštev.

ŽELEZARNA JESENICE - RO



Slika 2

Porazdelitev žvepla v končni sestavi za razne vrste jekla za ASEA in Lectromelt peč

1. Taljena sintetična žlindra, ki je po učinku sicer dobra, je predraga.

2. Ročno dodajanje velikih količin žlindre je prenaporno, mehanizacija dodajanja v naših uteženih razmerah ni možna.

3. Iz posameznih komponent sestavljena sintetična mešanica je sicer cenejša, dodajanje v ponev in v curek je enako težko, učinek pa je znatno slabši kot pri taljeni sintetični žlindri.

Če se zavedamo teh ugotovitev, potem nam ostane za odžveplanje ena sama možnost, in sicer izkoristiti potencialne sposobnosti rafinacijske žlindre, bele ali karbidne, do največje možne mere.

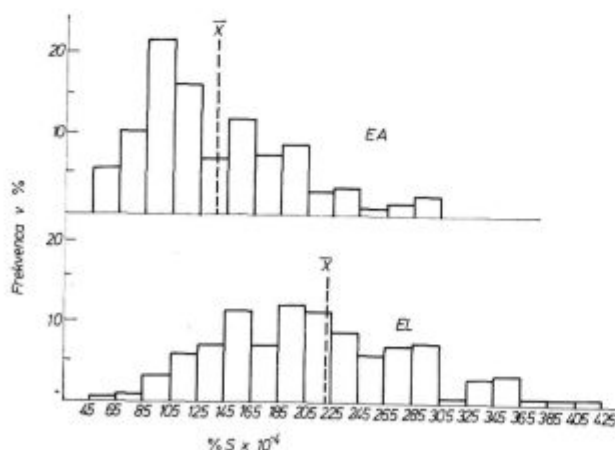
Preprosto povedano gre za to, da v peči izdelamo, potem ko smo posneli oksidacijsko (črno) žlindro in jeklo dezoksidirali z Al (1 kg/t) in FeSi, kvalitetno rafinacijsko žlindro iz apna, jedavca, CaSi in ogljika in jo pri izpustu pustimo skupaj z jeklom ali pred jeklom čim globlje v ponev, da dosežemo dobro odžveplanje.

Teža te žlindre je približno enaka, kot je bila teža taljene sintetične žlindre, to je 10 kg na tono jekla.

Izpolnjen mora biti le en pogoj, in to, prebodna odprtina mora biti dovolj velika, da žlindra lahko teče skupaj z jeklom iz peči.

Pa pogledjmo, kakšne rezultate pri takšnem delu dosežemo!

Na sliki 2 in 3 prikazujemo porazdelitev žvepla v končni sestavi za različne vrste jekla, če so izdelana z dvema žlindrama ali eno žlindro, in sicer posebej za ASEA peč, ki je opremljena z induktivnim mešalcem, in Lectromelt peč, ki je brez mešalca. Induktivni mešalec omogoča pri ASEA peči popolno odstranitev oksidne (črne) žlindre, kar edino zagotavlja, da lahko izdelamo kvalitetno rafinacijsko žlindro s čim manj FeO. Brez induktivnega mešalca na velikih 60 t pečeh, kot sta ASEA in Lectromelt, to ni mogoče. Prednost induktivnega mešalca je za dobro odžveplanje očitna.

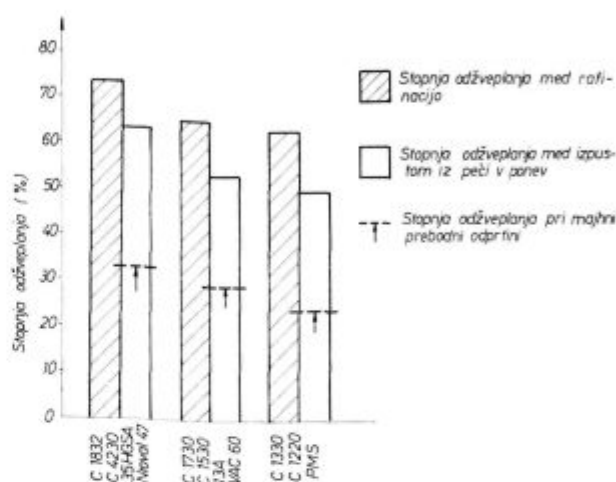


Slika 3

Porazdelitev žvepla pri ASEA peči, ki ima induktivni mešalec (EA) in Lectromelt peči (EL), ki nima mešalca za sarže, ki so izdelane z dvema žlindrama

V tabeli 2 je prikazano nekaj rezultatov odžveplanja za različne vrste jekla v času rafinacije, to je od dodatka rafinacijske žlindre pa do končne probe.

Na sliki 4 prikazujemo stopnjo odžveplanja med celotno rafinacijo in posebej med izpustom jekla, če je prebodna odprtina velika in drugič, če je majhna. Iz slike vidimo, da več kot 80 % skupnega odžveplanja znaša prav odžveplanje med izpustom jekla in da je odžveplanje med izpustom jekla za polovico slabše, če ni dobrega mešanja jekla in žlindre.

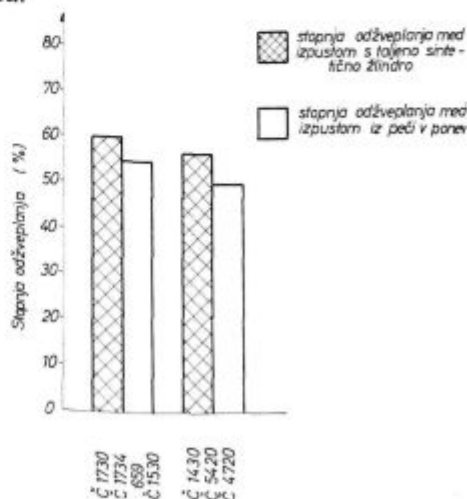


Slika 4

Primerjava celotne stopnje odžveplanja med rafinacijo z odžveplanjem med izpustom jekla pri veliki in majhni prebodni odprtini

Na sliki 5 pa prikazujemo stopnjo odžveplanja med izpustom jekla iz peči v ponev z dodatkom taljene sintetične žlindre v ponev in curek v primerjavi z normalno stopnjo odžveplanja med izpustom jekla.

Očitno je, da je prednost, ki jo dosežemo s taljeno sintetično žlindro, tako majhna, da se ne izplača.



Slika 5

Primerjava stopnje odžveplanja med izpustom jekla s taljeno sintetično žlindro in stopnjo odžveplanja med izpustom z lastno rafinacijsko žlindro

Tabela 2 — Prikaz stopnje odžveplanja in končnega žvepla pri različnih vrstah jekla.

Kvalite- ta	Žveplo v končni analizi		Odžveplanje med rafinacijo v %		SESTAVA			Število podat- kov
	\bar{X} $\times 10^{-3} \% S$	S $\times 10^{-3} \% S$	\bar{X}	S	C $\times 10^{-2} \%$	Si $\times 10^{-2} \%$	Mn $\times 10^{-2} \%$	
Č 1832	9,1	2,4	73,0	6,5	72 - 80	30 - 40	60 - 70	20
Č 4230	7,9	2,5	71,2	5,2	62 - 72	120 - 140	40 - 50	20
Č 1220	13,2	4,7	61,1	14,7	12 - 16	20 - 30	30 - 40	20
Č 1330	11,8	2,5	65,6	15,5	20 - 25	20 - 30	40 - 50	5
Č 1530	11,6	4,1	64,9	11,1	44 - 50	20 - 30	60 - 70	20
Č 1730	10,5	3,4	65,5	11,3	59 - 65	20 - 30	60 - 70	20
VAC 60	10,8	2,9	64,8	12,0	8 - 10	80 - 100	155 - 170	20
HP 5	11,4	5,2	54,4	17,8				10
HPA 10	9,1	3,7	65,4	12,6	20 - 27	90 - 110	110 - 130	16
13A	9,5	3,5	67,3	9,2	63 - 68	15 - 35	50 - 60	20
PMO	10,4	3,4	63,8	10,0	65 - 75	20 - 30	75 - 100	9
PMS	17,0	4,1	43,6	15,0	15 - 20	max 8	25 - 50	20

ZAKLJUČEK

Celoten problem odžveplanja jekla pri doseganju strogih zahtev za jekla za trakove lahko skrcimo na naslednje:

1. S pravilnim vodenjem rafinacije na peči, ki ima induktivni mešalec, lahko dosegamo dovolj nizka žvepla, če ob koncu sestavimo z dodatki jedavca, ogljika in CaSi dobro žlindro in če poskrbimo, da se žlindra med izpustom jekla v ponev z jeklom dobro meša.

2. Od trdne sintetične žlindre je dovolj učinkovita le taljena sintetična žlindra, saj zagotavlja od 50 do 60 % odžveplanje.

Zaradi visoke cene pa bi bila uporaba upravičena le, če bi rafinacijo močno skrajšali ali če bi delali brez nje.

Ker pa je mehanizacija dodajanja žlindre v curek težavna, je to tudi razlog proti uporabi sintetične žlindre za odžveplanje jekla.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein zu hoher Schwefelgehalt im Stahl, das zu Bändern gewalzt wird, ist schädlich. Die negativen Folgen zu grosser Menge an plastischen sulfidischen Einschlüssen zeigen sich vor allem:

1. im schlechten Biegetest in der Querrichtung
2. in starker Zeilenstruktur, die vor allem bei Vergütungsstählen die Durchhärbarkeit verschlechtert. Der Bruch weist eine Holzfaserstruktur auf und neigt zu spalten.

Alle Stahlsorten, die aus angewendeten Gründen nur kleine Schwefelgehalte enthalten dürfen, werden in Elektroöfen erzeugt.

Bei der Suche nach einem Verfahren das Schwefel schnell und billig zu entfernen, haben wir auch umfangreiche Versuche zur Entschwefelung mit einer geschmolzenen synthetischen Schlacke aus CaO und Al_2O_3 , eutektischer

Zusammensetzung im festen Zustand und mit einer Mischung aus $CaO + CaF_2$ und $CaO + CaF_2 + CaSi$ durchgeführt. Die Versuche zeigten, dass bei Stählen, die im Zweischlackenprozess erzeugt worden sind und mit einer Menge von 10 kg Schlacke pro Tonne behandelt worden sind, ein Entschwefelungsgrad bis zu 60 % zu erzielen ist. Die Schlacke ist teilweise in die Pfanne und der Rest in den Stahlstrahl beim Abstich zugegeben worden.

Der Nachteil der geschmolzenen festen synthetischen Schlacke ist vor allem hoher Preis.

Die Anwendung ist deshalb nur berechtigt, wenn die Refinationszeit stark verkürzt wird, oder ohne dieser der Stahl abgestockt wird.

Die Entschwefelung mit der Mischung aus $CaO + CaF_2$ und $CaO + CaF_2 + CaSi$, wenn diese in die Pfanne und in den Stahl zugegeben wird, ist viel schlechter und wirksam nur über 0.30 % C im Stahl.

SUMMARY

Die beste Entschwefelung beim Zweischlackenprozess wird erreicht, so dass mit einer gerechten Refinationsführung die Schlacke vor dem Abstich mit CaF_2 , CaSi und C behandelt wird, und so abgestochen wird dass eine intensive Mischung mit dem Stahl erreicht wird. Auf diese Art wird eine Entschwefelung bis 65 % auf eine billigere und einfachere Art erreicht.

Wenn der Abstichloch zu klein ist und ein intensives Mischen der Schlacke mit dem Stahl nicht gewährleistet wird, wird der Entschwefelungsgrad um die Hälfte kleiner.

Too high sulphur content in steels for strips is harmful. The excess amount of sulphide inclusions causes

1. bad bending in transverse direction,
2. heavy banded structure which reduces the through hardenability mainly in steels for hardening and tempering. Fracture has fibrous appearance, the strip slits.

All the steels which must contain low sulphur are manufactured in electric furnaces.

Investigations to find the fastest and cheapest way of reducing sulphur in the furnace led to numerous

desulphurisation tests using melted slag of CaO and Al_2O_3 with eutectic composition being in solid state, and with the mixtures $\text{CaO} + \text{CaF}_2$ and $\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{CaSi}$. Experiments showed that 60 % desulphurisation can be obtained with steels manufactured by a double-slag process, using 10 kg slag per ton steel. The slag was partially added into the ladle, and partially into the steel jet during tapping.

The disadvantage of the melted synthetic slag is its high price and use is justified only when refining time is highly reduced or the steel is not refined at all.

Desulphurisation by $\text{CaO} + \text{CaF}_2$ and $\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{CaSi}$ mixtures added into the ladle and jet is considerably lower and effective only with steels having over 0.30 % C .

The best desulphurisation in the double-slag process is obtained by correct refining with a good refining slag which is at the end treated by CaF_2 and CaSi and C and tapped so that it is intensively mixed with the steel in the ladle. Thus even 65 % desulphurisation can be obtained in a considerably cheap and simple way. If the tapping hole is too small that steel and slag do not mix desulphurisation is half lower.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для прокатки полос чрезмерное содержание серы в стали нежелательно и вредно. Отрицательные последствия чрезмерного количества сульфидных включений заключается главным образом в плохом изгибе в поперечном направлении и значительной строичной структуры, которая главным образом при сортах стали для улучшения, уменьшает прокаливаемость. Структура излома древесноволокнистая, наступает расщепление полос.

Все сорта стали, которые из упомянутых причин должны содержать лишь незначительное количество серы, производить в электрических печах.

Чтобы получить самый быстрый и самый дешёвый способ выделки стали с низким содержанием серы, выполнили широкий ряд опытов десульфурации с синтетическим расплавленным шлаком состоящий из $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$, эвтектического состава в твёрдом состоянии и смеси $\text{CaO} + \text{CaF}_2$ с $\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{CaSi}$. Опыты показали, что при добавке 10 кг шлака на тонну стали можно сталях произведенных с двумя шлаками получить уменьшение серы до 60 %.

Шлак добавали частично в ковш, частично в струю стали во время выпуска стали из печи. Слабая сторона способа заключается главным образом в дорогом расплавленным синтетическим шлаке; поэтому применение способа оправдывается только при очень большом сокращении рафинирования стали или, ещё лучше, совсем без рафинирования. Обессеривание с смесью $\text{CaO} + \text{CaF}_2$ и $\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{CaSi}$ при добавке в ковш и в струю стали гораздо слабее и эффективно лишь при сталях с содержанием свыше 0.30 % C .

Самую эффективную десульфурацию стали с двумя шлаками можно получить при помощи качественного рафинированного шлака, полученного правильным рафинированием. К концу процесса шлак обрабатывали с CaF_2 и CaSi и C , выпуская его из печи при интенсивном перемешивании с расплавом стали. Этим, весьма простым и дешёвым способом можно получить десульфурацию стали до 65 %. В случаи, если выпускное отверстие недостаточно велико, то перемешивание шлака и стали во время выпуска не удовлетворяет требованию, и эффект десульфурации на половину меньше.

Bogdan Stocca

UVOD

Članek obravnava številne faktorje, ki vplivajo na mehanske in tehnološke lastnosti jekel za globoki vlek. Opisani so vplivi elementov v jeklu, vplivi vroče in hladne predelave ter vplivi staranja na omenjene lastnosti.

Naj bo naloga tega članka vsaj delno pojasniti, kakšna so ta jekla, kakšne mehanske in tehnološke lastnosti imajo, kaj lahko vpliva na njihovo večjo ali manjšo preoblikovalno sposobnost v hladnem in končno, kaj lahko od teh jekel pričakujemo.

Jekla za globoki vlek, ki se na tržišču pojavljajo predvsem v obliki hladno valjanih trakov, se izdelujejo v Siemens- Martinovih pečeh in v konvertorjih, predvsem po LD postopku.

Glede na način izdelave se ta jekla delijo v pomirjena in v nepomirjena. Kakor bomo kasneje videli, so lastnosti teh jekel v marsičem odvisne prav od načina izdelave. Pravimo, da so pomirjena jekla kvalitetnejša od nepomirjenih. Vzroke za to moramo iskati v večji čistoči jekla, v večji strukturni homogenosti in v enakomerniši razporeditvi spremljajočih elementov.

Ce se nekovinski vključki, ki jih srečamo v slehernem jeklu nahajajo v večjih količinah in v neprimernih obliki, zelo kvarno vplivajo na kvaliteto jekla. Največ vključkov zasledimo gledano po preseku, v sredini valjanih proizvodov, medtem ko so njihove površine zelo čiste. Še več, njihova koncentracija se, posebno pri nepomirjenih jeklih, spreminja tudi po dolžini hladno valjanih trakov. Tako zasledimo praviloma prekomerno količino vključkov na tistih delih trakov, ki pripadajo zgornjemu delu odlitkov, in manjšo na tistih delih trakov, ki pripadajo spodnjemu delu odlitkov. Vzroke za to nehomogenost moramo iskati v načinu izdelave in strjevanja teh jekel.

Iz hladno valjanih trakov, oziroma iz pločevine se izdelujejo s preoblikovanjem v hladnem najraz-

ličnejši predmeti, kot so ohišja za pralne stroje, ohišja za električne števec, žarometi, avtomobilske karoserije itd.

V železarni Jesenice izdelujemo dvoje vrst jekel, katerih smerno sestavo elementov predpisuje jugoslovanski standard C.B4.016, (glej tabelo I), smerne mehanske in tehnološke lastnosti pa standard C.B3.521. To sta jekli Č 0147 v nepomirjeni obliki in Č 0148 v pomirjeni obliki.

Vpliv legirnih elementov

Vsaka prekomerna količina elementov v jeklih za globoki vlek negativno vpliva na njihovo plastičnost. Prav zaradi tega dejstva mora biti vsebnost nekaterih elementov, razen mangana, kar se da nizka. V teh jeklih vsi prisotni elementi tvorijo z železom zmesne feritne kristale ali pa tvorijo spojine, kot so karbidi, nitridi, sulfidi itd. Poznano je, da so številni avtorji s preizkusi dokazali, da meja plastičnosti, ki vpliva na globoki vlek, skoraj linearno narašča z naraščajočo količino elementov, posebno če so ti raztopljeni v feritu.

Najvplivnejši element v jeklih za globoki vlek je ogljik zaradi njegovega vpliva na mehanske in tehnološke lastnosti. Glej slike 21 in 22. Njegova vsebnost se običajno giblje med 0,03—0,08 %. Manjšo količino ogljika srečamo le pri tistih jeklih za globoki vlek, ki se uporabljajo za enoslojno emajliranje. Večja vsebnost ogljika od 0,08 % pa kvarno vpliva na globoki vlek.

Ogljik se pri sobni temperaturi nahaja v jeklu skoraj izključno vezan v perlit ali v cementit. Prikazali bomo nekaj primerov. Slika 1 prikazuje normalizirano strukturo jekla, v kateri so vidna homogena feritna zrna in fina ter homogena razpršena zrna perlita.

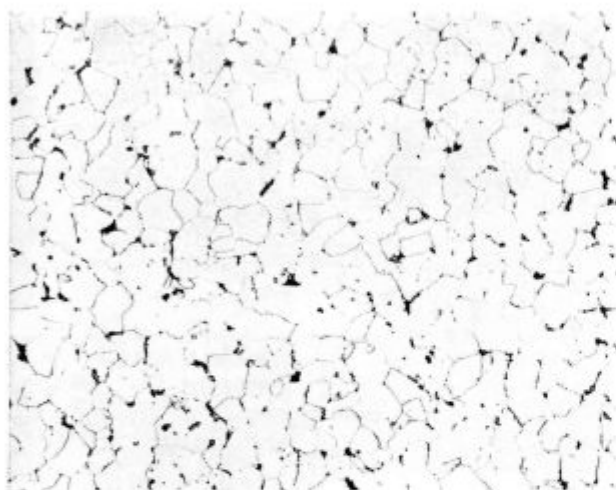
Slika 2 pa prikazuje normalno feritno strukturo z zrnatim cementitom, ki je nastal po rekristalizacijskem žarjenju.

Tabela I

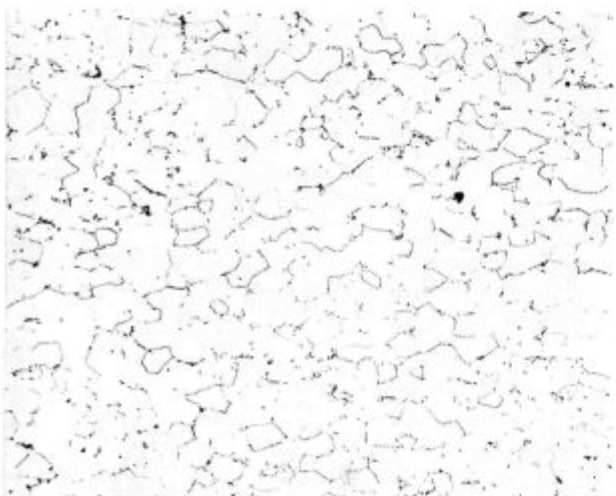
Kvaliteta	Sestava elementov v %					
	C	Si	Mn	P	S	Al
Č 0147	≤ 0,1	≤ 0,2	0,2—0,45	≤ 0,045	≤ 0,045	—
Č 0148	≤ 0,1	≤ 0,2	0,2—0,45	≤ 0,030	≤ 0,045	cca 0,05

Bogdan Stocca je diplomirani inženir metalurgije in višji strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice

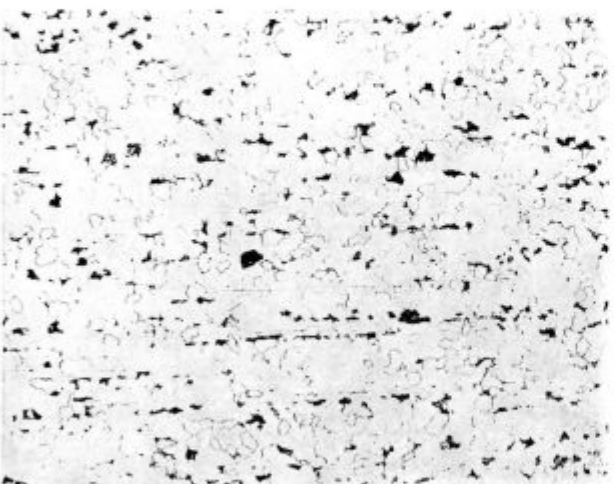
Kot posledica nepravilnega valjanja ali zaradi nečistoč se perlit lahko razporedi v trakove, katerih obliko prikazuje slika 3.



Slika 1
Feritno perlitna struktura — 100 ×



Slika 2
Struktura ferita z zrnatim cementitom — 100 ×



Slika 3
Trakasta razporeditev perlita — 100 ×

Slika 4 pa prikazuje strukturo s trakastim zrnatim cementitom, ki je nastala iz trakasto razporejenega perlita, po rekristalizacijskem žarjenju

Zelo sta škodljivi tudi obliki terciarnega cementita (slika 5) in oblika degeneriranega perlita (slika 6). Terciarni cementit nastane kot posledica nepravilne vroče predelave, oziroma nepravilne temperature žarjenja, degeneriran perlit pa kot posledica nepravilne temperature vroče predelave.



Slika 4
Trakasta razporeditev zrnatega cementita — 100 ×



Slika 5
Terciarni cementit — 100 ×

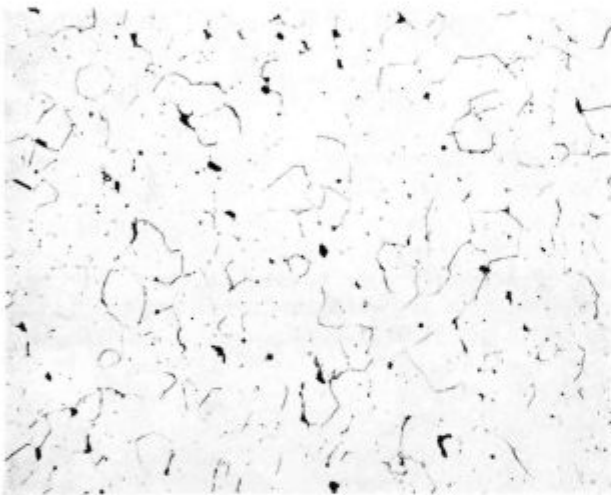
Glede na to, da so izceje ogljika na zgornjem delu blokov večje, lahko naletimo pri nepomirjenih jeklih, oziroma trakovih na dve po vsebnosti perlita popolnoma različni strukturi, odvisni pač od tega, kateremu delu blokov trakovi pripadajo. Na sliki 7 je razvidna struktura toplovaljanih trakov, ki pripada spodnjim delom blokov, na sliki 8 pa struktura z veliko količino perlita v trakasti obliki, ki pripada zgornjim delom blokov. Gledano po preseku se ta trakasti perlit nahaja v večjih



Slika 6
Degeneriran perlit — 100 ×



Slika 8
Struktura z veliko količino perlita — 100 ×



Slika 7
Struktura z malo perlita — 100 ×



Slika 9
Naogljčena sredina — 100 ×

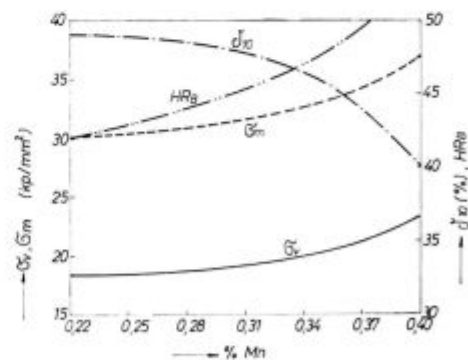
količinah le v sredini po debelini trakov, medtem ko imajo plasti na zunanjih površinah normalno količino in razporeditev perlita. Tako razporeditev imenujemo naogljčena sredina.

Slika 9 pa prikazuje strukturo naogljčene sredine po hladnem valjanju in po rekristalizacijskem žarjenju. Zunanje plasti so skoraj brez cementita, medtem ko je sredina močno naogljčena.

Ker je ta neenakomerna razporeditev perlita predvsem poudarjena pri nepomirjenih jeklih, je jasno, da bodo pri teh jeklih mehanske in tehnološke lastnosti podvržene močnemu nihanju.

Silicij je element, ki je v nepomirjenem in v pomirjenem jeklu za globoki vlek zelo nezaželen. Ta element ima to slabo lastnost, da močno dvigne trdnost in posebno mejo plastičnosti ter da poslabša sposobnosti jekla za globoki vlek. Silicija naj ne bi bilo v jeklu več kot 0,03 %.

Tretji zelo pomemben element v teh jeklih je mangan. Vsebnost mangana se giblje med 0,28 in



Slika 10
Vpliv mangana na mehanske lastnosti

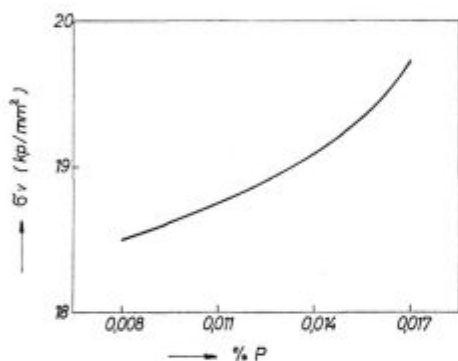
0,45 %. Njegov vpliv je raznolik. V jeklu se veže na žveplo in kisik ter tvori nekovinske vključke.

Del mangana se substitucijsko raztoplja v feritu. Vpliv tega raztopljenega mangana na mehanske lastnosti rekristalizacijsko žarjenih trakov prikazuje diagram na sliki 10.

Vse ostale elemente, ki se nahajajo v jeklu, smatramo kot nečistoče, razen seveda aluminija, ki ga namerno dodajamo pomirjenemu jeklu za globoki vlek. Zaradi navedenega je zaželeno, da je teh škodljivih elementov v jeklu čim manj. Vse norme zato predpisujejo za nekatere od teh elementov njihovo maksimalno dovoljeno vsebnost.

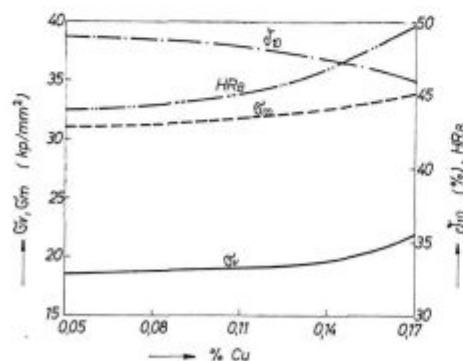
Med vsemi temi elementi izstopa žveplo, ki močno poslabša plastične lastnosti pomirjenih in nepomirjenih jekel. Žveplo tvori podolgovate lasnate sulfidne vključke, ki so razpotegnjeni v smeri deformacije. Posebno nevarno je žveplo pri nepomirjenih jeklih zaradi blokovnih izcej. Vsebnost žvepla naj ne bi pri obeh jeklih presegala vrednost 0,025 %.

