

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

## VSEBINA

	Stran
Prešeren Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana	
VPLIV DEZOKSIDACIJSKE TEHNOLOGIJE NA IZKORISTKE DODANEGA ALUMINIJA . . . . .	133
Koroušič Blaženko — Metalurški in- štitut Ljubljana	
O NEKATERIH ZNACILNOSTIH ŽLINDER SISTEMA $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ . . . . .	145
Uranc Franc — Zelezarna Ravne	
SODOBNA ORODNA JEKLA . . . . .	155
Segel Jože — Zelezarna Ravne	
UPORABNOST MAGNETNE ANALIZE ZA KONTRLO TOPLLOTNE OBDELAVE BRZO- REZNIH JEKEL . . . . .	165
Brudar Božidar — Zelezarna Jesenice	
PREVERJANJE STATISTICNIH HIPOTEZ S POMOCJO OPERACIJSKIH KARAKTERISTIK . . . . .	175

LETO 6 ŠT. 3 1972  
ŽEZB BQ 6 (3) 132-179 (1972)



- Prešeren Alojz —  
Metalurški inštitut Ljubljana
- Vpliv dezoksidacijske tehnologije na izkorist-  
ke dodanega aluminija . . . . .** 133
- DK: 669:183; 187, 66.094.1  
ASM/SLA: D2c; D5c
- Koroušič Blaženko —  
Metalurški inštitut Ljubljana
- O nekaterih značilnostih žlinder sistema  $\text{CaF}_2$ -  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{CaO}$  . . . . .** 145
- DK: 669.187.8  
ASM/SLA: D11n
- Uranc Franc — Železarna Ravne
- Sodobna orodna jekla . . . . .** 155
- DK: 669.14.018.25  
ASM/SLA: TSb
- Šegel Jože — Železarna Ravne
- Uporabnost magnetne analize za kontrolo  
toplotne obdelave brzoreznih jekel . . . . .** 165
- DK: 620.179.14; 669.14.018.252.3  
ASM/SLA: S13h; Tsm
- Brudar Božidar — Železarna Jesenice
- Preverjanje statističnih hipotez s pomočjo  
operacijskih karakteristik . . . . .** 175
- DK: 519  
ASM/SLA: Uhj

# INHALT

Seite

Prešeren Alojz —  
Metalurški inštitut Ljubljana  
**Einfluss der Desoxydationstechnologie auf  
das Ausbringen des zugesetzten Aluminium . . . . .** 133  
DK: 669:183; 187, 66.094.1  
ASM/SLA: D2c; D5c

Koroušič Blaženko —  
Metalurški inštitut Ljubljana  
**Einiges über die Eigenschaften der Schlacken  
im System  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  . . . . .** 145  
DK: 669.187.8  
ASM/SLA: D11n

Uranc Franc — Železarna Ravne  
**Die gegenwärtigen Werkzeugstähle . . . . .** 155  
DK: 669.14.018.25  
ASM/SLA: TSb

Šegel Jože — Železarna Ravne  
**Anwendbarkeit der Magnetischen Analyse für  
die Kontrolle der Wärmebehandlung der  
Schnellarbeitsstähle . . . . .** 165  
DK: 620.179.14; 669.14.018.252.3  
ASM/SLA: S13h; Tsm

Brudar Božidar — Železarna Jesenice  
**Die Überprüfung der statistischen Hypothese  
mit Hilfe der Operationscharakteristik . . . . .** 175  
DK: 519  
ASM/SLA: Uhj

# CONTENTS

	Page
Prešeren Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana	
<b>Influence of technology of deoxidation on the yield of added aluminium . . . . .</b>	<b>133</b>
DK: 669:183; 187, 66.094.1 ASM/SLA: D2c; D5c	
Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana	
<b>On some characteristics of slags of the sy- stem <math>\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}</math> . . . . .</b>	<b>145</b>
DK: 669.187.8 ASM/SLA: D11n	
Uranc Franc — Železarna Ravne	
<b>Modern tool steels . . . . .</b>	<b>155</b>
DK: 669.14.018.25 ASM/SLA: TSb	
Segel Jože — Železarna Ravne	
<b>Usability of magnetic analysis for control of heat treatment of high-speed steels . . . . .</b>	<b>165</b>
DK: 620.179.14; 669.14.018.252.3 ASM/SLA: S13h; Tsm	
Brudar Božidar — Železarna Jesenice	
<b>Test of statistical hypotheses by means of operating characteristic curves . . . . .</b>	<b>175</b>
DK: 519 ASM/SLA: Uhj	

## СОДЕРЖАНИЕ

- Prešeren Alojz —  
Metalurški inštitut Ljubljana  
**Влияние технологии раскисления и выход  
добавленного алюминия. . . . . 133**  
DK: 669:183; 187, 66.094.1  
ASM/SLA: D2c; D5c
- Koroušič Blaženko —  
Metalurški inštitut Ljubljana  
**О некоторых характеристиках шлак си-  
стемы  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ . . . . . 145**  
DK: 669.187.8  
ASM/SLA: D11n
- Uranc Franc — Železarna Ravne  
**Современные методы инструментальной  
стали . . . . . 155**  
DK: 669.14.018.25  
ASM/SLA: TSb
- Segel Jože — Železarna Ravne  
**Применимость магнитного анализа для кон-  
троля тепловой обработки быстрорежу-  
щей стали. . . . . 165**  
DK: 620.179.14; 669.14.018.252.3  
ASM/SLA: S13h; Tsm
- Brudar Božidar — Železarna Jesenice  
**Проверка статистических гипотез при  
помощи операционных характеристик. . . 175**  
DK: 519  
ASM/SLA: Uhj

Alojz Prešeren, dipl. inž.  
Metalurški inštitut Ljubljana

DK: 669 : 183; 187, 66.094.1  
ASM/SLA: DZC; D5C

## Vpliv dezoksidacijske tehnologije na izkoristke dodanega aluminija

*Na podlagi tehnoloških analiz in statističnega obrazca, ki vsebuje vplivne faktorje izdelavne prakse za SM in E postopek, smo izvedli vrednotenje raznih načinov dezoksidacije s ciljem, da ugotovimo izkoristke dodane količine aluminija za pred- in končno dezoksidacijo.*

*Zasledovali smo homogenost gredic v pogledu (Al), in (O) ter poudarili vpliv obdelave taline v ponvi z argonom oz. dušikom.*

### UVOD

Tehnološki regulativi skušajo postaviti določene odnose v izdelavnem postopku v grobe okvirje tehnološke zakonitosti. Neredko pa pride v praksi do odstopanja predvidenih parametrov, kar zahteva delne ali obsežne spremembe predvsem v dezoksidacijski praksi.

V okviru predmetne problematike smo imeli postavljen cilj, da:

— zasledujemo vpliv izdelavnega SM in E postopka na končno fazo stanja šarže v peči pred prebodom,

— najdemo zakonitosti, ki bi dovoljevale ocenitev stanja šarže oziroma določitev praktično potrebnega obsega pred- in končne dezoksidacije,

— določimo parametre, ki diktirajo količino kislinotopnega Al, torej vplivajo na izkoristek slednjega.

### PROGRAM RAZISKAV

Odločili smo se za pomirjeno kvaliteto nelegiranega jekla s srednjim in nizkim ogljikom ter nizko legiranega cementacijskega jekla in jekla za poboljšanje z nizkim ogljikom. Pri nelegiranih jeklih kvalitet C in Ck 10, 15 in 35 ter 45 pride v poštev SM jeklo in E jeklo z eno žlindro in dez-

oksidacijo v ponvi, pri cementacijskih jeklih in jeklih za poboljšanje in sicer EC 80, 100, ECMo 80, 100 VCMo 135, 140, 31 CrV3 itd. je izdelati šarže s preddezoksidacijo z Al, ev. SiMn in standardno končno dezoksidacijo v ponvi.

Da bi mogli ugotoviti vpliv argoniziranih šarž na izkoristke Al in vročo predelavo, je bilo odločeno, da bo del poizkusnih šarž izdelan brez in del s preprihovanjem z argonom oz. dušikom. Dodatek aluminija naj bi sledil pri določenem številu poizkusnih šarž z argonom med prvim in drugim delom argoniziranja, del dodatka Al naj bi sledil po končanem argoniziranju. Pri izdelavi SM jekla naj bi nekaj poizkusnih šarž izdelali z dodatkom celotne količine potrebnega aluminija v komadih po 1 kg, nekaj šarž v količini po 5 kg, ostale tako, da bi polovico potrebne količine Al dodali v curek taline, polovico pa skozi žlindro po končanem prebodu.

Za vse šarže smo beležili podatke o časovnih in količinskih parametrih, za analiziranje skupne količine kisika, aluminija in glavnih oksidov v nekovinskih vključkih smo jemali vzorce:

- po izkuhavanju taline,
- pred dodatkom preddezoksidantov,
- pred izpustom taline iz peči,
- med litjem prve in druge livne plošče,
- iz izvaljane gredice ločeno za glavo, sredino in nogo ter ločeno za rob in srednjo os gredice.

Dobljeni rezultati naj bi služili za:

— ocenitev tehnološke prakse v smislu najboljših vplivnih pokazateljev na stanje taline v peči pred izpustom,

— prikaz zakonitosti za vpliv posameznih tehnoloških parametrov na kisik v talini pred izpustom oziroma na pričakovano količino topnega aluminija,

— ugotavljanje potrebnega obsega dezoksidacije oziroma količine topnega Al v izdelanem jeklu,

— medsebojno odvisnost topnega in netopnega Al, kisika v talini, izkoristka aluminija pri upoštevanju različnih načinov dodatka aluminija.

Z ozirom na različne načine dezoksidacije: šarže z in brez preddezoksidacije, različni časi, količine in načini dodatki Al, je treba predvsem kazati izkoristke aluminija ter predlagati najučinkovitejši način dodajanja.

### IZVAJANJE POSKUSOV IN VREDNOTENJE REZULTATOV

V smislu programa smo izdelali v 60 t E peči: 3 šarže nizko legirane navadne kvalitete z 0,19 do 0,37 % C, brez argona,

— 5 šarž nizko legirane in navadne kvalitete z 0,2 do 0,37 % C, obdelane v ponvi s plinastim argonom,

— 4 šarže kvalitete Č 1430 oz. 4320, obdelane v ponvi s plinastim argonom.

Pri 3 šaržah je bil izveden dodatek Al za končno dezoksidacijo v ponvi, pri drugi skupini poizkusnih šarž smo dodali Al po končanem prvem delu pihanja argona, pri tretji seriji šarž po končanem drugem delu pihanja argona. Za preddezoksidacijo smo pri vseh šaržah dodali okrog 1,0 kg Al/t v času 50 do 60 minut pred prebodom.

V 25 oz. 40 t E peči smo izdelali:

— 3 šarže za poboljšanje brez argona, z dodatkom Al v času 25 minut pred prebodom za preddezoksidacijo in z dodatkom Al za končno dezoksidacijo v ponev,

— 7 šarž jekla za cementacijo po preizkušeni »K« metodi: za preddezoksidacijo dodatek okrog 1,0 kg Al/t v času 25 minut pred prebodom, za končno dezoksidacijo dodatek 0,4 kg Al/t po končanem prvem delu pihanja argona,

— 6 šarž za cementacijo po modificiranih metodah: preddezoksidacija z 0,95 kg Al/t v času 55 minut pred prebodom, dodatek 0,3 kg Al/t v času 6 do 20 minut pred prebodom in dodatek okrog 0,25 kg Al/t v ponev oz. pri argonski obdelavi po končanem prvem delu pihanja.

V 30 t SM peči je bilo izdelanih

— 15 šarž kvalitete CK 10 in CK 15

Pri 5 šaržah smo dodali potrebno količino Al v talino v ponvi v komadih po 1 kg, pri 5 šaržah v komadih po 5 kg in pri 5 šaržah polovico potrebne količine Al v talino v ponvi, ostalo skozi žlindro, ko je bila ponev napolnjena.

Za študij odnosov med tehnološkimi parametri in značajem taline v posameznih izdelavnih fazah ter izdelanim jeklom smo razpolagali z rezultati analiz skupnega kisika po oksidaciji, po izkuhavanju, v talini pred prebodom in nekaterimi vplivnimi tehnološkimi pokazatelji kot čas trajanja bele žlindre, količina Al<sub>t</sub> v talini pred prebodom, dodatek Al za preddezoksidacijo, dodatek Al za končno

dezoksidacijo, količina topnega Al v izdelanem jeklu, skupni kisik v poizkusnih gredicah ločeno za glavo, sredino in nogo, količina netopnega Al v glavi, sredini in nogi gredic in končno SiO<sub>2</sub> ter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v nekovinskih vključkih.

Iz zasledovanja dobljenih rezultatov moremo zaključiti, da samo vrednotenje razpoložljivih podatkov ne nudi odgovora za značilno obnašanje aluminija tj. da dobimo različne vsebnosti topnega Al v izdelanem jeklu kljub sličnim količinam kisika pred prebodom, sličnim dodatkom Al in enako uspešni obdelavi taline v ponvi z argonom.

E postopek:

Za vrednotenje parametrov, ki vplivajo na obnašanje aluminija smo se poslužili obrazca, ki smo ga sestavili s pomočjo statistične obdelave številnih E in SM šarž:

$$(Al)_t \% = K_c \cdot F \cdot \sqrt{\frac{Al_d \%}{(O) \% \cdot \check{c}}}$$

Vrednost K<sub>c</sub> je odvisna od dodatka Al<sub>d</sub> in narašča proporcionalno z dodatkom. Tako je npr. pri 0,3 kg Al/t vrednost K<sub>c</sub> — 0,011; pri 1,0 kg Al/t je K<sub>c</sub> — 0,035.

č — čas v minutah od dodatka Al do preboda.

Pri kalkulaciji Al<sub>t</sub> pri končni dezoksidaciji, ko dodamo aluminij v ponev, znaša čas č okrog 7 minut

(O) % — količina skupnega kisika v talini tik pred dodatkom Al<sub>d</sub>.

Za kalkulacijo Al<sub>t</sub> v talini v peči znaša »F« — 1,45, če je bila talina učinkovito preddezoksidirana (Al, Si, Mn) in 1,35 če ni preddezoksidirana. Za kalkulacijo Al<sub>t</sub> v talini v ponvi je »F« — 1,3. Prikazane odvisnosti med Al<sub>t</sub> v izdelanem jeklu napram Al<sub>t</sub> v talini v ponvi in v talini v peči sledijo povprečno dobljenim odnosom preiskav številnih šarž in odgovarjajo vrednostim 1:1, 3:1,4.

Na osnovi navedenih odnosov smo za vse poizkusne šarže kalkulirali Al<sub>t</sub>. Primerjava med tako dobljenimi vrednostmi Al<sub>t</sub> v talini pred prebodom, dodatnega Al<sub>t</sub> zaradi končne dezoksidacije z aluminijem v ponvi in količinami Al<sub>t</sub> v izdelanem jeklu nam nudi možnosti ugotavljanja učinkovitosti posameznih dodatkov Al oz. stopnjo izkoristka dodane količine Al v posameznih tehnoloških fazah. Na ta način smo imeli možnost ugotoviti kateri dodatki Al so bili učinkoviti oz. v kakem obsegu vpliva na izkoristek Al količina ogljika, odnosno količina skupnega kisika pred prebodom in čas dodatka Al pred prebodom.

Vrednotenje vpliva ogljika na prosti kisik smo prikazali z obrazcem, s katerim zasledujemo tudi vpliv časa izkuhavanja po oksidaciji na količino kisika:

$$(O) \% = K \cdot \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{\check{c}}$$

Vrednost — K — je odvisna od časa izkuhavanja — č — in znaša npr. pri času 15 minut okrog

0,06, pri času 45 minut pa 0,012. Pri krajših časih vrednost konstante hitreje narašča.

Iz odnosov vpliva časa in ogljika na količino kisika moremo ugotoviti, da bo kisik pri višjem ogljiku in daljšem času manjši, kar nudi možnost za povečanje količine kislinotopnega Al. Dolgi časi od dodatka  $Al_3$  do preboda znižujejo količino Al, oziroma znižujejo izkoristek Al.

Nastane vprašanje kdaj bi bil dodatek Al optimalen z ozirom na izkoristek Al, intenziteto izločanja  $Al_2O_3$  in čim nižji kisik v talini pred prebodom.

Verjetni mehanizem dezoksidacije nudi odgovore za:

- obseg in hitrost dezoksidacijske reakcije
- intenziteto izločanja  $Al_2O_3$
- obseg redukcije  $SiO_2$
- učinkovitost ali neučinkovitost obdelave taline v ponvi s plinastim argonom oziroma dušikom
- verjetno utemeljenost oz. neutemeljenost analize  $Al_1$ .

Pripomniti moramo, da so bili nekateri vzroki izredno nehomogeni in vsebnosti  $Al_1$  za eno in isto šaržo med 0,007 % in 0,039 %.

V naslednjem podajamo verjetni mehanizem dezoksidacije za nekaj značilnih šarž iz posameznih poskusnih serij:

Šarža 106194 — C 35 stab.

C — 0,37 %, Si — 0,23 %, Mn — 0,56, P — 0,008 %, S — 0,016 %, Alt — 0,019 %,  $Al_{net}$  — 0,002/0,004 %.

Analize skupnega kisika so naslednje:

v talini po oksidaciji	— 0,0256 %
po izkuhanju	— 0,0141 %
v talini pred prebodom	— 0,0048 %
v mali probni kokili	— 0,0068 %
v izvaljani gredici glava	— 0,0058 %, sredina — 0,0056 %, noga — 0,0046 %.

Šarža je raztalila z 0,51 % C, žilavenje je bilo s kisikom pri povprečni hitrosti 0,007 % C/min, kar nudi statistično okrog 0,027 % skupnega kisika.

Izkuhanje po oksidaciji je trajalo 20 minut, kalkulacijska količina prostega kisika je:

$$(O)_{1z} \% = 0,071 \cdot 1/0,3 \cdot 1/20 = 0,0117 \%$$

Ob koncu izkuhanja predvidevamo (na osnovi številnih dosedanjih raziskav) v talini 0,0045 %  $Al_2O_3$ , 0,0075 %  $SiO_2$  oziroma skupni vezani kisik 0,0059 %. Skupni kisik ob koncu izkuhanja znaša torej 0,0176 %, po analizi pa 0,0141 %.

Po odstranitvi žlindre smo na golo dodali 1,0 kg Al/t in 1,5 kg Si/t (SiMn). Sledi dodatek apna in mešanica  $CaF_2 + C + CaSi$  za tvorbo bele žlindre. Učinek preddezoksidacije zaradi SiMn je praktično nezaznaven ker je čas od dodatka do preboda

znatno prevelik. Pride pa učinek SiMn do izraza pri kalkulaciji količine topnega Al, katerega odgor je nekoliko manjši.

Učinek bele — karbidne žlindre s časom dejstvom 38 minut se more izraziti le z določeno vlogo pri razžveplanju in ne pri preddezoksidaciji. Predpostavljamo pa, da se ob koncu te periode znižata  $Al_2O_3$  in  $SiO_2$  v talini na okrog 0,0018 % in 0,006 %, oziroma skupni kisik približno na 0,0039 %.

Dodatek 0,1 % Al na golo znatno presega učinek preddezoksidacije vsled bele karbidne žlindre. Kalkulacija ( $Al$ )<sub>1</sub> v talini pred prebodom:

$$(Al)_1 \% = 0,035 \cdot 1,45 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{0,0141 \cdot 50}} = 0,019 \%$$

(enak rezultat nudi tudi analiza).

Ravnotežna količina prostega kisika je približno 0,0017 %. Razlika (0,0141—0,0059—0,0017) = 0,0065 % O reagira z Al pri čemer se tvori 0,0136 %  $Al_2O_3$ . Pri redukciji  $SiO_2$  do 0,002 % nastane 0,0045 %  $Al_2O_3$ . Skupno se tvori 0,0136 + 0,0018 + 0,0045 = 0,0199 %  $Al_2O_3$ . Obseg izločanja znaša okrog 67 %. V talini ostane 0,006 %  $Al_2O_3$ , 0,002 %  $SiO_2$ , 0,0017 % O in skupni kisik je pribl. 0,0055 % (po analizi 0,0048 %).

Razmerje  $(O)_1 : (O)_{1z} = 0,0055 : 0,0141 = 0,38$ . Po statističnem zasledovanju navedenega odnosa je vrednost 0,35 karakteristična za normalne pogoje preddezoksidacije.

V curek taline med prebodom smo dodali 0,33 kg Al/t v zavrtkih po 5 kg. Kalkulacija dodatnega ( $Al$ )<sub>1</sub> v talni ponvi je:

$$(Al)_1 \% = 0,012 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{\frac{0,033}{0,0055 \cdot 7}} = 0,014 \%$$

Skupni aluminij v talini v ponvi bi naj znašal:

$$(Al)_1 \% = 0,019 \cdot 1,3/1,45 + 0,014 = 0,031 \%$$

v izdelanem jeklu bi naj bil aluminij 0,031.  $\cdot 1,0/1,3 = 0,025 \%$ .

Stvarno smo analizirali 0,016—0,019 % Al.

Iz primerjave sledi, da je bil izkoristek dodanega Al v curek taline okrog 0,003 do 0,004 % mesto 0,011 % (z ozirom na Al v jeklu). Količina aluminija je torej v talini v ponvi 0,019  $\cdot 1,3/1,45 + 0,003 \cdot 1,3 = 0,021 \%$ .

Med prebodom pride v talino iz obloge ponve:

$$SiO_2 = 0,65 \cdot 5,08 \cdot 10^{-4} \cdot (5 + 1)^2 \cdot \sqrt{16,0} = 0,0147 \%$$

Pri izločanju med prebodom v količini 45 % ostane 0,55 (0,0475 + 0,002) = 0,0272 %  $SiO_2$ . Pri redukciji z Al do 0,0031 % (analiza izolata), nastane 0,026 %  $Al_2O_3$ . Pri sekundarni oksidaciji curka nastane 1,9 (0,021—0,016) = 0,01 %  $Al_2O_3$ . Skupno se tvori 0,01 + 0,005 + 0,026 + 2,1  $\cdot$  (0,0017 do 0,0015) = 0,045 %  $Al_2O_3$ .



Obseg izločanja v 18 minutah (od preboda do odlitja prve livne plošče) je okrog 78 %. V jeklu ostane približno 0,0055 %  $Al_2O_3$ , 0,0031 %  $SiO_2$ , 0,0015 % O (ostali oksidi). Skupni kisik je pribl. 0,0059 %, po analizi pa ga je 0,0056 do 0,0058 %.

Napram verjetnim odnosom pri normalnih tehnoloških pogojih je skupni kisik v jeklu:

$$(O)_j \% = 0,0035 + 0,14 \cdot (O)_{Iz} = 0,0035 + 0,14 \cdot 0,0055 = 0,0044 \%$$

Po statističnem odnosu z upoštevanjem količine kisika po izkuhavanju je količina kisika v jeklu:

$$(O)_j \% = 0,0035 + 0,053 \cdot (O)_{Iz} = 0,0035 + 0,053 \cdot 0,0176 = 0,0044 \%$$

Primerjava teh kisikov s količino analiziranega kisika v jeklu potrjuje manjši učinek končne dezoksidacije oz. prenizko izkoriščanje dodanega Al med prebodom. Verjetno je bila tudi temperatura med litjem nekoliko prenizka kar zmanjšuje intenzivnost izločanja  $Al_2O_3$ .

Splošne tehnološke pripombe:

— rafinacija in preddezoksidacija taline sta normalni. Obstaja splošno vprašanje o utemeljenosti dolgega časa od dodatka Al do preboda, ko je možno s pravnimi sintetičnimi žilindrami v krajšem času dobiti praktično enaki učinek odžveplanja,

— končna dezoksidacija v ponvi je bila le delno učinkovita, zaradi česar sta količina oksidnih vključkov in skupni kisik v jeklu večja,

— obstaja verjetnost, da je bila livna temperatura nekoliko prenizka in izločanje  $Al_2O_3$  premalo obsežno. Vsled tega je skupni kisik v jeklu višji kot kisik v talini pred prebodom, kar na podlagi statističnih odnosov ni normalno,

— izkoristek dodanega Al za preddezoksidacijo znaša:

$$0,019 \cdot 100/0,1 = 19 \% \text{ (zelo dobro),}$$

izkoristek dodanega Al med končno dezoksidacijo je

$$0,003 \cdot 100/0,033 = 9 \% \text{ (mesto 33 \%),}$$

$$\text{izkoristek dodanega Al na jeklo znaša}$$

$$0,018 \cdot 100/0,133 = 13 \% \text{ (mesto 18 \%).}$$

Iz grupe poizkusnih šarž, kjer smo dodajali aluminij po končanem prvem delu pihanja argona je najuspešnejše izdelana šarža št. 106182 — C 35 st.

C — 0,37 %, Si — 0,24 %, Mn — 0,51 %, S — 0,011 %, Al<sub>i</sub> — 0,026 do 0,029 %, Al<sub>net</sub> — 0,003 do 0,004 %.

Šarža je raztalila z 0,6 % C, po 15-minutnem izkuhavanju je v talini 0,0167 % O, kalkulatívna količina kisika pa 0,017 %.

Po izkuhavanju oziroma 40 minut pred prebodom sledi dodatek 0,11 % Al. Kalkulatívna količina Al<sub>i</sub> znaša 0,021 %, stvarno smo analizirali 0,018 % Al.

Po sličnem mehanizmu dezoksidacije kot pri prejšnji šarži se tvori skupno 0,0208 %  $Al_2O_3$  in pri 75 % izločanju ostane v talini pred prebodom

okrog 0,005 %  $Al_2O_3$ , 0,002 %  $SiO_2$ , 0,0016 % O ter skupni kisik pribl. 0,0050 %.

$(O)_{I} : (O)_{Iz} = 0,0050 : 0,017 = 0,30$ , kar je zelo dobro.

Z dodatkom Al po končanem prvem delu pihanja argona se poveča  $(Al)_i$  v talini v ponvi za:

$$(Al)_i = 0,0152 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{\frac{0,046}{0,0050 \cdot 7}} = 0,020 \%$$

Skupni aluminij v talini v ponvi bi znašal:

$0,021 \cdot 1,3/1,45 + 0,020 = 0,035 \%$  in v izdelanem jeklu okrog 0,026 %. Stvarno smo analizirali v tej šarži okrog 0,028 % topnega aluminija. Smatramo, da sta bila oba dodatka, torej za preddezoksidacijo in končno dezoksidacijo normalno učinkovita.

