

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

## VSEBINA

	Stran
Rodič A., Rodič J., Zelezarna Ravne BRZOREZNA JEKLA — II. DEL	1
Razinger Anton, Zelezarna Jesenice DOLOČEVANJE OBDELOVALNOSTI JEKEL ZA OB- DELAVO NA AVTOMATIH PO POSTOPKU STRU- ZENJA S KONSTANTNIM PRITISKOM	21
Begeš Janez, Zelezarna Jesenice AVTOMATSKO NAVARJANJE POD PRASKOM S TRAKOM	35
Setina A., Perman E., Perman J., Zelezarna Ravne ARBITRAŽNO DOLOČEVANJE ARZENA V JEKLU	41
Sturbej Alojz, Zelezarna Store UPORABA FOTOELEKTRIČNEGA STILOMETRA FES-1 PRI ANALIZI IZDELKOV CRNE METALUR- GIJE	51
Sicherl B., Pavlin F., SNT Katedra za to- plotno tehniko, oddelek za montanistiko DIREKTNO DOLOČEVANJE SILE CURKA PRI GO- RILNIKIH VELIKIH KAPACITET	59

1968 · LETO II **I**

[lib.]

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT



11229280



## VSEBINA

Stran

Rodič A., dipl. inž., Rodič J., dipl. inž., Železarna Ravne

**Brzorezna jekla — II. del . . . . . 1**

DK: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.31/35

ASM/SLA: Tsm; F 21b; F22; N83

Razinger Anton, dipl. inž., Železarna Jesenice

**Določevanje obdelovalnosti jekel za obdelavo na avtomatih po postopku struženja s konstantnim pritiskom . . . . . 21**

DK: 669.14.018

ASM-SLA: Q 17 k

Begeš Janez, dipl. inž., Železarna Jesenice

**Avtomatsko navarjanje pod praškom s trakom 35**

DK 621.791.8

ASM-SLA: K1

Setina A., dipl. inž., Perman E., dipl. inž., Perman J., dipl. inž., Železarna Ravne

**Arbitražno določevanje arzena v jeklu . . . 41**

DK 543.7

ASM-SLA: S11j; S11f; EN-As

Šturbej Alojz, mag. kem. teh., Železarna Štore

**Uporaba fotoelektričnega stilometra FES-1 pri analizi izdelkov črne metalurgije . . . 51**

DK 543.7

ASM-SLA: S11g

Sicherl B., dipl. inž., Pavlin F., dipl. inž.

FNT — Katedra za toplotno tehniko, oddelek za montanistiko

**Direktno določevanje sile curka pri gorilnikih velikih kapacitet . . . . . 59**

DK 669.183.212.2

## CONTENTS

Page

- Rodič A., dipl. inž., Rodič J., dipl. inž., Železarna Ravne  
**High Speed Steels — Part II. . . . . 1**  
DK: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.31/35  
ASM/SLA: Tsm; F 21b; F22; N83
- Razinger Anton, dipl. inž., Železarna Jesenice  
**Constant Pressure Lathe Test for Measuring the Machinability of Free-Cutting Steels . . 21**  
DK: 669.14.018  
ASM-SLA: Q 17 k
- Begeš Janez, dipl. inž., Železarna Jesenice  
**Submerged Arc Welding with Strip . . . . 35**  
DK 621.791.8  
ASM-SLA: K1
- Šetina A., dipl. inž., Perman E., dipl. inž., Perman J., dipl. inž., Železarna Ravne  
**Arbitrational Determination of As in Steel . 41**  
DK 543.7  
ASM-SLA: S11j; S11f; EN-As
- Šturbej Alojz, mag. kem. teh., Železarna Štore  
**Use of Photoelectric Stilometer FES-1 at Ferrous Products Analysis . . . . . 51**  
DK 543.7  
ASM-SLA: Sllg
- Sicherl B., dipl. inž., Pavlin F., dipl. inž.  
FNT — Katedra za toplotno tehniko,  
oddelek za montanistiko  
**Direct Jet Force Determination for Big Capacity Burners . . . . . 59**  
DK 669.183.212.2

## СОДЕРЖАНИЕ

- Rodič A., dipl. inž., Rodič J., dipl. inž., Železarna Ravne  
**Быстрорежущая сталь — II. часть . . . . . 1**  
DK: 669.14.018.252.3:621.78:621.73:669.111.31/35  
ASM/SLA: Tsm; F 21b; F22; N83
- Razinger Anton, dipl. inž., Železarna Jesenice  
**Определение обрабатываемости автоматной стали резанием при постоянным давлением 21**  
DK: 669.14.018  
ASM-SLA: Q 17 k
- Begeš Janez, dipl. inž., Železarna Jesenice  
**Автоматическая сварка под порошком с лентой . . . . . 35**  
DK 621.791.8  
ASM-SLA: K1
- Setina A., dipl. inž., Perman E., dipl. inž., Perman J., dipl. inž., Železarna Ravne  
**Арбитражное определение As в стали . . . . . 41**  
DK 543.7  
ASM-SLA: S11j; S11f; EN-As
- Šturbej Alojz, mag. kem. teh., Železarna Štore  
**Употребление фотоэлектрического стилометра ФЕС-1 при анализе продуктов чёрной металлургии . . . . . 51**  
DK 543.7  
ASM-SLA: Sllg
- Sicherl B., dipl. inž., Pavlin F., dipl. inž.  
FNT — Katedra za toplotno tehniko, oddelek za montanistiko  
**Прямое определение силы струи горелок больших размеров . . . . . 59**  
DK 669.183.212.2

## Brzorezna jekla

### II. del: Velikost karbidov v brzoreznih jeklih pred toplotno obdelavo

*Drugi del članka o brzoreznih jeklih obravnava pogoje nastanka grobih karbidov v brzoreznem jeklu med ogrevanjem ingotov in cagljev pred kovanjem ali valjanjem. Podrobno obravnava vpliv temperature in časa ogrevanja. Za popraviljanje defektnih struktur z grobimi karbidi in grobim avstenitnim zrnom so dane le omejene možnosti s plastično deformacijo v vročem. Članek obravnava še nekaj rezultatov vzporednih preiskav — odgovor, razogljivenje, velikost avstenitnega zrna, karbidne izceje, trdote karbidov. Opisana je metoda določanja velikosti karbidov, kakršno uporablja železarna Ravne v tekoči kontroli kvalitete brzoreznih jekel. Podani so rezultati statistične analize velikosti karbidov za različne vrste brzoreznih jekel in dimenzijske skupine.*

#### UVOD

Karbidi v brzoreznem jeklu v veliki meri odločajo o lastnostih in uporabnosti. V obširnem programu raziskav smo ločili raziskave problemov v zvezi z neenakomernostjo karbidnih izcej in z velikostjo ter obliko karbidov. Mnoge tehnološke in mehanske lastnosti orodij so neposredno odvisne od mikrostrukture brzoreznih jekel. Pri tem imata oblika in velikost karbidov poseben pomen. Preden obravnavamo posledice grobih karbidov v mikrostrukturi brzoreznega jekla, želimo spoznati pogoje, v katerih take defektne mikrostrukture nastajajo. Že v prvem delu (Železarski zbornik 1967, I., št. 3, str. 177—187) smo spoznali, da grobi in oglati karbidi lahko nastanejo zaradi pregretja pri kaljenju. To je poznana napaka. Mnogo manj smo vedeli o drugih pogojih nastanka grobih karbidov.

V tem II. delu članka se bomo omejili na pojav grobih karbidov, ki je v zvezi s postopkom vroče predelave. Spremljali bomo nastanek grobih karbidov pri ogrevanju ingotov in cagljev ter podrobneje analizirali vplive temperatur in časov ogrevanja.

V zvezi s temi raziskavami je bilo še spremljanje številnih vzporednih pojavov, o katerih bomo navedli le nekaj zanimivih odvisnosti.

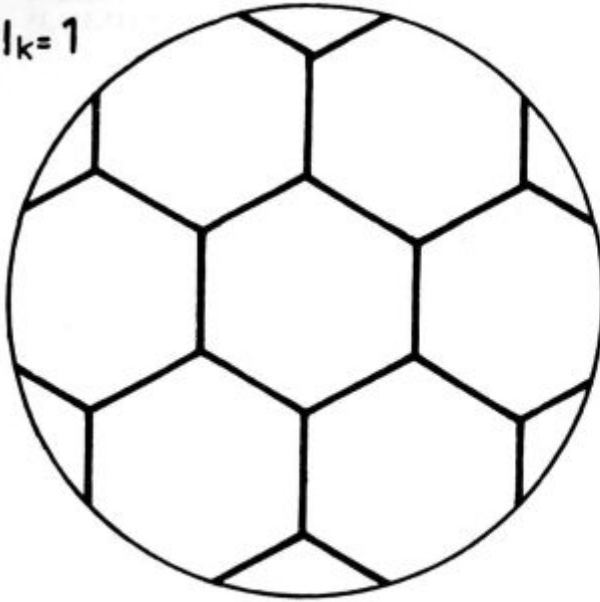
Posebne pozornosti so vredne ugotovitve o možnosti popraviljanja defektnih — pregretilih mikrostruktur s plastično deformacijo v vročem.

#### METODA DOLOČANJA VELIKOSTI KARBIDOV V TEKOCI KONTROLI ŽELEZARNE RAVNE

Praktične izkušnje iz tekoče kontrole brzoreznih jekel v železarni Ravne so pokazale, da je poleg rednega metalografskega ocenjevanja oblike in enakomernosti razporeditve karbidnih izcej ter velikosti avstenitnega zrna v brzoreznih jeklih nujno potrebno ocenjevati tudi velikost karbidov. Iz literature nam ni znana nikakršna metoda ocenjevanja velikosti karbidov, ki bi bila sprejemljiva za redno tekočo kontrolo v metalografskem laboratoriju. Poznane so metode neposrednega merjenja posameznih karbidnih zrn, njihove debeline, njihove sploščenosti, opisovanje oblike, planimetriiranje površin itd. Pri posameznih meritvah se tudi mi poslužujemo takih metod, za tekoče ocenjevanje velikosti karbidov v redni kontroli pa smo že leta 1961 uvedli posebno metodo, ki se je pri praktični uporabi dobro izkazala. Dovoljuje hitro ocenjevanje indeksa velikosti karbidov, ta pa dovoljuje tudi neposredno pretvorbo na naravno velikost karbida, izraženo v mikronih. Metoda je prilagojena sistemu redne metalografske kontrole velikosti avstenitnega zrna v kaljenem stanju, tako da se velikost zrna in velikost karbidov določata druga za drugo pri isti povečavi in na istem mestu metalografskega obrusa. Ocenjevanje velikosti karbidov po tej metodi vsekakor po točnosti zaostaja za neposrednim merjenjem posameznih karbidnih zrn, kljub temu pa omogoča orientacijsko primerjavo rezultatov z absolutnimi vrednostmi po katerikoli drugi metodi neposrednega merjenja. Za zagotovitev reproduktivnosti rezultata se ocenitev izvede na desetih zornih poljih mikroskopa. Iz teh meritev se določa srednja vrednost. Posebej moramo poudariti, da se pri tej metodi ocenjuje velikost največjega karbidnega zrna v zornem polju mikroskopa in torej rezultat, izražen v obliki indeksa velikosti karbidov  $I_k$ , predstavlja srednjo vrednost velikosti največjih karbidov za 10 meritev. Seveda se princip metode lahko prilagodi tudi drugačnim potrebam. V tekoči kontroli nam je šlo predvsem za signalizacijo in pravočasno omejitev pojava grobih karbidov, ne pa za ugotavljanje povprečne velikosti v splošni obliki. Preprosta izvedba ocenjevanja velikosti karbidov omogoča te meritve pri velikem številu vzorcev, s tem pa je dana možnost statističnih

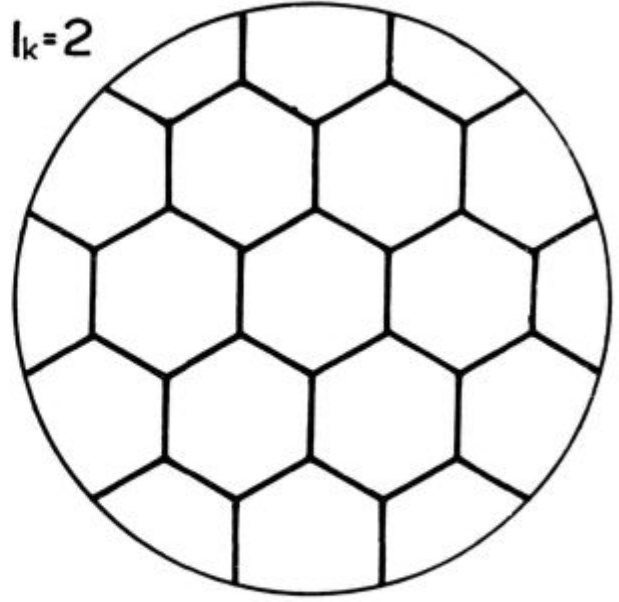
0,04mm

$I_k=1$



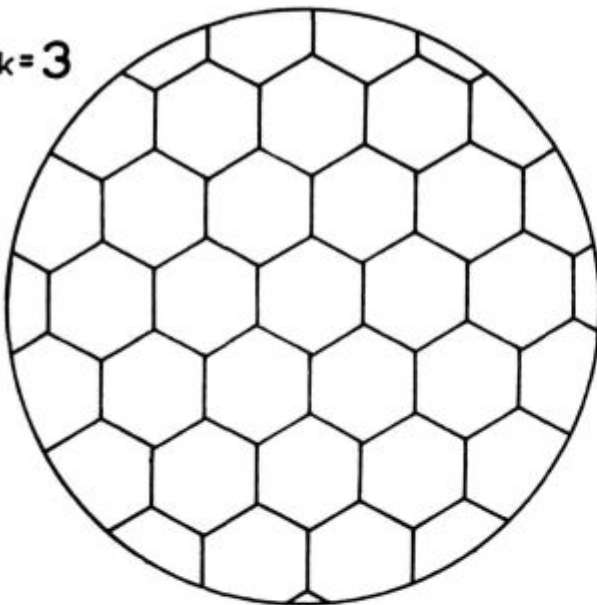
$d=50\mu$   $F=2500\mu^2$

$I_k=2$



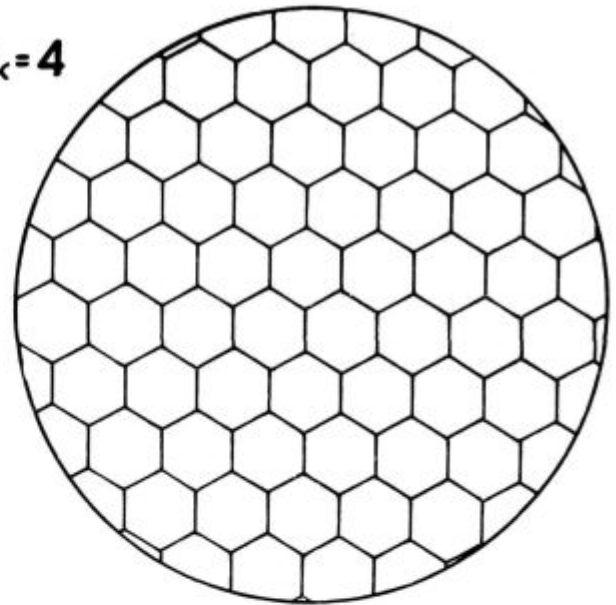
$d=36\mu$   $F=1250\mu^2$

$I_k=3$



$d=24\mu$   $F=625\mu^2$

$I_k=4$

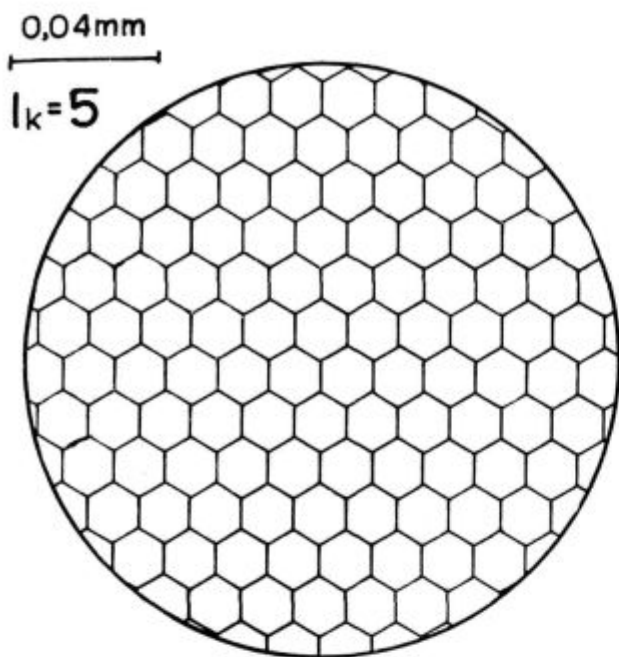


$d=17,6\mu$   $F=312,5\mu^2$

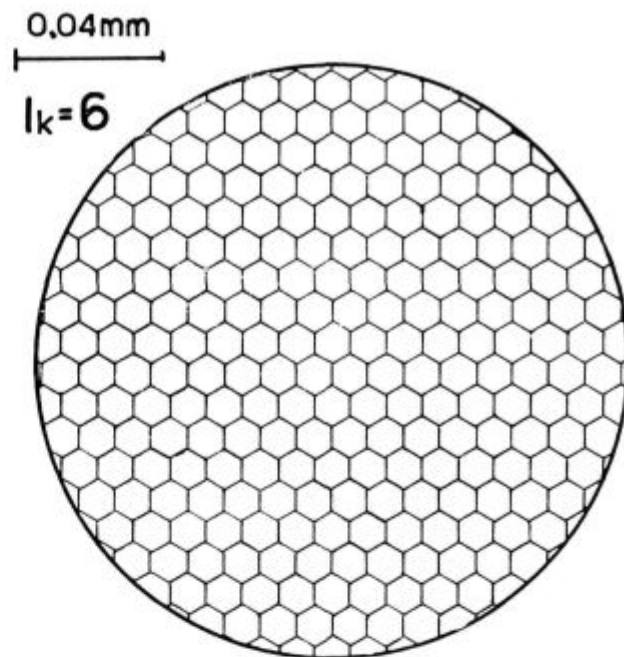
Merilo 0,04mm

Slika 1 a

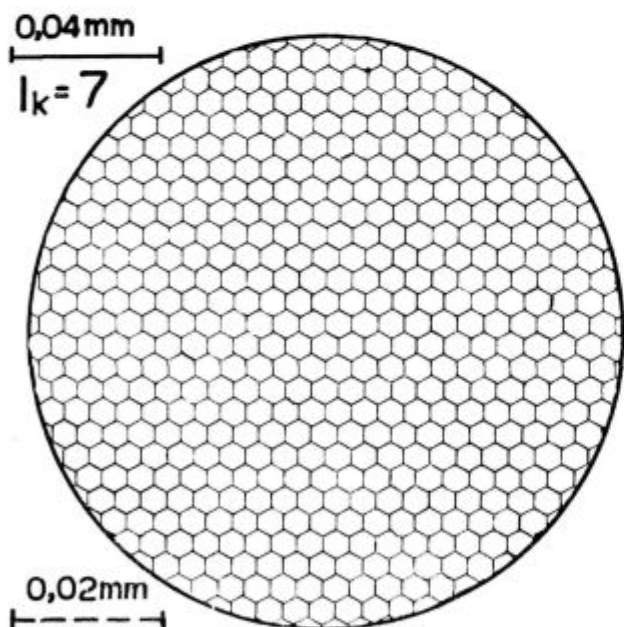
Tabela za ocenjevanje velikosti karbidov  $I_k=1$  do 4



$d = 12,4 \mu$      $F = 156,25 \mu^2$

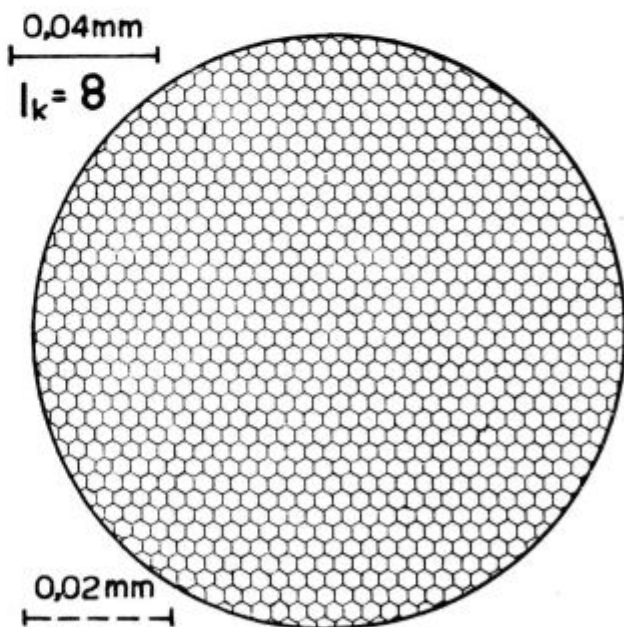


$d = 8,8 \mu$      $F = 78,12 \mu^2$



$d = 6,2 \mu$      $F = 39,08 \mu^2 (500x)$

$d = 3,1 \mu$      $F = 9,8 \mu^2 (1000x)$



$d = 4,4 \mu$      $F = 19,52 \mu^2 (500x)$

$d = 2,2 \mu$      $F = 4,9 \mu^2 (1000x)$

Slika 1 b  
 Tabela za ocenjevanje velikosti karbidov  $l_k = 5$  do 10



vrednotenju rezultatov, kar v precejšnji meri kompenzira točnost posameznih neposrednih in dokaj zamudnih merjenj velikosti karbidnih zrn.

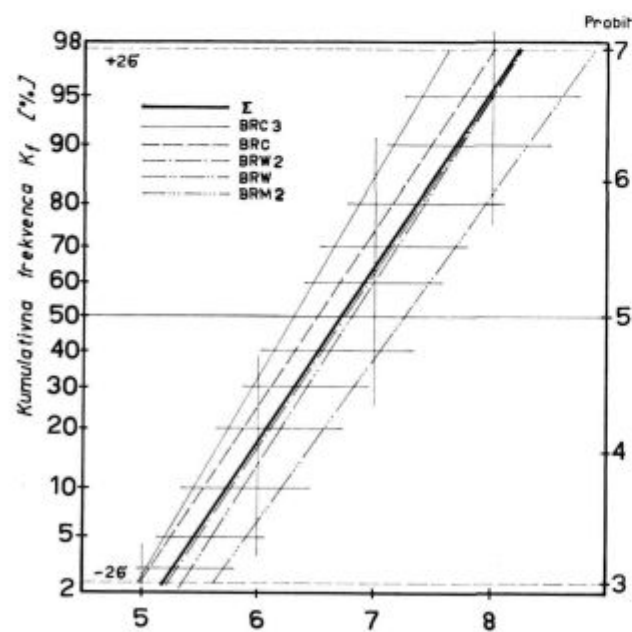
Kot primerjalna tabela za hitro ocenjevanje velikosti karbidov služi nekoliko modificirana skala ASTM za ocenjevanje zrn. Znana idealna mreža ASTM se uporabi pri povečavi  $500\times$  in  $1000\times$ . Vse ostale podatke in ocene kažeta sliki 1a in 1b. Kolikor so posamezni karbidi nepravilne oblike (razpotegnjeni, oglati ali podobno), se na primeren način oceni ustrezna površina enakosnega zrna, ki se nato izrazi z indeksom  $I_k$ , oblika pa opiše v dodatni pripombi.

Po opisani metodi določanja velikosti karbidov smo v obdobju 1961—1965 v tekoči kontroli kvalitete samo za standardne vrste brzoreznih jekel določili indekse velikosti karbidov za 2723 vzorcev. S temi podatki smo izvršili statistično analizo porazdelitve za posamezne vrste jekel in dimenzijske skupine. Izračunali smo tudi analizo variance za ugotavljanje statistične pomembnosti razlik med vrstami jekel in skupinami. Tako smo dobili primerjalno osnovo in objektivne kriterije za potrebe tekoče kontrole.

Rezultati statistične analize porazdelitev so podani v tabeli 1 in sliki 2.

Tabela 1

Dimenzije	Jeklo					
	18-0-1 BRW	12-1-2 BRW 2	18-1-2-5 BRC	18-1-2-10 BRC 3	6-5-2 BRM 2	Vse vrste
$d \leq 20\text{ mm}$	$\bar{x} = 6,87$ $n = 135$ $s' = 0,59$	$\bar{x} = 7,00$ $n = 79$ $s' = 0,66$	$\bar{x} = 6,45$ $n = 434$ $s' = 0,82$	$\bar{x} = 6,40$ $n = 81$ $s' = 0,66$	$\bar{x} = 7,65$ $n = 91$ $s' = 0,56$	$\bar{x} = 6,70$ $n = 820$ $s' = 0,72$
$d = 21\text{--}50\text{ mm}$	$\bar{x} = 6,87$ $n = 148$ $s' = 0,76$	$\bar{x} = 6,80$ $n = 103$ $s' = 0,80$	$\bar{x} = 6,60$ $n = 402$ $s' = 0,71$	$\bar{x} = 6,30$ $n = 56$ $s' = 0,56$	$\bar{x} = 7,25$ $n = 329$ $s' = 0,79$	$\bar{x} = 6,85$ $n = 1038$ $s' = 0,74$
$d > 50\text{ mm}$	$\bar{x} = 6,60$ $n = 82$ $s' = 0,85$	$\bar{x} = 6,70$ $n = 40$ $s' = 0,52$	$\bar{x} = 5,95$ $n = 107$ $s' = 0,79$	$\bar{x} = 5,75$ $n = 9$ $s' = 0,62$	$\bar{x} = 6,95$ $n = 188$ $s' = 0,81$	$\bar{x} = 6,58$ $n = 426$ $s' = 0,78$
$\perp$	$\bar{x} = 6,70$ $n = 62$ $s' = 0,50$	$\bar{x} = 6,67$ $n = 151$ $s' = 0,82$	$\bar{x} = 6,60$ $n = 242$ $s' = 0,73$	$\bar{x} = 5,95$ $n = 32$ $s' = 0,80$	$\bar{x} = 7,20$ $n = 25$ $s' = 0,57$	$\bar{x} = 6,62$ $n = 512$ $s' = 0,75$
Vse dimenzije	$\bar{x} = 6,80$ $n = 434$ $s' = 0,72$	$\bar{x} = 6,75$ $n = 373$ $s' = 0,77$	$\bar{x} = 6,50$ $n = 1185$ $s' = 0,76$	$\bar{x} = 6,30$ $n = 178$ $s' = 0,66$	$\bar{x} = 7,25$ $n = 553$ $s' = 0,825$	$\bar{x} = 6,72$ $n = 2723$ $s' = 0,76$



Slika 2 Indeks velikosti karbidov  $I_k$

Srednje vrednosti ( $\bar{x}$ ), število prob ( $n$ ) in standardna deviacija ( $s'$ ) indexov velikosti karbidov ( $I_k$ ) za skupine dimenzij in vrste brzoreznih jekel iz tekoče proizvodnje

Podane so srednje vrednosti  $\bar{x}$  standardne deviacije  $s'$  in število prob  $n$ . Že po grafičnem prikazu analize porazdelitve v verjetnostni mreži vidimo, da je nagib premic zelo podoben. To pomeni, da ni velikih razlik med standardnimi deviacijami posameznih vrst jekel, medtem ko pa se srednje vrednosti precej razlikujejo.

To ugotovitev potrjujejo tudi rezultati statistične analize variance, ki smo jo izvršili na elektronskem računalniku ZUSE Z 23.

Statistično pomembne razlike med variancami (primerjaj sliko 2) smo ugotovili le pri medsebojnih primerjavah:

- BRM-2 : BRW
- BRM-2 : BRC
- BRM-2 : BRC-3
- BRC : BRC-3

To so tudi tako različne vrste brzoreznej jekel, da so razlike varianc razumljive.

Statistične primerjave pomembnosti razlik za srednje vrednosti indeksa velikosti karbidov posameznih vrst jekel kažejo, da so:

— na nivoju verjetnosti 99,9 % pomembne razlike BRW : BRC; BRW : BRC-3; BRW : BRM-2; BRW-2 : BRC; BRW-2 : BRC-3; BRW-2 : BRM-2; BRC : BRM-2; BRC-3 : BRM-2,

— na nivoju verjetnosti 99 % pomembna razlika BRC : BRC-3,

— na nivoju verjetnosti 90 % pomembna razlika BRW : BRW-2.

Pri zadnjih dveh primerih manj pomembnih razlik gre za isti tip jekla, le z različno količino dodanih elementov, medtem ko gre v prvem primeru za primerjave različnih tipov. Tako je rezultat tehnično razumljiv in upravičen.

Tudi primerjave srednjih vrednosti za indekse karbidov po dimenzijskih skupinah so vse statistično pomembne, vendar nekoliko manj prepričljivo. Najdrobnejši so karbidi pri srednjih dimenzijah.

Srednja vrednost indeksa velikosti karbidov za vsa standardna brzorezna jekla skupaj znaša  $\bar{I}_k = 6,72$ , kar pomeni povprečno ploščino največjega karbida v zornem polju mikroskopa okrog  $50 \mu^2$ . S 95 % statistično gotovostjo pričakujemo indeks  $I_k$  v mejah od 5,20 do 8,25.

Iz tabele 1 in slike 2 vidimo, da so karbidi najfinejši pri molibdenovem brzoreznem jeklu tipa 6—5—2 (BRM-2), najbolj grobi pa pri kobaltovem brzoreznem jeklu tipa 18—1—2—10 (BRC-3). Srednja vrednost prvega je  $\bar{I}_k = 7,25$ , drugega pa  $\bar{I}_k = 6,30$ . Iz navedenih podatkov za vsako vrsto jekla in vsako dimenzijsko skupino lahko določimo srednje vrednosti in naravne meje trošenja — tako imenovane naravne tolerance.

Poleg teh standardnih vrst brzoreznej jekel smo določali velikost karbidov tudi za druge vrste posebnih brzoreznej jekel, za katere je bilo na razpolago manj podatkov. Prav zato te vrste jekel niso upoštewane v statistični analizi in so tudi rezultati manj zanesljivi. Po teh podatkih lahko skupino vanadijevih brzoreznej jekel primerjamo s skupino kobaltovih. Karbidi v jeklih z visokim odstotkom vanadija in kobalta so najbolj grobi med vsemi vrstami brzoreznej jekel.

Orientacijski podatki o velikosti karbidov v teh posebnih brzoreznej jeklih so sledeči:

Tip	Oznaka ZR	$\bar{x}$
12—1—4	BRW-1	6,35
12—1—2—3	BRC-1	6,50
12—1—2—5	BRC-2	6,20
6—5—2—5	BRCMo	6,50
12—1—4—5	BRCV	5,12

S približno statistično gotovostjo 95 % lahko pričakujemo v normalni proizvodnji indekse velikosti karbidov:

- pri kobaltovih jeklih  $I_{k \min} = 5$
- pri volframovih jeklih  $I_{k \min} = 5,2$
- pri molibdenovih jeklih  $I_{k \min} = 5,6$

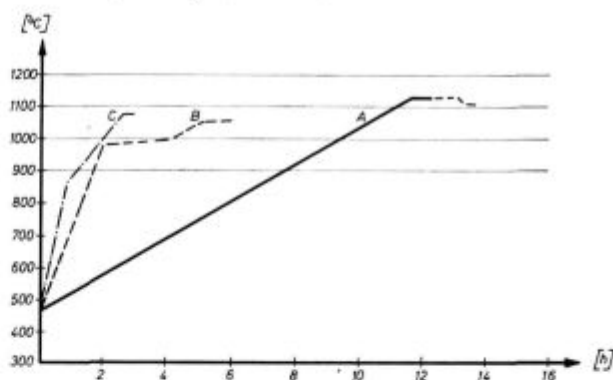
Vrednosti indeksov pod 4,5 oziroma 5 so popolnoma nenormalne in so posledica vpliva nedovoljenih vplivnih faktorjev v tehnološkem postopku.

### NASTANEK GROBIH KARBIDOV PRI OGREVANJU INGOTOV

Grobi karbidi, ki so se pojavljali od časa do časa kot nenormalne mikrostrukture pri redni metalografski kontroli brzoreznej jekel, so vzbudili dokaj upravičeno domnevo, da nastajajo zaradi nepravilnega načina ogrevanja pred vročo predelavo in med njo.

Hoteli smo se o tem prepričati in smo zato izvršili nekaj poizkusov s 30 kg in 250 kg težkimi ingoti. Te poizkuse smo povezali z ugotavljanjem najboljšega načina ogrevanja ingotov super brzoreznega jekla tipa 10—4—3—10 (oznaka železarne Ravne BRU — Č. 9783). Še preden navedemo nekaj podatkov o teh poizkusih, moramo poudariti, da je prav ta vrsta brzoreznega jekla posebno občutljiva za visoke temperature.

Za ogrevanje poizkusnih ingotov 30 kg s srednjim presekom kv. 100 mm smo izbrali tri različne načine ogrevanja (slika 3):



Slika 3  
Načini ogrevanja poizkusnih ingotov

A — dolg čas ogrevanja in temperatura začetka kovanja nad  $1100^{\circ}\text{C}$  s časom držanja na tej temperaturi 1—2 uri;

B — krajši čas ogrevanja z izenačevanjem temperature pod  $1000^{\circ}\text{C}$ , nižja temperatura začetka kovanja in čas držanja na tej temperaturi največ 1 uro;

C — kratek čas ogrevanja, nižja temperatura začetka kovanja in zelo kratek čas držanja ingotov na tej temperaturi 10—20 minut.

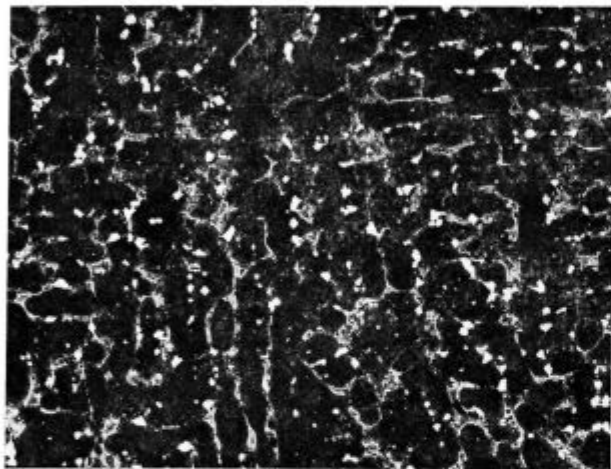
Od dveh ingotov, ogrevanih po načinu A, je eden razpadel že po prvih rahlih udarcih kladiiva, drugi pa je dobil močne prečne razpoke, tako da nadaljnje kovanje ni bilo mogoče.

Ingot, ogrevan po postopku B, se je sorazmerno dobro koval in pri kovanju smo dosegli zadovoljiv izplen.

Po postopku C smo kovali dva ingota. Oba sta se kovala zelo dobro in dala zelo dober izplen.

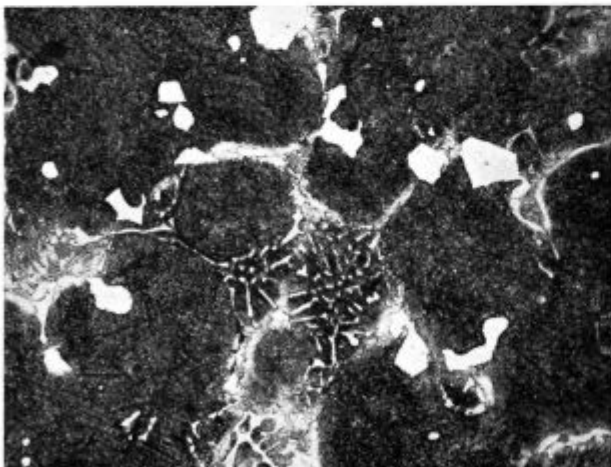
Že iz teh poizkusov vidimo, da je vpliv pogojev ogrevanja na sposobnost za kovanje zelo izrazit in da previsoka temperatura pred začetkom kovanja (morda še prav posebno pri tej vrsti jekla) povzroča velike težave in nepopravljive posledice.

Zanimiva je metalografska primerjava mikrostruktur, ki potrjuje prej izraženo domnevo o nastanku grobih karbidov. Sliki 4a in b kažeta pri različnih povečavah mikrostrukturo ingota, ki je zaradi postopka ogrevanja A razpadel že po prvih udarcih kladiva. Kljub temu, da pri kovanju praktično ni prišlo do nikakršne deformacije, ledebu-



Slika 4 a

0,2 mm

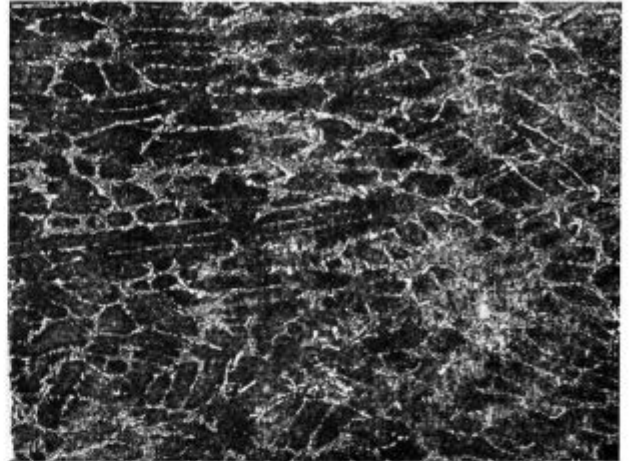


Slika 4 b

0,04 mm

ritna mreža ni tako izrazita kakor sicer. V mikrostrukturi vidimo enakomerno razporejene delce grobih karbidov, ki so nastali z delnim skeplja-

njem na vozliščih ledeburitnih mrež. Vmes je še ostala neizpremenjena oblika ledeburitnega eutektika.



Slika 5

0,2 mm

Slika 5 kaže mikrostrukturo ingota, ogrevanega z načinom B po začetni deformaciji s kovanjem. Ledeburitna mreža je zelo izrazita, vendar jasno vidimo, da ni prišlo do skepljanja karbidov. Po zadostni stopnji plastične deformacije, ki je za razbijanje take mreže nujno potrebna, dobimo ugoden razpored karbidov, kakršnega kaže slika 6 za palico kv. 25 mm, izdelano iz poizkusnega ingota s 16-kratnim zmanjšanjem preseka.

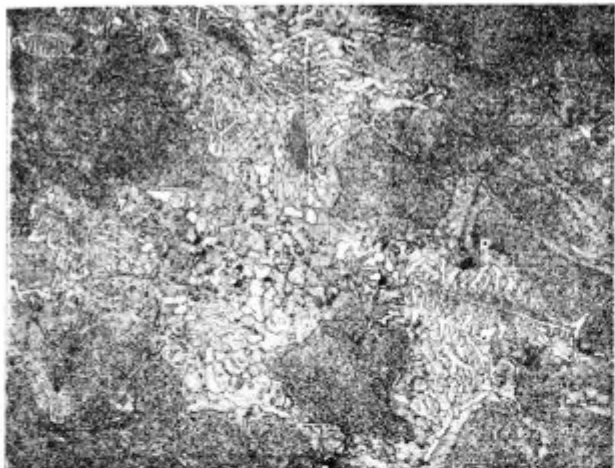


Slika 6

0,2 mm

Poizkuse smo nadaljevali z normalnimi, 250 kg težkimi ingoti. Ker so pri teh ingotih glede na presek časi daljši, je vpliv časa in temperature na skepljanje karbidov še bolj jasno viden.

Slika 7 kaže mikrostrukturo, iz katere se vidi skoraj vse faze nastanka grobih karbidov zaradi



Slika 7 0,1 mm



Slika 8c 0,04 mm



Slika 8a 0,04 mm



Slika 8b 0,04 mm

predolgega ogrevanja na visoki temperaturi pred kovanjem. Naslednje slike 8a, b in c kažejo le posamezna mesta pri večji povečavi.

Na teh slikah jasno vidimo plastovitost mikrostrukture v surovem stanju. Notranjost zrn je posejana z zelo finimi sekundarnimi karbidi. Ob mejah ledeburitnih zrn je spremenjena plast osnovne strukture in v njej mreža ledeburitnega evtektika. Značilna rebrasta struktura se spreminja, tako da se več sosednjih reber spoji ali preprosto »zlije« v debelejšo vejo. Na križiščih in stičiščih nastajajo cele ploskve. Iz teh slik jasno vidimo, da zaradi neprimerne časa in temperature prav lahko nastanejo zelo groba karbidna zrna najrazličnejših oblik, okrogla, podolgovata, oglata itd. Iz teh slik tudi lahko vidimo, kako iz ledeburitne mreže nastanejo med seboj popolnoma ločena karbidna zrna. Če s tem se mreža razbije in z malenkostno deformacijo se ti karbidi med seboj premeščajo, tako da dobimo dokaj enakomerno porazdelitev. Vendar ne smemo pozabiti, da so ta karbidna zrna groba in da imajo taki grobi karbidi zelo slab vpliv na lastnosti orodij (ta vpliv bo obravnavan v nadaljevanjih).

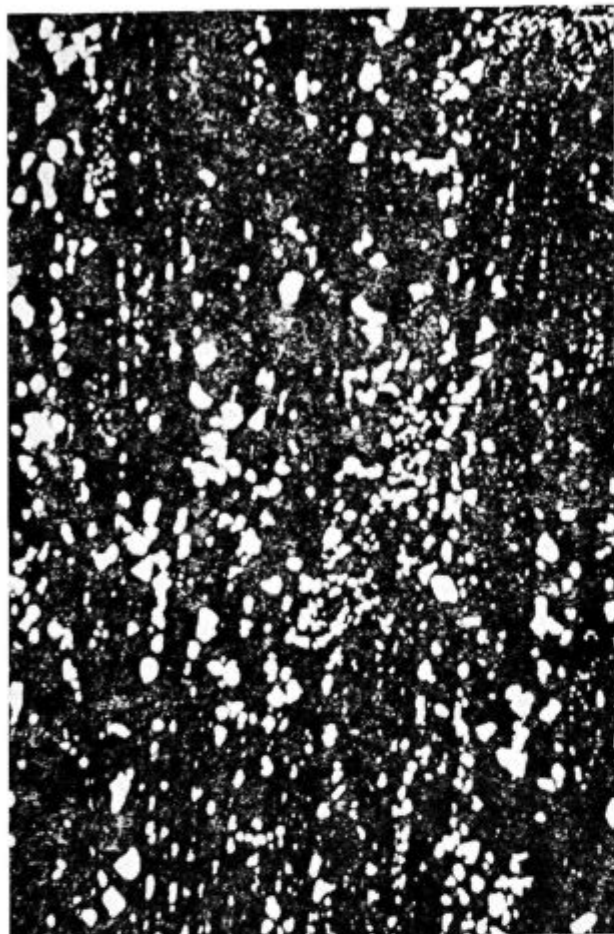
Tudi ingotov, ki smo jih ogrevali pod takimi pogoji, sploh ni bilo mogoče kovati in so razpadali ter pokali že pod zelo rahlimi udarci kladiva.

#### **NASTANEK GROBIH KARBIDOV PRI OGREVANJU PREDKOVANIH CAGLJEV BRZOREZNEGA JEKLA TIPA 6-5-2 (BRM-2)**

Podobno kakor pri ogrevanju ingotov smo opazili pojav grobih karbidov tudi pri tekoči kontroli prob iz predkovanih cagljev.

Značilen pojav koagulacije karbidov v cagljih prikazuje slika 9. Primerjava slik 9a in b kaže, da so tik pod površino karbidi finejši kakor v sredini. Ta razlika je posledica deformacij med kova-

## pod površino



Slika 9 a

0,2 mm

Pojav skepljanja karbidov v caglju 60 mm kvadrat

njem, ki so v bližini površine zelo močne, v sredini pa premalo učinkovite, da bi se groba karbidna zrna enakomerno razdrobila. Slika c pri večji povečavi jasno kaže nastanek grobih karbidov z združevanjem posameznih sosednjih karbidnih zrn v težnji za zmanjšanjem površine.