Zelo nezaželen element v jeklu je tudi fosfor, katerega vsebnost naj bi bila manjša od 0,020 %. Fosfor poslabša mehanske lastnosti rekristalizacijsko žarjenih trakov. Njegov vpliv na mejo plastičnosti je prikazan v diagramu slike 11.



Slika 11
Vpliv fosforja na mejo plastičnosti

Kakor je iz slike 12 razvidno, poslabša baker mehanske lastnosti rekristalizacijsko žarjenih trakov. Menimo, da baker vse do vsebnosti 0,15 % nima bistvenega vpliva na globoki vlek, vendar le pod pogojem, da jeklo ne vsebuje istočasno več kot 0,30 % Mn. Baker je tako kot nikelj raztopljen v feritni osnovi.

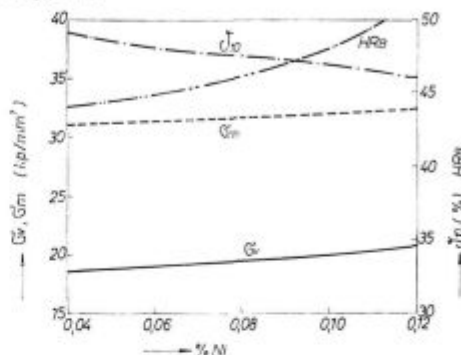


Slika 12
Vpliv bakra na mehanske lastnosti

Približno enak vpliv na mehanske lastnosti in na plastičnost kot baker ima še nikelj, katerega koli-

čina v jeklu naj ne bi presegala vrednosti 0,08 %. Vpliv niklja na mehanske lastnosti žarjenih trakov prikazuje diagram na sliki 13.

Arzen in kositer tudi smatramo za škodljiva elementa, čeprav nastopata v zelo majhnih količinah. Oba elementa sta delno topna v feritu in zato poslabšata mehanske lastnosti jekel za globoki vlek. Kot posebno škodljiv se smatra kositer. Kositra naj bi bilo v jeklu največ 0,020 %, arzena pa največ 0,03 %.



Slika 13
Vpliv niklja na mehanske lastnosti

Aluminij zasledimo le pri kvaliteti Č 0148, in to v količinah, ki se gibljejo v mejah 0,03 — 0,06 %. Aluminij se nahaja v jeklu delno v obliki nekovinskih vključkov, delno pa raztopljen v feritu.

Za preprečitev pojavov staranja dodajajo nekaterim jeklom za globoki vlek namesto aluminija vanadij, ki se podobno kot aluminij veže na dušik in tvori obstojni VN. V bistvu so to nepomirjena jekla za globoki vlek.

Nekaterim jeklom za globoki vlek, ki so bila namenjena za emajliranje, so včasih dodajali titan, vendar se ta jekla več ne izdelujejo. Zamenjala so jih razogljivena jekla z manj kot 0,005 % C.

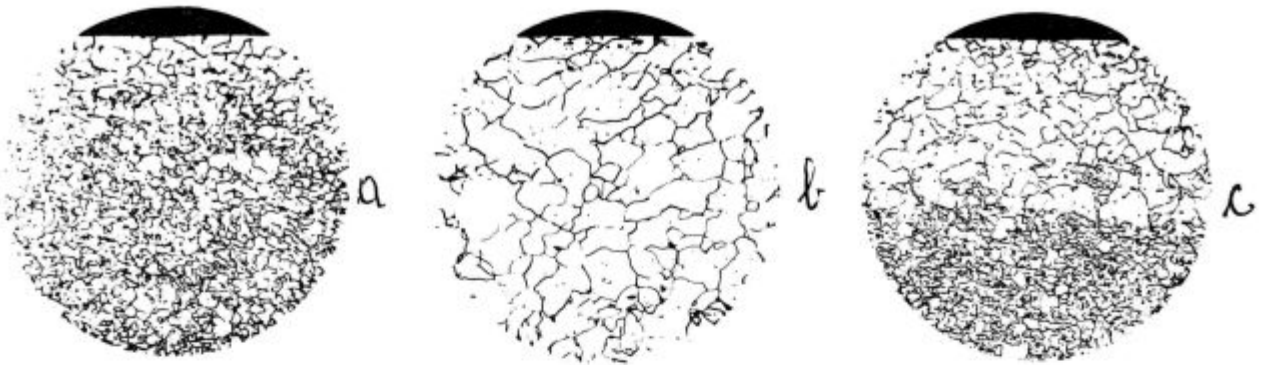
Na koncu opisa vpliva elementov na mehanske lastnosti obravnavanih jekel navajamo še tabelo II, ki nam prikazuje maksimalne dovoljene vrednosti kisika, vodika in dušika. Nekatero normo predpisujejo maksimalno količino teh elementov (Japonska, ZDA) zato, da bi tem jeklom zagotovile maksimalno plastičnost v hladnem stanju.

Tabela II

Kvaliteta jekla	Vsebnost elementov v %		
	O ₂	H ₂	N ₂
Nepomirjena	0,02—0,03	0,0002—0,0004	0,001—0,002
Pomirjena	0,01—0,02	0,0002—0,0004	0,002—0,003

Topla predelava

Nič manj pomembna kot izdelava jekla, oziroma kot vsebnost elementov je vroča predelava. Za doseganje dobrih mehanskih lastnosti in lastnosti globokega vleka hladno valjanih trakov je izredno pomembna končna temperatura valjanja in tempe-



Slika 14

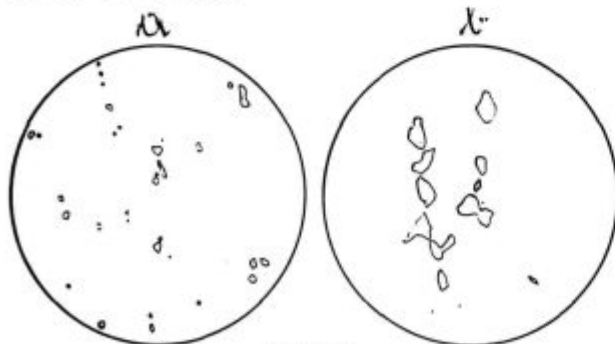
Vpliv temperature valjanja nad ali pod A_c na velikost feritnega zrna — 100 ×

ratura navijanja toplo valjanih trakov. Obe temperaturi imata namreč odločujoč vpliv na strukturo materiala. Pri vročem valjanju ni glede na končno temperaturo valjanja trakov nobenih razlik med pomirjenimi in nepomirjenimi jekli za globoki vlek. Ta temperatura se mora gibati nad 870°C , valjanje se mora torej prenehati nad točko Ar 3. Če prenehamo z valjanjem v čistem avstenitu, nastanejo po velikosti zelo homogena feritna zrna, seveda pod pogojem, da navijamo kolobarje pri temperaturah pod 670°C . Slika 14a.

Valjanje globoko pod kritično temperaturo, torej v območju dveh faz, pa pušča v materialu določene napetosti, zaradi katerih nastanejo pri rekristalizacijskem žarjenju groba zrna. Če se deformacija vrši pri prenizkih temperaturah in če je deformacija dovolj velika, nastanejo groba zrna po celem preseku (slika 14 b), če pa je manjšega obsega, pa nastanejo groba zrna le na zunanjih površinah trakov (slika 14 c).

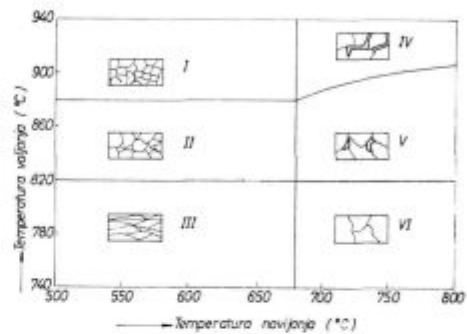
Višina končne temperature valjanja in temperature navijanja vplivata tudi na razporeditev in na velikost karbidnih zrn. Tako nastanejo pri končni temperaturi valjanja nad 870°C in temperaturi navijanja pod 670°C v rekristaliziranem traku drobni in homogeno razpršeni karbidi (slika 15 a), pri isti končni temperaturi valjanja in temperaturi navijanja nad 670°C pa grobi karbidi (slika 15 b).

Diagram na sliki 16 grafično prikazuje za obe vrsti jekel strukture, ki jih dosežemo pri različnih temperaturah valjanja in navijanja toplo valjanih trakov v kolobarje.



Slika 15

Vpliv temperature navijanja na velikost cementitnih zrn — 100 ×



Slika 16

Vpliv temperature valjanja in navijanja na strukturo

I — Enakomerna velikost zrn ferita z drobnim izločenim cementitom

II — Neenakomerna velikost zrn ferita. Na površini so zrna ferita večja

III — Razpotegnjena zrna ferita zaradi valjanja pri prenizkih temperaturah

IV — Enakomerno groba zrna ferita z grobimi zrnimi cementita

V — Neenakomerna zrna ferita z zelo grobimi zrnimi na površini in grobim cementitom

VI — Prekomerno groba zrna ferita.

Iz vsega navedenega je jasna pomembnost temperatur valjanja in navijanja.

Pri ohlajevanju trakov po valjanju se zaradi načina ohlajevanja (vodne prhe) površina mnogo hitreje ohlaja od sredine (debeline) trakov. Ker pa mora temperatura po celem preseku pasti pod prej navedeno kritično temperaturo ohlajevanja in ker se pri valjanju v bistvu meri le temperatura ohlajene površine, se morajo trakovi (v resnici površina trakov) dejansko ohlajevati na mnogo nižje temperature. V obratnem slučaju bi obstajala nevarnost, da bi se trakovi, ko bi bili naviti v kolobarje, zaradi višje akumulirane toplote trakov (višje temperature sredine) ponovno ogreli nad kritično temperaturo, kar bi imelo za posledico poslabšanje strukture.

Pomirjeni trakovi pa se morajo zelo hitro ohladiti na temperaturno območje 550°C tudi zaradi preprečevanja izločanja AlN. Kakor bo kasneje raz-

vidno, imajo aluminijevi nitridi odločujočo vlogo pri oblikovanju feritnih zrn, ki nastanejo pri rekristalizacijskem žarjenju hladno valjanih trakov.

Končna temperatura valjanja in navijanja močno vplivata tudi na mehanske lastnosti toplo valjanih trakov. S padajočo temperaturo valjanja (pri konstantni temperaturi navijanja) in padajočo temperaturo navijanja (pri konstantni temperaturi valjanja), naraščata meja plastičnosti in trdnost, pada pa raztezek. Naslednja tabela prikazuje te vrednosti v odvisnosti od navedenih temperatur za jeklo z 0,07 % C in 0,35 % Mn.

Tabela III

Temperatura °C		σ_s	σ_n	δ_{10}	δ_2	HRB
konec valjanja	navijanja	Kp/mm ²	kp/mm ²	%	%	
Vplivi temperature valjanja						
800	540	31,5	42,0	26,9	35,1	63
820	540	29,7	41,1	27,8	35,9	63
850	550	27,5	37,1	29,1	37,1	61
880	540	26,0	36,0	31,2	39,3	59
Vplivi temperature navijanja						
870	550	26,4	36,2	31,0	38,6	60
880	610	25,0	34,9	31,5	39,3	57
880	650	23,4	33,7	33,1	40,1	54
880	710	21,1	31,0	34,0	43,1	52

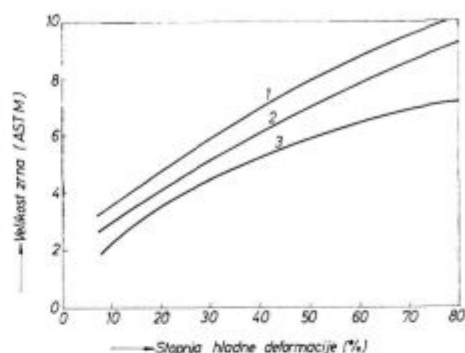
Luženje

Toplo valjane trakove pred hladnim valjanjem obvezno lužimo. Produkti oksidacije se lahko odstranjujejo na različne načine, vendar se toplo valjani trakovi skoraj praviloma lužijo v 10 do 15 % HCl kislini pri temperaturah 70–80° C ali v 15–20 % H₂SO₄ kislini pri temperaturah 90–95° C. Čas luženja v navedenih kislinah ne sme biti večji od 60 sekund, seveda pod pogojem, da je bila pri vročem valjanju odstranjena z brizganjem (120 atm.) vsa primarna in sekundarna škaja. Na kvaliteto in debelino šlake in s tem na hitrost odstranjevanja šlake pa močno vpliva tudi temperatura navijanja toplo valjanih trakov. Pri končni temperaturi valjanja 880° C in pri temperaturi navijanja 550° C znaša debelina šlake cca 14 μ .

Hladno valjanje

Namen hladnega valjanja ni le v tem, da se doseže zaželena debelina in ožje dimenzijske tolerance ter gladka površina trakov, temveč tudi, da dobijo trakovi s primerno stopnjo deformacije in z rekristalizacijskim žarjenjem ter poznejšim dresiranjem strukturo, ki naj bi zagotavljala čim višjo stopnjo preoblikovanja v hladnem.

Med mikro strukturo toplo in hladno valjanih trakov obstaja določena zveza. Kakor je iz naslednjega diagrama razvidno (slika 17), je velikost rekristaliziranega feritnega zrna hladno valjanih trakov odvisna od stopnje hladnega valjanja in od izhodne velikosti zrn toplo valjanih trakov.



Slika 17

Krivulja 1 izhodna velikost zrn ferita po ASTM 8
Krivulja 2 izhodna velikost zrn ferita po ASTM 7
Krivulja 3 izhodna velikost zrn ferita po ASTM 6

Iz navedenega diagrama je razvidno, da cca 50 % deformacija nima bistvenega vpliva na spremembo velikosti izhodnega zrna toplo valjanih trakov. Večji vpliv na velikost zrna zaznamujemo pri višjih stopnjah deformacije, in to v smeri dobivanja finejšega zrna in pri nižjih stopnjah deformacije v smeri dobivanja bolj grobega feritnega zrna.

Obnašanje perlita pri hladnem valjanju je odvisno od njegove oblike in razporeditve v toplo valjanih trakovih. Tako bodo ostala groba perlitna zrna, ki imajo kepasto obliko, po deformaciji skoraj nedotaknjena, medtem ko se bo perlit, ki je izločen po kristalnih mejah, pri hladni deformaciji drobil in razporedil v smeri valjanja.

Hladno valjanje vpliva tudi na obliko vključkov. Tako se razpotegnjeni sulfidni vključki pri hladnem valjanju drobijo in jih zato v strukturi hladno valjanih trakov težko opazimo. Kljub temu pa ostajajo ti vključki izredno škodljivi za globoki vlek. Kepasti oksidni vključki pa obdržijo, v kolikor niso preveč veliki, po hladnem valjanju svojo prvotno obliko.

Hladno valjanje močno vpliva na mehanske lastnosti trakov. Tako z naraščajočo stopnjo deformacije narašča trdnost, pada pa raztezek. V tabeli IV so navedene vrednosti za določeno stopnjo hladnega utrjevanja, ki jih okvirno predpisujejo standardi JUS C.B3.521.

Zarjenje hladno valjanih trakov

Po hladnem valjanju, če ni drugače zahtevano, se trakovi rekristalizacijsko žarijo. Najpogosteje se tesno naviti ali odmotani kolobarji (open coils) žarijo v zvonastih pečeh in to v zaščitnih atmosferah.

Tabela IV

Stopnja utrjevanja		$\sigma_{0.2}$ kp/mm ²	δ_{10} %	Stopnja deformac. %	Erichsen (mm) za 0.75 mm
predelava	kvaliteta				
mehko žarj.	HT 28	28 — 40	≥ 25	—	C 0147 ≥ 9.73 C 0148 ≥ 10.3
ojačano	HT 30	30 — 42	≥ 23	0,5 — 3,0	— || —
$\frac{1}{8}$ trdo	HT 32	32 — 44	≈ 16	1 — 20	ni zahtevan
$\frac{1}{4}$ trdo	HT 40	40 — 50	≈ 10	12 — 30	ni zahtevan
$\frac{1}{2}$ trdo	HT 45	45 — 55	≈ 5	20 — 40	ni zahtevan
$\frac{3}{4}$ trdo	HT 55	55 — 65	≈ 3	40 — 70	ni zahtevan
trdo	HT 60	≥ 60	≈ 2	≥ 65	ni zahtevan

Tehnologija žarjenja pomirjenih in nepomirjenih hladno valjanih trakov je običajno različna. Po enem postopku ogrevamo trakove počasi in kontinuirno do temperature žarjenja 680° C, po drugem, tako imenovanem stopničastem postopku, pa ogrevamo material najprej do temperature 600° C, ga zadržujemo na tej temperaturi in ga nato ogrevamo do temperature 680° C. Po končanem žarjenju se trakovi počasi ohlajajo v peči. Po prvem postopku se žarijo nepomirjeni in lahko tudi pomirjeni trakovi, po drugem postopku pa le pomirjeni trakovi jekel za globoki vlek.

Struktura, ki jo dobimo po kontinuirnem postopku nepomirjenih jekel, je razvidna na sliki 18, struktura po stopničastem postopku pa na sliki 19 in 20.

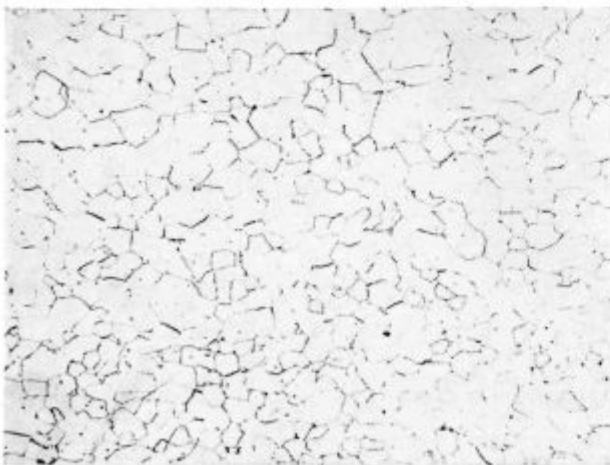
Razpotegnjena feritna zrna, ki so najbolj prikladna za globoki vlek, nastanejo, kakor je bilo že

rečeno, kot posledica prisotnosti AlN v pomirjenem jeklu. Pri tej strukturi naj bi bilo razmerje med dolžino in širino zrna 3—4 : 1.

Mehanski rezultati rekristalizacijsko žarjenih trakov so odvisni v precejšnji meri tudi od stopnje hladne deformacije in od vsebnosti ogljika v jeklu. Potek teh lastnosti za nepomirjeno jeklo v odvisnosti od navedenih parametrov podajata sliki 21 in 22.

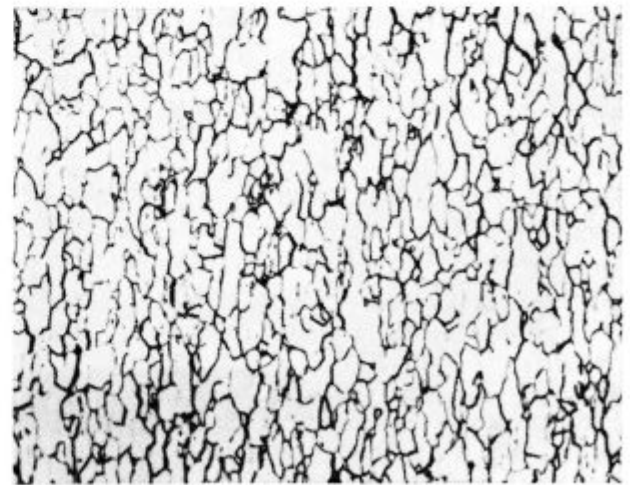
Dresiranje

Po končanem zadnjem rekristalizacijskem žarjenju imajo trakovi pomirjenih in nepomirjenih jekel zelo ugodne mehanske lastnosti in odlični globoki vlek. Vendar se tako obdelani trakovi skoraj praviloma dresirajo z namenom, da bi dosegli



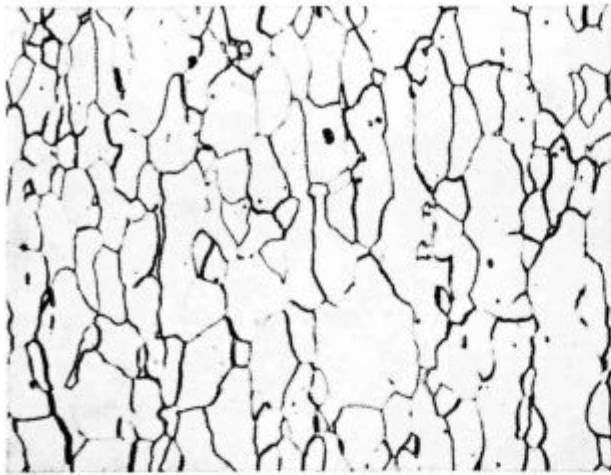
Slika 18

Rekristalizirana struktura nepomirjenega jekla — 100 ×

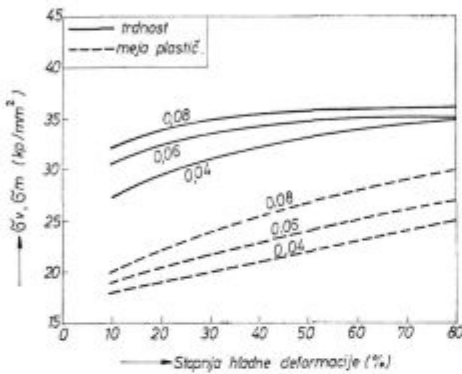


Slika 19

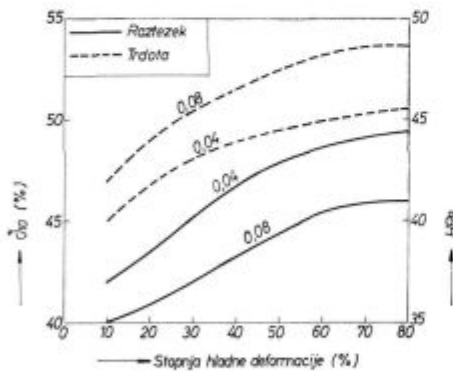
Rekristalizirana struktura pomirjenega jekla — 100 ×



Slika 20
Rekristalizirana struktura pomirjenega jekla — 500 ×



Slika 21
Vpliv stopnje deformacije in vsebnosti ogljika na mejo plastičnosti in trdnost



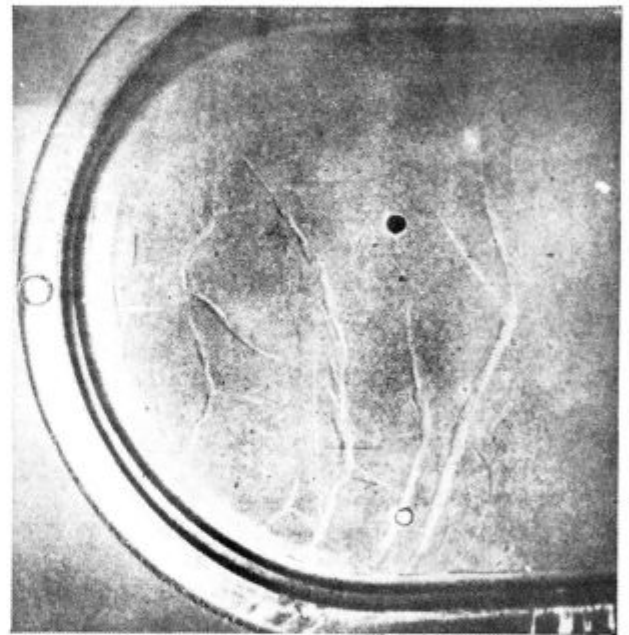
Slika 22
Vpliv stopnje deformacije in vsebnosti ogljika na raztezek in trdoto

čim bolj gladko površino trakov, da bi preprečili prepogibanje površine »klecanje« in da bi se izognili pojavom lezenja pri globokem vleku.

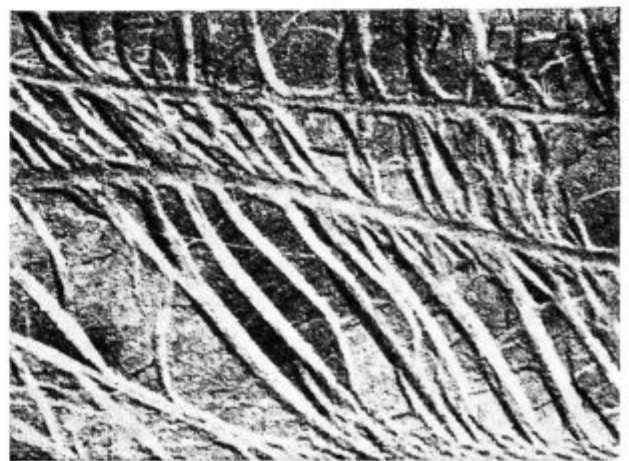
Prepogibanje ne vpliva na mehanske in druge lastnosti trakov, je pa nezaželeno. Prepognjena mesta so z očesom zelo vidna, tako da izredno vplivajo na videz površine trakov, kakor tudi na videz površine preoblikovanih in izdelanih predmetov, posebno tistih, ki se galvanjsko prevlečejo. Ta

prepognjena mesta je nemogoče odpraviti z dresiranjem, potrebna je večja stopnja deformacije, ki pa jo je zaradi predpisanih dimenzij že izdelanih trakov nemogoče izvesti.

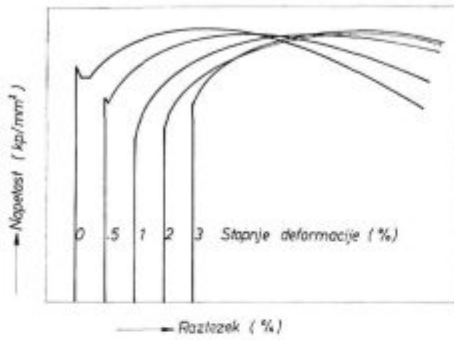
Kakor je bilo že omenjeno, se ojačanje izvede tudi z namenom, da preprečimo nastajanje Lüdersovih figur na površini hladno izoblikovanih predmetov, slika 23 a in 23 b. Te figure nastanejo kot posledica prevelikega podaljška materiala v območju lezenja. To območje lezenja pa je mogoče odstraniti z rahlo deformacijo žarjenih trakov. Vpliv manjših deformacij na obliko krivulj trganja in s tem na območje lezenja prikazuje diagram na sliki 24. Izrazito območje lezenja imajo diagrami žarjenih in staranih nepomirjenih trakov. Pri pomirjenih hladno valjanih trakovih pa zasledimo to območje lezenja na žarjenih trakovih in na trakovih, ki so bili umetno starani pri temperaturah nad 250° C.



Slika 23 a



Slika 23 b
Lüders-ove figure



Slika 24
Oblika krivulj trganja v odvisnosti od stopnje hladne deformacije

V Železarni Jesenice smo vse preiskave vpliva dresiranja na mehanske lastnosti in poznejšega staranja izdelali na pomirjenih in nepomirjenih trakovih, katerih vsebnost elementov se je gibala v navedenih mejah:

Č 0147		Č 0148	
C	0.04—0.08 %	C	0.04—0.07 %
Si	sledi	Si	sledi
Mn	0.31—0.34 %	Mn	0.28—0.32 %
P	0.009—0.015 %	P	0.011—0.014 %
S	0.017—0.023 %	S	0.015—0.020 %
Cu	0.15—0.19 %	Cu	0.17—0.19 %
Cr	0.04—0.07 %	Cr	0.05—0.07
Sn	0.017—0.022 %	Sn	0.015—0.019 %
Ni	0.08—0.09 %	Ni	0.07—0.08 %

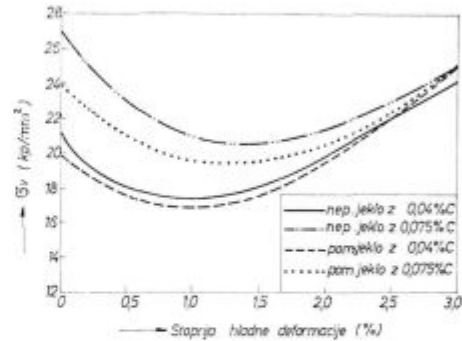
Toplo valjani trakovi so se hladno deformirali od debeline 3 mm na debelino hladno valjanih trakov 0.75 mm. To 75 % hladno deformacijo smo si izbrali zato, ker nam ta deformacija posebno pri nepomirjenih jeklih zagotavlja doseganje najbolj ugodnih lastnosti globokega vleka.

Po hladnem valjanju so se trakovi rekristalizacijsko žarili v zvonastih pečeh, in to nepomirjeni trakovi pri temperaturi 680° C, pomirjeni trakovi pa stopničasto pri 600 in 680° C.