Vsled uspešne argonske obdelave — redukcija  $SiO_2$  do 0,0015 % (analiza izolata), intenzivnost izločanja  $Al_2O_3$  95 %, ostane v jeklu okrog 0,003 %  $Al_2O_3$ , 0,0015 %  $SiO_2$ , 0,0006 % O (ostali oksidi) in skupni kisik je pribl. 0,0030 %. Po analizi znaša kisik 0,0028 do 0,0033 %.

Napram statistični kalkulaciji kisika v izdelanem jeklu (pri uspešni argonski obdelavi) znaša isti:

$(O)_j \% = 0,0027 + 0,14 \cdot 0,0050 = 0,0034 \%$ , kar se s stvarno analizo kisika v gredici zadovoljivo ujema.

Splošne tehnološke pripombe:

— šarža je zelo dobro izdelana. Pripominjamo, da bi praktično enako dobre rezultate dosegli tudi pri nižjem aluminiju — okrog 0,022 %. Dodatek Al med argonsko obdelavo lahko zmanjšamo na 0,3 kg/t, če je ob koncu rafinacije dosežen zadovoljiv preddezoksidacijski učinek.

— Argonsko preprihanje taline v ponvi je bilo zelo uspešno.

— Izkoristek Al med preddezoksidacijo znaša  $0,021 \cdot 100/0,11 = 19 \%$ .

Izkoristek Al med dezoksidacijo je  $0,022 \cdot 100/0,46 = 47 \%$ .

Izkoristek aluminija v jeklu znaša  $0,028 \cdot 100/0,156 = 18 \%$ .

Splošne tehnološke značilnosti vseh poizkusnih E šarž:

Iz vseh dobljenih podatkov kot jih nam nudijo tehnološka analiza šarž, analiza plinov in vključkov ter odnosi, kot jih dovoljuje verjetni mehanizem dezoksidacije, moremo zaključiti naslednje:

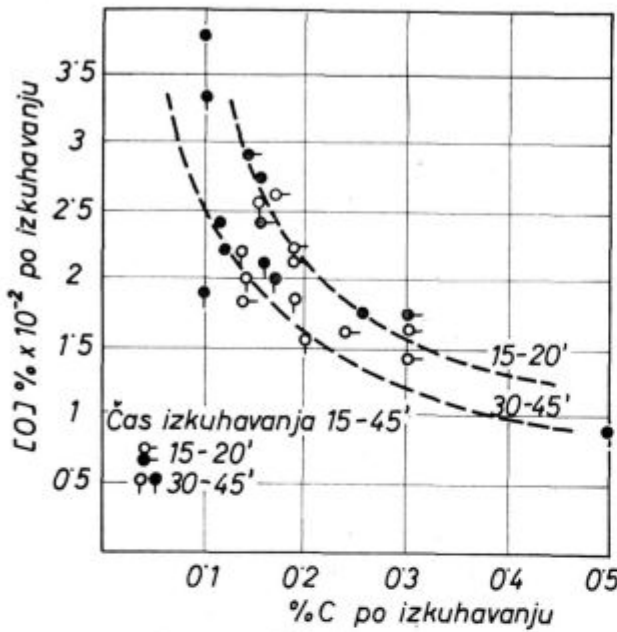
— Količine kisika po izkuhavanju sledijo odnosom, kot so za določeni C in čas izkuhavanja značilni. V povprečju znašajo časi izkuhavanja 20 do 35 minut. Odgovarjajoče vsebnosti skupnega kisika so med 0,018 do 0,025 % (sl. 1).

— Časi od končanega izkuhavanja do preboda so med 25 in 95 minut.

— Dodatki Al za preddezoksidacijo v količini 0,9 do 1,0 kg/t, z izjemo pri trdih šaržah, so sledili v različnih časih od izkuhavanja do preboda (sl. 2).

— Količina kisika pred prebodom znaša med 0,0064 do 0,0123 %.

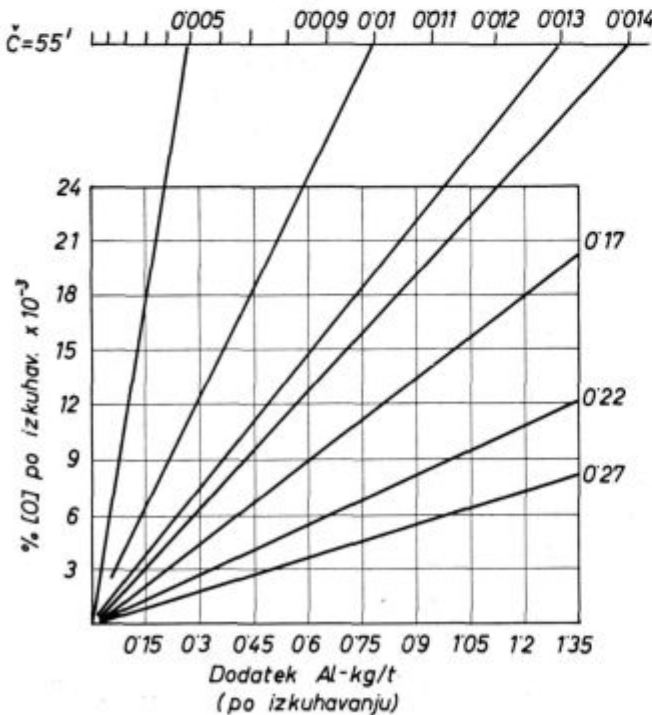
— Delno bela žilindra pri poizkusnih šaržah, razen v dveh primerih, ni doprinesla k povečani stopnji preddezoksidacije, temveč je vlogo pred-



Slika 1

Vpliv količine ogljika in časa izkuhavanja taline po oksidaciji na količino kisika v talini

$\%Al/t$  (pred izpustom)



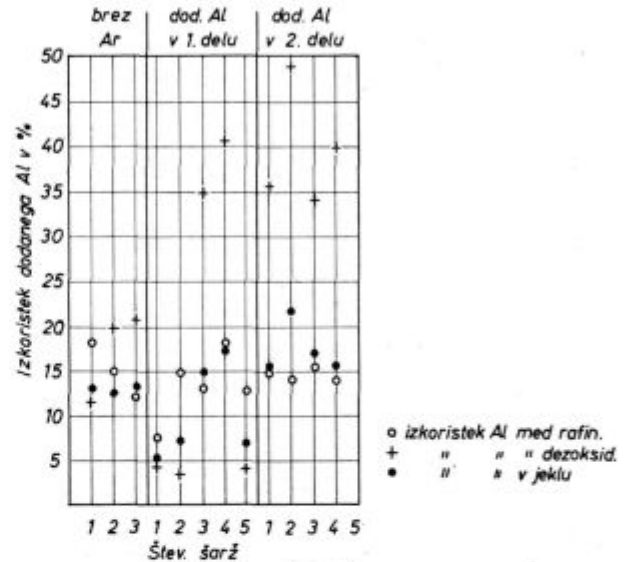
Slika 2

Vpliv količine kisika in dodatka aluminija po izkuhavanju taline na količino kislinitopnega aluminija v talini pred prebodom

dezoksidanta prevzel dodani Al. Se pa kaže pozitiven vpliv delno bele žilindre v povečani stopnji odzveplanja za okrog 6—8 %.

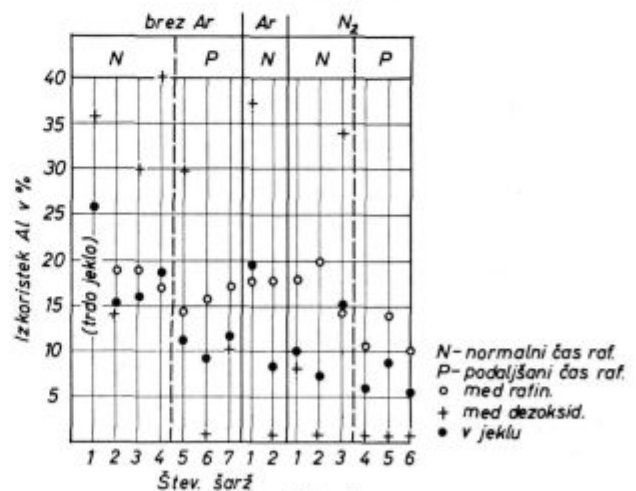
— Razmerje  $(O)_I : (O)_{II}$  znaša povprečno 0,0075 : 0,021 = 0,35 pri kratkih rafinacijah in 0,0074 : 0,023 = 0,32 pri dolgih rafinacijah.

— Normalni izkoristek Al med rafinacijo naj bi bil 18 %, med dezoksidacijo (brez Ar) 20 %, odvisno od vsebnosti Al v talini pred prebodom oziroma v ponvi. Stvarno so bili dodatki Al uspešnejši pri kratki rafinaciji in znatno slabši pri dolgi. Rezultati so prikazani v sl. 3 in 4.



Slika 3

Vpliv načina dodatka aluminija na izkoristek dodanega aluminija



Slika 4

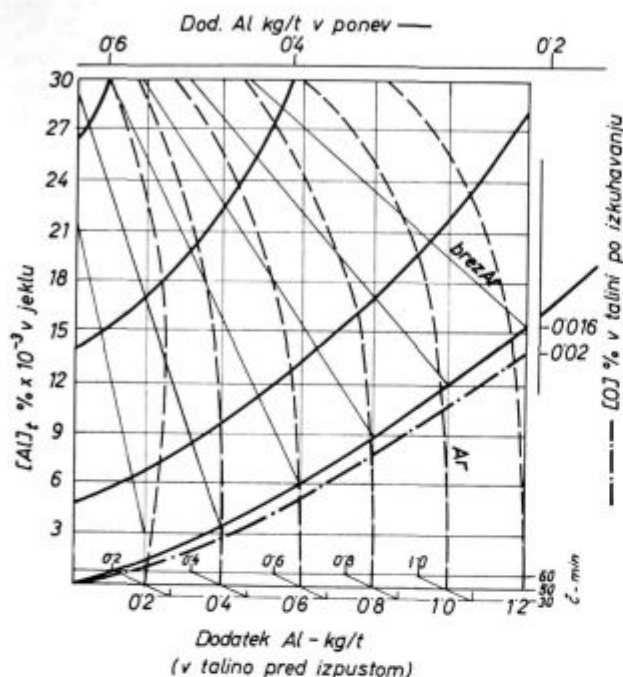
Vpliv različnih načinov dezoksidacije na izkoristek aluminija

— Dodatek Al po prvem delu pihanja argona nudi stopnjo izkoriščanja med dezoksidacijo okrog 4 % do 37 % (normalni izkoristek 35 do 45 %).

Tak način dodatkov Al ne kaže sigurnosti oziroma je preveč odvisen od subjektivnih momentov

— dodatek Al po končanem pihanju Ar je v celoti izredno učinkovit. Med rafinacijo so bili izkoristki 15 do 17 %, med dezoksidacijo od 35 do 48 %, v povprečju 39 %, kar je zelo ugodno.

— V sliki 5 prikazujemo vpliv dodatka Al za preddezoksidacijo in kisika po izkuhanju ter Al



Slika 5

Odnosi med kisikom v talini po izkuhanju, časom dodatka aluminija v talino pred prebodom, količino dodanega aluminija za pred- in končno dezoksidacijo in količino kislinitopnega aluminija v jeklu pri praksi z in brez obdelave taline v ponvi z argonom

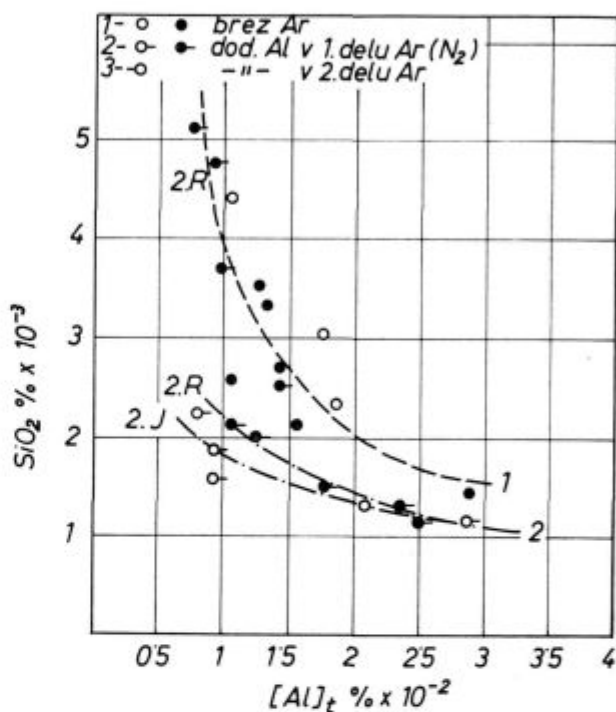
za končno dezoksidacijo v ponvi na količino kislinitopnega Al v jeklu pri standardni dezoksidaciji in uspešni obdelavi taline z argonom.

— Uspešnost argonske oziroma dušikove obdelave taline v ponvi je razvidna tudi iz vpliva Al na  $SiO_2$  v vključkih (slika 6). Pri standardni dezoksidaciji sledi vpliv krivulji 1, pri uspešni argonski obdelavi krivulji 2 J, pri uspešni dušikovi obdelavi krivulji 2 R. Ugotavljamo, da sta 2 J in 2 R pri količinah pa je dušikova obdelava nekoliko manj učinkovita (do tega zaključka pridemo na osnovi dobljenih rezultatov; verjetno pa ni praktičnih razlik). Pri neuspešnem preprihovanju so količine  $SiO_2$  na krivulji 1 kot je značilno za standardno dezoksidacijo.

— Vsebnost netopnega Al je zelo različna. Analiza rezultatov dovoljuje mišljenje, da je  $Al_{net}$  odvisen od vrste faktorjev, ki diktirajo izkoristek Al (slika 7). Na splošno je pričakovati manjši  $Al_{net}$  pri povečanem izkoristku Al. Medtem ko odnosi med rafinacijo nimajo vpliva, je viden vpliv izkoristka med dezoksidacijo. Prav tako obstaja verjetnost, da vpliva uspešno preprihovanje z argonom oziroma dušikom na nekoliko spremenjen vpliv izkoristka na vsebnost  $Al_{net}$ . Če sprejmemo

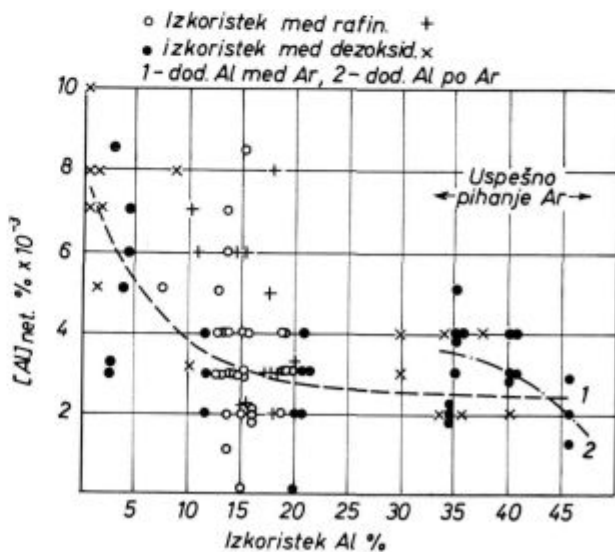
potek medsebojnih odnosov kot jih slika prikazuje, potem sledi, da vplivajo na zmanjšanje vsebnosti  $Al_{net}$  naslednji faktorji:

— nižji kisik v talini pred prebodom, torej daljše izkuhanje, višja temperatura, večja intenzivnost izločanja  $Al_2O_3$ , dobro mešanje in učinkovita preddezoksidacija. Dalje more vplivati na zmanjšanje  $Al_{net}$  visoka temperatura taline v ponvi, določeni čas čakanja ponve pred litjem (homogenost) in uspešno preprihovanje z argonom.



Slika 6

Vpliv količine kislinitopnega aluminija na zmanjšanje  $SiO_2$  v vključkih

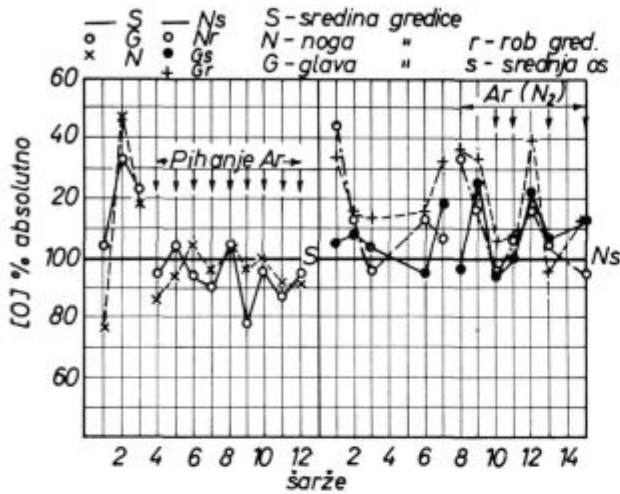


Slika 7

Vpliv izkoristka aluminija na količino netopnega aluminija v jeklu

Iz podatkov moremo tudi zaključiti, da je največja količina  $Al_{net}$  v glavi gredice, najmanj pa v nogi. Tudi ta razporeditev govori v prid notranjim kinetičnim odnosom homogenosti, višje temperature, hitrosti izločanja  $Al_2O_3$  in ne najmanj ohlajevalni hitrosti oziroma hitrosti kristalizacije.

— Zasedovanje gibanja skupnega kisika v glavi, sredini in nogi gredic ter po robu in v osrednji osi gredic je prikazano v sliki 8.

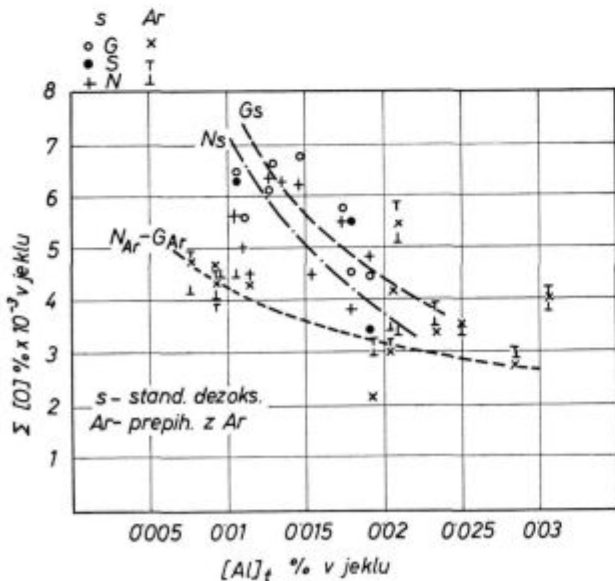


Slika 8

Vpliv uspešne obdelave taline v ponvi z argonom na homogenost gredic

Jasno vidimo sledeče:

— taline brez preprihovanja z Ar ali  $N_2$  kažejo znatno stresanje količine kisika med glavo, sredino in nogo. Pri uspešni obdelavi so razlike malenkostne. Prav tako ugotovimo malo stresanje med vrednostmi kisika na robu in osi gredic med nogo in glavo, veliko stresanje pa pri neuspelem prepriho-



Slika 9

Vpliv dezoksidacijske tehnologije na homogenost gredic

vanju oz. pri praksi brez preprihovanja. Torej doprinaša argonska obdelava taline k večji homogenosti tudi v pogledu kisika oziroma oksidov v vključkih.

— Vpliv  $Al_t$  na končni kisik v jeklu ločen za G, S in N pri praksi brez in z Ar ( $N_2$ ) prikazujemo v sliki 9.

— Kisik v jeklu sledi pri argonski obdelavi statističnemu odnosu:

$$(O)_j \% = 0,0027 + 0,14 \cdot (O)_1,$$

pri praksi brez argona pa:

$$(O)_j \% = 0,0035 + 0,14 \cdot (O)_1.$$

SM postopek:

Značilno za splošno tehnologijo izdelave pozikusnih SM šarž je, da so povprečne žilavilne hitrosti med rafinacijo različne in sicer med 0,2 do 0,6 % C/h in končne žilavilne hitrosti med 0,02 do 0,13 % C/25 minut. V glavnem so bile vse šarže izdelane s preddezoksidacijo z dodatkom SiMn v količini od 0,9 do 2,7 kg Si/t in čas od dodatka do preboda je bil 3 do 10 minut. Na osnovi študije o preddezoksidacijskem učinku sledi slednji obrazcu:

$$dO_2 = k \frac{1}{\sqrt{Si}}$$

$dO_2$  pomeni zmanjšanje količine kisika po preddezoksidaciji napram kisiku v talini pred dodatkom SiMn. Vrednost faktorja  $k$  je odvisna od časa od dodatka SiMn do preboda.

Optimalen učinek preddezoksidacije je pričakovati pri času 10 do 12 minut, medtem ko pri zelo kratkih časih praktično ni učinka.

Pri poskusnih šaržah znaša zmanjšanje kisika vsled preddezoksidacije v povprečju 11 % (prekratki časi).

Za kalkulacijo količine kisika ob koncu rafinacije, smo uporabili obrazec:

$$(O)_1 \% = K_c / C \cdot 0,4 \cdot K_1 / V_1 \cdot V_2 / K_2 \cdot 10^{-3}$$

- $(O)_1$  — skupni kisik v talini pred prebodom
- $V_1$  — povprečna žilavilna hitrost % C/h
- $V_2$  — žilavilna hitrost % C/25 minut
- $C$  — % C v talini pred prebodom oziroma pred dodatkom preddezoksidanta
- $K_2$  — vrednost konstante v odvisnosti od ogljika
- $K_1$  — vrednost konstante v odvisnosti od povprečne žilavilne hitrosti
- $K_2$  — korekturni faktor v odvisnosti od ogljika

Vpliv tehnoloških odnosov na vsebnost topnega Al smo slično kot pri elektro postopku zasledovali z obrazcem:

$$(Al)_t \% = K_c \cdot F \cdot \sqrt{\frac{\% Al_d}{(O) \% \cdot \check{c}}}$$

V naslednjem podajamo primer verjetnega mehanizma dezoksidacije za šaržo iz skupine, kjer je bil izveden dodatek Al v komadih po 1 kg v curek taline v ponvi.

Šarža 6138 — CK 10

C — 0,11 %, Si — 0,23 %, Mn — 0,52 %, S — 0,033 %, Al<sub>i</sub> — 0,017 do 0,022 %, Al<sub>net</sub> — 0,004 do 0,003 %.

Šarža je raztalila z 0,84 % C. Po izdatnem žilavenju s kisikom je kalkulacijska količina skupnega kisika pred dodatkom SiMn:

$$(O) \% = 5,9/0,11 \cdot 0,4 \cdot 1,05/0,405 \cdot 0,06/0,11 \cdot 10^{-3} = 0,0308 \%$$

Vsled dodatka 0,24 % Si kot SiMn v času 3 minute pred prebodom znaša  $dO_2 = 0,42/0,24 = 0,86$ . Skupni kisik v talini pred prebodom je okrog  $0,86 \cdot 0,031 = 0,027 \%$ , stvarno smo ga analizirali 0,0286 %.

Z dodatkom 0,091 % Al v curek taline znaša kalkulacijska količina topnega Al v talini v ponvi:

$$(Al)_t \% = 0,031 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{\frac{0,091}{0,029 \cdot 7}} = 0,026 \%$$

V jeklu naj bi bilo  $0,026/1,3 = 0,02 \%$  Al<sub>i</sub>, stvarno smo ga analizirali povprečno 0,0197 %.

Ravnotežna količina prostega kisika pri 0,23 % Si znaša približno 0,008 %. Razlika  $0,0286 - 0,008 = 0,0045$  reagira z Si in se tvori 0,031 % SiO<sub>2</sub>. Skupno z 0,027 % SiO<sub>2</sub> iz opeke ponve in 0,004 % SiO<sub>2</sub> iz taline iz peči ostane po 45 % izločanju med prebodom okrog 0,034 % SiO<sub>2</sub>. Po redukciji SiO<sub>2</sub> z Al do 0,0026 % (analiza izolata) nastane 0,038 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pri sekundarni oksidaciji curka taline nastane  $1,9 (0,026 - 0,02) = 0,012 \%$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ravnotežna količina prostega kisika pri 0,026 Al<sub>i</sub> v talini v ponvi je okrog 0,0014 %. Razlika  $0,008 - 0,0014$  reagira z Al in se tvori 0,014 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Skupno nastane

0,069 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pri verjetnem obsegu izločanja 90 % ostane v jeklu 0,006 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,0026 % SiO<sub>2</sub>, 0,0016 % O (ostali oksidi). Skupni kisik je okrog 0,0059 %, stvarno smo ga analizirali povprečno na robu gredice v glavi, sredini in nogi 0,0061 % in v osi gredice 0,0053 %, kar se z analizo zadovoljivo ujema.

Splošne tehnološke pripombe:

— Pri praksi brez preddezoksidacije bi znašal kisik v jeklu (sl. 10):

$$(O)_j \% = K \cdot (O)_t = 0,2 \cdot 0,029 = 0,0058 \%$$

(pri 0,02 % topnega Al). Pri optimalni preddezoksidaciji z 0,24 % Si (SiMn) bi znašal kisik v jeklu:

$$(O)_j \% = K \cdot (O)_t \cdot dO_2 = 0,2 \cdot 0,029 \cdot 0,56 = 0,0032 \%$$

Konkretno je bil učinek preddezoksidacije izkoriščen:

$$(0,0058 - 0,0032) \cdot 100 / (0,0058 - 0,0032) = 4 \%$$

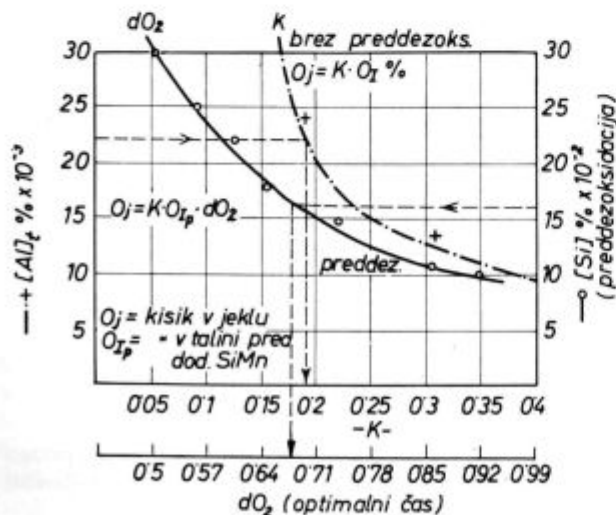
(zelo slab izkoristek preddezoksidacije).