S posebnim programom raziskav smo skušali natančneje ugotoviti pod kakšnimi tehnološkimi pogoji nastajajo grobi karbidi pri ogrevanju cagljev pred kovanjem ali valjanjem in kakšni pojavi so še s tem v zvezi.

Cilj teh raziskav je bila ugotovitev temperaturnih območij in časov ogrevanja, pri katerih se pojavljajo grobi karbidi. Zato je bilo treba pred začetkom praktičnih poizkusov natančno pregledati uporabljeno jeklo. Izbrati in definirati je bilo treba pogoje preizkušanja, ki naj bi se čimbolj približevali pogojem ogrevanja v kovačnici. Le na tak način smo lahko pričakovali praktične zaključke, kakršne smo potrebovali za redno, enakomerno in kvalitetno proizvodnjo.

Pri taki raziskavi so zelo ugodne priložnosti za spremljanje cele vrste vzporednih pojavov, ki so za tehnologijo tako zanimivi, da jih nismo smeli zanemariti in se omejiti le na glavni cilj raziskave.

## Pregled uporabljenega jekla

Za preizkuse smo uporabili caglje kv. 80 mm brzoreznega jekla tipa 6—5—2 (BRM-2) iz tekoče proizvodnje v mejah normalne kemijske sestave.

Pregledali smo 9 makro jedkanih plošč in pri tem ugotovili, da jeklo nima nedopustnih napak.

Površina cagljev je bila razogljíčena, zato smo površinsko razogljíčeno plast temeljito odstranili z brušenjem.

Na vzdolžnih metalografskih obrusih smo po primerjalni tabeli železarne Ravne za ocenjevanje neenakomernosti karbidnih izcej ugotovili povprečno stopnjo 8, kar je za to dimenzijo in stopnjo deformacije normalno.

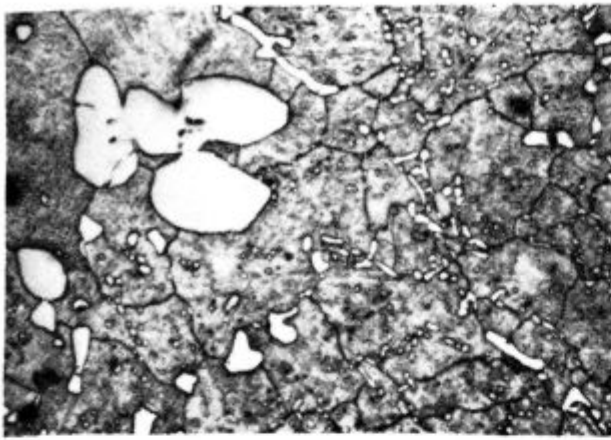
## v sredini



Slika 9 b

0,2 mm

Pojav skepljanja karbidov v caglju 60 mm kvadrat



Slika 9c

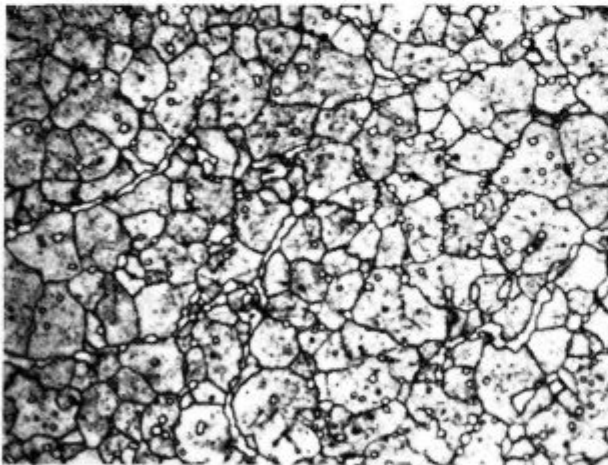
0,04 mm

Pojav skepljanja karbidov v caglju 60 mm kvadrat

Velikost karbidov po opisani metodi smo ocenili z indeksom  $I_k$  v mejah 6,5 do 8, kar je za to vrsto jekla popolnoma normalno.

Po normalnem kaljenju smo na prečnih metalografskih obrusih določili velikost avstenitnega zrna po metodi Snyder-Graff. Te ocene so bile v mejah 10—14 SG.

Povprečno mikrostrukturo uporabljenega jekla v kaljenem stanju prikazuje slika 10.



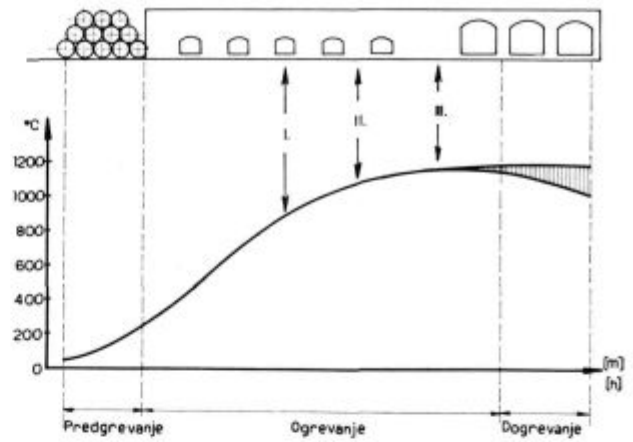
Slika 10

0,04 mm

### Pogoji preizkušanja

Poizkuse ogrevanja smo izvajali v kotalni peči kovačnice med redno proizvodnjo. Shemo in temperaturni režim v peči prikazuje slika 11.

Za ogrevanje vzorcev smo izbrali v peči položaje I., II. in III., v katerih smo izmerili temperature s sledečimi območji:



Slika 11  
Temperaturni režim v ogrevni peči

- I. . . . . 800—900° C,
- II. . . . . 1000—1050° C,
- III. . . . . 1100—1150° C.

V posameznih temperaturnih območjih smo probe ogrevali:

24, 48, 72, 96, 120 in 135 ur.

Daljši časi v tej seriji so seveda pretirano dolgi in v praktičnem delu ne pridejo v poštev. Pri raziskavi smo jih namenoma izbrali, da bi lažje in bolj nedvomno ugotovili vplive in težnje.

Pri normalnem delu ingoti potujejo skozi peč in se pri tem postopoma ogrevajo, kakor prikazuje krivulja ogrevanja. Poleg izotermnega ogrevanja z različnimi časi v posameznih temperaturnih območjih smo preizkusili še prehode prob skozi peč z enakomerno hitrostjo. Pri tem so bili celotni časi prehoda skozi peč:

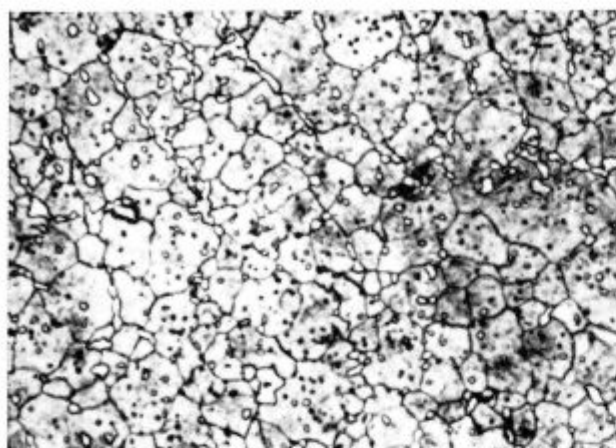
24, 31 in 50 ur.

### Vpliv temperature in časa ogrevanja na velikost karbidov

Te vplive bomo pojasnili z nekaj slikami iz obširne serije poizkusov.

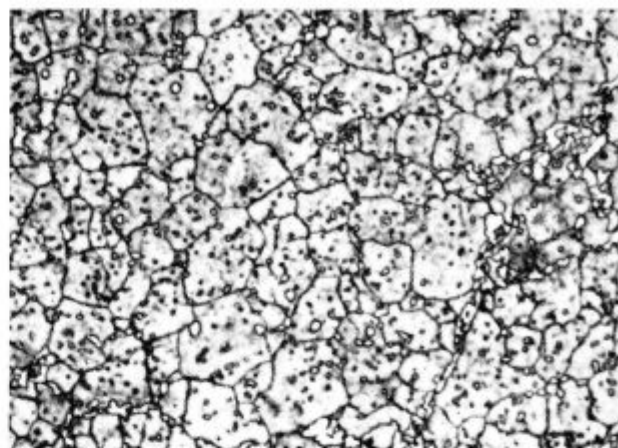
Na sliki 12 vidimo, da v temperaturnem območju 800—900° C sploh ni opaziti sprememb v velikosti karbidov. V temperaturnem območju 1000—1050° C smo pri dolgem času ogrevanja na nekaterih vzorcih opazili lokalno začetek skepljanja karbidov, ki pa v nobenem primeru še ni bilo kritično.

Povišanje temperature za 50 do 100° C daje povsem drugačno sliko. Tako visoka temperatura pri vseh preizkušanih časih povzroča nastanek grobih karbidov, kar kaže slika 13. Pri ogrevanju na začetno temperaturo kovanja moramo biti zelo previdni. Pri daljših časih se posebno na mejah in stičiščih avstenitnih zrn s koagulacijo tvorijo zelo grobi karbidi, ki so s podaljševanjem časa vedno bolj oglatih oblik. Po obliki in razporedu so ti karbidi zelo podobni onim, ki jih poznamo pri pregretem kaljenem brzoreznem jeklu. Seveda je v tem primeru temperatura nižja, čas pa neprijetno daljši. Če upoštevamo izmenjalni učinek temperature in časa, nam je podobnost pojavov skoraj razumljiva.



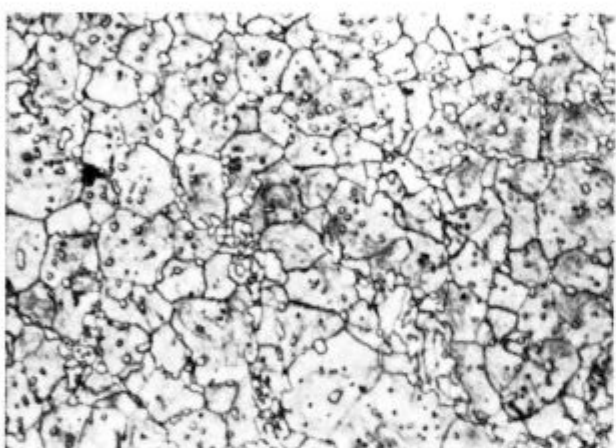
800 - 900 °C

48 ur



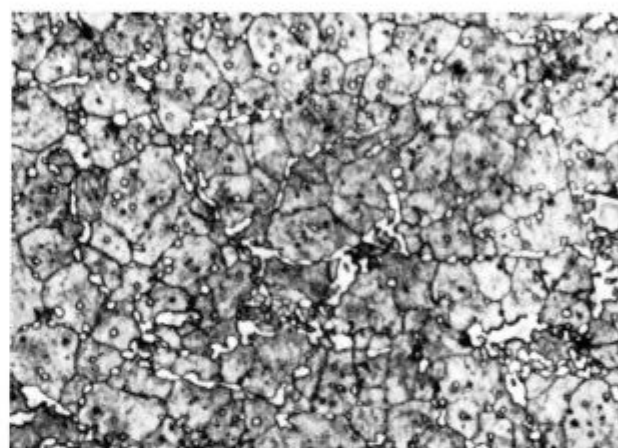
1000 - 1050 °C

48 ur



800 - 900 °C

135 ur



1000 - 1050 °C

135 ur

0,04 mm

Slika 12

Iz primerov na slikah 12 in 13 ter iz številnih pregledov smo prišli do trdnega zaključka, da temperature do 1000° C pri ogrevanju brzoreznega jekla 6—5—2 (BRM-2) še ne kažejo škodljivih vplivov in pomembnega poslabšanja mikrostrukture. Ta trditev je morda nekoliko negotova le pri najdaljših časih, ki pa v praksi sploh ne pridejo v poštev.

Daljše zadrževanje jekla v temperaturnem območju nad 1000° C je lahko škodljivo. Pri temperaturah okrog 1100° C se jeklo lahko pri nepotrebno dolgem času tako pokvari, da ga s sledečo predelavo sploh ni mogoče več popraviti.

Na lastnosti jekla ne vpliva samo velikost karbidov, ampak še bolj njihova oblika. Hargue in sodelavci<sup>3</sup> so raziskovali pogoje nastanka oglatih karbidov pri kaljenju jekel 18—0—1 in 6—5—2 pri dveh temperaturah avstenitizacije. Ocenjevali so naraščanje deleža oglatih karbidov v mikrostrukturi pod vplivom časa držanja na temperaturi (slika 14). Omenjeni avtorji navajajo ocene deleža oglatih karbidov za čase 8 do 24 ur. V naših raziskavah so zajeti časi od 24—135 ur. Pri pri-

bližnem ocenjevanju deleža oglatih karbidov smo ugotovili pri posameznih vzorcih zelo velike razlike. V glavnem so bile ocene v okviru šrafitiranega območja na sliki 15. V tem območju bi ležali tudi rezultati, katere bi pričakovali na osnovi ugotovljene orientacijske zakonitosti omenjenih avtorjev.

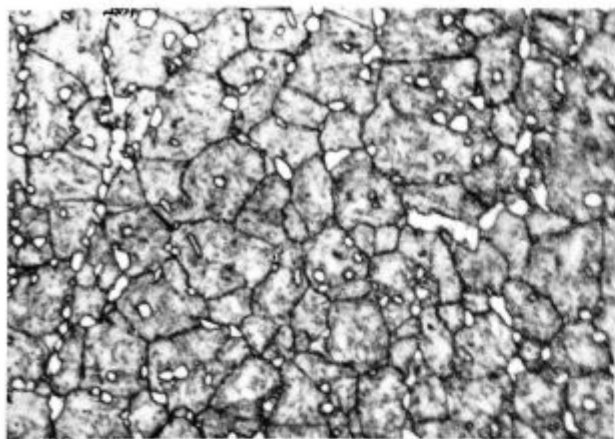
#### SPREMLJANJE VZPOREDNIH POJAVOV PRI POTEKU RAZISKAVE

Vzporedno z raziskavo nastanka grobih karbidov pri ogrevanju cagljav pred kovanjem smo zasledovali vplive temperatur in časov ogrevanja na:

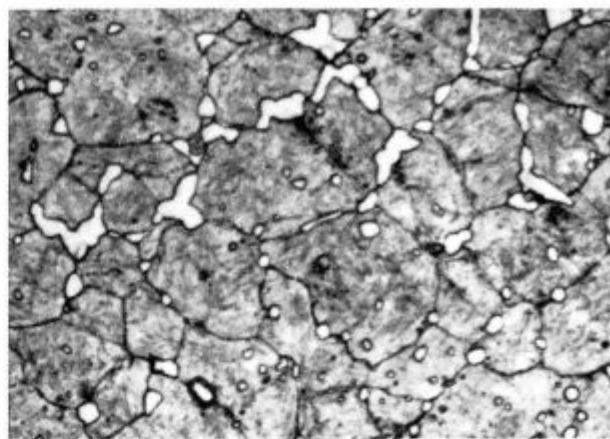
- velikost in enakomernost avstenitnega zrna,
- karbidne izceje,
- odgorek in razogljichenje.

#### Velikost in enakomernost avstenitnega zrna

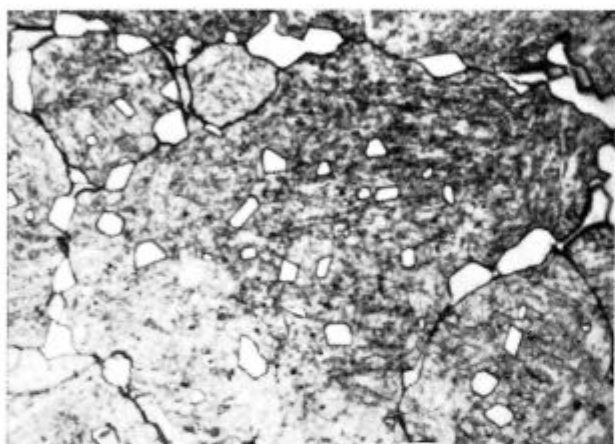
Po določenih časih ogrevanja v posameznih temperaturnih območjih smo probe počasi ohladili. Po mehkem žarjenju smo iz njih izrezali



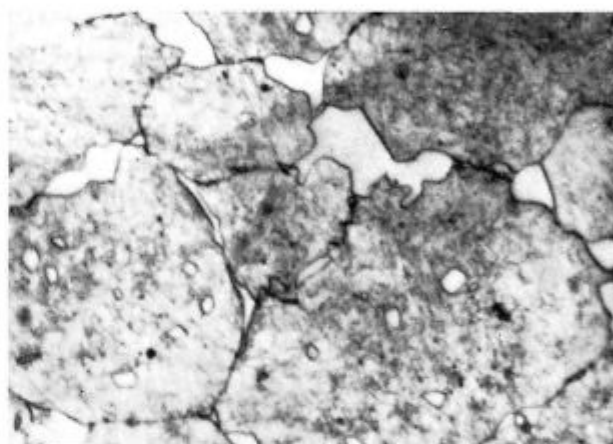
24 ur



48 ur

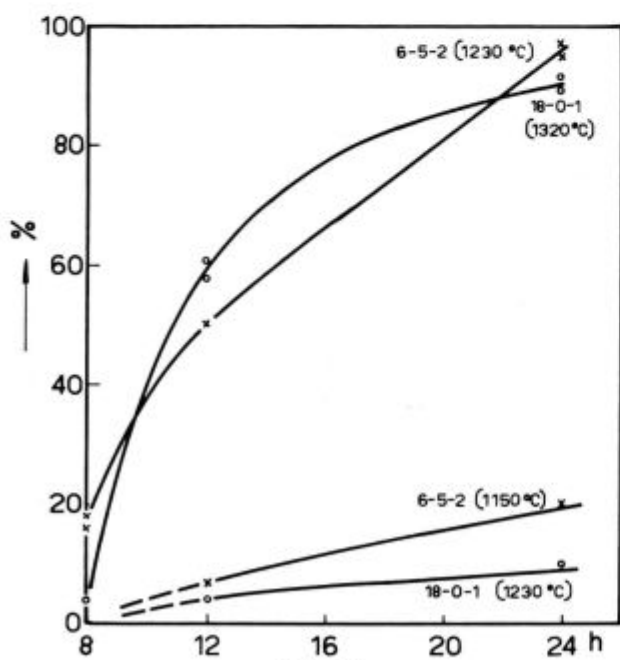


96 ur

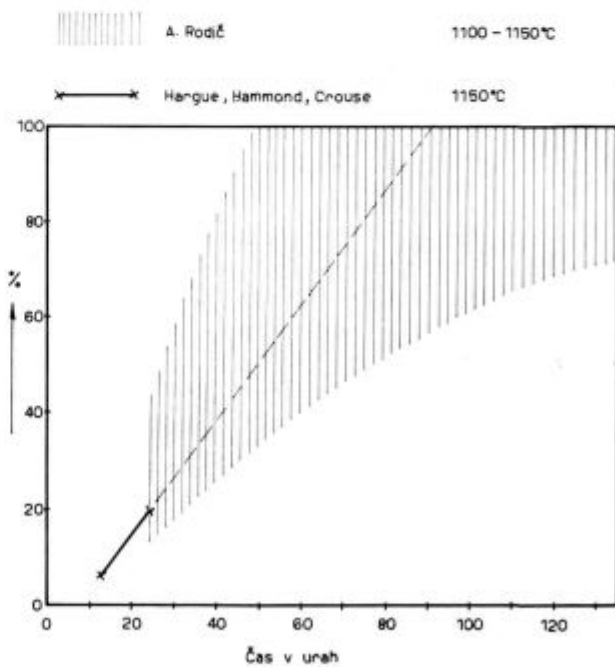


135 ur

Slika 13  
Temperatura 1100–1150° C



Slika 14  
Odstotek karbidov oglate oblike<sup>1</sup>

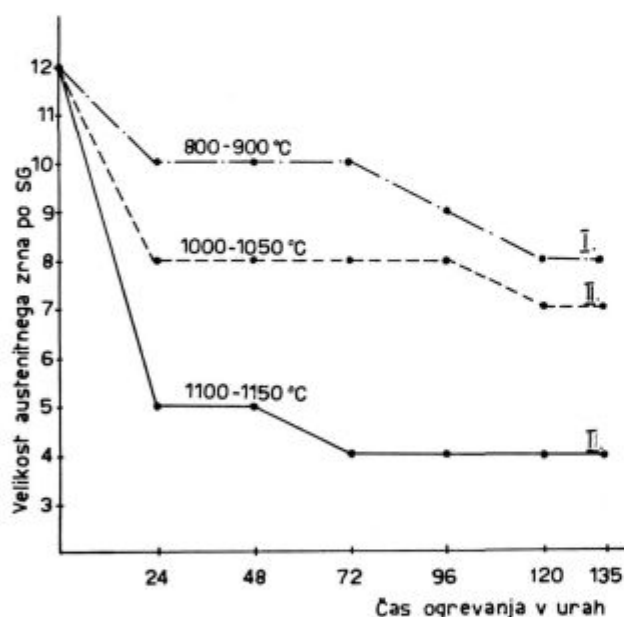


Slika 15  
Odstotek karbidov oglate oblike pri ogrevanju na 1100 do 1150° C



probe za metalografsko določanje velikosti avstenitnega zrna. Te probe smo vse na enak način normalno kalili, prelomili in na prelomni ploskvi izdelali prečne metalografske obruse. Velikost avstenitnega zrna smo določali po metodi Snyder-Graff in na ta način ugotavljali vpliv pogojev ogrevanja na velikost in enakomernost avstenitnega zrna. Vse probe smo kalili na enak način kot probe jekla pred začetkom preizkusov.

Odvisnost velikosti zrna od pogojev ogrevanja dobro kaže sliki 12 in 13. Pri tem moramo pripomniti, da so bile omenjene slike izbrane kot posamezni primeri za prikaz značilnih oblik karbidov in odvisnosti velikosti karbidov od pogojev ogrevanja. Glede velikosti avstenitnega zrna te slike dajejo le ilustracijo, ne prikazujejo pa povprečnih velikosti avstenitnega zrna pri posameznih pogojih. Pri višjih temperaturah in daljših časih so mikrostrukture sploh zelo neenakomerne. To še posebej velja za velikost avstenitnega zrna, ki je lokalno zelo različno in neenakomerno. Ker je bilo pregledano veliko število obrusov, so srednje vrednosti velikosti avstenitnega zrna vseh prob za posamezne kombinacije pogojev zbrane v diagramu (slika 16).



Slika 16

Velikost avstenitnega zrna po normalnem žarjenju in kaljenju

Pred poizkusi je bila povprečna velikost avstenitnega zrna 12 SG.

Rezultati teh poizkusov kažejo zelo kvaren vpliv dolgotrajnega ogrevanja več ali manj v vsakem temperaturnem območju. Posledice ogrevanja na velikost avstenitnega zrna so še po žarjenju in kaljenju zelo izrazite.

Pri tem moramo poudariti, da probe po ogrevanju niso bile kovane in torej ogrevanju ni sledilo plastično preoblikovanje kakor v normalnem

tehnološkem postopku. Zato ti poizkusi ne omogočajo neposrednih zaključkov, čeprav so zelo zanimivi.

### Karbidne izceje

Iz vseh različno ogrevanih prob smo izdelali vzdolžne obruse za normalen metalografski pregled stopnje enakomernosti karbidnih izcej.

Tudi na vzdolžnih obrusih smo jasno opazili koagulacijo karbidov, ki je tem močnejša, čim daljši je čas. Spremembe izoblikovanja karbidnih izcej so že pri območju 1000—1050 °C mnogo bolj izrazite kakor spremembe velikosti karbidov.

Jasno izražene deformirane mreže karbidov pri višjih temperaturah in daljših časih vedno bolj izgubljajo izrazito obliko zaradi sferoidizacije. Ta pojav so v bistvu opisovali že razni avtorji<sup>1, 2</sup>, čeprav pri nekoliko drugačnih pogojih — večinoma pri višjih temperaturah in krajših časih.

Omejimo se le na prikaz karbidnih izcej štirih prob. (slika 17)

### Odgorek in razogljčenje

Pri poizkusih ogrevanja na različnih temperaturah z različnimi časi se nam je ponudila priložnost za ugotavljanje odvisnosti odgorka in površinskega razogljčenja od temperature in časa ogrevanja.

Pazljivo očiščene gredice smo razrezali na kocke 80 × 80 × 80 mm s približno težo 10 kg. Kocke smo stehali in jih vložili po programu preizkušanja v peč. Po določenih časih smo jih jemali iz peči. Po mehanskem čiščenju škaže in luženju smo kocke ponovno tehtali in iz razlik teže določali odstotek odgorka.

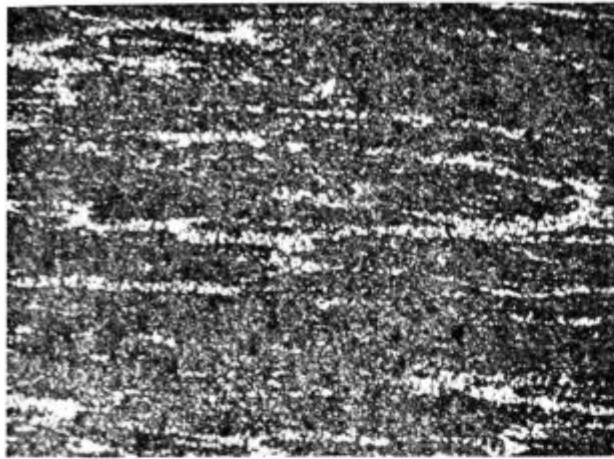
Poudariti moramo, da ugotavljanje odgorka ni bil osnovni namen teh raziskav. Rezultate teh stranskih poizkusov navajamo le zaradi splošne zanimivosti in relativnih vplivov časa in temperature. Kocke so bile vsestransko izpostavljene oksidacijskemu vplivu v peči, zato se pogoji ogrevanja kock precej razlikujejo od pogojev ogrevanja blokov ali gredic v proizvodnji. Ugotovljeni odgorki nikakor ne ustrezajo odgorkom v redni proizvodnji, pač pa nam dobro ponazarjajo vplive temperature in časa ogrevanja na relativno povečanje odgorka izpostavljenih površin.

Uporabljene kocke imajo glede na svojo majhno težo (10 kg) izredno veliko izpostavljeno površino.

Odvisnost odstotka odgorka od temperature in časa ogrevanja kaže slika 18 A.

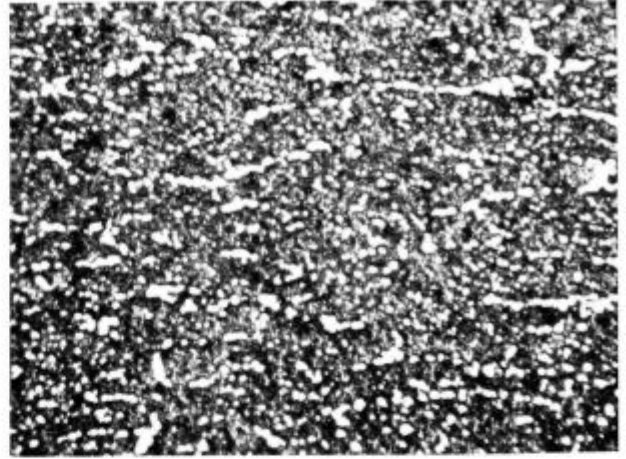
Odstotek odgorka smo ugotavljali tudi za različne čase kontinuiranega prehoda skozi peč. Pri že opisanem temperaturnem režimu v peči so bili rezultati sledeči:

čas prehoda skozi peč	povprečni odgorek v %
24 ur	10,5
31 ur	15,3
50 ur	15,8



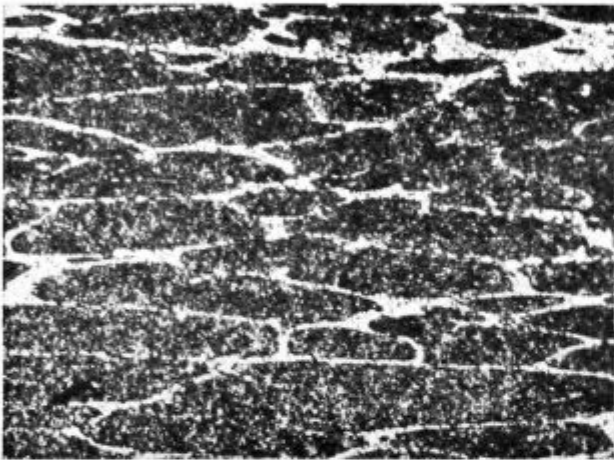
800 - 900 °C

72 ur



1100 - 1150 °C

72 ur



800 - 900 °C

135 ur

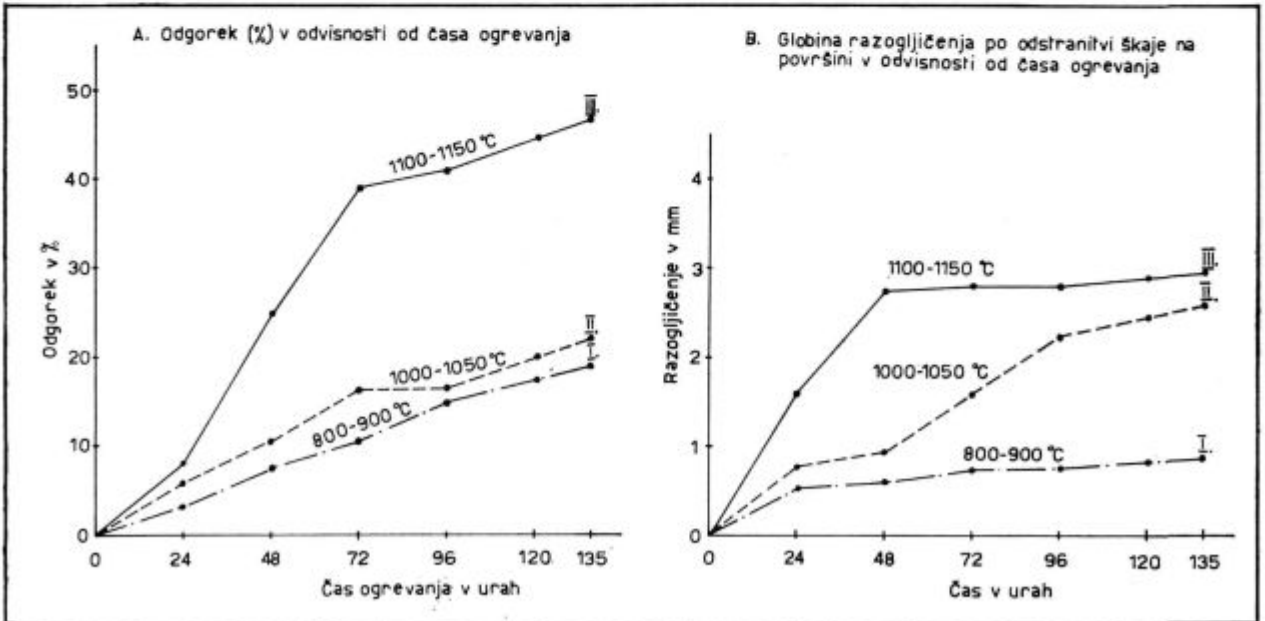


1100 - 1150 °C

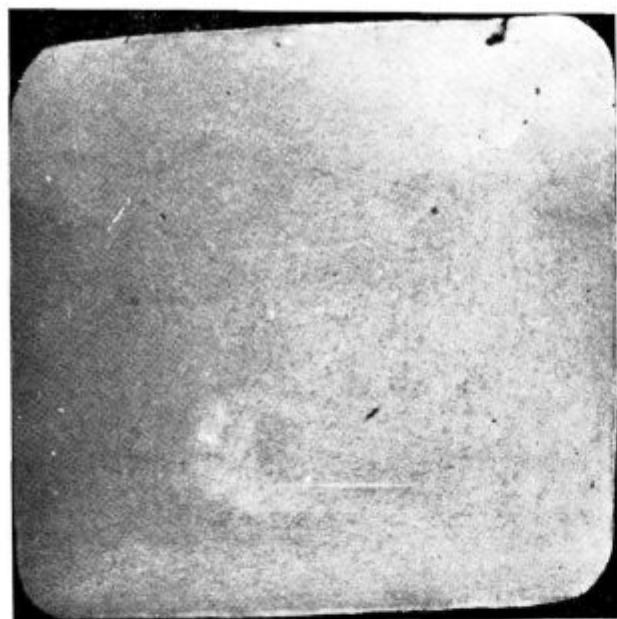
135 ur

Slika 17 Vpliv ogrevanja na karbidne izceje

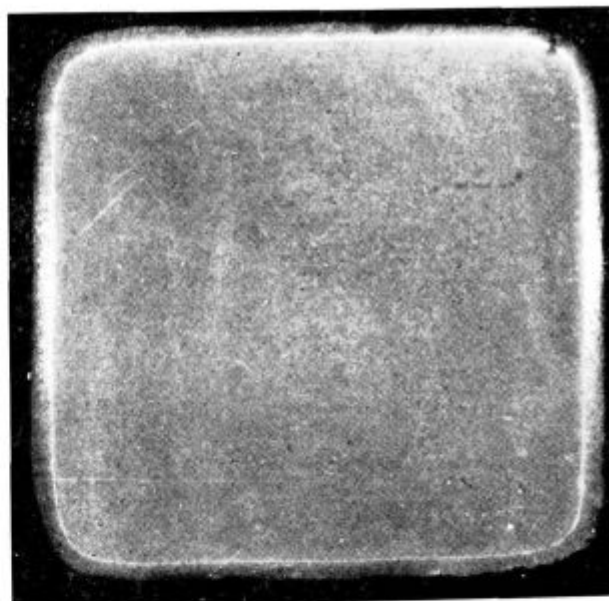
0,2 mm



Slika 18 A in B Ogrevanje kock s stranico  $\approx 80$  mm in težo  $\approx 10$  kg



800 - 900 °C

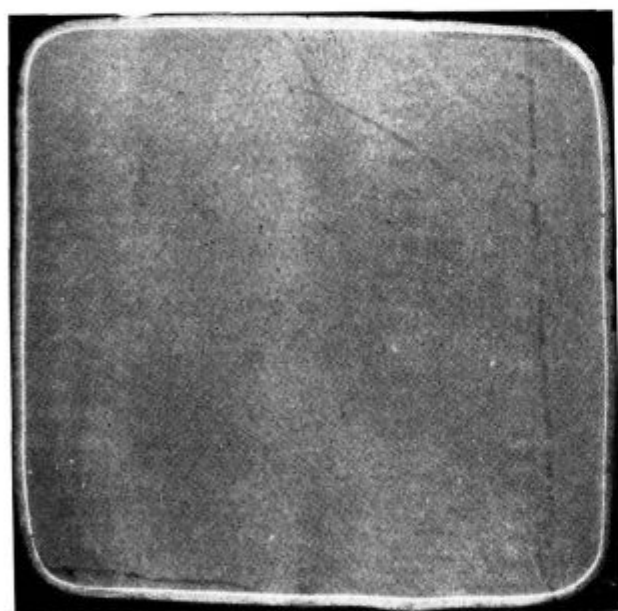


1100 - 1150 °C

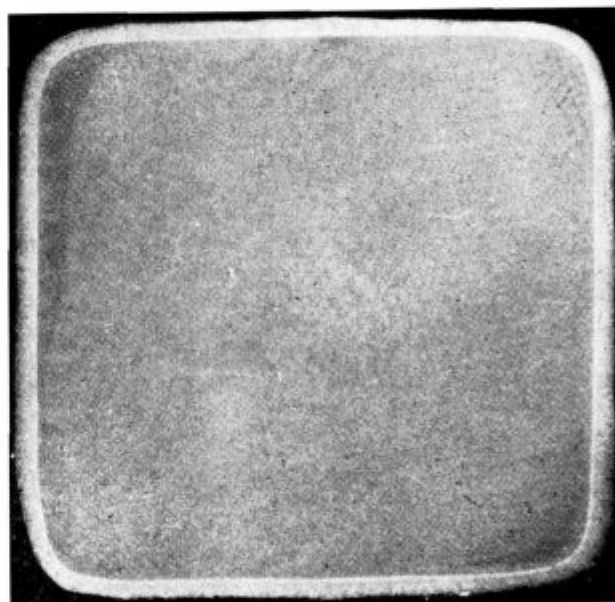
1cm

1cm

Slika 19 Čas ogrevanja 48 ur



48 ur



135 ur

1cm

1cm

Slika 20 Temperatura 1000—1050° C

Po končanem tehtanju smo vse kocke ob primerni zaščiti na kratko odžarili in od vsake odrezali 10 mm debelo ploščo. Po globokem jedkanju smo približno določili enakomernost in povprečno globino razogljíčenja stranic.

Sliki 19 in 20 kažeta nekaj primerov jedkanih plošč. Pri tem nas razpoke ne smejo motiti, ker so nastale zaradi prehitre ohladitve.

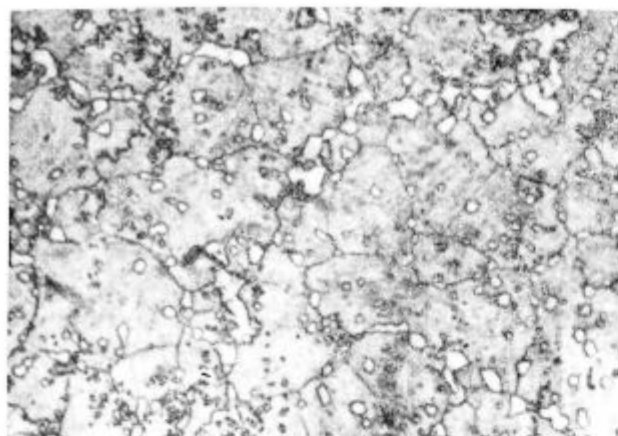
Po pregledu in grobi oceni jedkanih plošč smo izrezali obruse za metalografsko določanje po-

vpredne globine razogljíčenja. Rezultate teh meritev prikazuje slika 18B.

V močno razogljíčeni plasti zrno izredno naraste, kar prikazuje primerjava na sliki 21.

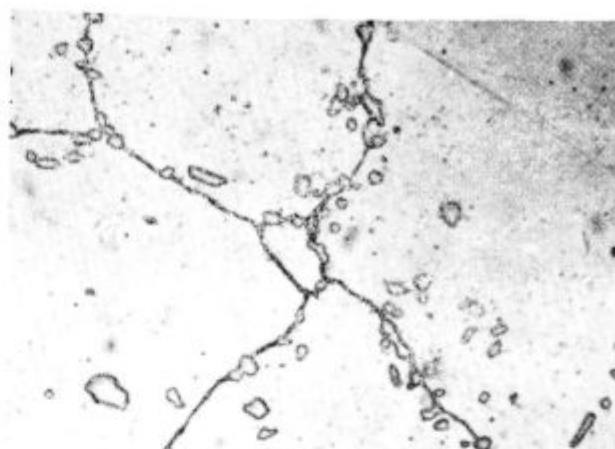
#### Trdote grobih karbidov in osnovne strukture

Pri raziskavi nastanka grobih karbidov so nas zanimale tudi nekatere značilne lastnosti teh grobih karbidov. Primerjali smo trdoto grobih



Osnova

0,04 mm



Razogljčeno

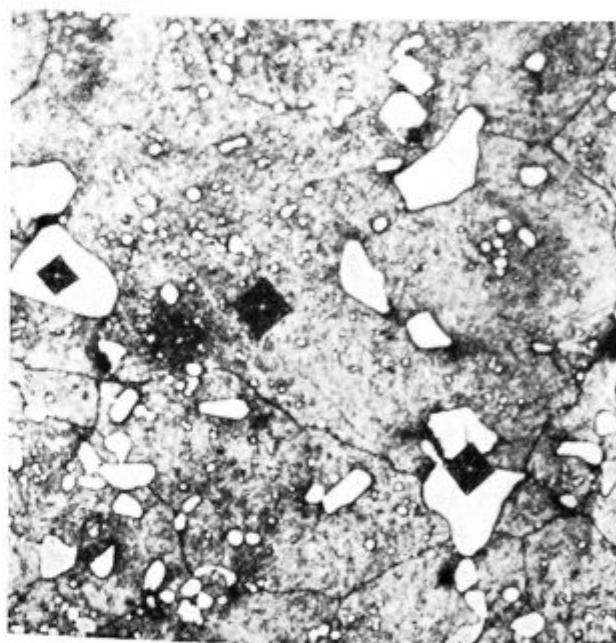
0,04 mm

Slika 21  
Primerjava osnovne in razogljčene mikrostrukture

karbidov s trdoto osnovne mase. Po končani toplotni obdelavi smo s serijo meritev na merilcu trdote Zwick z majhno obtežbo določili srednje vrednosti:

- za grobe karbide 1125 HV<sub>1 kg</sub>,
- za osnovno maso 858 HV<sub>1 kg</sub>.

Pri teh meritvah smo opazili, da so karbidi pri merjenju skoraj vedno počili zaradi velike krhkosti (sl. 22 in 23). Zaradi tega dejstva meritve trdot niso zanesljive in rezultati kažejo veliko razširjanje. Izmerjene trdote so nerealne in največkrat prenizke. Pri finejših karbidih razpoke niso vedno



Slika 23

0,04 mm

Mikrotrdota karbidov in osnove



Slika 22

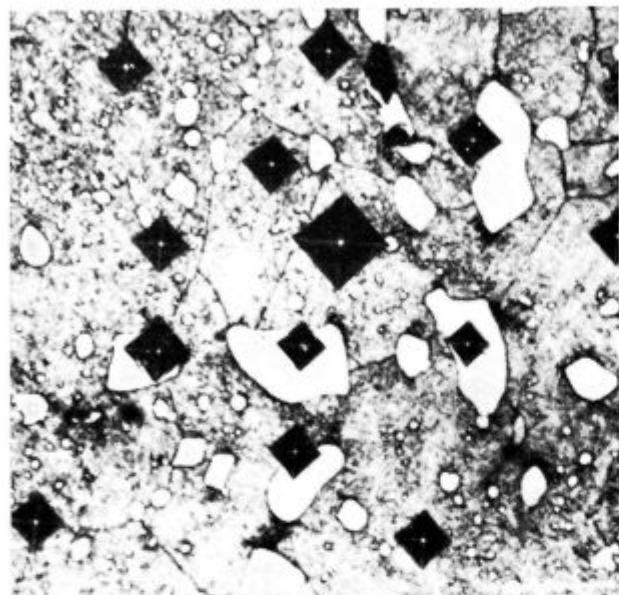
0,04 mm

Mikrotrdota karbidov

tako jasno izražene kakor pri grobih karbidih, čeprav verjetno prav tako nastopajo.

V literaturi se podatki raznih avtorjev o trdotah karbidov zelo razlikujejo. Verjetno je, da so tako različne ugotovitve prav posledica omenjenega pojava in meritev z različnimi obtežbami. S tega stališča bi priporočali za meritve trdot karbidov čim manjše obtežbe. Nasprotno pa meritve trdot z majhnimi obtežbami niso primerne za ugotavljanje trdote posameznih orodij iz brzo-rezernih jekel, ker ne dajejo zadovoljive povprečne trdote. Merilec pritiska na različna trda mesta — na karbid ali na osnovno maso. Opazili smo celo,

da se trdote osnovne strukture zelo razlikujejo kljub meritvam v neposredni bližini (sl. 24). Metalografsko enako jedkana in na oko homogena struktura ima često različne trdote v posameznih zrnih.



Slika 24  
Mikrotrdota osnove 0,04 mm

### PRAKTIČNE MOŽNOSTI POPRAVLJANJA DEFEKTHIH MIKROSTRUKTUR

Brzorezno jeklo z grobimi karbidi in grobim avstenitnim zrnom je defektno. Mikrostrukturo, ki je posledica previsoke temperature ali predolgega časa ogrevanja pred vročo predelavo, lahko primerjamo z mikrostrukturo pregretega brzoreznega jekla, kakršno poznamo pri toplotni obdelavi. Samo po sebi se vsiljuje vprašanje:

ali lahko defektno mikrostrukturo takega jekla popravimo. Na to vprašanje smo iskali odgovor z dodatnim programom raziskave.