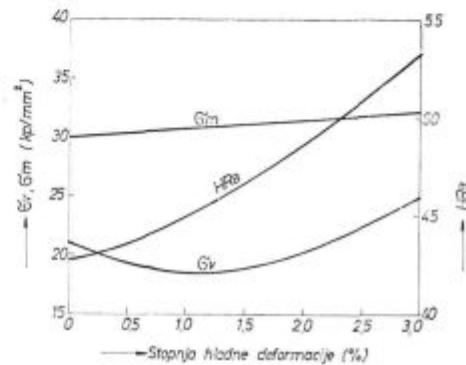
Po rekristalizacijskem žarjenju smo izdelali še metalografske preiskave, ugotovili smo zelo ugodno feritno strukturo z drobnim in enakomerno izločenim zrnatim cementitom. Na žarjenih pomirjenih in nepomirjenih trakovih smo izdelali pred dresiranjem tudi preiskave trdnosti, meje plastičnosti in raztezka ter preiskave globokega vleka po Erichsenu. Rezultati teh preiskav v odvisnosti od vsebnosti ogljika so razvidni v posameznih diagramih, ki sledijo.

Ti trakovi so se po žarjenju dresirali v območju od 0—3 %, in to v intervalu od 0.5 %. Slika 25 prikazuje vpliv različnih stopenj hladne deformacije na potek meje plastičnosti pomirjenih in nepomirjenih jekel z 0,04 % in 0,075 % C. Kakor je iz diagrama razvidno, te vrednosti padajo z naraščajočo stopnjo dresiranja, vendar le do neke določene vrednosti, po kateri začnejo naraščati. Ta naj-

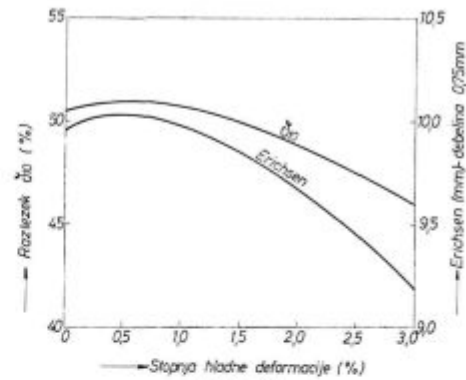
nižja vrednost meje plastičnosti se giblje med 0,8 in 1,5 % hladne deformacije, odvisno pač od vsebnosti ogljika v jeklu.



Slika 25
Vpliv stopnje deformacije na vrednosti meje plastičnosti



Slika 26
Vpliv stopnje deformacije na mejo plastičnosti, trdnost in trdoto



Slika 27
Vpliv stopnje deformacije na vrednosti raztezka in globokega vleka po Erichsenu

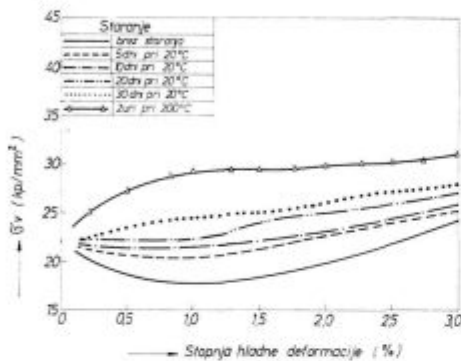
Iz navedenega diagrama je tudi razvidno, da imajo pomirjeni trakovi pri enakih stopnjah deformacije in enakih procentih ogljika nižje vrednosti od nepomirjenih trakov. Te vrednosti so bolj izrazite pri nižjih deformacijah, manjše pa pri večjih deformacijah.

Diagrama na slikah 26 in 27 prikazujeta vpliv stopnje deformacije med 0 in 3 % na mejo plastičnosti, raztezek, trdnost, trdoto in na vrednost globokega vleka po Erichsen-u nepomirjenega jekla z 0,045 % C. Posebno poudarjen je vpliv dresiranja na vrednosti raztezka in globokega vleka.

Staranje

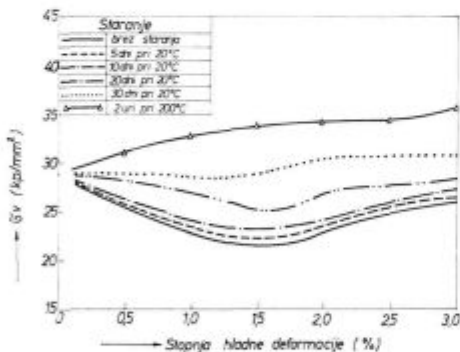
Da bi ugotovili, kako vplivajo različne stopnje dresiranja na staranje hladno valjanih trakov, smo za vsako stopnjo deformacije posebej izdelali preiskave spremembe mehanskih in tehnoloških lastnosti po 5, 10, 20 in 30 dneh naravnega staranja in umetnega staranja pri 200°C/2h. Rezultate, ki smo jih pri tem dosegli, ponazarjajo diagrami od 28 do 32.

Diagram na sliki 28 prikazuje potek meje plastičnosti nepomirjenih jekel z vsebnostjo 0,04—0,05 % C v odvisnosti od stopnje deformacije po naravnem in umetnem staranju. Iz diagrama je razvidno, da vrednosti meje plastičnosti z naraščajočim časom naravnega staranja več ali manj konstantno naraščajo, ne glede na stopnjo deformacije. Zelo pa vpliva na naraščanje meje plastičnosti umetno staranje, ne glede na stopnjo deformacije. Na splošno vzeto pa so vrednosti meje plastičnosti sorazmerno nizke zaradi nizke vsebnosti ogljika v trakovih.



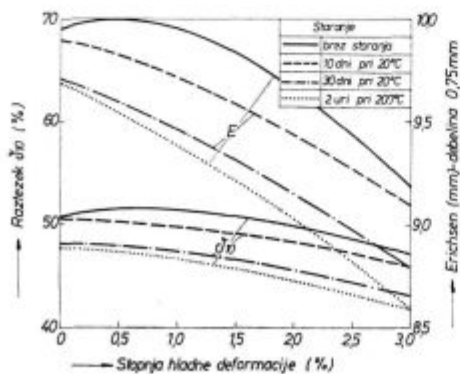
Slika 28

Vpliv staranja na mejo plastičnosti nepomirjenega jekla z 0,04—0,05 % C.



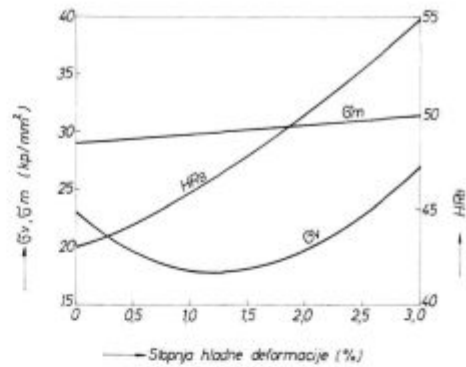
Slika 29

Vpliv staranja na mejo plastičnosti nepomirjenega jekla z 0,07—0,08 % C.



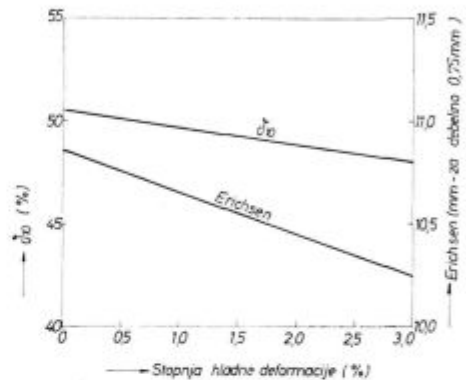
Slika 30

Vpliv staranja na raztezek in na globoki vlek



Slika 31

Mehanske lastnosti nestaranih in staranih pomirjenih trakov



Slika 32

Mehanske lastnosti nestaranih in staranih pomirjenih trakov

jočim časom naravnega staranja več ali manj konstantno naraščajo, ne glede na stopnjo deformacije. Poslabšanje lastnosti je opazno že po petih dneh naravnega staranja. Zelo pa vpliva na naraščanje meje plastičnosti umetno staranje, ne glede na stopnjo deformacije. Na splošno vzeto pa so vrednosti meje plastičnosti sorazmerno nizke zaradi nizke vsebnosti ogljika v trakovih.

Nekoliko spremenjeno lego in obliko imajo na sliki 29 krivulje meje plastičnosti po naravnem in umetnem staranju nepomirjena jekla z 0,07—0,08 % C. Iz navedenega diagrama je razvidno, da so vrednosti meje plastičnosti v primerjavi z vrednostmi v diagramu 28 precej višje zaradi višje vsebnosti ogljika.

Pri primerjavi krivulj obeh diagramov, to je krivulj staranja trakov z različno vsebnostjo ogljika, je razvidno, da so trakovi ne glede na vsebnost ogljika skoraj enako podvrženi naravnemu staranju.

Izdelali smo tudi preiskave vpliva staranja na trdnost nepomirjenih jekel za globoki vlek. Rezultati so pokazali, da se z naraščajočim časom staranja trdnost dvigne le za 2—3 kp/mm². Zaradi navedenega omenjenih vrednosti nismo vnesli v diagram.

Slika 30 nam prikazuje vplive različnih stopenj deformacije ter vplive staranja na raztezek in na

vrednosti globokega vleka, nepomirjenih trakov z 0,04—0,05 % C. Obe vrednosti občutno padata z naraščajočo stopnjo deformacije in z naraščajočim časom staranja. Zanimiva je ugotovitev, da staranje rahlo vpliva na raztezke in globoki vlek žarjenih in nedresiranih trakov.

Preiskave staranja smo izdelali tudi na pomirjenih jeklih C 0148 z 0,04—0,06 % C. Tudi te trakove smo po hladnem valjanju in rekristalizacijskem žarjenju dresirali v območju od 0—3 %. Te trakove smo nato naravno starali (5 do 30 dni) in umetno starali pri 200° C/2^h. Iz rezultatov, ki smo jih dosegli, je bilo razvidno, da pomirjeni trakovi niso podvrženi naravnemu staranju, medtem ko smo pri umetnem staranju beležili le rahlo naraščanje vrednosti meje plastičnosti in padanje vrednosti raztezka ter globokega vleka. Zato vrednosti, ki jih prinašata diagrama na sliki 31 in 32, odgo-varjajo obenem doseženim vrednostim v nestar-nem in staranem stanju.

ZAKLJUČKI

1. Vsi elementi, ki se nahajajo v jeklu, negativno vplivajo na mehanske lastnosti, posebno pa elementi, ki so topni v feritni osnovi.

2. Na strukturo in s tem na mehanske in tehnološke lastnosti trakov izredno vpliva temperatura zadnjega odzema pri toplem valjanju in temperaturna navijanja kolobarjev.

3. Velikost zrn hladno valjanih trakov je odvisna od izhodne velikosti tople valjanih trakov in od stopnje deformacije.

4. Na strukturo v rekristaliziranem stanju vpliva način žarjenja posebno pri pomirjenih jeklih.

5. Vsebnost ogljika zelo vpliva na mehanske in tehnološke lastnosti trakov.

6. Dresiranje v območju 0—3 % znižuje vrednosti raztezka in globokega vleka.

7. Vrednosti meje plastičnosti pri dresiranju padajo do nekega minimuma, ki je odvisen od vsebnosti ogljika.

8. Najnižje vrednosti meje plastičnosti se dosežejo pri nižji vsebnosti ogljika.

9. Vrednosti trdnosti se pri dresiranju zelo malo spremenijo.

10. Žarjeni pomirjeni in žarjeni ter starani nepomirjeni trakovi so zaradi izrazitega območja lezenja podvrženi nastanku Lüdersovih figur.

11. Že najmanjša stopnja deformacije vpliva na staranje nepomirjenih trakov.

12. Ne glede na stopnjo deformacije je poslabšanje lastnosti pri enakih pogojih staranja približno enako.

13. Največji vpliv na poslabšanje lastnosti nepomirjenih jekel ima umetno staranje.

14. Žarjeni in dresirani pomirjeni trakovi ne spremenijo svojih mehanskih in tehnoloških lastnosti po naravnem staranju, medtem ko je ta vpliv pri umetnem staranju pri 200° C komaj zaznaven.

Literatura

1. M. Judin: Rulanni sposob proizvodstva holodnokatan-nih listov. Izdatelstvo METALLURG — Moskva, 1966
2. D. Litvinenko: Nekotarie osobennosti proizvodstva stali dlja glubokoi vutjažki. Stalj 1957/12/1121
3. B. Sauthworth: Deep drawing steel. American Institute of Mining — 1957
4. F. Fischer: Über den Einfluss kleiner Verformungsgrade auf die Streckgrenze kalt gewalzter tiefziehfähiger Band-stähle mit geringem Kohlenstoffgehalt. Stahl und Eisen 1956 — stran 82
5. L. Kosec: Jeklo za globoki vlek. Metal Institut — Ljub-ljana, 1971
6. B. Stocca: Tehnologija predelave tople valjanih trakov za globoki vlek. Poročilo raziskoval. odd. 1970

ZUSAMMENFASSUNG

Um die Qualität der Tiefziehstähle richtig beurteilen zu können ist es dringend die Ursachen zu kennen, welche das Gefüge und damit die mechanischen und die technologischen Eigenschaften dieser Stähle beeinflussen.

Wir versuchten im Artikel alle wichtigen Faktoren welche im grösseren oder kleineren Umfang diese Eigenschaften, vor allem aber die Kaltumformung der kaltgewalzten Bänder beeinflussen einzufassen. Diese Einfluss-faktoren sind der Reihenfolge nach angegeben, welche von der Verfertigung und Verarbeitung bestimmt wird.

Für alle Elemente, auch Spurenelemente, welche sich in diesen Stählen befinden, ist eine kurze Übersicht von dessen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften ange-gaben.

Bei der Beschreibung der Warmband vorarbeitung ist der Einfluss der Endwalztemperatur und der Aufwickel-temperatur auf das Gefüge der Warm und Kaltbänder angegeben und bei der Beschreibung der Kaltbandver-arbeitung der Einfluss der gesamten Kaltformgebung und der Korngrösse auf die mechanischen Eigenschaften.

Ein besonderes Kapitel ist dem Einfluss des Dresie-rungsgrades und der späteren Alterung der rekristalisa-tionsgeglühten Bänder auf die mechanischen und techno-logischen Eigenschaften, vor allem der unberuhigten Stähle, gewidmet. Die Ergebnisse der natürlichen Alterung bis zu 30 Tagen und der künstlichen Alterung bei 200° C sind angegeben.

SUMMARY

To estimate correctly the quality of steels for deep drawing the factors influencing the structure and thus mechanical and technological properties must be known.

The paper has intention to enclose all the most important factors which influence the properties to greater or smaller extent. The most important property is

cold workability of cold rolled strips. The influential factors are given in the order as they are met in manufacturing and processing the strips.

A short review of influence of elements (including tracers) which are in steel on mechanical properties is also enclosed.

In description of processing hot rolled strips the influences of the final rolling temperature and the coiling temperature on the structure of hot and cold rolled strips,

and in description of processing cold rolled strips the influence of total degree of cold working and grain size on mechanical properties are presented.

A special chapter is dedicated to the influence of degree of temper rolling and further ageing of recrystallized strips on mechanical and technological properties of strips made of mainly unkilld steel. Results of natural ageing up to 30 days and artificial ageing at 200° C are given.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чтобы дать правильную оценку качества сталей для глубокой вытяжки необходимо знать причины, которые влияют на их структуру и, в связи с этим, на механические и технологические свойства этого сорта сталей. Автор пытался охватить все важные факторы которые, больше или меньше, влияют на свойства стали, в особенности на способность холодной деформации холодно-катаных полос.

Влиятельные факторы изнесены очерёдно в соответствии выделки и переработки полос. Для всех элементов, включая легирующие элементы, которые содержат эти стали, коротко рассмотрено их влияние на механические свойства стали. При описании пере-

работки горяче-катаных полос изнесено влияние конечной температуры прокатки и температуры полос во время наматывания на структуру горяче и холодно-катаных полос. При описании переработки холодно-катаных полос рассмотрено совокупное влияние всех факторов холодной переработки и величины зёрен на механические свойства стали.

В отдельной главе статьи рассмотрено влияние дресировки и позднейшее старение полос после рекристаллизационного отжига на механические и технологические свойства полос, в особенности из кипящей стали. Приведены результаты естественного старения до 30 дней, а также и искусственного при темп-е 200° Ц.

Merjenje časovne odvisnosti poteka delovanja sile pri udarnem preizkusu

DK: 620.178.746.2
ASM/SLA: Q6n

Mitja Šipek

V članku je opisana naprava za elektronsko merjenje udarne sile v odvisnosti od časa na ZF žilavostnih probah.

Prikazan je razvoj naprave, konstrukcija filtrov in elektronskega prožilca ter umerjanje in končno registracija rezultatov.

Na kraju je prikazanih nekaj primerov preizkusa. Sile, ki pri udarnem lomu nastopajo, znašajo do 7 t in lomi trajajo 0,2 do 0,6 msek.

UVOD

Presoja žilavosti nekega materiala smo navajeni ocenjevati po klasičnem postopku merjenja dela, ki je bilo potrebno, da smo preizkušane določene oblike prelomili. Ta preizkus je znan kot žilavostni udarni preizkus.

Nihalo določene teže spustimo iz določene višine na preizkušane, tako da ga zadene z rezino in ga prelomi. Potencialno energijo, ki je nakopičena v sistemu in ki se spremeni v gibalno energijo, podelimo s presekom preizkušanca na mestu preloma. Pri tem zanemarimo stranske učinke, ki zmanjšujejo to energijo, tj. trenje v ležajih, trenje v zraku pri padanju nihala in netogo vpenjanje preizkušanca. Ti stranski učinki so po velikosti tudi zanemarljivo majhni in jih upravičeno lahko zanemarimo.

Dobljeni rezultat, izražen v kpm/cm², nam da vpogled v obnašanje materiala pri dinamični obremenitvi. Običajno krhki materiali pokažejo nižjo porabljeno energijo na enoto preseka.

S točnejšo razčlenitvijo poteka loma pa lahko vidimo, da je podatek dokaj nepopoln. Če upoštevamo, da je hitrost impulza v materialu odvisna od elastičnih lastosti materiala in znaša cc. 5 km/sek., bo časovni potek delovanja sile pri lomu preizkušanca dal mnogo boljši vpogled v obnašanje materiala pri sunkovitem delovanju sile nanj.

METODA MERJENJA ČASOVNEGA POTEKA DELOVANJA SILE

Prvi poizkusi so bili izpeljani z detektorji sile, ki so bili vgrajeni v naslonih, kjer je vpet preizkušane. Ti detektorji so bili večinoma kristalni ele-

menti, ki so izrabljali piezo efekt transformacije mehanske sile v električno napetost.

Dobra lastnost takih detektorjev je v tem, da so deformacije detektorja izredno majhne, občutljivost detektorja pa dokaj velika, saj pri običajnem preizkusu po metodi Charpy na kristalu lahko dobimo več voltov visoke napetostne sunke. Tudi merjenje takih signalov pri današnji merilni tehniki ne predstavlja problema. Več problemov pa predstavlja mehanski del, saj so kristali izredno krhki in moramo večji del bremena prenašati preko vzporednih vzmeti. Za točno merjenje celotne sile je potrebno vgraditi detektorje pod oba naslona.

Nekatere izvedbe so take, da se piezo element vgradi v rezilo in tako transformira celotno silo v električni signal. Odvisnost med velikostjo sile in električnim signalom je v velikih območjih linearna, kalibriranje naprave pa je mogoče statično z utežmi na vzvodu. Da bi se izognili histerezi, pa običajno damo na element določeno znano prednatezno silo.

Taki sistemi so se obdržali pri meritvah na klasičnih oblikah žilavostnih preizkusov prob (Charpy, Izod).

MERJENJE ČASOVNEGA POTEKA DELOVANJA SILE NA PREIZKUŠANCIH ZA JEKLA, NAMENJENA ZA IZDELAVO ZOBNI KOV (Z. F. probe)

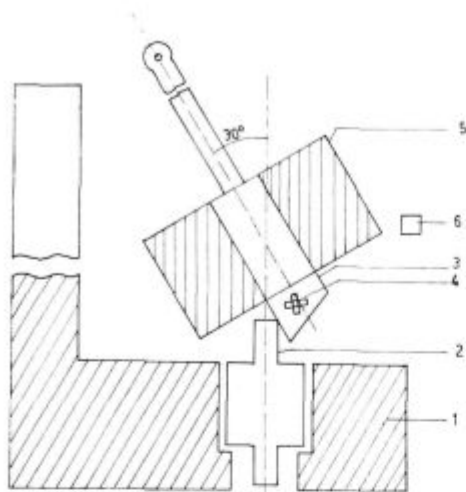
V praksi težijo izdelovalci zobatih prenosov k vedno večji štednji materiala, da bi tako postali prenosni mehanizmi čim lažji. Zato pa morajo izrabiti material do krajnih možnih mej. Običajni žilavostni preizkus daje samo nepopolne podatke o obnašanju materiala pri sunkovitih obremenitvah kot nastopajo pri delovanju zobatih prenosov.

Da bi čim bolj ponazorili razmere v praksi, je predložen preizkušane, ki ima obliko podobno pravemu zobniku, važen pa je tudi kot, pod katerim sila prijemlje, ta je izbran s 30°.

Princip naprave je shematsko prikazan na sliki 1, fotografija celotne naprave pa na sliki 2.

Preizkušane je izoblikovan tako, da predstavlja en zob zobnika, slika 3. Tak nastavek nosi preizkušane na obeh straneh, da se na istem preizkušancu lahko izvedeta dve meritvi. Preizkušane

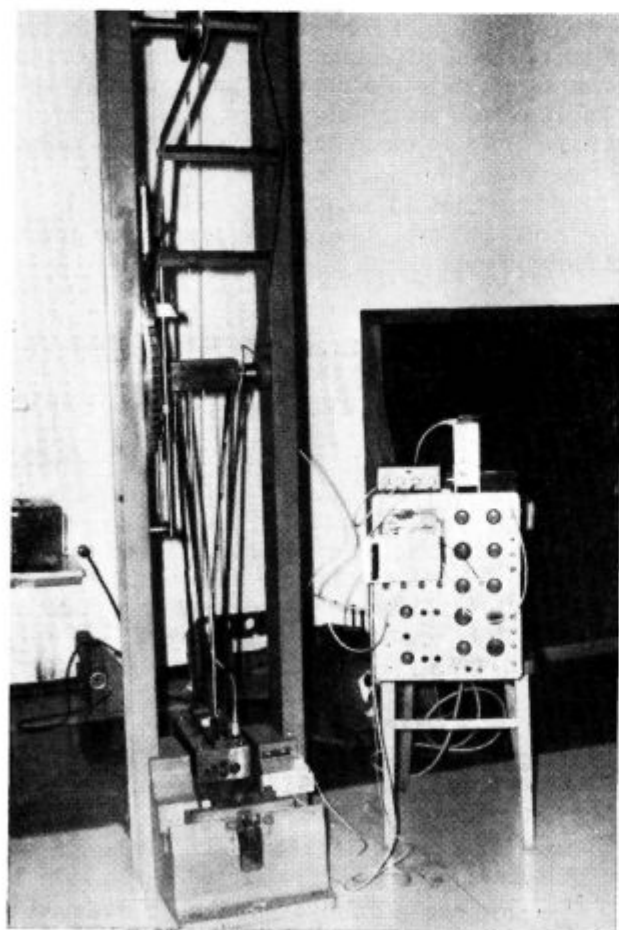
Mitja Šipek je diplomirani inženir metalurgije in direktor kontrole kakovosti v Zelezarni Ravne



Slika 1

Shema merilne naprave za merjenje poteka sile pri udarnem žilavostnem preizkusu

1. vpenjalni blok
2. proba
3. trn
4. merilni uporovni trakovi
5. kladivo
6. brezkontaktni sprožilec časovne baze



Slika 2

Izgled celotne merilne naprave

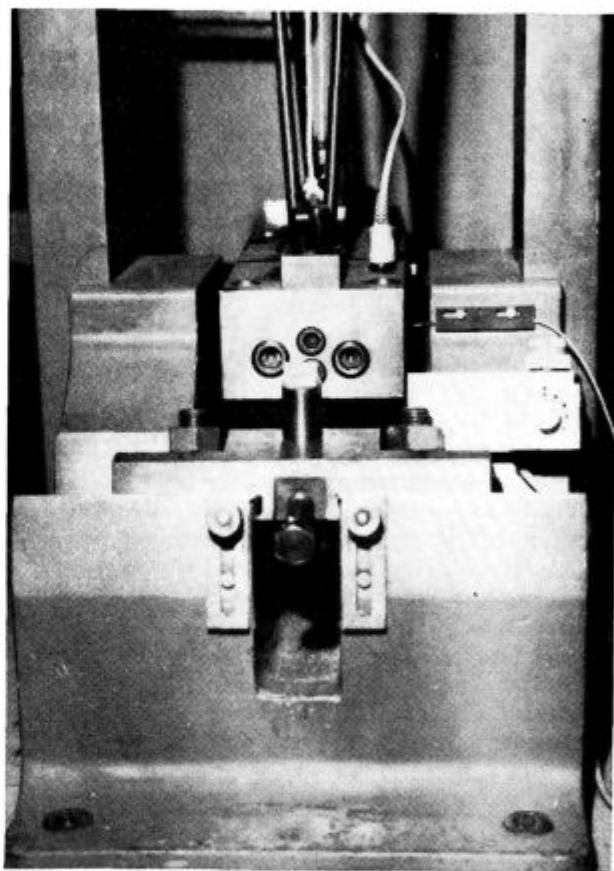


Slika 3

Izgled ZF probe. Na vsakem koncu probe je izdelan po en zob katerega odlomimo

se po obdelavi še termično obdela in v pne v držalo, ki mora biti čim bolj togo. Uporabili smo konstrukcijo kladiiva tipa Amsler.

Na sliki 4 je prikazan vpenjalni blok s preizkušancem, montiran na konstrukciji kladiiva.

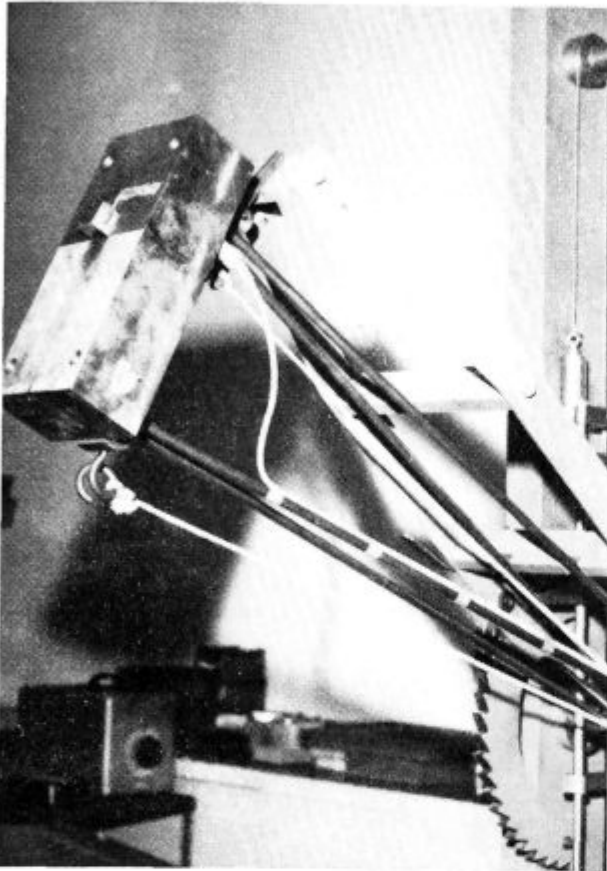


Slika 4

Vpenjalni blok s proba, ki je izvlečena. Na desni strani je viden sprožilec, nad njim sonda za nameščanje prožilne točke

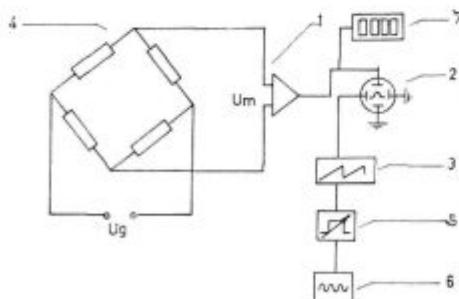
Kot merilec sile (v tem slučaju upogiba) smo uporabili podobno kot konstrukterji v zap. Nemčiji (Südwestfalenhütte Geissweid, Zahnradfabrik Ludwigshafen) kombinacijo merilnih trakov (Dehnungsmessstreifen, Strain gages) 4 kom., ki so nalepljeni na udarnem trnu pod kotom 45° in vezani v električni most, tako da leže aktivni trakovi v eni, kompenzacijski pa v drugi veji mostu, slika 5 — trn montiran v kladivu.

Most je napajan z enosmernim tokom 10 V, skrbno stabiliziran. Signal iz mostu je okrepljen v enosmernem pojačalu in ga okrepljenega peljemo na oscilograf, ki je dovolj točno kalibriran v enotah napetosti ter omogoča zunanje proženje.