— Izkoristek Al med dezoksidacijo znaša okrog 28,6 %, v jeklu okrog 22 %.

— Napram statističnemu obrazcu je:  $(O)_j \% = 0,0044 + 0,039 (O)_t - 0,0044 + 0,029 = 0,0055 \%$ , kar se s stvarno analizo kisika dobro ujema in je tudi dokaz, da s preddezoksidacijo praktično nismo izboljšali rezultata rafinacije. Sicer je šarža normalno izdelana.

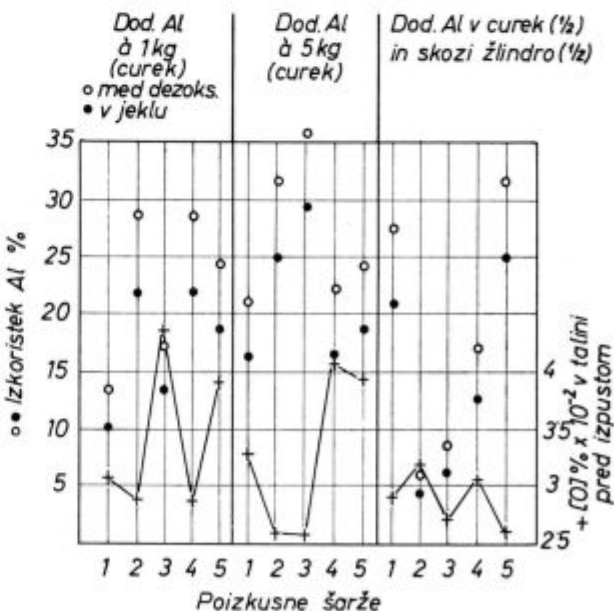
Splošne tehnološke značilnosti vseh poskusnih SM šarž:

— s povečano povprečno žilavilno hitrostjo V<sub>1</sub> in zmanjšano žilavilno hitrostjo v zadnjih 25 do 30 minut rafinacije se manjša skupni kisik v talini pred prebodom.



Slika 10

Učinek preddezoksidacije in končne dezoksidacije na kalkulacijsko količino kisika v jeklu



Slika 11

Vpliv dezoksidacijske tehnologije in kisika v talini na izkoristek dodanega aluminija

— z dodatkom SiMn v talino pred prebodom moremo vplivati na zmanjšanje kisika po statističnem obrazcu:

$$dO_2 = K \cdot \frac{1}{\sqrt{Si}}$$

Ugotovljeno je, da je optimalne učinke preddezoksidacije doseči pri 10–12 minutah od dodatka SiMn do preboda.

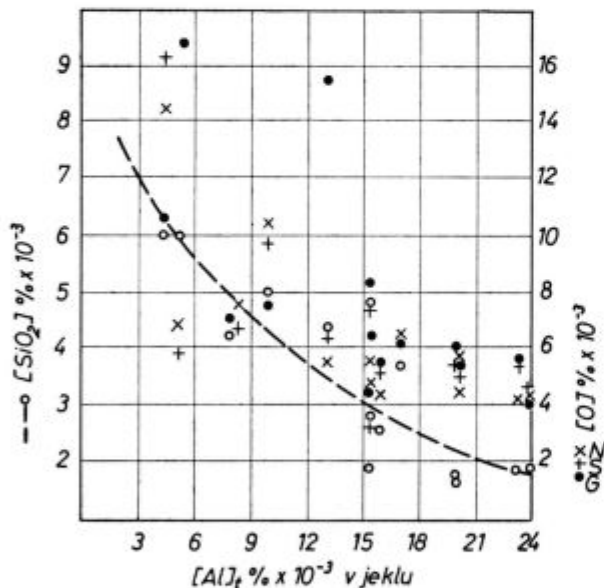
— kisik v jeklu brez preddezoksidacije sledi odnosu:

$(O)_j \% = K \cdot (O)_i$  oziroma pri preddezoksidaciji  $(O)_j \% = K \cdot (O)_i \cdot dO_2$ . Ugotavljamo, da pri Si (iz SiMn) okrog 0,09 do 0,11 % ni pričakovati preddezoksidacijskega učinka, oziroma je količina kisika v jeklu praktično enaka pri izdelavni praksi z in brez preddezoksidacije, če je v jeklu 0,01 do 0,012 % Al<sub>t</sub>.

— med kisikom v talini pred prebodom in kisikom v jeklu obstaja statistični odnos:

$$(O)_j \% = 0,0044 + 0,037 \cdot (O)_i$$

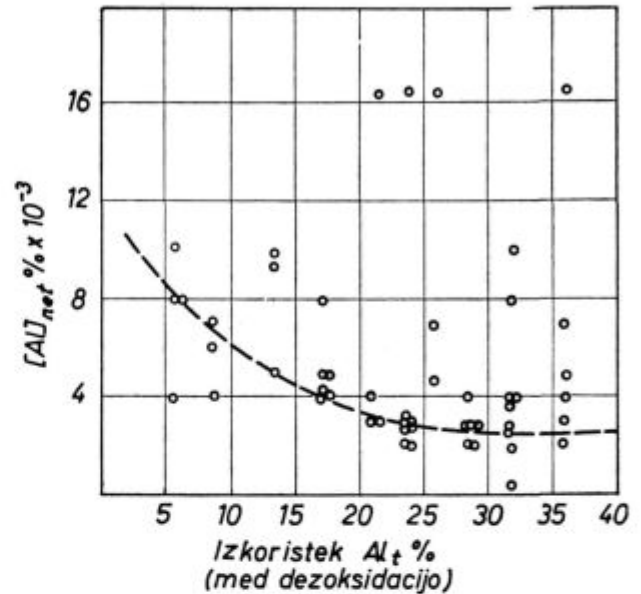
— izkoristki dodanega Al za poskusne 3 načine dodatka Al za končno dezoksidacijo so prikazani v sliki 11:



Slika 12

Vpliv količine kislinitopnega aluminija v jeklu na znižanje skupnega kisika oziroma SiO<sub>2</sub> v vključkih

pri dodatku Al v komadih po 1 kg je izkoristek povprečno 15–20 % nižji, kot pri dodatku Al v kosih po 5 kg. Pri dodatku Al v polovični količini v curek taline, ostala polovica skozi žlindro v napolnjeno ponev sta uspeli dve šarži, kjer je izkoristek v jeklu okrog 20 %, računano na enako količino kisika pred prebodom, pri ostalih 3 šaržah so izkoristki daleč pod normalo.



Slika 13

Vpliv izkoristka dodanega aluminija na količino netopnega aluminija v jeklu

Smatramo, da je najbolj učinkovit dodatek Al v komadih po 5 kg v curek taline, dodatek Al v curek in skozi žlindro je nezanesljiv.

— Ugotavljamo, da so kisiki v robovih gredic v glavnem višji kot v osi gredic. Prav tako je na splošno kisik v glavi višji kot v sredini oziroma nogi (slika 12). Pri nižjih Al<sub>t</sub> je stresanje količin kisika med G, S, N znatno večje kot pri višjih količinah topnega Al.

— S povečanim Al<sub>t</sub> se manjša SiO<sub>2</sub>. Ugotavljamo močnejši vpliv kot smo to zasledovali pri številnih prejšnjih raziskavah.

— Vpliv izkoristka Al med dezoksidacijo na količino netopnega Al je sličen kot pri E postopku, le stresanje rezultatov je znatno večje. Pri izkoristku Al<sub>t</sub> večjem kot 22 % se vpliv praktično ne povečuje (sl. 13).

### ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Bewertung der Technologie des SM Verfahrens haben wir die Gesamtsauerstoffmenge im Stahl am Ende der Refinationszeit nach der statistischen Formel bei Berücksichtigung der durchschnittlichen und Endfrischgeschwindigkeit und des Kohlenstoffes am Ende der Refinationszeit bestimmt. Wir haben festgestellt, dass die Formel nützlich für die Kalkulierung der Sauerstoffmenge angewendet werden kann, da die Abweichung von der durchschnittlichen analysierten Sauerstoffmenge von  $\pm 10$

bis 12 % beträgt. Das Bewegten des säurelöslichen Aluminiums ist auch mit einer statistischen Formel verfolgt worden. Auch hier konnten wir feststellen, dass nach der Formel das säurelösliche Aluminium genügend genau auskalkuliert werden kann, da die Abweichungen von der analysierten Menge nur klein sind. Das Ausbringen des während der Desoxydation zugesetzten Aluminiums ist für drei verschiedene Zugabearten bestimmt worden:

1. Zugabe von Al in Stücken von 1 kg in den Stahlstrahl.
2. Zugabe von Al in Stücken von 5 kg in die Pfanne
3. Zugabe einer Hälfte der Gesamtaluminiummenge in die Pfanne und der anderen Hälfte durch die Schlacke in die Schmelze. Es zeigt sich eindeutig, dass die Zugabe nach der zweiten Art am sichersten, und die Zugabe durch die Schlacke unsicher ist.

Die Bewertung der untersuchten Elektrostahlschmelzen haben wir auf Grund des Sauerstoffgehaltes nach dem Auskochen (Vergleich zwischen der analysierten und kalkulierten Menge), auf Grund der Menge des säurelöslichen Aluminium nach der statistischen Formel (Vergleich mit den analysierten Mengen) ausgeführt. Der Vergleich des Ausbringens von säurelöslichen Aluminium bei verschiedenen Desoxydationsarten zeigt, dass das Ausbringen von Aluminium am sichersten und am grössten ist, wenn das Aluminium für die Enddesoxydation am Ende der Argondurchspülung zugegeben wird. Wenn das Aluminium am Anfang der Argondurchspülung in die Pfanne zugegeben wird, ist das Ausbringen am schlechtesten. Wir setzen voraus, dass bei der Argondurchspülung der Stahlschmelze in der Pfanne das Ausbringen des Aluminiums nur 10 % grösser sein sollte als bei der üblichen Desoxydation. (Solche Daten gibt die Literatur an und die Ergebnisse der Versuchsschmelzen bestätigen es auch.)

Den Einfluss der Vordesoxydation mit Al zu verschiedenen Zeiten und Mengen vor dem Abstich haben wir mit

der statistischen Formel für die Kalkulation von säurelöslichem Al und dem Verhältniss  $(O)_1 : (O)_{12} = 0.35$  verfolgt.

Wir haben festgestellt, dass die Kalkulation des Gesamtsauerstoffgehaltes im fertigen Stahl bei der üblichen Desoxydationspraxis mit der statistischen Formel:  $(O)_1 \% = 0.0035 + 0.14 (O)_2$  und die Kalkulation des Sauerstoffes im Stahl bei erfolgreicher Argondurchspülung mit der Formel:  $(O)_1 = 0.0027 + 0.14 (O)_2$  berechnet werden kann.

Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse kann geschlossen werden, dass bei der üblichen Desoxydationspraxis das grösste Ausbringen des zugesetzten Aluminiums bei der Zugabe in 5 kg Stücken in die Pfanne zu erwarten ist, und bei der Argondurchspülung der Schmelze in der Pfanne, wenn das Aluminium in den letzten Minuten der Spülung durch die Schlacke zugegeben wird.

Die vorliegende Ergebnisse zeigen auch, dass die sogenannte lange Refination in Hinsicht der Menge der oxydischen Einschlüsse, bzw. Sauerstoff, keinen Vorteil mit sich bringt. Im Gegenteil, es vermindert sogar das Ausbringen von Aluminium. Um ca. 5 bis 8 % bessere Entschwefelung bei der verlängerten Refination kann auch bei einer kurzen Refinationszeit mit Hilfe der synthetischen Schlacke bzw. mit erfolgreicher Argondurchspülung erreicht werden. Die Argondurchspülung des Stahles in der Pfanne bietet eine Reihe qualitativer Vorteile und wird allmählich ein unerlässliches technologisches Verfahren.

## SUMMARY

Statistical analysis for calculation of total oxygen at the end of the refination period in the open-hearth process was used to control the technology, taking in account also an average and the final rate of refination, and the carbon content at the end of the refination. This calculation method for oxygen content is satisfactory as deviations from the average analyzed oxygen content are  $\pm 10$  to 12 %. Amount of dissolved Al was studied statistically and the developed equation is also satisfactory as deviations from the analyzed amounts of dissolved Al are minimal. Yield of added aluminium during deoxidation for three different methods: addition of 1 kg Al pieces into the melt jet, addition of 5 kg Al pieces into the ladle, and addition of half of previous amount into ladle and the rest into the melt in the ladle through the slag, clearly showed that the second method is the most safe one while adding of Al through the slag in the least satisfactory.

Analysis of experimental batches from the electro-furnace was made by analysing single technological phases on oxygen after the refination (comparing analyzed and calculated amounts), and on amount of dissolved Al according to the statistical expression (comparison with analyses of  $Al_{diss}$ ). Yields of  $Al_{diss}$  were studied for various deoxidation methods. The highest and the safest yield was obtained when Al was added for final deoxidation after the finished blowing by argon while addition of Al after the first stage of argon blowing gave the least satis-

factorial results. Supposition is made that Al yield after argon treatment of the melts is for about 10 % higher than in standard deoxidation (data from references confirmed by results of experimental batches). Influence of predeoxidation by adding Al at various times in various amounts before tapping was statistically analyzed by calculating  $Al_{diss}$  and by the ratio  $(O)_1 : (O)_{12} = 0.35$ .

Total oxygen in the finished steel by standard deoxidation practice can be calculated by statistically determined expression:  $(O)_{12} \% = 0.0035 + 0.14 (O)_1$  and amount of oxygen in steel after satisfactory argon blowing by:  $(O)_{12} \% = 0.0027 + 0.15 (O)_1$ .

Basing on the obtained results, conclusion can be made that best yield of added aluminium in standard deoxidation practice can be expected if 5 kg Al pieces are given into the ladle, and in the case that the melt is treated by argon aluminium must be added into the melt through the slag after the finished argon blowing, i. e. after the slag calms down.

The obtained results also show that so called long refination does not give quality advantages in the respect of the amount of oxide inclusions or oxygen. On contrary, yield of aluminium is reduced. For about 5 to 8 % better desulphuration in the long refination can be achieved also in the short refination by adding synthetic slag or by successful argon blowing. Argon treatment gives many quality advantages and it is becoming a necessary technological operation.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки выполненного задания использовали для СМ-процесса статистический образец для калькуляции количества совокупного кислорода в конце рафинирования приняв во внимание среднюю и исходную скорость фришования, также и содержание углерода в конце рафинации. Определено, что образцы могут быть полезно употреблены для калькуляции кислорода, так как отклонение от среднего количества кислорода бывает до 10—12 %. Процесс движения растворимого алюминия следил с статистическим образцом при чём доказано, что этот образец дает удовлетворительную

калькуляцию, так как отклонения от полученных анализов растворимого алюминия незначительны.

Алюминий добавлял в струю расплавленного металла кусками тяжести одного кг. Другой способ добавки был кусками тяжести по 5 кг в ковше, и, наконец, третий способ добавки: половина количества алюминия в ковше а остальное количество в расплавленный металл посредством шлака в ковше. Оказалось, что самый лучший выход алюминия при втором способе, а менее всего надёжный посредством шлака. Плавки из электропечи

оценки на основании отдельных фаз взяв во внимание содержание кислорода (сравнение между вычисленным количеством и количеством полученным химическим анализом); также взяв во внимание количество растворимого алюминия на основании статистического образца (сравнение с определённым содержанием  $Al_2$ ) и, наконец, следил за выходом  $Al_2$  при различных способах раскисления.

Определено, что самый лучший и самый надёжный выход если алюминий для выходного раскисления добавить после закончания дутья с Аргоном и менее всего эффективный если его добавить в конце первой части дутья. При этом взято во внимание, что выход алюминия при дутье расплава с Аргоном приблизительно 10 % лучше выхода при стандартном раскислении (такие данные приведены в литературе а также доказаны конкретными результатами исследованных плавов).

Влияние предварительного окисления добавок алюминия в различных промежутках времени и в различных количествах до выпуска расплава следил при помощи статистического образца для расчёта  $Al_2$  и при помощи отношения  $(O)_2 : (O)_{12} = 0.35$ .

Определено, что расчёт совокупного кислорода в выработанной стали при стандартной практики раскисления надо выполнить при помощи образца:

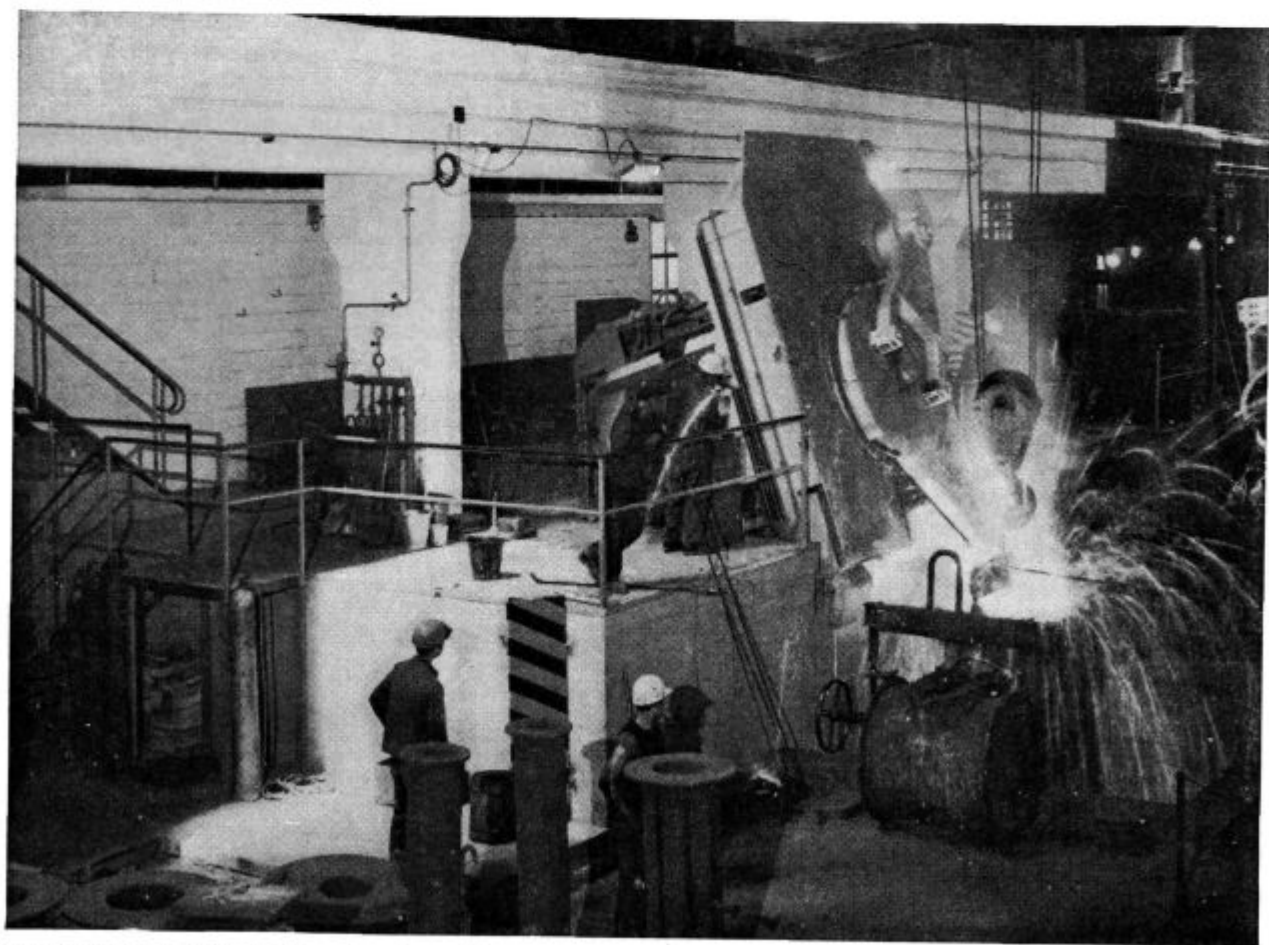
$$(O)_2 \% = 0.0035 + 0.14 \cdot (O)_1$$

а расчёт кислорода при удачном дутье Аргона по образцу:

$$(O)_2 \% = 0.0027 + 0.14 \cdot (O)_1$$

На основании находящийся в распоряжении результатов можно заключить, что для стандартной практики самый успешный эффект добавки алюминия можно ожидать в случае добавки в кусках по 5 кг в ковш; при обработке расплава с Аргоном добавлением алюминия через шлак по заключению дутья, т. е. когда шлак успокоился. Кроме того, на основании полученных данных определено, что так называемая длительная рафинация не даёт качественных преимуществ что касается оксидных включений т. е. кислорода. Улучшения десульфурации за 5—8 % как преимущество длительной рафинации перед короткой можно получить также при короткой рафинации добавкой синтетического шлака или дутьём с Аргоном. Из исследований ясно, что обработка расплава с Аргоном даёт целый ряд качественных выгод и становится необходимой технологической операцией.





Nova indukcijska 10 t peč v livarni valjev v železarni Štore

## O nekaterih značilnostih žlinder sistema $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$

Izdelava EPŽ-žlinder iz sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  in  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ . Vpliv pretaljevanja žlinder na kemično analizo in sicer pri treh različnih variantah pri konstantni in spreminjajoči izhodni sestavi.

Zakovitost odnosov med posameznimi komponentami žlindre:

$\text{Ca} = f(\text{Al})$ ,  $\text{O} = f(\text{F})$ , vsota  $\text{Ca} + \text{Al}$  pred in po pretaljevanju EPŽ-žlinder v pretaljenem stanju in mineralna sestava.

### 1. UVOD

Pretaljevanje kvalitetnih jekel pred žlindro (EPŽ-postopek) je dobilo v zadnjem desetletju silen razmah in se že danes uvršča med najbolj perspektivne sekundarne postopke za izboljšanje kvalitete jekel. Pri EPŽ-postopku igra žlindra dominantno vlogo, tako za doseg visoke kvalitete jekla, kakor tudi za ekonomičnost procesa.

Žal najdemo v literaturi (iz razumljivih razlogov) zelo malo podatkov o načinu izdelave žlinder in njenem obnašanju med talenjem, zlasti kar se tiče spremembe kemične in mineraloške sestave.

Namen tega članka je podati nekatere značilnosti žlindre sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ .

### 2. Izbira surovin

Kemična sestava surovin, iz katerih smo izdelali sintetične žlindre v sistemu  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  je podana v tabeli 1.

### 3. Izdelava žlinder

Žlindre smo talili v posebno izdelani grafitni peči z grafitno elektrodo, ki je bila napajana s 100 kVA transformatorjem pri sekundarni napetosti 30–50 V in jakosti toka do 1550 A. Ta način talenja žlinder omogoča doseg visokih temperatur

v zelo kratkem času, kar pripomore k homogenizaciji žlinder in popolni reakciji med komponentami žlindre. Poleg talenja je mogoče vršiti rafinacijo žlindre s pihanjem zraka na površino žlindre ali delati z dodatki posebnih reagentov v tekočo žlindro.

Po fazi taljenja oziroma rafinacije smo žlindro zelo hitro odlili v suho grafitno kokilo.

Celotno količino pretaljene žlindre smo zdrobili, homogenizirali in vzeli vzorce za kemično in mineraloško analizo.

### 4. Analiza rezultatov

V prvi seriji poskusov smo analizirali vpliv pretaljevanja žlinder sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  na kemično analizo in odnose med posameznimi komponentami v žlindri in sicer:

a) pri različni izhodni sestavi žlinder (serija poskusov B),

b) pri enaki izhodni sestavi žlinder (serija poskusov Ž).

V drugi seriji poskusov smo analizirali žlindre tipa: 55 %  $\text{CaF}_2$  + 25 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 10 %  $\text{CaO}$ .

Pri talenju žlinder smo uporabili tri različne variante:

A: mešanica ( $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ), B:  $\text{CaF}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$  + zrak in C: mešanica ( $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) + zrak.

#### 4.1 Sistem $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

Ker smo za izdelavo žlinder uporabili tehnično čiste surovine (glej tab. 1), dejansko niti ne moremo govoriti o čistem binarnem sistemu.

Kemična analiza preiskovanih žlinder z oznako B, pred in po talenju je podana v tabeli 2 — in z oznako Ž v tabeli 3.