Ostanke kock s stranico 80 mm smo po končanih preiskavah stopenjsko prekovali na:

kv. 50 mm, kv. 30 mm, kv. 20 mm,  
kakor kaže skica na sl. 25.



Slika 25  
Skica kovanja prob

S tem prekovanjem smo skušali ugotoviti možnosti zmanjšanja velikosti karbidov in velikosti avstenitnega zrna v pregretem brzoreznom jeklu.

Po prekovanju smo probe normalno žarili in kalili ter pregledali vzdolžne in prečne metalografske obruse. Vzdolžne obruse smo za pregled karbidnih izcej še visoko popuščali po postopku redne tekoče kontrole.

Na slikah 26 in 27 vidimo, da jekla z grobimi karbidi ne moremo učinkovito popraviti. Grobih karbidov ne moremo učinkovito zdrobiti niti s precejšnjo stopnjo predelave, posebno če so karbidi bolj ali manj krogličaste oblike in se pri gnetenju le premeščajo po osnovni masi. Nekoliko bolj učinkovito je zmanjšanje velikosti karbidov, če so ti sploščeni, podolgovati, oglati in sploh take oblike, da se pri predelavi lomijo. S pregledom mikrostruktur smo sicer ugotovili pri veliki večini prob povprečno zmanjšanje karbidnih zrn, vendar so tudi tako zmanjšani karbidi ostali v vseh primerih bolj grobi od normalnih. Primerjave na slikah kažejo vpliv temperature ob enakem času ogrevanja. Pri vseh stopnjah predelave so karbidi pri nižji temperaturi finejši.

Na sliki 27 se jasno vidi vpliv predelave na zmanjšanje avstenitnega zrna.

Znano je, da je velikost avstenitnega zrna v brzoreznom jeklu odvisna vsaj od štirih vplivnih faktorjev:

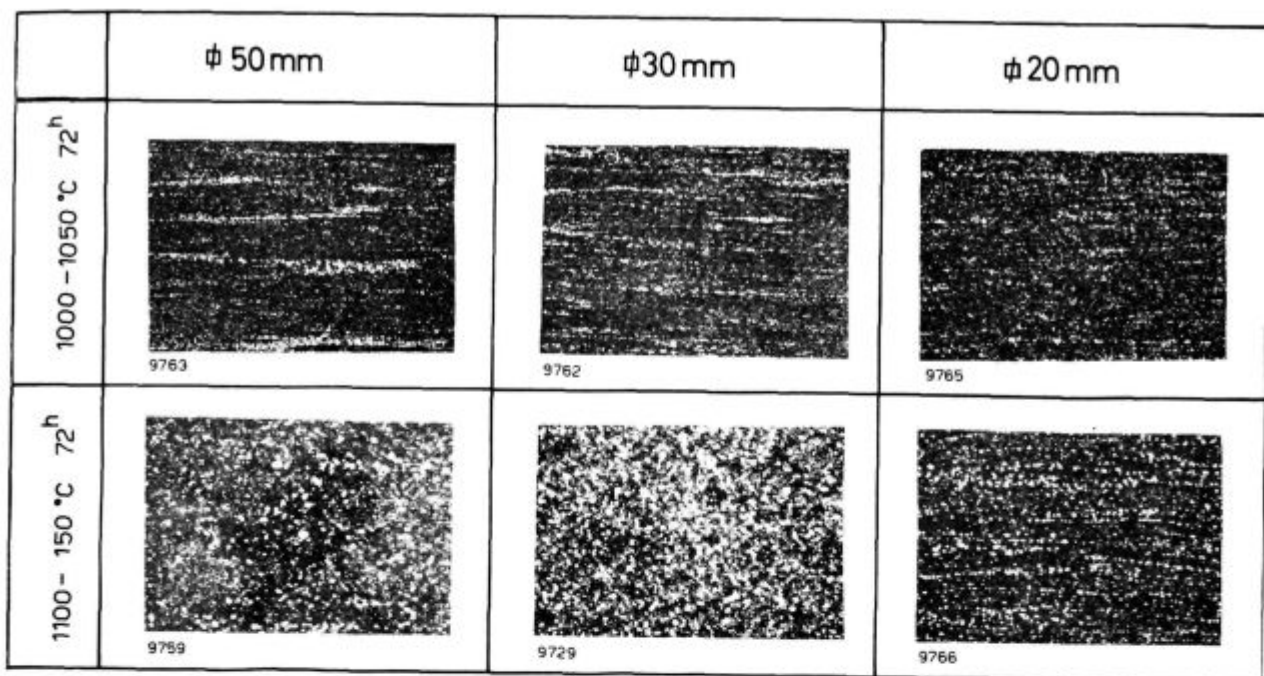
- od temperature kaljenja,
- od časa zadržanja na temperaturi kaljenja,
- od sestave jekla,
- od vrste in porazdelitve neraztopljenih karbidov.

Manj znano in upoštevano je dejstvo, da tudi stopnja redukcije od ingota do palice močno vpliva na velikost zrna. To sicer lahko do neke mere povežemo z vplivom porazdelitve neraztopljenih karbidov. Veliko število finih karbidov učinkovito preprečuje rast zrn.

Harvey<sup>6</sup> opozarja, da se pri obravnavanju velikosti zrna redkokdaj upošteva dimenzije palic, ali pa se ta vplivni faktor ne upošteva enakovredno z drugimi. Posebno brzorezna jekla z velikim odstotkom molibdena kažejo močan vpliv stopnje redukcije na velikost zrna.

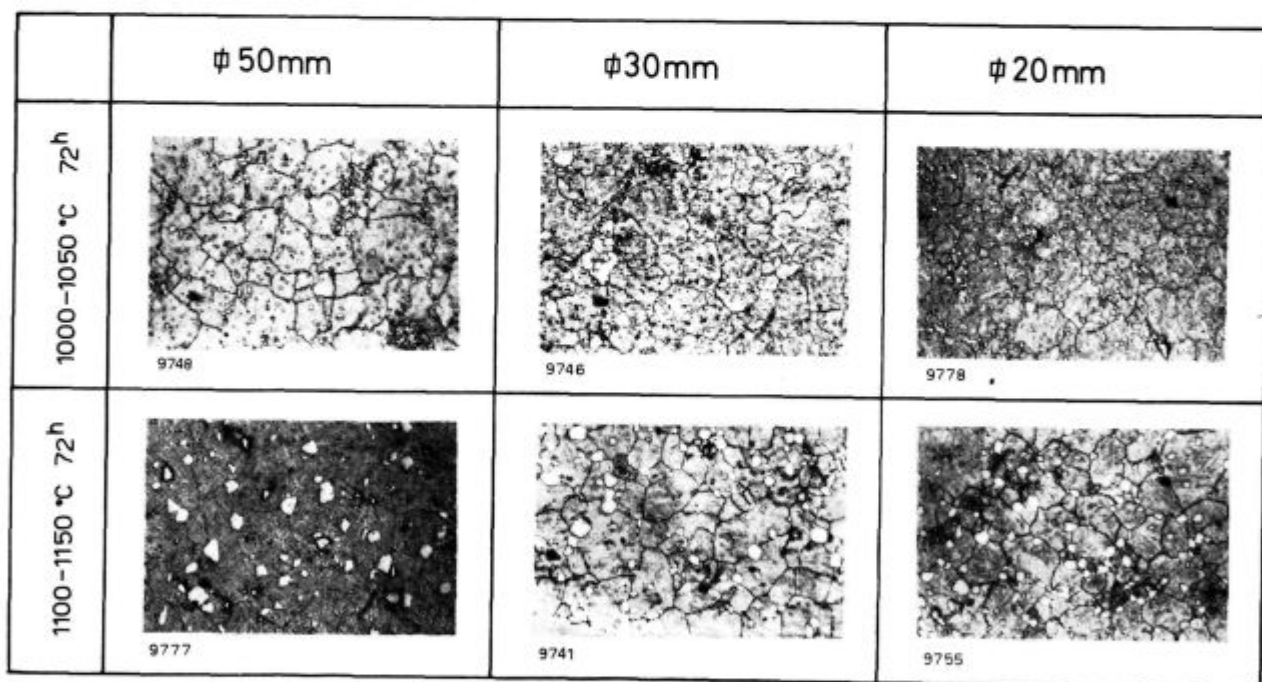
Te trditve popolnoma potrjujejo tudi naši poskusi, pri katerih so bili prvi trije od zgoraj omenjenih vplivnih faktorjev konstantni.

Sliki 28 in 29 kažeta nekaj značilnih primerov mikrostruktur močno pregretega jekla in mikrostruktur po stopenjskem prekovanju. Na teh slikah vidimo očitno zmanjšanje karbidnih zrn, vendar moramo upoštevati, da je bilo to jeklo pred kovanjem tako močno pregreto, da so bili karbidi sploščeni in zbrani po mejah zrn. Če prej smo ugotovili, da se taki karbidi med kovanjem lomijo in drobijo. Popolnoma razumljivo je učinkovito zmanjšanje karbidov, rezultat pa je še vedno nezadovoljiv — mikrostruktura s karbidi nenormalne velikosti in nenormalnih oblik. Za nadaljnje drobljenje karbidnih zrn ni možnosti (upanja), ker so bolj ali manj okrogla, trda in vložena v plastični osnovi. Za nadaljnje drobljenje ni potrebne opore.



Slika 26

Vpliv temperature in časa ogrevanja kock 80 mm kvadrat na karbidne izceje v ponovno ogretem in prekovanem jeklu 0,2 mm

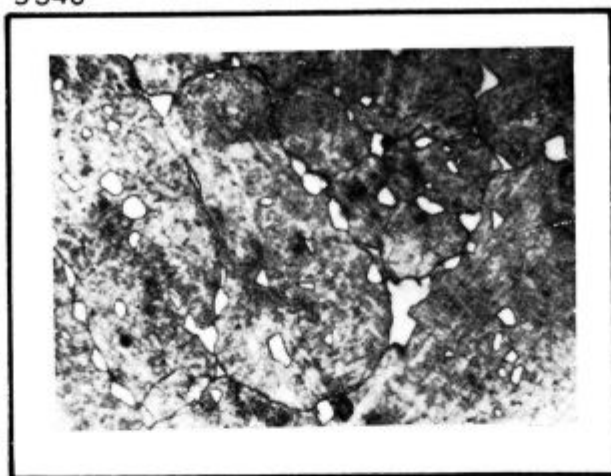


Slika 27

Vpliv temperature in časa ogrevanja kock 80 mm kvadrat na velikost zrna in velikost ter obliko karbidov v ponovno ogretem in prekovanem jeklu 0,04 mm

Izhodne mikrostrukture nepredelanega pregretega jekla so bile zelo različne, kar je v skladu z diagramom na sliki 15. Včasih je imela mikrostruktura po 72 urah videz mnogo bolj pregretega jekla kakor po 135 urah.

Posledice pregretja pred kovanjem zelo dobro kaže slika 29 z značilnim pojavom podzrna in z grobo iglasto ter neenakomerno martenzitno strukturo, ki je za normalno kaljeno brzorezno jeklo povsem neobičajna.

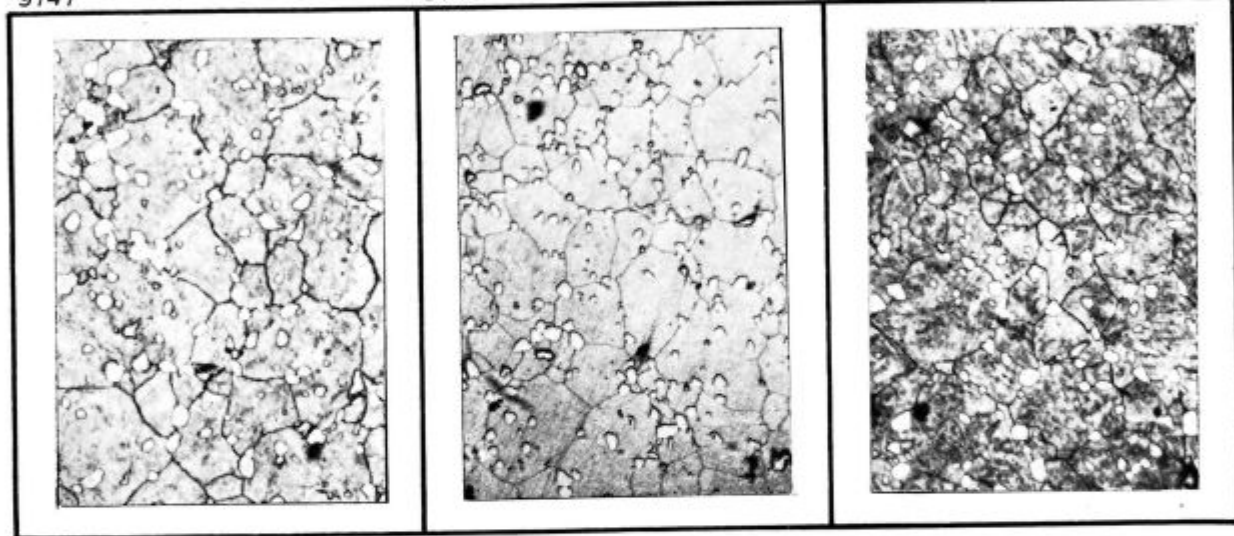


Pregreto nepredelano jeklo 80 mm kvadrat, ogrevano 96 ur  
na 1100—1150° C

9747

9746

9745



Prekovano na 50 mm kvadrat  
Stopnja predelave  $\approx 2,5 \times$

Prekovano na 30 mm kvadrat  
Stopnja predelave  $\approx 7 \times$

Prekovano na 20 mm kvadrat  
Stopnja predelave  $\approx 16 \times$

0,04 mm

Slika 28

Vpliv vroče predelave na zmanjšanje velikosti avstenitnega zrna in karbidov v pregretem jeklu

### PRAKTIČNI ZAKLJUČKI

Velikost karbidov se pri posameznih vrstah brzoreznih jekel pomembno razlikuje. V molibdenovih brzoreznih jeklih so karbidi povprečno finejši od onih v volframovih, posebno pa še v kobaltovih in vanadijevih brzoreznih jeklih.

Grobi karbidi nastajajo pri temperaturah nad 1000° C in pri daljših časih ogrevanja. Nižje temperature tudi pri zelo dolgotrajnem ogrevanju še ne predstavljajo posebne nevarnosti za nastanek grobih karbidov in grobega avstenitnega zrna po kaljenju. Na odnos med deležema karbidov oglate in okrogle oblike vpliva izoblikovanje ledeburitnega evtektika v litem stanju, razpored karbidnih izcej in pogoji koagulacije ter začetka taljenja ledeburitnega evtektika pri ogrevanju. Okrogli

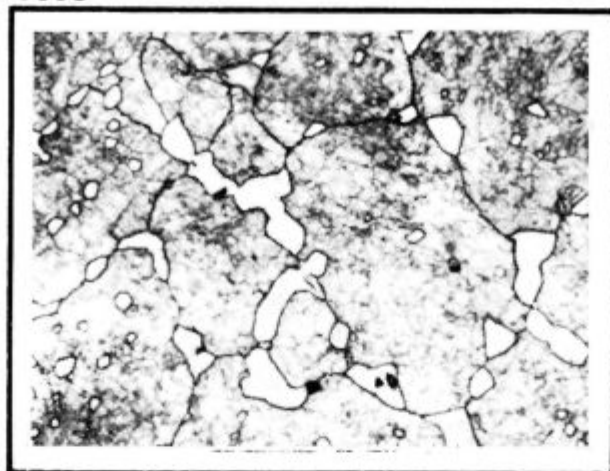
karbidi nastajajo s preprostim skepljanjem karbidnih zrn in združevanjem drobnejših sosednih karbidnih zrn, oglati karbidi pa so posledica začetka taljenja ledeburitnega evtektika in zbiranja karbidov na mejah in stičiščih avstenitnih zrn. Čim višja je temperatura ogrevanja, tem večji je delež karbidov oglate oblike.

Na osnovi teh ugotovitev sledijo praktična navodila za ogrevanje pri vroči predelavi:

Počasno ogrevanje in daljše zadrževanje brzoreznega jekla pri temperaturah pod 1000° C še ne povzročata nastanka grobih karbidov in je torej s tega stališča neškodljivo, če ne upoštevamo odgoraka in razogljčenja.

Pri temperaturah nad 1000° C moramo preprečiti vsako nepotrebno zadrževanje jekla.

9556

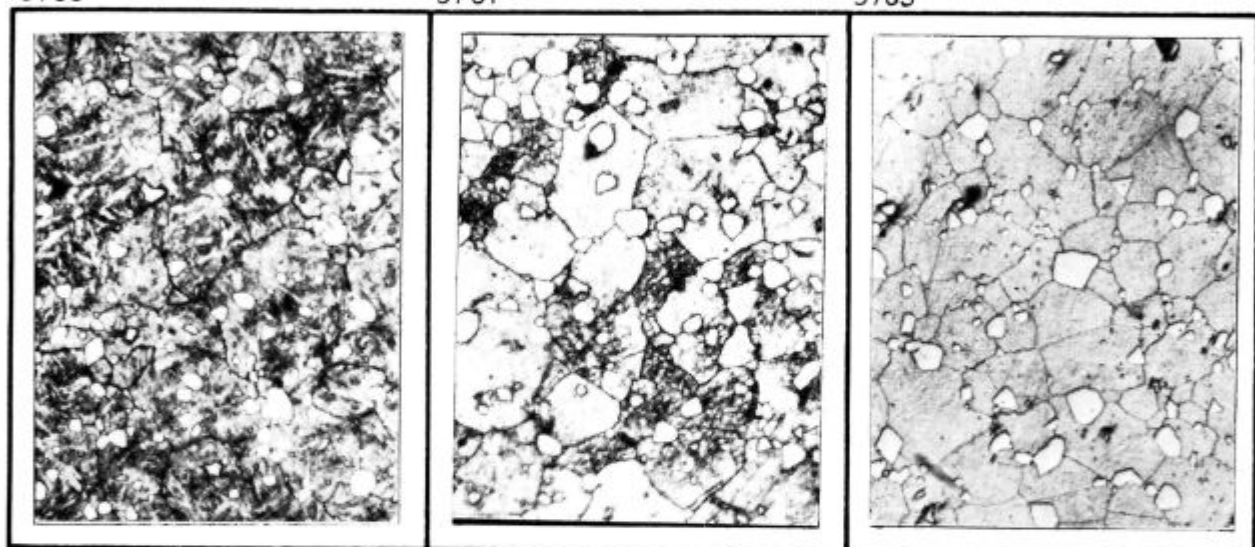


Pregreto nepredelano jeklo 80 mm kvadrat, ogrevano 72 ur  
na 1100–1150° C

9756

9751

9783



Prekovano na 50 mm kvadrat  
Stopnja predelave  $\approx 2,5 \times$

Prekovano na 30 mm kvadrat  
Stopnja predelave  $\approx 7 \times$

Prekovano na 20 mm kvadrat  
Stopnja predelave  $\approx 16 \times$

0,04 mm

Slika 29

Vpliv vroče predelave na zmanjšanje velikosti avstenitnega zrna in karbidov v pregretem jeklu

Mnogi raziskovalci so se ukvarjali s preprečevanjem nastanka ali z odpravljanjem izrazite ledeburitne mrežaste strukture. Le mimogrede naj omenimo ugotovitev nekaterih, da z dolgotrajnim ogrevanjem ingotov na visoki temperaturi lahko skoraj ali pa popolnoma odpravimo ledeburitno mrežo in dosežemo enakomerno razporeditev karbidnih zrn. To ugotovitev<sup>1, 2, 7</sup> naši poizkusi potrjujejo, obenem pa tudi kažejo, da tak postopek odpravljanja ledeburitne mreže v litem brzoreznem jeklu za praktično tehnologijo ne pride v poštev, ker povzroča nastanek grobih karbidov.

Vpliv grobih karbidov na tehnološke in mehanske lastnosti orodij iz brzoreznih jekel bomo obravnavali v III. delu tega članka; že pri teh zaključkih pa lahko omenimo, da grobi karbidi škodujejo kvaliteti brzoreznega jekla.

#### Literatura

1. BISRA Summary 151: Modification of the cast structure of high-speed steel — Prespheroidizing, The British Iron and Steel Research Association.
2. Geller J. A., V. K. Zablockij, L. S. Kremnev: Termičeskaja obrabotka bistrorežuščeje stali dlja ulučšenja raspredelenja karbidov, Metalovedenje i termičeskaja abrabotka metalov No 9., 1967, str. 18–23.
3. Hargue C. J., J. P. Hammond, C. S. Crouse: The angular — appearing carbides in high speed tool steels, Trans. ASM, Vol. 46, 1954, str. 716–726.
4. Payson P.: The Metallurgy of Tool Steels, John Wiley & Sons, inc., New York, London 1962.
5. Gühring A.: Einfluss der Karbidausbildung auf die Leistung von Schnellstahl — Spiralbohrern, Härtereie — Technische Mitteilungen — Riebensahm, Bd. 8, Heft 2, str. 9–19.
6. Harvey R. J.: Grain Size of High Speed Steel — the Effect of Reduction, Steel Processing and Conversion, Jan. 1958, str. 33, 34.
7. Hoyle G.: Recent developments in high-speed steels, Metallurgical Reviews, 1964, Vol. 9., No 33, str. 63, 66–68.



## ZUSAMMENFASSUNG

Im zweiten Teil dieses Artikels sind die Bedingungen der Entstehung der groben Karbide im Schnelldrehstahl während des Erwärmens von Blöcken und Knüppel vor dem Schmieden oder Walzen beschrieben.

Der Einfluss der Temperatur und der Anwärmungszeit sind eingehend beschrieben. Das defekte Gefüge mit groben Karbiden und grobem Austenitkorn kann nur begrenzt durch die plastische Warmverformung erholt werden. In dieser Arbeit sind auch noch einige Ergebnisse

der gleichlaufenden Untersuchungen wie der Abbrand, die Entkohlung, die Austenitkorngröße, die Karbidseigerungen und die Karbidhärte angegeben. Es ist eine Methode der Karbidgrößenbestimmung beschrieben, welche im Hüttenwerk Ravne in der laufenden Qualitätskontrolle der Schnelldrehstähle angewendet wird. Es sind die Ergebnisse der Statistischen Analyse der Karbidkorngröße für die verschiedenen Sorten der Schnelldrehstähle und ihre Dimensionsgruppen wiedergegeben.

## SUMMARY

Second part of the article about high speed steels is dealing with conditions of formation coarse carbides in high speed steels during the heating of ingots and blooms previously to forging or rolling of them. Similarly it is dealing with temperature and time of heating. To correct defective structures of coarse carbides and coarse austenitic grain there are only limited possibilities given for plastic hot deformation.

Article is dealing with some more results of parallel testing — burn off, carbon depleading, size of austenitic grain, segregation, hardness of carbides. The method of carbides size determination which is used in Zleezarna Ravne for instant of high speed steels control is described. The results of statistical analysis of carbide size for different kinds of high speed steels and dimensional groups are given.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены условия образования крупных карбидов в быстрорежущей стали во время нагрева слитков и заготовок доковки или прокатки. Подробно изложено влияние температуры и длительности нагрева.

Возможность поправки дефектной структуры с крупными карбидами и зернами аустенита при помощи пластической де-

формации в теплом состоянии ограничена. Рассмотрены также некоторые результаты исследования обезуглероживания, угара, ликвации и твердости карбидов. Описан метод металлургического завода Zelezarna Ravne (Югославия) определения величины карбидов при контроле серийного производства быстрорежущей стали. Изложены результаты статистического анализа величины карбидов для различных сортов сталей и групп по размерам.

## Določevanje obdelovalnosti jekel za obdelavo na avtomatih po postopku struženja s konstantnim pritiskom

*Metodo ocenjevanja obdelovalnosti jekel za obdelavo na avtomatih »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« predlagamo v novem standardu JUS. C.BO.505 kot standardno.*

*Podane so osnove te metode, opis opreme ter s primeri uporabnosti le-te pri kvalitetnem razvoju ogljikovih in nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih na Raziskovalnem oddelku Zelezarne Jesenice. Podan je kratek opis in ocena nekaterih važnejših načinov ocenjevanja obdelovalnosti s specifičnega gledišča jekel za obdelavo na avtomatih.*

### 1. UVOD

Nadaljnji kvaliteten razvoj jekel za obdelavo na avtomatih\* pri nas, je nujno terjati revizijo veljavnega standarda za avtomatska jekla JUS C.BO.505. Od izida starega standarda iz leta 1962 pa do danes, se je zelo povečala uporaba avtomatskih jekel, spremenili pa so se tudi pogledi na samo obdelovalnost jekla.

Zelezarni Jesenice, vodilnemu proizvajalcu avtomatskih jekel, je bila zaupana naloga, da izdela predlog novega sodobnejšega standarda.

V novem standardu smo kvalitetni program jekel dopolnili z jeklom Č 3990, ki predstavlja domače avtomatsko jeklo z visokim indeksom obdelovalnosti in je kot tako posebno primerno za obdelavo na avtomatskih obdelovalnih strojih. Največjo vrzel v veljavnem standardu pa smo poskušali izpopolniti s čim bolj natančno definicijo obdelovalnosti kot najvažnejše lastnosti avtomatskih jekel. Pri tem se zavedamo, da vsaka še tako dobra definicija obdelovalnosti ne pove vsega.

Naš namen je, da zaenkrat še z okvirno postavljenimi indeksi obdelovalnosti za posamezna jekla definiramo uporabnost posameznih vrst avtomatskih jekel v pogledu obdelovalnosti in s tem na eni strani omogočimo potrošnikom pravilno izbiro jekla pri naročanju, na drugi strani pa ustvarimo pogoje za kvalitetno dokazovanje določene kvalitete v primeru reklamacij.

\* Članek je predelan avtorjev referat na posvetovanju tehnologov Slovenije v aprilu 1965 v Ljubljani

\*\* v nadaljnjem besedilu okrajšano: avtomatska jekla

Največji problem predstavlja izbira ustrezne metode za ocenjevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel.

Na osnovi podatkov iz literature ter rezultatov raziskovalnega dela na Raziskovalnem oddelku Zelezarne Jesenice smo se odločili za novejšo primerjalno metodo »struženje s konstantnim podajnim pritiskom«, ki jo predlagamo kot standardno. Kot dodatni preizkus predlagamo metodo: »izoblikovanje osrtužkov«.

Namen tega sestavka je utemeljiti izbiro metode »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« kot standardne metode za določevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel. Da bi bila obrazložitev čim bolj nazorna, se nismo omejili le na opis opreme in vrednotenje rezultatov, dobljenih z obravnavano metodo, ampak še nekaterih drugih važnejših načinov določevanja obdelovalnosti jekel.

### 2. OBDELOVALNOST JEKLA

Zahteve, ki se postavljajo jeklom za obdelavo na avtomatih in ki jih obsega pojem »obdelovalnost«, so čisto ekonomskega značaja. Te zahteve so naslednje: večja proizvodnja, manjša poraba energije, večja vzdržnost nožev, ugodna oblika ostružkov, gladka površina ter ozke tolerance izdelkov.

Ker je pojem obdelovalnosti zelo širok in kompleksen, je zanj težko najti zares primerno definicijo. Na kratko: obdelovalnost še najbolj definiramo kot sposobnost materiala, da ga oblikujemo z rezilnim orodjem v želeno obliko ali pa kot obnašanje materiala pri rezanju z orodjem. Pod pojmom »dobra obdelovalnost materiala« razumemo torej sposobnost materiala, da ga lahko pri dani moči stroja obdelujemo s čim večjo možno hitrostjo in s čim večjim presekom odrezka, pri tem pa mora zadovoljiti tudi kvaliteta površine izdleanega kosa.

Za učinkovito delo na avtomatskih strojih je torej potrebno, da poznamo obdelovalnost jekel, ki naj bi jih obdelovali na teh strojih. Zaželeno je torej, da poiščemo postopek, s katerim bo mogoče na hiter in enostaven način prirediti vsakemu jeklu neko število, s katerim bi označevali njegovo obdelovalnost in imeli možnost, da vsa jekla izkoristimo po tej njihovi lastnosti.

Ker pa vemo, da obdelovalnost ni neka enostavna in absolutna lastnost materiala, kot npr.

trdota ali natezna trdnost, je lahko vsaka cena obdelovalnosti samo relativna in veljavna le za določene pogoje obdelave. Obdelovalnost lahko torej izrazimo z nekim primerjalnim številom, z ozirom na nek drug material, ki v tem primeru služi kot etalon.

Nič manj važna od izbire jekla z ozirom na njegovo obdelovalnost pa ni kontrola obdelovalnosti jekla. Pri delu na avtomatskih strojih lahko pride do velikih motenj in prekinitev v proizvodnem procesu, v primeru nujnosti uporabe jekla, ki ima v primerjavi z običajno kvaliteto slabšo obdelovalnost. Potrebno je torej poznati metodo, s katero bi lahko kontrolirali obdelovalnost določene pošiljke, po drugi strani pa lahko vnaprej predpisali, kakšna naj bo obdelovalnost pri naročeni pošiljki.

To bi bile koristi v predelovalni industriji. Pri proizvodnji jekla pa bi nam takšna metoda omogočila, da bi lahko bolj natančno zasledovali vpliv različnih metalurških faktorjev izdelave in predelave jekla na obdelovalnost.

Poznavanje obdelovalnosti avtomatskih jekel je torej važno tako za proizvajalca kakor tudi uporabnike teh jekel. Za proizvajalca, če si hoče zagotoviti stalen kvaliteten razvoj na tem področju, za uporabnika pa, če si hoče zagotoviti čim večji izkoristek obdelovalnega stroja ob čim boljši kvaliteti izdelkov in čim nižji ceni obdelave.

### 3. METODE DOLOČEVANJA OBDELOVALNOSTI

Standardnega postopka za določevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel ni. Najbolj zanesljive so tako imenovane »primerjalne proizvodne metode«, ki so specifične za posamezne proizvajalce in uporabnike avtomatskih jekel. Postopek pri teh metodah je enostaven. Pred začetkom proizvodnje določenega kosa v velikih serijah, izberemo na enakem obdelovalnem stroju s spreminjanjem pogojev rezanja, vrsto jekla ter določimo parametre izdelave, kar naj da maksimalno in najcenejšo proizvodnjo določenega izdelka. Taki poizkusi so večkrat dolgotrajni, predvsem pa zelo dragi.

Manjši proizvajalci in uporabniki jekla si takega razkošja ne morejo privoščiti, zato uporabljajo indirektno laboratorijske načine določevanja obdelovalnosti jekla. Glavni kriteriji, po katerih določimo obdelovalnost, so:

- a) vzdržnost rezalnih nožev,
- b) sile, ki nastopajo pri rezanju materiala z orodjem,
- c) oblika nastalega ostružka,
- d) kvaliteta z obdelavo dobljene površine.

Važnost kriteija je odvisna od postopka obdelave jekla, vendar pa se je na osnovi izkušenj izoblikovalo mnenje, da je najbolj važen kriterij **vzdržnost noža**, pri delu na avtomatskih strojih pa tudi oblika ostružkov, najmanj važen kriterij pa sila rezanja. V vsakem primeru pa je potrebno

upoštevati, da en sam kriterij v nobenem primeru ne more dati dovolj zaključene slike o obdelovalnosti določenega materiala.

Ker je struženje najbolj pogosta obdelava jekla, je tudi večina laboratorijskih preizkusov obdelovalnosti prirejena delu na stružnicah. Stružnica je za izvedbo teh preiskav zelo primerna, ker so pogoji dela na njej najbolj enostavni in jih je zelo lahko spreminjati.

Preden preidemo na opis postopka določevanja obdelovalnosti avtomatskih jekel po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« ki jo v predlogu rev. JUS C.BO.505 predlagamo kot standardno, je potrebno, da se v grobih obrisih seznanimo še z ostalimi važnejšimi načini določevanja obdelovalnosti jekla.

Iz novejših literature<sup>1</sup> je razvidno, da za ocenjevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel skoraj izključno uporabljajo postopke, s katerimi določajo obrabo noža, od katere je odvisna vzdržnost orodja.

Stroški obdelave so v največji meri odvisni od ekonomske hitrosti rezanja, ki pa je pogojena z vzdržnostjo orodja. Čim večja je ekonomska hitrost rezanja, tem manjši so stroški obdelave, tem boljša je obdelovalnost jekla.

Ekonomska hitrost rezanja je tista hitrost, pri kateri vzdrži orodje določen čas od enega do drugega brušenja, n. pr.  $V_{60}$  — 60 min.,  $V_{400}$  — 400 min.

Izmed številnih metod, s katerimi je mogoče določiti vzdržnost nožev, predlaga literatura za oceno obdelovalnosti jekla naslednje klasične metode:

a) Preizkus vzdržnosti orodja na osnovi merjenja obrabljene površine.

b) Preizkus vzdržnosti orodja do svetlega zari-bavanja s stopnjevano hitrostjo rezanja.

Pogoji za preiskavo obdelovalnosti po teh metodah so podani v VDE standardih in to:

Stahl-Eisen Prüfblatt No.<sup>2</sup>

1162-52 Preizkus obrabne vzdržnosti nožev

1164-52 Preizkus obrabe nožev pri zarezovanju

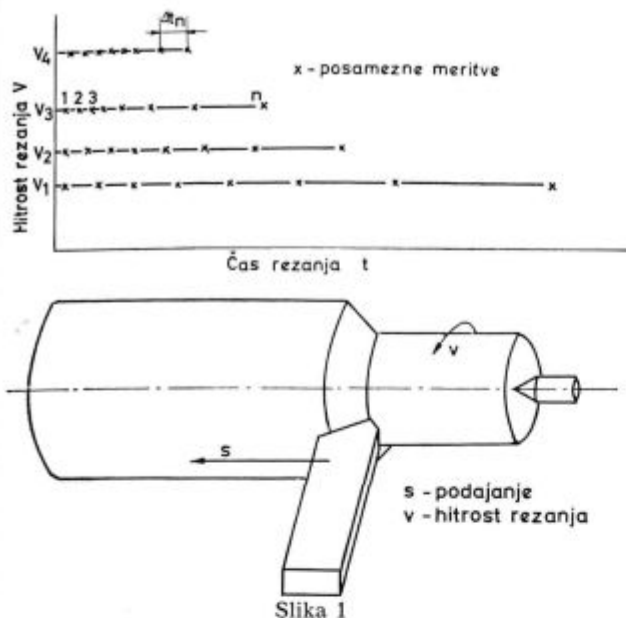
1166-52 Preizkus z rastočo rezno hitrostjo.

Od novejših metod pa poleg metode »struženja s konstantnim podajnim pritiskom« predvsem metodo »določevanje obrabe rezalnih nožev z uporabo radioaktivnih izotopov«.

Naslednji odstavki vsebujejo kratek opis in kritično oceno navedenih metod določevanja obdelovalnosti, s posebnim poudarkom na uporabnosti teh metod za ocenjevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel.

#### 3.1 Preizkus obrabne vzdržnosti rezalnih nožev<sup>3</sup>

S tem preizkusom želimo ugotoviti kdaj pride pod določenimi pogoji do določene obrabe rezalnih nožev. Pri tem gre predvsem za otopitev zaradi čiste abrazije in ne zaradi segretja in mehčanja, kot pri preizkusu temperature vzdržnosti nožev. Shematično je ta preizkus prikazan na sliki 1.



Slika 1 Shema preizkusa obrabne vzdržnosti rezalnih nožev

Med obdelavo (struženjem) se nož obrablja, kar se pokaže kot obraba proste ploskve B in izdolbljenje na cepilni ploskvi orodja K (slika 2 a).

Preizkus opravimo pri vzdolžnem struženju tako, da pri določeni hitrosti  $V_1$ , v različnih časovnih presledkih (xx) izmerimo obrabo proste in cepilne ploskve noža. Preizkus ponovimo pri različnih obodnih hitrostih  $V_2, V_3, V_4$ .

Iz dobljenih podatkov v logaritmičnih koordinatah predstavimo odvisnost obrabe noža (B, K) od časa rezanja (slika 2 c), odtod pa odvisnost med vzdržnostjo noža ( $T_B, T_K$ ) min in rezilno

hitrostjo v (m/min) (sl. 2 d). Kot oceno obdelovalnosti lahko vzamemo hitrost rezanja  $V_{60B}$  ali  $V_{60K}$  ali pa naklonski kot premice  $\sigma'_{TB}$  ali  $\sigma'_{TK}$ .

Prvo praktično težavo predstavlja že merjenje velikosti obrabljene ploskve, kar zahteva zelo precizne in drage naprave. Za vsako meritev je potrebno odviti nož, izmeriti obrabo in ga zopet vpeti nazaj v točno določeno lego. Določanje premic zahteva zelo dolge čase struženja in veliko količino jekla, zato so ti preizkusi precej dragi.

Velik razsip med dobljenimi rezultati zahteva veliko število meritev, kar zopet zelo podaljšuje trajanje preizkusa.

Opisane pomanjkljivosti pridejo še prav posebno do izraza pri preiskavi avtomatskih jekel. Avtomatska jekla se režejo lažje in hitreje kot ostala, zato zahteva določevanje obdelovalnosti po opisanem načinu še večjo količino jekla in daljše čase.

Preizkus tudi ni uporaben za preizkušanje tanjših profilov (npr. hladno vlečenih palic), v katerih se navadno dobavlja avtomatsko jeklo. Hladna predelava zelo vpliva na obdelovalnost jekla, zato je preizkušanje debelih palic, ki niso hladno vlečene, zelo pomanjkljivo.

Da bi bilo mogoče preiskati obdelovalnost jekla tudi v tanjših palicah, je bila izdelana metoda »preizkus obrabe nožev pri zarezovanju«.

Ker nam pri tem postopku zadostujejo preizkušanci s premerom min. 12 mm, bi bila ta metoda uporabna za preiskavo obdelovalnosti avtomatskih jekel, če bi bila le zadosti občutljiva.

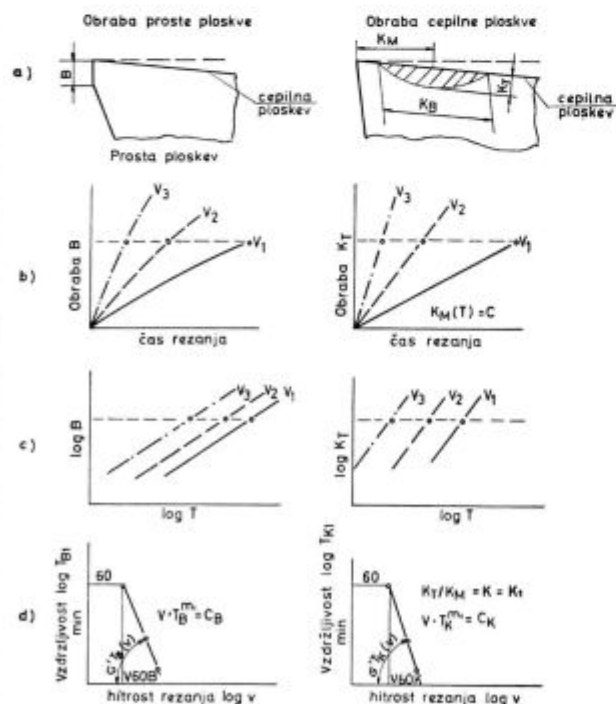
Pri tem preizkusu napravimo veliko število zarez določene geometrične oblike pod enakimi pogoji rezanja. Merimo obrabo proste ploskve noža, podatke pa vrednotimo enako kot pri preizkusu obrabne vzdržnosti nožev, le da namesto časa struženja nanašamo število zarez.

Posebna izvedba tega preizkusa je, da pred zarezovanjem kose še čelno navrtamo s spiralnim svodom. Pri tem načinu zasledujemo poleg obrabe noža še obrabo svetra.

### 3.2 Preizkus vzdržnosti orodja do svetlega zaribanja s stopnjevano hitrostjo rezanja

Pri tem načinu se pri vzdolžnem struženju z nožem iz brzoreznega jekla hitrost rezanja kontinuirano ali stopničasto veča od neke začetne hitrosti naprej, dokler se zaradi otopitve konice noža ne pojavi svetlo zaribanje. Shematično je ta način preiskave obdelovalnosti prikazan na sl. 3.

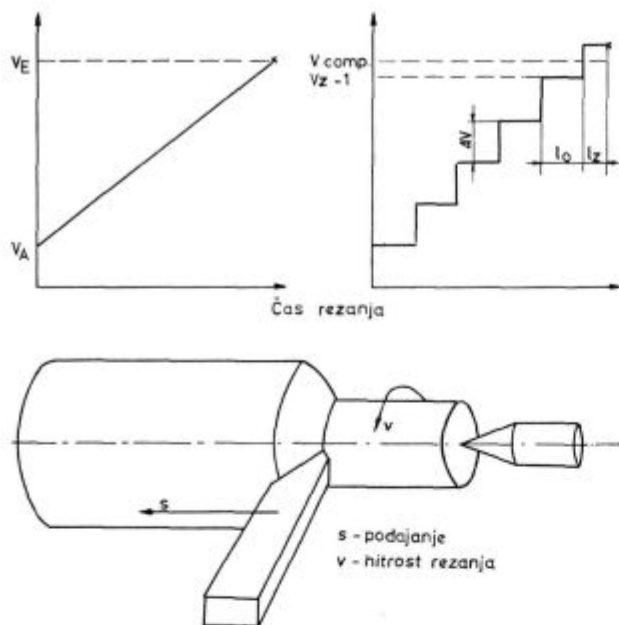
Kot rezultat vzamemo pri kontinuiranem večanju hitrosti končno hitrost rezanja v trenutku otopitve noža  $V_E$ , pri stopničastem večanju pa hitrost  $V_{comp}$  s katero upoštevamo tudi hitrosti v prejšnjih stopnjah.  $V_{comp}$  izračunamo po naslednjem obrazcu:



Slika 2

Vrednotenje rezultatov preiskave obrabe nožev

$$V_{comp} = V_x - 1 + \Delta V \frac{Iz}{10} \quad [m/min]$$



Slika 3

Shema preizkusa vzdržnosti orodja do svetlega zaribanja s stopnjevano hitrostjo rezanja

Vrednosti  $V_E$  ali  $V_{comp}$  služita kot indeks za primerjavo obdelovalnosti različnih vzorcev jekla.

Poizkus ima velike prednosti, ker traja kratek čas, ker ima veliko reproduktivnost, in ker ga je mogoče izvesti na tanjših preizkušancih. **Indeksi obdelovalnosti, dobljeni po tej metodi, so po podatkih iz literature za prakso sicer uporabni, za avtomatska jekla pa premalo občutljivi.** Največje pomanjkljivosti tega načina določevanja obdelovalnosti pa so v tem, da je z izvedbo preizkusa potrebna stružnica z brezstopenjsko in avtomatsko regulacijo števila vrtljajev ali pa preizkušanci posebnih oblik.

### 3.3 Merjenje obrabe nožev z uporabo radioaktivnih izotopov<sup>4</sup>

Siroka uporabnost radioaktivnih izotopov je našla svoje mesto tudi na področju preiskave obdelovalnosti jekel. Metoda je zasnovana na istih osnovah kot klasične metode merjenja obrabe nožev, le da se pri tej metodi uporabi namesto običajnega radioaktivno orodje. Pri struženju z

radioaktivnim nožem se delci obrabljenega noža primejo ostružka. Obrabo noža torej lahko določimo z merjenjem radioaktivnosti ostružka.

Reproduktivnost te metode je boljša ( $\pm 5\%$ ) od reproduktivnosti klasičnih metod, ki jih uporabljamo v enake namene. Preizkusi so hitrejši, hitrost obdelave običajna, tako da te preizkuse lahko opravimo v normalnih pogojih obdelave. Rezultati imajo zato neposredno aplikativno vrednost.