Slika 5
Izgled kladiva z merilnim trnom

Mostične sheme za merjenje sil z merilnimi trakovi v praksi često uporabljajo izmenično napajanje mostu s frekvencami 5 do 50 kHz, kar je pri starejših napravah skoraj nujno, saj je okre-



Slika 6
Električna principelna shema naprave:

1. ojačevalo
2. katodni oscilograf
3. časovna baza
4. merilni most
5. sprožilec z nastavljivo zakasnitvijo
6. oscilator sprožilca
7. merilec vršne napetosti kalibriran v kp.

pitev izmeničnih signalov mnogo bolj enostavna. Novejša tranzistorizirana integrirana vezja pa omogočajo razmeroma enostavno okrepitev enosmer- nih signalov, da pa pri tem ničelna točka ostane stabilna kljub spremenljivim temperaturam okolice.

Napajanje mostu z izmeničnim tokom pa je v tem primeru popolnoma neuporabno, saj trajajo merni signali 0,2 do 0,5 msec., torej 5 do 2 kHz in bi tudi generatorji pri 50 kHz vnašali nevzdržne napake v meritev. Izbrali smo merni most KVS 3000, firme Hottinger, Messtechnik, ter imulzni oscilograf Tektroniks 545 B.

Nemški avtorji zatrjujejo, da naj bo celotna konstrukcija naprave čim bolj mehansko robustna, tako stojalo kot nihalo, da ne bi prišlo do nekontroliranih parazitnih nihanj v merjenem signalu. V ta namen so običajno izbirali masivne konstrukcije starejših izvedb kladiv (npr. Losenhausen) in jih priredili za to merjenje.

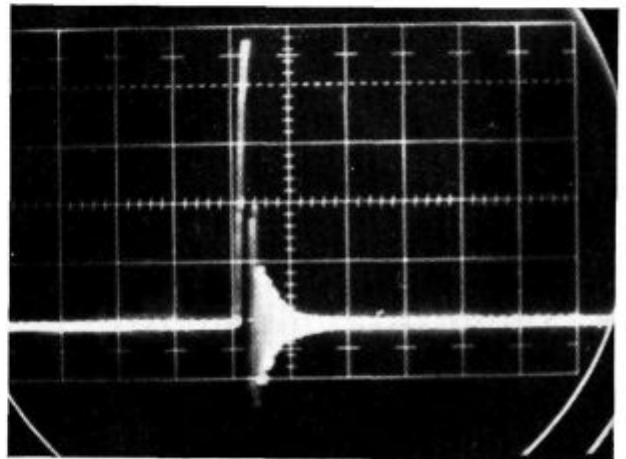
Novejši Amslerjev tip kladiva pa je izveden z valjanimi U profili, samo kladivo pa je obešeno na štirih tankih palicah $\varnothing 12$ mm, kjer o kakšni robustnosti ni govora.

Da bi lahko ugotovili, ali je tak sistem sploh uporaben, smo morali posneti poizkusne oscilograme, ne da bi vedeli natančnejše parametre za nastavitev časovne baze in okrepitev.

Ze na prvih posnetkih smo ugotovili, da glavnemu impulzu sledi periodično iznihavanje sistema, slika 7.

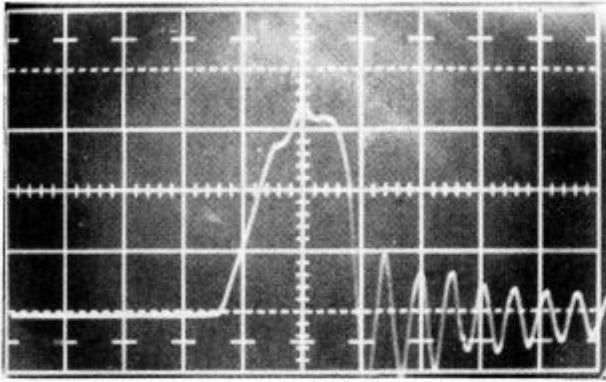
Ko smo isti posnetek napravili z močno razvlečeno časovno bazo, kjer en razdelek na horizontali pomeni 0,2 msec, smo lahko izmerili širino glavnega signala, 0,48 msec, ter iznihavanja, ki se enakovarno iztekajo s širino 0,114 msec, kar odgovarja 8,8 kHz, slika 8.

Če računamo s hitrostjo zvoka cc. 5 km/sek. v trnu, ki je izdelan iz jekla Č. 4150 — OCR 12 in termično obdelan na cc. 50 HRC ter ima prečno dimenzijo 25 mm, vidimo, da traja potrebni čas na



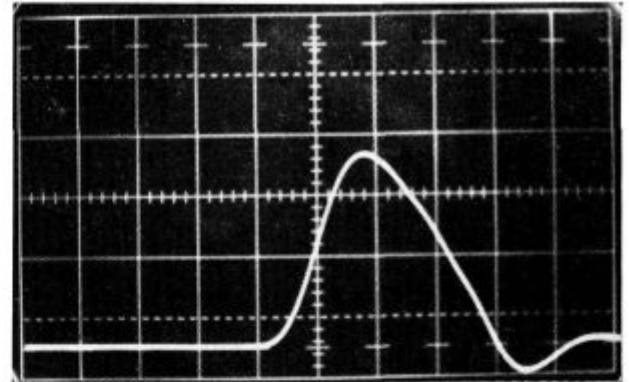
Slika 7

Posnetek loma na oscilografu. Vidna so dušena iznihavanja trna



Slika 8

Z raztegnjeno časovno bazo je mogoče iz slike 5 odčitati frekvenco iznihavanja, ki znaša 8,8 kHz

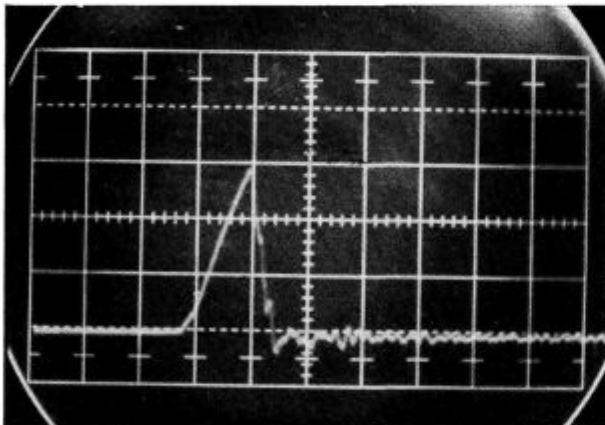


Slika 10

RC filter preveč raztegne signal iz slike 7 in 8 na 0,72 msec.

poti 2×25 mm 0,1 msec ali 10 kHz. Očitno je torej, da iznihava trn, da pa pri tem ne sodeluje ostala konstrukcija kladiva (ravno zaradi netožega obešanja). Dejansko tako iznihavanje merjenja ne moti, vendar želimo imeti bolj izglašen oscilogram zaradi lažjega odčitavanja, predvsem zato, ker želimo na isti film posneti več lomov. Uporabili smo polaroidno kamero Swinger sistema. Iznihavanje bi preglednost posnetkov zelo kompliciralo.

Iz nadaljne serije lomov smo prišli do primerov krhkega loma, kjer glavni signal traja vsega 0,3 msec, kar odgovarja frekvenci 3,3 KHz, slika 9. Pojavi, ki so krajši, naj bodo izločeni, v ta namen je potrebno signale filtrirati.



Slika 9

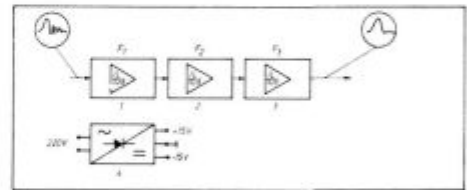
Krhak lom traja kratek čas vsega 3,3 kHz = 0,3 msec.

Konstrukcija filtrov

Prve poizkuse smo naredili tako, da smo vgradili pasivni filter za nizke frekvence. Tak filter sicer poreže visoke frekvence, vendar močno popači originalni signal, kar vnaša napake v meritev, tako da zniža najvišji signal, kar pomeni, da odčitamo manjšo silo, kot jo v resnici merimo, pa tudi širino signala razvleče in tako odčitamo daljši čas delovanja sile, kot v resnici je.

Tak primer vidimo na sliki 10. Tu je viden posnetek drugega zoba na preizkušancu iz slike 7, pri sicer istih pogojih občutljivosti. Vidimo, da se je signal na vrhu znižal, predvsem pa se je podaljšal čas loma od 0,48 na 0,72 msec. Največja težava pri teh filterjih pa je ta, da naprave ne moremo kalibrirati statično, saj gre za RC sklope, ki enosmernih signalov ne prepuščajo.

Pristopili smo torej h konstrukciji aktivnih filtrov v več stopnjah z uporabo integriranih operacijskih ojačevalcev. Taka shema je prikazana na sliki 11.



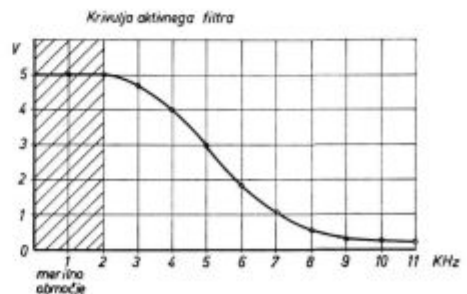
Slika 11

Principielna shema aktivnega filtra, ki je sestavljen iz treh ojačevalcev $F_1, 2, 3$

Levo zgoraj — signal z iznihavanjem
Desno zgoraj — filtriran signal

Frekvenčni potek takega filtra je prikazan na sliki 12.

Razvidno je, da filter enakomerno prepušča signale, od enosmernih pa do 2,5 kHz, tiste, ki najbolj motijo, torej nad 5 kHz, pa praktično popolnoma poreže.



Slika 12

Frekvenčna karakteristika tristopenjskega filtra. Merno področje je uporabno do cc. 3 kHz, višje frkevence so močno dušene

Kalibriranje naprave

Najenostavnejši način kalibriranja je statičen, tako da držalo s trnom snamemo z obešala in ga vpnemo na robustni jarem, katerega postavimo na trgalni stroj.

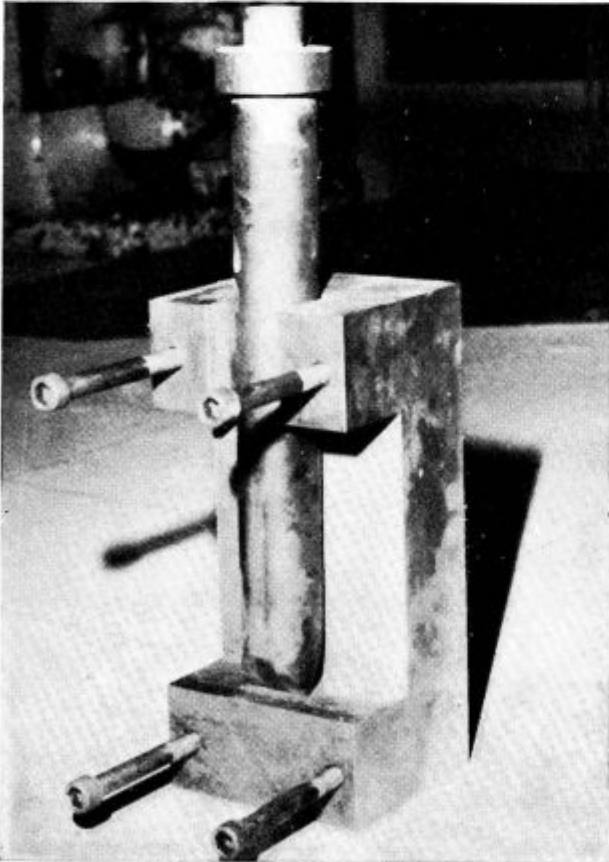
Jarem ima vgrajen bat z ostrino, ki jo justiramo tako, da nasede na trn točno na istem mestu, kjer nasede trn na preizkušanelec. To mesto je po nekaj lomih na trnu dobro vidno. Tako napravo vidimo na sliki 13.

Trn pritisnemo postopoma po 1 t in merimo napetost pri točno poznani občutljivosti ojačevala in oscilografa do 10 t.

Na sliki 14 je prikazana krivulja odvisnosti odklona na oscilografu v V v odvisnosti od obremenitve. Viden je odličen linearni potek kalibracijske krivulje. Ko smo napravo tako kalibrirali, je pripravljena za delo. Držalo s trnom snamemo iz jarma in ga ponovno pritrdimo na obešalo kladiva.

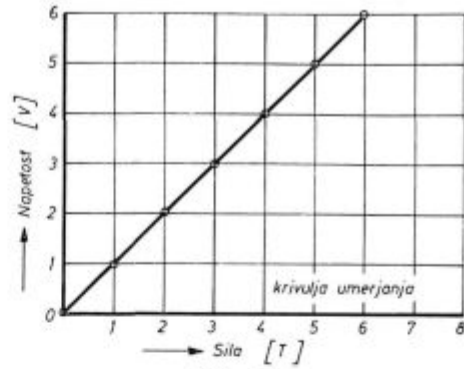
Proženje časovne baze oscilografa

Za snemanje oscilogramov smo uporabili polaroidno kamero FOT 1, ki je pritrjena na oscilograf. Kamero vsakokrat ročno sprožimo, ni pa nikakršnih zadržkov, da ne bi mogli izvesti avtomatsko proženje.



Slika 13

Izgled jarma s trnom za kalibriranje. Kladiivo snamemo z obešala in ga pritrdimo na jarem s štirimi vijaki



Slika 14

Krivulja umerjanja naprave pokaže zelo linearen potek signala v odvisnosti od sile

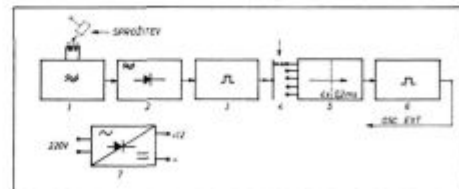
Da bi lahko pomikali pričetek oscilograma horizontalno po ekranu osciloscopa in tako izrabili en film za več posnetkov, moramo poskrbeti za avtomatsko proženje časovne baze.

Proženje lahko izvedemo na različne načine. Z mehanskim kontaktom, fotocelično ali elektromagnetno. Za vsakim prožilcem pa moramo vključiti časovno zakasnitev, ki jo lahko poljubno nastavljamo od 0,0 do 2 msek.

Najenostavnejši pa najmanj gotov je mehanski sprožilec. Fotoelektrični je sicer dobro uporaben, ima pa obrabljiv del, tj. izvor svetlobe, zato smo se rajši odločili za brezkontaktno električno stikalo. Sproži ga držalo trna, ko pride pred sondo. Razdalja med sondo in držalom ni kritična in znaša nekaj milimetrov.

Stikalo je v bistvu visokofrekvenčni generator, ki niha dokler kvaliteta nihajnega kroga ne pade pod kritično mejo zaradi izgub, ki nastanejo, ko se kovinsko držalo približa nihajni tuljavici. V tem trenutku izpade nihanje. Napetostni impulz, katerega na ta način dobimo, sproži monostabilni vibrator z nastavljivo časovno konstanto. S potenciometrom lahko določimo čas, v katerem ostane vibrator v labilnem položaju. Ko preskoči v stabilno lego, dobimo ponovno diferenciran impulz, ki proži časovno bazo oscilografa.

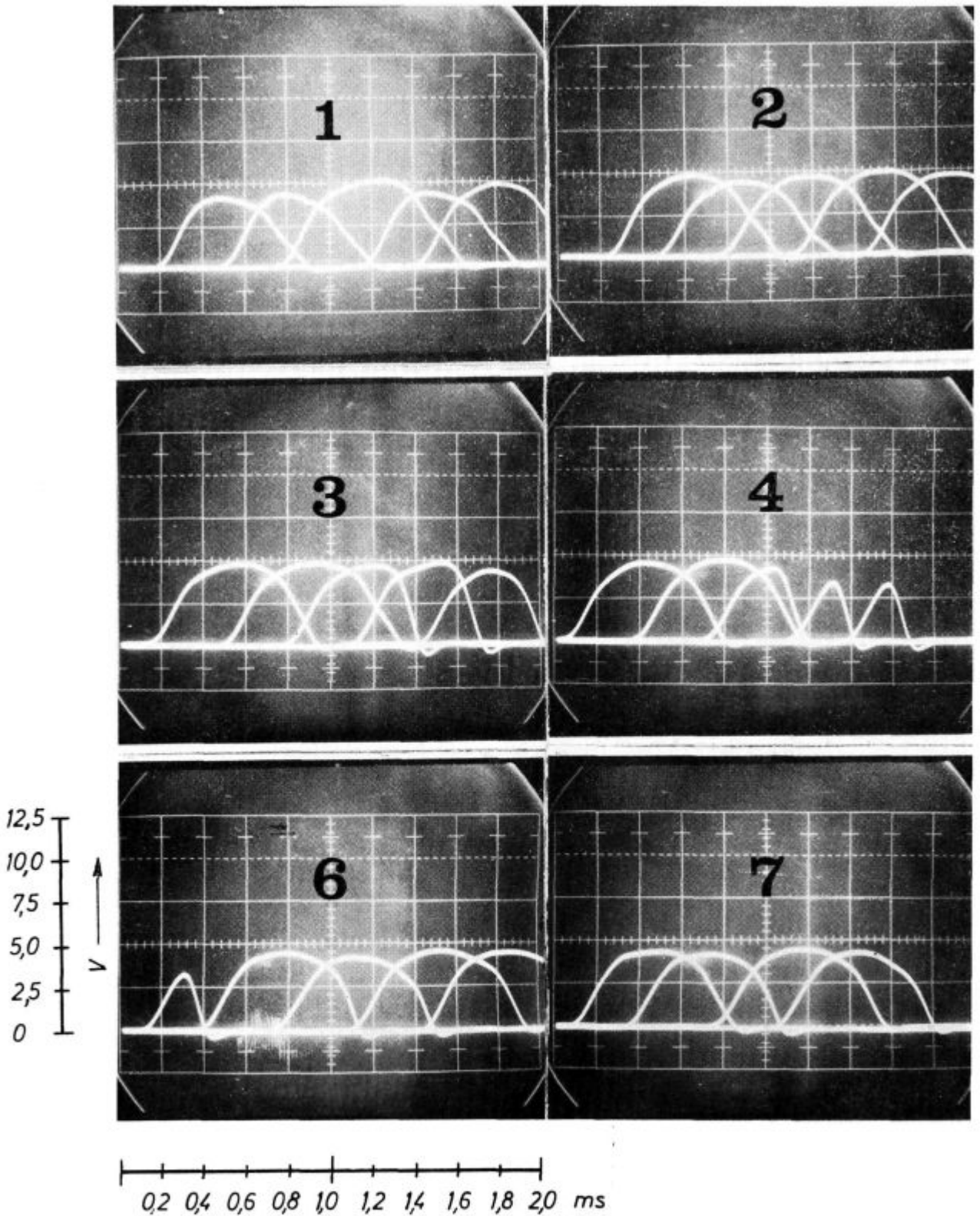
Principielna shema elektromagnetnega stikala z zakasnilnim členom je prikazana na sliki 15.



Slika 15

Principielna shema prožilca:

1. VF sinusni generator
2. Demodulator
3. Monostabilna stopnja
- 4., 5. Preklopnik za izbiranje dolžine signala monostabilne stopnje po 0,2 msek/cm
6. Smitov triger za proženje časovne baze



Slika 16
Nekaj primerov posnetkov digramov: sila-čas abscisa-čas ordinata-sila

Na ta način moremo posneti družino krivulj različnih lomov, kot je prikazano na sliki 16, kjer pomeni en razdelek na horizontali 0,2 msec in en razdelek na vertikali 2,5 t. Na sliki vidimo, da

filter odstrani vsa iznihavanja, pri tem pa skoraj ne okrne nastopa in izteka signala. Naprava je bila kalibrirana skupaj s filtrom, ki propušča tudi enosmerni signal.

Registracija rezultatov z elektronskim voltmetrom

Če se zadovoljimo samo s snemanjem oscilogramov, smo prisiljeni čakati, da zlomimo vso količino preizkušancev, ki jo nameravamo posneti na en film, preden lahko vidimo rezultat po razvijanju (ki traja 20 do 30 sek.).

Rado se zgodi, da film odpove ali naredimo napako pri snemanju ali razvijanju. V tem primeru je izgubljen tudi rezultat in uničen preizkušavec.

Da bi se temu izognili, smo se odločili, da vgradimo za ojačevalcem še merilec vršne napetosti (peak detector). To je v bistvu elektronski voltmeter, ki ima na vhodu vgrajeno elektrometersko pojačalo z zelo visoko vhodno upornostjo. Vršna napetost signala napolni razmeroma majhen kvalitetni kondenzator in cevni voltmeter meri statično napetost, vse dokler rezultata ne izbrišemo s pritiskom na gumb. Nakazovanje rezultata more biti s kazalčnim instrumentom ali digitalno, ki ima pred prvimi prednost, da odpade napaka subjektivnega čitanja. Pri takem načinu registracije rezultata seveda izgubimo podatek o trajanju loma, vendar pa nam ostane najvažnejši podatek o vršni sili.

Časovno potni diagram poteka sil, ki smo ga na ta način dobili, nam pove mnogo natančneje, kako se material obnaša pri sunkoviti obremenitvi, ne pove nam pa, kako poteka sila v odvisnosti od napredovanja loma, tj. v odvisnosti od poti.

Snemanje diagrama sila - pot

Na dvokanalnem oscilografu lahko istočasno snemamo diagram sila-čas in sila-pot — sinhrono, če napravo opremimo tako, da bo časovna baza priključena na izhod ojačala, ki registrira pot merilnega trna od trenutka, ko udari na rob preizkušanca, do loma. Taki sistemi so znani iz literature (1), vendar so nekoliko zastareli. Z uporabo eksponencialnega sivega klina lahko dobimo linearno odvisnost od količine svetlobe, ki jo klin propušča, in napetostjo na izhodu ojačala.

Pozneje so bili izvedeni poizkusi s svetlobnimi vlakni (Glassfaser), danes pa nam nudijo izhod izredno fino fokusirani laserski žarki. V principu pa je uporaben vsak sistem, ki lahko z zadostno

točnostjo spreminja izhodni signal v odvisnosti od poti trna, ki pa je razmeroma kratka, posebno še pri krhkkih vzorcih.

Diskusija rezultatov

Opisana metoda je empirična in njena točnost odvisna od mnogih pogojev:

- Točnost uporabljenih instrumentov, ki se giblje med 1 do 2 %.
- Točnost filtrov v primeru z drugimi izvedbami.
- Točnost nalepljenja trakov.
- Točnost pri kalibriranju. Posebno je važno, da rezina kalibriranega bata nalega na isto mesto kot preizkušavec.
- Točnost odčitavanja.
- Točnost vpenjanja preizkušanca — zob paralelno s trnom.
- Točnost izdelave preizkušanca in njegova homogenost.

Če seštejemo vse te vplive, ne smemo pričakovati rezultatov, ki bi presegali točnost $\pm 10\%$, tako da ostane ta preizkus še vedno primerjalni.

Literatura

- Alberti H., Kügler J.: Anlage zur Registrierung von Schlagkraft und Durchbiegung bei der Kerbschlagprüfung mit einem Pendelschlagwerk
Materialprüfung 13 (1971), N° 9, S. 292,97
- H. Schmiedel ZIS Halle (Saale): Kerbschlagzähigkeitsuntersuchungen bei hohen Schlaggeschwindigkeiten
620. 178. 746 int. poročilo
- Ermittlung von Schlagkraft-Durchbiegungs-Diagrammen mit dem PSWO 30
620. 178. 311. 3 (084-2) int. poročilo
- Fearnebough G. D., Hoy C. J.: Mechanism of deformation and fracture in the Charpy test as revealed by dynamic recording of impact bonds
Journal of The Iron and Steel Institute, Nov. 1964
- Messtechnische Briefe für elektrisches Messen mechanischer Größen. Hottinger Baldwin Messtechnik Darmstadt
- H. Bruger: Schlagbiegeversuch zur Beurteilung einsetzgehärteter Stähle. Schweizer Archiv — jul. 1970 S.219,229
- H. Bruger, G. Kraus: Einfluss der Zähigkeit auf das Verhalten von Einsatzstählen im Statischen und dynamischen Biegeversuch. Archiv für das Eisenhüttenwesen 32 (1961) Aug. H. 8. S. 529—531

ZUSAMMENFASSUNG

Der klassische Kerbschlagzähigkeitsversuch ermöglicht uns nicht eine genügend klare Einsicht in die Ereignisse bei dem stossweisem Bruch der Probe. Neben der Arbeit auf die Bruchflächeneinheit interessiert uns vor allem die grösste Kraft und die Zeit des Kraftverlaufes von dem Stoss des Hammers bis zu dem Bruch der Probe.

Mit den elektronischen Hilfsmitteln ist eine Methode für die Verfolgung des Bruchverlaufes gegeben so, dass die Kraft mit Dehungsmeßstreifen gemessen, und der Zeitverlauf der Kraft am Oszilograph abgebildet wird. Beim Hammerschlag auf die Probe kommt es zu den mechani-

schen Ausschwingungen, welche mit elektrischen Filtern gedämpft werden können.

Der Startpunkt der Zeitablenkung wird durch kontaktlosen elektromagnetischen Schalter mit Verzögerung durchgeführt.

Die Registrierung wird photographisch und mit dem Digitalvoltmeter der die Spitzenspannung registriert, realisiert.

Die gemessene Spannung ist der Kraftspitze proportional.

SUMMARY

Usual toughness test does not give enough clear insight into phenomena during sudden fracture of the test piece. Beside the absorbed work per unit fracture area also the maximal force and the time function of force from the beginning of impact till breakage is of great interest.

Electronics enable us to follow the course of fracture, so that force is measured by strain gages and the

time function of force is registered on oscilograph. When pendulum hits the test piece mechanical vibrations occur which can be isolated by electric filters. Electronic start is achieved by contactless plugs with debey line. The results are double registered: photographically and by digital voltmeter registering peale voltage which is directly proportional to the maximal ocuring force.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Классический метод определения вязкости нам не даёт ясное представление о процессе, который происходит до разрушения образца как следствие ударной нагрузки. Кроме действия на единицу поверхности излома, нас главным образом интересует максимальная сила и промежуток времени от удара молотом до излома образца. Электронные вспомогательные средства нам позволяют следить за процессом излома, при чём силу определяем марными лентами, а интервал времени действия силы определяем на осциллографе момент, когда на осциллографе должно произойти начало

передвижения электронной лучи определяет электромагнитный включитель, который действует без соприкосновения и позволяет в определённом пределе начало действия. Во время удара молотом в образце появляются механические колебания, которые необходимо изолировать при помощи электронных фильтров. Результаты регистрируем двойным способом: фотолафически и при помощи цифрового вольтметра, который регистрирует максимальное напряжение, а это, со своей стороны, прямо пропорционально максимальной возникающей силе.

Odkrivanje površinskih napak na paličastem jeklu s pomočjo vrtilnih tokov*

DK: 669.14.29; 620.1
ASM/SLA: S13c

Božidar Brudar

UVOD

Indukcijske metode zavzemajo med različnimi neporušnimi preiskavnimi postopki zelo pomembno mesto. Z njimi lahko zelo hitro pridemo do informacije o fizikalnih lastnostih vzorca in obenem sklepamo tudi na napake v materialu.

Paličasto jeklo preiskujemo tako, da vzorec postavimo v tuljavo, po kateri teče tok visoke frekvence. V palici nastane magnetno polje, ki je zaradi kožnega efekta (skin effect) močnejše na robu preseka kot v sredini. Če želimo raziskati le razmere na površini, moramo izbrati zadosti visoko frekvenco.

Na porazdelitev polja vplivajo frekvenca, premer palice, električna prevodnost, permeabilnost in nepravilnosti v materialu (razpoke). Sprememba vsakega od omenjenih faktorjev povzroči tudi spremembo v porazdelitvi polja in s tem spremembo v impedanci tuljave. To pa lahko merimo. Ni pa tako enostavno neko določeno spremembo impedance pripisati enemu samemu faktorju, ker se njihovi vplivi prekrivajo.

Informacija o porazdelitvi polja se navadno zrcali v inducirani napetosti, ki jo to polje povzroči

v neki sekundarni tuljavi. S primerno izbiro frekvence in faze lahko iz spremembe opazovane inducirane napetosti s precejšnjo zanesljivostjo sklepamo tudi na površinske napake.

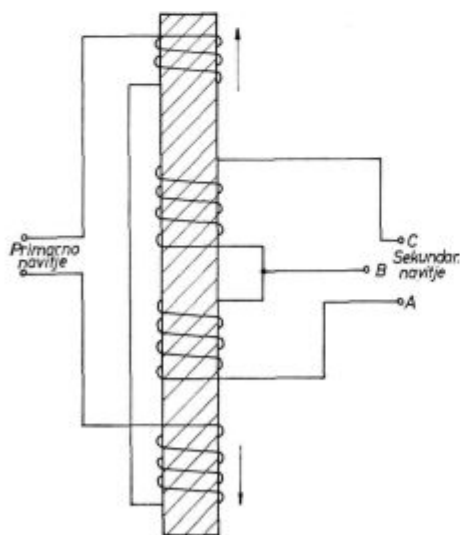
V jeseniški železarni uporabljamo za preiskovanje površinskih napak (risavosti) na paličastem jeklu aparat defectomat 2.189 firme Institut dr. Förster. Z njim avtomatično razdelimo palice glede na razpoke na dobre in slabe. Preiskujemo lahko feromagnetne in neferomagnetne palice, premera od 5 mm do 35 mm.