Iz dobljenih rezultatov kemične analize lahko potegnemo naslednje zaključke:

Tabela 1:

Surovina	Kemična sestava, ut. %										Vsota	Bazičnost % $\text{CaO}/$ % $\text{SiO}_2$
	Ca	Al	Si	F	O	Fe	Mn	C	S	P		
$\text{CaF}_2$	49,8		1,04	46,1	1,56		0,04	0,37	0,30	0,003	99,31	0,50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	—	52,5	0,046	—	46,55	0,12	—	—	—	0,003	99,22	—
$\text{CaO}^*$	61,4	—	0,815	—	25,67	—	—	—	0,52	0,02	—	55,7

x) Apno vsebuje še 1,30 %  $\text{MgO}$ , 0,88 % ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ) in 7,72 žarnih izgub

Tabela 2: Kemična analiza žlinder z oznako B pred in po taljenju v grafitni peči

Žlindre *	Kemična sestava, ut. %									Vsota	Bazičnost % CaO/ % SiO <sub>2</sub>
	Ca	Al	Si	F	O	Fe	Mn	C	P		
B-1 pred	46,50	2,97	0,955	43,10	4,07	0,31	0,008	0,44	0,003	98,35	0,63
po	47,26	2,38	0,930	42,80	4,02	0,21	—	0,41	0,003	98,01	1,45
B-2 pred	43,72	5,75	0,71	40,90	6,17	0,16	0,007	0,33	0,03	97,75	0,57
po	45,04	4,87	0,67	41,10	6,14	—	—	0,17	0,03	98,26	1,79
B-3 pred	42,50	7,15	0,55	39,90	7,20	0,11	0,003	0,26	0,003	97,76	0,47
po	43,16	7,15	0,49	40,00	7,31	—	—	0,18	0,003	98,53	1,27
B-4 pred	36,52	12,89	0,78	34,00	12,52	0,11	0,007	0,36	0,003	97,17	0,43
po	37,62	12,85	0,71	34,70	12,70	0,22	—	0,19	0,003	99,05	0,87
B-5 pred	33,75	15,90	0,67	31,20	15,17	0,14	0,007	0,33	0,003	97,17	0,87
po	31,15	15,45	0,66	32,60	14,43	0,14	—	0,10	0,003	98,75	0,74
B-6 pred	32,48	18,10	0,67	30,00	17,13	0,28	0,007	0,33	0,003	99,00	0,76
po	32,08	18,30	0,67	29,70	16,95	—	—	0,22	0,003	98,06	0,76

\* Vse žlindre so pretaljene po varianti A tj. mešanica ( $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ )

Tabela 3: Kemična sestava žlinder z oznako Ž pred in po tlenju pri različnih variantah taljenja

Žlindre	Kemična sestava, ut. %									Vsota	Bazičnost % CaO/ % SiO <sub>2</sub>	
	Ca	Al	Si	F	O	Fe	Mn	C	P			
Izhodna * sestava	34,23	15,90	0,74	31,90	15,10	0,11	—	0,30	0,21	98,60	0,55	
A	Ž-7	36,44	13,65	0,65	32,80	13,57	0,11	—	0,12	0,03	97,27	1,74
	Ž-8	35,15	15,38	0,65	31,10	15,21	0,10	—	0,14	0,08	99,11	2,25
B	Ž-9	32,96	18,10	0,39	29,40	17,15	0,11	—	0,08	0,07	98,26	2,93
	Ž-10	29,95	21,70	0,20	27,52	19,85	0,25	—	0,08	0,02	99,55	2,40
C	Ž-11	36,82	14,50	0,26	34,50	14,94	0,20	—	0,18	0,1	101,4	0,79
	Ž-12	37,58	13,25	0,39	35,0	13,97	0,20	—	0,34	0,1	100,7	1,13
	Ž-13	37,38	13,62	0,25	35,1	14,03	0,20	—	0,16	0,1	100,7	0,74
	Ž-14	31,03	20,2	0,20	28,47	20,60	0,20	—	0,12	0,1	100,8	1,38
	Ž-15	39,20	11,71	0,21	36,20	11,85	0,30	—	0,12	0,1	97,59	0,17

\* Izračunano iz kemične sestave surovin

1. Pri taljenju žlinder po varianti A (žlindre B-1 do B-6 in Ž-1, Ž-8) ostane vsebnost silicija, železa in fosforja praktično nespremenjena. Vsebnost ogljika in žvepla (pri seriji B ni analiziških podatkov) se zniža v povprečju: za ogljik 44 odst. ( $n = 8$ ) in žveplo 73 % ( $n = 2$ ).

2. Bazičnost žlindre (serija B) se poveča po taljenju pri nižjih vsebnostih  $\text{Al}_2\text{O}_3$  celo za štirikrat, medtem ko pri višjih vsebnostih  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ostane praktično nespremenjena. Pri žlindrah s konstantno izhodno sestavo (serija Ž) bazičnost naraste

pri variantah A in B za 3—5 krat, pri varianti C se spreminja in leži med 0,17 in 1,38.

3. Taljenje žlinder po varianti B (pri kateri se najprej razstali čisti  $\text{CaF}_2$  in nato šaržira določena količina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  s pihanjem zraka na površino žlindre) prinaša znatne prednosti glede odstranjevanja škodljivih primesi, kot so: Si ( $\text{SiO}_2$ ), C in S. Vsebnost Si se zniža v povprečju za 60 % ( $n = 2$ ), vsebnost žvepla in ogljika za okrog 78 % ( $n = 2$ ) oziroma 73 % ( $n = 2$ ).

Vsebnost železa se poveča pri vseh žlindrah, čeprav je lahko vzrok za povečanje železa tudi v pripravi vzorcev (drobljenje v jeklenih drobilcih).

4. Uporaba variante C, ki predstavlja delno kombinacijo variant A in B, pripomore k znatnemu znižanju vsebnosti Si ( $\text{SiO}_2$ ) — v povprečju 65 % ( $n = 5$ ), torej podobno kot pri varianti B. Odstranjevanje žvepla in ogljika je pri tej varianti

nekoliko slabše. Povprečna stopnja odstranjevanja žvepla znaša (min. 52 %) in ogljika 52 % ( $n = 4$ ).

Pri tem je treba poudariti, da so izgube na  $\text{CaF}_2$  največje pri varianti B, medtem ko so pri varianti A najmanjše.

V nadaljnjem nas je zanimalo, kakšni so odnosi med posameznimi komponentami v pretaljenih žlindrah. Resume analize bi bil naslednji:

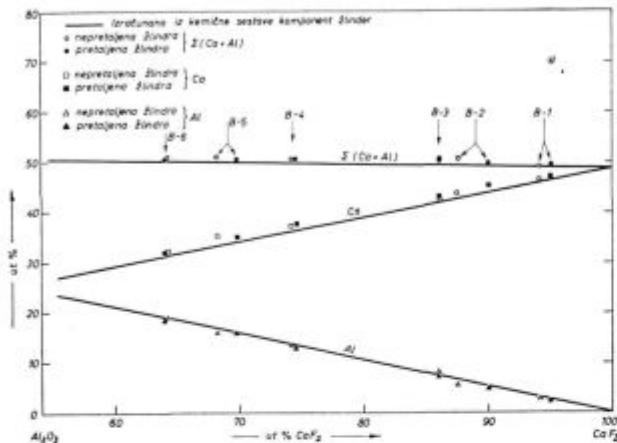
1. Vsota ( $\text{Ca} + \text{Al}$ ) v žlindrah pred in po talenju ostane praktično konstantna in se suče okrog 50 %, kar je razvidno iz podatkov v tabeli 4 in grafičnih ponazoritev na sliki 1 in 2.

2. Obstoja funkcionalna odvisnost med vsebnostjo Al in Ca (glej sliko 4) in vsebnostjo F in O (slika 3). Te odvisnosti lahko izrazimo v analitični obliki:

$$\text{ut. \% Al} = 54,9 - 1,11 \text{ ut. \% Ca}$$

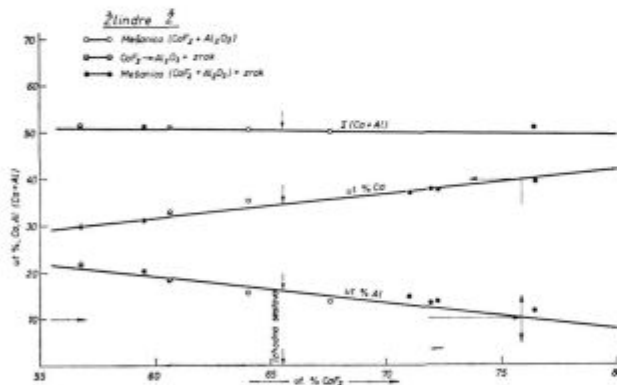
$$\text{ut. \% O} = 45,57 - 0,96 \text{ ut. \% F}$$

Grafična ponazoritev teh odnosov je razvidna iz slik 3 in 4.



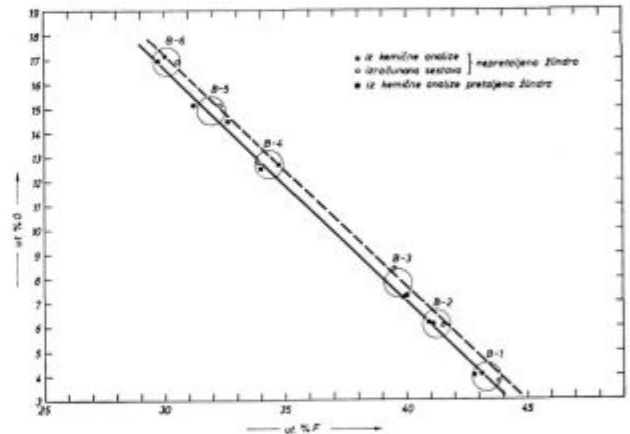
Slika 1

Grafična ponazoritev elementarne kemične analize preiskovanih žlindrov v binarnem sistemu  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$



Slika 2

Odvisnost vsebnosti Ca, Al in vsote ( $\text{Ca} + \text{Al}$ ) od vsebnosti  $\text{CaF}_2$  v pretaljenih žlindrah tipa Z



Slika 3

Odvisnost med vsebnostjo kisika in fluora v žlindrah sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

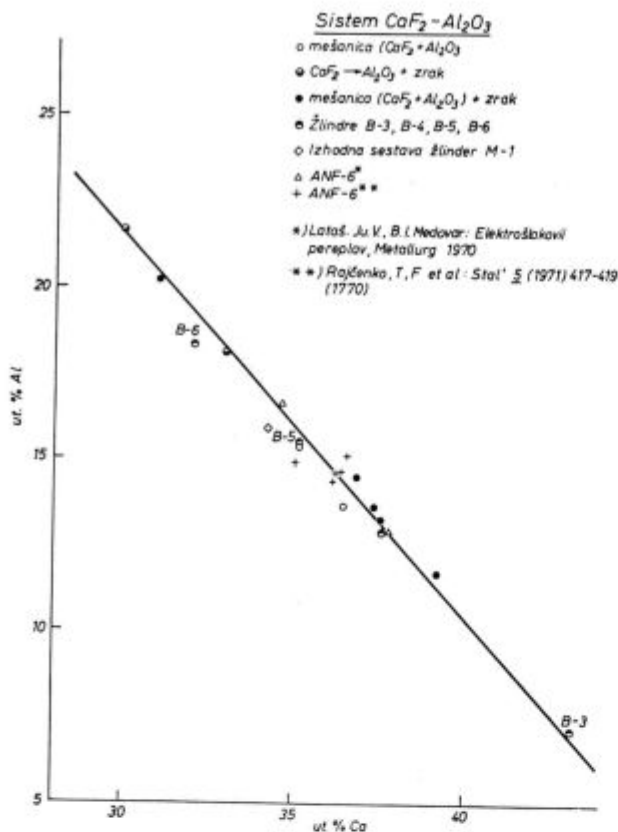
3. Eksistira korelacijska odvisnost med spremembo  $\text{CaF}_2$  in  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Tab. 4 Vrednost vsote  $\text{Ca} + \text{Al}$  pri žlindrah sistema  $\text{CaF}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$

Žlindra	Vsota: ( $\text{Ca} + \text{Al}$ ), %					
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
pred talenjem	49,92	50,05	50,05	50,47	50,81	50,98
po talenju	49,64	49,93	50,31	50,47	50,60	50,38

Žlindra	Vsota: ( $\text{Ca} + \text{Al}$ ), %								
	Z-7	Z-8	Z-9	Z-10	Z-11	Z-12	Z-13	Z-14	Z-15
pred talenjem	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13	50,13
po talenju	50,09	50,53	51,06	51,65	51,32	50,83	51,00	51,32	50,91



Slika 4  
 Odvisnost med vsebnostjo Ca in Al v pretaljenih žlindrah sistema CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Če to spremembo definiramo v obliki:

$$\frac{(CaF_2)_{izh} - (CaF_2)_{pret}}{(CaF_2)_{izh}} \cdot 100 = \Delta CaF_2 (\%)$$

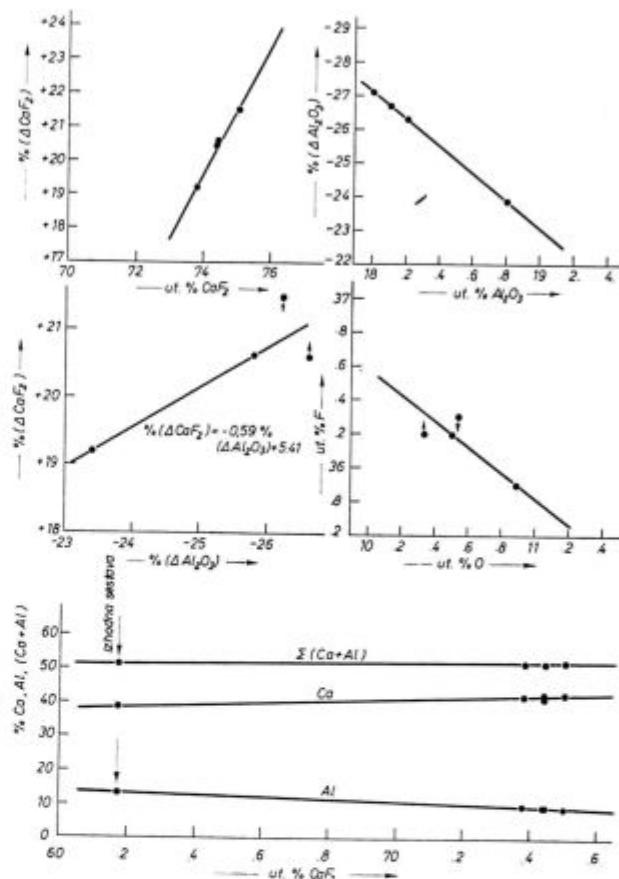
oziroma:

$$\frac{(Al_2O_3)_{izh} - (Al_2O_3)_{pret}}{(Al_2O_3)_{izh}} \cdot 100 = \Delta Al_2O_3 (\%)$$

potem je mogoče napisati regresijo za  $\Delta CaF_2$  in  $\Delta Al_2O_3$  v obliki:

$$\% (\Delta CaF_2) = 3,4 - 0,465 \% (\Delta Al_2O_3),$$

kar je pogojeno z vsoto:  $\% CaF_2 + \% Al_2O_3 = \text{konstanta}$ .



Slika 5  
 Odnosi med različnimi komponentami in njihovimi spremembami pri pretaljevanju žlinder sistema CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO

Tab. 5 Kemična sestava pretaljenih žlinder s konstantno izhodno sestavo

Žlindre	Kemična sestava, ut. %										Vsota %	% CaO/ % SiO <sub>2</sub>
	Ca	Al	Si	F	O	Mg	Fe	C	S			
Izhodna sestava*)	x) 38,42	13,1	0,76	30,0	15,15	—	—	0,24	0,19	97,99	5,76	
C	Ž-17	42,09	9,95	0,33	35,9	10,89	0,12	0,16	0,12	0,10	99,53	8,40
	Ž-18	42,03	9,65	0,30	36,2	10,33	0,36	0,16	0,16	0,10	99,29	8,35
	Ž-19	42,82	9,61	0,33	36,3	10,53	0,24	0,15	0,16	0,10	100,14	8,20
	Ž-20	42,70	9,54	0,30	36,2	10,50	0,36	0,20	0,14	0,20	99,94	9,80

C — žlindre so pretaljene po varianti C.

x) Izračunana sestava iz kemične sestave surovin

#### 4.2 Sistem $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$

V tem sistemu smo izbrali le eno žlindro z okvirno izhodno sestavo:

65 %  $\text{CaF}_2$  + 25 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 10 %  $\text{CaO}$ . V tabeli 5 je podana kemična analiza pretaljenih žlindrov.

Z analizo teh rezultatov pridemo do podobnih zaključkov kot pri žlindrah sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ :

1. Vsebnost  $\text{CaF}_2$  v vseh preiskovanih žlindrah naraste v povprečju za okrog 20 %. Povečanje vsebnosti  $\text{CaF}_2$  v žlindrah gre na račun zmanjšanja vsebnosti  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in  $\text{CaO}$  v žlindri.

2. Razmerje med Ca in Al se poveča od prvotne vrednosti 2,94 na 4,38 toda njihova vsota ostane praktično konstantna (glej tabelo 6 in sliko 5):

Žlindra	Ž-17	Ž-18	Ž-19	Ž-20	Izhodna sestava
$\Sigma$ (Ca+Al)	52,04	51,68	52,43	52,24	51,52

3. Tudi pri žlindrah sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  opazamo določeno odvisnost med vsebnostjo  $\text{CaF}_2$  oz.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in njihovimi spremembami  $\Delta\text{CaF}_2$  in  $\Delta\text{Al}_2\text{O}_3$ . Ravno tako obstoja korelacija med spremembo  $\Delta\text{CaF}_2$  in  $\Delta\text{Al}_2\text{O}_3$ , ki izražena v analitični obliki glasi:

$$\% (\Delta\text{CaF}_2) = 5,41 - 0,59 \% (\Delta\text{Al}_2\text{O}_3)$$

4. Povprečne spremembe kemične sestave žlindrov kot posledica pretaljevanja lahko ocenimo takole:  $\Delta\text{Si} (\%) = -58,5 \%$ ,  $\Delta\text{S} (\%) = -37,5 \%$ ,  $\Delta\text{C} (\%) = -40 \%$ .

5. Bazičnost žlindrov se poveča v povprečju za 60 %.

Povečanje vsebnosti  $\text{CaF}_2$  v pretaljenih žlindrah na račun znižanja  $\text{CaO}$  in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tolmačimo z že opaženim pojavom razmešanja.

Raziskave Zmodina in Caterdija<sup>1</sup> in Mitchella<sup>2</sup> opozarjajo na tvorbo dveh plasti žlindre. Zgornja plast žlindre je bogatejša na  $\text{CaF}_2$ , medtem ko so spodnje plasti bogatejše na  $\text{CaO}$  in  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pri izlivanju tekoče žlindre v kokilo, ostane del žlindre iz spodnjih plasti v loncu kot skorja, kar vodi do povečanja vsebnosti  $\text{CaF}_2$  v žlindri.

#### 5. Mineraloške preiskave

Ugotavljanje mikrostrukture in mineralnih sestavin v  $\text{CaF}_2$ -žlindrah je zelo otežkočeno zaradi nepopolnih podatkov o optičnih in rentgenskih lastnostih mineralov, ki nastopajo v teh žlindrah. Zato se podani podatki nanašajo le na faze, ki jih je bilo mogoče z gotovostjo identificirati.

##### 5.1 Žlindre tipa $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

Zaradi velikih hitrosti hlajenja, žlindre nimajo razvite kristalne strukture. Pri vseh analiziranih žlindrah opazamo tri plasti:

a) zunanji rob, ki je ponavadi dokaj gost in je njegova debelina v povprečju le nekaj milimetrov,

b) vmesna plast med zunanjim robom in sredino bloka žlindre,

c) sredina bloka žlindre, ki je v večini primerov omejena s centralnim lunckerjem, v katerem so razviti drobni kristali.

Za analizo smo izbrali le dve žlindri Ž-12 in Ž-15. Bistvena razlika med njima je, da ima žlindra Ž-12 običajne vsebnosti  $\text{CaO}$  in  $\text{SiO}_2$ , med tem ko je žlindra Ž-15 vsebovala izredno malo  $\text{CaO}$ ; zato je njena bazičnost abnormalno nizka.

Na slikah 6 in 7 je pokazana mikrostruktura žlindrov v treh omenjenih plasteh bloka žlindre.

Karakteristično za žlindre tipa  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  je močna heterogenost strukture. V skrajnem zunanem robu opazamo igličaste in stebraste kristale korunda (sl. 6, št. 1) in korunda ter  $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$  (sl. 7 št. 7). Velikost kristalov se giblje med 10 in 350 mikronov, debeline 3 do 10 mikronov. Igle so žarkovito razporejene in zaradi hitrega ohlajanja »površno« zgrajene (skeletaste). Prostor med aluminati zapolnjujejo temnosiva ksenomorfnna zrna fluorita, ki merijo 10 do 50 mikronov.

V plasteh globlje proti notranjosti se struktura spreminja v korist  $\text{CaF}_2$ . Kristali korunda so vedno večji, toda njihova količina se zmanjšuje (glej sliko 6, št. 4 in 5). V notranjosti prevladujejo kristali fluorita ( $\text{CaF}_2$ ), ki merijo 50 do 150 mikronov.

Za razliko od žlindre Ž-12, opazamo pri žlindri Ž-15 z zelo nizko vsebnostjo  $\text{CaO}$  v notranjih plasteh močno naraščanje debeline korundnih kristalov, ki so tabličaste oblike in dokaj »površno« razviti. Njihova velikost se giblje med 70 in 500 mikronov (glej sliko 7, št. 9 in 11). Med kristali korunda opazamo le delno kristale  $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$  in  $\text{CaF}_2$ .

Taka razdelitev mineralov govori, da pride pri ohlajevanju žlindre v talini do diferenciacije posameznih komponent.  $\text{CaO}$  se je skoncentriral na zunanem robu ob površini, medtem ko najdemo  $\text{Al}_2\text{O}_3$  v zunanosti in deloma tudi v osrednjem delu žlindre. Fluorit je nakopičen v glavnem v notranjosti.

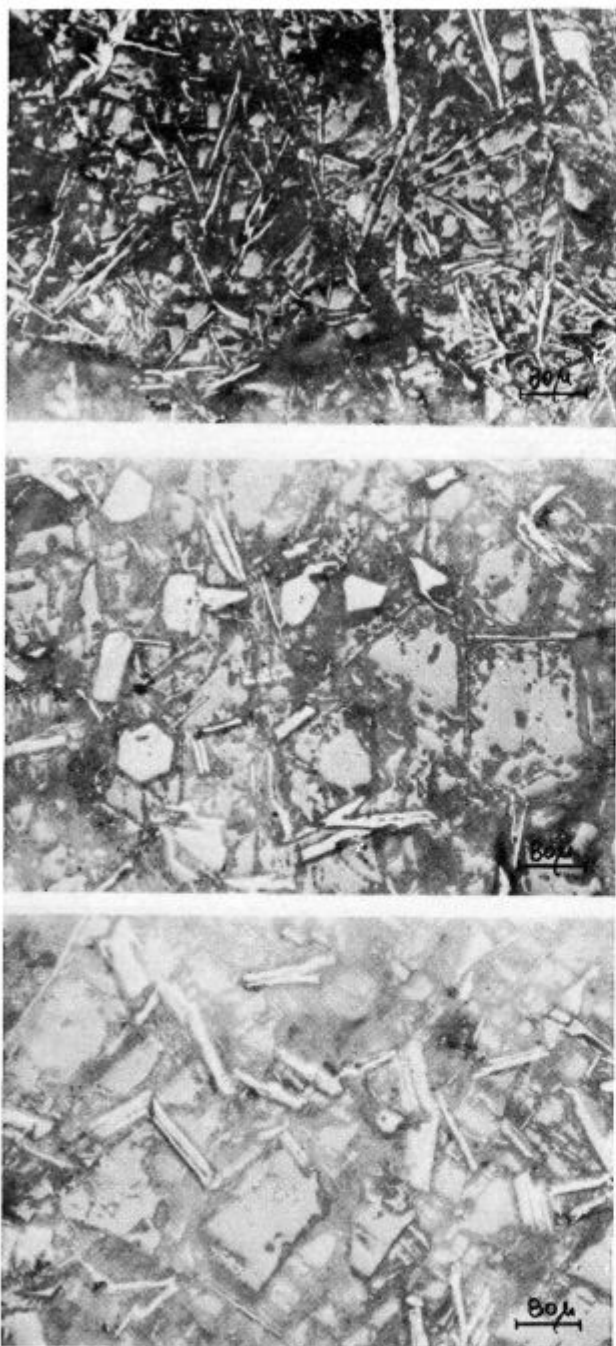
##### 5.2 Žlindre tipa $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$

Tudi pri tem tipu žlindrov opazamo plastovito heterogeno strukturo, ki je pogojena s kristalizacijo mineralnih sestavin.

V zunanem pasu opazamo skelete mineralov, ki so med seboj bolj ali manj paralelni (glej sliko 8, št. 12 — vzdolžna smer, št. 13 — prečna smer). Skeleti merijo do 700 mikronov, kažejo jasno anizotropijo, imajo srednje visoko dvolomnost in poševno potemnitev. Take kristalne oblike in optične lastnosti so značilne za kalcijev dialuminat ( $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Kristalni skeleti, ki kažejo razen omenjenih lastnosti tudi dvojčične lamele, pripadajo monokalcijevemu aluminatu ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Žlindra Z-12  
 $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$



Slika 6

Mikrostruktura žlindre tipa  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  v odbojni svetlobi

**FAZE:**

št. 1

Svetle igle —  $\text{CaO} \cdot 2 \text{Al}_2\text{O}_3$ , svetle ploščice —  $\text{CaO} \cdot 6 \text{Al}_2\text{O}_3$ , siva zrnca —  $\text{CaF}_2$ , črni skupki — ogljik in pore

št. 4

Svetla zrna korund in  $\text{CaO} \cdot 6 \text{Al}_2\text{O}_3$ , siva zrna — fluorit, črno — ogljik in pore

št. 5

Svetli stebrički korunda v debelo zrnatem fluoritu, črno — ogljik in pore

Zunanji rob  
 žlindre  
 št. 1

Vmes med zunanjim  
 robom in sredino  
 št. 4

V notranjosti  
 žlindre  
 št. 5

**Kemična sestava**

Komponen.	ut. %
$\text{CaF}_2$	71,9
$\text{Al}_2\text{O}_3$	25,0
$\text{CaO}$	0,95
$\text{SiO}_2$	0,84
$\text{MgO}$	0,40
$\text{Fe}_{\text{tot}}$	0,20
S	0,1
C	0,34
P	0,003
% $\text{CaO}$ / % $\text{SiO}_2$	1,13
$\Sigma$	99,65

Vmesne prostore med skeleti Ca-aluminatov zapolnjujejo kristali fluorita, ki merijo od nekaj mikronov do 70 mikronov.

V notranjosti bloka žlindre opažamo enake skelete Ca-aluminatov, le da so njihove stene znatno debelejše (glej sliko 7).

Iz opisanega sledi zaključek, da pri žlindrah tipa  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  (v slučaju analiziranih sestav) nastopa vedno diferencija sestavin.  $\text{CaO}$  in  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se koncentrirata predvsem na obrobju, medtem ko v notranjosti popolnoma prevladuje  $\text{CaF}_2$ .

## 6. Zaključki

1. Med talenjem žlinder sistema  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  poteka vrsta kemičnih reakcij, ki vodijo do odstranjevanja  $\text{SiO}_2$ , žvepla in ogljika. Vsebnost železa, mangana in fosforja ostane praktično nespremenjena. Stopnja odstranjevanja  $\text{SiO}_2$ , C in S je odvisna od parcialnega pritiska kisika na površini tekoče žlindre.