Preizkus je dovolj občutljiv, da pokaže razlike v obdelovalnosti med posameznimi vzorci avtomatskih jekel, kar je razvidno iz tabelarničnega prikaza specifične obrabe rezalnih nožev pri obdelavi različnih vrst avtomatskega jekla. (Tabela 1) Prednosti te metode pred klasičnimi, ki temeljijo na ugotovitvi obrabe orodja, so očitne. Kaže pa, da splošna zadržanost do dela z radioaktivnimi izotopi zavira njeno širšo uporabo in je zato posebno primerna le za čisto znanstveno raziskovalno delo.

## 4. OCENJEVANJE OBDELOVALNOSTI JEKEL PO METODI<sup>2, 5</sup> »IZOBLIKOVANJE OSTRUŽKOV«

Izoblikovanje ostružkov ima posebno pri obdelavi jekel na avtomatskih strojih na proizvodni proces velik vpliv. V splošnem so pri delu zaželeni kratki ostružki, ki jih lahko brez težav odstranimo. Dolgi ostružki ovirajo proizvodni proces, ker se navijajo okoli orodja, drobni ostružki pa zopet niso zaželeni (prašnati kvarijo vodike ipd.).

Obdelovalnost jekla po tem kriteriju ocenjujemo:

- po obliki ostružka,
- z ozirom na spremembo debeline ali dolžine glede na teoretične dimenzije ostružka.

Obliko ostružka opišemo z ocenitvenim številom, ki nam pove uporabnost oziroma zaželenost takšne oblike v praksi. Pri tem se poslužujemo primerjalnih slik po Bethmannu in Schallbrochu.

Poleg ocenitvenega števila opišemo še barvo, rob, hrbtno stran in lomljivost ostružka.

Plastično deformiranost ostružka izrazimo z zlitjem ostružka  $\lambda = \frac{t}{t_0} > 1$ , ki pa ima le infor-

Tabela 1

Talina	Izdelovalec	Kvaliteta	Premer mm	Trdota HB	Spec. obraba mg/min
S	Žel. Jesenice	Č 1290	20	167	$18.1 \times 10^{-6}$
T	Žel. Jesenice	Č 1290	20	169	$5.1 \times 10^{-6}$
U	Stahl Union	9 S 20 K	20	182	$1.44 \times 10^{-6}$
V	Žel. Jesenice	Č 3190 G	39		$2.0 \times 10^{-6}$
X	Žel. Jesenice	Č 3190 G	39		$2.6 \times 10^{-6}$
C	češko jeklo		39		$1.75 \times 10^{-6}$

mativno vrednost. Večjo praktično vrednost pa ima nasipno število R, ki nam pove, kakšno napako delajo ostružki pri obdelavi in odvažanju.

Preizkus »izoblikovanja ostružkov« izvedemo na običajni stružnici pri pogojih, ki so normirani v VDE standardih (Stahl-Eisen Prüfblatt 1178-52). Za prikazovanje rezultatov preizkusa uporabljamo posebne formularje.

Preizkus je enostaven in poceni, rezultati so dobro reproduktivni. Slaba stran je premajhna občutljivost preizkusa.

Na podlagi rezultatov številnih preiskav pa lahko zaključimo, da ta preizkus omogoča določeno oceno obdelovalnosti avtomatskih jekel, ga pa zaradi premajhne občutljivosti lahko uporabimo le kot dopolnilni preizkus.

## 5. STRUŽENJE S KONSTANTNIM PODOJNIM PRITISKOM

To metodo določevanja obdelovalnosti so razvili v ZDA Boulger, Shaw in Johnson<sup>6</sup> zato, ker je industrija potrebovala hitro in enostavno metodo za ocenjevanje obdelovalnosti na manjših profilih iz avtomatskih jekel. Zaradi svoje enostavnosti, velike občutljivosti in reproduktivnosti, se je ta metoda v ZDA hitro razširila in postala standardna, v Evropi pa vedno bolj pridobiva na pomenu.<sup>7, 8</sup>

### 5.1 Avtomatski dodatki in mehanizem rezanja

Preden začnemo opisovati naprave kot take, je za razumevanje vrednosti podatkov dobljenih z metodo »struženja s konstantnim podojnim pritiskom« potrebno poznati nekatere osnovne značilnosti avtomatskih jekel.

Za izboljšanje obdelovalnosti dodajajo avtomatskim jeklom, ogljikovim, kakor tudi nerjavim, tako imenovane »avtomatske dodatke«, na-

vadno žveplo in svinec, v novejšem času pa tudi selen, telur in bizmut, ki tvorijo v jeklu mehke, nemetalne vključke, sulfide, selenide in podobno. Oblika sulfidnih vključkov MnS v nizkoogljicnem avtomatskem jeklu je prikazana na sliki 4.

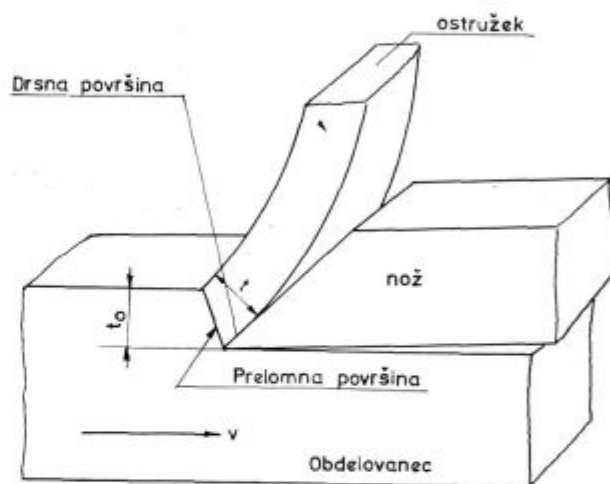
Vloga teh vključkov pri rezanju je razvidna iz naslednje razlage:<sup>9</sup>

Obdelava kovin z odrezovanjem se sestoji iz dveh glavnih operacij (slika 5):

a) plastične deformacije kovine z nožem do tvorbe ostružka,

b) drsenja ostružka ob prosti površini noža.

S plastično deformacijo kovine se deformirajo tudi mehki nemetalni vključki v dolge in tanke ploščice. V samem ostružku se večinoma razpotegejo v smeri največjih strižnih napetosti, v coni tečenja pa v smeri, ki je vzporedna drsni površini ostružka.



Slika 5  
Obdelava kovin z odrezovanjem

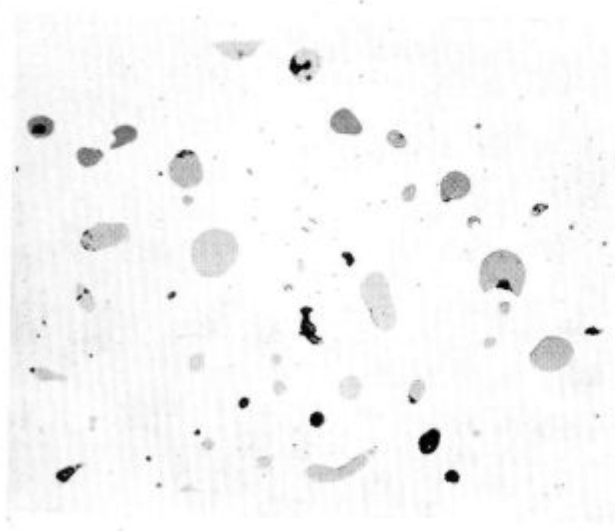
Tako deformirani sulfidni vključki vplivajo na pogoje rezanja na dva načina:

a) tanki lističi, razpotegnjeni v smeri največjih strižnih npetosti, slabijo drsne ravnine in povzročajo tako imenovano notranje mazanje med temi ravninami pri izoblikovanju ostružka;

b) druga oblika ugodnega vpliva teh vključkov je, da tvorijo tanko plast na drsni ravnini vključkov in proste površine noža, ki deluje kot zunanje mazivo.

Vloga mehkih nemetalnih vključkov je torej v tem, da lomijo ostružke in zmanjšujejo trenje pri rezanju. Iz teorije rezanja<sup>10</sup> pa je poznano, da je celotna porabljena energija za rezanje vsota energije za premagovanje strižnih napetosti ter sile trenja rezanja.

Za dobro obdelovalnost je torej zmanjšano trenje pri rezanju, zaradi vpliva mehkih nemetalnih vključkov, odločilnega pomena, seveda pri tem ne smemo zanemariti tudi vpliva drugih fizikalnih lastnosti jekla, katerih vpliv pri rezanju pa je mnogo bolj kompleksen.

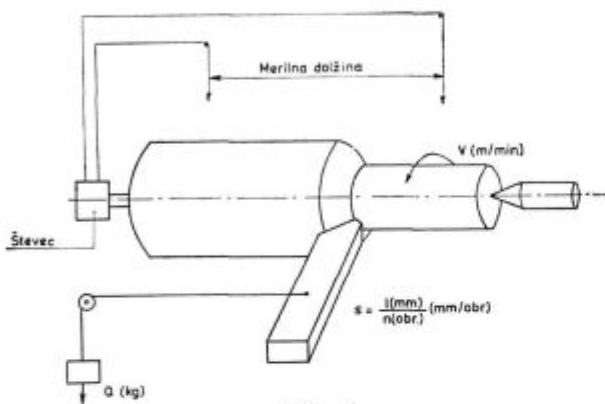


Slika 4  
Sulfidni nemetalni vključki v avtomatskih jeklih

## 5.2 Teoretične osnove preizkusa

Poizkus ocenjevanja obdelovalnosti po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« (angl.: Constant Pressure Lathe Test, nemško: Gewichtsvorschubverfahren), temelji na dognanju, da se jekla z različno obdelovalnostjo pri konstantnem podajnem pritisku režejo različno hitro. Če za pomik noža uporabimo stalen podajni pritisk, bomo pri jeklih z boljšo obdelovalnostjo dosegli večje podajanje kot pri slabše obdelovalnih jeklih. Shema obravnavanega poskusa je prikazana na sliki 6.

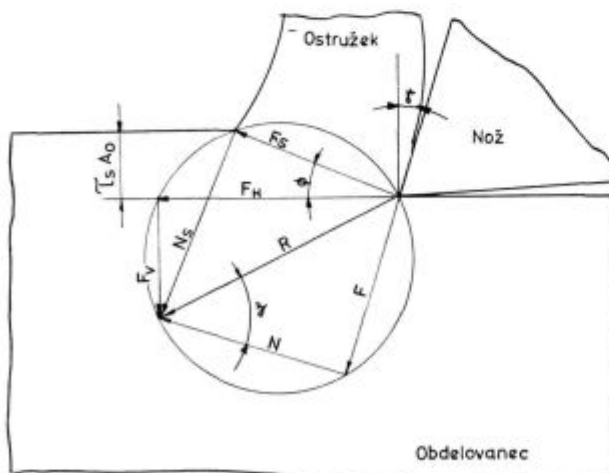
Pri tem poizkusu merimo podajanje pri struženju  $s'$  (mm/obr.), ki pri konstantni hitrosti struženja  $v'$  (mm/min.) rezultira konstantnemu podajanju pritiskov  $q'$  (kg).



Slika 6

Shema ocenjevanja obdelovalnosti po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom«

Teoretično ta poizkus nikoli ni bil natančno obdelan. Na vprašanje, kaj pri tem poizkusu sploh merimo, je zadovoljivo odgovoril znani ameriški tehnolog dr. Merchant. Njegovo razlago v poenostavljeni obliki posredujemo v naslednjem odstavku: 6, 10



Slika 7

Odvisnost med silami in koti pri avtogenskem rezanju kovin

Iz analize mehanike rezanja, ki je podana na sliki 7, sledi naslednja odvisnost med silo trenja  $F$  ter vertikalno in horizontalno silo rezanja  $F_V$ ,  $F_H$

$$F = F_H \cos \gamma + F_V \sin \gamma$$

$\gamma$  = cepilni kot noža

Ta enačba velja splošno in ni odvisna od oblike ostružka. Zato jo lahko uporabimo tudi v razmerah obravnavanega poizkusa. Ker je pri danem poskusu cepilni kot  $\gamma$  majhen, lahko drugi člen enačbe v primerjavi s prvim členom zanemarimo. Sledi torej, da je pri poskusu horizontalna sila  $F_H$  direktno proporcionalna sili trenja  $F$ .

Z drugimi besedami, pri tem poizkusu merimo podajanje »s«, ki je potrebno, da se med nožem in ostružkom ustvari določeno trenje. Poizkus je torej zelo občutljivo merjenje trenja pri rezanju in je kot tak še posebno primeren za ocenjevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel.

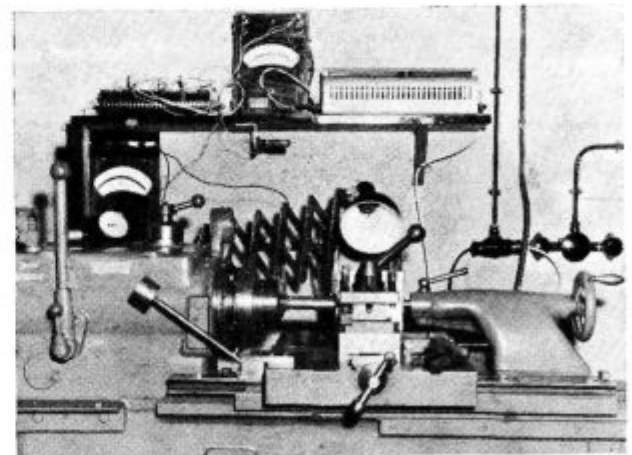
## 5.3 Opis postopka in oprema

Postopek in oprema za preizkus obdelovalnosti jekla po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« sta sorazmerno enostavna.

Za izvedbo poizkusa potrebujemo:

- stružnico s suportom sproščenim od pogonskega mehanizma,
- zavoro, ki preprečuje izmikanje suporta,
- konstantni pritisk na nož,
- večje število rezalnih nožev,
- števec za štetje obratov.

Na osnovi opisa opreme in postopka za obravnavani preizkus, v literaturi, smo na Raziskovalnem oddelku v Železarni Jesenice izdelali napravo, ki nam za sedaj služi predvsem v raziskovalne namene na področju osvajanja kvalitete avtomatskih jekel, v primeru reklamacij pa tudi za dokazovanje določene kvalitete avtomatskega jekla (slika 8).



Slika 8

Naprava za določevanje obdelovalnosti po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom«

V pogledu geometrije brušenja rezalnih nožev pri našem poizkusu odstopamo od zahtev avtorjev tega preizkusa pri nastavnem kotu  $\alpha$ . Iz teorije po-

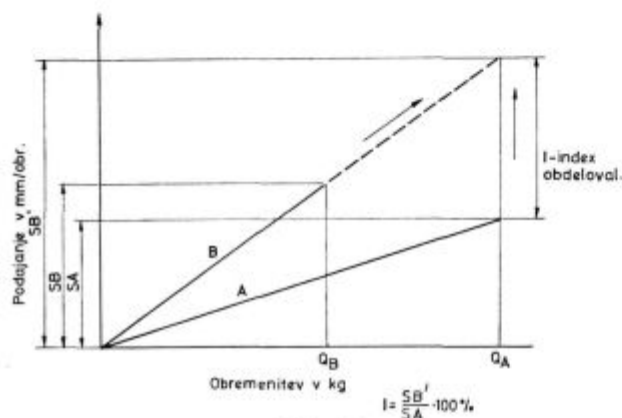
izkusa je razviden velik vpliv nastavnega kota  $\alpha$ . Enačba na kateri temelji preizkus in po kateri merimo pri tem preizkusu velikost sile trenja pri rezanju, velja striktno le v primeru, če je kot  $\alpha = 90^\circ$ . To si je mogoče razložiti s tem, da je pri nastavnem kotu  $\alpha = 90^\circ$  odzivna sila pri rezanju minimalna in konstantna v območju cepilnega kota  $\gamma = -20$  do  $+20^\circ$ . Zaradi težav na začetku struženja smo se pri naših poizkusih odločili za kot  $\alpha = 60^\circ$ . Na splošno pa lahko v literaturi zasledimo vrednost nastavnega kota 45, 60 in  $90^\circ$ .

Pogoji preizkusa so:

globina struženja  $t = 2$  mm

hitrost struženja: 35 — 100 m/min.

Območje hitrosti sovпада s hitrostjo struženja avtomatskih jekel v praksi. Veliko število možnih kombinacij obratov vretena omogoča struženje različnih premerov vzorcev jekla, v območju 20 do 50 mm premera, pri isti obodni hitrosti.



Slika 9  
Ocena obdelovalnosti

Geometrija brušenja nožev  $\alpha 8^\circ$ ,  $\gamma 12^\circ$ ,  $\kappa 60^\circ$ ,  $\lambda 4^\circ$ . Radius konice 0.5 mm, presek  $20 \times 20$  mm.

Navadno opravimo poizkus pri petih različnih obremenitvah v območju 1—10 kg v dveh paralelakah.

Poraba jekla je majhna in znaša 2—2,5 m jekla ustrezne debeline.

Ves preizkus s potrebnimi predpripravami traja 4 ure, eno struženje pa traja le nekaj minut.

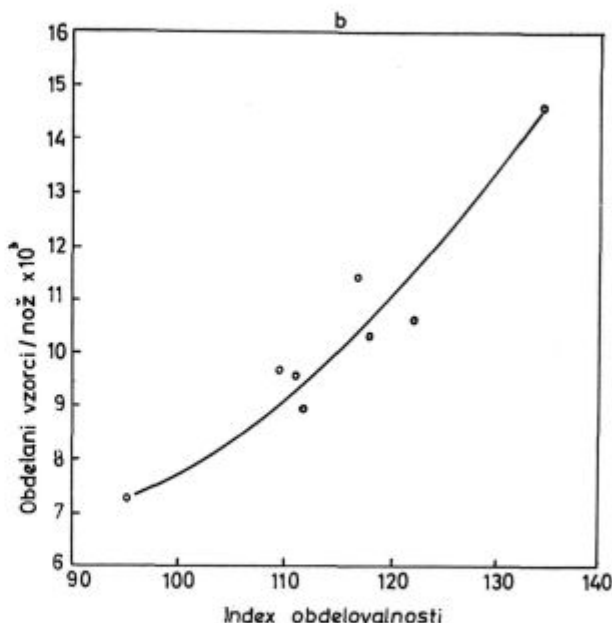
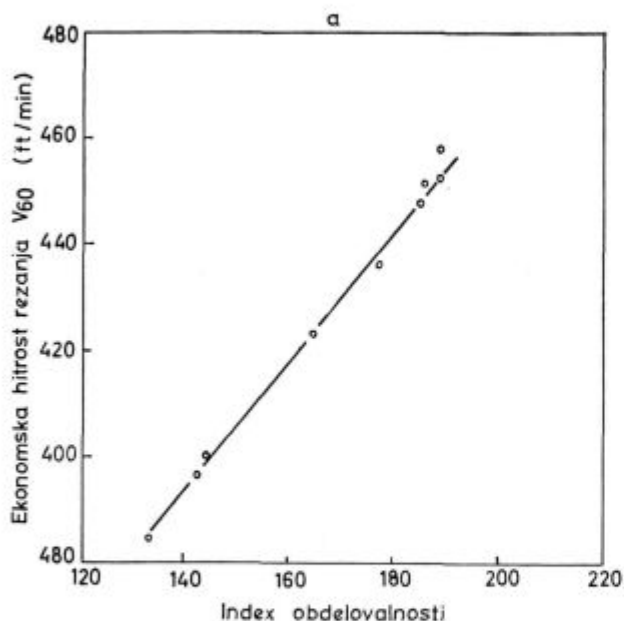
#### 5.4 Ocenjevanje obdelovalnosti

Opisana metoda ocenjevanja obdelovalnosti ima izrazito primerjalni značaj. Način izračunavanja indeksa obdelovalnosti je razviden iz slike 9.

Razlike obdelovalnosti med posameznimi jekli so v velikosti podajanja »s« pri dani obremenitvi »Q«. Indeks obdelovalnosti »I« izrazimo z razmerjem podajanja »s<sub>A</sub>« znanega (etalonskega) jekla (A) in podajanja S<sub>B</sub> neznanega jekla (B), pri konstantnih pogojih preizkusa. Linearna odvisnost med »s« in »Q« omogoča neposredno medsebojno primerjavo različnih vzorcev avtomatskih jekel, ki jih je zaradi različne obdelovalnosti treba preizkusiti z različnimi utežmi. Mogoča je torej ekstrapolacija podatkov, da se lahko izvede primerjava pri standardnih pogojih preizkusa.

Iz literature je razvidno, da obstaja zadovoljiva linearna primerjava med rezultati ocene obdelovalnosti jekla po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« ter rezultati preiskave obdelovalnosti jekla z dolgotrajnimi proizvodnimi metodami, pa tudi z rezultati preiskave s klasičnimi laboratorijskimi metodami merjenja vzdržnosti rezalnih nožev.

Taka primerjava je prikazana na sliki 10. (Podatki iz literature.)<sup>5</sup>



Slika 10  
Primerjava treh različnih načinov določevanja obdelovalnosti



Na sliki 10a je podana primerjava med ekonomsko hitrostjo struženja  $V_{80}$ , ki je bila določena z laboratorijskim preizkusom merjenja obrabe nožev in ustreznim indeksom obdelovalnosti, določenim po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom«. Na sliki 10b pa je primerjava med rezultati ocene obdelovalnosti z direktnim delavniškim načinom (štetje števila izdelanih kosov z enim nožem od brušenja do brušenja) ter indeksom obdelovalnosti.

V obeh primerih lahko privzamemo linearno odvisnost med rezultati ocene obdelovalnosti iste vrste jekla, določeni po treh različnih načinih določevanja obdelovalnosti.

V ZDA uporabljajo metodo »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« kot standardno metodo za merjenje obdelovalnosti avtomatskih jekel. Indeksi obdelovalnosti so izračunani na osnovi etalonskega jekla vrste B 11 12, za katerega so določili indeks obdelovalnosti 100 %.<sup>11</sup>

Kljub temu, da je metoda »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« uporabna predvsem za ocenjevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel v literaturi zelo pogosto zasledimo, da je tudi obdelovalnost drugih ogljikovih ter legiranih jekel podana z »indeksom obdelovalnosti«, ki je določen z opisano metodo.

Optimalno obdelovalnost ima jeklo, če ga obdelujemo s točno določenimi pogoji obdelave. Ti pogoji (hitrost rezanja, geometrična oblika ostružka, material in geometrija rezalnih nožev, hladilno sredstvo) pa so specifični za posamezna jekla ali vsaj za posamezne skupine jekel. Enaka zakonitost velja tudi pri preizkusu obdelovalnosti jekel, katerih namen je ravno določevanje optimalnih pogojev obdelave jekel.

**Odvisnost med indeksom obdelovalnosti in vzdržnostjo orodja je s primerjalno metodo natančno določena le pri jeklih, ki se pri obdelavi zelo podobno obnašajo.**

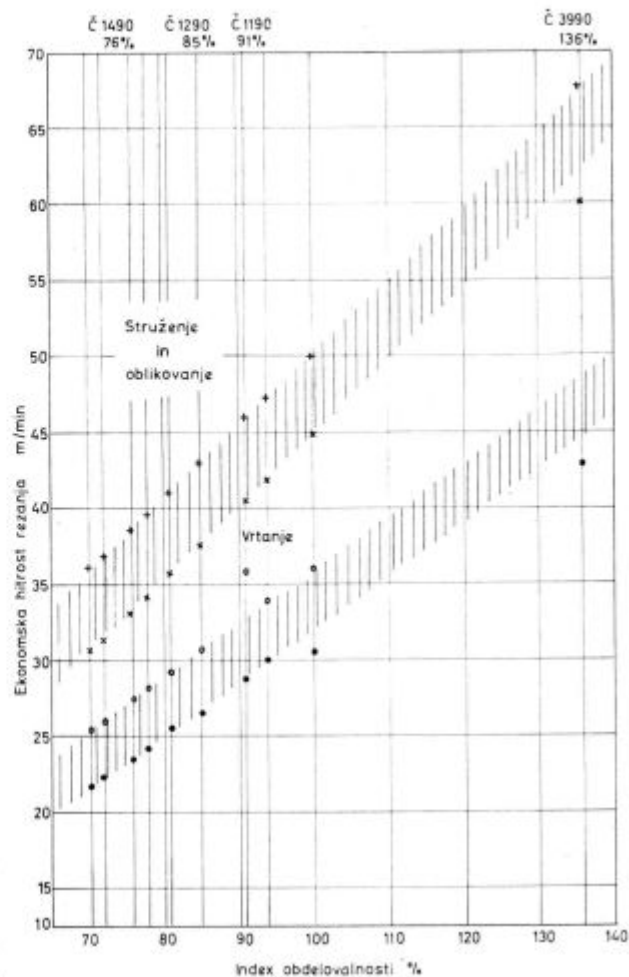
Odvisnost med »indeksom obdelovalnosti« določenim po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« in na osnovi praktičnih izkušenj določeno ekonomsko hitrostjo obdelave za tuja<sup>12</sup> in domača jekla, je prikazana na sliki 11.

Iz diagrama je razvidno, da v območju  $I = 70 \dots 140$  %, ki ga pokrivajo ogljikova avtomatska jekla z žveplom kot avtomatskim dodatkom, ekonomska hitrost rezanja narašča linearno z naraščajočim indeksom obdelovalnosti  $I$ .

Poznavanje te odvisnosti lahko bistveno olajša iskanje optimalnih pogojev rezanja za različne pošiljke avtomatskega jekla, katerega kvaliteta lahko zelo niha, če je le poznana obdelovalnost tega jekla. To pa je tudi namen ocenjevanja obdelovalnosti jekel. Na diagram na sliki 11 so vrisane tudi orientacijske vrednosti  $V_{400}$  za domača avtomatska jekla po JUS C.B0.505.

### 5.5 Uporaba metode pri raziskovalnem delu

Pri raziskovalnem delu na področju razvoja kvalitete ogljikovih in nerjavečih avtomatskih je-



Slika 11

**Zveza med indeksom obdelovalnosti in optimalnimi pogoji obdelave**

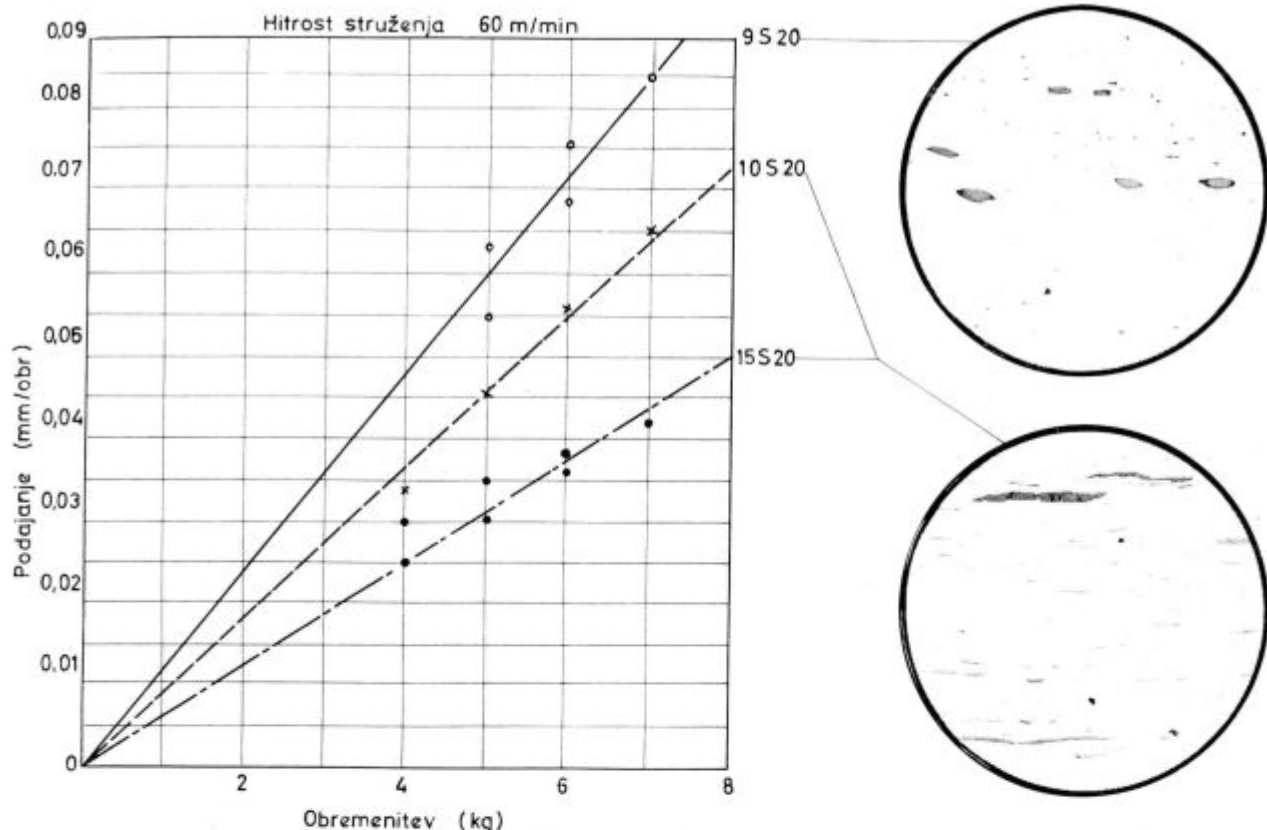
kel v Železarni Jesenice, smo ta način ocenjevanja obdelovalnosti uspešno uporabili pri študiju najboljših pogojev izdelave in predelave za dobro in enakomerno obdelovalnost posameznih vrst avtomatskih jekel. Nekaj karakterističnih primerov izmed številnih tovrstnih preiskav navajamo v ilustracijo uporabnosti te metode v raziskovalne namene.

**Prvi primer** — Način izdelave jekla ter različna kemična analiza posameznih vrst ogljikovih avtomatskih jekel ima za posledico različno obdelovalnost teh jekel. Preiskovali smo obdelovalnost treh vzorcev avtomatskega jekla različnih kvalit in to:

- nepomirjeno jeklo vrste 9 S 20
- pomirjeno jeklo vrste Č 1190
- pomirjeno jeklo vrste Č 1290

Kemična sestava vzorcev:

Vrsta jekla	% C	% Si	% Mn	% P	% S
9 S 20	0,08	0,01	0,74	0,076	0,214
Č 1190	0,10	0,22	0,83	0,060	0,243
Č 1290	0,16	0,28	0,68	0,025	0,198



Slika 12  
Primerjava obdelovalnosti avtomatskih jekel vrste 9S20, Č 1190 in Č 1290

Preiskava sulfidnih vključkov je pokazala, da ima nepomirjeno jeklo manj razpotegnjene sulfidne vključke ovalnega tipa (indeks deformabilnosti  $\epsilon_i = 0,85$ ), pomirjeno jeklo pa močno razpotegnjene vključke (indeks deformabilnosti  $\epsilon_i = 1,5$ ). Vse vzorce jekla smo preiskali v normaliziranem stanju.

Rezultati preiskave obdelovalnosti teh vzorcev jekla so prikazani na sliki 12.

Najboljšo obdelovalnost kaže nepomirjeno jeklo GS 20, kar je posledica ugodne oblike sulfidnih vključkov. Različna obdelovalnost pomirjenih vrst avtomatskega jekla Č 1190 in Č 1290 pa je posledica različnih količin žvepla. Rezultati kažejo, da oblika sulfidnih vključkov močnejše vpliva na obdelovalnost kot količina žvepla.

**Drugi primer** — Fizikalne karakteristike sulfidnih vključkov ter mineraloška sestava oksidnih nemetalnih vključkov v pomirjenih avtomatskih jeklih, ki v največji meri vplivajo na obdelovalnost avtomatskih jekel, je odvisna od vrste dezoksidanta.

Za kvalitetni razvoj avtomatskih jekel z visokim indeksom obdelovalnosti (avtomatski dodatek S) je odločilnega pomena pravi način dezoksidacije in izbor najboljšega dezoksidanta.

Pri osvajanju jekla vrste Č 3990 smo preučevali vpliv dezoksidantov Al, Al-Ca in Al-Mg na fizikalne lastnosti sulfidnih vključkov (kristalizacija, deformabilnost) in obdelovalnost jekla.

Rezultati preiskav obdelovalnosti treh šarž jekla Č 3990, ki so bile dezoksidirane z različnimi dezoksidanti, so prikazani na sliki 13.

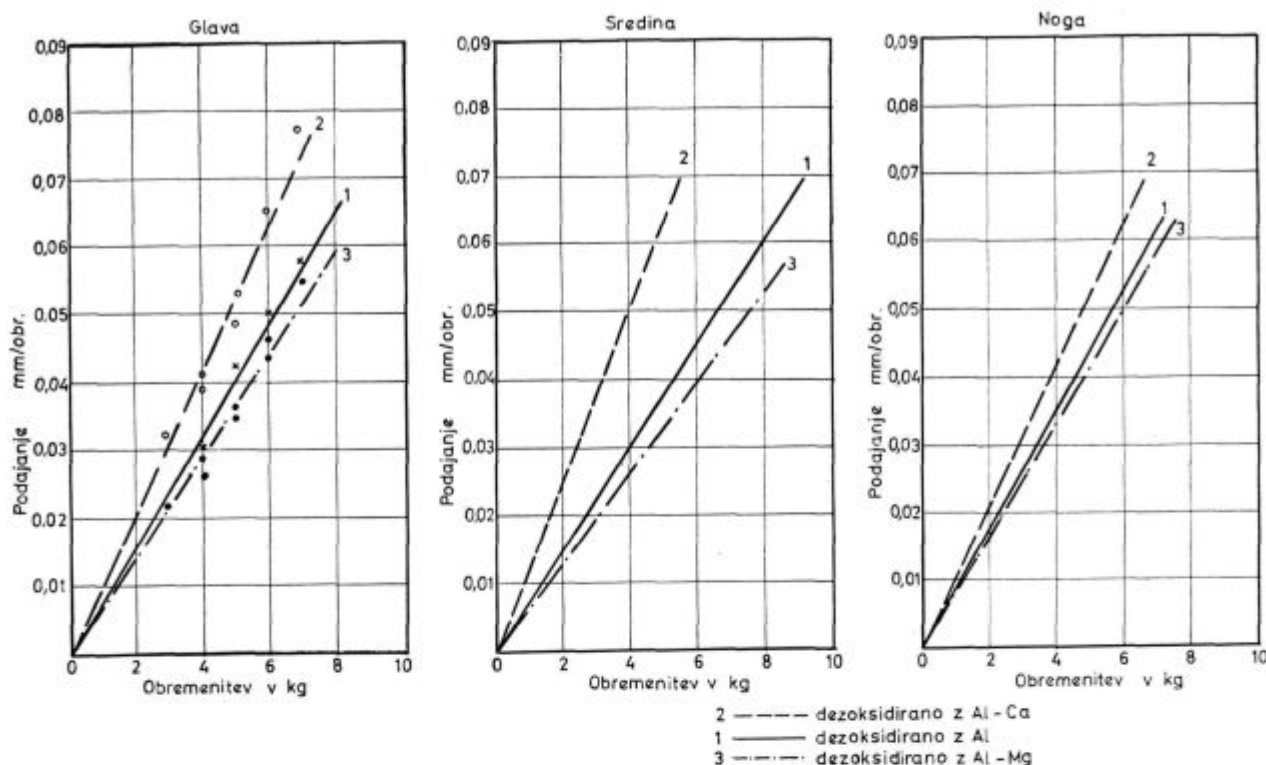
Kemična analiza teh šarž je naslednja:

Talina dezoks.	% C	% Si	% P	% Mn	% S	% Al
E 4259 Al	0,12	0,03	0,80	0,110	0,314	0,007
E 4260 Al-Ca	0,13	0,03	1,00	0,106	0,324	0,000
E 4265 Al-Mg	0,15	0,03	1,20	0,104	0,320	0,008

Vse preiskave smo opravili na vzorcih jekla iz glave, sredine in noge 1000 kilogramskih blokov, v normaliziranem + hladno vlečenem stanju.

Kljub enaki kemični sestavi jekel kažejo posamezne taline različno obdelovalnost. Najboljšo obdelovalnost ima jeklo dezoksidirano z Al-Ca. Obdelovalnost jekel dezoksidiranih z Al-Mg in Al pa je približno enaka.

Preiskava mikrostrukture vzorcev jekla treh šarž je pokazala, da lahko iščemo vzroke za različno obdelovalnost predvsem v različnih karakteristikah sulfidnih nemetalnih vključkov. Jeklo dezoksidirano z Al-Ca ima za obdelovalnost najbolj ugodne nemetalne vključke.



Slika 13

Vpliv vrste dezoksidanta na obdelovalnost avtomatskega jekla z visokim indeksom obdelovalnosti Č 3990

Sulfidni vključki so veliki ter ovalni, na obrusih ni opaziti večjih koncentracij aluminatov kot pri jeklu dezoksidiranem z Al.

**Tretji primer** — Obdelovalnost ogljikovih avtomatskih jekel je v veliki meri odvisna tudi od oblike in utrditve mikrostrukture jekla, kar je pogojeno z ustreznim načinom toplotne obdelave in stopnje hladne predelave jekla. Na sliki 14 so prikazani rezultati preiskav o vplivu načina toplotne obdelave na obdelovalnost jekla vrste Č 3190 in o vplivu stopnje hladne predelave na obdelovalnost nizko ogljičnega jekla vrste Č 1190.

Rezultati preiskav obdelovalnosti kažejo ugodnejši vpliv lamelarne oblike perlita, ki se izoblikuje pri normalizaciji jekla vrste Č 3190, pred strukturo mehko žarjenega jekla. Pri jeklu vrste Č 1190 pa je razviden ugoden vpliv večje utrditve ferita, ki jo dosežemo z večjo stopnjo hladne deformacije.

Rezultat jasno kaže, da je s tem načinom ocenjevanja obdelovalnosti mogoče zaznati poleg vpliva sulfidnih vključkov in sestave jekla tudi vpliv mikrostrukture jekla na obdelovalnost, kar zopet dokazuje veliko vrednost te metode.

Iz vseh treh primerov je lepo razviden nizek raztros rezultatov, ki je v mejah  $\pm 5$  odstotkov, kakor zahteva literatura.

Kvalitetni razvoj **nerjavečih avtomatskih jekel** je v današnjem času prav tako pomemben kakor

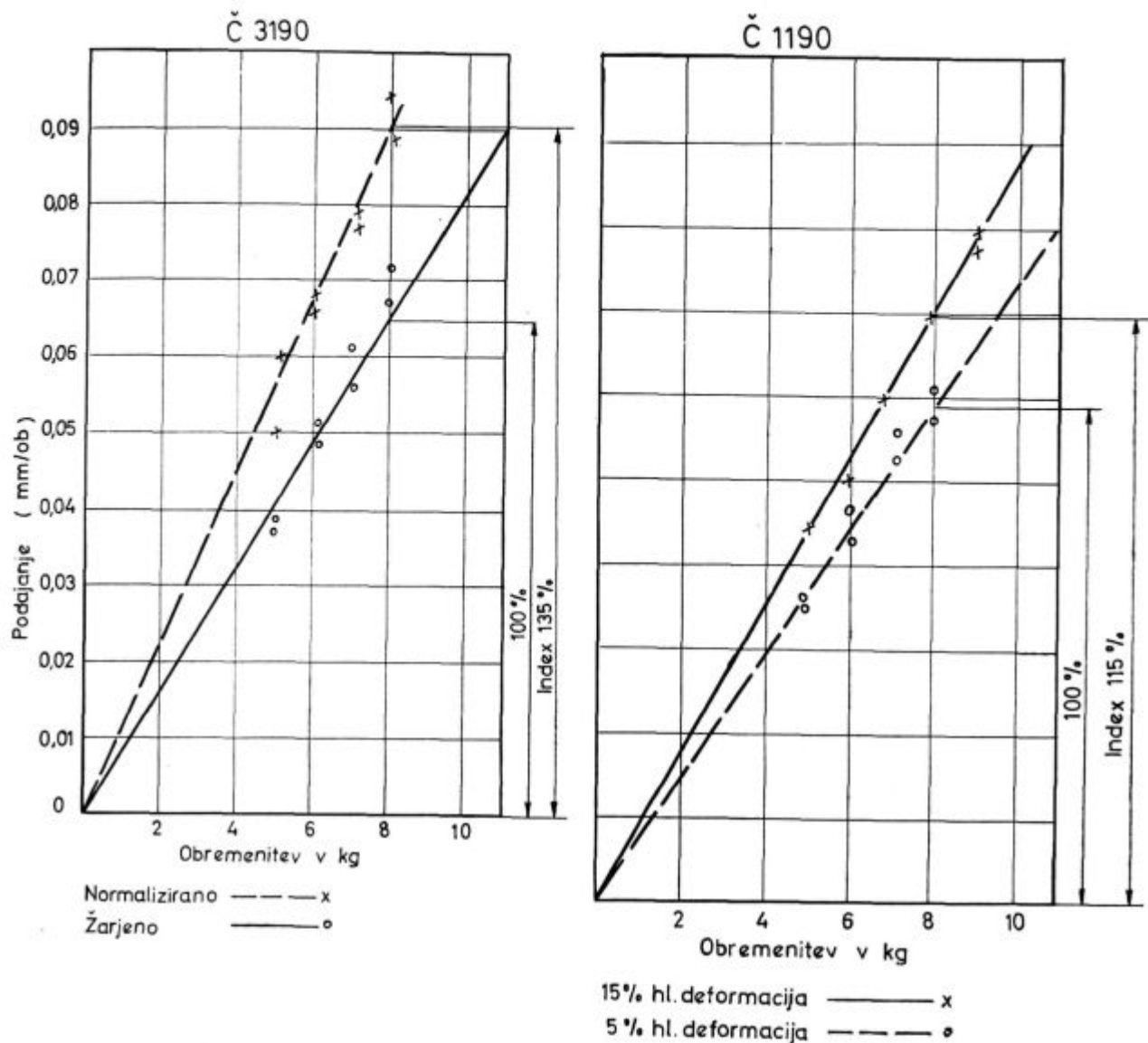
razvoj ogljikovih avtomatskih jekel. Smisel razvoja avtomatskih variant nerjavečih jekel je, da s povečanjem obdelovalnosti, sicer slabo obdelavnih nerjavečih jekel, pocenimo obdelavo strojnih delov, ki morajo biti zaradi zahtev po odpornosti proti koroziji iz nerjavečega jekla.

Izkušnje kažejo, da je pri ocenjevanju obdelovalnosti nerjavečih avtomatskih jekel po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« več težav kot pri ocenjevanju obdelovalnosti ogljikovih avtomatskih jekel. Veliko razsipanje ter slaba reproduktivnost rezultatov zahteva večje število preizkusov ter večjo porabo jekla.

Rezultati preiskav obdelovalnosti nerjavečih jekel z obravnavano metodo pa vseeno kažejo na to, da je ta metoda uporabna tako za klasifikacijo, kakor za študij vpliva metalurških faktorjev na obdelovalnost posameznih vrst nerjavečih avtomatskih jekel.