Palico vtaknemo v visokofrekvenčni magnetilni tuljavi (10 kHz ali 2,5 kHz) in par sekundarnih diferenčnih tuljav, v katerih merimo inducirano napetost (Slika 1). Da bi se izognili vplivu nihanja permeabilnosti, postavimo vse skupaj v jarem, kjer je močno enosmerno magnetno polje.

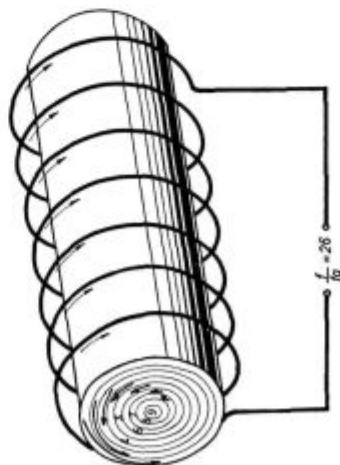
MAGNETNO POLJE IN VRTINCNI TOKOVI V HOMOGENI PALICI

Oglejmo si, kako so porazdeljeni vrtilni tokovi in magnetno polje v preseku palice, ki se nahaja v tuljavi. Porazdelitev tokov in magnetnega polja lahko opišemo s pomočjo frekvenčnega razmerja f/f_g , pri čemer je f_g karakteristična frekvenca¹, odvisna od lastnosti palice. V bistvu je f_g referenčna frekvenca, s katero spravimo formule v brezdimenzijsko obliko (Dodatek I).

Na sliki 2 so shematično prikazani inducirani vrtilni tokovi v palici, če je frekvenčno razmerje



Slika 1
Diferenčna vezava tuljav



Slika 2
Vrtilni tokovi v palici

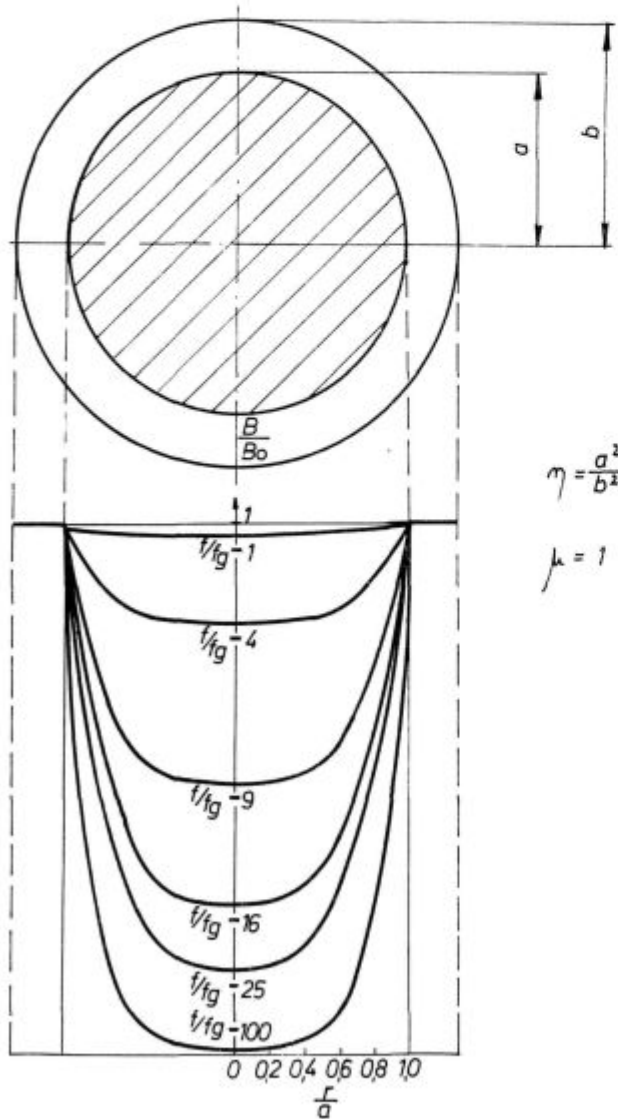
*Avtor je imel referat s tem naslovom na XVI. metalurškem srečanju v Portorožu v oktobru 1973.
Božidar Brudar je diplomirani inženir in magister fizike in strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Zelezarne Jesenice.

$f/f_g = 26$. Dolžina pušic v preseku palice predstavlja jakost vrtilnih tokov v posameznih kolobarjih, lega pa ponazarja fazo. Zaradi kožnega efekta imamo polje v glavnem le tik pod površino. To je seveda odvisno od električne prevodnosti palice, premera, permeabilnosti in frekvence. Pri višji frekvenci je ta efekt izrazitejši.

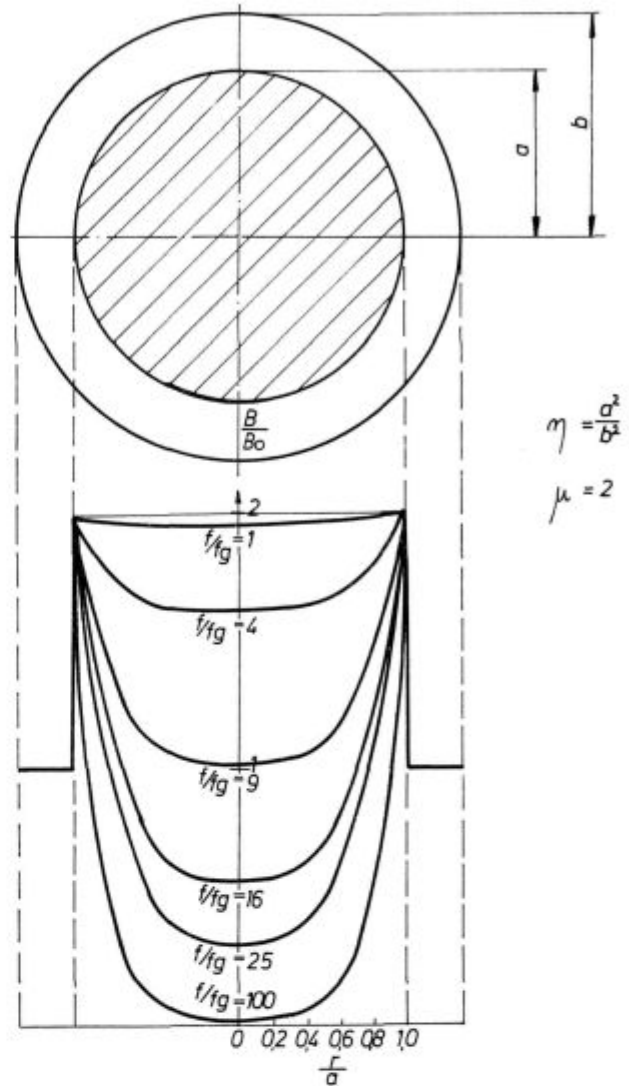
Ce rešimo Maxwelllove enačbe za tak primer, lahko pridemo do eksplicitnih izrazov za gostoto magnetnega polja in vrtilnih tokov v palici (Dodatek I).

Na sliki 3 je prikazano, kako je porazdeljena gostota magnetnega polja B (28) v tuljavi, v kateri imamo neferomagnetno palico ($\mu = 1$) pri različnih frekvencah.

Na sliki 4 predpostavljamo, da je relativna permeabilnost 2. Na sliki 5 je prikazano, kako se spreminja gostota vrtilnih tokov (30) v odvisnosti od parametra f/f_g , če je jakost magnetnega polja v zračni reži $H_0 \approx 80 \text{ Am}^{-1}$ in premer palice 2 cm.



Slika 3
Magnetno polje v tuljavi ($\mu = 1$)



Slika 4
Magnetno polje v tuljavi ($\mu = 2$)

Na slikah 6 in 7 sta narisana polarna diagrama za porazdelitev gostote magnetnega polja (16) in vrtilnih tokov (29).

V dodatku I je podana izpeljava formul, ki določajo porazdelitev tokov in polja. V dodatku II pa so kopije programov, po katerih izračunavamo Besselove funkcije ber, bei, ber' in bei'.

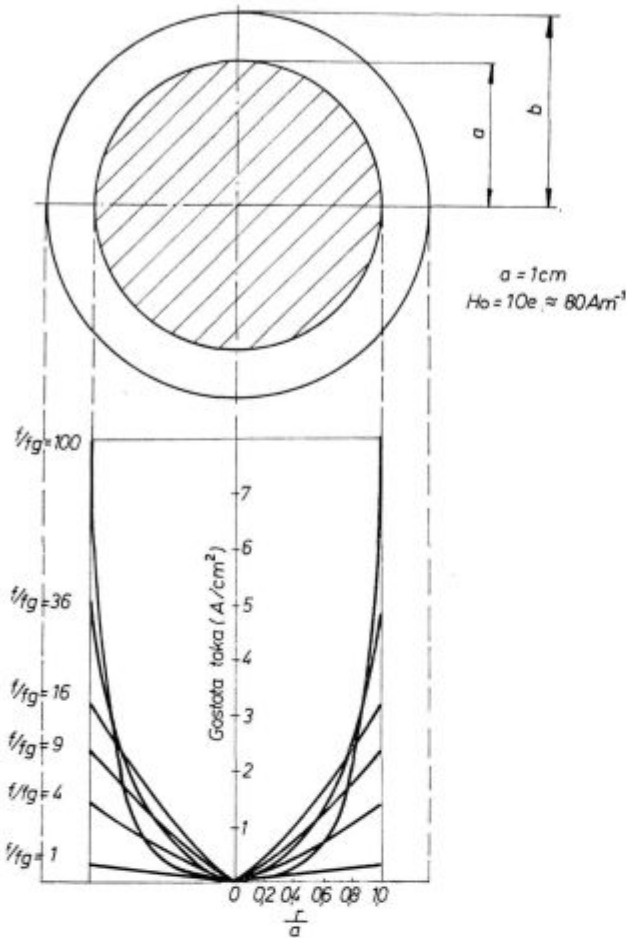
Impedanca

Impedanca je odvisna od velikosti tuljave ter fizikalnih lastnosti palice, ki je v njej. Med palico in tuljavo ostane vedno zračna reža, kar je pri neferomagnetnih palicah še posebno pomembno. Zato je treba upoštevati faktor polnitve $\eta = \frac{a^2}{b^2}$, pri čemer je a polmer palice, b pa polmer tuljave.

Na sliki 8 sta v kompleksni ravnini narisani realna in imaginarna komponenta impedance Z za različne vrednosti parametrov f/f_g in η pri $\mu = 1$ (26).

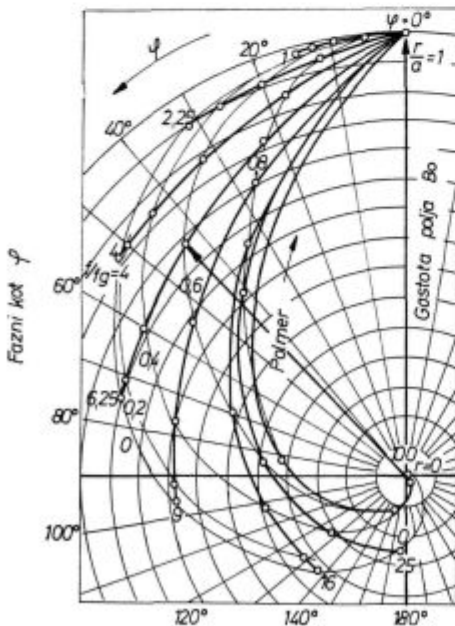
Vrednost ωL_0 , s katero sta obe komponenti normirani, je impedanca prazne tuljave.

Ce v tuljavi ni palice, je le imaginarna komponenta različna od 0. Ce pa imamo v tuljavi palico, se v njej pojavijo vrtnični tokovi, ki zmanjšajo polje, kar se zrcali v manjši imaginarni komponenti



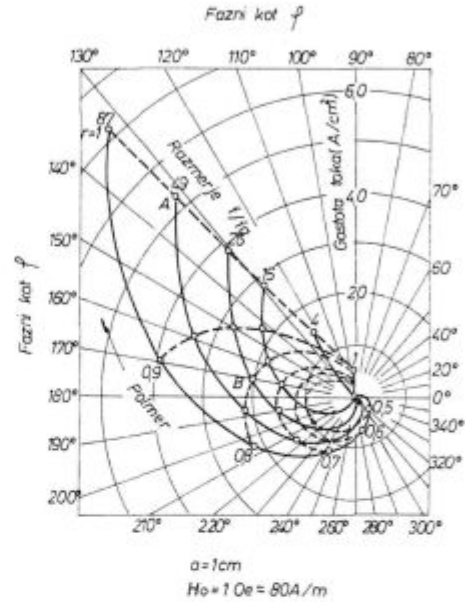
Slika 5

Absolutna vrednost gostote vrtničnih tokov v palici



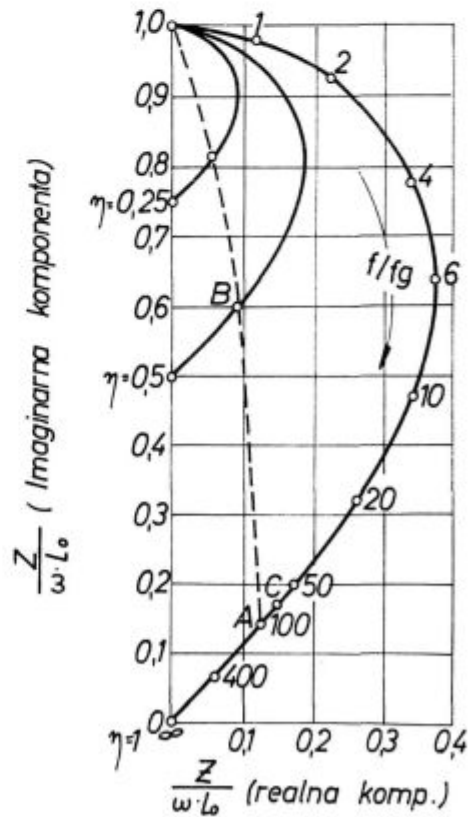
Slika 6

Magnetno polje v palici



Slika 7

Gostota vrtničnih tokov v palici



Slika 8

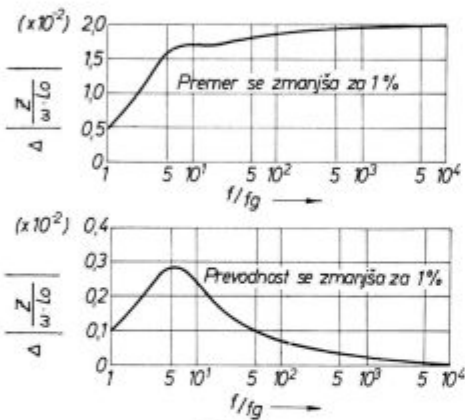
Impedanca

nenti impedance, obenem pa zvečajo realno komponento. Pri zelo visokih frekvencah se polje v notranjosti palice izredno močno zmanjša, pa tudi plast, po kateri tečejo vrtnični tokovi, se zoži, kar oboje zmanjšuje impedanco.

Ce je $\eta < 1$, to vpliva na realno in imaginarno komponento. Z zviševanjem frekvence se realna komponenta zmanjša na 0, imaginarna pa ostane različna od nič, sorazmerna razmerju površine špranje proti celotnemu preseku tuljave. Če je $\mu > 1$, se vpliv špranje zmanjša, impedanca pa se poveča (Slike 16, 17, 18 in 19).

Kako se spremeni impedanca tuljave ($\eta = 1$), če se na primer pri $f/f_g = 100$ zmanjša premer na 70,7 % prvotne vrednosti?

Spremeni se polnilni faktor, η se zmanjša na 0,5. Spremeni pa se tudi razmerje f/f_g , zmanjša se na 50. Novo impedanco bi ponazarjala točka v kompleksni ravnini, ki leži na krivulji $\eta = 0,5$ na mestu $f/f_g = 50$. Če se torej premer zmanjša



Slika 9
Odvisnost spremembe impedanc od razmerja f/f_g .

na 70,7 % prvotne vrednosti, se realna komponenta zmanjša (manj vrtničnih tokov), imaginarna se pa poveča (večja reža). Iz točke A na sliki 7 pridemo v točko B.

Kaj se spremeni, če se električna prevodnost palice spremeni?

Karakteristična frekvenca f_g je obratno sorazmerna z električno prevodnostjo σ . Če se na primer pri razmerju $f/f_g = 100$ in $\eta = 1$ zmanjša σ na 70,7 % prvotne vrednosti, je novo razmerje $f/f_g = 70,7$. Iz točke A na sliki 8 pridemo po krivulji ($\eta = 1$) v točko C, ki leži na mestu $f/f_g = 70,7$.

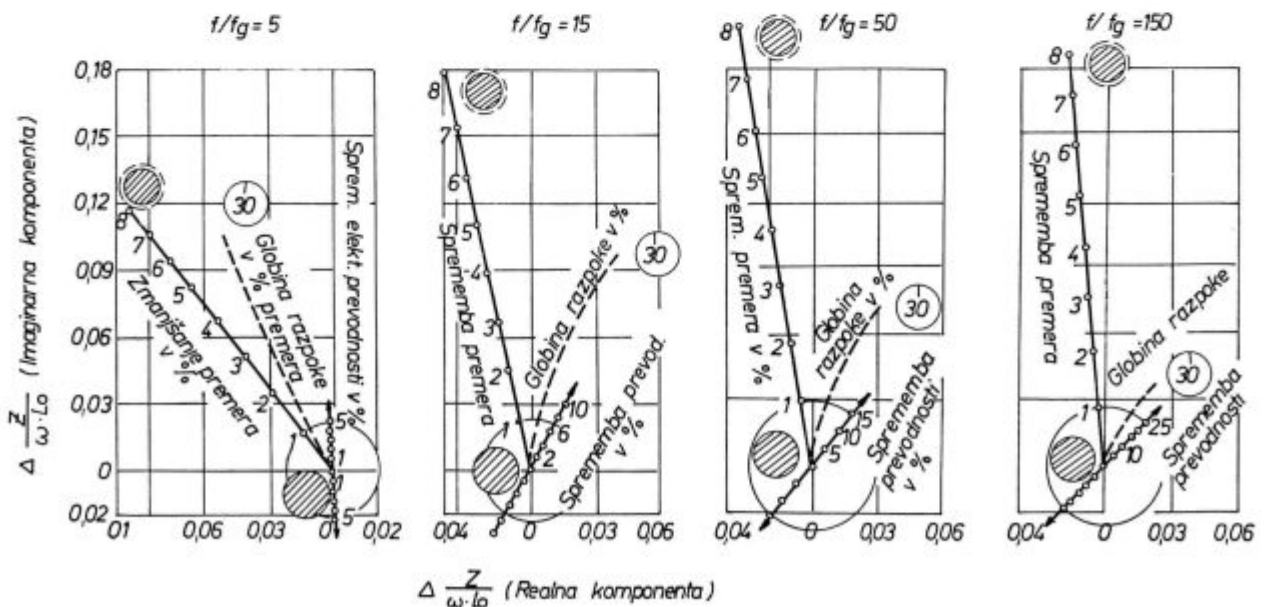
Spremembe premera in spremembe prevodnosti se torej odražajo v spremembi impedanc. Velikost spremembe impedanc je močno odvisna od frekvence (Slika 9).

Razpoke v palici

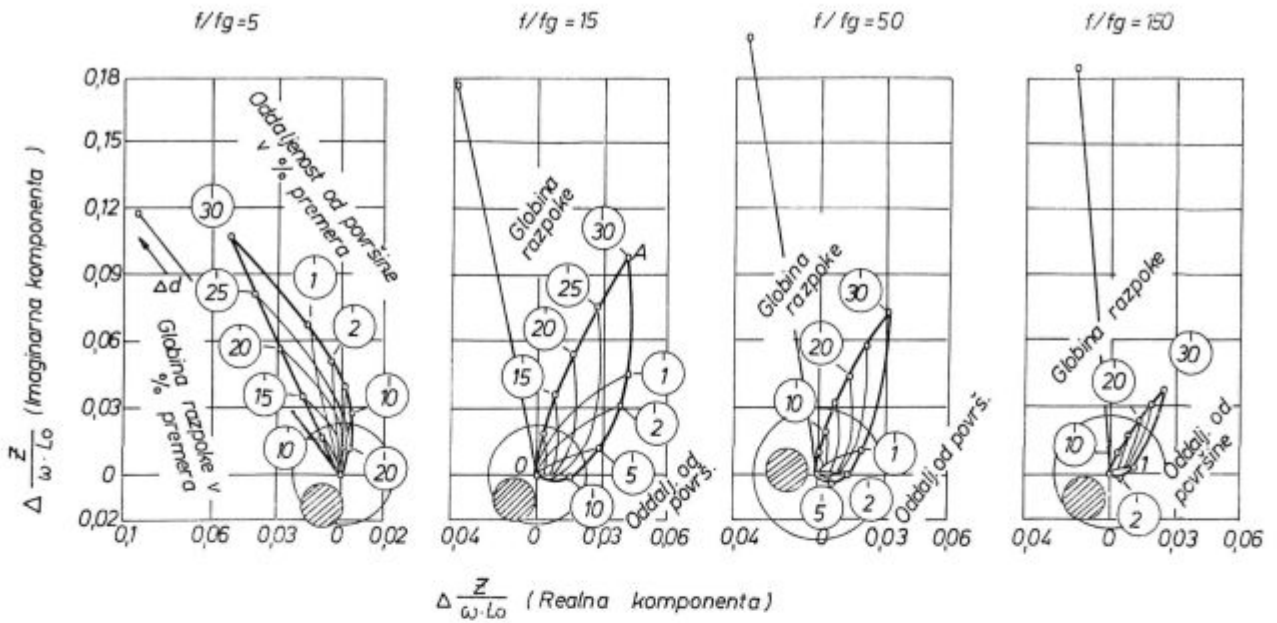
Zanimivo bi bilo vedeti, kako vplivajo na impedanco različne površinske razpoke. Če je na primer v eni sekundarni tuljavi del palice, v katerem je neka napaka, v drugi sekundarni tuljavi pa »zdrav« del palice, dobimo na sponkah A in C po sliki 1 inducirano napetost, ki je sorazmerna razliki v impedanci.

S poskusi na modelu so na inštitutu dr. Förster v Reutlingenu ugotavljali, kako vplivajo na impedanco različno globoke in široke radialne razpoke. V tuljavo so vtaknili stekleno cevko, napolnjeno z živim srebrom. Nato so v ta tekočinski steber vstavljali lističe izolatorja, jih premikali v radialni smeri in pri tem merili impedanco. Tako so prišli do zanimivih rezultatov, ki so prikazani na slikah 10, 11 in 12.

Na sliki 10 je prikazano, kako se spremeni impedanca, če se zmanjša polmer za 8 % in če imamo



Slika 10
Sprememba impedanc pri tankih razpokah



Slika 11
Sprememba impedence pri »podkožnih« razpokah

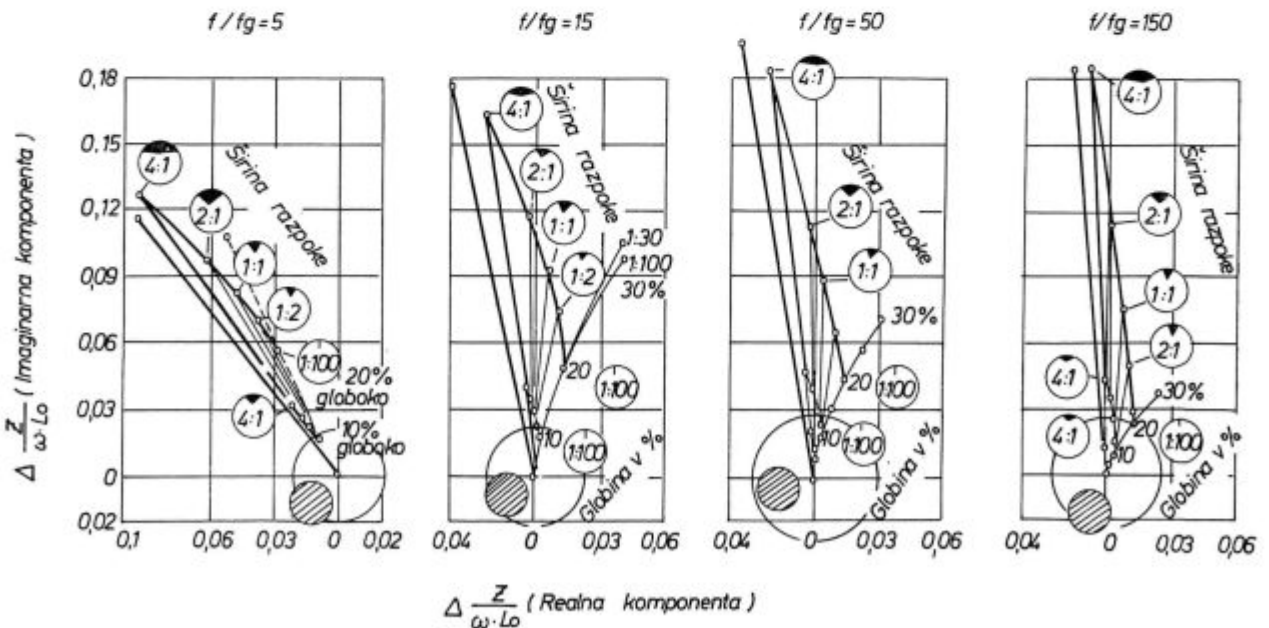
opravka s tanko površinsko razpoko, ki sega do 30 % premera v globino v radialni smeri. Za ilustracijo je prikazan tudi vpliv električne prevodnosti. Izbrane so štiri vrednosti parametra f/f_g : 5, 15, 50 in 150.

Sprememba impedence, ki jo povzroči zmanjšanje premera, se ne ujema popolnoma z vrednostmi, ki smo jih sami izračunali. Naše vrednosti so podane na slikah 20, 21, 22 in 23, če upoštevamo, da je $\mu = 1$. Diagrami na slikah 10, 11 in 12 so pa prerisani iz članka¹.

Očitno je sledeče: razlika v impedanci zaradi prisotnosti površinskih napak se spreminja s frek-

venco po velikosti in fazi. Če je razmerje f/f_g premajhno, je kot med signalom zaradi razpok in signalom zaradi dimenzijskih nihanj zelo majhen, če pa je previsoko, se pa signal zaradi razpok močno zmanjša. Izkazalo se je¹, da je optimum nekje pri razmerju $f/f_g \approx 15$. Vse to velja le, če je $\mu = 1$.

Na sliki 11 so za omenjena frekvenčna razmerja podane tudi spremembe impedence zaradi tankih razpok, ki se pojavljajo v različnih legah pod površino. »Podkožno« razpoko je težje opaziti kot pa površinsko, ker absolutna sprememba impedence zelo hitro pada, če gremo z razpoko proti sredini preseka. Kot med smerema, v katerih se kažejo



Slika 12
Sprememba impedence pri plitvih površinskih razpokah

dimenzijska nihanja in »podkožne« razpoke, je pa večji, kar je ugodno. Optimum je nekje pri $f/f_g \approx 5$.

Na sliki 12 so podobno kot pri slikah 10 in 11 podane spremembe impedance za različne oblike površinskih razpok. Podano je razmerje med širino in globino razpoke. Te povzročajo v impedanci približno takšne spremembe kot dimenzijska nihanja.

Sortiranje z defectomatom 2.189

Z defectomatom ločimo palice na dobre in slabe. V kontrolni omari aparata je vgrajena katodna cev, kjer na zaslonu direktno lahko opazujemo spremembe impedance, tako kot na sliki 10.