Zunanji rob žindre št. 7
Vmes med zunanjim robom in sredino št. 9
V notranjosti žindre št. 11

Kemična sestavina	
Komponen.	ut. %
CaF <sub>2</sub>	76,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,1
CaO	0,08
SiO <sub>2</sub>	0,46
MgO	0,20
Fe <sub>tot</sub>	0,30
S	0,10
C	0,12
P	0,003
%CaO/% SiO <sub>2</sub>	0,17
Σ	99,68

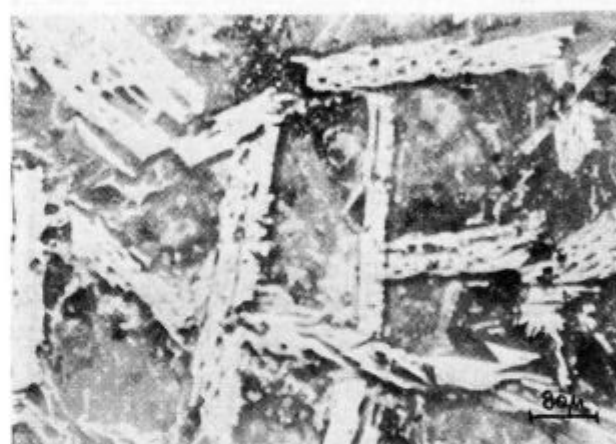
2. Obstojata funkcionalna odvisnost med vsebnostjo Ca in Al in F in O. Vsota (Ca + Al) = 50—51 % ostane praktično nespremenjena med celotnim postopkom talenja, neodvisno od razmerja CaF<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

3. Med ohlajevanjem žlinder sistema CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO pride vedno do diferenciacije sestavin. CaO in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se koncentrirata predvsem v zunanjih plasteh, medtem ko v notranjosti prevladuje fluorit.

#### Literatura

- Zmodin, G. I., A. K. Caterdi: Osobnosti kristalizaciji šlakov sistemi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaF<sub>2</sub>, Izv. AN SSSR, Metali, 6 (1971) 46—52
- Mitchell A., J. Cameron: The Electrical Conductivity of some liquids in the System CaF<sub>2</sub> + CaO + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Metallurg. Transactions, Vol. 2, 12 (1971) 3361—3366

#### Žlindra Ž-15 CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Slika 7  
Mikrostruktura žindre tipa CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v odbojni svetlobi

#### FAZE:

št. 7

Igljasti in letvasti kristalni skeleti korunda, sivo — CaF<sub>2</sub>

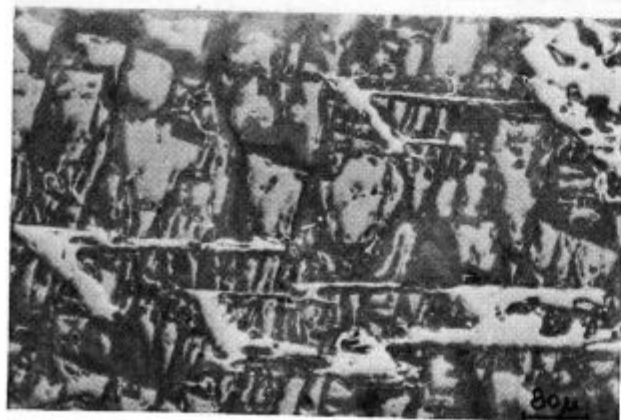
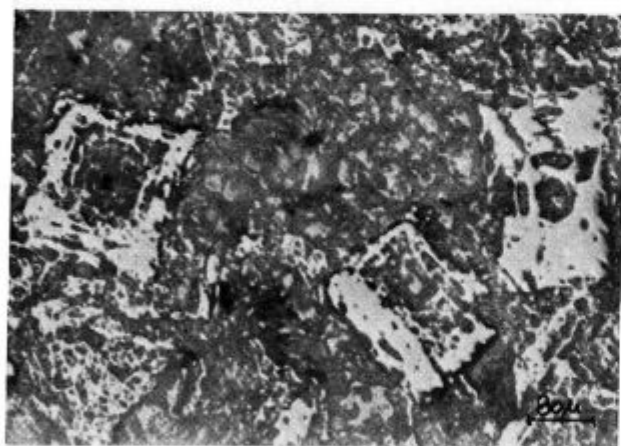
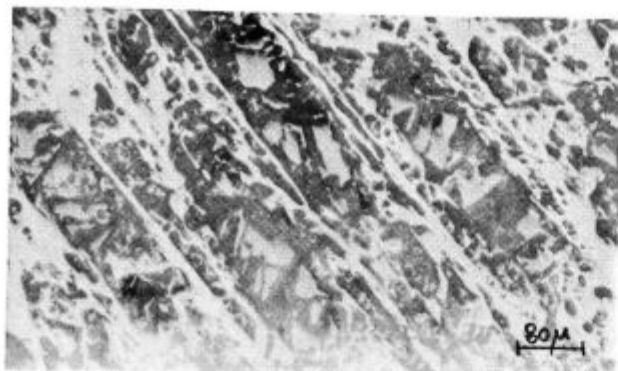
št. 9

Svetli tabličasti kristalni skeleti korunda, sivo-drobno zrnat CaF<sub>2</sub>

št. 11

Tabličasti kristali korunda, sivo-debelo zrnat CaF<sub>2</sub>





2-17

Zunanji rob  
žlindre  
št. 12

Notranji del  
žlindre  
št. 13

2-20

Zunanji rob  
žlindre  
št. 14

Notranji del  
žlindre  
št. 15

Kemična sestava

Komponen.	2-17 ut. %	2-20 ut. %
$\text{CaF}_2$	73,8	74,4
$\text{Al}_2\text{O}_3$	18,8	18,0
$\text{CaO}$	5,86	6,28
$\text{SiO}_2$	0,70	0,64
$\text{MgO}$	0,20	0,60
$\text{Fe}_{\text{tot}}$	0,16	0,20
S	0,10	0,20
C	0,19	0,14
P	0,003	0,003
%CaO/%SiO <sub>2</sub>	8,4	9,8
$\Sigma$	99,81	100,46

Slika 8  
Mikrostruktura žlindre tipa  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  v odbojni svetlobi

FAZE:

št. 12 in 13

Skeletni kristali Ca-aluminatov sivo-debelozrnat  $\text{CaF}_2$

št. 14

Skeleti  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ , sivo-zrna  $\text{CaF}_2$

št. 15

Svetlo-klinasti skeleti  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ , sivo-zrna  $\text{CaF}_2$

## ZUSAMMENFASSUNG

Beim Elektroschlackenschmelzverfahren (ESU-Verfahren) spielt die Schlacke eine entscheidende Rolle. Es ist vor allem wichtig, die physikalischen Eigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit, Viskosität, Oberflächenspannung, die Schmelztemperatur und Schmelzintervall zu kennen, weil diese in grossem Umfang von der chemischen und strukturellen Zusammensetzung der Schlacken abhängig sind.

Während des Schmelzens der Schlacken des Systemes  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  verläuft eine Reihe der physikalischen und chemischen Reaktionen, welche zu der Änderung der Schlackenzusammensetzung führen. Es handelt sich vor allem um die Entfernung des  $\text{SiO}_2$ , 40—60 %, des Schwefels 40—80 %, und des Kohlenstoffs bis zu 80 %, was von der Art der Prozessführung abhängig ist. Dabei spielt eine

besonders wichtige Rolle der Partialdruck des Sauerstoffes in der Gassphase.

Es besteht eine funktionelle Abhängigkeit zwischen dem Ca und Al sowie F und O Gehalt. Die Summe  $(\text{Ca} + \text{Al}) = 50\text{—}51\%$  bleibt während des Schmelzens praktisch unverändert und unabhängig von dem Verhältnis  $\text{CaF}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  in der Schlacke. Die Kenntnis dieser Verhältnisse ist sehr wichtig, da es auf Grund des minimalen Analysenprogrammes möglich ist die chemische Zusammensetzung der Schlacken im geschmolzenen Zustand voranzusetzen.

Beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand der Schlacken des Systemes  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  kommt es immer zu der Differenzierung der Bestandteile.  $\text{CaO}$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  konzentrieren sich vor allem in den äusseren Schichten während der  $\text{CaF}_2$  überwiegend im Inneren herrscht.

## SUMMARY

In the electro-slag remelting process (ESR) slag has important role. Knowledge of physical properties as: electrical conductivity, viscosity, surface tension, melting point and melting point interval is of great importance. These properties are mainly influenced by chemical composition and by the structure of slags.

During the melting of slags of the system  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  a number of physical and chemical reactions take place, and all of them change the slag composition. Mainly 40 to 60 % removal of  $\text{SiO}_2$ , 40 to 80 % removal of sulphur, and removal of carbon up to 80 % is ment by this which depends on the control of the melting process. Oxygen

partial pressure in the gas phase has the most important role here.

Functional relationship exists between the Ca in Al content, and between the F and O content. The sum  $\text{Ca} + \text{Al} = 50\text{—}51\%$  remains practically unchanged during the melting independently on the ratio  $\text{CaF}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  in the slag. Knowledge of these relationships is very important as chemical composition of slags in the remelted state can be predicted on base of the minimal analytical program.

In solidification of slags of the system  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  components always segregate.  $\text{CaO}$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  are concentrated mainly in outer layers while fluorite is inside.

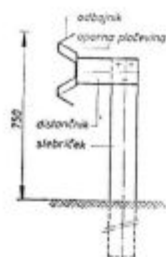
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решающее значение электро-переплавки металлов под шлаком имеет состав и физические характеристики шлака. Между физическими особенностями шлака имеют особенное влияние: электропроводимость, вязкость, поверхностное натяжение, температура и температурный интервал плавки и пр. На эти свойства на первом месте влияет химический состав шлака а также его структура.

В время плавки в шлаке системы  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  происходит целый ряд химических и физических реакций при которых наступает изменения состава шлака. В первую очередь наступает устранение  $\text{SiO}_2$  в количестве 40—80 %, серы в количестве 40—60 % и углерода до 80 %, что зависит от режима при процесси плавки. Особенное влияние на режим такого процесса имеет частичное давление кислорода в газообразной фазе.

Существует функциональная зависимость между содержанием Ca и Al и F и O. Сумма  $(\text{Ca} + \text{Al}) = 50\text{—}51\%$  остается во время плавки практически неизменна независимо од отношения  $\text{CaF}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  в шлаке. Ознакомление с этими отношениями очень важно, так как оно позволяет на основании минимального аналитического программа заключить о химическом составе шлака в расплавленном состоянии.

При переходе из жидкого в твердое состояние в шлаках системы  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  происходит всегда до перемены в составе.  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  сосредоточиваются в внешних пластьях, между тем как в внутренних частях шлака преобладает флюорит.



### Enojna odbojna ograja

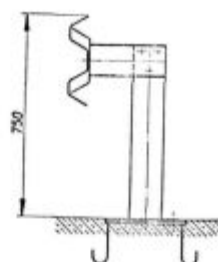
Stebrički iz HOP

»C« 25 × 250 × 120 × 4, dolžina 1500 mm

»U« 60 × 120 × 4 dolžine 260 mm

Odbojnik iz HOP: 4200 × 3800 × 3 mm

Teža cca 15 kg/m.

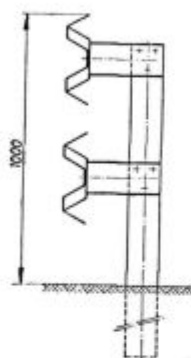


### Enojna ograja na mostu

Stebriček ima privarjeno podložno ploščo, ki se privije na zabetonirano siderno ploščo.

Razmak stebričkov na 2 m.

Teža: cca 20 kg/m brez siderne plošče.



### Dvojna odbojna ograja

Stebriček dolžine 2000 mm.

Razmah stebričkov 4 m.

Vsi vijaki so pocinkani.

Ves material ograje Č 0361.

Teža cca 29 kg/m

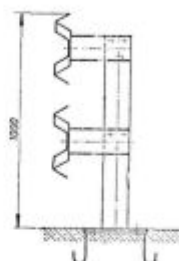
### Izvedba vseh vrst ograj

a) dvojni oplesk na bazi epoksidne smole s 5 letno garancijo

### Dobava:

a) brez montaže

b) z montažo na terenu



### Dvojna ograja na mostu

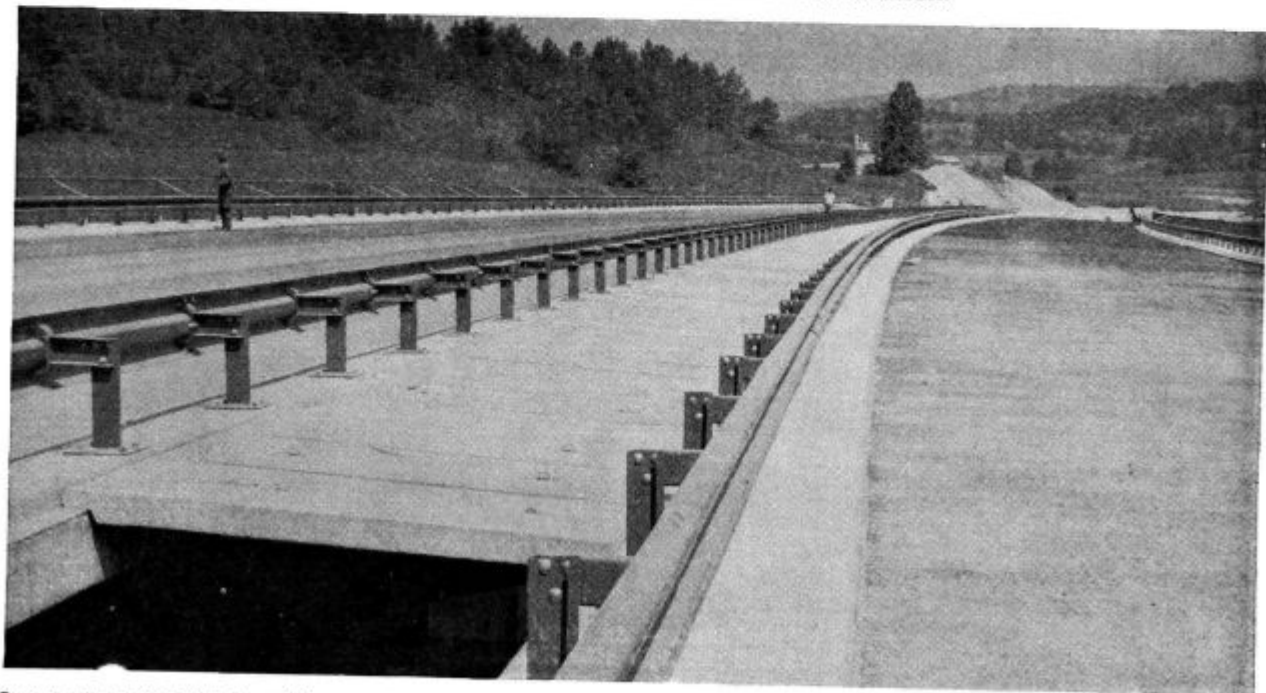
Teža cca 31,5 kg/m brez siderne plošče.

### Prednosti ograj z distančniki:

- možnost hitre zamenjave poškodovanih delov
- deluje na varilo kot zavora ob strani in kolo ne more udariti ob stebriček
- elastičnost
- možnost horizontalne in vertikalne korekture linije pri montaži

### Zaključnice:

- a) za zaključek ograje, na cestah, ki niso namenjene hitremu prometu: zaključnica ima 4 m odbojnik in 3 stebričke. Zadnji del zakopan 200 mm v teren.
- b) za zaključek ograje na hitrih cestah: dolga je 16 m, stebrički so zabiti v tla na vsaka 2 m. Vkopana v tla.
- c) takšna zaključnica cestne ograje je predvidena na uvoznih in izvoznih delih hitrih cest. Izdelano iz standardnih delov z različnimi radiusi.



Cestni odbojniki Izdelek profilarne v železarni Jesenice

## Sodobna orodna jekla

Pogosto se mora orodjar odločiti za novo vrsto jekla, ki bo povečalo izdržljivost orodja, s tem, da bo bolj žilavo in hkrati enako obrabno obstojno kot jeklo, ki se je uporabljalo doslej. Pravilno izbiro omogočijo seveda samo žilavostni in obrabni preizkusi raznih znanih jekel. Poleg izdržljivosti je pri orodju pomembna postavka tudi cena, zato imajo veliko prednosti jekla, ki ne zahtevajo komplicirane toplotne obdelave ter orodij ni treba veliko brusiti po končni toplotni obdelavi. V članku so opisane preiskave nekaterih novih žilavih in obrabno obstojnih jekel obenem s preiskavami takšnih, ki so že dobro poznana in se na široko uporabljajo.

### UVOD

Želja po čimbolj učinkovitih strojnih napravah postavlja strožje zahteve pred izdelovalca orodij. Nove vrste obdelovalnih strojev, novi tipi orodij, večje hitrosti in večje obremenitve — vse to je možno doseči samo z ustrežnejšim, boljšim, kvalitetnejšim in boljše izbranim jeklom za orodja, dele orodij in strojev. Scila in Karibda orodjarjev sta pojma žilavost in obrabna obstojnost. Komur je cilj izdelati orodje iz najprimernejšega jekla, se bo moral znati izogniti možnostim, da orodje počí zaradi premajhne žilavosti, ali pa da mu ga prezgodaj odnese obraba.

Najzanesljivejši preizkusni načini za predvidevanje obstojnosti orodij, ki so obremenjena na udarce in na drsno obrabo, so podani hkrati z opisom lastnosti štirih najsodobnejših orodnih jekel. Posebej pomemben je zapis o tistih jeklih, ki jih v tujini visoko cenijo, pri nas pa so zaradi težav pri predelavi precej neznana. Tako smo nekdanj izdelovali jekla podobna ameriškim tipom S-6 in A-6, pa smo jih opustili zaradi težav pri kovanju. Zdaj lahko v luči primerjav z drugimi kvalitetnimi jekli ugotovimo, kako se lahko s poceni jeklom, ki ga prav izberemo, dosežejo dobri rezultati glede odpornosti orodja na obrabo ali na udarce. Orodje lahko dobro izdrži določene vrste obremenitev tudi, če ga odlikuje dobra kombinacija žilavosti in obrabne obstojnosti, ki ju neko jeklo pokaže.

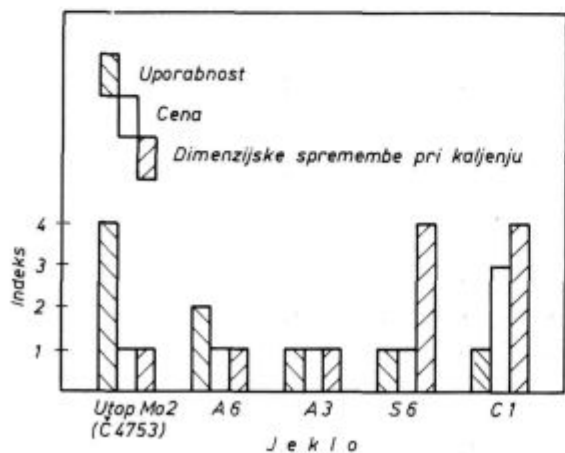
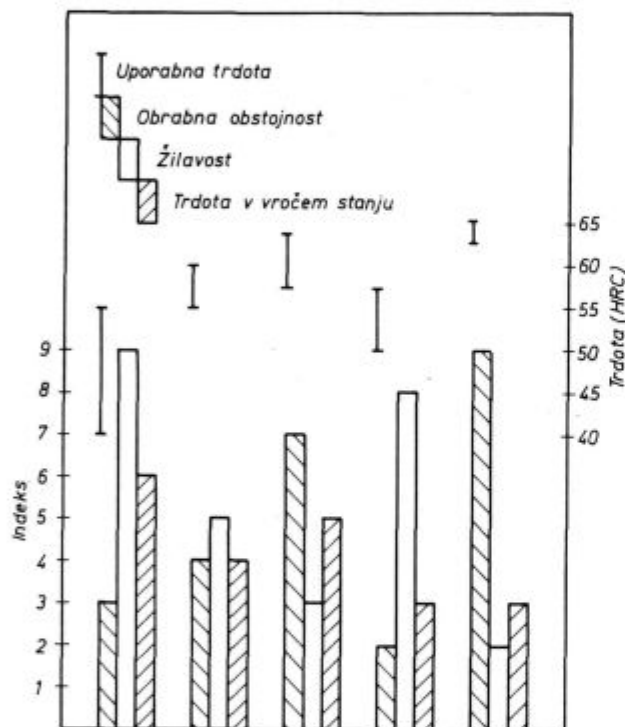
### SPLOŠNE LASTNOSTI MODERNIH ORODNIH JEKEL VELIKE ŽILAVOSTI IN OBRABNE OBSTOJNOSTI ALI DOBRE KOMBINACIJE OBEH

Pri nalogi osvajanja primernih jekel za defibratorske mlevne plošče se je pokazala potreba po izbiri čimbolj žilavega in obrabno obstojnega jekla, zato se je bilo potrebno seznaniti z razvojem žilavih orodnih jekel, obrabno obstojnih jekel ter orodnih jekel z dobro kombinacijo žilavosti in obrabne obstojnosti.

Tabela 1: Kemijske sestave preizkušanih jekel

Talina	Oznaka jekla	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Ni
1	A-3 kovano	1,22	0,33	0,85	5,17	1,10	1,11	—	—
2	A-3 lito	1,39	0,31	0,70	5,57	1,04	1,15	—	—
3	Utop Mo 2 (C.4753) lito	0,34	0,84	0,48	5,53	1,60	1,10	—	—
4	S-6 kovano	0,52	1,25	1,39	1,46	0,45	0,29	—	—
5	S-6 lito	0,49	2,49	1,36	1,42	0,43	0,37	—	—
6	A-6 kovano	0,69	0,23	2,85	1,26	1,18	—	—	—
7	A-6 kovano	0,73	0,34	2,42	1,16	1,51	—	—	—
8	A-6 lito	0,63	0,12	2,31	1,05	1,24	0,09	—	—
9	C-1 kovano	1,45	0,46	1,76	1,20	1,07	—	4,20	—
10	C-1 lito	1,65	0,50	1,72	0,92	1,65	—	3,41	—
11	Prokron 2 L sp. (CL.4570) lito	0,26	0,89	0,31	16,93	0,08	—	—	1,84
12	Prokron 2 mod. lito	0,38	0,65	0,35	16,8	0,93	—	—	1,74

Zbrali smo podatke o najmodernejših orodnih jeklih velike žilavosti in obrabne obstojnosti ter se odločili za študij najpomembnejših reprezentantov. Od posebno priznanih ter modernih jekel **H-11, H-13, A-3, S-6** (ameriška); **75 CrMoNiW 6, 55 CrMoVi 34** (nemški); **4 HS, 6 HV 2 S** (ruski) ter jekla C-1 smo se namenili bolj spoznati in primerjati H-13 (naš Utop Mo 2), A-3, A-6, S-6 ter jeklo C-1 z 1,5 % C in 4 % W. V preiskavo smo vključili tudi Prokron 2 L special in modifikacijo Prokrona 2 L special z 1 % Mo. Nemški jekli nas nista preveč zanimali, ker smo vedeli samo za njihovo kemijsko sestavo, ki je nekje med našim Utop Mo 2 ter ameriškim A-3 tudi zajetim v programu raziskav. Ruski jekli sta po lastnostih podobni našim Osikro in vzmetnim jeklom in torej ne pomenijo napredka



Slika 1

Primerjava indeksov žilavosti, trdote, obrabne obstojnosti in trdote v vročem stanju za sodobna orodna jekla

med njimi. Kemijsko sestavo primerjanih jekel prikazuje tabela 1. Podana grafikona (slika 1) kažeta za izbrana jekla razen Prokronov ocene obrabne obstojnosti, žilavosti, trdote v vročem, razširjenosti uporabe, cene, navadne delovne trdote ter dimenzijskih sprememb pri kaljenju.

Vse ocene so izbrane v lestvici, ki ima 9 stopenj, vendar te stopnje niso enakomerne, temveč se nanašajo na razdelitev (ameriških) orodnih jekel v 9 skupin, znotraj katerih so si jekla v določeni lastnosti podobna. Podatki so ameriškega izvora<sup>1</sup>.

Vidimo, da je jeklo C-1 najbolj obrabno obstojno; sledijo mu A-3, ki je tudi zelo obstojen proti obrabi, nato A-6, Utop Mo 2 in S-6, ki so precej manj obrabno obstojni. Glede žilavosti stojita najbolje Utop Mo 2 in S-6 (boljši je Utop), dobro žilavost ima tudi A-6, A-3 in C-1 pa imata precej nizko oceno. Glede trdote v vročem so jekla v tabeli razvrščena od najboljšega Utop Mo 2, malo slabših A-3 in A-6 do S-6 in C-1, ki imata najnižjo trdoto v vročem.

Od teh jekel se največ uporablja Utop Mo 2, precej tudi A-6, ostali trije predstavniki pa znatno manj; najdražji od vseh je C-1, ki se tudi najtežje mehansko obdeluje, cene ostalih štirih jekel so si precej enake in tudi precej nižje kot pri C-1. Navadna delovna trdota je najvišja pri C-1 (65 HRC), nekoliko nižja pri A-3, še z manjšo trdoto pa se uporabljajo A-6, S-6 in Utop Mo 2. Po enakem vrstnem redu se zmanjšuje tudi največja dosegljiva trdota teh jekel; debeline do 25 mm vedno in pri vseh prekalijo.

Dimenzijske spremembe pri kaljenju so velike samo pri S-6 in C-1 (ki se lahko kalita v olju) in varnost pri kaljenju je manjša kot za ostala tri jekla. Razogljicenje je povsod precej veliko. Trdota v valjanem stanju je okrog 500 HB pri prvih treh in okrog 400 HB pri C-1 ter S-6. Utop Mo 2 in S-6 sta v žarjenem stanju približno enako trda, nekoliko trša sta A-6 in A-3 in najtežje se doseže nizka trdota pri žarjenju jekla C-1.

#### POSEBNOSTI KOVANJA IN TOPLLOTNE OBDELAVE NASTETIH JEKEL

Jeklo A-3 se lahko kuje od 1100 do 900° C, A-6 pa od 1100 do 800° C; ohlajanje ni dopustno na zraku, temveč se mora po kovanju kos dati v izolacijsko sredstvo (pepel, sljudo, apno). Kovanje A-6 lahko povzroča težave. A-3 se žari na 820 do 850° C ter počasi ohlaja (20° C/h) do 550° C, nato lahko hitreje. Lahko se izotermno žari pri 760° C, 4–6 ur, ter ohlaja na zraku.

A-6 se žari na 750° C in tudi počasi ohlaja do 550° C, potrebno je dvakratno žarjenje.