**Četrti primer** — Program osvajanja nerjavečih jekel na Raziskovalnem oddelku obsega tudi kvaliteten razvoj treh osnovnih vrst nerjavečih avtomatskih jekel in to avstenitnega — Č 4590, feritnega — Č 4790 in martenzitnega — Č 4791 tipa.\*\*\*

Cr jekla (feritna in martenzitna) imajo boljšo obdelovalnost kot Cr-Ni jekla. Preiskave treh značilnih talin standardnih vrst nerjavečih avtomatskih jekel to trditve potrjujejo. (Slika 15.) Značilna kemična analiza za obravnavane vrste avtomatskih nerjavečih jekel je naslednja:



Slika 14

Vpliv stopnje hladne predelave in načina toplotne obdelave na obdelovalnost ogljikovih avtomatskih jekel

Vrsta jekla	šarža	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	trdota
Č 4790	E 4266	0,09	0,30	0,83	0,027	0,250	16,6	—	0,22	222
Č 4791	E 5299	0,12	0,22	1,02	0,025	0,274	14,0	—	0,29	173
Č 4590	E 4267	0,09	0,37	1,04	0,020	0,220	18,3	9,6	0,27	157

Prikazana primerjava obdelovalnosti velja za standardne modifikacije nerjavečih avtomatskih jekel ter za naslednje dobavno stanje:

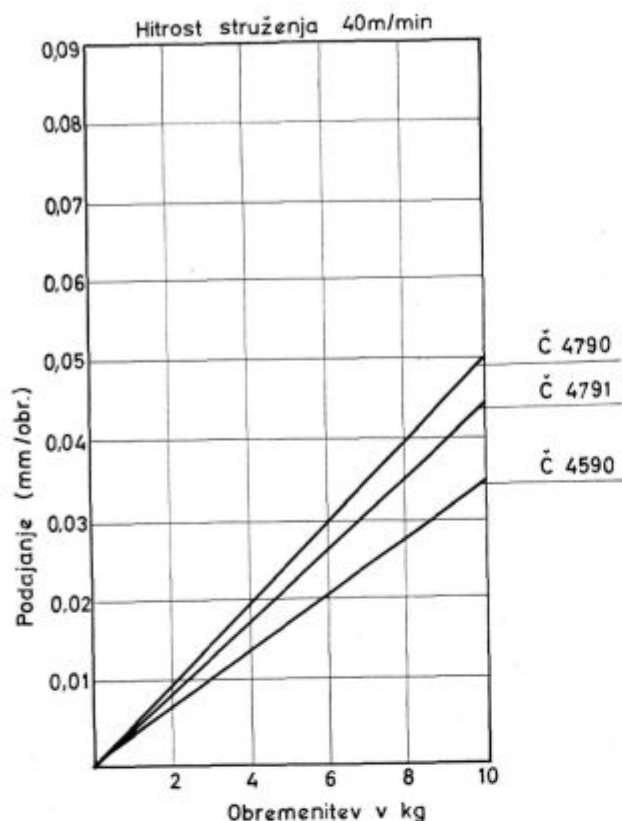
jeklo Č 4790 žarjeno + hladno vlečeno (stopnja hl. predelave 15%)

jeklo Č 4791 žarjeno (800° C) + brušeno

jeklo Č 4590 gašeno (1050° C) + brušeno.

\*\*\* Oznaka za martenzitno nerjaveče avtomatsko jeklo Č 4791 po JUS še ni sprejeta.

**Peti primer** — Vpliv količine žvepla ter oblike sulfidnih vključkov na obdelovalnost smo preiskali tudi pri proti kislini odpornem avstenitnem avtomatskem jeklu vrste Č 4590. Iz rezultatov preiskav, ki so prikazani na sl. 16, je razvidno, da se obdelovalnost te vrste jekla v določenem območju količine žvepla le malo spreminja, kar je izrednega pomena za enakomerno obdelovalnost različnih šarž tega jekla. Preiskave so znova po-



Slika 15  
Primerjava obdelovalnosti nerjavečih avtomatskih jekel vrste Č 4790, Č 4791 in Č 4590

trdile ugoden vpliv ovalnih sulfidnih vključkov na obdelovalnost te vrste jekla.

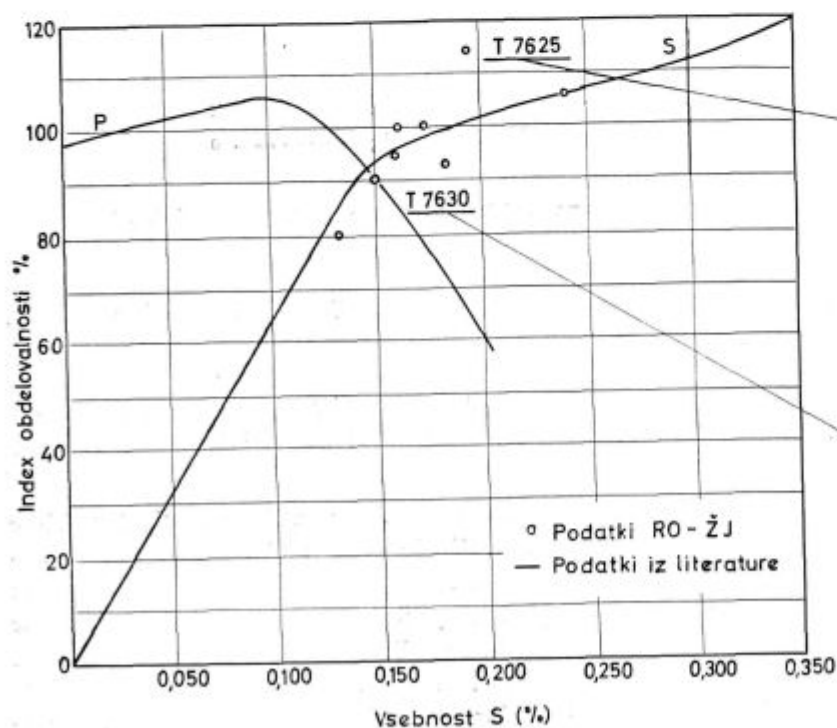
### 5.6 Klasifikacija ogljikovih avtomatskih jekel z ozirom na obdelovalnost, dobljeno po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom«

V novejšem času je bil na področju avtomatskih jekel storjen velik korak naprej. Uvajanje novih avtomatskih dodatkov v redno proizvodnjo avtomatskih jekel vse bolj izloča analizo jekla kot prevzemni kriterij za kvaliteto avtomatskega jekla.

#### Osnovno merilo za kvaliteto avtomatskega jekla je njegova obdelovalnost.

Indeksi obdelovalnosti, ki jih dobimo z merjenjem obdelovalnosti po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« omogočajo klasifikacijo posameznih vrst avtomatskih jekel na osnovi njihove obdelovalnosti.

Številne meritve obdelovalnosti vseh vrst avtomatskih jekel, v različnih dobavnih stanjih, nam omogočajo primerjavo indeksov obdelovalnosti domačih jekel z indeksi, ki jih za sorodna tuja jekla navaja strokovna literatura. V tabeli 2 je taka primerjava za hladno vlečeno stanje. Pri določanju indeksa obdelovalnosti vzorcev jekla ŽJ smo izbrali kot etalonsko jeklo vzorec tujega jekla vrste 10 S 20 K.



Slika 16  
Vpliv količine žvepla na obdelovalnost avstenitnega avtomatskega jekla Č 4590

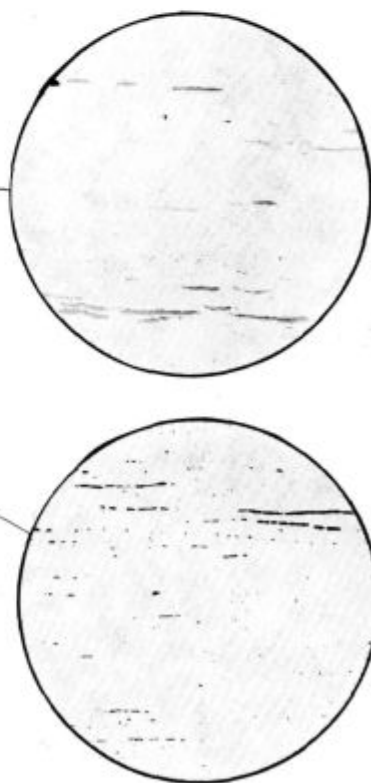


Tabela 2

Vrsta jekla JUS	Analiza jekla	Indeks obdeloval- nosti I 10S20 = 100%	Primerjava		Indeks obdeloval- nosti I B 1112 = 100%
			AISI	DIN	
Č 3990	0,10 % C 1,09 % Mn 0,111 % P 0,330 % S	142	C 1213	9 S Mn 23	135/140
Č 1190	0,06 % C 0,67 % Mn 0,068 % P 0,248 % S	108	C 1111	10 S 20	90/91
Č 1290	0,17 % C 0,72 % Mn 0,067 % P 0,190 % S	90	C 1115	15 S 20	81/85
Č 3190	0,20 % C 1,22 % Mn 0,050 % P 0,226 % S	112	C 1116	—	91/96

Iz tabele je razvidna dobra skladnost dobljenih podatkov v relativnem merilu. Manjša odstopanja, ki nastopajo v absolutni vrednosti, so predvsem posledica različnih etalonskih jekel in deloma različnih pogojev preizkusa. Rezultati nam torej dovoljujejo oceno in klasifikacijo domačih avtomatskih jekel ter primerjavo s tujimi vzorci jekla.

Na osnovi rezultatov ocenjevanja obdelovalnosti vseh vrst ogljikovih avtomatskih jekel, domačega in tujega porekla, smo izdelali tabelo, ki informativno prikazuje obdelovalnost, ki jo garantiramo za posamezne vrste jekel v določenih dobavnih stanjih. Tabela je izdelana na osnovi etalonskega jekla Č 3190 (stanje normal. hladno vlečeno), ki predstavlja indeks 100 %.

Tabela 6

Vrsta jekla	dobavno stanje		
	vroče valjano	luščeno ali hladno vlečeno in mehko žarjeno	stanje najboljše obdelovalnosti — hladno vlečeno
Č 3190	75 do 85	70 do 80	100
Č 3990	—	—	130 do 140
Č 1190	75 do 85	70 do 80	90 do 100
Č 1290	70 do 80	65 do 75	80 do 90
Č 1490	60 do 70	55 do 65	70 do 80
Č 1590	65 do 70	60 do 65	70 do 75

Tabela je informativnega značaja in ima namen na eni strani pomagati potrošniku pri naročanju najustreznejše vrste in dobavnega stanja za njegove potrebe, na drugi strani pa služi kot merilo za dokazovanje kvalitete jekla z ozirom na obdelovalnost v primeru reklamacij. S tem namenom smo tabelo 6 uvrstili tudi v novi standard za ogljikova avtomatska jekla, ki bo izšel v začetku leta 1968.

## ZAKLJUČEK

Kritična ocena opisanih metod kaže, da je za določevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel po svojih značilnostih najprimernejša metoda »struženje s konstantnim podajnim pritiskom«. Pri tej metodi se najbolj neposredno dotaknemo obdelovalnosti jekla kot njegove specifične fizikalne lastnosti. Pri ostalih metodah se dotaknemo obdelovalnosti jekla več ali manj posredno z različnih stališč, n.pr. s stališča obrabe orodja, temperaturnih sprememb na konici noža, rezalnih sil in podobno. Seveda pa to ne pomeni, da zanikamo vrednost metod, ki smo jih označili kot posredne. Ze sama širina pojma obdelovalnosti namreč zahteva, da jo ocenjujemo z različnih vidikov.

Industriji in trgovini je za ocenjevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel potrebna hitra, enostavna in cenena metoda, ki bo dovolj občutljiva in jo bo mogoče izvesti v normalnih obratovalnih pogojih in na jeklenih palicah podobnih dimenzij kot jih uporablja industrija. Rezultati morajo imeti predvsem praktičen pomen. Indeksi obdelovalnosti ali drugi laboratorijski podatki o obdelovalnosti morajo pomagati pri izbiri optimalnih pogojev za obdelavo jekel, posebno pri določitvi optimalne hitrosti rezanja.

Navedeni podatki iz literature ter rezultati številnih preiskav obdelovalnosti avtomatskih jekel po metodi »struženje s konstantnim podajnim pritiskom« na Raziskovalnem oddelku v Železarni Jesenice, potrjujejo vrednost metode in pravilnost izbire tega načina za določevanje obdelovalnosti, saj predlagana metoda popolnoma zadovoljuje prej omenjene zahteve.

Izbira te metode za določevanje obdelovalnosti avtomatskih jekel nas obvezuje, da čimprej izdelamo standard, ki bi točno predpisoval pogoje preizkusa. Posebno pozornost bo treba posvetiti izbiri primerjalnega — etalonskega — jekla. V novem standardu za avtomatska jekla smo predlagali kot etalon jeklo Č 3190, ki ga sedaj pri nas največ uporabljamo in ki je v kvalitetnem pogledu izmed vseh avtomatskih jekel najbolj stabilizirano.

Gospodarska reforma zahteva od kovinsko predelovalne industrije večjo produktivnost in rentabilnejšo proizvodnjo tudi pri obdelavi jekel, zato potreba po avtomatskih jeklih narašča. Ker si nadaljnega kvalitetnega razvoja avtomatskih jekel brez ustrezne metode določevanja obdelovalnosti

ne moremo zamisliti, je torej realizacija predlagane metode zelo pomembna in terja čimprejšnjo rešitev, ob aktivnem sodelovanju vseh zainteresiranih.

#### Literatura

1. F. Klaus in dr.: Stand der Kenntnisse über die Zerspanbarkeit der Stähle  
Stahl und Eisen 85(1965) Nr. 25, str. 1669
2. Zerspanungsversuche  
Stahl-Eisen Prüfblatt, März 1952: 1166-52, 1162-52, 1164-52, 1178-52  
Prüfblätter des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute
3. Strassburg: Automatenstahl  
Landolt-Börnstein Technik IV., Teil II., 1963, str. 354
4. F. Vodopivec in dr.: Struženje jekel za avtomate s pomočjo radioaktivnih nožev  
Rudarsko metalurški zbornik 1965, št. 3-4, str. 399
5. Kerkeler Karl: Die Zerspanbarkeit der metallischen und nichtmetallischen Werkstoffe  
Berlin 1951, Springer-Verlag
6. F. W. Boulger in dr.: Constant-Pressure Lathe Test for Measuring the Machinability of Free-Cutting Steels  
Transaction of the ASME, July 1949, str. 431
7. H. Becker: Kurzprüfung der Zerspanbarkeit von Automatenstählen nach dem Gewichtsvorschubverfahren  
Stahl und Eisen 81(1961) Nr. 1, str. 46
8. H. Becker: Zerspanbarkeitsuntersuchungen nach dem Gewichtsvorschubverfahren an Automatenstählen mit vol. 0.09 % C  
Stahl und Eisen 84(1964) Nr. 5, str. 256
9. E. M. Trent: Cutting steel and iron with cemented carbide tools — Part III: The influence of metallurgical factors in the flow zone  
revija: Journal of the Iron and Steel Institute, Dec. 1963, str. 1001
10. Thomsen in dr.: Mechanics of plastic deformation in metal processing  
Machining 1965, str. 448
11. Hoyt: Machinability Ratings of Cold Drawn Bars  
Metal Data 1952, str. 50
12. Steel Products Manual: Hot Rolled and Cold Finished Bars  
AISI february 1964

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Bewertung der Zerspanbarkeit der Automatenstähle ist für den Hersteller von ausserordentlicher Bedeutung, wenn er sich auf die Dauer eine qualitätvolle Entwicklung sichern will.

Von den vielen verschiedenen Methoden für die Bewertung der Zerspanbarkeit haben wir in Zelezarna Jesenice das Gewichtsvorschubverfahren gewählt, das wir auch als standardes Verfahren vorschlagen. Bei dieser Methode wird der Schnittdruck gemessen welches zum schneiden des Stahles nötig ist. Da bei dieser Methode indirekt die Reibung beim Schneiden gemessen wird, ist sie besonders für die Beurteilung der Zerspanbarkeit der Automatenstähle geeignet, weil diesen Stählen für die Verminderung der Reibung beim Schneiden Sonderzusätze zugegeben werden.

Für diese Zerspanbarkeitsuntersuchungen benötigen wir eine Drehbank mit einem besonderen Prüfsupport der

von der Zug und Leitspindel befreit ist, eine Sperre im Schlosskasten die ein Ausweichen des Supports nach rückwärts verhindert, einen gleichbleibenden Druck auf den Drehmeissel, eine höhere Zahl der Drehmeissel so wie eine Aparatur zur Messung der Umdrehungszahl.

Dieses Verfahren ist schnell, einfach und billig und lässt sich in der Praxis beim drehen der Automatenstähle leicht ausführen. Das Streufeld der Ergebnisse ist in den Grenzen von  $\pm 5\%$ .

Die unzähligen Versuche der Bewertung der Zerspanbarkeit bestätigen die Richtigkeit der Auswahl dieser Methode. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Methode sowohl für das Studium der metallurgischen Einflussfaktoren auf die Zerspanbarkeit als auch für die Klafifikation der einzelnen Automatenstähle nach der Zerspanbarkeit brauchbar ist.

### SUMMARY

Constant-Pressure Lathe Test for Measuring the Machinability of Free-Cutting Steels

For lasting development of quality it is very important for each free-cutting steel manufacturer to be able to evaluate the machinability of the steels.

Among many known methods «constant pressure lathe test» was chosen at Jesenice Steel Mill. Above mentioned test is proposed as standard. Under the test conditions the feed is measured which is needed to create certain friction between sample and tool. Because friction is measured at this test indirectly, the test is very suitable for free cutting steels rating. To free cutting steels special elements are added to deminish the friction.

The equipment used for the constant pressure machi-

nability test consists of lathe with tool carriage disconnected from drive mechanism, brake to prevent tool carriage deviating, at means of applying constant lateral tool pressure, some cutting tools and device for recording the number of spindle revolutions. Test is fast, simple and not expensive and can be carried out under normal conditions of cutting. Results are dissipated in a range of  $\pm 5\%$ .

Many tests of machinability measuring upon this method showed us correctness of the chosen method. Results show that the method is suitable for studying the influence of metallurgical factors on machinability as well as classification of free-cutting steels regarding machinability.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из многих известных методов определения обрабатываемости в металлургическом заводе Zelezarna Jesenice (Югославия) выбран метод «резание с постоянным давлением подачи». Измеряется подача необходимая для трения между заготовкой и токарным резцом т. е. трение измеряется косвенно. Этот метод особенно применим для оценки обрабатываемости автоматных сталей при которых для уменьшения трения во время резания доданы автоматические при-

способления. Описано устройство и принадлежности станка. Самое испытание исполняется очень быстро и дешево, применимо при нормальных условиях резания автоматной стали в заводской практике. Разброс результатов  $\pm 5\%$ . Полученные результаты показали что метод применим для изучения влияния металлургических факторов на обрабатываемость а также и на классификацию автоматных сталей в отношении на обрабатываемость.

## Avtomatsko navarjanje pod praškom s trakom

V članku so zbrani rezultati prvih poskusov avtomatskega navarjanja pod praškom s trakom. Poizkusi so bili izdelani z dodajnim materialom proizvodnje Železarne Jesenice in varilnim aparatom z vodili za trak proizvodnje Zavoda za avtomatizacijo, »Iskra«, Ljubljana. Navarjanje s trakom uvrščamo po produktivnosti v najbolj ekonomične postopke obločnega varjenja. Varilni parametri, ki so določeni za navarjanje s trakom, se za določeno dimenzijo traku in kvaliteto praška ne smejo bistveno spreminjati od njihovih optimalnih vrednosti.

### UVOD

Pri izdelavi kemijskih reakcijskih posod in ostalih naprav v kemični industriji naletimo pogosto na dve osnovni zahtevi:

1. jekla, ki so vgrajena v omenjene naprave, morajo imeti višjo trdnost, da tako zmanjšamo težo konstrukcije;

2. stene, ki oklepajo reakcijski prostor, morajo biti obstojne proti koroziji.

Najbolj ekonomičen postopek za izdelavo omenjenih kemijskih reaktorjev bo prav gotovo tisti, pri katerem bomo uporabljali konstrukcijska jekla s povišano trdnostjo navarjena z notranje strani z materialom odpornim proti koroziji.

Nič manj ne bo zanimiva pot, ki si jo bo utrl postopek navarjanja s trakom na področja, kjer se zahteva odpornost navarov proti večjim mehanskim obremenitvam, torej v industrijo visokotlačnih posod, toplotnih izmenjevalcev, na področje navarjanja vodnih turbin ter valjev v selulozni industriji in ne nazadnje v nuklearno industrijo.

Pri vsakem novem varilnem postopku je potrebno ugotoviti njegove osnovne parametre varjenja. Zato smo največ dela posvetili iskanju optimalnih varilnih parametrov. Vrednosti, ki smo jih dobili pri navarjanju s trakom, smo primerjali z odgovarjajočimi vrednostmi pri navarjanju z žico in pri tem ugotavljali ekonomičnost in primernost postopka za praktično uporabo.

### PREDNOSTI AVTOMATSKEGA NAVARJENJA POD PRAŠKOM S TRAKOM

Postopek navarjanja s trakom se odlikuje po visoki produktivnosti navarjanja in po izredno plitkem ter enakomernem uvaru. Globina uvara znaša pri normalnih parametrih največ 1,5 mm.

Plitek uvar pomeni tudi majhno mešanje dodajnega materiala z osnovnim. Stopnja mešanja dodajnega in osnovnega materiala lahko ponazorimo s sledečo formulo:

$$SM = \frac{100 \cdot B}{A + B} \% \quad \begin{array}{l} A - \text{površina preseka navara} \\ B - \text{površina uvara} \end{array}$$

V primeru, ko smo navarjali s trakom dimenzije  $60 \times 0,5$  mm, smo dosegli širino navarjene površine 6,0 cm.

$$A - 327 \text{ mm}^2$$

$$B - 60 \text{ mm}^2 \text{ (pri globini uvara 1 mm)}$$

$$SM = \frac{100 \times 60}{327 + 60} = 15,5 \%$$

Stopnja mešanja osnovnega in dodajnega materiala je minimalna in znaša v našem primeru 15,5 %. Stopnja mešanja pri varjenju z žico  $\varnothing 4$  mm in optimalnih parametrih je večja od 60 %.

Vendar moramo pri navarjanju s trakom delno še vedno nekoliko upoštevati odgor legirnih elementov v prvem navaru, zaradi visoke temperature oziroma določenih kemičnih reakcij.

### Dodajni material

#### Varilni trak

Za razliko od drugih postopkov za avtomatsko navarjanje uporabljamo v tem primeru namesto žice varilni trak. Varilni trak običajno uporabljamo širine 20–60 mm in debeline 0,5 mm. Najpogosteje pa uporabljamo dimenzije  $50$  do  $60 \times 0,5$  mm. Pri tem izkoriščamo maksimalno možno širino traku. Večja širina traku zahteva tudi bolj viskozno talino.

Viskoznost taline pa je omejena s sestavo varilnega praška. Preširok trak povzroči neenakomerno navare.

Pri naših poskusih smo uporabljali trak  $60 \times 0,5$  mm. Trak je bil navit v kolobar  $280 \times 420$  mm.

Hitrost premikanja traku: 78 cm/min.

Poraba traku: 1 kg traku/1 kg navara.

Varilna hitrost pomikanja traku je za pravilno navarjanje velikega pomena. Od hitrosti traku je odvisna enakomernost navarov, pa tudi jakost in napetost varilnega toka. Pri konstantnem izvoru raste jakost varilnega toka z naraščajočo podajno hitrostjo traku, medtem ko istočasno pada varilna napetost.



Prosta dolžina traku, od kontakta do osnovnega materiala znaša normalno 20—30 mm. Pri povečanju te dolžine preko 30 mm ugotavljamo zmanjšanje uvara in povečanje količine navara, vendar postane pri pretirano dolgi razdalji oblok nestabilen in varjenje ni več kontinuirano.

V spodnji razpredelnici je prikazana kemična analiza obeh trakov, ki smo jih uporabljali pri navarjanju:

	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Ti	Nb/Ta
Cr 18, Ni 8	0.04	0.26	0.89	18.0	9.30	0.023	0.011	—	—
Cr 17	0.05	0.40	0.45	15.3	0.18	0.019	0.012	0.46	—

### Varilni prašek

Pri postopku varjenja s trakom smo poizkusili vse vrste domačih varilnih praškov. Ugotovili smo, da so ortosilikatni praški (bazični) uporabnejši kot metasilikatni (nevtralni). Od ortosilikatnih praškov je najbolj primeren prašek EPP 45, ki je po svoji sestavi aluminaten in je izdelan na sistemu  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaF}_2$ .

Prašek omogoča stabilno in kontinuirano varjenje.

Od višine nasutega praška je odvisna oblika navara. Nizko nasutje povzroči tudi nizko strjeno žlindro, ki jo laže odstranujemo, vendar je pri tem nevarno, da oblok na straneh ne prebije nasutja. Težko nasutje lahko pokvari obliko navara. Granulacija praška na samo varjenje ne vpliva bistveno.

Poraba praška: 1,10 kg/1 kg navara.

Poraba praška: 2 kg/1 m dolžine navara, pri širini 60 mm in debelini 6 mm.

Zgornje vrednosti smo izmerili pri naslednjih varilnih parametrih:

$I = 680 - 700 \text{ A}$ .

$U = 30 - 34 \text{ V}$

$v$  (hitrost varjenja) = 8,5 cm/min.

vrsta toka: izmenični.

### Vpliv varilnih parametrov

Varjenje s trakom je uspešno predvsem z enosmernim tokom, bodisi z usmernikom ali agregatom. V vsakem primeru pa moramo poskrbeti, da ima izvor ravno ali rahlo padajočo karakteristiko. Izvori s strmo padajočo karakteristiko povzročajo ostre zarezne na robovih navara.

### Jakost varilnega toka

Točna nastavitve jakosti in napetosti toka je pri varjenju s trakom bolj važna kakor pri varjenju z žico.

Uspešno smo varili s tokom jakosti 500—700 A pri dimenzijah traku  $60 \times 0,5 \text{ mm}$ . S povečano jakostjo toka se poveča uvar, kar ni zaželeno pri tem postopku navarjanja. Istočasno tudi ugotavljamo povečanje količine navara. V primeru, ko

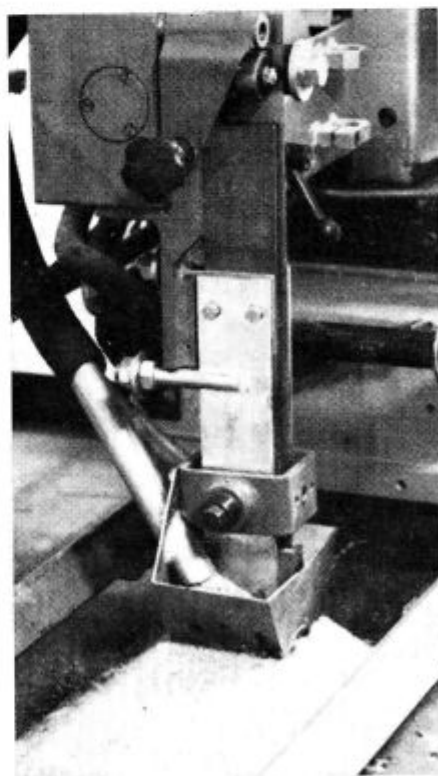
preseže jakost toka optimalne vrednosti, pride do neenakomernega valovitega navara in ob istočasni majhni varilni hitrosti do zalivanja obloka. Jakost varilnega toka je optimalna takrat, ko je uvar minimalen, s tem tudi minimalno mešanje dodajnega z osnovnim materialom in, ko ugotavljamo še zadostno oprijemljivost navara z osnovnim materialom.

### Napetost varilnega toka

Z varilno napetostjo lahko spreminjamo širino navara. S povečanjem napetosti se navar širi, zmanjšata pa se debelina navara in uvar. Hkrati se povečuje tudi potrošnja varilnega praška. Visoke varilne napetosti lahko povzročijo manjše eksplozije v staljenem navaru.

### Varilna hitrost

V inozemski literaturi lahko najdemo različne vrednosti za varilno hitrost, vendar so vse v mejah od 10—25 cm/min. V našem primeru, ko smo varili z izmeničnim tokom, so se pokazale, kot najbolj ugodne hitrosti v mejah od 8—15 cm/min. Pri teh hitrostih je bilo varjenje najbolj enakomerno. Varilna hitrost je najvažnejši parameter pri varjenju s trakom. Od nobenega parametra ne zavisi globina uvara, širina navara in splošni izgled navara bolj kot prav od varilne hitrosti. V primerjavi z varjenjem z žico lahko trdimo, da uporabljamo pri navarjanju s trakom minimalne možne varilne hitrosti.



Slika 1  
Varilni aparat — Iskra Kranj

## Potek navarjanja

Varili smo z varilnim aparatom oznake EPP 1100 tip E 5. Avtomat je proizvod »Iskre« in je imel za navarjanje s trakom izdelano posebno trislojno.

glavo s potrebnimi vodili za trak. Navarjali smo kotlovsko pločevino dimenzije  $1100 \times 250 \times 17$  mm. Uporabljali smo domač prašek EP 45 ter domače trakove kvalitete Cr 18, Ni 8 in Cr 17.

Varilni parametri:

Jakost toka  $I = 680-700$  A

vrsta toka: izmenični

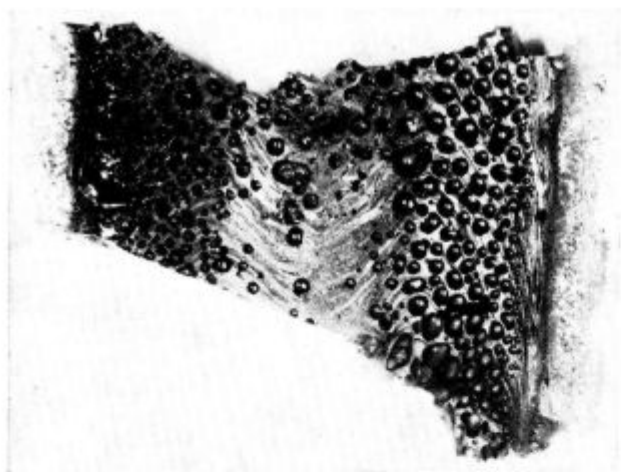
napetost toka:  $U = 30-34$  V

hitrost varjenja:  $V = 8-16$  cm/min.

Navarjali smo enoslojno, dvoslojno in največ

Predno smo uspeli izdelati kontinuirane navare smo preizkusili številne domače praške. Pri prvem izboru smo izločili kot najbolj uporabne bazične praške. Pri drugem pa smo ugotovili, da vzdržuje od vseh bazičnih praškov EP 45 najbolj stabilen oblok. S praškom EP 40 je bilo varjenje nezadovoljivo zaradi neprestanega prekinjanja in slabega vžiganja.

Strjena žindra, ki je bila pri obeh praških razmeroma debela in porozna, je dobro odstopala.



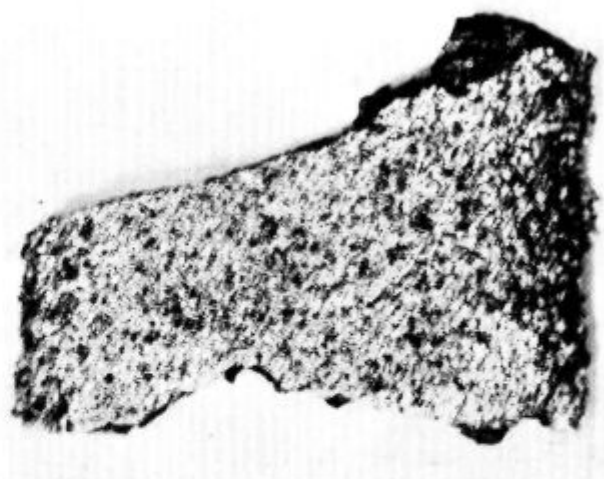
Slika 2

Strjena žindra, fotografirano s spodnje strani

Kvaliteta traku na samo varjenje ni vplivala. Večji vpliv bi imela verjetno le širina traku, ki jo pa vsled fiksne dolžine valjčnic na varilni glavi nismo mogli spreminjati. Odtaljevanje varilnega traku je bilo enakomerno v drobnih kapljicah, kar je razvidno s spodnje slike.

Pri varjenju s praškom EP 40 smo opazili v žindri veliko jeklenih kroglic, kar je zmanjšalo izplen navarjanja.

Pri navarjanju s trakom smo opazili zlivanje tekoče žindre od sredine navara proti robovom.



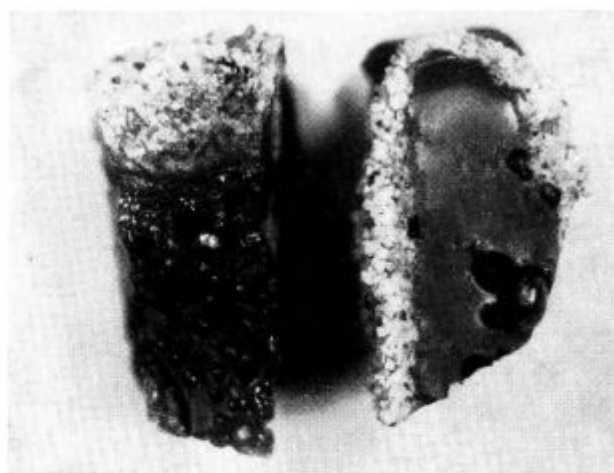
Slika 3

Strjena žindra, fotografirano z vrhnje strani



Slika 4

2,5-krat povečane kroglice



Slika 5

Ujete jeklene kroglice na robovih strjene žindre

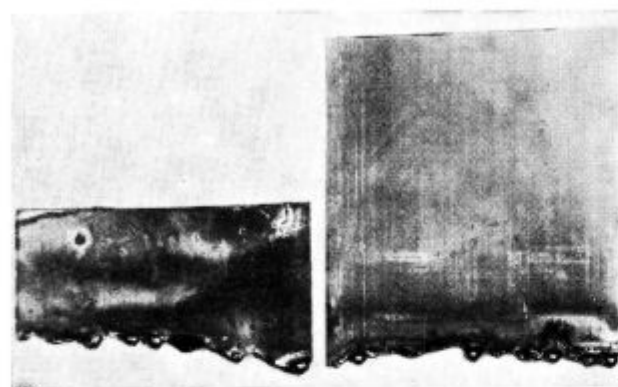
Električni oblok nismo fotografirali, vendar lahko na odtaljenem traku vidimo, da oblok ni bil samo eden, ki je potoval z enega konca traku na drugega, ampak je sestavljen iz več manjših oblo-



Slika 6  
Strjena žindra na robovih navara

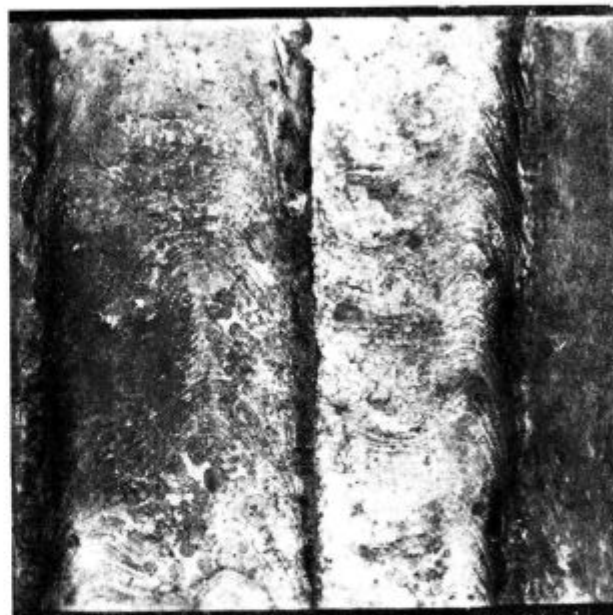
kov, kar je povzročilo enakomerno odtaljevanje traku hkrati po vsej širini.

Od vseh varilnih parametrov, ki smo jih določili, se s podatki iz literature najbolj ujema jakost varilnega toka. Napetost je približno 2–5 V višja, medtem ko je hitrost varjenja manjša. Uporabljali smo nizke varilne hitrosti, kar nam je prav gotovo omogočila dobra izvedba varilnega aparata, ki je bila ena izmed osnovnih zahtev, da smo lahko uspešno varili z izmeničnim tokom. Pri hitrostih nad 15 cm/min varjenja ni bilo več kontinuirano. Se bolj neprijetne so bile pojavljajoče se globoke zajede na robovih navarov. Z dobro izbranimi varilnimi parametri, predvsem pa z minimalno hitrostjo varjenja, smo to napako skoraj popolnoma odstranili.

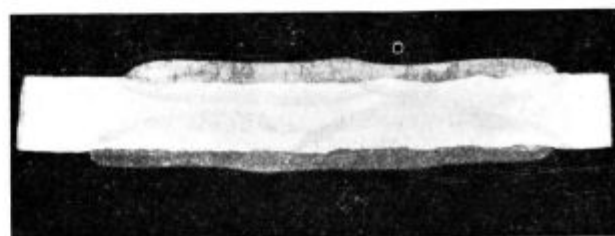


Slika 7  
Odtaljeni trak

Po merjenju debeline navara smo ugotovili, da le-ta znaša 5–6 mm. V navarih so bile vidne vdrtine. To je bila edina napaka, ki jo do konca poizkusov nismo mogli odstraniti. Verjetno bi se te vdrtine pri pravilnem navarjanju z enosmernim tokom ne pojavljale. Znano pa je, da se v večini primerov po varjenju navarjena površina mehansko obdeluje. Kjer ta obdelava ni potrebna, predstavljajo vdrtine 1 mm globoke pri 5 mm visokem enoslojnem ali 10 mm visokem dvoslojnem navaru zanemarljivo napako.



Slika 8  
Pravilno zlita navara na stikajočih se robovih



Slika 9  
Presek navarov, navarjenih s trakom

## PREISKAVA NAVARA

### Kemična analiza navara

Varilni trak navar	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
Cr 18, Ni 8	1. 0.10	0.48	0.83	13.12	7.65	—
	2. 0.08	0.39	0.70	15.33	8.60	—
	3. 0.08	0.46	0.69	16.38	8.90	—
Cr 17	1. 0.10	0.67	0.66	11.23	—	0.10
	2. 0.07	0.73	0.38	15.00	—	0.12
	3. 0.07	0.79	0.36	15.30	—	0.11

Kemične analize smo izdelali na vzorcih, ki so bili vzeti iz prvega, drugega in tretjega navarjenega sloja. Iz razpredelnice je možno razbrati odgorevanje posameznih elementov.

1. Koncentracija ogljika je bila pri navarjanju z obema trakovima največja v prvem sloju, kar je bila posledica legiranja iz osnovnega materiala. V naslednjih slojih koncentracija ogljika pada, vendar je še vedno precej večja kot je bila v traku.

2. Koncentracija silicija se pozitivno spreminja v obeh primerih z naraščanjem števila navarov, kar pomeni, da se je navar legiral s Si iz praška. Že v tretjem navaru je koncentracija Si 100 % večja od koncentracije v traku.

3. Koncentracija mangana v obeh primerih pada s številom navarov. Vendar zmanjšanje koncentracije ni tako občutno.

4. Koncentracija kroma je najmanjša v prvem sloju. Po analizi je kroma v prvem sloju 3 do 4 % manj kot v varilnem traku. S številom navarov koncentracija Cr hitro raste in je v tretjem navaru, kot je razvidno iz analize pri varjenju s trakom kvalitete Cr 18 Ni 8 le še 1,62 % manjša kot v traku. Pri kvaliteti Cr 17 pa je enaka koncentraciji v traku.

5. Odgorevanje niklja je minimalno še v prvem sloju, v tretjem sloju pa ga praktično ni; tako, da je koncentracija enaka koncentraciji Ni v traku.

6. Precejšnje je tudi odgorevanje Ti v traku Cr 17.

Razvidno je, da smo imeli za kvaliteto Cr 18, Ni 8 na razpolago varilni trak nestabiliziran, z nizkim ogljikom. Vsled porasta koncentracije ogljika z 0,04 % v traku na 0,08 % v čistem navaru je razumljivo, da bo moral biti trak v vsakem primeru stabiliziran z Nb v kolikor bomo hoteli doseči odgovarjajočo obstojnost proti interkristalni koroziji.

Iz te celotne kemične analize lahko zaključimo sledeče:

Pri navarjanju z avstenitnimi dodajnimi materiali, ki so odporni proti kislinam Cr 18, Ni 8 ne dosežemo v prvem navaru zaželeno koncentracije legirnih elementov, kljub majhnemu mešanju osnovnega z dodajnim materialom. V primeru torej, da navarjamo enoslojno, je potrebno kombinirati dodajni material, ki je višje legiran od zaželenega navara. Zato normalno navarimo prve sloje na nelegirani osnovni material s kvalitetami kot so:

Cr 24, Ni 13

Cr 22, Ni 11

Cr 21, Ni 10

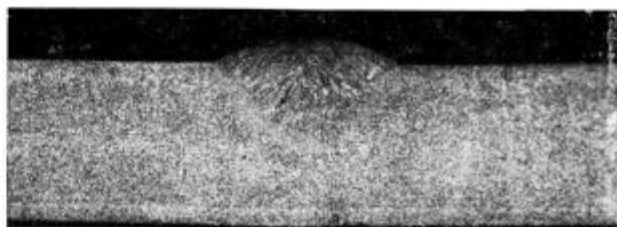
Naslednje navare pa lahko izdelamo z normalnimi proti koroziji odpornimi kvalitetami Cr 18, Ni 8

Cr 18, Ni 12

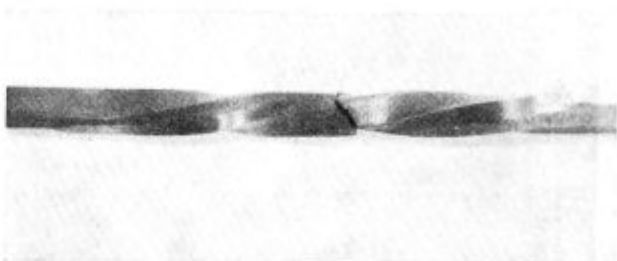
### Torzijski preizkus

Pri navarjanju s trakom smo ugotovili izredno plitek uvar. Pri globini uvara 1 do 1,5 mm je verjetno, da se bo navarjena plast pri določeni mehanski obremenitvi odluščila od osnovnega materiala; zato smo preizkušali oprimljivost navara na osnovni material s torzijskim preizkusom.

Izdelali smo vzorce dimenzije kv.  $10 \times 10 \times 200$  mm. Polovica preizkušanca je bila iz osnovnega materiala, druga polovica pa iz navara. Meja med obema plastema je potekala po sredini vzorca.



Slika 10  
Presek navara, navarjenega z žico



Slika 11  
Navarjeni vzorec po torzijskem preizkusu

Po torzijskem zasuku, ko se je vzorec zavrtel okrog svoje osi ni prišlo do ločitve obeh plasti. Torzijski preizkus smo izvršili pri sobni temperaturi. Po preizkusu ugotavljamo, da je oprimljivost navara na osnovni material zadovoljiva in sklepamo, da bo navarjanje s trakom uspešno tudi tam, kjer bodo navari podvrženi večjim mehanskim obremenitvam.



Vzorec preizkušen po Straussovi metodi

### Odpornost proti interkristalni koroziji

Za preizkušanje odpornosti proti interkristalni koroziji smo izdelali sledeči vzorec:

Na osnovni material smo navarili dva navara v skupni širini 10 cm. Višina navara je bila 6 mm. Pod navarom smo odrezali osnovni material, tako da smo dobili čisti navar debeline 5 mm in površine  $10 \times 10$  cm.

Takšen vzorec smo preizkušali v Straussovi raztopini. Po preizkusu smo var upogibali okoli trna s polmerom  $r = 2d$  do kota  $90^\circ$ .

Po preizkusu smo dobili razmeroma zadovoljive rezultate, če upoštevamo, da smo imeli nestabiliziran dodajni material in navar z razmeroma visoko koncentracijo ogljika.

## ZAKLJUČEK

Rezultati, ki smo jih dobili z izmeničnim tokom, so lahko še boljši pri varjenju z enosmernim tokom. Pri varjenju s trakom je zelo pomembna pravilna izbira dodatnega materiala, to pomeni predvsem varilnega praška. Nič manj važna kot dodajni material je pravilna nastavitve varilnih parametrov. Poizkusi so pokazali nujnost uporabe nižjih varilnih hitrosti kot smo jih vajeni

pri varjenju z žico. Pri varjenju z enosmernim tokom so te hitrosti 10—15 cm/min., pri izmeničnem toku so vrednosti še nižje 8—15 cm/min. Pri vseh varilnih parametrih pa smo opazili, da so uporabljivi v ožjem intervalu optimalnih vrednosti, kot pri klasičnem varjenju z žico. Odgorevanje legirnih elementov je pri varjenju z visokolegiranimi varilnimi trakovi minimalno že v prvem navaru. To je posledica plitkega in enakomernega uvara in s tem nizke stopnje mešanja osnovnega in dodatnega materiala.