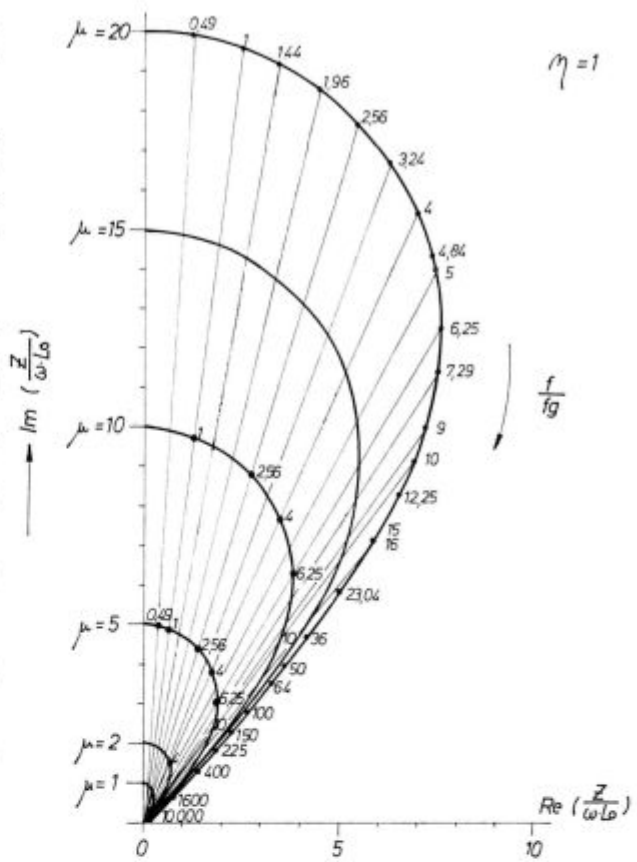
Preden začnemo s sortiranjem, vtaknemo v tuljavo del testne palice, ki je brez napak. Na zaslonu v bistvu opazujemo napetost med točkama A in C po sliki 1. Če imata oba dela palice enake lastnosti in če sta tudi sekundarni tuljavi med seboj enaki, je napetost enaka nič. Na zaslonu postavimo svetlo piko (polarni koordinatni sistem) v izhodišče.

Nato premaknemo palico toliko, da se tisti del, ki ima znano napako, premakne v en del sekundarne tuljave, v drugem delu imamo pa še vedno del palice brez napake. Med točkama A in C dobimo neko napetost — svetla pika na zaslonu se odmakne od izhodišča. Velikost odmika in smer sta odvisna od vrste napake. Če povečujemo ojačenje signala, se svetla pika oddaljuje še naprej v radialni smeri. Če pa sučemo gumb za nastavitev faznega kota, pa svetla pika potuje na zaslonu po krogu.

Aparat je izdelan tako, da z njim ločimo palice na dobre in slabe glede na velikost odmika svetle pike v navpični smeri. Če ta prekorači določen prag, bo palica ocenjena kot slaba, če pa ne, bo pa dobra. Prag je na zaslonu našega defectomata visok 1 cm. Če torej pri določeni izbrani napaki želimo, da bi vse palice z večjimi napakami bile ocenjene kot slabe, nastavimo ojačitev tako, da je premik pike na zaslonu v navpični smeri ravno 1 cm.

Pri neferomagnetnih palicah lahko izračunamo, v katero smer bi se premaknila svetla točka na zaslonu, če bi prišlo do dimenzijskih sprememb. Kadar nas zanimajo le razpoke, dimenzijska nihanja pa ne, predhodno nastavimo fazni kot tako, da bi sprememba dimenzije povzročila premik svetle točke v vodoravni smeri. Seveda je treba potem ojačenje toliko popraviti, da je spet navpična komponenta premika svetle točke na zaslonu zaradi umeritvene napake enaka 1 cm.

Nato lahko začnemo z avtomatičnim ločevanjem palic. Palice potujejo skozi tuljavo in na koncu jih poseben avtomat loči na dve skupini glede na to, če so bile razlike v lastnostih palice na kakšnem mestu tako velike, da je bil signal na zaslonu v navpični smeri večji od 1 cm. Aparat nam po želji nariše tudi diagram odvisnosti velikosti signala od dolžine palice. Avtomatično prešteje, koliko palic smo pregledali in koliko je bilo dobrih in slabih. S posebno barvo označi mesto napake na palici.

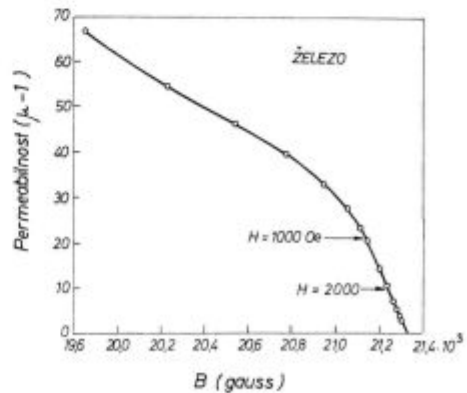


Slika 13 Impedanca v odvisnosti od relativne permeabilnosti ($\mu > 1$)

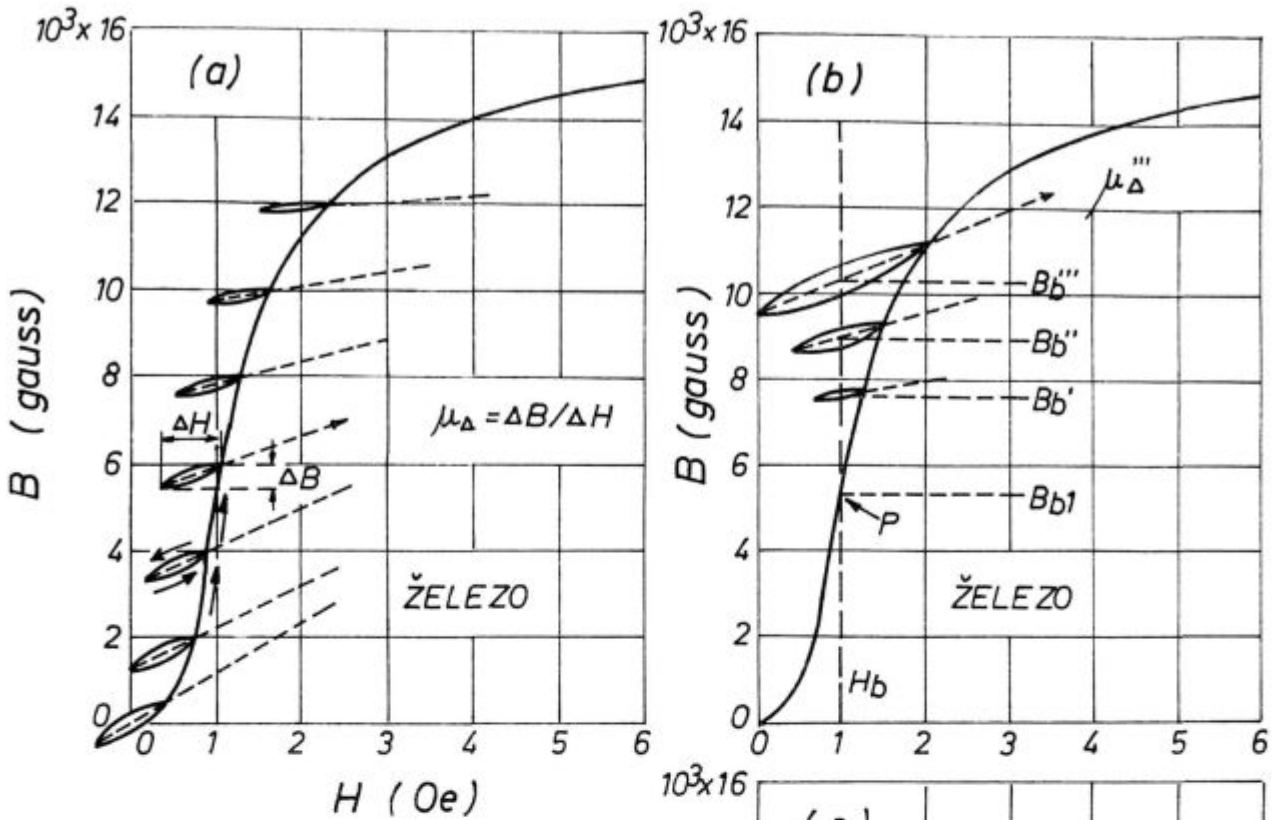
Zal pa napak, ki so bolj v sredini preseka in ki ne segajo do površine, naš aparat ne »vidi«. Prav tako na primer ne bi mogel registrirati razpoke, ki bi se raztezala vzdolž vse palice in bi bila povsod popolnoma enako globoka in široka. Dolžina sekundarnih tuljav po sliki 1 je približno 2 cm. Če torej na intervalu 2 cm ni tolikšnih razlik, je za defectomata palica dobra. K sreči v praksi tako enakomernih napak ni.

Feromagnetne palice

Pregledovati pa je mogoče tudi palice iz feromagnetnih materialov. Nihanja permeabilnosti seveda zelo močno vplivajo na impedanco. Zato so



Slika 14 Relativna permeabilnost v čistem železu



Slika 15

Odvisnost diferenčne relativne permeabilnosti od jakosti enosmernega polja in amplitude izmeničnega polja

pri defectomatu 2.189 tuljave s slike 1 postavljene v močno enosmerno magnetno polje (gostota v zraku je približno 0,1 T). Po prospektu proizvajalca je palica tako namagnetena do nasičenja in relativna permeabilnost se približuje vrednosti 1.

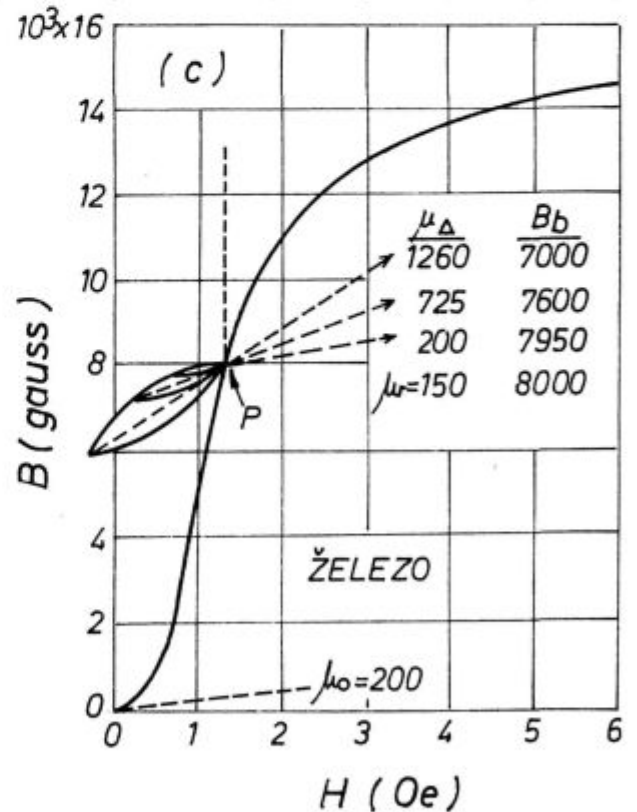
Amplituda izmeničnega polja (ΔH) je mnogo manjša od jakosti enosmernega polja. Tu gre v resnici za relativno reversibilno permeabilnost, ki je definirana kot mejni primer diferenčne permeabilnosti:

$$\mu_r = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \frac{\Delta B}{\mu_0 \Delta H}$$

Ta doseže vrednost 1 šele v limiti, ko gre jakost enosmernega polja proti neskončnosti. V nadaljnjem tekstu bomo reversibilno permeabilnost označevali kar z μ .

Naše enosmerno magnetno polje pa je končno. Zato ne smemo misliti, da so razmere v feromagnetni palici popolnoma enake kot pri neferomagnetni. Če je enosmerno magnetno polje zadosti močno, se diferenčna permeabilnost v resnici zmanjšuje, vendar pa je μ še daleč od vrednosti 1. To pa močno vpliva na impedanco (Slika 13).

V literaturi² smo poiskali sliki 14 in 15, ki obravnavata stanje pri čistem železu. Po sliki 14 bi bila relativna permeabilnost pri predpisani enosmerni magnetni poljski jakosti 1500 Oe še vedno približno 15, kar pa za nas ni nepomembno.



Na sliki 15 pa vidimo, kako se spreminja diferenčna permeabilnost v odvisnosti od jakosti enosmernega magnetnega polja in od amplitude izmeničnega polja. Vprašanje je, koliko se lahko približamo vrednosti 1.

Če je $\mu = 5$ ali celo 10, potem naša frekvenca 10 kHz ni tako primerna, saj se razmerje f/f_g po-

makne v področje, ki je razmeroma neugodno za ugotavljanje razpok v naših palicah. Signal je namreč relativno manjši, kot pa bi bil pri nižji frekvenci (Slika 11). Naš sum, da nismo v takem nasičenju, da bi lahko razmere v feromagnetni palici obravnavali, kot da gre za neferomagnetno, potrjuje tudi ugotovitev, da se signal močno poveča, če enosmerno magnetno polje le nekoliko zmanjšamo.

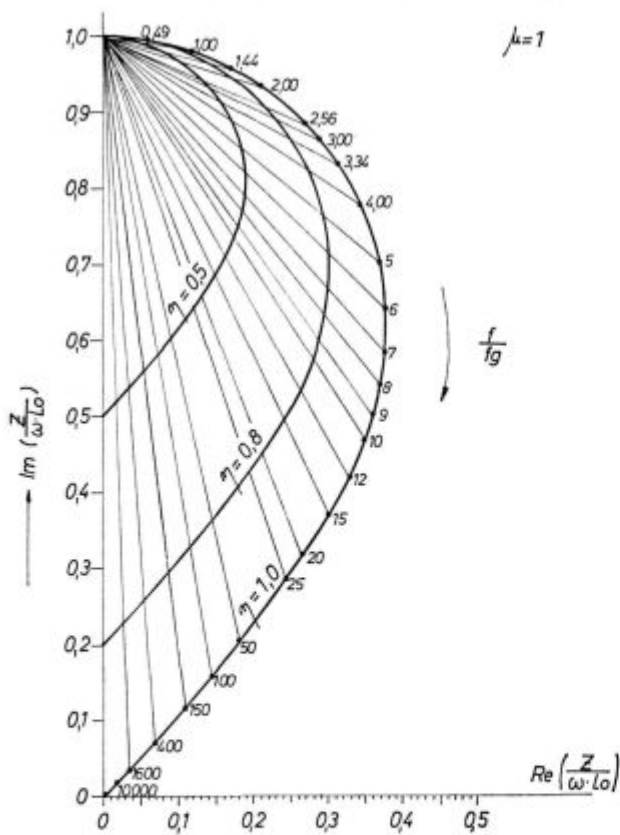
Ni nam še znano, koliko se morda pri takem enosmernem polju spreminja pri naših palicah tudi permeabilnost vzdolž palice. To bi lahko imelo odločilne posledice.

Dokazali smo, da imajo naše neferomagnetne palice še vedno nekaj feromagnetne faze. Raziskati bo treba, kako je pri takih palicah z nasičenjem in kolikšna je permeabilnost μ , ker se količina feromagnetne faze močno spreminja z dolžino.

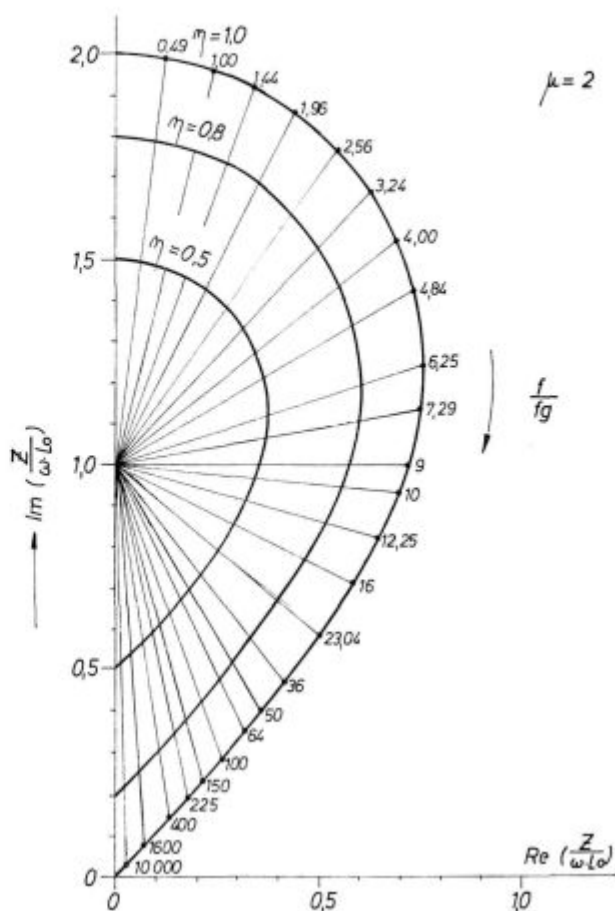
Oglejmo si, kaj se spremeni, če je reverzibilna permeabilnost večja od 1!

Na slikah 16, 17, 18 in 19 so narisani diagrami, ki predstavljajo impedanco pri različnih vrednostih permeabilnosti. Vpliv špranje se z naraščajočo permeabilnostjo zmanjšuje. Pri višjih vrednostih μ je signal ustrezno višji.

Na slikah 20, 21, 22 in 23 so samo skicirane spremembe v impedanci, ki bi nastale, če bi se premer palice zmanjšal za 1–10 % pri različnih vrednostih f/f_g in pri $\mu = 1, 2, 5, 20$. Spremembo impedance, ki bi jo povzročila sprememba preme-



Slika 16
Impedanca ($\mu = 1$)



Slika 17
Impedanca ($\mu = 2$)

ra pri $\mu = 1$, smo izračunali sami po programih, ki so opisani v dodatku II, ostale vrednosti smo pa poiskali iz diagramov 17, 18 in 19. Spremembe impedance, ki bi jih povzročile tanke razpoke, so samo skicirane, ker ne moremo preveriti diagramov 10, 11, 12, kjer smo ugotovili manjša odstopanja med našimi in avtorjevimi izračuni.

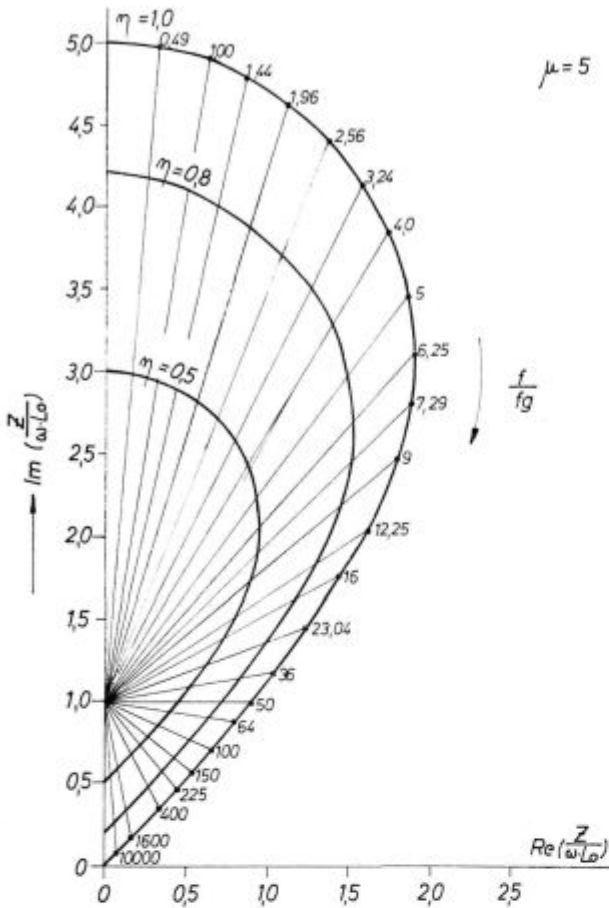
Smer, v kateri se spreminja impedanca zaradi dimenzijskih razlik, se močno spreminja s permeabilnostjo. Ni mogoče vnaprej nastaviti takega faznega kota, da bi izločili eno (znano) vrsto napake, če prej ne poznamo vrednosti μ .

Pri višjih vrednostih μ se zmanjšuje tudi sposobnost za registracijo »podkožnih« razpok.

ZAKLJUČEK

Preverili smo vse izpeljave formul, ki so navedene v raznih člankih, ki opisujejo induksijske metode pri preiskovanju palic. Prišli smo do naslednjih zaključkov.

Pri pregledovanju feromagnetnih palic ni možno, da bi prišli do takega nasičenja, da bi bile razmere pri teh palicah enake kot pri neferomagnetnih. Važno je le, da je enosmerno polje tako močno, da se μ zelo počasi spreminja. Reversibilna permeabilnost je pa vedno večja od nič.



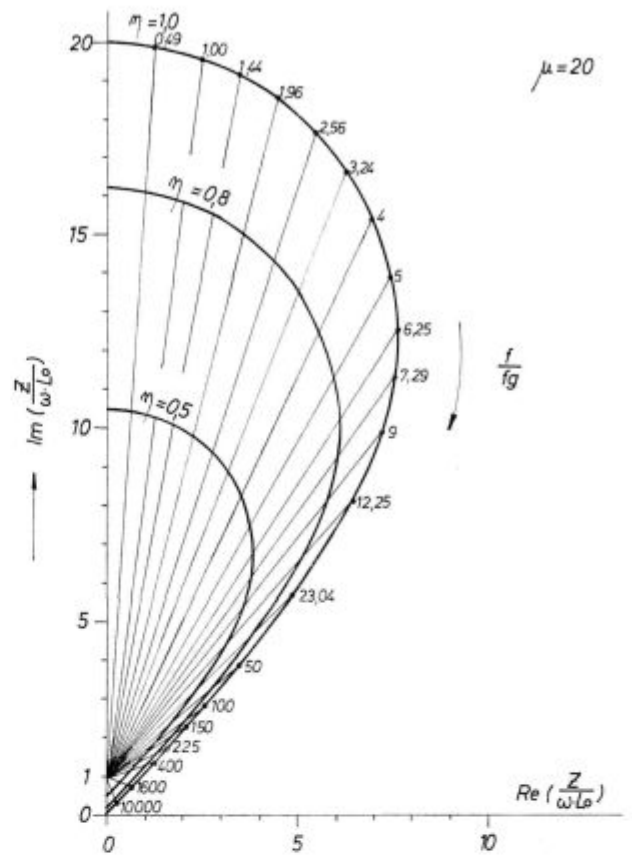
Slika 18
Impedanca ($\mu = 5$)

Vedno je treba aparat umeriti na določene napake. Imeti moramo testne palice, v katerih so znane napake. Ne moremo vnaprej predvidevati, kako se bo spreminjala impedanca pri določeni vrsti napake.

Fazni kot naj bi bil po mnenju proizvajalcev nastavljen tako, da bi bil signal od izbrane napake kar največji pri ojačitvi, ki si jo izberemo.

Verjetno lahko predpostavljamo, da je tudi pri feromagnetnih palicah smer spremembe impedanc za tanke razpoke taka kot pri neferomagnetnih palicah (Sliki 10 in 11). Pričakujemo pa tudi, da bodo plitve površinske razpoke povzročile približno tako spremembo impedanc kot dimenzijska nihanja, ostale napake pa bodo nekje vmes (Slika 12).

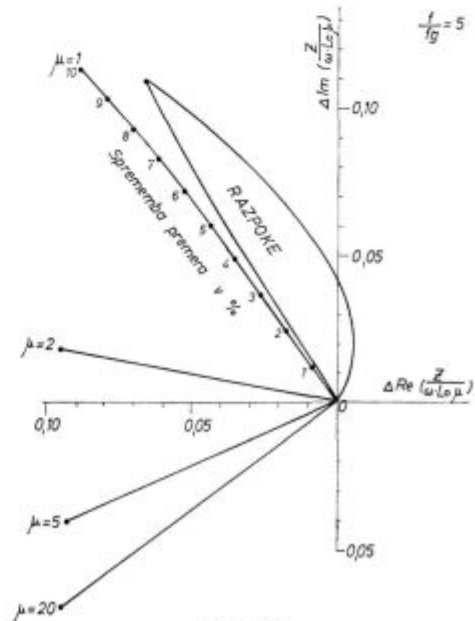
Očitno je, da je razpon različnih smeri, v katerih se kažejo spremembe impedanc zaradi razpok pri feromagnetnih palicah širši kot pri neferomagnetnih (ker je $\mu > 1$). Lahko bi se zgodilo, da pri določeni nastavitvi faznega kota ne bi bilo mogoče registrirati neke druge napake, ki bi povzročila, da bi dobili na zaslonu signal v vodoravni smeri. Morda pa bi bila taka napaka za nas prav tako pomembna in je ne bi smeli zgrešiti. Zato bomo skušali ugotoviti, kakšne spremembe impe-



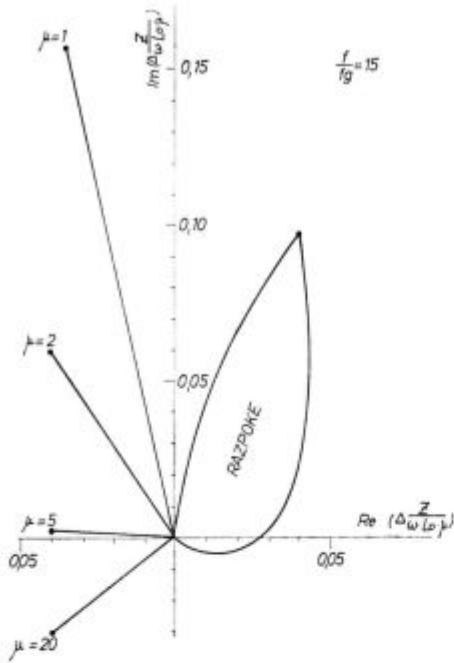
Slika 19
Impedanca ($\mu = 20$)

dance povzročajo vse tiste napake, ki so za nas važne. Nastavili bomo tak fazni kot, da bo aparat lahko registriral kar največ pomembnih napak.

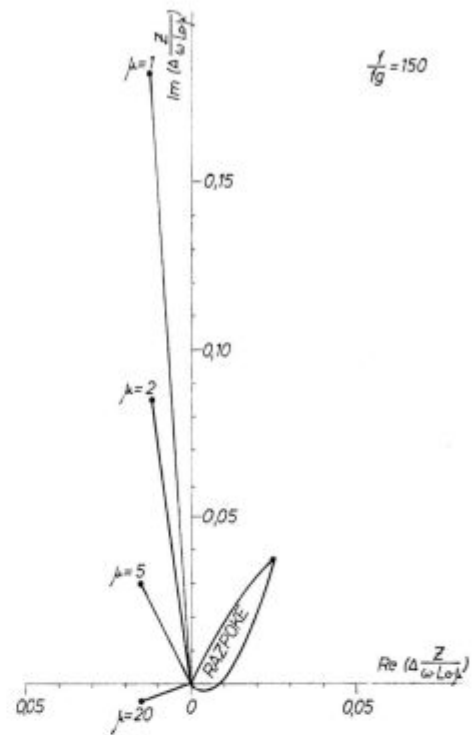
Če pa variira tudi relativna permeabilnost od palice do palice, se s tem spreminja tudi širina



Slika 20
Sprememba impedanc pri $f/f_0 = 5$



Slika 21
Sprememba impedance pri $f/f_g = 15$



Slika 23
Sprememba impedance pri $f/f_g = 150$

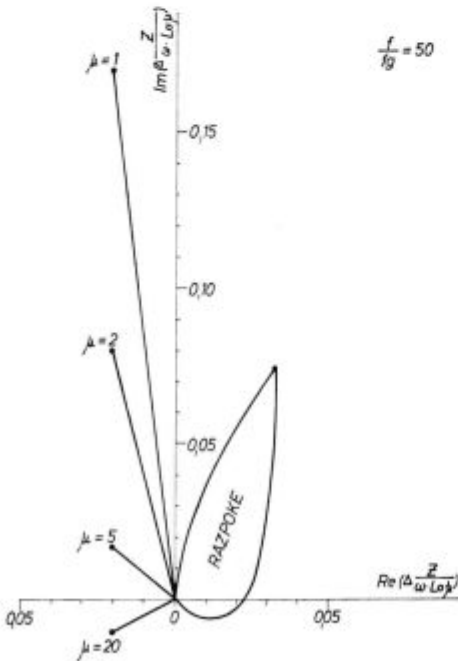
področja v kompleksni ravnini, kjer opazujemo spremembo impedance zaradi razpok in bi pri drugi vrednosti μ zgrešili drugo napako.

Sprememba relativne permeabilnosti bi vplivala tudi na velikost signala. Zato bi se lahko zgodilo, če bi se permeabilnost spreminjala od palice do palice, da bi dobili prevelik signal zaradi spremembe v permeabilnosti in ne zaradi razpok. Tako

bi dobra palica padla med slabe. Lahko pa sklepamo tudi obratno.

Za uspešnejše delo z defectomatom bomo zato izdelali testne palice z znanimi napakami in pri tem zasledovali, kaj pri določeni nastavitvi ojačitve in faze aparat že označi za slabo.

Vseh vrst razpok seveda ne bo mogoče izdelati, vendar pa smo prepričani, da bomo tako boljše izkoristili možnosti, ki nam jih ta aparat nudi pri odkrivanju napak na paličastem jeklu.



Slika 22
Sprememba impedance pri $f/f_g = 50$

Dodatek I.