Pred fino mehansko obdelavo se žari na odpravo napetosti pri 650 do 700° C.

Za kaljenje naj se ogrevata ti dve jekli v peči z zaščitno atmosfero, drugače pa tesnjeni v nevtralnem in rahlo ogljičujočem materialu. Naogljicenje je nevarno, ker zniža površinsko trdoto A-3

do 53 HRC, zato se večji kosi ogrevajo vedno na nižjo kalilno temperaturo kot manjši. Kalilne temperature za A-3 so med 970 in 990° C ter za A-6 med 830 do 870° C. Priporoča se predgrevanje na 800° C (za A-3) oz. 650° C (za A-6). Povečevanje avstenitizacijske temperature rezultira pri A-3 v večjo količino zadržanega avstenita kot pri A-6 in počasnejše ohlajanje prav tako povečuje vsebnost zadržanega avstenita.

Ti dve jekli se popuščata na 180 do 425 oziroma 180 do 550° C, kjer veljajo višje popuščne temperature za A-3, ki je bolj popuščno obstojen od A-6.

Statična torzijska žilavost je pri A-2 (podatkov o podobnem A-3 ni) za okoli 50 % večja kot pri jeklu 0-1 podobnemu našemu Merilo extra. Maksimalna žilavost za A-2 sta pri popuščni temperaturi 200 in 400° C. Če je glavna zahteva velika obrabna obstojnost, popuščamo na 200° C, če pa je žilavost, na 400° C.

Z višjo popuščno temperaturo se dimenzijske spremembe A-3 stalno zmanjšujejo, A-6 pa kaže minimum pri 200° in maksimum dimenzijske spremembe pri 300° C popuščne temperature. Največje dimenzijske spremembe zaradi kaljenja in popuščanja znašajo okoli 0,01 %.

Orodno jeklo S-6 z originalno oznako La Belle HT je po podatkih iz literature enako žilavo kot Utop Mo 1 ter bolj obrabno obstojno kot Utop extra, vendar manj kot jeklo tipa Osikro. Prednost tega jekla je nizka cena.

Jeklo S-6 se lahko kuje pri 1100 do 900° C, na temperaturi ne sme biti preveč časa, ker se rado razogljíči. Žari naj se v varovalni atmosferi ali tesnjeno v inertnem materialu in ne nad 810° C, ker lahko nastopi grafitizacija. Kali se brez nevarnosti z 910 do 950° C v olju, popuščno je obstojno do 300° C.

Jeklo Utop Mo 2 se razmeroma lahko kuje in se ohlaja po kovanju v peči. Izjemoma se veliki kosi normalizirajo, da se zveča prečna duktilnost. Žari se v nevtralnem materialu na temperaturi 840—900° C (po ameriških podatkih), ohlaja pa v peči vsaj do 550° C. Pri ogrevanju na kalilno temperaturo se predgrevajo komplicirani kosi na 650 in 850° C, enostavnejši na 700—800° C. Če mora prenašati v obratovanju velike udarce, pritiske, se orodje iz Utop Mo 2 popušča na trdoto 40 do 44 HRC. Vakuumsko lito jeklo pa se za podobno uporabo lahko popušča na 52 HRC.

Žilavost orodij iz tega jekla se poveča pri temperaturi 200—400° C, zato se priporoča ogrevanje orodij pred delovanjem. Kaljenje v olju ter popuščanje da večjo žilavost kot kaljenje na zraku in popuščanje na enako trdoto. Posebno značilna za Utop Mo 2 je visoka odpornost proti utrujanju in to ga dela primerne tudi kot konstrukcijsko jeklo.

Jeklo, ki ga imenujemo C-1, nima standardiziranega imena, prva pa ga je izdelala firma Carpenter. Pri ogrevanju za kovanje se naj pregreva na 750° C, kuje naj se zelo previdno in ohlaja prav

tako. Žarjenje je učinkovito le, če se opravi po posebnem režimu: z žarilne temperature 850° C se ohladi na 650° C, drži na tej temperaturi toliko časa, da se izravna temperatura po preseku, nato se zelo počasi (10° C/h) ohlaja.

Zelo rado se razogljíči, zato se priporoča ogrevanje za kaljenje v solni kopeli ali v peči z varovalno atmosfero. Kali se na zraku, če želimo majhne dimenzijske spremembe, ali v olju, če hočemo večjo trdoto ter manj škajenja.

Posebnost tega jekla je izredno otežkočena mehanska obdelavnost, brusnost, zato je najbolj ekonomično brusiti z diamantno ploščo.

Po naših podatkih ima jeklo C-1 žilavost v preiskovalnem območju popuščnih in kalilnih temperatur okoli 0,25 kpm/cm<sup>2</sup> (neprekovane probe) do 0,75 kpm/cm<sup>2</sup> (kovane probe) in trdote padejo od 65 HRC (po popuščanju na 150° C) na 62 HRC, če se je popuščalo na 300° C.

Pri toplotni obdelavi Prokrona 2 L special se mora posebno strogo paziti na sledeče: pred ogrevanjem za kaljenje se morajo vsi deli skrbno očistiti (maščob, oznak s svinčnikom; škodljivi so, pravijo, celo prstni odtisi). Podpore in vezi pri delani z globokimi rezi naj se pri ogrevanju za ogrevanju naj bodo iz nerjavnega jekla.

Deli z zelo različnimi preseki, ostrimi ogli, obkaljenje (in žarjenje) predgrevajo na 800° C. S kaljenjem v olju se doseže večja korozijska obstojnost in žilavost kot s kaljenjem na zraku.

Če hočemo doseči veliko korozijsko obstojnost, jeklo kalimo z višje kalilne temperature, če pa je potrebna žilavost, duktilnost, ga kalimo z nižje kalilne temperature. Glede časov držanja na kalilni temperaturi so dognali, da je za dimenzije pod 12 mm zadosti 30—60 min., za vsakih nadaljnjih 25 mm debeline pa se podaljša čas držanja na temperaturi za 30 min.

Zadržanega avstenita je do 30 volumenskih odstotkov in če ga hočemo čimveč odpraviti, je potrebno dvakratno popuščanje in po vsakem popuščanju podhlajevanje do — 75° C.

Značilen je padec žilavosti in korozijske obstojnosti po popuščanju na 480° C. Proti napetostni koroziji dobrodejno učinkuje dvojno popuščanje. Veliko skrbi lahko povzroča pri martenzitnem nerjavnem jeklu, kot je Prokron 2 special vodikova krhkost, ki se pojavi po kaljenju v olju in svetlem žarjenju v atmosferi vodika ali disociiranega amoniaka. Če se pojavi na jeklu kaljenem v olju zelen oksid, se mora pred popuščanjem odstraniti, ker drugače ovira sproščanje vodika.

## PREIZKUSNI REZULTATI

Kvalitete, za katere smo predpostavljali, da so primerne za orodja, kjer se zahteva precejšnja žilavost (npr. defibratorji), smo izdelali na majhni poizkusni peči in ugotovili, da se vse ugodno lijejo razen tipa C-1. Vse šarže niso povsem v mejah

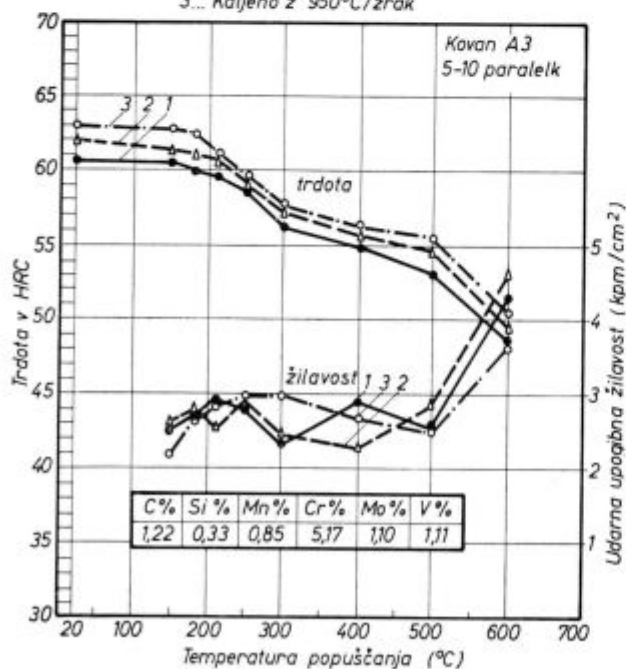
kemijskih sestav predpisanih po inozemskih normah: talina št. 6 v tabeli 1 ima za 0,6 % višjo vsebnost mangana, talina št. 8 iste kvalitete ima 0,09 % vanadija, ki pa ga originalne analize ne zahtevajo, ena od dveh šarž jekla C-1, t. j. talina št. 10 ima za 0,55 % višji molibden, ena od dveh šarž jekla S-6, t. j. talina št. 4 ima zelo nizek silicij. Ostale šarže pa po kemijski analizi povsem ustrezajo standardnim ameriškim sestavam.

Ta jekla ne povzročajo posebnih težav pri kovanju, razen tipa C-1, ki smo ga lahko kovali le pri temperaturah od 800 do 900° C. Podatki iz literature omenjajo kovaško temperaturo 1050 do 1100° C (vendar te številke pri nas niso potrjene).

**Žarjenje** tipov A-6, C-1 in obeh modifikacij prokronov je povzročalo težave. Pri A-6 se je dosegla ugodna obdelavnost z dvakratnim žarjenjem, jeklo C-1 pa se je s težavo že dalo obdelovati po žarjenju na 800° C in ohlajanju v peči. Jeklo Prokron 2 L special z višjim odstotkom ogljika se je moralo tudi dvakrat žariti, da se je dalo obdelovati, modificiran Prokron 2 L special (z dodatkom 1 % molibdena) pa je postal po drugem žarjenju še trši kot po prvem — trdota se je dvignila od **95 na 150 kp/mm<sup>2</sup>**. Po tretjem žarjenju na 600° C je trdota padla le do 120 kp/mm<sup>2</sup>, toda obdelavnost je bila zelo dobra.

Grobo mehansko obdelane žilavostne probe smo kalili v razširjenem območju temperatur priporočenih v literaturi, zelo široko smo vzeli tudi preizkusno območje popuščnih temperatur in da bi lahko zares učinkovito ocenili vpliv toplotne

- 1... Kaljeno z 910° C/zrak
- 2... Kaljeno z 930° C/zrak
- 3... Kaljeno z 950° C/zrak



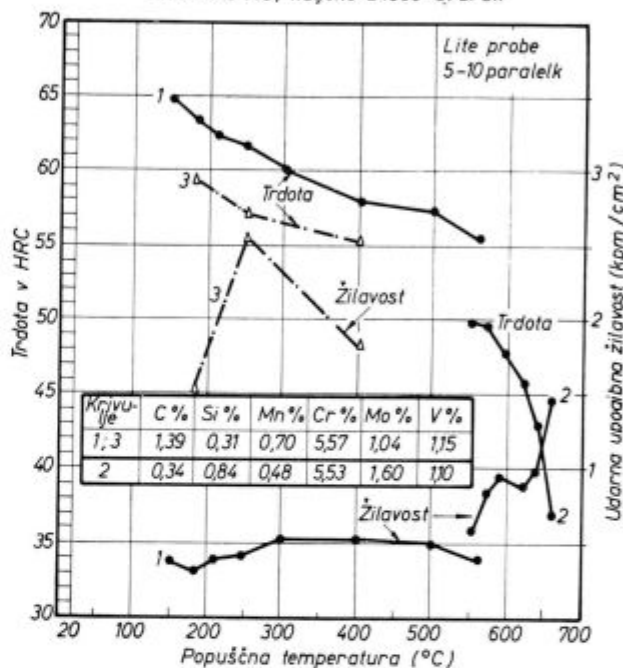
Slika 2

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih kovanjih prob iz jekla A-3

obdelave na žilavost in trdoto pri nas precej novih jekel, smo za vsako kombinacijo kalilnih in popuščnih pogojev planirali po pet prob.

**Dilatometriške meritve** so pokazale sledeče temperature premen  $A_{c1}$  in  $A_{c3}$  za A-6, C-1, A-3, S-6, (po vrsti): **710, 790; 735, 770; 760, 810; 790, 840**. Pri A-6 nismo dobili premen  $A_{r3}$ , pri modificiranih tipih Prokron 2 L special, ki imata premeno  $A_3$  na temperaturi 850° C, pa sploh ni premen pri ohlajanju.

- 1... Jeklo A3, kaljeno z 980° C/zrak
- 2... Utup Mo 2, kaljen z 1000° C/zrak
- 3... Jeklo A3, kaljeno z 1000° C/zrak



Slika 3

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih litih prob iz jekel A-3 in Utup Mo 1 (C.4751)

Probe s širokim območjem kalilnih in popuščnih temperatur, so bile namenjene predvsem preizkušanju žilavosti in merjenju trdote. Probe so bile na sredini izbrušene v obliki blage zaokrožitve polmera 10 mm in globine 1 mm. Takšno obliko zareze priporočajo za orodna jekla zaradi tega, ker je zaradi lokalne oslabitve trosenje manjše kot pri probah brez zarez, hkrati pa so vrednosti porušnega dela (imenovanega tudi udarna upogibna žilavost) zadosti velike in se s tem zveča razločevalna sposobnost pri določevanju vpliva toplotne obdelave in legiranosti, t. j. vrste jekla.

Razmeroma veliko **žilavost** smo ugotovili pri A-3 kaljenem z raznih temperatur in popuščenem na 250° C. Dvakratni maksimum žilavosti pri 200 in 400° C, kot so ga dobili z zvojnimi žilavostnim preizkusom nismo odkrili najbrž zaradi manjše natančnosti Charpyjevega preizkusa. Vidna je tendenca premaknitve maksimuma in minimuma žilavosti k višjim popuščnim temperaturam z višjo

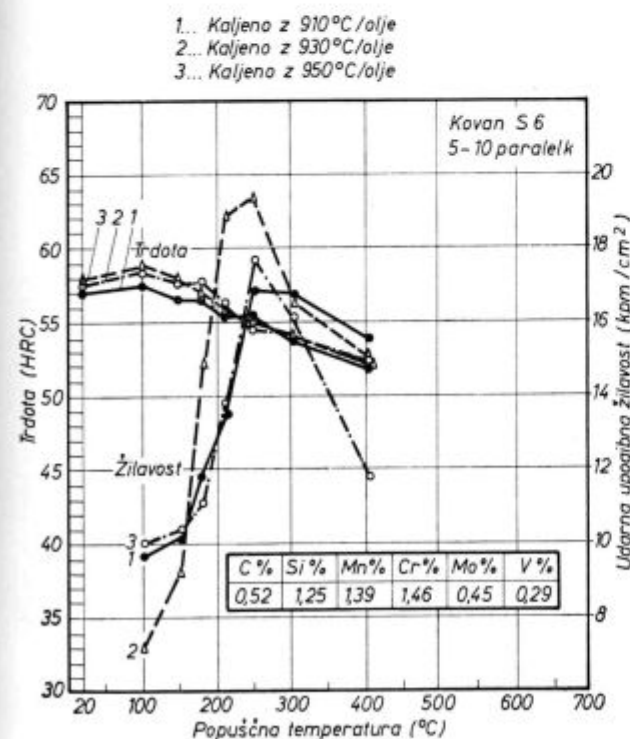
kalilno temperaturo. Maksimum pri popuščni temperaturi 210° C ustrezajo za kalilne temperature 930, 950, 980° C maksima pri 250, 300 in 300° C. Minimum za 910° C kalilne temperature pri 300° C popuščne temperature ustrežata minima pri 400 (za 930) in 500° C (za 950° C). Prob kaljenih z 980° C pa nismo popuščali nad 550° C, tako da ne vemo, kje je minimum žilavosti (slika 2 in 3).

Na kovanih probah kaljenih in popuščanih do trdote 55 HRC smo izmerili žilavosti od 2 do 3 kpm/cm<sup>2</sup>, če se popušča na 50 HRC pa se zviša žilavost na 4 kpm/cm<sup>2</sup>. Žilavost litih prob je veliko manjša, znaša okoli 0,5 kpm/cm<sup>2</sup>, le pri kaljenju s 1000° C je 2,5 kpm/cm<sup>2</sup>. Krivulje trdot v odvisnosti od popuščnih temperatur kažejo precej hiter padec v popuščnem območju 200—300° C z nadaljnjim popuščanjem do 500° C se trdota zniža le za 2 do 3 Rockwella, pri višjih popuščnih temperaturah se trdote spet hitreje zmanjšujejo.

Diagrami trdote in žilavosti v splošnem soglašajo s podatki iz literature o tem jeklu.

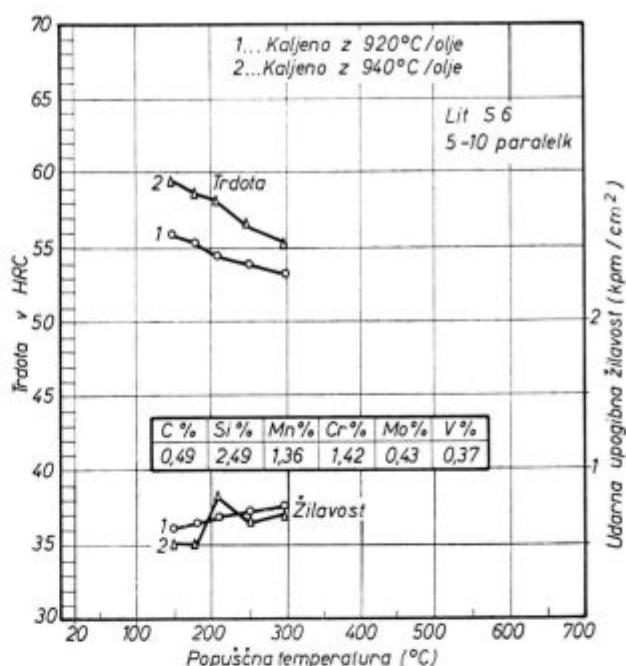
Jeklo za vroče delo **Utop Mo 2** smo preizkušali samo v stanju popuščenem na 550 do 650° C (sl. 3). Trdota z rastočo popuščno temperaturo pada, žilavost se veča in doseže po popuščanju na 760° C tudi 3 kpm/cm<sup>2</sup>, vendar je večina vrednosti okoli 1,1 kpm/cm<sup>2</sup>, zato je tudi srednja vrednost nižja. Za lite probe pa je to kar dober rezultat! Kovane probe tega jekla so za okoli 15-krat bolj žilave.

Diagrama na slikah 4 in 5 kažeta vpliv toplotne obdelave na trdoto in žilavost orodnega jekla S-6.



Slika 4

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih kovanih prob iz jekla S-6



Slika 5

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih litih prob iz jekla S-6

Prva šarža (kovana) ima nižjo vsebnost ogljika, kot je predpisana za jeklo S-6 po ameriških standardih, zato je tudi žilavost prob nekoliko večja, trdota pa manjša kot pri originalnih ameriških jeklih.

Potek žilavostnih krivulj je podoben kot pri ameriških jeklih te legirne skupine S-2, S-4, S-5, ki kažejo maksimum žilavosti po popuščanju na 200 do 300° C. Naše probe so imele žilavost 17 do 19 kpm/cm<sup>2</sup> po popuščanju na 250°, pri višjih in nižjih popuščnih temperaturah pa so žilavosti veliko manjše: pri 150° C so npr. okoli 10 kpm/cm<sup>2</sup> in pri 400° C okoli 12 do 15 kpm/cm<sup>2</sup>.

Trdote se po kaljenju s temperatur med 910 in 950° C ne razlikujejo veliko, predvsem po popuščanju na višje temperature ne. Trdota po popuščanju na 100° C je večja kot pa v kaljenem stanju in znaša 57 do 59 Rockwella; s popuščanjem na 400° C se zniža do 53 HRC.

Žilavost litih prob iz jekla S-6 je veliko manjša in znaša 0,5 do 0,8 kpm/cm<sup>2</sup> v območju popuščnih temperatur 150—300° C, trdota je od 59 do 53 HRC.

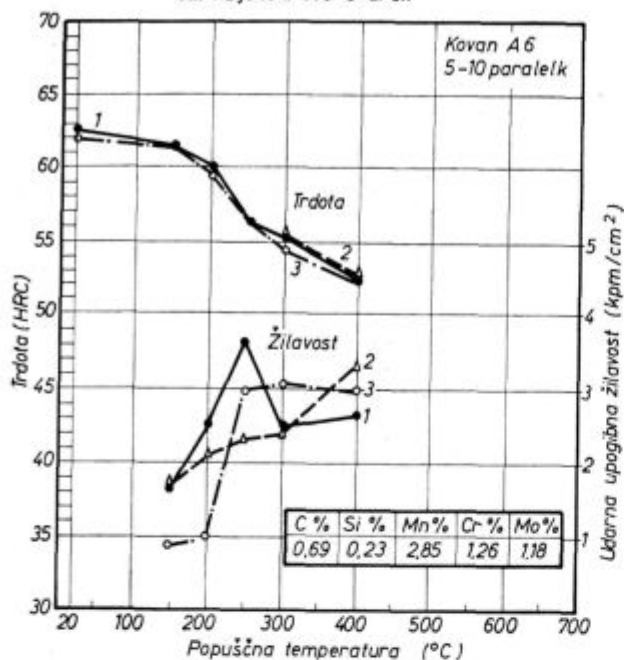
Žilavost jekla S-6 in Utopa Mo 2 se lahko primerjata, pri tem pa ima S-6 za okoli 4 enote Rockwella večjo trdoto.

Po teh podatkih se vidi, da je za S-6 ugodna kalilna temperatura pri 940 do 950° C, popuščna pa pri 250° C.

Diagram za A-6 kaže na sliki 6 porast žilavosti do 250° C popuščne temperature pri kalilnih temperaturah 830 do 870° C, z višanjem popuščne temperature pa pade žilavost prob kaljenih z 830° C od 3,5 na 2,5 kpm/cm<sup>2</sup>.



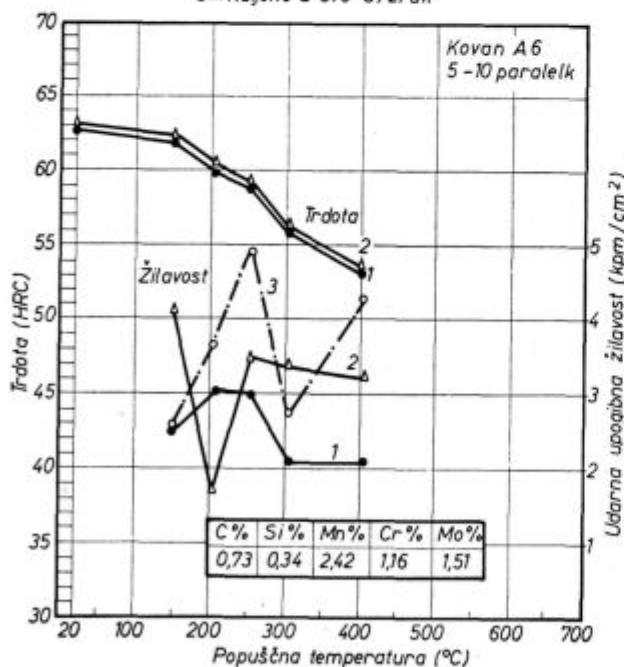
- 1... Kaljeno z 830°C/zrak
- 2... Kaljeno z 850°C/zrak
- 3... Kaljeno z 870°C/zrak



Slika 6

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih kovanih prob iz A-6

- 1... Kaljeno z 830°C/zrak
- 2... Kaljeno z 850°C/zrak
- 3... Kaljeno z 870°C/zrak

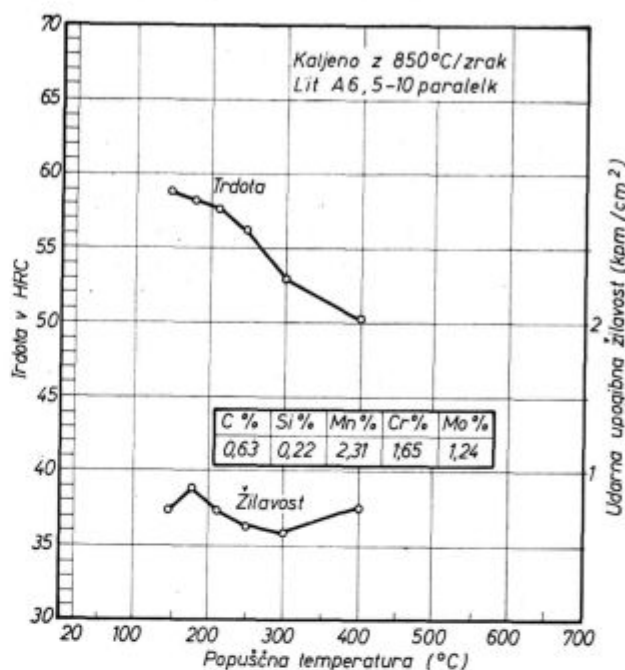


Slika 7

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih kovanih prob iz A-6

Trdota po popuščanju na 250° C je okoli 57 HRC. Probe istega jekla druge šarže so bile tembolj žilave čim višja je bila kalilna temperatura: žilavost je znašala tudi do 5 kpm/cm<sup>2</sup> pri trdoti do 59 HRC (slika 7).

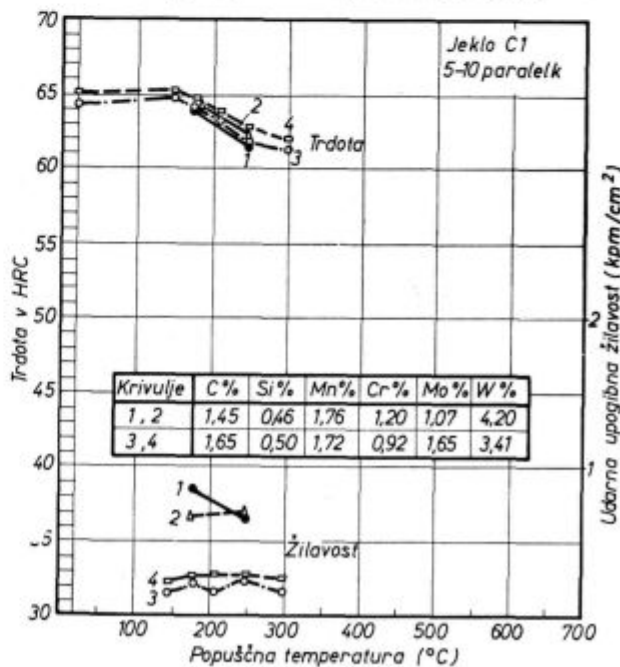
Lite probe te kvalitete (slika 8) so imele žilavost le do 0,8 kpm/cm<sup>2</sup>, maksimum je nastopal pri 180° C popuščne temperature za razliko od kovanih, ki so bile najbolj žilave po popuščanju na 250° C. Trdota pri največji žilavosti je tudi okoli 58 HRC.