Z razvojem domačega dodatnega materiala in varilnega aparata je dana možnost širše uporabe avtomatskega navarjanja pod praškom s trakom v praksi. Dobri rezultati, ki smo jih dobili pri prvih poizkusih navarjanja, so dovolj vzpodbudni in ni ovire, da se postopek ne bi vpeljal povsod tam, kjer je potrebno povečati produktivnost navarjanja.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Versuche der Bandauftragsschweissung mit dem bei uns erzeugten Zusatzmaterial ergaben sehr günstige Ergebnisse trotz dem, dass wir mit dem Wechselstrom geschweisst haben.

Für ein erfolgreiches Auftragsschweissen ist die richtige Auswahl des Schweisspulvers von grosser Bedeutung. Wir stellen fest, dass den Forderungen der Bandauftragsschweissung der basische Schweisspulver EP 45 am besten entspricht.

Ein richtiges einstellen der Schweissparametern ist gar nicht weniger bedeutsam als das Zusatzmaterial. Die Versuche zeigten im Vergleich mit der UP Schweissung eine grössere Abweichung in der Schweissgeschwindigkeit. Für das Bandschweissen sind die minimalen Schweissgeschwindigkeiten am besten geeignet. Beim Schweissen mit dem Gleichstrom betragen die gebräuchlichsten Schweiss-

geschwindigkeiten von 10 bis 15 cm/min, beim Wechselstrom sind diese Werte noch niedriger. Es ist bemerkenswert, dass bei allen Schweissdaten ihre Verwendbarkeit in viel engeren Grenzen liegt als beim klassischen Drahtschweissen.

Der Abbrand der Legierungselemente ist beim schweissen mit hochlegierten Bändern schon in den ersten Auftragsschweissen minimal, was wohl die Folge eines seichten und gleichmässigen Einbrandes bzw. eines schwachen Mischens des Grund und des Zusatzmaterial ist. Es ist möglich mit richtigem legieren des Schweissbandes schon im ersten Lager eine säurebeständige Auftragschweisse bzw. eine Auftragschweisse entsprechender mechanischer Eigenschaften zu erzielen.

Mit dem Verdrehversuch einer Auftragschweisse konnten wir eine befriedigende Haftung der Auftragschweisse auf dem Grundmaterial feststellen.

## SUMMARY

Tests of building up welding with strip using domestic welding material have given good results. We found not that the best for building up welding is basic powder EP 45.

As important as welding material is proper setting of welding parameters. Comparatively to submerged arc welding with wire the method with strip shows greater deviations in welding speed. The minimum welding speeds are much more adjustable for welding with strip. For DC welding the applicable speeds are 10—15 cm/min, at AC welding these values are even smaller. For all welding parameters it can be observed that they lay in narrower range as for classical welding with wire.

The alloying elements burn-out when working with high alloyed welding strips is minimum even at first build up. Reason for it is very shallow penetration of welding and bad mixing of basic and added material.

By correct alloying of welding strip it is possible to get stainless build up as early as first layer or build up with prescribed mechanical properties.

Observing torsion test of samples made half of basic material and half of welding material, we realised that build up layer is adhesive enough. It assure us that submerged arc welding for building up with strip could be used for build ups for greater mechanical loadings.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыты сварки с лентой при употреблении домашнего присадочного материала дали положительные результаты несмотря на то, что сварка велась с переменным элект-ным током. Необходим правильный выбор порошка. Установлено, что для сварки с лентой вполне отвечает порошок EP 45. Также необходимо придерживаться сварочных параметров. Опыты показали, что в сравнении с автоматической сваркой под порошком с проволокой отклон скорости сварки больше. Этому способу более отвечают низкия скорости сварки. При постоянном токе быстрота 10—15 см/мин. а при переменным ниже. Сварочные параметры находятся также в более узком интервале в сравнении с сваркой с проволокой. Угар легированных элементов при сварки с высоко легирующими лентами очень низкий уже при первой наварке;

это последствие мелкой и равномерной глубины навара и в связи с этим низкой степени перемешивания основного и присадочного материала. С правильным легированием сварочной ленты можно уже в первом слое получить кислостойкий наварок, т. е. наварок с соответствующими механическими качествами. Испитание на изгиб образца приготовленного из основного и присадочного материала в одинаковых пропорциях дало положительные результаты сплавления между наплавленным и основным металлом. На основании этого можно заключить, что нет препятствия применения автоматической сварки под порошком с лентой также для выделки наварок которые находятся год более тяжелой нагрузкой.

## Arbitražno določevanje arzena v jeklu

Pri osvajanju destilacijske metode za določevanje arzena v jeklu po H. Ploumu smo raziskali vpliv antimona na določevanje in destilacijo arzena v prisotnosti antimona pri temperaturah 135° in 120° C. Določili smo območje razmerij As : Sb, v katerem antimon ne moti z ozirom na natančnost določevanja.

Metoda je dala zelo dobre rezultate, kar je razvidno iz dobljene  $\sigma_{\bar{x}}$ , ki se giblje med 0,0005 do 0,001 % in je uporabna za arbitražno določevanje arzena v nelegiranih, nizkolegiranih in visokolegiranih jeklih.

### UVOD

Za arbitražno določevanje arzena v jeklu smo izbrali, obdelali in izpopolnili destilacijsko metodo po H. Ploumu. Destilacija pri 135° C ni uporabna za arbitražno določevanje, ker destilira pri teh pogojih skupaj z arzenom tudi 20 do 40 % prisotnega antimona, ki moti pri potenciometrični titraciji s  $KBrO_3$  in močno zmanjšuje natančnost določevanja. Postopek pa bi bil uporaben za običajno določevanje.

Za arbitražno določevanje smo prešli na destilacijo arzena pri 120° C, ob povečanem dodatku solne kisline. Destilacija arzena je kvantitativna in antimon praktično ne moti v območju razmerij As : Sb od 5:1 do 1:5. Eventualna motnja antimona pade v območje napake same metode.

Po obdelani metodi je mogoče določiti arzen v jeklu s povprečnim  $\bar{\sigma}$  od 0,0005—0,001 %. Pri nizko legiranih jeklih se odstopanja gibljejo večinoma v spodnjem delu območja, pri visoko legiranih jeklih pa običajno v zgornjem delu. Rezultati posameznih določitev so znotraj dovoljenih odstopanj za arbitražne določitve. Metoda je uporabna za vse vrste nelegiranih, nizko legiranih in visoko legiranih jekel.

Potreba po metodi, ki naj bi dala zadovoljive rezultate za arbitražno določevanje, je narekovala študij metod za As. Med preizkušenimi metodami je dal dobre rezultate le postopek po H. Ploumu. Ta postopek, po katerem smo določili količino arzena v več vzorcih, je kritično obdelan glede na dosegljivo natančnost in vpliv elementov, ki kvarno vplivajo na dobljene rezultate. Določevanje arzena v jeklu se vrši preko destilacije arzentriklorida in njej sledeče titracije oziroma potenciome-

trične titracije; redkeje se uporabljajo za določitev predestilirane arzentriklorida amperometrična titracija, polarografske in fotometrične metode. Mi smo se glede na zahtevano natančnost in aparativne možnosti odločili za potenciometrično titracijo.

Pri številnih poizkusih na naših nizko in visoko legiranih jeklih se je izkazalo, da bi bil postopek po H. Ploumu verjetno najpripravnější in najeksaktnejši. Določiti je bilo treba pogoje potenciometrične titracije in destilacije ter ugotoviti velikost vpliva pogojev na dobljene rezultate. Poleg tega je znano, da pri tem načinu določevanja moti antimon. Ugotoviti je bilo treba pogoje, pri katerih bi antimon ne motil oziroma motil čim manj ter točno ugotoviti velikost te motnje in njen vpliv na točnost določevanja. Poznan pa tudi ni bil vpliv legiranih elementov na točnost določevanja in še posebej ne pri legiranih kvalitetah.

### APARATURA

#### A. Destilacijski del

Nekoliko adaptirano aparaturo, ki smo jo uporabljali pri destilaciji arzena, sestavlja pet glavnih delov:

- stojalo z grelcem,
- destilacijska bučka,
- nastavek z deflegmatorjem in termometrom,
- hladilnik,
- podaljšek in predložka.

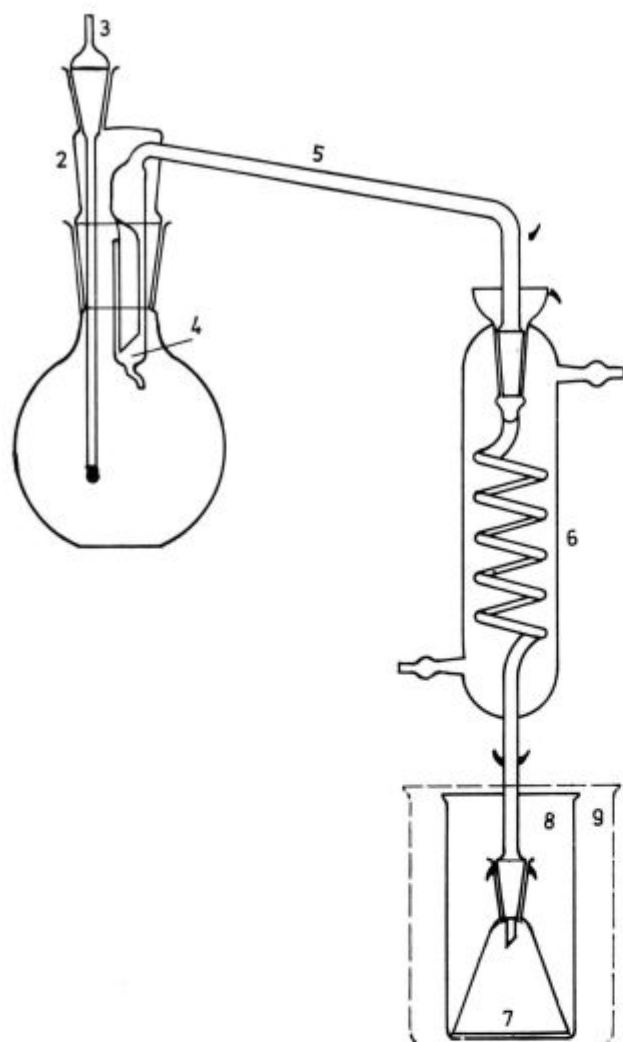
Shematsko jo prikazuje sl. 1.

#### B. Potenciometrični del

Aparatura, ki smo jo uporabili za titracijo arzena, sestoji iz dveh glavnih delov:

- titracijskega stojala z mešalcem, elektrodnim sistemom in biretami,
- potenciometra za merjenje potencialov.

Elektrodni sistem je pritrjen na okrogel držalec iz juvidurja, ki se natakne na podnožje stojala. Elektrodni sistem sestoji iz indikatorske in primerjalne elektrode. Indikatorska elektroda je platinasta folija površine ca 0,75 cm<sup>2</sup>, pritaljena na koncu steklene cevke, ki sega do držalca in ima na vrhu kontakt za odvodno žico. Primerjalna elektroda je nasičena kalomelova elektroda.



Slika št. 1

- |                        |                  |
|------------------------|------------------|
| 1. destilacijska bučka | 5. spojna cev    |
| 2. nastavek            | 6. hladilnik     |
| 3. termometer          | 7. podaljšek     |
| 4. deflegmator         | 8. predložka     |
|                        | 9. hladilna čaša |

### DOLOČEVANJE ARZENA V ČISTIH RAZTOPINAH

Preden preidemo na določevanje arzena, si z nekaj primeri titracij čiste raztopine Na-arzenita določimo, s kakšno natančnostjo bomo lahko titrali oziroma določili velikost napake, ki nam pri titraciji nastane. Da bi določili natančnost same titracije pri različnih koncentracijah As, smo odmerili od 1—5 ml raztopine Na-arzenita, katere 1 ml ustreza 0,5 mg As. Raztopino smo dodajali z garantirano mikrobireto, katere napaka je povprečno  $\pm 0,05\%$ .

Iz tabele št. 1 je razvidno, da je povprečna natančnost določevanja približno  $\pm 0,1\%$  od dobljene vrednosti in da tudi pri zelo majhnih količinah arzena napaka ne naraste preko  $\pm 0,5\%$ , kar je v mejah normalne potenciometrične titracije. Sama

napaka, kot vidimo, zlasti pri večjih koncentracijah pada že v red velikosti napake same mikrobirete in zatorej večje natančnosti ne moremo doseči.

Priprava raztopin za omenjene titracije in sam potek bo razviden iz prihodnjega poglavja. Tu je namreč važna samo reproducibilnost same titracije,

### DESTILACIJA IN TITRACIJA (po H. Ploumu)

Potrebni reagenti:

- $\text{HNO}_3$  (1 + 1),
- zlatotopka — 160 ml  $\text{HNO}_3$  (1 + 1) + 60 ml  $\text{HCl}$  (1,19),
- žveplenofosforna kislina (1 + 2) — motnost — bela oborina, ki eventualno pri mešanju teh dveh kislin nastane, nima škodljivega vpliva,

Tabela št. 1

Dod. ml razt Na-arzenita	As v mg	Dod. HCl pred titrac. v ml	Dod. $\text{H}_2\text{O}$ pred titrac. v ml	Dob. vred. As v mg	$\Delta$ mg	$\Delta$ %
0	0	20	60	—	—	—
1	0,5	20	60	0,502	+ 0,002	+ 0,4
2	1,0	20	60	1,001	+ 0,001	+ 0,1
3	1,5	20	60	1,500	—	—
5	2,5	20	60	2,495	— 0,005	— 0,2
5	2,5	20	60	2,498	— 0,002	— 0,08
5	2,5	20	60	2,500	—	—
5	2,5	20	60	2,499	— 0,001	— 0,04
5	2,5	20	60	2,502	+ 0,002	+ 0,08
5	2,5	20	60	2,500	—	—

—  $\text{ZnCl}_2$  — 80 odstotna raztopina — 400 g  $\text{ZnCl}_2$  puris. in brez vode damo v 800 ml čašo. Dodamo 100 ml vode. Čašo pokrijemo z urnim steklom in malo segrevamo. Mešamo od časa do časa. Paziti moramo, da voda ne hlapi. Ohladimo in napravimo znak, do kam sega tekočina. Nato dodamo 1 g  $\text{KBr}$  in toliko  $\text{HCl}$  (1,19), da je nivo tekočine 1 cm nad znakom. Raztopino močno segrevamo, da se nivo zniža 0,5 cm pod znak. Ohladimo in dodamo vode do značke. Če postane sol pred dodatkom vode testasta, postopamo kot v začetku, tako da počasi segrevamo z urnim steklom pokrito čašo. Raztopino hranimo v steklenici z brušenim zamaškom.  $\text{ZnCl}_2$  raztopina ostane lahko dolgo v prenasajenem stanju; v primeru, da se izločijo kristali, jih lahko raztopimo s segrevanjem steklenice v vroči vodi;

- mravljinčna kislina (98—100 %),
- Fe-reduktum,
- $\text{HCl}$  (1,19),
- $\text{KBr}$  p. a.,
- hidracinsulfat p. a.,

- Na-arzenit —  $\text{As}_2\text{O}_3$  p. a. sušimo dve uri v sušilniku pri  $105^\circ\text{C}$ . Zatehtamo 0,6602 g oksida, topimo v litrski merilni uradno žigosani bučki s 50 ml vode, ki ji dodamo 2 g NaOH p. a. Bučo dopolnimo z vodo na 1000 ml. 1 ml te raztopine odgovarja 0,5 mg As,
- 0,02 n raztopina  $\text{KBrO}_3$  — 0,1392 g  $\text{KBrO}_3$  p. a. raztopimo v vodi, tako da znaša volumen 1 liter.

### Onečiščenja z arzenom

Nekatere od uporabljenih kemikalij vsebujejo majhne količine As. Kemikalije, ki so onečiščene z arzenom, so navedene v tabeli št. 2. V zadnjem

stolpcu je navedeno maksimalno povišanje vrednosti za As zaradi onečiščenja z maksimalno količino navedenega reagenta. Kot je razvidno iz tabele, lahko kemikalije vnesejo največ 0,003 % As, kar znaša pri zatehti jekla 3 g 0,001 % od dobljene vrednosti As. Ta količina pa je že v območju same titracijske napake in smo tudi dejansko dobili pri vseh slepih poizkusih porabo 0 ml. Pri tem izračunavanju nismo upoštevali HCl p. a. Kemika, ker ima nenavadno veliko količino As. Ker smo tudi pri slepem poizkusu s to kislino dobili porabo 0 ml, smatramo, da je podatek za onečiščenje napačen vsaj za en velikostni razred.

Tabela št. 2

Kemikalija	Vrsta	Količina As v %	D	ml	Ustrezni As v %
HCl p. a.	Kemika	0,0003	1,19	max. 70	0,024
HCl p. a.	Riedel	0,00001	1,19	max. 70	0,0008
HCl p. a.	Merck	0,000005	1,19	max. 70	0,0004
$\text{HNO}_3$ p. a.	Riedel	0,0000005	1,39	max. 20	0,0000015
$\text{HNO}_3$ p. a.	Merck	0,000003	1,40	max. 20	0,000045
$\text{H}_2\text{SO}_4$ p. a.	Podnart	max. 0,000003	1,84	max. 5	0,0003
$\text{H}_2\text{SO}_4$ p. a.	Riedel	0,000003	1,84	max. 5	0,0003
$\text{H}_2\text{SO}_4$ p. a.	Merck	0,000003	1,84	max. 5	0,0003
$\text{H}_3\text{PO}_4$ p. a.	Kemika	0,0001	1,70	max. 10	0,002
$\text{H}_3\text{PO}_4$ p. a.	Riedel	0,0001	1,70	max. 10	0,002
$\text{H}_3\text{PO}_4$ p. a.	Merck	0,0001	1,70	max. 10	0,002
Fe-red. p. a.	Riedel	0,00005		3 g	0,00015
Fe-red. p. a.	Kemika	0,00005		3 g	0,00015
Fe-red. p. a.	Merck	0,00005		3 g	0,00015

Titer  $\text{KBrO}_3$  določimo potenciometrično z Na-arzenitom. 2 ml Na-arzenit raztopine iz mikrobirete damo v 150 ml čašo, razredčimo z 60 ml  $\text{H}_2\text{O}$  in dodamo 20 ml HCl (1,19). Titriramo z 0,02 n raztopino  $\text{KBrO}_3$  prav tako iz mikrobirete.

$$\text{Titer je } F = \frac{0,001}{a} = \text{g As}$$

a = poraba  $\text{KBrO}_3$  v ml

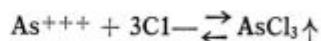
Pri določevanju arzena je potrebno uporabljati oksidacijsko topilo zaradi hlapnega  $\text{AsH}_3$ . V ta namen uporabljamo skoraj vedno solitrno kislino. Ker pa mora biti arzen pri destilaciji v trivalentnem stanju, ga moramo pred destilacijo reducirati. Predhodno pa je potrebna odstranitev nitrata. To dosežemo z uparitvijo do suhega in s praženjem do  $300^\circ\text{C}$  ali z dodajanjem mravljinčne kisline (98—100 %). Odstranitev nitrata z mravljinčno kislino se je pokazala kot zelo zanesljiva, prav tako pa je zelo ugodno, da njen pribitek, ki pri destilaciji preide prav tako v predložko, pri titraciji nima nobenega škodljivega vpliva.

Pred dodatkom mravljinčne kisline dodamo  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , da se izognemo izločanju Fe (III) oksihidrata in  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , ki veže prisotno železo v kompleks.

Potek in zanesljivost destilacije je bil preizkušen s čisto raztopino Na-arzenita.

Destilacija arzena poteka približno takole:

arzen se nahaja v raztopini v trivalentnem stanju, in sicer kot klorid  $\text{AsCl}_3$ , ki vre oziroma destilira pri približno  $130^\circ\text{C}$ . Da bi bila destilacija kvantitativna, mora reakcija potekati v smeri tvorbe  $\text{AsCl}_3$ .



Potek reakcije od leve na desno povzroča že uhajanje hlapnega  $\text{AsCl}_3$  iz sistema. Da bi ta potek še pospešili, vzdržujemo visoko koncentracijo  $\text{Cl}^-$ , ki ga dodajamo kot solno kislino in  $\text{ZnCl}_2$ . Med destilacijo se količina solne kisline stalno zmanjšuje zaradi destilacije HCl. Zadostno koncentracijo  $\text{Cl}^-$  moramo zato vzdrževati z dodatkom  $\text{ZnCl}_2$ , ki deloma vpliva tudi na vrelišče raztopine. Če bi bila v raztopini tudi solitrna kislina, bi nam poleg oksidacijskih motenj delno odvzemale tudi  $\text{Cl}^-$  zaradi reakcije med solitrno in solno kislino.

V ta namen smo vzeli več paralelek točno odmerjene raztopine Na-arzenita, dodali 3 g Fe-reduktum in topili s 40 ml  $\text{HNO}_3$  (1 + 1). Izkazalo se je, da je najugodnejša količina  $\text{HNO}_3$ , računano za 3 grame vzorca 40 ml. Vsi nadaljnji poizkusi so bili



delani s to količino  $\text{HNO}_3$ . Pri dodatku  $\text{HNO}_3$  moramo zelo paziti, da ne pride do velike reakcije, v nasprotnem primeru pride lahko do izgub arzena. To preprečimo s hlajenjem bučke, v kateri raztapljamo, in s počasnim dodajanjem  $\text{HNO}_3$ . Po ohladitvi dodamo  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4$ . Izkuhamo nitrozne pare z dodatkom mravljinčne kisline po kapljicah. Pred destilacijo dodamo 10 ml raztopine  $\text{ZnCl}_2$ , 10 ml  $\text{HCl}$  ter 1 g  $\text{KBr}$  in 1 g hidracsulfata na 1 g zatehte. Z destilacijo prekinemo, ko doseže temperatura  $135^\circ\text{C}$ . Destilatu dodamo pred titracijo še 10 ml  $\text{HCl}$  (1,19). Rezultati destilacije manjših količin As so razvidni iz tabele št. 3. Z istimi reagenti in z dodatkom Fe-reduktum je bila narejena tudi slepa proba, ki pa ni pokazala pri titraciji nobene porabe  $\text{KBrO}_3$ .

Ako pogledamo vrednosti v tabeli, vidimo, da je povprečna reproducibilnost približno 1,3 %, kar je 10-krat slabše od reproducibilnosti pri sami titraciji. To je seveda popolnoma razumljivo zaradi manjše preciznosti operacije. Toda tudi največja dovoljena odstopanja so dva do trikrat manjša od dopustnih odstopanj po mednarodnih predpisih za arbitražno določevanje arzena v jeklu.

Tabela št. 3

Dodani mg As	Zatehta Fe v g	Dodatek $\text{HNO}_3$ (1+1) v ml	Dobljene vrednosti As v mg	mg	%
2	3	40	2.05	+ 0.05	2.5
2	3	40	2.02	+ 0.02	1.0
1	3	40	1.02	+ 0.02	2.0
1	3	40	1.01	+ 0.01	1.0
—	3	40	—	—	—
1	3	40	1.00	—	—

#### DOLOČEVANJE ARZENA V PRISOTNOSTI MOTEČIH ELEMENTOV

Iz literaturnih podatkov in kemijskih lastnosti elementov se da sklepati, da bi utegnili določevanje As motiti le tisti elementi, ki dajo kloride, hlapne pri nizkih temperaturah. Ti elementi so antimon in kositer. Lastnosti pripadajočih kloridov so razvidne iz priložene tabele št. 4. Če pregledamo vrednosti v stolpcu za vrelišče, vidimo, da bi nas lahko močno motila  $\text{SnCl}_4$ ,  $\text{SbCl}_5$  ter deloma  $\text{SbCl}_3$ . Prva dva imata sicer zelo nizko vrelišče, toda ne motita, ker destiliramo iz močno redukcijskega medija, ki ga dosežemo z dodatkom hidracsulfata in na ta način preprečimo tvorbo  $\text{SbCl}_5$  in  $\text{SnCl}_4$ . Poleg tega bi v višji valentni obliki ome-

njena elementa tudi ne motila pri oksidimetrični titraciji. Moti nas torej lahko edino  $\text{SbCl}_3$ , ki bi utegnil imeti pri  $135^\circ\text{C}$  že znatni parni tlak.

Kot je razvidno iz postopka s čisto raztopino, se As (III) popolnoma izloči, kakor hitro doseže temperaturo  $135^\circ\text{C}$ . Že pri tem temperaturnem območju ima  $\text{Sb}$  (III) klorid tolik parni tlak, da pride deloma v predložko, kar je bilo s poizkusi ugotovljeno. Ugotoviti bi bilo treba še kvantitativne odnose.

Pređen pa preidemo na ugotavljanje količin antimona, ki se destilira pri danih pogojih destilacije, moramo ugotoviti, kako se obnaša  $\text{Sb}$  (III) pri titraciji. V ta namen smo titrirali različne količine  $\text{Sb}$  (III) pod točno istimi pogoji kot prej As (III). Poizkusi so pokazali, da se da tudi  $\text{Sb}$  (III) pod temi pogoji kvantitativno stitirati, vendar traja titracija zelo dolgo in tudi vrednosti dobljenih potencialov nekoliko variirajo. Reakcija oksidacije  $\text{Sb}$  (III) v  $\text{Sb}$  (V) s  $\text{KBrO}_3$  poteka namreč pri sobni temperaturi zelo počasi in se potencial vzpostavlja po vsakem dodatku tudi po 10 minut, kar zelo podaljša čas titracije in zmanjšuje točnost meritev. Če hitro titriramo, dobimo prenizke rezultate, in sicer tem nižje, čim manjša je koncentracija  $\text{Sb}$ . Čas vzpostavljanja potenciala je namreč obratno sorazmeren koncentraciji  $\text{Sb}$ . Pri koncentracijah antimona pod 1 mg se lahko zgodi, da ga pri titraciji, posebno v prisotnosti arzena, sploh ne zaznamo. Zato tudi pri določevanju  $\text{Sb}$  titrirajo pri zvišani temperaturi, in sicer pri  $60^\circ\text{C}$ . Tudi naši poizkusi so pokazali, da poteka titracija  $\text{Sb}$  (III) pri  $60^\circ\text{C}$  hitro in točno. Dobljene vrednosti za ustrezne potenciale so točne in tudi preskok je jasen in dovolj velik, kar je razvidno iz tabele št. 5 in slike št. 2.

Iz gornjega je jasno, da bomo v mešanici  $\text{As}$  (III) +  $\text{Sb}$  (III) titrirali njuno vsoto. Če bomo hoteli titrirati hitro in točno, bomo morali titrirati pri  $60^\circ\text{C}$ . Zaradi tega je bilo potrebno poizkusiti tudi titracijo As (III) pri  $60^\circ\text{C}$ . Poizkusi so pokazali, da poteka titracija prav tako dobro in z isto natančnostjo kot pri sobni temperaturi. Zaradi tega tudi ne navajamo podrobnih rezultatov. S tem imamo obenem tudi metodo za kontrolo količin  $\text{Sb}$ , ki nam bo potrebna pri preizkusih destilacije  $\text{Sb}$  ter mešanice As in  $\text{Sb}$ .

Za kvantitativno ugotovitev količin antimona, ki sodestilira pri pogojih destilacije arzena, smo napravili dve seriji poizkusov: v prvi seriji smo pod pogoji, navedenimi pri destilaciji arzena destilirali 1 do 5 mg samega antimona in v destilatu določili antimon s titracijo pri  $60^\circ\text{C}$ ; v drugi seriji smo napravili isti poizkus, samo da smo pri tem predestilirali tudi 1 mg As. Rezultati so razvidni iz tabele št. 6 in diagrama na sliki 3, ter tabele 7 in diagrama na sliki 4.

Tabela št. 4

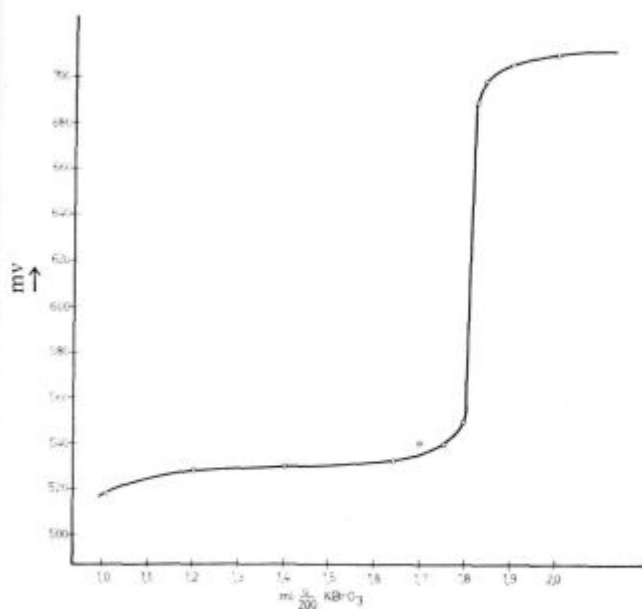
Formula	Mol. teža	Kristal	Spec. teža	Tal. °C	Vrel. °C	Topnost v mrzli vodi	Obstojen	Topen v topli vodi	Topen v
SbCl <sub>3</sub>	228,13	brezbarvni romb kristali		73,4	223	v 100 ml 601,6 pri 0° C—80° C neskon. topen			v alk., HCl vin. kisl. CS <sub>2</sub>
SbCl <sub>5</sub>	299,05	tekoč ali monoklinski krist.	2,336 (tekoč.)	2,8	140	razpade		razp.	HCl, vinski kislini
AsCl <sub>3</sub>	181,28	oljna tekočina ali iglice	2,163 (tekoč.)	-18	130	razpade		razp.	HBr, HCl, PCl <sub>3</sub> , alk., etru
AsCl <sub>5</sub>	252,20	brezbarvni		-40				obst. vp. hidro.	
SnCl <sub>2</sub>	189,61	svetli romb. kristali	3,393	246	623	83,9 g in razpade		269,8 g razp.	alk., et., aceton, piridinu, etil-met. acet.
SnCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	225,65	svetli monoklinski krist.	2,710	37,7		118,7 g		nesk. t. razp.	alk., et., aceton, led. ocet.
SnCl <sub>4</sub>	260,53	brezbarv. razt.	2,232	-33	114	topen	razp.		etru
SnCl <sub>4</sub> · 3H <sub>2</sub> O	314,58	monoklinski kr.		80		topen	64—83		
SnCl <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	332,59	moten				topen	56—63		
SnCl <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	350,61	monoklinski kr.				topen	19—56		

Tabela št. 5

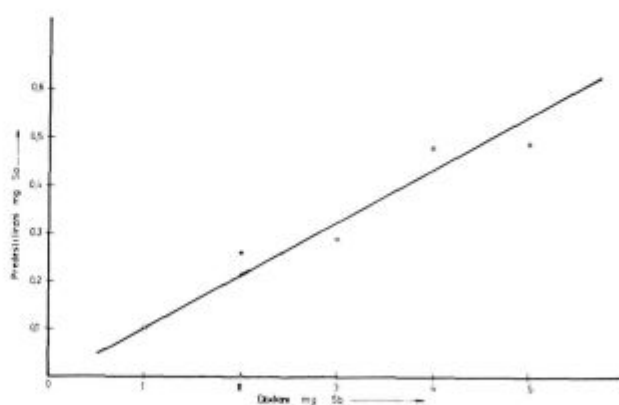
ml raztopine standarda	mg Sb	dobljene vrednosti Sb v mg	Δ mg
2	1	1.003	+ 0.003
1	0.5	0.4995	- 0.0005
1	0.5	0.5008	+ 0.0008
2	1	1.0025	+ 0.0025

Tabela št. 6

Dodani Sb v mg	Predestilirani Sb v mg	Predestilirani Sb v %
1	0.105	10.5
2	0.26	13.0
3	0.29	9.6
4	0.48	12.4
5	0.49	9.8



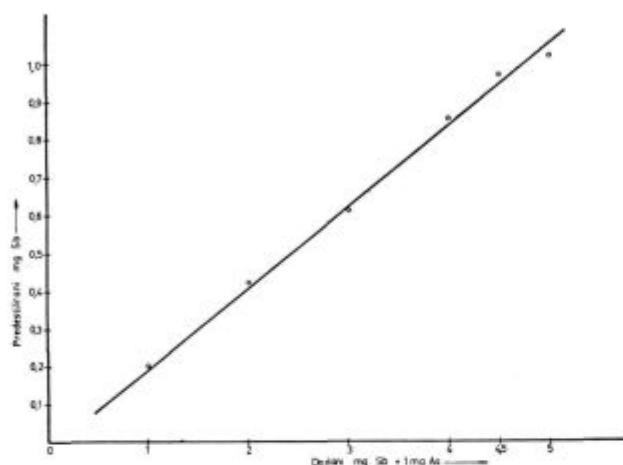
Slika 2



Slika 3

Tabela št. 7

Dodani Sb v mg + 1 mg As	Predestilirani Sb v mg	Predestilirani Sb v %
5	1.02	20.4
2	0.42	21.0
3	0.61	20.3
4	0.85	21.4
4.5	0.97	21.5
1	0.20	20.0



Slika 4

Iz prve tabele in diagrama je razvidno, da pri pogojih destilacije arzena destilira okrog 10% antimona. Ta količina je precej nekonstantna ter kaže, da ni odvisna od količine antimona. Iz druge tabele in diagrama pa razberemo, da se je pri skupni destilaciji antimona in 1 mg arzena povečala količina antimona v destilatu na dvojno količino, t. j. okrog 20%. Količina predestilirane antimona v prisotnosti arzena je tudi znatno konstantnejša kot v prvi seriji poizkusov in tudi ni odvisna od količine antimona. Druga serija poizkusov pa nam kaže tudi zanimivo ugotovitev, da je količina predestilirane antimona verjetno odvisna od količine prisotnega arzena. Iz tabele 7 vidimo, da je procent predestilirane antimona sicer višji, toda neodvisen od razmerja As : Sb v območju 1 : 5 do 1 : 1. Tu je vpliv arzena na destilacijo antimona konstanten. Postavlja se vprašanje, kakšen je ta vpliv pri večjih vrednostih razmerja As : Sb.

Da bi ugotovili zgoraj omenjeni vpliv na destilacijo antimona, smo napravili serijo poizkusov z destilacijo 1 mg antimona v prisotnosti 2 do 5 mg arzena. Rezultate prikazuje tabela št. 8.

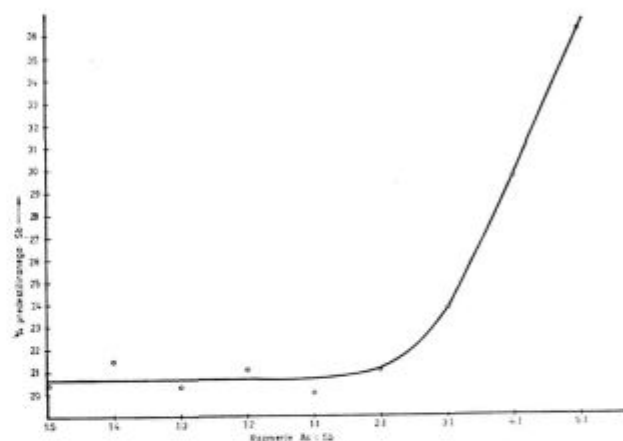
Rezultati iz tabele 7 in 8 so združeno prikazani na diagramu (slika 5). Ta diagram približno prikazuje odvisnost količine predestilirane antimona od razmerja As : Sb. Vrednosti niso zelo točne zaradi močne odvisnosti od pogojev destilacije in sorazmerno majhnih količin antimona. Iz diagrama vidimo, da je vpliv arzena na destilacijo anti-

mona konstanten nekako do razmerja As : Sb = 2 : 1, proti večjim vrednostim razmerja pa procent sodestilirane antimona postopoma narašča.

Če pregledamo celotno poglavje o določevanju arzena poleg antimona z destilacijo pri 135°C in potenciometrično titracijo s  $KBrO_3$ , pridemo do naslednjih zaključkov:

Tabela št. 8

Dodani As v mg + 1 mg Sb	Predestilirani Sb v mg	Predestilirani Sb v %
2	0.21	21.0
3	0.238	23.8
4	0.296	29.6
5	0.362	36.2



Slika 5

— Pri destilaciji arzena sodestilira vedno tudi nekaj antimona. Količina antimona, ki sodestilira, ni dovolj reproducibla. Poleg tega je deloma odvisna od razmerja As : Sb. Od razmerja 1 : 5 do 2 : 1 se predestilira okrog 20% antimona, do razmerja 5 : 1 pa naraste ta količina skoraj na dvojno. Antimon bo torej motil določevanje arzena, tudi če ga je manj kot arzena.

— Predestilirani antimon moti potenciometrično titracijo arzena in ga zaradi premajhne razlike v potencialih ne moremo ločiti z dvojnimi skokom potenciala. Veliko manjša hitrost oksidacije Sb (III) pri sobni temperaturi nam sicer omogoča delno izključitev njegovega vpliva pri hitri titraciji arzena, vendar pri tem tako močno pade natančnost določitve arzena, da ni več uporabna za arbitražne določitve.

— Pri določevanju v kompliciranih raztopinah jekla pa bodo ti vplivi in odvisnosti še mnogo večje in še bolj nekonstantne, iz česar jasno sledi, da je treba za arbitražno določevanje najti druge pogoje destilacije, ki bi omogočili kvantitativnejšo ločitev As in Sb.

## DESTILACIJA ARZENA PRI NIŽJI TEMPERATURI

Za ločitev arzena in antimona pri danem redu velikosti moramo ostati pri destilaciji, ker je kljub vsemu to najugodnejša metoda. Da pa bi dosegli kvantitativnejšo ločitev arzena in antimona, je že avtor prvotne metode H. Ploum predlagal, da bi destilacijo končali pri nižji temperaturi, in sicer pri 120° C. Pri tej temperaturi se parni tlak antimona že močno zmanjša in je njegova sodestilacija zelo malo verjetna. Da pa bi pospešili kvantitativnost tvorbe AsCl<sub>3</sub> in s tem vplivali na kvantitativnost destilacije samega arzena, moramo dodati večje količine solne kisline. Dodatek solne kisline zato povečamo od prvotnih 10 ml na 50 ml.

Pri novih pogojih moramo zopet najprej ugotoviti kvantitativnost destilacije arzena. V ta namen smo pri novih pogojih, ki so navedeni v tabeli št. 9, destilirali različne količine As in določili predestilirano količino arzena z nam že znano potenciometrično titracijo s KBrO<sub>3</sub>. Rezultati teh poizkusov so zbrani v zgoraj omenjeni tabeli. Navedene vrednosti so srednja vrednost štirih paralelk. Paralelke se razlikujejo med seboj največ za 0,3 %. Določen je tudi slepi poizkus, ki pade v velikost napake in ga nadalje nismo upoštevali. Tabela jasno kaže, da se tudi pri 120° C arzen kvantitativno destilira in da znaša povprečno odstopanje okrog 0,5 %. Če primerjamo to vrednost z enakimi poizkusi pri 135° C (glej tabelo št. 3), vidimo, da je reproducibilnost celo več kot dvakrat boljša.

Naslednja ugotovitev, ki je bila potrebna, je bila namenjena vprašanju, kako se v teh pogojih obnaša sam antimon. V ta namen smo predestilirali 1—5 mg Sb. Rezultate prikazuje tabela 10. Vrednosti v tabelah nam potrjujejo, da se pri 120° C antimon praktično ne destilira, saj padejo odstopanja v red velikosti odstopanj samih meritev.

Tabela št. 9

Dodani As v mg	Fe v g	HCl v ml pred destil.	Končna temperatura destilacije	Dobljene vrednosti za As v mg	$\Delta$ mg	$\Delta$ %
0	3	50	120°	0,0014	0,0014	0,2
1	3	50	120	1,001	0,001	0,1
2	3	50	120	2,010	0,01	0,5
3	3	50	120	3,020	0,02	0,7
4	3	50	120	4,015	0,015	0,4
5	3	50	120	5,060	0,060	1,0

Tabela št. 11

Dodani As v mg	Dodani Sb v mg	HCl v ml pred destil.	Končna temperatura destilacije	Dobljene vrednosti za As v mg	$\Delta$ mg	$\Delta$ %
0	0	50	120°	0,0014	0,0014	0,2
5	1	50	120	5,010	0,010	0,2
5	2	50	120	5,015	0,015	0,3
5	3,5	50	120	5,025	0,025	0,5
5	5	50	120	5,050	0,050	1,0

Tabela št. 10

Dodani Sb v mg	Fe v g	HCl v ml pred destil.	Končna temperatura destilacije	Dobljene vrednosti za Sb v mg	$\Delta$ mg	$\Delta$ %
0	3	50	120°	0,0014	0,0014	0,2
1	3	50	120	0,0018	0,0018	0,2
2	3	50	120	0,0026	0,0026	0,1
3,5	3	50	120	0,0014	0,0014	0,1
5	3	50	120	0,0020	0,0020	0,1

Ker smo pri destilaciji pri 135° C ugotovili, da je količina sodestiliranega antimona odvisna od razmerja As : Sb, smo tudi tu poizkusili določiti vpliv arzena na sodestilacijo antimona. Delali smo samo v območju razmerja 1 : 1 do 5 : 1, ker je bila odvisnost tu največja. Destilirali smo po 5 mg arzena v prisotnosti 1 do 5 mg antimona. Rezultate prikazuje tabela št. 11. Tu je sicer opazno malenkostno dviganje rezultatov v smeri večjih količin antimona, ki pa je znatno manjše od dopustnih odstopanj pri arbitražnem določevanju arzena in je lahko povsem slučajno. Dobljene vrednosti so srednje vrednosti štirih paralelk.

Na podlagi poizkusov destilacije pri 120° C in dodatka 50 ml solne kisline pridemo do naslednjih zaključkov:

— Destilacija arzena pri teh pogojih je kvantitativna in poteka enako hitro, kot destilacija pri 135° C. Možno je doseči celo boljšo reproducibilnost.

— Pri danih pogojih destilacije se antimon praktično ne destilira, tudi če ga je petkrat manj kot arzena. Pri nižjih razmerjih pa itak vidimo iz prejšnje tabele št. 10, da sam antimon praktično ne destilira.

— Destilacijo je mogoče izvesti zelo natančno in z veliko reproducibilnostjo, iz česar lahko sklepamo, da je metoda uporabna za arbitražno določevanje arzena v jeklu.

## DOLOČEVANJE ARZENA V NIZKO LEGIRANIH JEKLIH

Za določevanje arzena v nizko legiranih jeklih smo si izbrali navadno ogljično jeklo približno sledeče sestave:

C	Mn	Si	P
0,60	0,60	0,25	0,040

V odvisnosti od procenta arzena vzamemo različne zatehte, ki jih topimo v solitni kislini (1 + 1).

% As	Zatehta v g	HNO <sub>3</sub> (1 + 1) v ml
0,005—0,02	5	60
0,02 —0,05	3	40
0,05 —0,2	1	20

Probo zatehtamo v destilacijsko bučko. Kislino dodajamo po porcijah skozi majhen lijak, ki je na vrhu destilacijske bučke. V začetku hladimo, da ne pride do preveč burne reakcije, nato segrevamo. Ohladimo, dodamo vrele kroglice in 15 ml mešanice H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> in zmešamo. Segrevamo skoraj do vrenja in razkrojimo HNO<sub>3</sub> z dodatkom mravljinčne kisline po kapljicah, ker je reakcija burna. Razkroj nitrata je končan, ko prenehajo izhajati rjave nitrozne pare. Bučko odstavimo, kakor hitro ni več NO<sub>2</sub> par.