Seznam uporabljenih simbolov:

- a polmer palice
 - b polmer tuljave
 - \vec{B} gostota magnetnega polja
 - \vec{E} električna poljska jakost
 - \vec{D} gostota površinskega naboja
 - f frekvenca
 - f_g mejna frekvenca
 - \vec{H} magnetna poljska jakost
 - \vec{i}_r
 - \vec{i}_φ
 - \vec{i}_z
 - \vec{I} gostota toka
 - j imaginarna enota
- } enotni vektorji

J_0, J_1	. . . . .	Besselove funkcije
l	. . . . .	dolžina palice
P	. . . . .	moč
r	. . . . .	polmer
U	. . . . .	napetost
Z	. . . . .	impedanca
δ	. . . . .	vdorna globina
ϵ	. . . . .	dielektrična konstanta
ϵ_0	. . . . .	influenčna konstanta
Φ	. . . . .	magnetni fluks
μ	. . . . .	relativna permeabilnost
μ_0	. . . . .	indukcijska konstanta
σ	. . . . .	specifična električna prevodnost
ρ	. . . . .	gostota naboja
$\omega = 2\pi f$		

1. Magnetno polje v homogeni palici

Izhajamo iz Maxwellovih enačb:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{D} &= \rho & 1) \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0 & 2) \\ \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{I} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} & 3) \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & 4) \end{aligned}$$

pri čemer je

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \mu\mu_0\vec{H} & 5) \\ \vec{D} &= \epsilon\epsilon_0\vec{E} & 6) \\ \vec{I} &= \sigma \cdot \vec{E} & 7) \end{aligned}$$

Če ponovimo operacijo rot na enačbi (3) in upoštevamo (4) in (7), dobimo:

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{H} = -\sigma\mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} - \epsilon\epsilon_0\mu\mu_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad 8)$$

Predpostavljamo, da imamo opravka s sinusnim nihanjem polja:

$$\vec{H}(r, \varphi, z, t) = \vec{H}(r, \varphi, z) \cdot e^{j\omega t} \quad 9)$$

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \vec{H} = -j\omega\sigma\mu\mu_0\vec{H} - \omega^2\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0\vec{H} \quad 10)$$

Drugi člen na desni lahko zanemarimo, ker so frekvence, s katerimi imamo opraviti, prenizke.

V cilindričnih koordinatah izračunamo rot \vec{A} takole:

$$\operatorname{rot} \vec{A} = \frac{1}{r} \begin{vmatrix} \vec{i}_r & r\vec{i}_\varphi & \vec{i}_z \\ \frac{\partial}{\partial r} & \frac{\partial}{\partial \varphi} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_r & rA_\varphi & A_z \end{vmatrix} \quad 11)$$

Pri tem so A_r, A_φ in A_z komponente nekega poljubnega vektorja \vec{A} v smeri enotnih vektorjev $\vec{i}_r, \vec{i}_\varphi, \vec{i}_z$. Magnetno polje v palici je rotacijsko simetrično:

$$\vec{H} = [0, 0, H_z(r)]$$

Enačbo (10) zapišemo takole:

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial H_z}{\partial r} - jk^2 H_z = 0 \quad 12)$$

pri čemer je

$$k^2 = \omega\sigma\mu\mu_0 \quad 13)$$

Rešitev enačbe (11) lahko zapišemo v splošni obliki:³⁾

$$H_z = c_1 \cdot J_0(\sqrt{-j} kr) + c_2 \cdot N_0(\sqrt{-j} kr) \quad 14)$$

Ker rešitev ne sme biti singularna v izhodišču, je $c_2 = 0$.

Velja pa robni pogoj, da se tangencialna komponenta magnetne poljske jakosti (H_z) pri prehodu iz palice v vmesni prostor med palico in navitjem ohranja. Predpostavljamo, da je tuljava neskončno dolga, oziroma, da je polje v njej homogeno H_0 .

$$H(a) = H_0$$

- 1) Funkcijo $J_0(\sqrt{-j} kr)$ zapišemo v drugačni obliki:
- 2) $J_0(\sqrt{-j} kr) = \operatorname{ber}(kr) + j \operatorname{bei}(kr) \quad 15)$
- 3) Če upoštevamo enačbo (5) in rešitev (14), lahko zapišemo gostoto polja v palici v obliki:
- 4) $B_z(r) = \mu\mu_0 H_0 \frac{\operatorname{ber}(kr) + j \operatorname{bei}(kr)}{\operatorname{ber}(ka) + j \operatorname{bei}(ka)} \quad 16)$

2. Inducirana napetost

Napetost, ki se inducira v enem ovoju tuljave, izračunamo iz spremembe magnetnega fluksa:

$$U = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \int \operatorname{BdS} \quad 17)$$

Fluks je sestavljen iz dveh delov:

- iz fluksa, ki teče po palici
- iz fluksa v zračni reži med palico in navitjem

$$\begin{aligned} \Phi_0 &= 2\pi\mu\mu_0 H_0 \int_0^a \frac{\operatorname{ber}(kr) + j \operatorname{bei}(kr)}{\operatorname{ber}(ka) + j \operatorname{bei}(ka)} r dr + \\ &+ 2\pi\mu_0 H_0 \int_a^b r dr \end{aligned} \quad 18)$$

Pri tem računamo amplitudno vrednost magnetnega fluksa, pri čemer je a polmer palice, b pa polmer tuljave:

$$\begin{aligned} \Phi_0 &= \frac{2\pi\mu\mu_0 H_0}{\operatorname{ber}(ka) + j \operatorname{bei}(ka)} \cdot \frac{a}{k} \left[\operatorname{bei}'(ka) - \right. \\ &\left. - j \operatorname{ber}'(ka) \right] + \pi\mu_0 H_0 (b^2 - a^2) \end{aligned} \quad 19)$$

Magnetno polje sinusno niha:

$$\mathbf{H} = H_0 \cdot e^{j\omega t} \quad (20)$$

Pri odvajanju po času pridobimo faktor $j\omega$. Amplitudna vrednost inducirane napetosti:

$$U_0 = - \left(\frac{d\Phi}{dt} \right)_{\text{maks.}} = -j\omega\Phi_0 \quad (21)$$

$$U_0 = -\omega\pi\mu_0 H_0 \left\{ \mu \cdot \frac{2a^2 \left[\text{ber}'(ka) + j \text{bei}'(ka) \right]}{ka \left[\text{ber}(ka) + j \text{bei}(ka) \right]} + j(b^2 - a^2) \right\} \quad (22)$$

3. Impedanca

Impedanca je definirana takole:

$$Z = - \frac{U}{I} \quad (23)$$

pri čemer pomeni U inducirano napetost, I pa tok. Pri tem zanemarimo ohmsko in kapacitivno uporabo tuljave. Predpostavimo, da imamo opravka z 1 meter dolgim odsekom tuljave, ki je neskončno dolga in ima 1 ovoj na meter dolžine:

$$Z = \omega\mu\mu_0\pi a^2 \left\{ \frac{2}{ka} \left[\frac{\text{ber}'(ka) + j \text{bei}'(ka)}{\text{ber}(ka) + j \text{bei}(ka)} \right] + j\omega\pi\mu_0(b^2 - a^2) \right\} \quad (24)$$

Ce v tuljavi ni palice, velja za prazno tuljavo:

$$Z_0 = j\omega\mu_0\pi b^2 = j\omega L_0 \quad (25)$$

Impedanco zapišemo navadno^{5,6} v brezdimenzijski obliki:

$$\frac{Z}{\omega L_0} = \mu \cdot \eta \cdot \left\{ \frac{2}{ka} \left[\frac{\text{ber}'(ka) + j \text{bei}'(ka)}{\text{ber}(ka) + j \text{bei}(ka)} \right] + j(1 - \eta) \right\} \quad (26)$$

pri čemer je

$$\eta = \frac{a^2}{b^2}$$

4. Karakteristična frekvenca

V Besselovih funkcijah nastopa parameter ka :

$$ka = a \sqrt{\omega\mu\mu_0\sigma}$$

Förster⁶) uporablja namesto ka razmerje f/f_g , pri čemer je f_g karakteristična frekvenca, pri kateri je $ka = 1$. Včasih pravijo tej frekvenci tudi mejna frekvenca:

$$ka = \sqrt{\frac{f}{f_g}}$$

V literaturi večkrat srečamo tudi izraz za vdorno globino:

$$\delta = (\pi \cdot f \cdot \mu\mu_0\sigma)^{-1/2}$$

oziroma brezdimenzijski parameter $\frac{\delta}{a}$.

Zveza med omenjenimi parametri je naslednja:

$$ka = \sqrt{\frac{f}{f_g}} = \sqrt{2} \cdot \frac{a}{\delta} \quad (27)$$

5. Gostota in moč vrtilnih tokov

Za gostoto magnetnega polja v palici avtorji¹³ največkrat navajajo izraz za absolutno vrednost. Tudi slike 3 in 4 so narisane na podlagi formule (28):

$$|B| = \mu\mu_0 H_0 \left[\frac{\text{ber}^2(kr) + \text{bei}^2(kr)}{\text{ber}^2(ka) + \text{bei}^2(ka)} \right]^{1/2} \quad (28)$$

Ker smo zanemarili drugi člen na desni strani v enačbi (10), lahko gostoto toka \vec{I} v palici izračunamo po formuli:

$$\vec{I} = \text{rot } \vec{H}$$

$$\vec{I} = H_0 k \cdot \frac{\text{ber}'(kr) + j \text{bei}'(kr)}{\text{ber}(ka) + j \text{bei}(ka)} \cdot \hat{i}_\varphi \quad (29)$$

$$|I| = H_0 \cdot k \left[\frac{\text{ber}'^2(kr) + \text{bei}'^2(kr)}{\text{ber}^2(ka) + \text{bei}^2(ka)} \right]^{1/2} \quad (30)$$

Moč, ki jo trošijo vrtilni tokovi v okrogli palici s polmerom a in dolžino l :

$$P = \int_0^a I^2 \cdot \frac{1}{\sigma} \cdot 2\pi \cdot l \cdot r dr \quad (31)$$

S pomočjo primerne priročnika^{3,4} lahko izračunamo gornji integral in zapišemo absolutno vrednost moči v obliki:

$$|P| = F \cdot (\text{Re}^2 + \text{Im}^2)^{1/2} \quad (32)$$

$$F = \frac{\pi \cdot l \cdot H_0^2 (ka)^2}{\sigma [\text{ber}^2(ka) + \text{bei}^2(ka)]}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \text{ber}'^2(ka) - \text{bei}'^2(ka) + 2 \text{ber}(ka) \cdot \\ &\cdot \text{bei}(ka) + \frac{2}{ka} [\text{ber}(ka) \cdot \text{ber}'(ka) - \\ &- \text{bei}(ka) \cdot \text{bei}'(ka)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Im} &= \text{ber}^2(ka) - \text{bei}^2(ka) - 2 \text{ber}'(ka) \cdot \\ &\cdot \text{bei}'(ka) - \frac{2}{ka} [\text{ber}(ka) \cdot \text{bei}'(ka) + \\ &+ \text{ber}'(ka) \cdot \text{bei}(ka)] \end{aligned}$$

Ta izpeljava sicer ni bistvenega pomena pri razumevanju delovanja defectomata. Pri indukcijskih pečeh so pa razmere glede porazdelitve magnetnega polja in vrtilnih tokov zelo podobne.

Moč, ki jo trošijo inducirani tokovi, je pri manjših polmerih zelo majhna, nato pa linearno narašča s polmerom.

Iz enačbe (32) in slike 24 se da videti, zakaj ni mogoče v naši visokofrekvenčni peči ($P = 15 \text{ kW}$, $f = 10 \text{ kHz}$) staliti jeklene žice $\varnothing = 6 \text{ mm}$, oziroma bakrene palice $\varnothing = 20 \text{ mm}$.

Gostota vrtničnih tokov pri jekleni palici (10 kHz) z naraščanjem polmera od 0 do 10 mm najprej hitro narašča (slika 25), potem se pa praktično ne spreminja več. Moč narašča sicer zaradi večjega obsega palice, kar se odraža v linearnem naraščanju moči s polmerom (slika 24).

ratura $\approx 1000^{\circ}\text{C}$, oziroma, da je relativna permeabilnost železa 1. Vrednosti za specifično upornost so seveda tudi višje.¹³

DODATEK II

1. Besselove funkcije

Pri praktičnem računanju so povzročale težave funkcije ber, bei, ber' in bei'. V tabelah³ so podane funkcijske vrednosti le za argumente, ki so manjši od 10.

Funcijske vrednosti za argumente, ki so manjši od 6, smo izračunali po formulah:

$$\text{ber}(x) = 1 - \frac{\left(\frac{1}{2}x\right)^4}{(2!)^2} + \frac{\left(\frac{1}{2}x\right)^8}{(4!)^2} - + \dots \quad 33$$

$$\text{bei}(x) = \frac{\left(\frac{1}{2}x\right)^2}{(1!)^2} - \frac{\left(\frac{1}{2}x\right)^6}{(3!)^2} + - \dots \quad 34$$

Za ber' in bei' smo uporabili odvode izrazov (33) in (34). Sestavili smo program*, po katerem seštejemo prvih 20 členov. Seštevanje se prekine, če pade vrednost člena pod $1 \cdot 10^{-9}$.

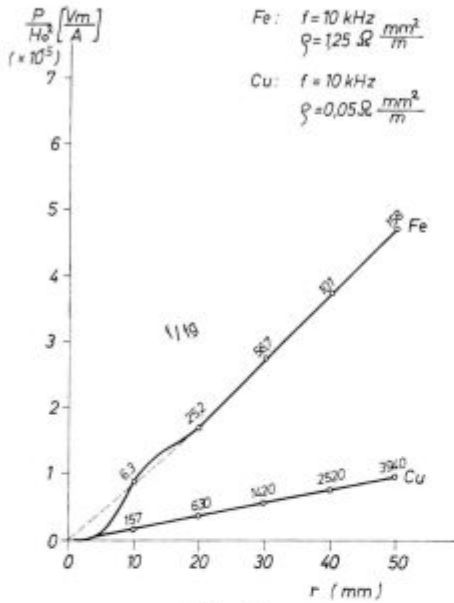
Za argumente, ki so večji od 6, smo pa uporabili aproksimativne formule, oziroma odvode naslednjih izrazov:

$$\text{ber}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x}} \cdot e^{\frac{x}{\sqrt{2}}} \cdot \cos\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \quad 35$$

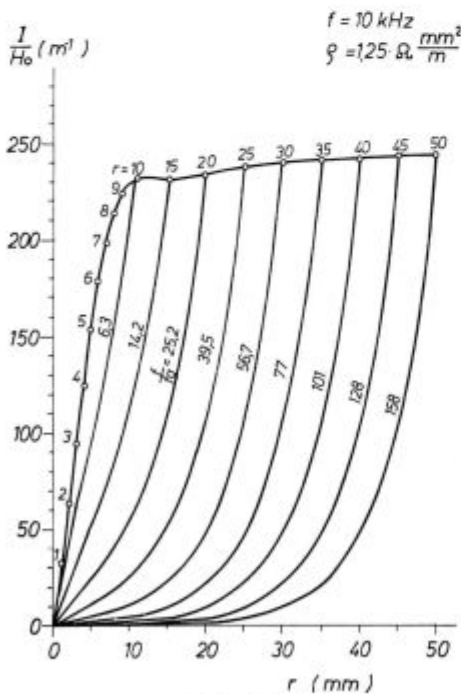
$$\text{bei}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x}} \cdot e^{\frac{x}{\sqrt{2}}} \cdot \sin\left(\frac{x}{\sqrt{2}} - \frac{\pi}{8}\right) \quad 36$$

Izkazalo se je, da aproksimativna formula velja dokaj dobro že od $x > 2$ naprej.

Priložene so kopije programov za izračun teh funkcij.



Slika 24
Moč na meter dolžine: P(W/m), H₀(A/m)



Slika 25
Gostota toka v odvisnosti od polmera: I(A/m²), H₀(A/m)

Na obeh slikah so navedene absolutne vrednosti moči (na meter dolžine), oziroma gostote vrtničnih tokov) Pri tem upoštevamo, da je tempe-

* Program je izdelal tov. M. Javornik, študent tehniške fizike, ki je bil na počitniški praksi na raziskovalnem oddelku v železarni Jesenice v juliju 1973.

FUNCTION BERZX

```

C
C   PODPROGRAM ZA IZRACUN REAL. KOMPONENTE BESSLOVE FUNKCIJE
C       JOZX*SQRT%I% S BERZX - BEIZX * I       I  IMAG. ENOTA
C       ARGUMENT REALEN
C       VREDNOST FUNKCIJE REALNA
C       NAČIN UPORABE
C           Y S BER ZX
C
C   *****
C   *   PODPROGRAM JE PREIZKUSEN ZA ARGUMENTE ABSOLUTNO MANJSE OD 6.0*
C   *****
C   *   STEVILO ČLENOV VRSTE JE OMEJENO NA 20   *
C   *****
C   *   IZRACUN SE PREKINE KO JE ČLEN VRSTE MANJST KOT 1.E-09   *
C   *****
C   ČE JE X MANJŠI ALI KVEČJEMU ENAK 6, RAČUNAMO PO EKSAKTNI FORMULI,
C   PRI VREDNOSTIH, KI SO VEČJE OD 6 PA RAČUNAMO PO APROKSIMATIVNI FOR-
C   MULI
C   IFZX-6.055,55,56
55  QSZX*X%ZX*X%/16.0
    SBER$1.0
    A$1.0
    DO I 1$1,20
    RI $ 2 * I
    RI1 $ RI - 1.0
C
    A $ -A *Q/%RI*RI*RI1*PI1%
    IF %ABS%1.0E-09%2,1,1
    SBER$SBER +A
C
2   BER $ SBER
    RETURN
56  PI$3.141593
    SP$SQRT%2.*PI*X%
    Y$X/SQRT%2.%
    YY$Y-PI/8.
    ST$COS%YY%
    SST$EXP%Y%
    ZG$ST*SST
    RFR$ZG/SP
    STI$SIN%YY%
    BEI$SST*STI/SP
    RETURN
    END

```

FUNCTION BEI \sqrt{x}

```

C
C   PODPROGRAM ZA IZRACUN IMAG. KOMPONENTE BESSLÖVE FUNKCIJE
C       JO $\sqrt{x}$ *SQRT $\sqrt{1-x^2}$   $\sqrt{1-x^2}$  BER $\sqrt{x}$   $\sqrt{1-x^2}$  BEI $\sqrt{x}$  * I       I       IMAG. ENOTA
C       ARGUMENT REALEN
C       VREDNOST FUNKCIJE REALNA
C       NACIN UPORABE
C       Y  $\sqrt{1-x^2}$  BEI  $\sqrt{x}$  X  $\sqrt{x}$ 
C
C *****
C *   PODPROGRAM JE PREIZKUSEN ZA ARGUMENTE ABSOLUTNO MANJSE OD 6.0 *
C *****
C *   STEVILO CLENOV VRSTE JE OMEJENO NA 20 *
C *****
C *   IZRACUN SE PREKINE KO JE CLEN VRSTE MANJSI KOT 1.0E-09 *
C *****
C   CE JE X MANJSI ALI KVEČJEMU ENAK 6, RAČUNAMO PO EKSAKTNI FORMULI,
C   PRI VREDNOSTIH, KI SO VEČJE OD 6 PA RAČUNAMO PO APROKSIMATIVNI FOR-
C   MULI
C   IF $\sqrt{x}$  6.055,55,56
55 Q $\sqrt{x}$ *X $\sqrt{x}$ * $\sqrt{x}$ *X $\sqrt{x}$ /16.0
   A  $\sqrt{x}$  * X / 4.0
   SBEI  $\sqrt{x}$  A
C
C   DO 2 I  $\sqrt{2}$  , 20
   RI  $\sqrt{2}$  * I - 1
   RII  $\sqrt{RI}$  - 1.0
C
C   A  $\sqrt{x}$  - A * Q / % RII*RII*RI*RI  $\sqrt{x}$ 
   IF $\sqrt{x}$ ABS $\sqrt{x}$ -1.0E-09 $\sqrt{x}$ 2,1,1
   SBEI  $\sqrt{x}$  SBEI + A
C
C   BEI  $\sqrt{x}$  SBEI
   RETURN
56 PI $\sqrt{x}$ 2.141593
   SF $\sqrt{x}$ SQRT $\sqrt{x}$ 2.*PI*X $\sqrt{x}$ 
   Y $\sqrt{x}$ /SQRT $\sqrt{x}$ 2. $\sqrt{x}$ 
   YY $\sqrt{x}$ -PI/8.
   ST $\sqrt{x}$ COS $\sqrt{x}$ YY $\sqrt{x}$ 
   SST $\sqrt{x}$ EXP $\sqrt{x}$ YY $\sqrt{x}$ 
   ZG $\sqrt{x}$ SST*SST
   BER $\sqrt{x}$ ZG/SP
   STI $\sqrt{x}$ SIN $\sqrt{x}$ YY $\sqrt{x}$ 
   BEI $\sqrt{x}$ SST*STI/SP
   RETURN
   END

```

```

FUNCTION BERDZX
C
C   PODPROGRAM ZA IZRACUNAVO ODVODA REAL.KOMPONENTE BESSLOVE FUNKCIJE
C       JOZX*SQRTXI 5 BERZX - BEIX * I      I  IMAG.FNOTI
C       ARGUMENT REALN
C       VREDNOST FUNKCIJE REALNA
C       NACIN UPORABE
C           Y 5 BERDZ X
C
C *****
C *   PODPROGRAM JE PREIZKUSEN ZA ARGUMENTE ABSOLUTNO MANJSE OD 6.0 *
C *****
C *   STEVILO CLENOV VRSTE JE OMEJENO NA 20 *
C *****
C *   IZRACUN SE PREKINE KO JE CLEN VRSTE MANJSI KOT 1.E-09 *
C *****
C   CE JE X MANJSI ALI KVEČJEMU ENAK 6, RAČUNAMO PO EKSAKTNI FORMULI,
C   PRI VREDNOSTIH, KI SO VEČJE OD 6 PA RAČUNAMO PO APROKSIMATIVNI FOR-
C   MULI
C   IF X-6. 55,55,56
55  QSXX*X*XI*XI*XI/16.0
C   SBERDZO.0
C   IF ABSX-1.E-06 3,1,1
1   A 5 2.0/X
C   DO 2 I 5 1, 20
C   RI 5 2*I
C   RII 5 RI-1.0
C   AS-A*Q/RI*RI*RII*RII
C   IF ABSA-1.0E-09 3,2,2
2   SBEROSSBERO + RI* A
C
3   BERDSSBERO
C   RETURN
56  PI 5 3.141593
C   SP 5 SQRT2.*PI*X
C   Y 5 X/SQRT2.
C   YY 5 -PI/8.
C   ST 5 COSYY
C   SST 5 EXPXY
C   ZG 5 ST*SST
C   BER 5 ZG/SP
C   STI 5 SINYY
C   BEI 5 SST*STI/SP
C   BERD 5 BER-BEI/SQRT2. 5 BER/2.*X
C   RETURN
C   END
    
```

FUNCTION BEIO%X□

PODPROGRAM ZA IZRACUNAVO ODVODA IMAG.KOMPONENTE BESSLOVE FUNKCIJE
 JO%X*SQRT%I□ 5 BER%X□ - BEI%X□ * I I IMAG.ENOTA
 ARGUMENT REALEN
 VREDNOST FUNKCIJE REALNA
 NACIN UPORABE
 Y 5 BEIO% X □

 * PODPROGRAM JE PREIZKUSEN ZA ARGUMENTE ABSOLUTNO MANJSE OD 6.0 *

 * STEVILO CLENOV VRSTE JE OMEJENO NA 20 *

 * IZRACUN SE PREKINE KO JE CLEN VRSTE MANJSI KOT 1.E-09 *

 CE JE X MANJSI ALI KVEČJEMU ENAK 6, RAČUNAMO PO EKSAKTNI FORMULI,
 PRI VREDNOSTIH, KI SO VEČJE OD 6 PA RAČUNAMO PO APROKSIMATIVNI FOR-
 MULI

IF%X-6.□55,55,56

55 Q5%X*X□*%X*X□/16.0

A5X/2.0

SBEIOŠA

DO 1 IŠ2,20

RIŠ2*%I-1□

RI1ŠRI+1.0

AŠ-A*Q/%RI*RI*RI1*RI1□

IF%ABS%□-1.E-09□2,1,1

SBEIOŠSBEIO+RI1*A

BEIOŠSBEIO

RETURN

56 PIŠ3.141593

SPŠSQRT%2.*PI*X□

YŠX/SQRT%2.□

YYŠY-PI/8.

STŠCOS%YY□

SSTŠEXP%Y□

ZGŠST*SST

BERŠZG/SP

STIŠSIN%YY□

BEIOŠSST*STI/SP

BEIOŠ%BER+BEIO/SQRT%2.□-BEI/%2.*X□

RETURN

END

Literatura:

1. F. Förster, H. Breitfeld: Theoretische und experimentelle Grundlagen der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mit Wirbelstromverfahren V. Die quantitative Rissprüfung von metallischen Werkstoffen mit der Durchlaufspule, Z. Metallkunde, Bd 45 (1954), Heft 4, stran 188.
 2. R. M. Bozorth: Ferromagnetism, Van Nostrand Co. Inc, N. Y. 1953, stran 57 in 539.
 3. E. Jahnke, F. Emde: Tables of Functions, Dover Publications, New York, stran 146: Differential equations that give Bessel Functions, 10. enačba.
 4. R. Rothe, I. Szabo: Höhere Mathematik, Teil VI., B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1965, stran 166.
 5. H. L. Libby: Introduction to Electromagnetic Nondestructive Test Methods, Wiley — Interscience, John Wiley & Sons, 1971.
 6. E. Siebel, N. Ludwig: Handbuch der Werkstoffprüfung. Erster Band, Springer Verlag 1958.
- Dodatna literatura:
7. Serija člankov, ki jih je napisal F. Förster sam ali s sodelavci, ki so izšli pod skupnim naslovom: Theoretische und experimentelle Grundlagen der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mit Wirbelstromverfahren:
 7. I. Das tastpulverfahren, Z. Metallk., 43, 163—171 (1952).
 8. IV. Praktische Wirbelstromgeräte mit Durchlaufspule zur quantitativen zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, Z. Metallk., 45, 180—187 (1954).
 9. VIII. Die magnetinduktive Rissprüfung von Stahl, Z. Metallk., 45, 221—226 (1954).
 10. III. Verfahren Durchlaufspule zur quantitativen zerstörungsfreien Werkstoffprüfung, Z. Metallk., 45, 166—179 (1954).
 11. F. Förster: A Method for the Measurement of DC Magnetic Fields and DC Field Differences and Its Application to Nondestructive Testing, Nondestructive Testing., 8, 31—41, 59 (1955).
 12. E. Kneller: Ferromagnetismus, Springer Verlag, 1962.
 13. Chester A. Tudbury: Basics of Induction Heating, John F. Rider Publisher, Inc., 1960.

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Untersuchung des Stabstahles auf Oberflächenfehler wird die Probe in eine Spule gesetzt, welche auf Wechselstromspannung angeschlossen ist. Im Stab entsteht ein Magnetfeld, das die Wirbelströme induziert, welche wieder dieses Feld zu verkleinern versuchen. Die Verteilung des Magnetfeldes im Stab beeinflussen neben der Frequenz auch der Stabdurchmesser, die elektrische Leitfähigkeit, Permeabilität und die Unregelmässigkeit (Risse) im Material.

Die Information über die Verteilung des Magnetfeldes kann sich in der induzierter Spannung abspiegeln, welche in der Sekundärspule oder in der Impedanz der Primärspule beobachtet werden kann.

Bei der kann nicht nur der Einfluss eines einzigen Faktors gemessen werden. Mit einer geeignet gewählten Frequenz ist es möglich, aus der Änderung des beobachteten Signales, auch auf die Oberflächenfehler zu schliessen.

Im Artikel ist auch die Ausführung der Formeln, für die Ausrechnung des Magnetfeldes und der Impedanz der Spule, in welcher der untersuchte Stab angebracht ist, angegeben. Auch die Probleme auf die wir bei der Untersuchung Ferromagnetischer Stäbe mit dem Aparat Defectomat 2.189 vom Institut Dr. Förster gestossen sind, sind angegeben.

SUMMARY

In control of rod steel the test piece is placed in a solenoid connected to alternating voltage. Magnetic field is induced in the rod and it induces eddy currents which tend to reduce this field. Distribution of the field in the rod is influenced by frequency, rod diameter, electric conductivity, permeability, and irregularities in the material (cracks).

Information on distribution of the field can be obtained by induced voltage which can be observed in the

secondary coil, or by impedance of the primary coil. But the influence of a single influencing parameter cannot be measured in this way. By choosing an adequate frequency the change of the observed signal can indicate the surface defects.

Deduction of equations for evaluation of the field and the impedance of coil in which the test piece is placed are given in the paper. Also the problems which appeared in control of ferromagnetic rods by Defectomat 2.189 (manufacturer: Institut dr. Förster) are indicated.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Образец прутковой стали предназначен для исследования вставляем в катушку переменного напряжения. В прутке образуется магнитное поле, которое индуцирует турбулентный поток, этот же, в свою очередь, стремится уменьшить магнитное поле. На размещение поля в прутке влияют кроме частоты: диаметр прутка, электрическая проводимость, проницаемость и пороки в материале (трещины). Информация о размещении поля отражается также в индуцированном напряжении, которое наблюдаем в вторичной обмотке, также в импедансе первичной обмотки. При этом, ко-

нечно, не можем измерять влияние только одного фактора. При правильном выборе частоты можно, на основании наблюдения перемен сигнала, дать заключение о поверхностных пороках.