Slika 8

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih litih prob iz A-6

- 1... Kovane probe, kalilna temperatura 840°C/zrak
- 2... Kovane probe, kalilna temperatura 870°C/zrak
- 3... Lite probe, kalilna temperatura 840°C/zrak
- 4... Lite probe, kalilna temperatura 870°C/zrak



Slika 9

Trdota in žilavost različno toplotno obdelanih prob iz C-1

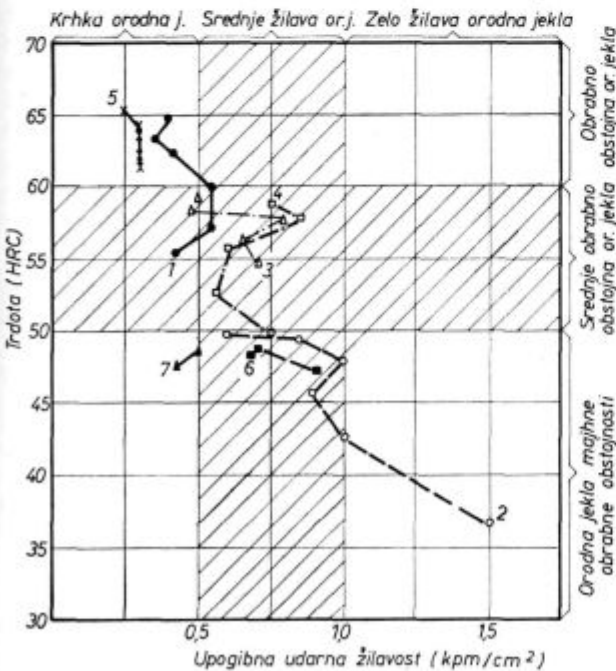
Slika 9 kaže, da je žilavost jekla C-1 zelo majhna.

Žilavost obeh variant Prokron 2L special je po kaljenju z 980—1030°C in popuščanju na 400 do 500°C okoli 0,5—0,7 kpm/cm<sup>2</sup>. Trdota je pri tem okoli 50 HRC.

### PRIMERJAVA PREIZKUŠANIH JEKEL

S podatki, ki smo jih dobili s preizkusi novih orodnih jekel in našega Utop Mo 2 ter Prokron 2L special, smo lahko izrisali diagram odvisnosti trdote in žilavosti litih prob (slika 10). Odkrili smo, da se krivulje precej dobro prilegajo diagonalni diagrama, ki poteka od trdote 70 HRC ter žilavost 0 do trdote 30 HRC ter žilavosti 1,75. Ti dve mejni točki seveda nista doseženi, ker se krivulji za C-1 in Utop Mo 2 (za najbolj obrabno obstojno in najbolj žilavo od teh jekel) končata pri trdoti 65 HRC in žilavosti 1,5 kpm/cm<sup>2</sup>. vzdolž zamišljene korelacijske črte se vrstijo od največjih trdot k največji žilavosti v tem območju jekla C-1, A-3, S-6, A-6, Utop Mo 2. Modifikacija Prokron 2L special se lahko smatra kot prehod od A-6 k Utop Mo 2. Delno se prekrivajo vrednosti za A-3 in S-6 (pri največji žilavosti jekla A-3 in največji trdoti S-6) ter A-6 in S-6. Pri tem se pokaže A-6 boljši kot S-6, ker doseže pri enaki največji trdoti

- 1... A3, kaljen z 980°C - zrak
- 2... Utop Mo 2, kaljen z 1000°C - zrak
- 3... S6, kaljen z 940°C - olje
- 4... A6, kaljen z 850°C - zrak
- 5... C1, kaljen z 870°C - zrak
- 6... Prokron 2L special, kaljen z 1030°C - olje
- 7... Prokron 2L special 1% Mo, kaljen z 980°C - olje



Slika 10

Odnos žilavost — trdota za lite toplotno obdelane probe opisanih orodnih jekel

za 50 % večjo žilavost in tudi maksimalne žilavosti so večje pri A-6 kot S-6. To velja za lite probe.

Pri kovanih toplotno obdelanih probah iz S-6 pa so dobili večje žilavosti kot pri kovanih probah A-6. S šrafuro je nakazano področje ugodne kombinacije žilavosti in obrabne obstojnosti orodnih jekel. To razmejitev pa ni treba jemati preveč strogo, storjena je po približnih ocenah in po številkah iz literature o modernih orodnih jeklih. Odlične kombinacije žilavosti ter obrabne obstojnosti so lastnosti jekel Utop Mo 2, A-3, S-6, A-6.

Primerjava žilavosti in trdote nam sicer veliko pove, še več pa izdržljivost orodij izdelanih iz teh jekel. Ker so jekla šele na pragu uporabe, seveda ni na razpolago obsežnih podatkov o njihovih prednostih za različna orodja.

Hitreje kot z zasledovanjem izdržljivosti pravih orodij se dobijo podatki, če opravimo ustrezne obrabne preizkuse na zadosti zanesljivem modelu. Precej dobro sliko o obrabni obstojnosti posameznih orodnih jekel kaže tabela 2, kjer so podane obrabe rezil iz teh jekel in hkrati količine snovi, ki so jo ta rezila odstranila s posebnih prob po 9 minutah. Obdelovale so se probe iz poboljšane jekla C-35. Normalni tlaki na vsakem rezilu so znašali od 0,5 do 1 kp na milimeter dolžine rezila. Hitrost rezila je bila pri tem na enem koncu nič in na drugem, udarno obremenjenem 0,24 m/sek. Rezilo je v vlogi čelnega rezkarja. Rezultati tega preizkusa obrabne obstojnosti rezil so ugodni, nekoliko pa preseneča razmeroma majhna izdržljivost orodja iz kovanega C-1. Iz tabele se vidi možnost uporabe jekla A-6 namesto dražjega Utop Mo 2, ko gre za hladno delo. Omeniti bi bilo vredno dve dejstvi. Prvo je to, da so se tudi pri preizkusih, kjer so bili drugačni pogoji obrabe in drugačen obdelovani material, pokazali podobni odnosi med izdržljivostmi kovanih ali litih nožev iz teh vrst jekel. Nič nenavadnega ni, da se pokaže posamezen nož iz litega A-6 obstojnejši od noža iz kovanega jekla A-3, ali pa nož iz litega A-3 obstojnejši od noža iz jekla C-1. Drugo dejstvo, ki daje polno podporo natančnosti tovrstnih preizkusov pa je, da so se dosežla pri različnih obdelovanih snoveh podobna razmerja med izdržljivostmi nožev iz raznih jekel, čeprav se pri preizkusih na vsaki vrsti obdelovane snovi vzelo od vsakega preizkušene jekla samo po eno rezilo.

Glede na to, da sodijo obrabni preizkusi med najbolj nenatančne tehnološke preizkuse, so rezultati, dobljeni na Ravnah, prava izjema od pravila.

Druge vrste podatki o obstojnosti orodij iz raznih orodnih jekel so se dobili z merjenjem vzdržnosti defibratorskih mlinskih plošč. Defibrator imenujejo mlin, v katerem vlaknajo les, da se iz njega lahko izdelata lesonit. Mlinske plošče v defibratorju so pri normalnih pogojih delovanja obremenjene samo na mirno drsno obrabo z lesom. Izdržljivost mlinskih plošč iz raznih jekel se v tabeli 3 primerja z izdržljivostjo orodij, izdelanih iz teh istih jekel in uporabljenih za odrezovanje

Tabela 2 — Obrabna obstojnost preizkušanih jekel je podana z obrabo rezila in s količino snovi, ki jo je odrezal v določenem času nož iz posameznega jekla. Žilavost in trdota sta merjeni na probah enakih dimenzij.

Jeklo rezila	Količina odrezane snovi (mg)	Obraba rezila (mikroni)	Razmerje količine odrezane snovi in obrabe rezila	Trdota (HRC)	Žilavost (kpm)
12 Mn L (CL.3160)	390	150/170	1,2	—	—
S-6 kovan	310	35/75	2,8	55	17,0
Prokron 2 sp. L (CL.4570)	410	90/145	1,8	48,5	0,7
Utop Mo 2 lit. (C.4753)	460	85/120	2,2	48	0,9
A-6 lit	470	25/45	6,7	57,5	0,8
A-3 lit	740	15/45	12	62,5	0,4
A-3 kovan	490	20/40	8	61,5	2,8
C-1 lit	1000	15/35	20	65	0,2
C-1 kovan	570	25/35	9,5	64	0,7

OPOMBA: Od dveh števil, ki podajata obrabo rezila v mikronih, velja prva za razmeroma mirno potekajočo obrabo pod velikim tlakom in pri majhni hitrosti in druga je rezultat udarne obrabe.

kovine. Rezila so obremenjena na drsno obrabo s kovino, pri tem pa obraba ni mirna, temveč kombinirana z zmernimi udarci na rezilni rob. Obstojnost plošč merimo z obratovalnimi urami, obstojnost rezil pa z globino obrabe na dveh različnih mestih. Prva številka pomeni obrabo tistega dela rezila, ki je obremenjeno na razmeroma mirno obrabo pri majhni hitrosti in pod velikim tlakom, druga pa obrabo tistega dela, ki ga poleg drsne obrabe prizadevajo še zmerno močni udarci. V zadnji vrstici sta navedena rezultata za dve jekli, ki spadata k istemu legirnemu tipu in imata podobne tehnološke lastnosti. Iz jekla C-1 so bila izdelana rezila, iz jekla BRE (C.4880) pa mlinske plošče.

Podatki prvega stolpca so izveček iz poročila o izdržljivosti segmentov v tovarni lesonita, drugi

stolpec je posnet po drugem stolpcu tabele 2. Primerjava obstojnosti posameznih plošč, oziroma rezil, z obstojnostjo ustreznih orodij iz jekla 12 MnL (CL.3160) pokaže pravilno zakonitost. Razliko v indeksih izdržljivosti jekel BRE (C.4880) in C-1 lahko razložimo z dejstvom, da so mlinski segmenti na videz morali razmeroma manj izdržati kot rezila, ker so se prvi enkrat ali celo dvakrat brusili na ostrino robov, rezila pa so se uporabljala le toliko časa, da še ni bilo treba ponovno brusiti. Realneje bi bilo primerjati čas obratovanja mlinskih plošč do prvega brušenja in obrabo rezil v času, ko so se zatopila do neuporabnosti. Kljub tej nujni nedoslednosti v primerjanju obstojnosti so rezultati uporabni, ker lahko ocenimo, koliko je neenotnost rezultatov odvisna od neenakih pogojev obrabe.

Tabela 3 — Primerjava izdržljivosti mlinskih plošč v defibratorjih z izdržljivostjo preizkusnih rezil

Jeklo orodjar	Izdržljivost defibratorskih plošč (h)	Obraba rezil (mikroni)	Izdržljivost glede na plošče iz 12 Mn	Izdržljivost rezil glede na rezilo iz 12 Mn
12 MnL (CL.3160)	500	150/170	1	1/1
Prokron 2 sp. L (CL. 4570)	900	90/145	1,8	1,67/1,17
Utop Mo 2 (C.4753)	1100	85/120	2,2	1,76/1,42
C-1, BRE (C.4880)	1500	15/35	3	10/4,75

Tabela 4 — Izdržljivost mlinskih segmentov in rezilna sposobnost orodij iz istih jekel

Jeklo orodij	Mlin			Rezila		
	Izdržljivost (h)	Razlike v izdržljivosti (h)	Indeks	Odrežejo snovi (mg)	Razlike v rezilnosti (mg)	Indeks
12 MnL	500	400	2	390	20	0,4
Prokron 2 sp. L	900	200	1	410	50	1
Utop Mo 2	1100	400	2	460	110	2,2
C-1, BRE	1500			570		

Podobne podatke dobimo v tabeli 4, kjer se kot merilo obrabne obstojnosti podaja količina odrezane snovi namesto obrabe rezil.

Po tej tabeli se ne ujemata izdržljivosti mlinskih segmentov in rezil iz jekla 12 Mn L. To se lahko razloži. Rezila so obremenjena na udarno obrabo, mlini pa na mirno drsno. Ker so jekla tipa 12 Mn močno nagnjena k utrditvi s hladno deformacijo, je jasno, zakaj so se rezila iz tega jekla razmeroma bolj obnesla kot mlinske plošče.

### Uporaba

Jeklo A-3 predstavlja dobro kombinacijo žilavosti in obrabne obstojnosti tako, da je glede teh dveh lastnosti med jekli tipa Utop Mo 2 in OCR 12. Če želimo večjo žilavost, kot jo ima A-3 ter manjše dimenzijske spremembe pri kaljenju in nižjo kalilno temperaturo, vzamemo jeklo A-6, ki pa je manj obrabno obstojno in se težje mehansko obdeluje. Za komplicirane matrice se priporoča jeklo A-6. Tipična uporaba teh dveh jekel so **orodja za globoki vlek, kalupi (forme) pri litju umetnih snovi, matrice za vtisovanje, gladine, oblikovalne, vlečne matrice, oblikovalni valji.**

Jeklo S-6 se uporablja za **velike sekače, rezila škarij, matrice, rezalce premoga** ter za držala orodij iz karbidnih trdin ali hitroreznega jekla. Ta držala se kalijo na zraku, če je orodje trdina in v olju, če je orodje iz hitroreznega jekla.

Jeklo Utop Mo 2 se uporablja po svetu za utope, matrice pri vročem stiskanju, trne, kalupe za litje aluminija, zlitin cinka, magnezija, kalupe za litje umetnih snovi, **rezila škarij za vroče delo, matrice za izstiskovanje aluminijevih, magnezijevih zlitin.**

Tipična uporaba jekla označenega s C-1 so **obloge za peskomete, matrice za globoki vlek, obloge pri kalupih za opeko, izstiskovalne matrice za keramične dele, orodje pri stiskanju trdin.**

Jeklo Prokron 2 L special se uporablja za dele, ki prihajajo v stik z morskovo vodo. To so razni deli

črpalk, osi, ventili. Vse bolj se tudi uporablja za razna orodja v lesni industriji, kjer morajo biti strojni deli odporni proti organskim kislinam.

### Zaključek

Toplotna obdelava izdelanih kvalitetnih orodnih jekel je bila tako ugodna, da so probe pokazale zares dobre trdote, žilavosti in obrabne obstojnosti. Rezultati so povsem primerljivi z vrednostmi, ki jih dobivajo drugi svetovno znani producenti orodnih jekel. Kovanje jekla C-1 je bilo v redu opravljeno kljub temu, da je območje kovaških temperatur zelo ozko in kljub temu, da smo to območje odkrili pri čisto drugačnih temperaturah, kot navaja del literature. Primerno in zahtevno žarjenje jekel C-1 in Prokron 2 L special modificirano je omogočilo, da so se lahko probe mehansko obdelale. Posebna prednost novih jekel med preizkušanimi je ta, da se kalijo zelo enostavno z razmeroma nizkih temperatur in na zraku. Toplotna obdelava je zato cenena in ne povzroča velikih dimenzijskih sprememb izdelka, kar pomeni, da je po kaljenju in popuščanju treba le še zelo malo brušenja. To je nadaljnja pocenitev, ki jo ta jekla omogočajo pri izdelavi orodij.

Podatki o obstojnosti orodij iz teh jekel povedo, da se zelo splača orodja ulivati. Posebej se to seveda splača pri jeklih, ki se težko kujejo. Razlike v izdržljivosti litih in kovanih orodij so po teh enkratnih preizkusih od 50 do 100 %. Sodeč po količini snovi, ki jo odstruži nož glede na enoto obrabe rezila, so za rezilna orodja odlična jekla A-6, A-3, C-1. Seveda pa bodo popolnejšo podobo o uporabnosti in primernosti dale izdržljivosti različnih orodij izdelanih iz teh jekel.

### Viri

1. Roberts A. A., J. C. Hamaker, A. R. Johnson: Tool Steels 3<sup>rd</sup> Ed. Metals Park, Ohio, American Society for Metals 1962

## ZUSAMMENFASSUNG

Es sind einige Probleme in Verbindung mit der mechanischen Bearbeitung, Wärmebehandlung und Schmieden einiger Werkzeugstähle der Spitzenqualität günstig gelöst worden. Die Prüfungen der Härte der Kerbschlagzähigkeit und der Dauerstandfestigkeit der Werkzeuge aus diesen Stählen haben gezeigt, dass es sich in jeder Hinsicht lohnt sie zu gebrauchen. Neben der ausgezeichneten Abriebfestigkeit oder Kerbschlagzähigkeit oder einer Kombination dieser beiden ist der Vorteil der modernen Werkzeugstähle eine

einfache und billige mechanische und Wärmebehandlung. Die Ergebnisse zeigen, dass die gegossenen Werkzeuge meistens besser von der geschmiedeten sind, wenn diese auch dort angewendet werden, wo starke schlagartige Beanspruchungen auftreten. Die Auswahl des richtigen Stahles für ein bestimmtes Werkzeug ermöglichen die Ergebnisse über die Kerbschlagzähigkeit dieses Stahles und dessen Abriebfestigkeit.

## SUMMARY

Some problems connected to mechanical working, heat treatment, and forging of some top tool steels are satisfactory solved. Strength, toughness, and durability tests of tools made of these steels showed that they can be used in any case. Beside the very good resistance to wear or toughness, or combination of both, the advantage

of modern steels is their low production price, simple heat treatment and mechanical working. Results of investigations show that the cast tools are generally better than forged ones if they are used for operations with moderate impact loads. Choice of the correct steel for single tool is enabled by data on toughness of the steel, and on its resistance to wear.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Положительно разрешены некоторые проблемы в связи механической обработки, теплового режима иковки некоторых сортов инструментальной стали высокого качества.

Испитание твердости, вязкости и прочности инструментов из этой стали показали, что их употребление во всех отношениях рекомендуется. Кроме превосходной износоустойчивости и вязкости, а также сочетанием этих свойств, преимущество сортов

этих сталей состоит также в том, что их механическая и тепловая обработка весьма простая и дешевая. Исследования показали, что литые инструменты из этих сталей гораздо лучше откованных при работах при которых наступает умеренное ударно-разрывное напряжение.

Выбор подходящей стали для определенного инструмента дают данные о вязкости и износоустойчивости этой стали.

## Uporabnost magnetne analize za kontrolo toplotne obdelave brzoreznih jekel

Magnetna analiza se vse bolj uveljavlja za ločenje zamešanih feromagnetnih materialov, za kontrolo toplotne obdelave in za odkrivanje površinskih napak. V članku je opisana raziskava uporabnosti magnetne analize za kontrolo trdote in toplotne obdelave brzoreznih jekel.

Za obdelavo podatkov, dobljenih pri meritvah, so bile uporabljene nekatere matematično statistične analize in elektronski računalnik.

### UVOD

Princip delovanja magnetoskopa je bil v Železarskem zborniku že opisan<sup>3</sup>, zato si oglejmo le kakšen vpliv ima različna vsebnost zaostalega avstenita v vzorcih iz brzoreznega jekla na magnetne meritve.

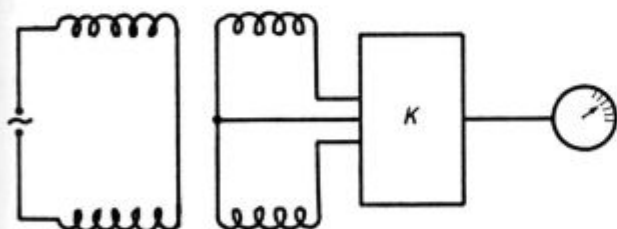
Gostota magnetnega fluksa skozi feromagnetni vložek, ki ga vložimo v primerjalno tuljavo, znaša

$$B = B_0 + J$$

$B_0$  . . . . . gostota magnetnega fluksa v prazni tuljavi

$J$  . . . . . magnetiziranje probe

Ker sta vezani obe tuljavi v protistiku,  $B_0$  kompenziramo in merimo samo razliko  $J$ , ki nas zanima. (Slika 1)



Slika 1

Shema impenenčnega mostu z dvema poloma tuljav in kompenzatorjem ravnotežja K

Zaostali avstenit je nemagnetna faza in se nasprotno od ferita ne magnetizira. Gostota magnetnega fluksa je torej odvisna od odstotka zaostalega avstenita. Ker pa je inducirana napetost v tuljavi odvisna od gostote magnetnega fluksa, lahko z merjenjem toka, ki ga požene inducirana napetost, merimo vsebnost zaostalega avstenita.

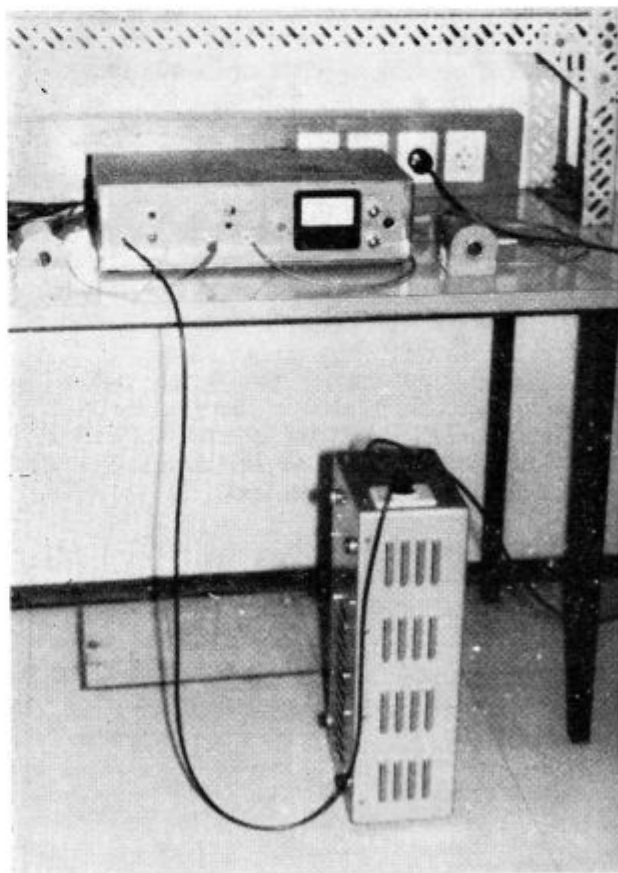
Meritve zaostalega avstenita, s katerimi želimo posredno meriti mehanske lastnosti jekla, ne dajo absolutnih vrednosti, temveč le relativne, ki pove-

do, da je pri večjih odčitkih na magnetoskopu v brzoreznem jeklu več zaostalega avstenita, pri manjših pa manj. Meritve na magnetoskopu smo delno umerili na dejansko vsebnost zaostalega avstenita z rentgensko strukturno analizo.

Po meritvah na magnetoskopu smo iskali, s pomočjo elektronskega računalnika korelacijo med odklonom na magnetoskopu (vsebnostjo zaostalega avstenita) in trdoto, da bi ugotovili kakšne so možnosti za kontrolo termične obdelave brzoreznih jekel z magnetno analizo.

### Opis aparature in dela

Magnetoskop na sliki 2 je izdelan v Železarni Ravne. Sestavljen je iz dveh primerjalnih tuljav, generatorja za 30/600 Hz, ojačevalca, dveh kom-



Slika 2  
Magnetoskop

penzacijskih uporov (ohmskega in induktivnega) in mikroampermetra. Tuljavi sta skupno s kompenzacijskima uporoma mostiščno zvezani. Za točnejše merjenje smo uporabili stabilizator, ki smo ga vezali med omrežje in magnetoskop. Za vse meritve na magnetoskopu smo uporabljali frekvenco 30 Hz, kar ima poseben pomen pri raziskavi.

Pri merjenju je zelo pomembna izbira primerjalnega vzorca in izbira merilnega območja skupno z ustrezno uglasitvijo merilnega mosta. Za primerjalni vzorec smo izbrali žilavostno probo iz ARMCO železa (C.1060—SPZ 1), ki je skoraj 100 % ferit. Primerjalna žilavostna proba je imela enake dimenzije kot ostale probe.

Inštrument je bil umerjen tako, da je kazal tem večji odklon, čim večja je bila vsebnost zaostalega avstenita v probi.

Upoštevali smo, da na meritev vpliva:

- geometrija vzorca in tuljave
- magnetna permeabilnost (struktura, kemijska sestava vzorca, temperatura)
- električna prevodnost vzorca
- frekvenca in
- ojačitveno območje inštrumenta

Vse tiste faktorje, ki bi merjenje zaostalega avstenita motili (dimenzija, kemijska sestava, frekvenca, ojačitveno območje inštrumenta), smo držali nespremenjene in s tem odstranili njihov vpliv. S posebnimi preizkusi smo kasneje ugotavljali tudi vpliv dimenzije na magnetne meritve.

Za poskuse smo uporabili pomembnejše vrste brzoreznih jekel:

C.9682 (BRC-3), C.6980 (BRC), C.6882 (BRW-2), C.6880 (BRW), C.7680 (BRM-2) in C.9683 (BRU).

V žarjenem stanju se navedena jekla po magnetnih lastnostih zelo malo razlikujejo, tako, da jih pri zamešanju težko ločimo. Veliko pomembnejši so rezultati meritev dobljenih na kaljenih in popuščenih probah.

Preizkusi uporabnosti magnetnih metod za kontrolo toplotne obdelave brzoreznih jekel so bili opravljeni v okviru obširnejše raziskave vpliva toplotne obdelave na udarno upogibno žilavost in trdoto brzoreznih jekel.

Na probah smo izvršili:

- meritve trdote po kaljenju in popuščanju
- meritve na magnetoskopu po kaljenju in popuščanju ter
- meritve udarne upogibne žilavosti po popuščanju.

Tako smo lahko iskali tudi medsebojne odvisnosti med trdoto, žilavostjo in magnetnimi meritvami. Shema toplotne obdelave prob kaže tabela 1.