Ohladimo do 30° C, dodamo 10 ml ZnCl<sub>2</sub>, 50 ml HCl (1,19) in speremo lij in obrus z najmanjšo možno količino vode. Nato dodamo 1 g KBr in 1 g hidracinsulfata na 1 g zatehte. Sestavimo aparaturo. Obruse namažemo z 2—3 kapljicami H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (1,7), da lahko takoj po destilaciji aparaturo razstavimo, v nasprotnem primeru moramo čakati, da se ohladi do sobne temperature. V predložko damo 10 ml H<sub>2</sub>O, tako da lijak sega v tekočino, vključimo hladilno vodo. Čaša, v kateri je predložka, je do polovice napolnjena z vodo. Vključimo grelec in destiliramo. Destilacija je končana, ko doseže temperatura 120° C. Izključimo grelec in razstavimo obrus, ki spaja hladilnik in pretočno cev, tako da lahko pride zrak v bučo. Speremo hladilnik in lijak z vodo in odstavimo predložko. Pred vsako uporabo speremo hladilnik s kromžvepleno kislino. Destilat titriramo s KBrO<sub>3</sub>. Rezultate izračunamo po sledeči formuli:

$$\% \text{ As} = \frac{f \cdot b \cdot 100}{E}$$

f = titer raztopine KBrO<sub>3</sub>

b = poraba KBrO<sub>3</sub> v ml

E = zatehta

Tabela št. 12 nam prikazuje rezultate, dobljene pri tem postopku. Da bi ugotovili reproducibilnost postopka, smo napravili deset paralelnih določitev As v enem samem vzorcu kvalitete C-60. Rezultate prikazuje tabela št. 12.

Če analiziramo podatke v tabeli, vidimo, da je povprečni rezultat desetih določitev 0,025<sub>8</sub> % As; največja razlika je 0,0014 %, kar je 5,4 % od dob-

ljene povprečne vrednosti. Reproducibilnost rezultatov se torej giblje v območju ± 2,7 %, kar je izredno dobro.

Najboljši vpogled v reproducibilnost pa nam daje srednje odstopanje srednje vrednosti σ, ki znaša v danem primeru ± 0,0005 %. Reproducibilnost je torej odlična.

Tabela št. 12

Zap. št.	Štev. vzorca	Kvaliteta	Zatehta v g	ml HCl pred destilacijo	Končna temp. dest. °C	% As
1	60	C-60	3	50	120	0,025 <sub>5</sub>
2	60	C-60	3	50	120	0,025 <sub>9</sub>
3	60	C-60	3	50	120	0,026 <sub>6</sub>
4	60	C-60	3	50	120	0,025 <sub>5</sub>
5	60	C-60	3	50	120	0,026 <sub>8</sub>
6	60	C-60	3	50	120	0,026 <sub>0</sub>
7	60	C-60	3	50	120	0,025 <sub>5</sub>
8	60	C-60	3	50	120	0,025 <sub>4</sub>
9	60	C-60	3	50	120	0,025 <sub>5</sub>
10	60	C-60	3	50	120	0,025 <sub>6</sub>
						0,258 : 10
						0,025 <sub>8</sub>

## DOLOČEVANJE ARZENA V VISOKO LEGIRANIH JEKLIH

Za določevanje arzena v srednje in visoko legiranih jeklih lahko uporabimo isti postopek destilacije in titracije. Težave nastanejo edino pri raztapljanju, ker ta jekla večinoma niso topna v solitni kislini in vsebujejo poleg najosnovnejših elementov še dodatke, kot so: molibden, krom, vanadij, volfram, kobalt itd. Ker moramo iz znanih razlogov uporabljati oksidacijsko topilo, pride v poštev le mešanica HCl in KClO<sub>3</sub> ali pa zlatotopka. Za večino legiranih jekel se je kot zelo dobro pokazala zlatotopka, ki smo jo uporabljali pri vseh nadaljnjih raztapljanjih. Mešanico HCl in KClO<sub>3</sub> smo uporabljali le za nerjaveča jekla, ki so netopna v zlatotopki.

Zatehtamo v odvisnosti od vsebnosti arzena v destilacijsko bučko, dodamo po porcijah 75 ml zlatotopke in po potrebi tudi hladimo. Segrejemo skoraj do vrenja, pri tem pa moramo paziti, da ne ostanejo neraztopljeni karbidi. Eventualno nastala oborina volframove kisline v destilacijski bučki ne moti. Odstavimo, dodamo vrele kroglice in 15 ml mešanice H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Kuhamo, da izženemo ves klor. Nato z dodatkom mravljinčne kisline uničimo prebitno HNO<sub>3</sub> in postopamo tako kot pri postopku za nizko legirana jekla. Prav tako se tudi pri nadaljnjem delu in pri dodatku reagentov poslužujemo pravila in postopka za nizko legirana jekla.

Za določitev reproducibilnosti smo določili arzen desetkrat v istem vzorcu, enako kot pri nizko legiranih jeklih. Tokrat smo izbrali vzorec brzoreznega jekla BRC s približno sledečo sestavo:

Tabela št. 13

Zap. št.	Št. vzorca	Kvaliteta	Zatehta v g	ml HCl oflacijski -op para	temp. dest. — °C	% As
1	36	BRC	3	50	120	0,030 <sub>7</sub>
2	36	BRC	3	50	120	0,029 <sub>4</sub>
3	36	BRC	3	50	120	0,030 <sub>3</sub>
4	36	BRC	3	50	120	0,029 <sub>2</sub>
5	36	BRC	3	50	120	0,028 <sub>9</sub>
6	36	BRC	3	50	120	0,029 <sub>5</sub>
7	36	BRC	3	50	120	0,028 <sub>7</sub>
8	36	BRC	3	50	120	0,029 <sub>1</sub>
9	36	BRC	3	50	120	0,029 <sub>2</sub>
10	36	BRC	3	50	120	0,029 <sub>1</sub>
						0,294 : 10
						0,029 <sub>4</sub>

C	Si	Mn	P + S	Cr	W	Mo	V	Co
0,75	0,25	0,30	0,040	4,50	18,50	0,75	1,60	5,0

Pripomniti moramo, da je v tem pogledu to ena izmed analitsko najtežjih kvalit. Rezultati, dobljeni pri tej kvaliteti, so razvidni iz tabele št. 13.

Iz tabele je razvidno, da je poprečni rezultat desetih določitev 0,029<sub>4</sub> % As, največja razlika je 0,002 %, kar je 6,8 % od dobljene poprečne vrednosti. Reproducibilnost rezultatov se torej giblje v območju ± 3,4 %, kar je malenkost slabše od rezultatov, dobljenih pri nizko legiranih jeklih. Še natančneje vidimo to iz srednjega odstopanja srednje vrednosti, ki je v tem primeru  $\sigma = \pm 0,0006$  %.

### ZUSAMMENFASSUNG

Bei Einführung der Destillationsmethode zur Arsenbestimmung im Stahl nach H. Ploum untersuchten wir den Einfluss von Antimon auf die Bestimmung und die Destillation von Arsen in Anwesenheit von Antimon bei Temperaturen von 135° und 120° C. Wir bestimmten den Bereich der Verhältnisse AS — Sb, in welchen Antimon in Bezug auf die Genauigkeit der Bestimmung nicht stört.

Die Methode gab sehr gute Resultate, was aus der gewonnenen  $\sigma$  ersichtlich ist, die sich zwischen 0,0005 bis 0,001 % bewegt und ist für Arbitragebestimmung von Arsen in unlegierten, niedriglegierten und hochlegierten Stählen verwendbar ist.

### SUMMARY

In applying the distillation method for As determination in steel after H. Ploum, the influence of Sb upon the determination and the distillation at 135° and 120° C in presence of Sb was investigated. The range of the ratio As-Sb was determined where Sb does not interfere with respect to the accuracy of determination.

Using this method good results were obtained as shown by  $\sigma$  which varies from 0,0005 to 0,001 % at the normal level of As concentration in steel. The method can be used for arbitral determinations in plain, low alloyed and high alloyed steels.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработке дистилляционного метода определения As в стали по Ploum-у испытано влияние Sb на определение и дистилляцию As при темп. 120—135°. Определён интервал соотношения As-Sb в котором Sb не влияет на точность определения

As. Метод дал очень хорошие результаты; ошибка находится в пределах 0,0005—0,001 %, т. е. применим для арбитражного анализа определения As в нелегированной, низко-высоколегированной стали.

Imate težave zaradi nizke storilnosti  
vaših obdelovalnih strojev

*svetujemo vam -*  
uporablajte

## AVTOMATSKA JEKLA

Jeklo z visokim indeksom  
obdelovalnosti Č 3990

Jekla za cementacijo  
Č 1190  
Č 1290

Nerjaveča jekla  
avstenitno Č 4590  
feritno Č 4790  
martenzitno Č 4791

Jeklo za poboljšanje  
Č 1490  
Č 1590

VELIK IZBOR IN VISOKA KVALITETA  
avtomatskih jekel proizvodnje  
**ŽELEZARNE JESENICE**  
zadovoljuje še tako zahtevnega potrošnika



# ŽELEZARNA JESENICE

## Uporaba fotoelektričnega stilometra FES-1 pri analizi izdelkov črne metalurgije

Na osnovi analitskih potreb smo v delo kemičnega laboratorija uvedli spektralno analizo na fotoelektričnem stilometru FES-1. Fotoelektrični stilometer FES-1 je uporaben za hitre kvantitativne analize kovin, posebno v času izdelave šarž. Aparat ima dva kanala in sicer kanal analitske spektralne črte in kanal nerazklonjene svetlobe.

V članku je kratek opis stilometra, pogoji za določanje posameznih elementov in prikazane so umeritvene krivulje. Navedeni so elementi, ki jih je na fotoelektričnem stilometru možno določati. Kratek pregled rezultatov kaže, da je fotoelektrični stilometer uporaben za analizo jekla, litine in surovega železa na elemente: Mn, V, Mo, Mg, Si, Cr.

### UVOD

Zelja po hitrejši kemični analizi, toda ne na račun točnosti, je v laboratorijih razširila uporabo fizikalnih metod za določevanje elementov. Spektralna analiza je rešila problem hitrega analiziranja v obliki modernih kvantometrov, ki pa so ekonomični le v velikih jeklarnah, livarnah in

jeklolivarnah. V manjših tovarnah z manjšim številom analiz kvantometri ne bi bili izkoriščeni. Prednost ima v tem primeru ruski fotoelektrični stilometer FES-1. Služi za določevanje enega elementa, določevanje več elementov izvedemo postopoma, enega za drugim. Določevanje enega elementa traja nekaj minut.

S fotoelektričnim stilometrom lahko določimo naslednje elemente:

Kot je iz tabele razvidno, lahko določamo na fotoelektričnem stilometru elemente le v vidnem delu spektra. Elementi katerih analitske spektralne črte so v bližnjem ultravijoličnem področju, kot so Si 3905,53 Å, Ca 3968,5 Å, Al 4961,5 Å, predstavljajo težji problem, kajti spektralne črte je treba vizuelno privedi na izhodno odprtino. Obstaja tudi možnost fotoelektričnega dovoda črt na izhodno režo, vendar ta način zahteva precej časa in občutljiv galvanometer, poleg tega pa mora biti instrument opremljen s fotopomnoževalkami in ne s fotoelementi, kot običajno.

Element	Valovna dolžina	Koncentracijsko območje
krom	Cr 5204,52 + 5206,04 Å	od 0,03 % Cr—4,25 % Cr
volfram	Cr 4371,3 Å	od 2,0 % Cr—10 % Cr
	Cr 5345,81 + 5348,32 Å	od 10 % Cr—23 % Cr
vanadij	W 4008,75 Å	od 0,05 % W—3 % W
	W 4659,87 Å	od 5,0 % W—19 % W
titan	V 4379,24 Å	od 0,02 % V—1,2 % V
	V 4111,78 Å	od 0,5 % V—2,0 % V
	Ti 4999,51 Å	od 0,07 % Ti—0,60 % Ti
	Ti 4533,24 Å	od 0,05 % Ti—1,0 % Ti
	Ti 4681,90 Å	od 0,2 % Ti—1,0 % Ti
mangan	Mn 4823,52 Å	od 0,15 % Mn—3,0 % Mn
	Mn 4030,75 + 4033,07 + + 4034,49 Å	od 0,02 % Mn—0,5 % Mn
molibden	Mo 5533,05 Å	od 0,07 % Mo—1,0 % Mo
cirkon	Zr 4815,6 Å	od 0,2 % Zr—1,0 % Zr
niob	Nb 4058,9 Å	od 0,3 % Nb—1,0 % Nb
aluminij	Al 3961,5 Å	od 0,05 % Al—2,0 % Al
silicij	Si 3905,53 Å	od 0,3 % Si—5,2 % Si
kobalt	Co 4771,1 Å	od 45,0 % Co—55,0 % Co
kalcij	Ca 3968,5 Å	od 0,02 % Ca—0,3 % Ca
natrij	Na 5859,9 Å	od 0,02 % Na—0,5 % Na
baker	Cu 5218,2 Å	od 0,07 % Cu—0,7 % Cu

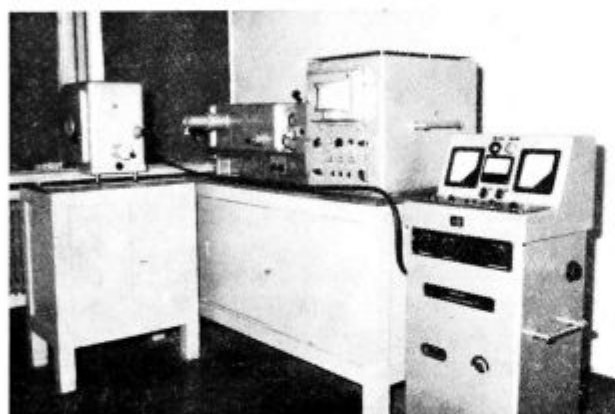


## OPIS INSTRUMENTA

Predhodniki stilometrov so stiloskopi, kjer z očesom registriramo jakost spektralnih črt. Stiloskopi imajo iste sestavne elemente kot spektrografi, seveda s to razliko, da so omejeni le na vidni del elektromagnetnega spektra in da je njihova konstrukcija prilagojena sposobnostim očesa.

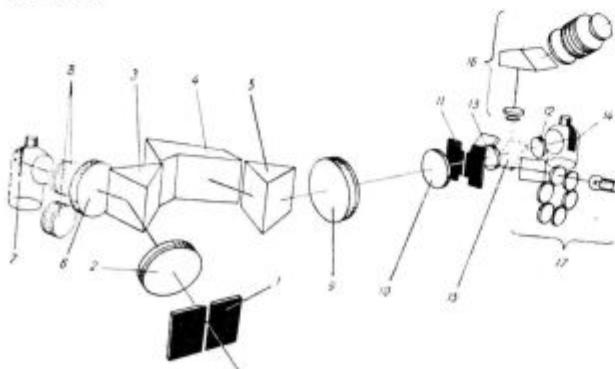
Stilometri pa imajo fotoelektrično instalacijo in lahko z njimi izvedemo kvantitativno analizo, ki po točnosti ne zaostaja za spektrografsko analizo.

Glavni deli ruskega stilometra FES-1 so: tiranski generator GEU-1, prostor za vzbujanje vzorcev ST-16, spektrometer s stekleno optiko ISP-67, z regulacijo vstopne in izstopne reže in elektronska pokazalna naprava EPS-154.



Slika 1  
Fotoelektrični stilometer FES-1

Aparat meri razmerje med intenziteto spektralne črte analiziranega elementa in intenziteto žarka nerazklonjene svetlobe. To razmerje je funkcija koncentracije analiziranega elementa in ga odčitamo na skali potenciometra. Merjenje je od vključitve generatorja do odčitavanja rezultata avtomatizirano.



Slika 2  
Optična shema stilometra

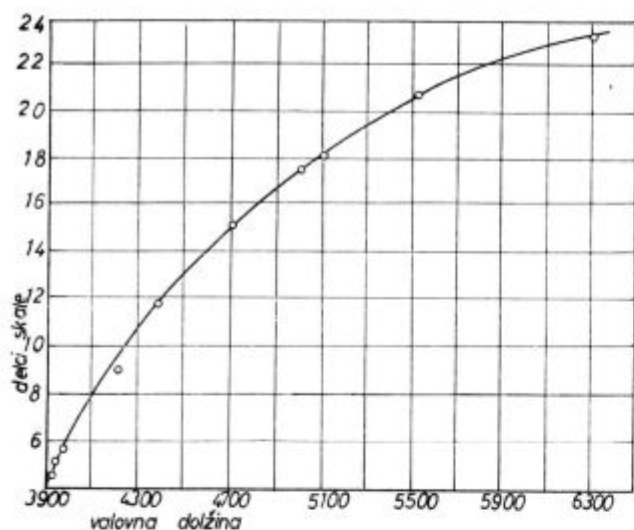
Svetloba gre od izvora skozi kondenzor na vstopno režo (1) in objektiv (2) vstopnega kolimatorja, nato pa na disperzni sistem, ki se sestoji iz prizem (3, 4 in 5). Svetlobni žarek, ki se odbije od površine prizme (3), usmeri zbiralna leča (6) na katodo fotoelementa (7) v kanalu nerazklonjene svetlobe. Sistem prizem razkloni žarek bele svetlobe v spekter, izbrano spektralno črto pa usmeri mehanizem za premikanje prizem na izstopno režo (11). Objektiv izhodnega kolimatorja, sestavljen iz leč (9 in 10), fokusira spekter v ravnino izhodne reže (11). Leča 9 je nepremična, leča 10 pa se premika s pomočjo mehanizma za premikanje prizem. Tako se avtomatsko izvede fokusiranje za svetlobe različnih valovnih dolžin. Ko svetloba spektralne črte pride skozi izhodno režo (11), se fokusira z lečami (12 in 13) na katodo fotoelementa (14) v kanalu analitske črte. Za izhodno režo je nameščeno premično zrcalo (15), ki usmeri spekter v opazovalni mikroskop (16) z 20-kratno povečavo. Za lažjo namestitev analitske črte na sredino izhodne reže je reža neposredno ali skozi filtre (17) osvetljena z žarnico.

Kot sprejemniki svetlobne energije služijo antimon-cezijevi fotoelementi. Predvidena je tudi možnost prehoda na antimon-cezijeve fotopomnoževalke. Blok avtomatike zagotavlja avtomatski potek meritve. Merski sistem je prirejen tako, da lahko merimo posebej napetost na kondenzatorju nerazklonjene svetlobe in na kondenzatorju analitske črte. Merjenje svetlobnega toka nerazklonjenega žarka, ki se odbije od prednje ploskve prizme, in merjenje svetlobnega toka analitske črte ima pred kvantometrom določeno prednost. Večina kvantometrov uporablja kot primerjalni standard spektralno črto osnovne kovine. V stilometru FES-1 je to enostavneje, ker kot primerjalni standard služi žarek nerazklonjene svetlobe, zato ima različna sestava manjši vpliv na točnost analize.

Elektronski generator tipa GEU-1 nam omogoči visoko stabilnost impulzov loka in stabilnost energije nakopičene na kondenzatorjih pri uporabi iskre. Intenziteto električnega loka lahko reguliramo v mejah od 1,5—9,5 A.

Držali za elektrodo in vzorec lahko premikamo v vse tri smeri. Razdaljo med elektrodo in vzorcem lahko točno nastavimo s pomočjo mikrometrskega vijaka in signalne luči, ki registrira stik elektrode in vzorca, in sicer do  $\pm 0,02$  mm natančno.

Analitsko črto nastavimo na izhodno odprtino s premikanjem sistema prizem s pomočjo mikrometrskega vijaka. Za vsak inštrument je treba narediti krivuljo odvisnosti delcev mikrometrskega vijaka in valovne dolžine spektralnih črt privedenih na sredino izhodne reže. Odvisnost delcev skale mikrometrskega vijaka od valovnih dolžin posameznih črt je prikazana na sliki 3.



Slika 3  
Disperzijska krivulja stilometra

Pred izdelavo umeritvenih krivulj smo inštrument preizkusili z izvorom konstantne svetlobe, da bi ugotovili njegovo fotoelektrično reproduktivnost. Odstopanje od srednje vrednosti »n« meritev je bilo 0,1 delca skale. Pri vključenem generatorju in iskrišču pa je odstopanje od srednje vrednosti »n« meritev naraslo na 0,3 delca skale. Meritve smo izvedli na vzorcu nelegiranega jekla pod naslednjimi pogoji:  $T = 23^{\circ}\text{C}$ , relativna vlaga = 71 %,  $I = 3\text{ A}$ ,  $R_v = 0,030\text{ mm}$ ,  $R_{iz} = 0,080\text{ mm}$ ,  $S_n = 20 : 1$ ,  $S_{iz} = 5 : 1$ ,  $S_z = 60$ ,  $t = 10\text{ sek}$ .  $\lambda = \text{Fe } 4957,6\text{ \AA}$ .

- $I$  = jakost električnega toka
- $R_v$  = velikost vhodne reže
- $R_{iz}$  = velikost izstopne reže
- $S_n$  = občutljivost v kanalu nerazklonjene svetlobe
- $S_{iz}$  = občutljivost v kanalu analitske črte
- $S_z$  = mejna vrednost signala v kanalu nerazklonjene svetlobe

### IZDELAVA UMERITVENIH KRIVULJ IN DOLOČEVANJE POSAMEZNIH ELEMENTOV

Pri analizi posameznih elementov na fotoelektričnem stilometru predstavlja določeno težavo iskanje ustreznih spektralnih črt in priprava standardov z različno vsebnostjo preiskovanega elementa. Standarde je najbolje pripraviti iz materiala, ki ga nameravamo pozneje redno preiskovati, lahko pa si jih pripravimo tudi v manjšem agregatu.

Glede na količino določenega elementa in intenziteto uporabljene spektralne črte si na stilometru s poskusom izberemo ustrezne parametre: jakost toka ( $I$ ), velikost vhodne in izhodne reže ( $R_v$  in  $R_{iz}$ ), občutljivost v kanalu nerazklonjene svetlobe ( $S_n$ ), občutljivost v kanalu analitske črte ( $S_{iz}$ ), velikost mejnega signala v kanalu nerazklonjene svetlobe ( $S_z$ ), čas vzbujanja in čas ekspozicije.

Točna nastavitvev analitske spektralne črte na sredino izhodne reže je precej nesigurna, če uporabimo vzorec z nizko vsebnostjo preiskovanega elementa. Zato je priporočljivo vzbujati ferolegure ali čiste kovine. Posbena pri iskanju črte Si 3905,5 Å je vzbujanje 90 % FeSi najenostavnejši način.

Za vzbujanje uporabljamo bakrene elektrode premera 6 mm, ki so na koncih konusne s konico v obliki polokroglice premera 2 mm. Zelo primerni so vzorci okrogle oblike premera 30 mm in višine 40 mm, ki jih ulijemo v bakreno kokilo. Površino vzorcev obrusimo na brusilnem stroju.

### Določevanje mangana

Določevanje mangana v jeklu, grodlju in litini je lahko izvedljivo in dovolj natančno. Določevanje lahko opravimo v širokem intervalu vsebnosti mangana. Hitro in natančno določanje mangana omogoča ugodna lega manganove črte Mn 4823,52 Å, v spektru železa. Najbolj občutljive črte mangana v vidnem delu spektra: Mn 4030,75 Å, Mn 4033,07 Å in Mn 4034,75 Å lahko uporabimo za določanje mangana od 0,02 % naprej, vendar določanje motijo črte železa. Črta Mn 4754,04 Å je primerna za določevanje mangana od 0,1 % naprej, črto Mn 4762,38 Å lahko uporabimo od 0,06 % mangana naprej, črto Mn 4823,52 Å pa s koncentracijo 0,15 % Mn.

Pogoji za določevanje mangana:  $T = 20^{\circ}\text{C}$ , relativna vlaga = 60–70 %,  $I = 3,5\text{ A}$ ,  $R_v = 0,020\text{ mm}$ ,  $R_{iz} = 0,120\text{ mm}$ ,  $S_n = 20 : 1$ ,  $S_{iz} = 2 : 1$ ,  $S_z = 60$ ,  $\lambda = \text{Mn } 4823,52\text{ \AA}$ , čas iskrenja = 10 sek.

### Podatki in umeritvena krivulja za določevanje mangana v jeklu

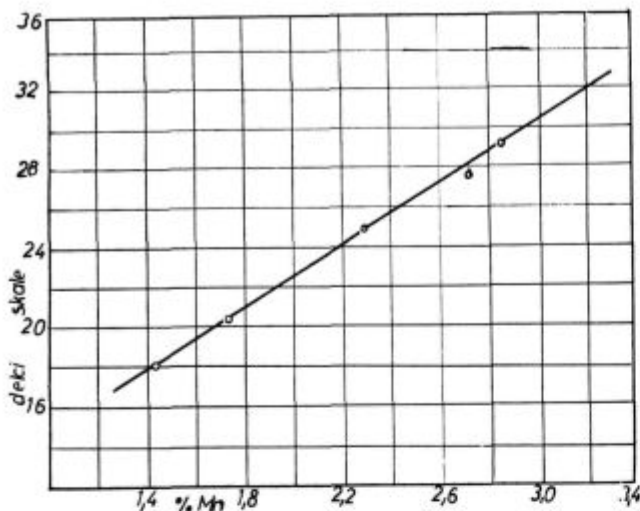
A	B	C	D	
			e	f
Mn 1	0,47	7,1	± 0,1	± 1,40
Mn 2	0,64	8,6	± 0,2	± 2,56
Mn 3	0,75	9,4	± 0,3	± 1,81
Mn 4	0,85	10,3	± 0,3	± 2,33
Mn 5	1,05	12,0	± 0,1	± 0,83

A = oznaka vzorca, B = % Mn v vzorcu, C = delci skale, D = relativno odstopanje od srednje vrednosti »n« meritev (e = delci skale, f = v %)

### Podatki in umeritvena krivulja za določevanje mangana v belem surovem železu

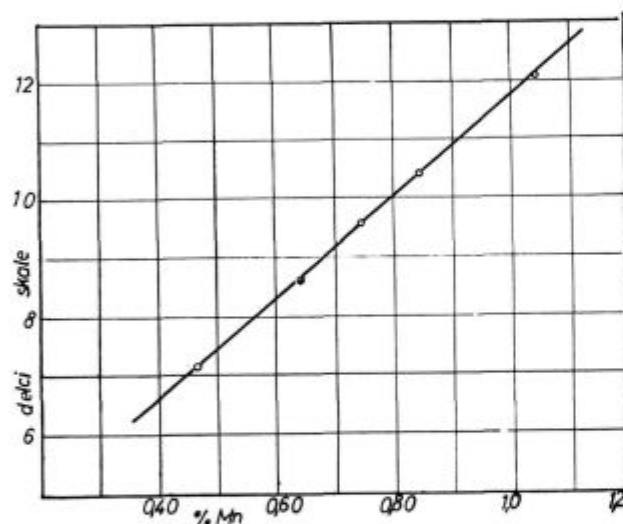
A	B	C	D	
			e	f
Mn 1	1,44	18,3	± 0,2	± 1,10
Mn 2	1,75	20,6	± 0,4	± 1,94
Mn 3	2,33	25,4	± 0,2	± 0,79
Mn 4	2,75	28,0	± 0,3	± 1,07
Mn 5	2,91	29,3	± 0,3	± 1,03

A = oznaka vzorca, B = % Mn v vzorcu, C = delci skale, D = relativno odstopanje posamezne meritve od srednje vrednosti »n« meritev (e = delci skale, f = v %)



Slika 4

Umeritvena krivulja za določevanje mangana v belem grodlju



Slika 5

Umeritvena krivulja za določevanje mangana v jeklu

### Določevanje kroma

Črta kroma, Cr 4254,35 Å, je dovolj občutljiva in jo lahko uporabimo za določevanje kroma od 0,01 % Cr naprej. Črta Cr 4274,80 Å je prav tako občutljiva že za koncentracije 0,01 % Cr, vendar določevanje na tej spektralni črti moti črta bakra Cu 4275,1 Å. Črta kroma, Cr 5204,52 Å in Cr 5206,04 Å, je prav tako možno uporabiti za analizo že pri 0,01 % Cr. Črto Cr 5208,44 Å pa moti črta železa Fe 5208,3 Å.

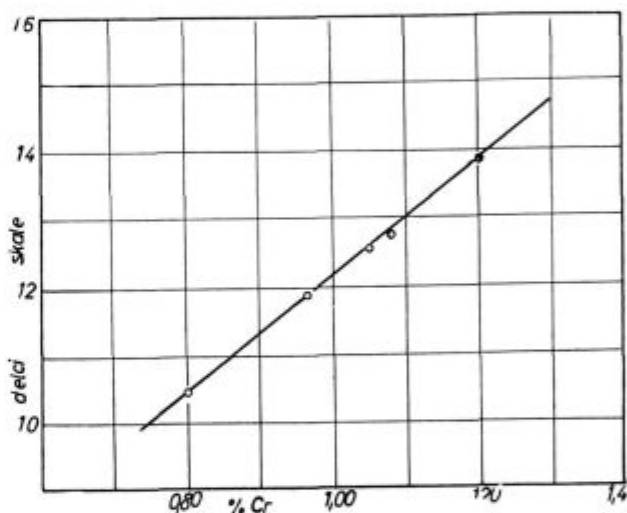
Za analizo smo izbrali črti Cr 5204,52 Å in 5206,04 Å, črto Cr 5208,44 Å smo iz tripleta izločili, ker jo moti črta železa in tako znižuje naklon umeritvene krivulje. Obe črti kroma sta močno intenzivni in njihova nastavitve na izhodno režo enostavna.

Pogoji za določevanje kroma:  $T = 20^{\circ}C$ , relativna vlaga = 60–70 %,  $I = 3,5 A$ ,  $R_v = 0,030 mm$ ,  $R_{iz} = 0,105 mm$ ,  $S_n = 20 : 1$ ,  $S_{iz} = 10 : 1$ ,  $S_z = 70$ ,  $\lambda = Cr\ 5204,52 \text{ \AA} + 5206,04 \text{ \AA}$ , čas iskrenja 10 sek.

Podatki in umeritvena krivulja za določevanje kroma v jeklu

A	B	C	D	
			e	f
Cr 1	0,80	10,4	$\pm 0,3$	$\pm 2,4$
Cr 2	0,97	11,9	$\pm 0,3$	$\pm 2,4$
Cr 3	1,05	12,6	$\pm 0,5$	$\pm 4,0$
Cr 4	1,08	12,8	$\pm 0,3$	$\pm 2,3$
Cr 5	1,20	13,9	$\pm 0,4$	$\pm 3,0$

A = oznaka vzorca, B = % Cr v vzorcu, C = delci skale, D = relativno odstopanje od srednje vrednosti »n« meritev (e = v delcih skale, f = v %)



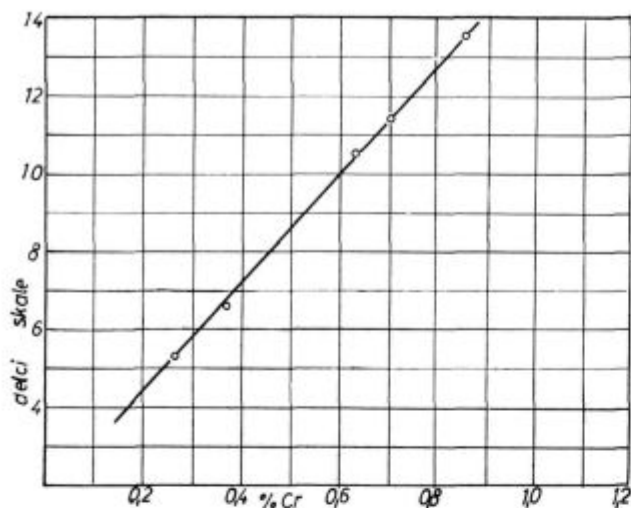
Slika 6

Umeritvena krivulja za določevanje kroma v jeklu

Podatki in umeritvena krivulja za določevanje kroma v litini

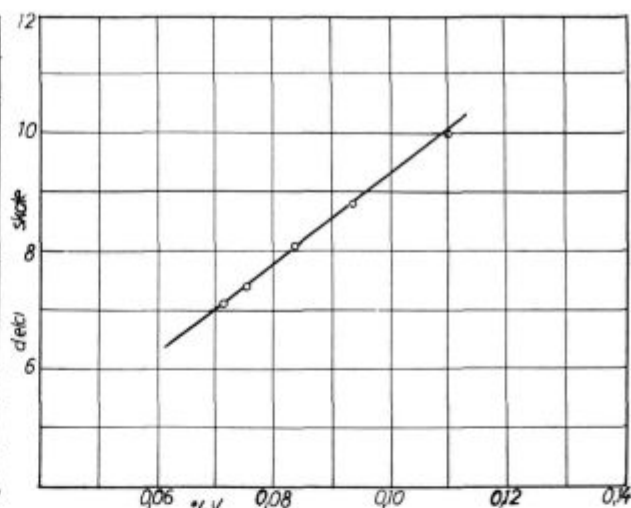
A	B	C	D	
			e	f
Cr 1	0,26	5,3	$\pm 0,2$	$\pm 3,3$
Cr 2	0,35	6,8	$\pm 0,2$	$\pm 2,6$
Cr 3	0,63	10,5	$\pm 0,3$	$\pm 3,0$
Cr 4	0,70	11,4	$\pm 0,2$	$\pm 2,0$
Cr 5	0,86	13,7	$\pm 0,3$	$\pm 2,2$

A = oznaka vzorca, B = % Cr v vzorcu, C = delci skale, D = relativno odstopanje od srednje vrednosti »n« meritev (e = v delcih skale, f = v %)



Slika 7

Umrežena krivulja za določanje kroma v litini



Slika 8

Umeritvena krivulja za določanje vanadija v jeklu

### Določevanje vanadija

Spektralne črte vanadija V 4111,78 Å in 4379,24 Å j omogoče uporabiti za določevanje vanadija od 0,01 % V naprej. Spektralno črto V 4395,23 Å pa od koncentracije 0,05 % V, vendar motita črta titana in slaba črta železa. Črti V 4384,72 Å in V 4389,97 Å ne moremo uporabiti kot analitski črti, ker jih motijo železove črte.

Za analizo smo izbrali črto V 4379,24 Å.

Pogoji za določevanje vanadija:  $T = 20 \pm 3^{\circ} \text{C}$ , relativna vlaga = 60–70 %,  $R_v = 0,020 \text{ mm}$ ,  $R_{iz} = 0,080 \text{ mm}$ ,  $S_n = 20 : 1$ ,  $S_{iz} = 2 : 1$ ,  $S_z = 80$ ,  $I = 4,0 \text{ A}$ ,  $\lambda = 4379,24 \text{ Å}$ , čas iskrenja = 10 sek.

Podatki in umeritvena krivulja za določevanje vanadija v jeklu

A	B	C	D	
			e	f
V 1	0,072	7,3	$\pm 0,3$	$\pm 3,90$
V 2	0,076	7,6	$\pm 0,4$	$\pm 5,06$
V 3	0,085	8,2	$\pm 0,2$	$\pm 2,53$
V 4	0,095	9,0	$\pm 0,4$	$\pm 4,25$
V 5	0,11	10,0	$\pm 0,3$	$\pm 3,00$

A = oznaka vzorca, B = % V v vzorcu, C = delci skale, D = relativno odstopanje od srednje vrednosti »n« meritev (e = v delcih skale, f = v %)

### Določevanje molibdena

Spektralna črta molibdena Mo 3902,96 je zelo občutljiva, toda ne moremo je uporabiti zaradi bližine železove črte, Fe 3902,95 Å, pa tudi sicer v tem področju spektra zaradi slabe vidljivosti ne moremo izbirati spektralnih črt za analizo. Izjema je le silicij, ker v ostalem drugem delu spektra nima drugih analitsko občutljivih črt. Črta mo-

libdena Mo 4232,59 Å in črta železa Fe 4233,61 Å se ne ločita, črta Mo 4381,64 Å in črta molibdena Mo 5533,05 Å se tudi ne ločita. Spektralno črto molibdena Mo 5533,05 Å lahko uporabimo za določevanje Mo, ki je višji od 0,1 %. Tudi črta Mo 6030,66 Å je uporabna za analizo, vendar je vgrajen antimoncezijev fotoelement slabo občutljiv za to področje spektra.

Za analizo smo izbrali črto Mo 5533,05 Å.

Pogoji za določevanje molibdena:  $T = 20 \pm 3^{\circ} \text{C}$ , relativna vlaga = 60–70 %,  $R_v = 0,015 \text{ mm}$ ,  $R_{iz} = 0,060 \text{ mm}$ ,  $S_n = 20 : 1$ ,  $S_{iz} = 1 : 1$ ,  $S_z = 60$ ,  $I = 4,0 \text{ A}$ ,  $\lambda = 5533,05 \text{ Å}$ , čas iskrenja = 10 sek.

Podatki in umeritvena krivulja za določevanje molibdena v litini

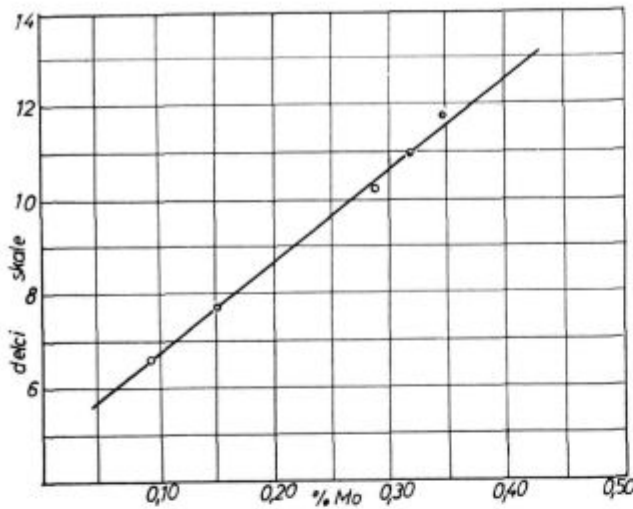
A	B	C	D	
			e	f
Mo 1	0,09	6,5	$\pm 0,3$	$\pm 4,37$
Mo 2	0,14	7,5	$\pm 0,3$	$\pm 3,85$
Mo 3	0,27	9,9	$\pm 0,1$	$\pm 1,01$
Mo 4	0,30	10,5	$\pm 0,3$	$\pm 2,93$
Mo 5	0,33	11,1	$\pm 0,3$	$\pm 2,94$

A = oznaka vzorca, B = % Mo v vzorcu, C = delci skale, D = relativno odstopanje posamezne meritve od srednje vrednosti »n« meritev (e = v delcih skale, f = v %)

### Določevanje magnezija

Določevanje magnezija na spektralni način predstavlja edino ekonomsko rešitev določanja tega elementa. V vidnem delu spektra je za določevanje magnezija uporabna le črta Mg 5183,62 Å. Črta Mg 5172,70 Å moti črta železa, prav tako tudi črta Mg 5167,3 Å.

Za določevanje magnezija smo torej izbrali črto Mg 5183,62 Å, ki je že občutljiva pri koncentraciji 0,005 % Mg.



Slika 9

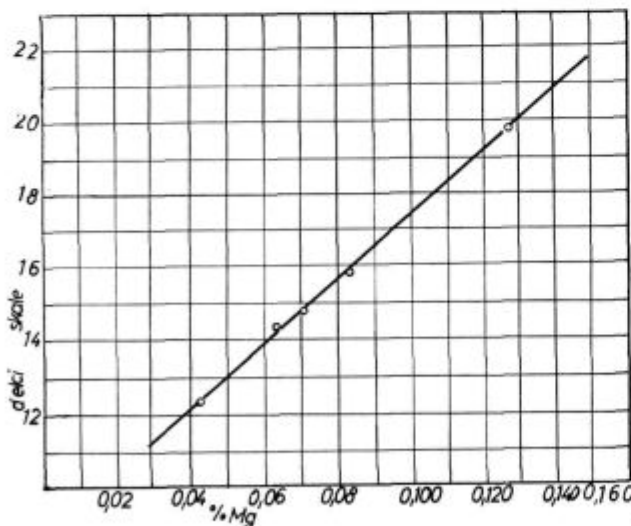
Umeritvena krivulja za določanje molibdena v litini

Pogoji za določanje magnezija:  $T = 20 \pm 3^{\circ}C$ , relativna vlaga = 60–70 %,  $R_v = 0,020$  mm,  $R_{iz} = 0,080$  mm,  $S_n = 5 : 1$ ,  $S_{iz} = 1 : 1$ ,  $S_z = 60$ ,  $\lambda = 5183,62$  Å, filter štev. 3, čas iskenja = 10 sek.

Podatki in umeritvena krivulja za določanje magnezija v litini

A	B	C	D	
			e	f
Mg 1	0,044	12,4	$\pm 0,3$	$\pm 2,11$
Mg 2	0,067	14,5	$\pm 0,4$	$\pm 2,31$
Mg 3	0,074	15,0	$\pm 0,5$	$\pm 2,85$
Mg 4	0,088	16,0	$\pm 0,5$	$\pm 2,99$
Mg 5	0,136	20,2	$\pm 0,4$	$\pm 2,13$

A = oznaka vzorca, B = % Mg v vzorcu, C = delci skale, D = relativno odstopanje posamezne meritve od srednje vrednosti »n« meritev (e = v delcih skale, f = v %)



Slika 10

Umeritvena krivulja za določanje magnezija v litini

### Določanje silicija

Določanje silicija na stilometru je oteženo, ker so najbolj občutljive spektralne črte

silicija razporejene v ultravijoličnem delu elektromagnetnega spektra.

Izmed spektralnih črt silicija, ki so razporejene v vidnem delu sektra:

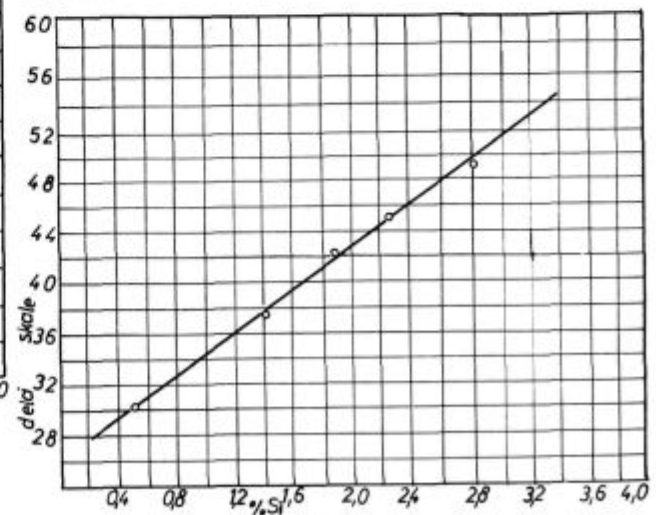
Si 3905,53 Å, Si 4102,92 Å, Si 5948,58 Å, Si 6347,01 Å, Si 6371,09 Å je najbolj občutljiva črta Si 3905,53 Å. Spektralni črti Si 6347,01 Å in Si 6371,09 Å za določanje Si niso primerne, ker za to področje spektra antimon-cezijevi fotoelementi niso dovolj občutljivi. Dovod linije Si 3905,53 Å na izhodno odprtino je otežkočen zaradi slabe občutljivosti očesa za to področje spektra. Vzbujači smo 93 % FeSi. Po privajanju oči na temo smo črto lahko v grobem privedli na izhodno odprtino, nato pa s premikanjem mikrometerskega vijaka valovnih dolžin dobili maksimalni odklon galvanometra. Tako smo konstruirali umeritveno krivuljo. Pri določevanju silicija vzbujamo po nastavitvi črte na izhodno režo najprej kontrolni standard z znano količino silicija ter ugotovimo odstopanje od vrednosti za silicij dobljene z umeritvene krivulje od prave vrednosti silicija v standardu. To odstopanje upoštevamo pri analizi neznanega vzorca.

Pogoji za določanje silicija:  $T = 20 \pm 23^{\circ}C$ , relativna vlaga = 60–70 %,  $R_v = 0,030$  mm,  $R_{iz} = 0,100$  mm,  $I = 6$  A,  $S_n = 10 : 1$ ,  $S_{iz} = 1 : 1$ ,  $S_z = 70$ , čas iskenja = 10 sek.,  $\lambda = 3905,53$  Å.