В статье рассмотрено изложение уравнений для вычисления поля и импеданса обмотки в который находится образец прутка. Приведены также проблемы которые возникли при исследовании ферромагнитных прутков с прибором Defectomat 2.189 Института Dr. Förster.

Tehnične novice

Preiskave zvarjenih spojev na pločevini Nioval 47

Stojan Mihael

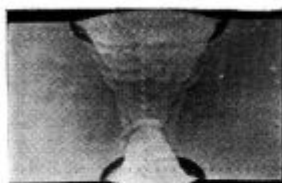
Proizvodnja fino zrnatih mikrolegiranih jekel v Železarni Jesenice že dosegla tak obseg in kvaliteto, da se poraja zahteva po proučevanju uporabnih lastnosti teh jekel. Ena izmed zelo važnih lastnosti je dobra varivost teh jekel in ker razvoj dodatnega materiala stalno napreduje, moramo za uvajanje v prakso določiti in podati rezultate, ki potrošnika najbolj zanimajo. Jeklo Nioval 47 je mikrolegirano konstrukcijsko jeklo s povišano mejo plastičnosti z nazivno vrednostjo 47 kp/mm² in dobro žilavostjo. Enako dobre vrednosti želimo doseči tudi v zvarnem spoju. Ker predpisano trdnost zvarjenega spoja lahko dosežemo bodisi pri ročnem varjenju z elektrodo ali z avtomatskim varjenjem pod praškom, jo v tem članku ne bomo navajali. Zanimiva pa je žilavost zvarjenega spoja, kajti pogosto se izdeluje iz pločevine Nioval 47 objekte, kjer je žilavost velike važnosti, posebno še pri nizkih temperaturah.

1. Ročno varjenje z elektrodo

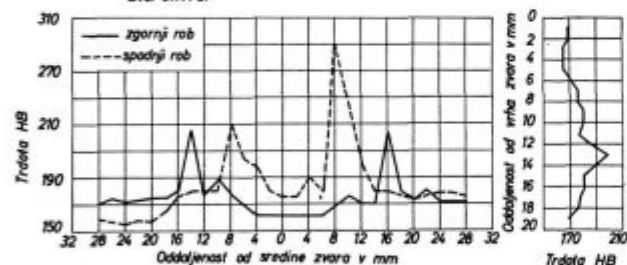
Priprava robov pločevine vzorcev je bila strojna in sicer za 15 mm »V« zvar s kotom 60°. Robovi ob korenu so ostri. Do debeline 10 mm ni potrebno predgrevanje, za večje debeline pa je pripravljeno predgrevanje od 150 do 200° C, odvisno od debeline. Te temperature predgrevanja so bile določene računsko in praktično. Po zavaritvi zvarni spoj izpostavimo različnim toplotnim obremenitvam, da lahko tako določimo, oziroma damo podatke o najrazličnejših pogojih pod katerimi se zvar nahaja. Rezultati žilavosti so v varjenem stanju, staranem stanju (5 % hl. defor., 1/2 ure na 250° C), napetostno žarjenje (580° C s hitrostjo ogrevanja 80°/h), napetostno žarjenje in staranje obenem. Po zavaritvi so vzorci počasi ohlajeni na zraku.

Rezultati z elektrodo EVB Ni:

V vodoravni legi je uporabljena elektroda Ø 3,25 mm za korenske varke, za ostale varke pa Ø 5 mm. Pri ver-



Zvar št.: A 21



Slika 1

Prečni presek preko zvara izvedenega ročno z elektrodo EVB Ni in potek trdot

Stojan Mihael je diplomirani inženir metalurgije in strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice

tikalnem in nadglavnem položaju varjenja pa so polnilni varki iz elektrode premera 4 mm.

Varilni pogoji za elektrode:	Ø 3,25	Ø 4	Ø 5 mm
Jakost toka A	110—130	130—175	220
Napetost toka V	20	22	24
Hitrost varjenja cm/min	10	12—15	25—30

Med varjenjem je potrebno držati temperaturo varjenja 200° C. Varjenje je bilo izvršeno z istosmernim tokom na agregatu Elin.

Žilavost V-Notch [J] — zarez v zvaru

vodoravna lega	temperatura preizkušanja °C				
	+20	0	-20	-40	-60
VS stanje	155	136	120	126	86
VS - 5	144	123	113	48	35
NS	158	142	130	122	92
NS - 5	149	106	92	86	28

vertikalna lega varjenja

VS	144	132	125	130	86
VS - 5	94	66	57	45	27
NS	134	102	94	86	66
NS - 5	126	78	46	26	25

nadglavna lega varjenja

VS	156	152	156	125	108
VS - 5	112	102	98	92	70
NS	158	150	152	123	140
NS - 5	142	122	123	116	48

VS: varjeno stanje

VS - 5: varjeno stanje + 5 % starano

NS: napetostno žarjeno 580° C

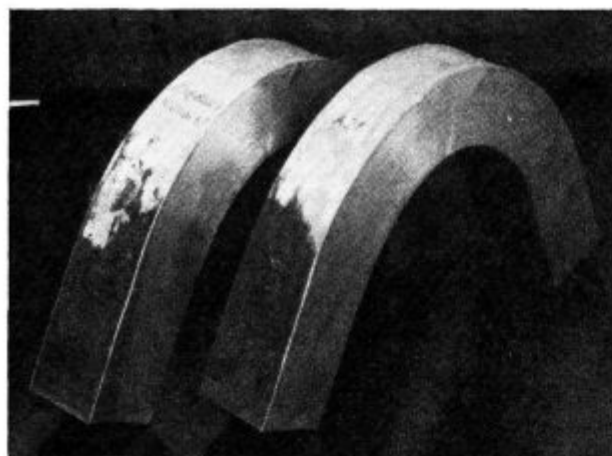
NS - 5: napetostno žarjeno 580° C + 5 % starano

Žilavost V-Notch [J] zarez v prehodni coni

vodoravna lega varjenja	temperatura preizkušanja °C				
	+20	0	-20	-40	-60
VS	102	92	62	39	31
VS - 5	94	66	42	33	28
NS	96	66	45	34	30
NS - 5	57	37	32	28	27

Poleg žilavosti si oglejmo še porazdelitev trdot preko zvara na pločevini debeline 35 mm (slika 1).

Maksimalne trdote v prehodni coni so v mejah dovoljene na obeh straneh zvara. Sredina vara se po trdoti zelo ujema z osnovnim materialom, torej je elektroda EVB Ni zelo primerna kot dodatni material pri varjenju jekla Nioval 47.



Slika 2
Upogib zvara izvedenega ročno z elektrodo EVB Ni

Tudi upogibni preizkus da dobre rezultate, torej je zvar dovolj plastičen tako v prehodni coni, kot v varu.

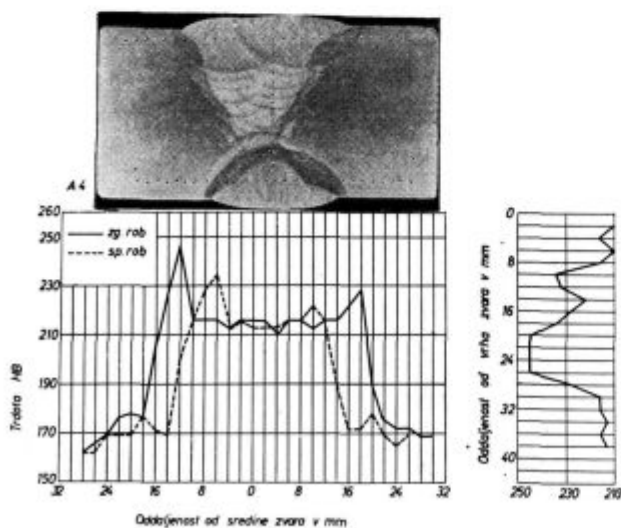
Na debelini pločevine 15 mm pri obliki žleba »V« je potek trdot preko zvara podoben. Razlika je samo v tem, da se na strani korenskega varka v prehodni coni pojavijo trdote do 320 HB z razliko od temenske strani, kjer je maksimalna trdota prehodne cone do 250 HB.

2. Avtomatsko varjenje pod praškom

Najprimernejši taljeni prašek za avtomatsko varjenje jekla Nival 47 je EP 40 ob dodatku različnih vrst žic, odvisno od zahtev in namenov uporabe. Rezultati žilavosti veljajo za žice EPP 3, EPP 2 Mo, EPP 2 Ni. Priprava robov pločevine je strojna. Na debelini pločevine 35 mm je 2/3 x s kotoma 60° in nosom 4 mm. Glede predgrevanja in ohlajanja je isto kot pri ročnem varjenju z elektrodo. Vzorci so bili varjeni z izmeničnim tokom.

Varilni pogoji za žico premera 4 mm:

	korenski var	polnilni varki
Jakost toka A:	580	640
Napetost V:	32	35
Hitrost varjenja cm/min.:	45	60



Slika 3

Prečni presek preko zvara izvedenega z avtomatskim varjenjem pod praškom z žico vrste EPP 2 Ni

Žilavost V-Notch [J] — zarez v zvaru

EPP 3	temperatura preizkušanja °C				
	+20	0	-20	-40	-60
VS	110	74	65	59,6	48
VS - 5	92	44	28	19,6	25,5
NS	88	66	34,5	33	31
NS - 5	68	42	27,5	15,6	14

EPP 2 Mo					
VS	74	50	36	31	23,5
VS - 5	43	31	27,5	15,6	14
NS	55	46,8	33	32,5	23
NS - 5	40,5	36,8	27	25,5	12

EPP 2 Ni					
VS	123	84	73	66,5	36,5
VS - 5	117	74	65	47	27
NS	103	80	66	55	36,8
NS - 5	104	76	68	50	27,4

Žilavost V - Notch [J] zarez v prehodni coni

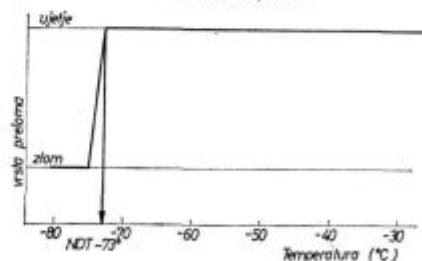
EPP 3	temperatura preizkušanja °C				
	+20	0	-20	-40	-60
VS	62	61	27,5	15,7	6,2
VS - 5	31	28	23,5	11,8	4,7

EPP 2 Mo					
VS	65	62	41	31	18,8
VS - 5	35	27,5	26,5	15,5	7,8

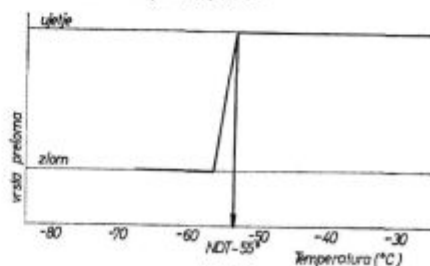
EPP 2 Ni					
VS	78	65	39	35	18,8
VS - 5	43	31	27	25	15,3

Rezultati žilavosti prehodnih con sozeti iz diagramov žilavosti po Čabelki in sicer najnižje vrednosti v prehodni

791 - prehodna cona Nival 50, 35mm, EVB Ni



792 - zvar Nival 50, 35mm, EVB Ni



Slika 4

Drop Weight test, vzorec zavarjen ročno z elektrodo EVB Ni

coni. Pri debelini 15 mm se žilavosti skoraj povsem ujemajo z rezultati iz pločevine debeline 35 mm. Vzorci za žilavost so vzeti na temenski strani zvara.

Pri avtomatskem varjenju pod praškom pri vseh treh vrstah žic EPP 3, EPP 2 Mo in EPP 2 Ni dobimo skoraj enake rezultate za vrednosti trdot v zvaru. Maksimalna trdota v prehodni coni ne presega 280 HB. Najugodnejši potek trdot pa se pojavlja na zvaru varjenem z žico EPP 2 Ni. (slika 3).

Na debelini 15 mm so trdote pri obliki žleba »V« na korenski strani nekoliko višje, vendar ne presegajo 340 HB v prehodni coni.

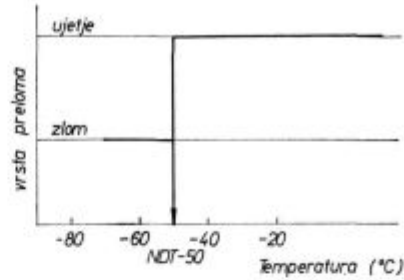
Nagnjenost zvara in prehodne cone napram krhkosti in razširjanju krhkega loma

Za kriterij določanja odpornosti nekega zvarnega spoja proti dinamičnim obremenitvam je važen podatek o nagnjenosti zvara in prehodne cone napram krhkosti in razširjanju krhkega loma. Te lastnosti ocenjujemo po Drop weight testu in Pellinjevi teoriji. Določamo NDT temperaturo, ki podaja tisto temperaturo, pri kateri vzorec še ravno krhko počí. Razlika med NDT (Nil Ductility Transition) in CAT (Crack Arresting temperature) temperaturo je v diagramu Pellinija ca. 33° C. Zato lahko rečemo, da v primeru, če leži delovna temperatura varjenja 30° C in več nad NDT, ni nevarnosti, da bi nastopil krhki lom.

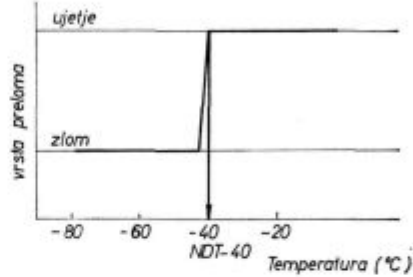
V diagramih 4, 5, podajamo rezultate za ročno varjenje vzorca z elektrodo EVB Ni in avtomatsko varjene vzorce pod praškom EP 40 in žico EPP 2 Ni.

Omenjeni rezultati so le delni korak k namenu železarne, da v bodoče obdela in poda industriji podatke o varivosti mikrolegiranih jekel s povišano mejo plastičnosti. Objava rezultatov naj bo v bodoče naša vsakdanja praksa.

zvar, Nival 43, 35mm, EPP2Ni, EP40



prehodna cona, Nival 47, 35mm, EPP2Ni, EP40



Slika 5

Drop Weight test vzorec zavarjen avtomatsko pod praškom EP 40 in žico EPP 2 Ni

EBNER

Industrieofenbau

A 4021 Linz/Austria
Postfach 345
Tel. 07222 57 4 71
Telex 02/1415

Proizvodnja električno in plinsko ogrevanih industrijskih peči za termično obdelavo jekel, barvastih kovin in zlitin; ter naprav za varovalno atmosfero vseh vrst.



Elevatorska peč za proizvodnjo temprane litine; notranje mere:
1.900/1.350/7.400 mm, priključna moč 600 kw, max. temp. obratovanja 1.050° C. max. teža šar že: 15 t

Društvene vesti

Razvoj učnih programov Odseka za metalurgijo Univerze v Ljubljani ter poročilo o razgovoru med industrijo in šolo o nadaljnjem razvoju teh programov

Strokovna izobrazba, predvsem visokošolska, doma in v svetu vse bolj zahteva, da bodoči strokovnjaki med šolanjem dobe znanje, ki se ne spreminja hitro, namesto enkratnega, enciklopedičnega, ter da se nauče, kako se lahko sami izobražujejo naprej vse življenje. Tak način izobrazbe pa je še posebno pomemben za stroke in geografska območja, kjer ožja specializacija ni primerna. Sem spada brez dvoma metalurgija v Sloveniji in tudi v Jugoslaviji.

Razlike v željah in potrebah gospodarstva po profilu metalurških visokošolskih kadrov in profilu kadrov, ki jih daje metalurški odsek pri univerzi, so zahtevale dogovor o bodočem izoblikovanju metalurškega inženirja, ki je potreben slovenskemu gospodarstvu.

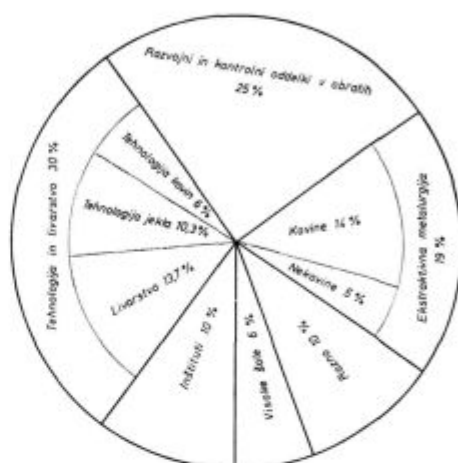
Pred samo diskusijo o učnih načrtih metalurškega odseka, ki so prvič po ustanovitvi tega odseka na ljubljanski univerzi prišli sedaj v jasno diskusijo, bi bilo zanimivo pogledati študijski in organizacijski razvoj odseka.

Metalurški odsek je bil ustanovljen leta 1939, glavni povod za ustanovitev pa je bilo prenehanje možnosti, da bi slovenski metalurgiji še naprej študirali v Leobnu (Avstrija) in Pribramu (Češkoslovaška) zaradi začetka II. svetovne vojne, medtem ko so se potrebe po lastni metalurški visoki šoli kazale že prej. Po vojni je redno pedagoško delo začelo leta 1945/46, zaradi pomanjkanja študentov in učiteljev pa je bil celoten študijski program 9 semestrov predavanj in vaj ter enega semestra za diplomsko delo realiziran leta 1949/50. Z reformo visokošolskega študija leta 1960/61 se je dodiplomski študij skrčil na 8 semestrov predavanj in vaj ter en semester predviden za diplomsko delo. Obenem je šola uvedla tristopenjski študij. Leta 1961/62 je bil ustanovljen mineralurški odsek, ki pa je kasneje zaradi premajhnega števila kandidatov postal le usmeritev študija metalurgije po 4. semestru. Leta 1963/64 je šola vpeljala tudi študij tretje stopnje. Danes dodiplomski študij metalurgije traja 8 + 1 semester, tedensko število predavanj in vaj pa je omejeno na 30 ur.

Po organizacijski strani se je metalurški odsek leta 1945/46 delil na inštitut za metalografijo, inštitut za toplotno tehniko in peči, inštitut za železarstvo, inštitut za kovinarstvo ter inštitut za metalurško strojništvo. Leta 1959/60 so se inštituti preimenovali v katedre. Prvo večjo reorganizacijsko spremembo je metalurški odsek doživel leta 1969/70, ko sta iz kateder za železarstvo in kovinarstvo nastali bolj smiselni katedri za ekstraktivno metalurgijo oz. za tehnologijo in livarstvo, ki sta obe vključevali področje črne in barvaste metalurgije. Katedra za metalurško strojništvo se je razširila v katedro za metalurško strojništvo in preoblikovanje, katedra za toplotno tehniko in peči v katedro za toplotno tehniko, energetiko in peči, ter katedra za metalografijo v katedro za metalografijo in fiziko kovin. Ta reorganizacija je posledica spoznanja, da postopki v metalurgiji niso ločeni na črne in barvaste kovine, ampak na izdelavo surovin in polizdelkov ter predelavo le-teh.

Nadaljnja zanimivost o stanju slovenske metalurgije je slika o zaposlitvi diplomantov metalurškega odseka od prvih let obstoja do danes (slika 1):

— tehnologija in livarstvo	30 %
— livarstvo	13,5 %
— tehnologija jekla	10 %
— tehnologija kovin	6 %



Slika 1

Zaposlitev metalurških inženirjev, ki so diplomirali v Ljubljani od prvih let obstoja odseka za metalurgijo do danes.

— razvojni, kontrolni oddelki v metalurških obratih	25 %
— ekstraktivna metalurgija	19 %
— kovine	14 %
— nekovine	5 %
— inštituti	10 %
— visoke šole	6 %
— ostalo	10 %

In končno, da dobimo bolj zaokroženo sliko o razvoju učnih programov metalurškega odseka, naj ta razvoj predstavi naslednja tabela:

Študijska leto	1959/60	1963/64	1968/69	1973/74
Ure predavanj*	1976	2025	1778	1875
Vaj*	1904	1575	1522	1395
Ure za diplomsko delo	420	420	420	420
Število predmetov	40	35	30	31
Delitev ur (%) na:				
osnovne predmete ^a	22/22	25/24	21/21	
inženirske predmete ^b	32/34	22/26	23/22	
osnovne metalurške pr. ^c	15/15	18/20	23/22	23/26
proizvodne metal. pred. ^d	31/29	35/28	31/29	36/32
razmerje $\frac{\text{metal. osnov. pr.}}{\text{metal. proizv. pr.}}$	1:2	1:1,65	1:1,35	1:1,4

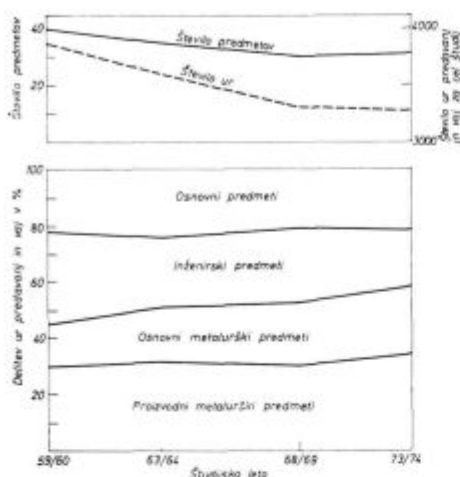
*izvzeto: osnove narodne obrambe, telesna vzgoja

^amatematika, fizika, kemija, mehanika, ipd.

^bstrojništvo v metalurgiji, elektrotehnika v metalurgiji, ipd. ^cmetalografija, nauk o kovinah, teorija metalurških procesov, ipd.

^dželezarstvo, kovinarstvo, metalurška tehnologija, preoblikovanje, ipd.

Tabela ter diagram na sliki 2 nedvoumno kažeta, da na račun t. i. inženjskih predmetov stalno raste delež čistih metalurških predmetov v učnih programih in ta delež je narasel od 45 % leta 1959/60 na 58, 5 % v letu 1973/74, so pa še notranje rezerve kot npr. mehanika II, elektrotehnika v metalurgiji, mineralogija, ipd.



Slika 2

Razvoj učnih programov metalurškega odseka FNT.

Zavestna usmeritev šole je namreč dati splošnega metalurga, ki naj bi bil teoretično podkovan, t. j. da razume bistvo pojavov, procesov, ipd. in naj bi znal svoje osnovno teoretično znanje aplicirati na reševanje praktičnih problemov.

Pripombe na učne načrte so v pisni ali ustni obliki dala vsa večja metalurška podjetja v SRS: Cinkarna Celje, Rudnik živega srebra Idrija, IMMOPOL, Železarna Jesenice, TGA Kidričevo, Litostroj, Mariborska livarna, Metalurški inštitut v Ljubljani, Rudnik svinca in topilnica Mežica, Železarna Ravne, Tovarna dušika Ruše, Železarna Štore, Zavod za varjenje, Združeno podjetje slovenske železarnice, t. j. vsi, katerim je metalurški odsek poslal svoje učne programe v razpravo. Vse pripombe je možno uvrstiti v pet glavnih skupin:

- zahteve po bolj ali manj ozki specializaciji metalurškega inženirja
- potreba po večji povezanosti med šolo in prakso
- uvedbi še nekatere novitete kot več energetike, statistično matematiko, probleme ekonomike, ipd.
- še vedno je prevelik poudarek na črni metalurgiji ter na metalurgiji pridobivanja surovin in polizdelkov
- specifične pripombe na nekatere posamezne predmete.

V diskusiji, ki se je razvila, se je izkazalo, da kljub željam in potrebam gospodarstva po bolj specializiranih kadrih študentje pred diplomom v glavnem še ne vedo, na kakšnih delovnih mestih bodo delali, zato se je težko specializirati. Tudi podjetjem je v trenutni situaciji težko programirati diplomanta, kam bo šel. Na vprašanje ali je možna usmeritev n. pr. v črno metalurgijo, barvasto metalurgijo in livarstvo, se je izkazalo, da pregloboka usmeritev za metalurge v Sloveniji ni primerna, pač pa bi bilo treba najti možnosti večje usmerjenosti n. pr. v zadnjem semestru z večjo izbiro izbirnih predmetov. Šola lahko da in mora dati diplomanta temeljito teoretično pripravo, tako da razumejo bistvo pojavov in procesov ter da se skrči opisni enciklopedični del na minimum, vrzel, ki se pojavlja, ko pride mladi inženir v podjetje zaradi premajhne praktične pripravljenosti, pa je treba nujno premostiti. To bi bilo možno doseči v povezavi s podjetji, da skupno s šolo pripravijo programe za počitniške prakse študentov, terenske vaje, diplomska dela in pripravništvo,

ter poiščejo rešitve za ostale specialne potrebe gospodarstva. Predvsem počitniške prakse naj bodo prave strokovne prakse. Sprejemljiv je tudi predlog, da bi bile počitniške prakse vsako leto po en mesec. Praktikant naj zamenjuje ali sodeluje z mojstrom na določenem delovnem mestu, potem ko si je v začetku (npr. v enem tednu) ogledal celo podjetje, da se bo spoznal s praktičnimi izkušnjami, mojster pa je dolžan razložiti, kar praktikanta zanima. Višje nagrade za dobo počitniške prakse bi študentom omogočile, da bi se bolj posvetili koristnemu strokovnemu delu na praksi, namesto da iščejo možnosti zaslužka.

Nadaljnjo povezavo med šolo in prakso ter povečevanje praktične pripravljenosti študentov je možno doseči s tem, da šola vabi strokovnjake iz industrije, da vodijo seminarje iz praktičnih področij (praktično vodenje procesov, delovanje agregatov) v okviru rednih in izbirnih predmetov. Večje praktične izkušnje lahko študentje tudi dobe, če samostojno delajo praktične vaje v laboratorijih tako, da znajo sami postaviti problem in ga skušajo rešiti. Glavna omejitev za to vodenje vaj pa so trenutno še omejeni laboratorijski prostori na šoli ter omejena finančna sredstva ter oprema. Podjetja bi lahko tudi pomagala pri opremlenju laboratorijev, namenjenih za praktične vaje, vsaj s tem, da odstopijo šoli opremo, ki je več ne uporabljajo v lastnih laboratorijih, a še funkcionira.

Poseben problem v metalurgiji, pa tudi v strojništvu, predstavlja poznavanje materiala. Več občutka za material mladim inženirjem šola težko da, ker praktično ne delajo dovolj z materialom med samim študijem, da bi si ta občutek pridobili. Pravilno organizirane vaje lahko pri tem sicer precej pripomorejo. Pač pa bi bilo treba organizirati študij osnovnih predmetov, kot je mehanika, teorija kovin, v to smer. Med poznavanje materiala spada tudi boljše poznavanje standardov.

Ker je zelo očitna potreba gospodarstva po bolj specializiranih kadrih, kar navsezadnje zahteva tudi današnje življenje, bi bilo treba v okviru možnosti in potreb razviti tudi podiplomske enoletne specializacije, ki so tudi v štatu fakultete.

ZAKLJUČKI:

Pripombe na učne programe ter diskusijo lahko strnemo v naslednje zaključke:

1. Mladim metalurškim inženirjem je potrebna temeljita teoretična osnova.
2. Potrebi gospodarstva po specializiranih kadrih je možno ugoditi z večjo usmerjenostjo študija v zadnjem semestru.
3. Izboljšati je treba povezavo šola — praksa s programiranjem počitniških praks, terenskih vaj, diplomskih del ter pripravništva in z vabljenjem strokovnjakov iz prakse, da v okviru rednih in izbirnih predmetov povedo študentom svoje praktične izkušnje pri vodenju procesov, obratov, podjetij.
4. Več poudarka je treba področju poznavanja materialov.
5. Bolj je treba izkoristiti dano možnost podiplomskim specializacij.
6. Zaradi boljšega vzdrževanja stikov med šolo in metalurškimi podjetji naj podjetja s svoje strani zadolže osebo, ki bo skrbel za to povezavo.
7. Poročilo o tem sestanku naj se kot članek objavi v Rudarsko-metalurškem zborniku, Železarskem zborniku ter Livarskem vestniku, da se s to problematiko seznanijo čim širši krog metalurgov.

Andrej Paulin,

Odsek za metalurgijo, FNT



Wird in Ihrem Betrieb noch von Hand gewalzt?

Morgårdshammar hat viele Lösungen für mechanisiertes Vorwalzen ausgearbeitet.

Eine große Anzahl von Anlagen sind bereits in Betrieb.

Einige Vorteile:

- höhere Produktion
- verminderter Personalbedarf
- größere Knüppelgewichte

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

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

MORGÅRDSHAMMAR

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



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 20. marca 1973

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