Podatki in umeritvena krivulja za določanje silicija v surovem železu in litini

A	B	C	D	
			e	f
Si 1	0,53	30,5	$\pm 0,5$	$\pm 1,73$
Si 2	1,40	37,8	$\pm 0,4$	$\pm 1,06$
Si 3	1,87	42,1	$\pm 0,8$	$\pm 1,81$
Si 4	2,34	45,6	$\pm 0,3$	$\pm 0,69$
Si 5	2,80	49,1	$\pm 0,4$	$\pm 0,73$

A = oznaka vzorca, B = % Si v vzorcu, C = delci skale, D = relativno odstopanje posamezne meritve od srednje vrednosti »n« meritev (e = v delcih skale, f = v %)



Slika 11

Umeritvena krivulja za določanje silicija v surovem železu in litini

*Določevanje posameznih elementov v različnih vzorcih*

A	B										C	D	E
	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Ni	Mo	Mg			
Mn	0,45	0,30	0,97	0,029	0,030	1,26	0,10				0,97	0,99	+ 0,02
	3,21	1,83	0,67	0,168	0,008	0,33	—	0,98		0,086	0,67	0,69	+ 0,02
	3,90	0,87	2,64	—	0,047	—	—	—	—	—	2,64	2,67	+ 0,03
V	0,45	0,30	0,97	0,029	0,030	1,26	0,12	—	—	—	0,12	0,10	+ 0,02
	0,52	0,28	0,98	0,025	0,024	1,06	0,09	—	—	—	0,09	0,10	+ 0,01
	0,50	0,31	0,95	0,022	0,024	0,98	0,11	—	—	—	0,11	0,11	0,00
Mo	2,93	0,60	0,40	0,494	0,059	—	—	—	0,29	—	0,29	0,27	— 0,02
	2,88	0,46	0,41	0,450	0,068	—	—	—	0,21	—	0,21	0,22	+ 0,01
	3,11	0,29	0,32	0,210	0,076	—	—	—	0,17	—	0,17	0,18	+ 0,01
Mg	3,70	2,36	0,46	—	0,008	—	—	—	—	0,072	0,072	0,078	+ 0,006
	3,26	2,01	0,63	0,147	0,007	0,55	—	0,64	—	0,090	0,090	0,093	+ 0,003
	3,86	2,24	0,54	—	0,010	—	—	—	—	0,120	0,120	0,118	— 0,002
Si	3,70	2,38	0,46	—	0,010	—	—	—	—	0,080	2,38	2,34	— 0,04
	3,03	0,49	0,28	0,494	0,066	—	—	—	0,39	—	0,49	0,43	— 0,06
	3,26	2,03	0,63	0,147	0,007	0,55	—	0,64	—	0,090	2,03	2,15	+ 0,12
Cr	0,45	0,30	0,97	0,029	0,030	1,26	0,12	—	—	—	1,26	1,27	+ 0,01
	0,46	0,37	0,62	0,018	0,046	1,10	0,21	—	—	—	1,10	1,11	+ 0,01
	3,42	1,63	0,74	0,197	0,010	0,31		0,84	—	0,065	0,31	0,33	+ 0,02

A = analiziran element, B = kemična sestava vzorca (%), C = vsebnost (%) elementa v vzorcu, določena s kemijskimi metodami, D = vsebnost (%) elementa v vzorcu, določena s stilometrom, E = razlika v %

### ZAKLJUČEK

S pomočjo fotoelektričnega stilometra FES-1 smo uvedli hitro analizo surovega železa, jekla in litine na elemente: mangan, krom, vanadij, molibden, magnezij in silicij.

Hitrost analize se je z ozirom na klasične gravimetrične in fotometrične metode povečala in znaša za vzorce iz redne proizvodnje od ulitja vzorca do oddaje rezultata za en element 10 minut.

Koncentracijsko območje za določevanje elementov se giblje v povprečju med 0,01 % do 4 %.

Rezultati so glede reproduktivnosti in točnosti v mejah predpisanih toleranc, razen pri določanju silicija.

### Literatura

1. Novie metodi ispitanih metalov — himičeskij kontrol v metalurgii, »Metalurgija«, Moskva 1964
2. N. V. Bujanov: Zavodska laboratorija (1958) št. 6, str. 703—708
3. B. Bieber, Z. Večera: Hutnicke listy (1964), št. 12, str. 882 do 884; št. 10 (1964), str. 732—735, (1965) št. 1, str. 50—52, (1966) št. 1, str. 50—52, (1966) št. 11, str. 796—799.

## ZUSAMMENFASSUNG

Mittels des photoelektrischen Stylometers FES-1 führten wir die Schnellanalyse des Roheisens, Stahls und Guss auf die Elemente: Mangan, Chrom, Vanadium, Molybdän, Magnesium und Silizium ein.

Die Geschwindigkeit der Analyse wurde im Vergleich mit den klassischen gravimetrischen und photometrischen Methoden vergrößert und beträgt für die Proben aus der

normalen Fertigung vom Guss der Probe bis zur Abgabe des Resultats für ein Element 10 Minuten.

Der Konzentrationsbereich für die Bestimmung der Elemente bewegt sich im Durchschnitt zwischen 0,01 % bis 4 %. Die Resultate sind mit Rücksicht auf die Reproduktivität und die Genauigkeit in den Grenzen der vorgeschriebenen Toleranzen.

## SUMMARY

Fast analysis of pig iron, steel and foundry was introduced by use of photoelectric stilometer, analysing: manganese, chromium, vanadium, molybdenum, magnesium and silicon.

Speed of analysis comparatively to classic gravimetric and photometric methods was increased. Period between the time of pouring the sample and the time of delivering

of results for one element for the samples out of regular production runs around 10 minutes.

Concentration range for element determination runs in average between 0,01 % to 4 %.

Results are in a range of prescribed tolerances as far as reproductivity and accuracy is concerned.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При помощи фотоэлектрического стилометра ФЕС-1 проведен экспресс-анализ чугуна, стали и отливок из чугуна на элементы: Si, Mn, Cr, V, Mo, Mg.

Быстрота анализа в сравнении с гравиметрическим и фотометрическим методами ускорилась и при нормальном производстве

длиться от литья образца до получения результатов 10 мин. Интервал концентрации элементов находится в пределах 0,01—4 %. Что касается репродукции и точности, результаты в пределах допускаемых отклонений.

## Direktno določevanje sile curka pri gorilnikih velikih kapacitet

*Sila curka ima pri vrednotenju delovanja in prilagodljivosti gorilnika pomembno vlogo. Za gorilnike z enostopenjskim razprševanjem lahko silo curka s pomočjo predhodnih merjenj tudi računsko določimo. Pri tem nam merjenja podajo stopnjo izkoristka šobe gorilnika, nakar je moč izračunati pravo silo curka. Pri gorilnikih z večstopenjskim razprševanjem pa je postopek meritev precej otežkočen in je zaradi daljšega izpada gorilnika iz obratovanja za prakso skoraj nesprijemljiv, račun pa negotov. Članek obravnava direktno merjenje sile curka s pomočjo vzmetnega dinamometra na kombiniranem gorilniku z dvo-stopenjskim razprševanjem mazuta ob dodatnem kurjenju z zemeljskim plinom.*

Martinovka je v večini naših jeklarn še vedno glavni proizvodni agregat za masovna in nekatere vrste legiranih jekel. Ker je potencialni porabnik toplotne energije, je razumljivo, da posvečamo racionalnemu izkoriščanju goriv vso pozornost. Prav k temu pa med drugim mnogo pripomore uporaba ustreznega gorilnika.

Merilo, kako dela gorilnik, je sila curka. Vrednotenje delovanja gorilnika na osnovi sile curka je prišlo vse bolj do izraza ob prehodu od uporabe mešanega generatorskega plina na uporabo mazuta, ki ga rabimo kot samostojno gorivo ali v kombinaciji s plini. Pri razprševanju tekočih goriv s paro ali komprimiranim ogretim zrakom dobimo pri ekspanziji na atmosferski pritisk curek z veliko hitrostjo. Pri tem je energija, ki se uporablja za samo razprševanje, relativno majhna in jo lahko pri obravnavi zanemarimo. Pri izstopu iz šobe gorilnika se pojavi sila curka, ki je enaka produktu masnega pretoka in hitrosti curka. Ta sila doseže maksimalno vrednost tedaj, ko se razpoložljiva energija pare, to je količina toplote, ki se sprosti pri adiabatni ekspanziji od začetnega na atmosferski pritisk, razdeli na paro in mazut v razmerju njunih masnih pretokov. Pri tem dobe kapljice mazuta isto hitrost, kot jo ima para in je stopnja razprševanja najboljša. Sila curka, ki izteka v peč, povzroči na gorilniku reakcijo, ki je po velikosti enaka, toda curku nasproti usmerjena. Če bomo uspeli izmeriti to silo reakcije, lahko torej izmerimo silo curka in to nas zanima. Zakaj pripisujemo sili curka pri plamenu tak

pomen? Pri plamenu, ki se lahko prosto razvije, bo njegova dolžina tem krajša, plamen pa tem bolj vroč in oster, čim večja bo sila curka. Ker se npr. pri martinovkah razvije plamen v zaprtem prostoru, kjer zidovi delno vplivajo na razvoj plamena, dobimo v mejnih conah plamena delno recirkulacijo zgorevnihi plinov. Čim večja je sila curka, tem bolj prihaja ta recirkulacija do izraza. Na ta način je tudi postavljena meja možnosti skrajševanja plamena s pomočjo povečanja sile curka. Prevelika sila curka vpliva močno na karakteristike plamena t. j. od določene meje naprej znižuje temperaturo in emisijsko sposobnost plamena. To se dogaja, ker delci ogljika prehitro zgore zaradi močnih vrtincev, v katerih pridejo v kontakt s kisikom iz zraka. S tem pa izgubimo osnovne karakteristike plamena, primerne za obratovanje v martinovki, t. j. plamen, katerega temperatura je sicer sorazmerno nizka, ima pa visoko intenziteto sevanja ter emisivnost. Zviševanje sile curka vpliva dalje tudi na povečanje oksidacije vložka v fazi taljenja, kasneje pa vodi do povečanega razogljčevanja taline. Sila curka, s katero obratuje gorilnik, se reflektira tudi na obstojnost v ognju vzdržne obloge. Če je gorilnik pravilno nameščen in dela z določeno optimalno silo curka za posamezno delovno fazo, je obremenitev stropa manjša, s tem pa se podaljša življenjska doba. Praksa je pokazala, da v fazi taljenja najbolj ustreza sila curka cca 1,8 kp/10<sup>6</sup> kkal/h; v fazi, ko je vse raztaljeno 1,3 kp/10<sup>6</sup> kkal/h, pri rafinaciji pa cca 1 kp/10<sup>6</sup> kkal/h.

Teoretično lahko izračunamo silo curka, zlasti pri enostavnih konstrukcijah gorilnikov z enostopenjskim razprševanjem. Dejanska sila curka pa je zaradi trenja v šobi in trenja, ki nastopi med oljem in paro za razprševanje (ali zrakom), vedno manjša od teoretične vrednosti. Razmerje med dejansko in teoretično silo curka imenujemo učinek šobe, oz. stopnjo izkoristka, ki jo ima sila curka pri določenih pogojih pretoka. S poizkusi so ugotovili, da se učinek šobe spreminja odvisno od oblike šobe, če se spreminja razmerje mazut : količina sredstva za razprševanje. Za določeno vrsto šobe in razmerje moramo torej poznati učinek šobe, če naj računsko določimo silo curka. Prav to pa je glavna težava, ki se pokaže v potencirani obliki pri gorilnikih z razprševanjem v več stopnjah.



Za boljše razumevanje si oglejmo teoretične prijeme za izračun sile curka. Pri izstopu iz šobe ima, kot rečeno, curek veliko hitrost in potegne za seboj pline iz okolice, ki imajo le majhno hitrost. Odda jim del svoje energije v obliki hitrosti, pri tem pa jo seveda rapidno izgublja. Enota mase pare, ki ekspandira adiabatno in oddaja toploto  $\Delta H$ , dobi hitrost  $w_p$ , ki je podana z enačbo:

$$\frac{w_p^2}{2g} = I \cdot \Delta H \quad (1)$$

kjer je:

$I$  — mehanski ekvivalent toplote

$g$  — pospešek prostega pada.

Pri ekspanziji para razpršuje olje in se torej razpoložljiva energija razdeli na olje in paro ter pišemo:

$$\frac{M_p \cdot w_p^2}{2} = \frac{M_p \cdot w_1^2}{2} + \frac{M_o \cdot w_2^2}{2}$$

$$\text{in } M_p \cdot w_p^2 = M_p \cdot w_1^2 + M_o \cdot w_2^2 \quad (2)$$

kjer je:

$M_p$  — masni pretok pare

$M_o$  — masni pretok olja

$w_1$  — hitrost pare v zmesi olja in pare

$w_2$  — hitrost olja v zmesi olja in pare.

Ker je sila curka enaka produktu masnega pretoka in hitrosti, pišemo torej:

$$F = M_p \cdot w_1 + M_o \cdot w_2 \quad [\text{N}]$$

maksimalno silo curka bomo dobili, kot sledi iz enačbe (2), če je izpolnjen pogoj:  $w_1 = w_2$  in

$$w_1 = w_2 = w_p / \sqrt{1 + M_o/M_p}$$

torej:

$$F_{\max} = w_p \cdot M_p \cdot \sqrt{1 + M_o/M_p}$$

in iz tega:

$$F_{\max} = M_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot I \cdot \Delta H (1 + M_o/M_p)} \quad [\text{N}]$$

Če izrazimo to teoretično silo curka v kp, pa je:

$$G = M_p \cdot \sqrt{2g \cdot I \cdot \Delta H (1 + M_o/M_p)} / g$$

oziroma:

$$G = 9,25 \cdot M_p \cdot \sqrt{\Delta H \cdot (1 + M_o/M_p)} \quad [\text{kp}] \quad (5)$$

Za gorilnike z enostopenjskim razprševanjem bomo lahko izračunali silo curka, če smo predhodno izmerili naslednje veličine:

- 1 — tlak pare pri vходу v šobo pri zaprtem dovodu olja. Pri tem je potrebno meriti pretok pare pri različnih tlakih, s čemer dobimo karakteristične podatke za pogoj »pretok olja = 0«.
- 2 — pri maksimalnem dovodu olja merimo tlake pare na gorilniku. Paro dodajamo količinsko, tako, da je razmerje para : olje = 0,3 do 0,7 kp/kp. Za tem povečamo pretok pare na maksimum, vendar mora biti tlak olja večji, kot je tlak pare.

Tako dobljene vrednosti vnesemo v diagram in lahko za poljubni tlak v gorilniku določimo za poljubni pretok olja potrebni tlak pare. Na ta način lahko torej določimo stopnjo izkoristka  $E$  in če na osnovi enačbe (5) izračunano silo curka množimo z izkoristkom  $E$ , dobimo dejansko silo curka gorilnika, torej:

$$G = 9,25 \cdot \sqrt{\Delta H} \cdot M_p \cdot E \cdot \sqrt{1 + M_o/M_p} \quad [\text{kp}] \quad (6)$$

Pri kombiniranem kurjenju, t. j. pri gorilnikih, kjer razpršujemo olje s paro z eno stopnjo, dodajamo pa še plin kot dodatno gorivo, moramo upoštevati še silo curka, ki jo daje plinski gorilnik:

$$G = 44,7 \cdot 10^{-2} \cdot M_{pl} \cdot E \cdot \sqrt{p/\rho_{pl}} \quad [\text{kp}] \quad (7)$$

kjer je:

$E$  — stopnja izkoristka sile curka

$p$  — poprečni tlak plina v mm H<sub>2</sub>O

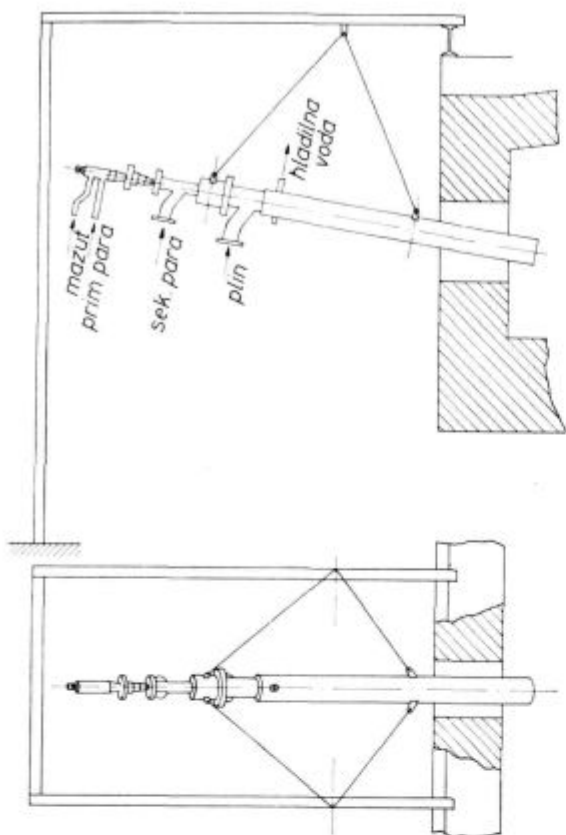
$M_{pl}$  — pretok plina v kg/s

$\rho_{pl}$  — poprečna gostota plina v kg/m<sup>3</sup>

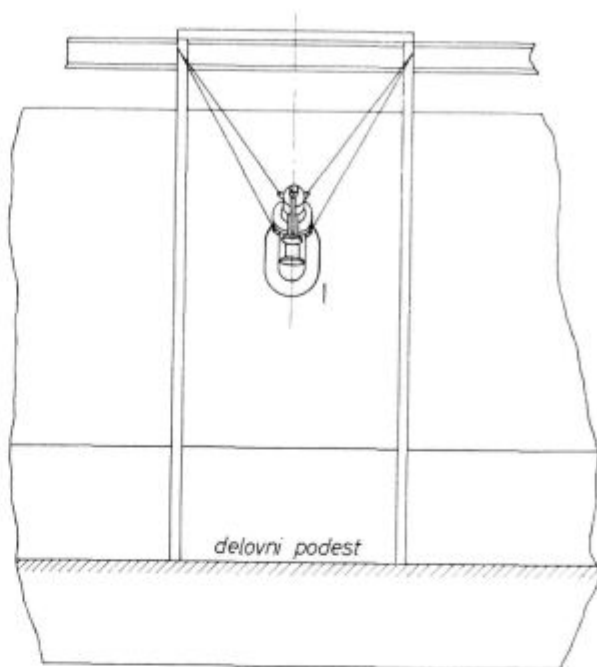
Tudi v tem primeru moramo stopnjo izkoristka eksperimentalno določiti. Določevanje pa je seveda glede na potrebni dodatni inštrumentarij in priprave gorilnika še bolj komplicirano. Ker je nameščenje vodov za mreženje tlaka pred šobo zahtevno in terja daljši izpad gorilnika iz obratovanja, se nujno zmanjša preduktivnost agregata. Takšen način določevanja sile curka je za industrijsko prakso seveda skoraj nesprijemljiv. Razen tega moramo računati še na objektivne in subjektivne napake pri samem merjenju. Če upoštevamo, da imamo npr. opravka z gorilnikom s tristopenjskim razprševanjem to tako zakomplicira delo, da smo za praktično vrednotenje sile curka prešli raje k direktnemu določevanju s pomočjo dinamometra.

Uvodoma smo omenili, da se sila curka demonstrira kot reakcijska sila na gorilniku. Zato je oportuno, da to silo izmerimo. V ta namen smo izbrali kombinirani gorilnik na mazut in zemeljski plin, ki je delal z dvostopenjskim razprševanjem olja s pomočjo pare. Gorilnik je imel maksimalno kapaciteto 2000 Nm<sup>3</sup>/h zemeljskega plina in 2000 kg/h mazuta. Če upoštevamo, da je imel zemeljski plin v povprečju kaloričnost 9700 kkal/Nm<sup>3</sup>, mazut pa 9300 kkal/kp, smo dovedli v peč, ne upoštevaje entalpijo pare za razprševanje 38,10<sup>6</sup> kkal/h.

Gorilnik smo obesili na tanke jeklene pletenice, tako da je zadržal nagib in smer proti talini, sicer pa je povsem prosto visel. Skico nameščenja kaže slika 1. Na koncu gorilnika smo s prižemo, v katero sta segali oporni konici vzmetnega dinamometra, montirali stojalo z vzmetnim dinamometrom, ki ga kaže slika 2. Spremembo dolžine cilindrične vzmeti je merilna ura merila z natan-



Slika 1  
Shema obešenja kombiniranega gorilnika na zemeljski plin in mazut

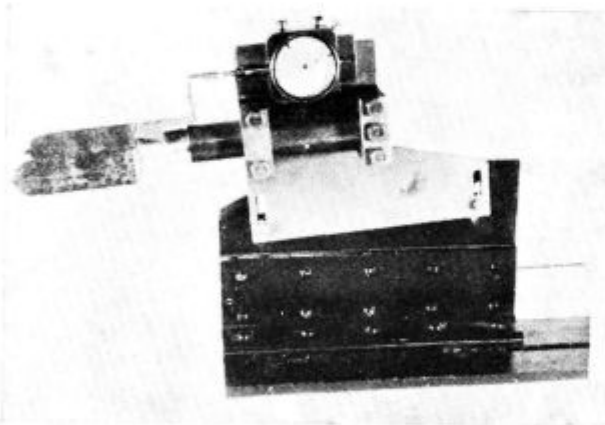


Shema obešenja kombiniranega gorilnika na zemni plin in mazut

M 1:25

Slika 1

Shema obešenja kombiniranega gorilnika na zemeljski plin in mazut



Slika 2  
Vzmetni dinamometer

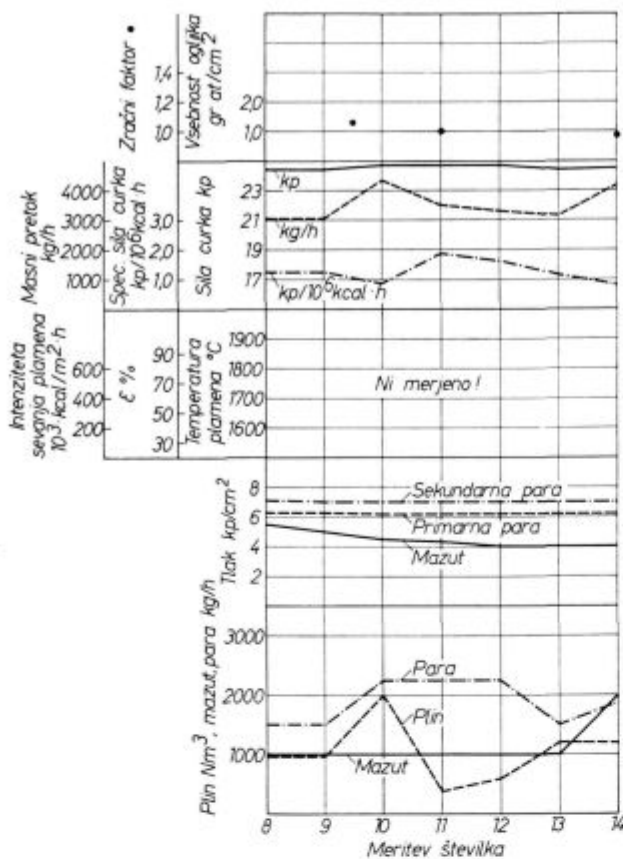
čnostjo razbirka 1 : 100 mm, tisočinke pa smo ocenili. Vzmet dinamometra smo preračunali, tako da bi pri največji sili curka, ki je v martinarnah v rabi, in sicer  $2 \text{ kg}/10^6 \text{ kkal/h}$  znašala kontrakcija 11 mm. Gorilnik bi torej nihal lahko največ za 11 mm, kar je v primerjavi s celotno dolžino gorilnika 0,03 %.

Zaradi tako kratke razdalje, ki pa je omogočala dovolj natančno merjenje, se seveda tudi položaj

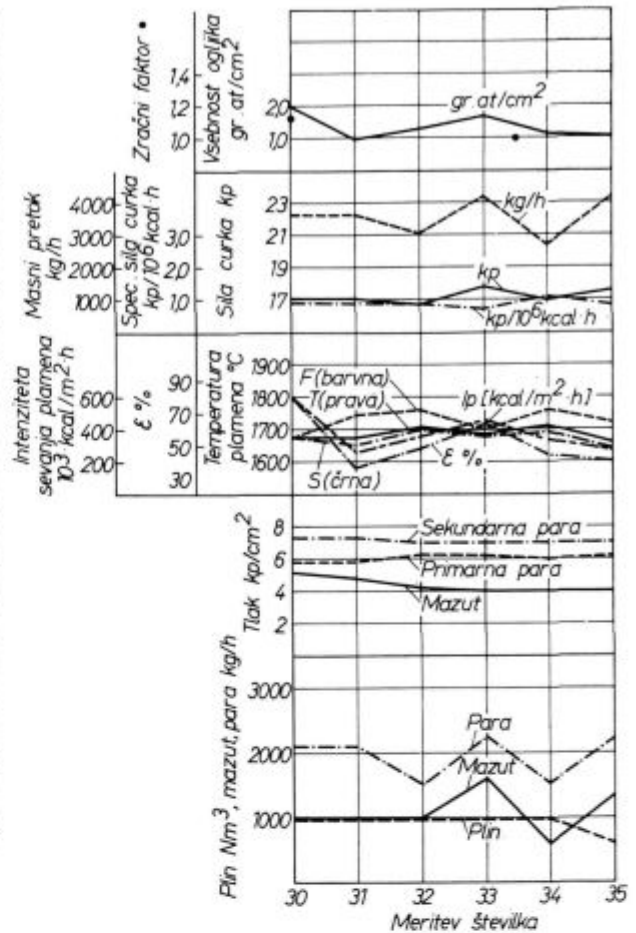
fleksibilnik cevovodov za dovod mazuta, pare in zemeljskega plina ni med obratovanjem bistveno spreminjal. Ker je bil gorilnik obešen na cca 1,9 m dolgih pletenicah, je oporna točka gorilnika pri dinamometru opisovala pot po krožnici, vendar zaradi malega pomika lahko privzamemo, da je bila ravna. Sleherni pomik gorilnika je učinkoval torej le aksialno v smeri vzmeti dinamometra. Pri obratovanju med meritvami dejansko nismo imeli s tem nobenih težav.

Silo curka smo merili pri 7 zaporednih reverziranja 150 t martinovke, pri čemer smo pogoje kurjenja spreminjali. Med merjenji smo vsake tri minute sinhrono registrirali, z odbiranjem kontrakcije vzmeti dinamometra, tudi naslednje podatke: porabo zemeljskega plina, porabo mazuta, količino in temperaturo pare za razprševanje, tlak zemeljskega plina, tlak mazuta (oboje pred gorilnikom) ter temperaturo plamena. Temperaturo plamena smo merili z barvnimi pirometri »Tricolor« in določali barvno in črno temperaturo plamena ter iz tega tudi vsebnost ogljikovih delcev v plamenu.

Ko smo vrednotili rezultate meritev, smo s pomočjo izmerjene, t. j. barvne in črne temperature, določali dalje še intenziteto sevanja plamena ter emisijsko sposobnost plamena. Med meritvami



Slika 3 a  
Diagram meritev



Slika 3 b  
Diagram meritev

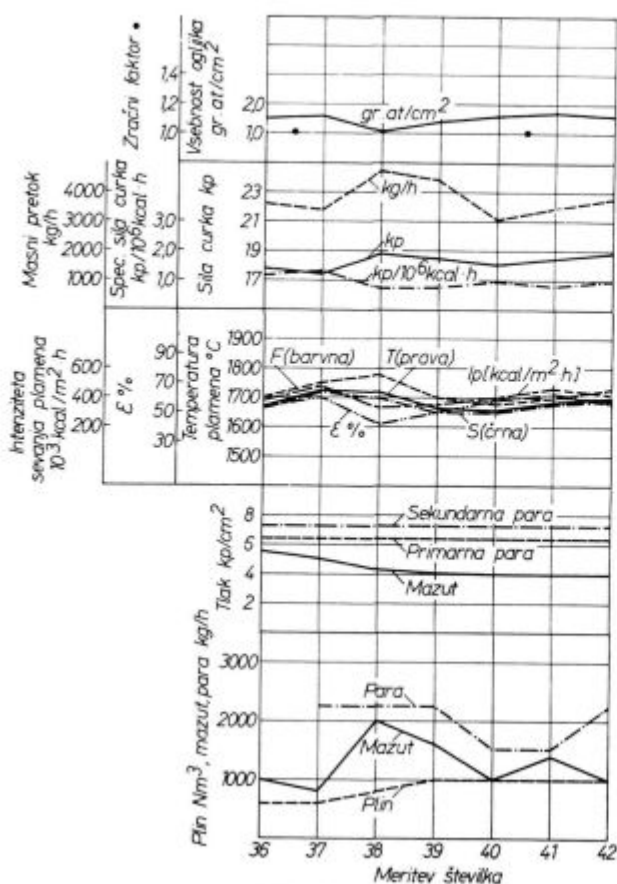
smo spremljali tudi analizo dimnega plina z Orsat aparatom in določali zračni faktor ob upoštevanju poprečnega odgoraka ogljika iz kopeli 286 kg C/h.

Ker je tabelarni prikaz numeričnih vrednosti za posamezne merjene veličine nepregleden, smo izbrali od 56 meritev rezultate v diagramih, v slikah 3 a, b, c. Ti naj ponazore bistvena zapažanja pri obratovanju preiskovanega gorilnika. Iz diagramov lahko razberemo naslednje:

Tlak mazuta je odvisno od pregretja, vendar od pričetka periode reverziranja proti koncu vedno padal od poprečno 5,5 kp/cm<sup>2</sup> na 4,0 kp/cm<sup>2</sup> ob koncu periode. Tlak primarne pare za razprševanje je znašal cca 6,2 kp/cm<sup>2</sup>, sekundarne pa cca 7,2 kp/cm<sup>2</sup> in se med preiskavo nista bistveno spreminjala. V periodi meritev št. 8 do 14 zaradi okvare vratni ni bilo moč meriti temperature plamena, vendar je zaradi poteka meritev sile curka ta perioda interesantna. Po reverziranju smo pri merjenju od meritve 9 dalje pričeli zviševati porabo pare od cca 1000 na 2000 Nm<sup>3</sup>/h ter spremenili tudi porabo pare od 1500 kg/h na 2250 kg/h. Pri tem je porasla sila curka, kot je razvidno v diagramu na sliki 3 a. Masni pretok se je povečal,

vendar pa specifična sila curka v kp/10<sup>6</sup> kkal/h pri tem prične opadati. Vzrok je velika kaloričnost zemeljskega plina, ki pa je imel ves čas poskusa tlak 0,8 kp/cm<sup>2</sup>.

Po enačbi (7) seveda ne doprinese dosti k sili curka in ustvarja zato varljivo podobo nizke specifične sile curka. Podobna je slika pri meritvah od 11...13 na sliki 3 a, kjer smo količino plina zviševali, pritisk pare pa zniževali. Krivulji za silo curka in specifično silo curka le potrđita prejšnje trditve! Iz diagrama na slikah 3 b in 3 c je razvidno, da imata bistveni vpliv na silo curka le masni pretok pare in mazuta, saj krivulji masnega pretoka in sile curka pri vseh meritvah potekata smiselno. Ker smo merili temperaturo plamena in določevali iz tega tudi intenziteto sevanja in emisivnost, pogledjmo, kako večja ali manjša sila curka vpliva na omenjene lastnosti plamena! Poviševanje sile curka (meritev 33), kjer povečujemo pretok pare in mazuta, kaže naraščanje emisivnosti plamena ( $\epsilon$ ) in intezitete sevanja ( $I_p$ ) ob istočasnem padanju prave temperature plamena ( $T$ ). To pa je za obzidavo peči (zlasti strop) ugodno. Trditve pa podpira tudi porast vsebnosti ogljika v g. atom/cm<sup>2</sup>, kar smo določili s pomočjo izmerjene



Slika 3 c  
Diagram meritev

barvne in črne temperature plamena, ki se z višjo silo curka povečuje.

Pri gostem plamenu, kjer smo iz analize dimnih plinov izračunali zračni faktor  $n = 1$  (meritve 36...42), je znašala temperatura plamena cca 1730°C, intenziteta sevanja  $430 \times 10^3$  kcal/m<sup>2</sup>h, emisivnost pa od 42...58%, kar je za obratovanje peči v tej fazi zelo ugodno. Ob manjši porabi goriva sledi namreč pri optimalnih parametrih gorilnika dober prenos toplote na talino. To dosežemo pri sorazmerno nizkih temperaturah plamena, kar varuje obzidavo peči.

Merjenja sile curka s pomočjo dinamometra direktno na gorilniku so pokazala, da je metoda uporabna in daje za prakso uporabne rezultate. Če pa kritično ocenimo način merjenja, je treba ugotoviti naslednje: ker vpliva trenja tako pri samem dinamometru kakor tudi vpliva togosti fleksibilnih dovodnikov za paro, mazut in zemeljski plin ni mogoče odpraviti, temveč jih le lahko zmanjšamo na določen minimum, lahko trdimo, da je metoda merjenja še sprejemljiva. Daje vsaj relativne rezultate, ki so nedvomno bližje realni vrednosti sile curka kot teoretični izračun. Pri teore-

tičnem izračunu posameznih izkoristkov šob, oz. stopenj razprševanja ne poznamo ali pa jih poznamo samo približno. Konstrukcijo dinamometra pa bi bilo potrebno spremeniti v toliko, da bi bila merilna ura vgrajena v krožni elastično lok. S tem bi odpadlo trenje cilindrične vzmeti v vodilni cevi. Pri kalibriranju in večkratnih poizkusih sicer dinamometer naše izvedbe ni pokazal bistvenih odstopanj (bila so zanemarljivo majhna), vendar je v stroju za stiskanje (Amsler) bil nameščen dinamometer popolnoma centrično. Pri gorilniku, ki je bil obešen na žicah, nismo imeli absolutno linearnega pomika, temveč pomik po linearizirani krožnici ter ne moremo trditi, da bi bilo tu trenje res zmanjšano na minimum. Pri merjenjih se je gorilnik in s tem dinamometer skoraj vedno vrnil do začetnega položaja. Največja napaka je znašala  $+0,53$  mm, t. j.  $+4,3\%$  od končnega odklona, pri največji merjeni sili curka. Pri delu smo zapazili še, da ob maksimalnih obremenitvah gorilnika pri prekoračenju določene hitrosti iztoka prične gorilnik trepetati. Merilna ura je kazala nihanje vrednosti razbirka  $\pm 0,32$  mm, kar je zelo otežkočalo odbiranje prave vrednosti sile curka. Pri manjših obremenitvah pa je merilna ura zadovoljivo sledila vsakršnemu pomiku gorilnika.

Na osnovi opravljenih meritev je mogoče podati naslednji zaključek: Gorilnik, ki smo ga preiskovali, je elastično spremljal spremembo posameznih parametrov, kar se kaže v kvaliteti plamena (F, S, T, I,  $\epsilon$ ), razen pri spremembi količine zemeljskega plina. Ker v primerjavi s podatki iz literature<sup>2</sup>, ki navaja za gorilnik 150 t martinovke potrebni tlak plina 1,5 do 3 atm, tlak mazuta 4 do 6 atm in tlak pare 5 do 7 atm, lahko trdimo, da je tlak plina premajhen, saj je v povprečju pri meritvah znašal le 0,8 atm. Tu lahko tudi iščemo vzrok za nesorazmerni pad specifične sile curka pri povišanju porabe zemeljskega plina. Z drugimi besedami, gorilnik v tej izvedbi za tak tlak plina ni primeren.

Pri vrednotenju same metode moramo še pripomniti, da je delo v obratnih pogojih vezano na trenutne zahteve procesa v peči, kar merjenje občutno otežkoča. Od meritev z izboljšano izvedbo dinamometra, pri gorilniku, montiranem na zgoraj omenjenem kanalu ali pa v eksperimentalni peči, kjer bi s preciznejšimi merilniki (predvsem za merjenje tlaka pretočnih medijev) lahko spremljali vse parametre, pa lahko pričakujemo za teorijo in prakso zanimive rezultate.

#### Literatura

1. Bisra: The installation and operation of open-hearth furnace burners, Posebna izdaja 1963
2. R. Kissel, L. Septier, G. Husson, S. Terrat: Der Impuls der Flamme, Theorie und Anwendung bei SM-Ofen, Berg u. Hüttenmannische Monatshefte, 108, str. 130—136.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Messungen der Kraft des Strahles an einem kombinierten Öl-Erdgasbrenner mit zweistufiger Zerstäubung zeigten, dass es mit der direkten Messmethode möglich ist für die technische Praxis genügend genaue Daten von der Kraft des Strahles zu bekommen. Der dazu gebrauchte Stahlzugfederdynamometer hat sich gut bewährt. Von einer ausgebesserten Dynamometerausführung mit der Feder in der Form eines Bogens mit einer eingespannten Messuhr erwarten wir noch bessere Ergebnisse. Die Rei-

bung würde auf den Minimum herabgesetzt, werden die Reproduzierbarkeit noch besser.

Die praktischen Versuche eines jeden Brenners sollten an einem Experimentalofen oder in einem entsprechendem Verbrennungskanal, wo die Arbeitsbedingungen besser sind, ausgeführt werden. Der Vorteil dieser Methode für die industrielle Praxis ist vor allem in der Einfachheit der Messung, die Messwerte können reproduziert werden, und sie ist selbst ein gutes Mittel für die Bewertung der Brennerwirkung.

## SUMMARY

Measurements of jet force for combined burner with two stage atomising, designed to burn »bunke C« oil or natural gas are showing, it is possible to get results good enough for industrial use, engaging direct method of measurement. For the purpose dynamometer with cylindrical spring was used satisfactorily. Better results are expected from the improved dynamometer design which should

have spring in an arch shape with measuring instrument built in. Practical testing of each burner should be carried out at the pilot furnace or corresponding combustion channel where the conditions for undisturbed work would exist. Advantage of this method for industrial practise is in simplicity of measurement. It is very simple to reproduce the measured values and the method itself is a great help for the burner scoring.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерение силы струи на комбинированной горелке на мазут и природный газ двойной степени распыления показали, что методом прямого определения можно получить данные довольно точные для заводской практики. Измерение выполнено при помощи динамометра с цилиндрической пружинкой. Более лучшие результаты можно получить с динамометром в котором пружин-

ка бы находилась в форме дуги с натянутыми для измерения часами; поправилась бы возможность репродукции и уменьшилось трение. Для заводской практики надо испытать каждую горелку на экспериментальной печи или в канале сгорания где бы условия были несомненно лучше. Метод рекомендуется для оценки горелок в заводской практике.

## Tehnična navodila avtorjem

1. Rokopis mora biti dostavljen v originalu in ne kopija. Pisan mora biti z dvojnimi presledkom tako, da se med vrstami lahko napiše nova vrsta s 4 cm robom na levi strani.
2. Članki naj bodo pisani kratko in jedrnato. Članek mora imeti na začetku kratek rezumé. Članku je treba priložiti izvleček, ki naj obsega približno pol tipkane strani in mora biti napisan v 3 izvodih. Ta izvleček bo natisnjen v nemškem, angleškem in ruskem jeziku. Na koncu članka je treba priložiti tudi podpise k slikam na posebnem papirju. Slike in fotografije je treba zaporedno oštevilčiti s svinčnikom v skladu z besedilom. Številke slik in fotografij je treba izpisati v rokopisu tudi na levem robu zunaj teksta in sicer **v višini vrste, v kateri je slika ali fotografija v tekstu** navedena. Da se izognemo napakam pri prevajanju, naj avtorji navedejo tehnične izraze tudi v nemškem, angleškem in ruskem jeziku, v kolikor so jim poznani.
3. Citirano literaturo je treba v tekstu označiti z zaporednimi številkami, npr. avtorji 3, 5 (številka zgoraj brez zaklepaja) in jo je na koncu članka tudi treba v celoti navesti z vsemi bibliografskimi podatki, npr.:
  - a) za knjige  
Avtorja navedemo s priimkom, sledi začetnica imena avtorja, naslov knjige, naslovu sledi izdaja (izdajo navajamo vedno v jeziku, v katerem je napisana, npr. 2. izd., 3. Aufl.), nato navedemo del, če je knjiga napisana v več delih, npr.: (D. I, zv. 3, Teil 3, Bd. 5), sledi mesto izdaje, založba in leto izdaje, npr. Rapatz F. Die Edelmühle 5. Aufl. Berlin (Gröttingen) Heidelberg Springer Verlag 1962.
  - b) za revije  
Avtor, naslov članka (v narekovajih), neskrajšani naslov revije, mesto, kjer izhaja revija (v oklepaju), letnik (volume, Jahrgang), leto, strani (prva in zadnja stran), npr.: Stadler, F. »Über das Legieren von nicht rostenden Stahle, Neue Hütte (Leipzig) II (1966), stran 600—604.
4. Besede, ki naj se tiskajo razprto, naj se tipkajo prav tako razprto. Podčrtati pa je treba tiste besede, ki naj se tiskajo v kurzivi.
5. Obrazce in simbole v besedilu je treba vpisati jasno in čitljivo s črnilom.
6. Uporabljajo naj se uveljavljeni simboli za posamezne veličine po JUS AA 1020 in jih je treba v tekstu sprti tolmačiti.
7. Uporabljajo naj se enote in njih kratice po JUS A. A. 1040.
8. Fotografije morajo biti izdelane na trdnem, belem papirju z visokim leskom in morajo biti kontrastne in jasne.
9. Risbe risemo v taki velikosti, da po predvideni pomanjšavi njihove dimenzije ustrezajo širini tiskarskih stolpcev. Te širine so:
  - a) za en stolpec ..... 8 cm
  - b) za dva stolpca z vmesnim presledkom 16,5 cm.
 Višina risbe odnosno diagram je avtomatično določena s širino. Največ pa je lahko 23 cm, kolikor pač znaša višina tiskarskega stolpca.
10. Velikost fotografij (metalografskih in ostalih). V članku je treba po možnosti uporabljati en sam oziroma čim manj različnih formatov fotografij. Uporabljamo naslednji format fotografij: 57 × 81 mm (slikovno polje brez roba). Druge formate uporabljamo le izjemoma.
11. Velikost povečave.  
Če je le mogoče, povečujemo vse risbe s faktorjem 2, s tem, da upoštevamo velikost definitivnih risb (na klišejih). Širina enostolpčne risbe v tisku (8 cm) bo torej pri risanju 8 cm × 2 cm = 16 cm, kar pomeni, da bomo risali na A4 format. Opozarjamo na to, da s širino ne mislimo le širino okvirja diagrama, temveč celotno širino risbe skupno z napisom na ordinatni osi.
12. Oblika in velikost črk in številke za povečane risbe. Uporabljamo izključno poševne črke in številke, ki jih predpisuje JUS (črke in številke po JUS so iste kot po DIN). Na celi risbi uporabljamo v glavnem eno velikost črk. Le za indekse in za eventualne glavne naslove uporabljamo druge velikosti. Naslovi, oziroma opisi, se predvidijo po možnosti v tisku, pod sliko za njeno vrstno številko. V odvisnosti od povečave uporabljamo naslednje velikosti črk:

Povečava	Velikost črk (mm)		Indeksi (mm)		Event. naslovi (mm)	
	na risbi	v tisku	na risbi	v tisku	na risbi	v tisku
2 ×	4	(2)	3	(1,5)	7	(3,5)
2,5 ×	5	(2)	3,5	(1,4)	8	(3,2)
3,5 ×	7	(2)	5	(1,4)	12	(3,4)

Uporabljamo predvsem 2-kratno povečavo in pripadajoče velikosti črk.

### 13. Debelina črt:

V odvisnosti od povečave uporabljamo naslednje debeline črt:

Povečava	koordinatne osi ali okvirji diagramov	mreža diagramov	Debelina črt v mm za		prerezi (obrisi)	šrafure
			krivulje 1)	osnovne črte v risbah		
2 ×	0,4	0,2	0,6	0,2	0,4	0,2
2,5 ×	0,5	0,3	0,8 (0,5)	0,3	0,5	0,3
3,5 ×	0,8	0,4	1,0 (0,8)	0,4	0,8	0,4

Vrednosti v oklepaju uporabljamo, kadar je v istem koordinatnem sistemu več krivulj, ki se morajo med seboj razlikovati.

Uporabljamo predvsem 2-kratno povečavo in pripadajoče debeline črt.