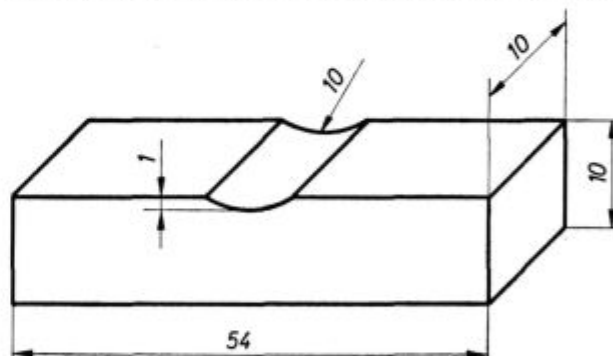
Za objektivno oceno udarne upogibne žilavosti smo delali s 15 paralelkami, zato so rezultati magnetnih meritev, glede na število paralelek, zelo zanesljivi.

### Rezultati in diskusija

Vso množico podatkov dobljenih pri meritvah smo obdelali z matematično statistično analizo porazdelitve in regresije na elektronskem računalniku.

### Rezultati magnetnih meritev po kaljenju

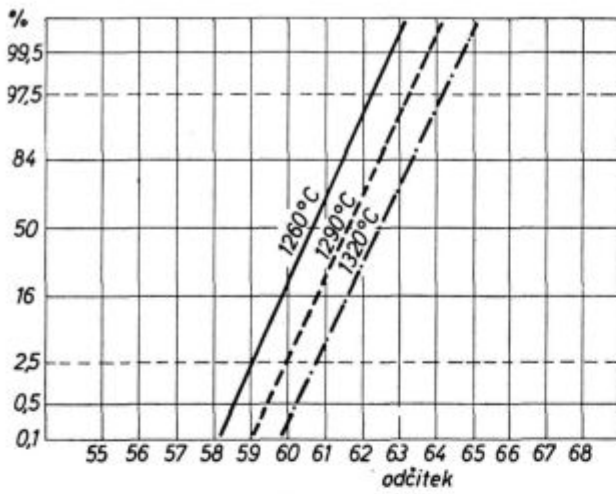
Po kaljenju smo na žilavostnih probah, katerih dimenzije so na sliki 3, izmerili trdoto po Rockwellu ter izvršili meritve na magnetoskopu. Porazdelitve magnetnih meritev po kaljenju kažejo slike 4 do 9. Na abscisi je odčitek odklona na magnetoskopu, na ordinati pa kumulativna frekvenca v odstotkih. Prikazani rezultati so zaradi velikega števila paralelek zelo zanesljivi, saj pride



Slika 3  
Oblika probe za udarno upogibno žilavost

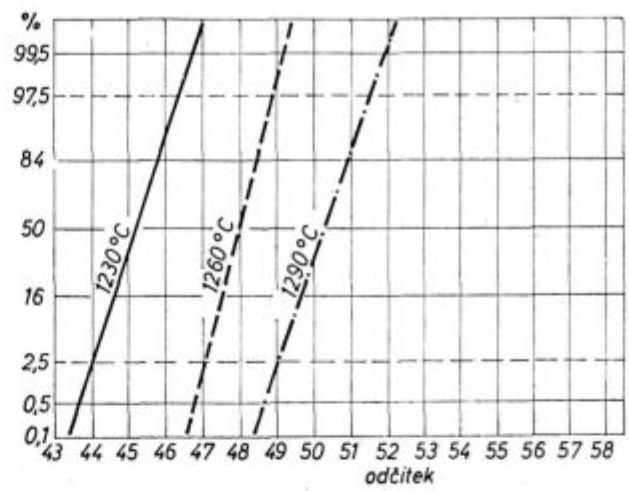
Tabela 1 — Shema toplotne obdelave

Temp. kaljenja	1320° C			1290° C			1260° C			1170° C			1200° C			1230° C		
Temp. pop. (°C)	530	560	590	530	560	590	530	560	590	530	560	590	530	560	590	530	560	590
BRC-3										15	15	15	15	15	15	15	15	15
BRC										15	15	15	15	15	15	15	15	15
BRM-2							15	15	15	15	15	15	15	15	15			
BRW							15	15	15	15	15	15	15	15	15			
BRW-2	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15			
BRU				15	15	15	15	15	15	15	15	15	15					



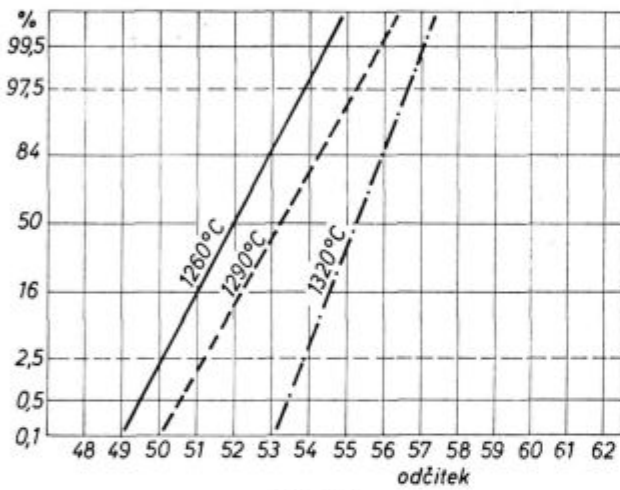
Slika 4

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo Č.9682 (BRC-3)



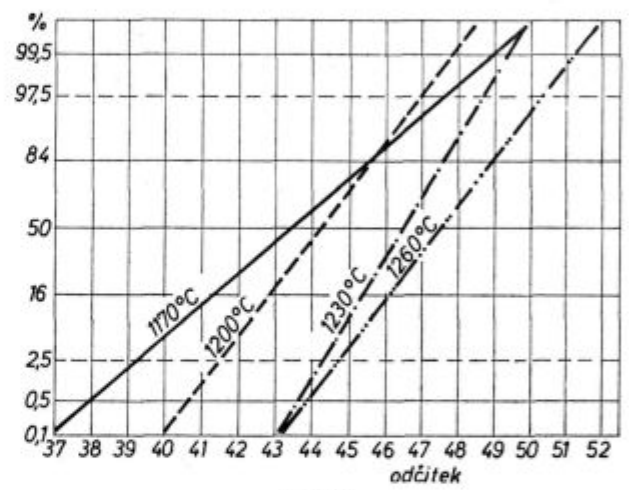
Slika 7

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo Č.6880 (BRW)



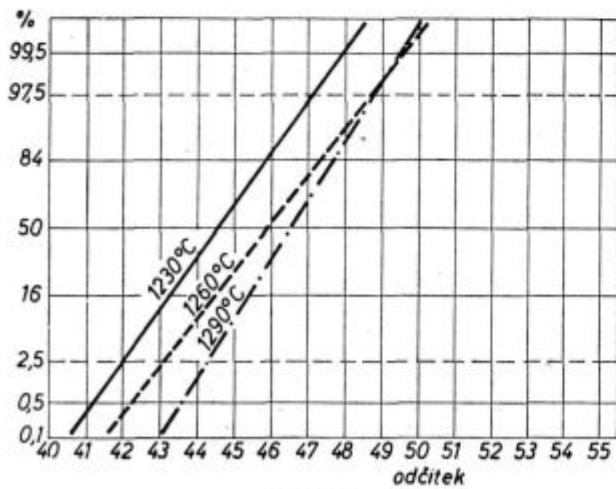
Slika 5

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo Č.6980 (BRC)



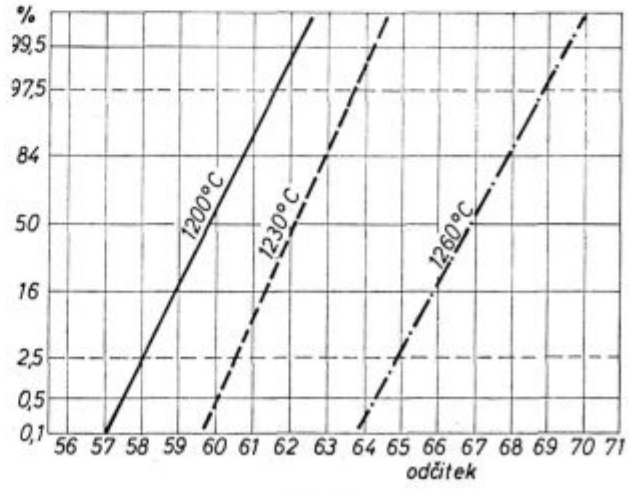
Slika 8

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo Č.7680 (BRM-2)



Slika 6

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo Č.6882 (BRW-2)



Slika 9

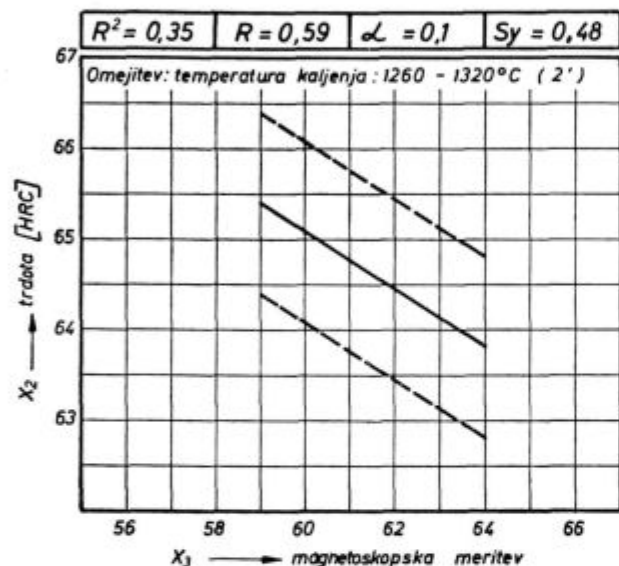
Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po kaljenju za jeklo Č.9683 (BRU)



na vsako temperaturo kaljenja kar 45 meritev. Trosenja meritev, ki jih kaže nagib premic v verjetnostni mreži so skoraj pri vseh vrstah brzoreznih jekel enaka. Večji odklon na magnetoskopu pri določenem jeklu dobimo pri probah, ki so bile kaljene pri višjih temperaturah. To pomeni, da te probe vsebujejo več zaostalega avstenita.

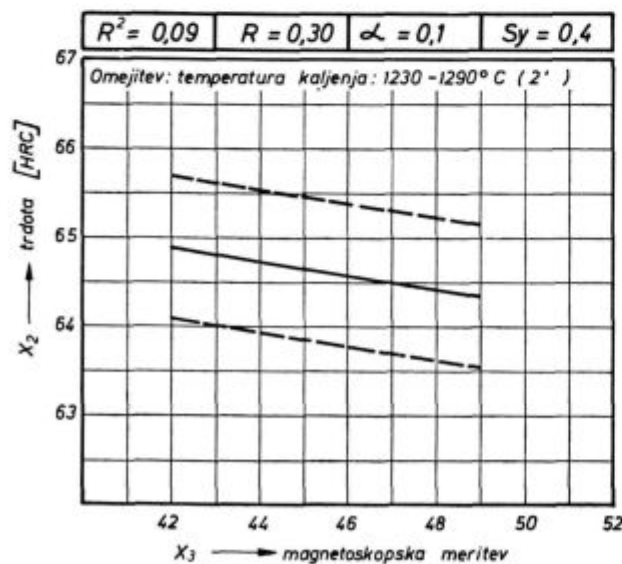
Iz slik 4 do 9 je še razvidno, da glede na trosenje, ne bi mogli po kaljenju z magnetno meritvijo sklepati na trdoto, to pa hkrati pomeni, da tudi ne moremo kontrolirati kaljenja brzoreznega jekla.

Nomogrami na slikah 10 do 14 kažejo medsebojno zvezo med trdoto po kaljenju in odklonom na magnetoskopu. Pri večjih odklonih na magne-



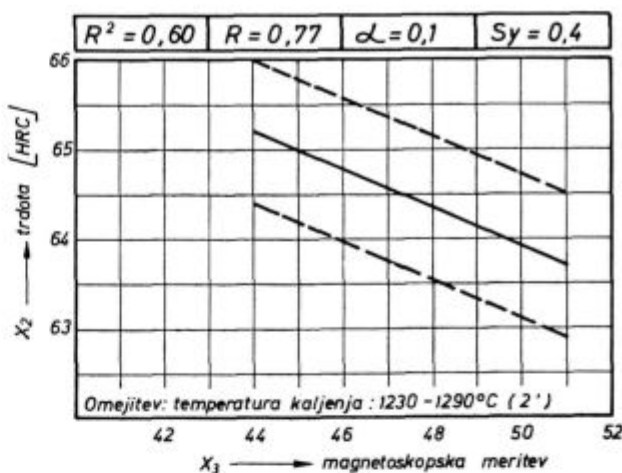
Slika 10

Korelacijska zveza med trdoto in magnetno meritvijo za jeklo C.9682 (BRC-3)



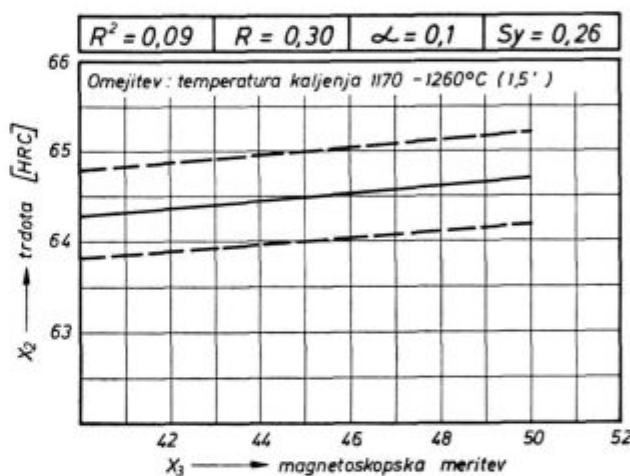
Slika 11

Korelacijska zveza med trdoto in magnetno meritvijo za jeklo C.6882 (BRW-2)



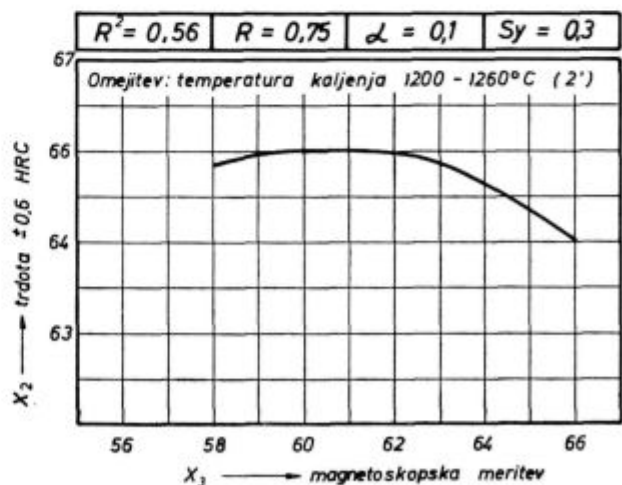
Slika 12

Korelacijska zveza med trdoto in magnetno meritvijo za jeklo C.6880 (BRW)



Slika 13

Korelacijska zveza med trdoto in magnetno meritvijo za jeklo C.7680 (BRM-2)



Slika 14

Korelacijska zveza med trdoto in magnetno meritvijo za jeklo C.9683 (BRU)

toskopu je trdota nižja. To lahko trdimo z 99,9 % statistično gotovostjo. Pomembnost odvisnosti ( $R^2$ ) med trdoto in magnetno meritvijo po kaljenju je pri posameznih vrstah jekla precej različna. Pri jeklih Č.6980 (BRC) in Č.7680 (BRM-2) nismo ugotovili pomembne odvisnosti, dočim lahko n. pr. pri Č.6880 (BRW) pripisujemo kar 60 % sprememb trdote »vplivu« magnetnih meritev, to je vsebnosti zaostalega avstenita.

V praksi pride včasih do neljubega zamešanja jekel. Z magnetno meritvijo bi lahko odkrili zamešanje le v primeru, če bi bili kosi enako toplotno obdelani in imeli enake dimenzije. Pri takšnih pogojih bi lahko med sabo ločili jekla: Č.6880 (BRW), Č.7680 (BRM-2) in Č.6882 (BRW-2) od Č.9682 (BRC-3), Č.6980 (BRC) in Č.9683 (BRU). Dobimo torej dve grupi jekel, ki jih z magnetno metodo lahko ločimo med sabo, ne moremo pa ločiti med sabo jekel znotraj posamezne grupe.

### Magnetne meritve po popuščanju

Iz tabele 1 je razvidno, da so probe kaljene pri določeni temperaturi, popuščene pri treh različnih temperaturah.

Na probah, ki so bile različno toplotno obdelane, smo izmerili po popuščanju trdoto, udarno upogibno žilavost in relativno vsebnost zaostalega avstenita z magnetoskopom.

Magnetne meritve po popuščanju smo izvedli pri enakih pogojih kot po kaljenju.

Statistična analiza porazdelitve magnetnih meritev po popuščanju je dala zanimive rezultate, ki so prikazani an slikah 15 do 20. Opazimo grupiranje magnetnih meritev po temperaturah popuščanja. To pomeni, da je za odklon pri magnetni meritvi pomembnejša temperatura popuščanja kot temperatura kaljenja. Pri višjih temperaturah kaljenja in nižjih temperaturah popuščanja pokaže magnetoskop večji odklon, kar je glede na večjo vsebnost zaostalega avstenita, pri takšni toplotni obdelavi, povsem razumljivo.

Kako vplivata na magnetno meritev temperatura kaljenja in popuščanja, kažejo slike od 21 do 26. Tudi na teh slikah vidimo, da so na magnetoskopu izmerjene vrednosti tem višje, čim višja je temperatura kaljenja in čim nižja je temperatura popuščanja in to pri vseh preizkušanih jeklih. S 95 do 99,9 % statistično gotovostjo lahko trdimo, da veljajo prikazane odvisnosti.

Koeficient determinacije je v vseh primerih zelo visok, kar pomeni, da lahko na primer pri Č.7680 (slika 25) 98 % ugotovljenih variacij magnetne meritve pripisujemo vplivu toplotne obdelave in da le ostala 2 % variacij magnetnih meritev ostane nepojasnjenih ter jih moramo pripisovati drugim vplivom. To je za uporabnost magnetoskopa zelo pomembna ugotovitev, saj upoštevajoč rezultate vseh preizkušanih jekel lahko trdimo, da ima vpliv na magnetno meritev praktično le toplotna obdelava. Le 2 do 11 % variacij pri magnet-

nih meritvah pripisujemo vplivu drugih faktorjev, med katerimi je verjetno najbolj pomemben faktor dimenzije.

Zanima nas: ali lahko z magnetno meritvijo po popuščanju kontroliramo temperature toplotne obdelave? Iz nomogramov je razvidno, da glede na trosenje, ki nastopa pri meritvah, ne moremo kontrolirati temperatur kaljenja, lahko pa kontroliramo temperaturo popuščanja z natančnostjo 10 do 30° C, vendar le v primeru, ko delamo pri vsaki vrsti jekla le z eno šaržo in enako temperaturo kaljenja tako, da je izločen vpliv kemične sestave in temperature kaljenja. Kasneje bo vpisan še vpliv različne kemijske sestave na odklon pri magnetni meritvi.

### Zveza med udarno žilavostjo, trdoto in magnetno meritvijo po popuščanju

V praksi je pomemben odnos žilavosti in trdote, saj hočemo večkrat vedeti, kakšna bo žilavost, če bo trdota večja in obratno. To odvisnost smo povezali še z magnetnimi meritvami, tako, da smo dobili korelacijo med žilavostjo, trdoto in magnetno meritvijo.

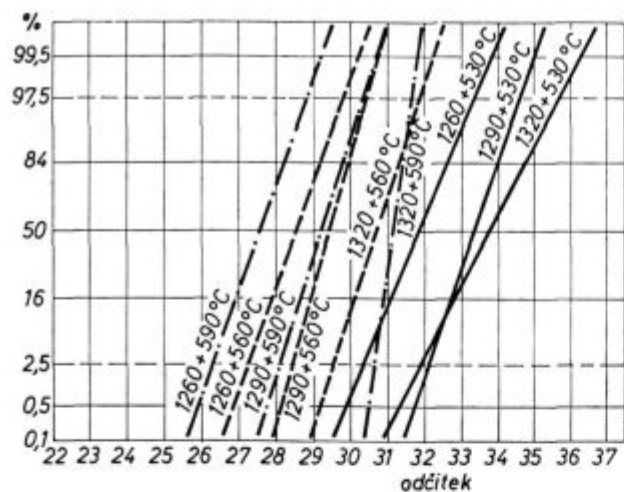
Za jeklo Č.6882 (BRW-2) in Č.9683 (BRU) so ostale pri izbranem kriteriju variacije udarne upogibne žilavosti nepojasnjene. Pri ostalih preizkušanih jeklih se koeficient determinacije  $R^2$  giblje od 0,26 do 0,55. Pri jeklu Č.6880 (BRW) in Č.6980 (BRC) ni pomembne korelacije med udarno žilavostjo in magnetno meritvijo, tako da ugotovljenih 26 oziroma 34 % variacije udarne žilavosti pripisujemo trdoti. Torej smo dobili od šestih vrst jekel, ki smo jih preizkušali, le dve vrsti jekel, ki kažejo pomembno korelacijo med vsemi tremi parametri.

Na sliki 27 je za jeklo Č.7680 (BRM-2) v obliki nomograma prikazana zveza med magnetno meritvijo, trdoto in udarno žilavostjo po popuščanju. Koeficient determinacije je razmeroma visok, saj znaša 0,55. Udarna žilavost in trdota sta si v obratnem sorazmerju. Pri višjih odčitkih na magnetoskopu dobimo višjo udarno žilavost.

Celo pri tem jeklu, ki ima najvišji koeficient determinacije, lahko ugotovimo, da z magnetno meritvijo ne moremo dovolj zanesljivo sklepati na udarno žilavost. Iz slike 27 vidimo, da se za 15 odčitanih enot na magnetoskopu žilavost spremeni za 0,3 kpm/cm<sup>2</sup>, kar je dosti manj kot so meje zanesljivosti meritev udarne žilavosti, ki znašajo v tem primeru  $\pm 0,5$  kpm/cm<sup>2</sup>.

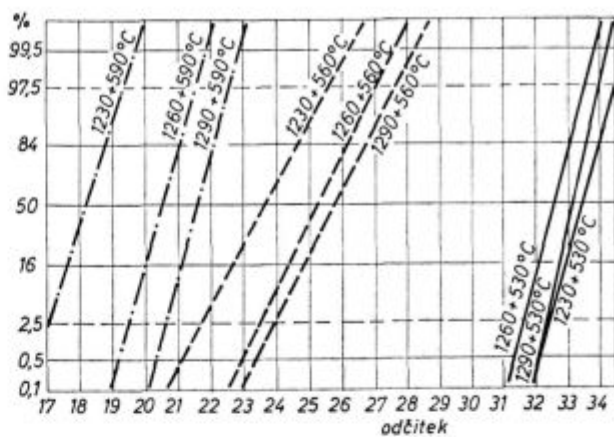
### Vpliv dimenzije na točnost magnetne meritve

Poleg vrste jekla, kemijske sestave posamezne šarže in toplotne obdelave ima na magnetno meritev vpliv še dimenzija preizkušanca. Z namenom, da ugotovimo vpliv dimenzije na točnost magnetne meritve smo naredili poseben preizkus magnetne analize. Uporabili smo strgarske nože dimenzij 12,5 × 12,5 × 180 mm. Primerjalno tuljavo smo



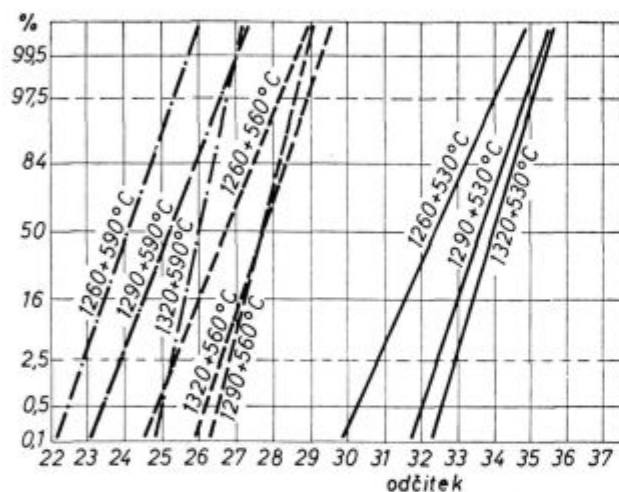
Slika 15

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po popuščanju za jeklo Č.9682 (BRC-3)



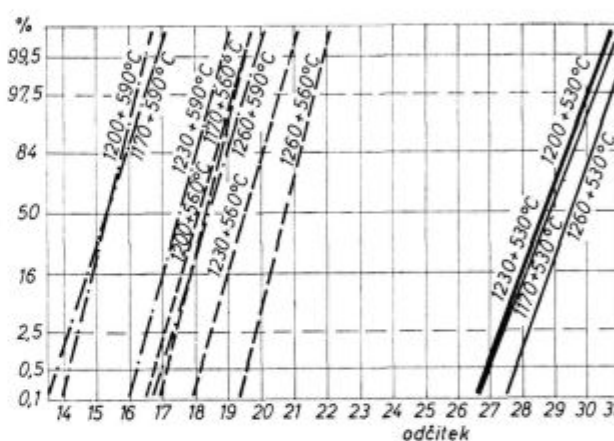
Slika 16

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah po popuščanju jekla Č.6980 (BRC)



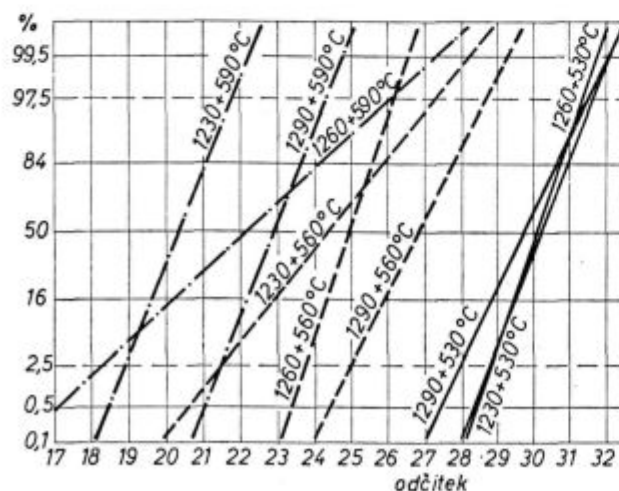
Slika 17

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah za jeklo Č.6882 (BRW-2)



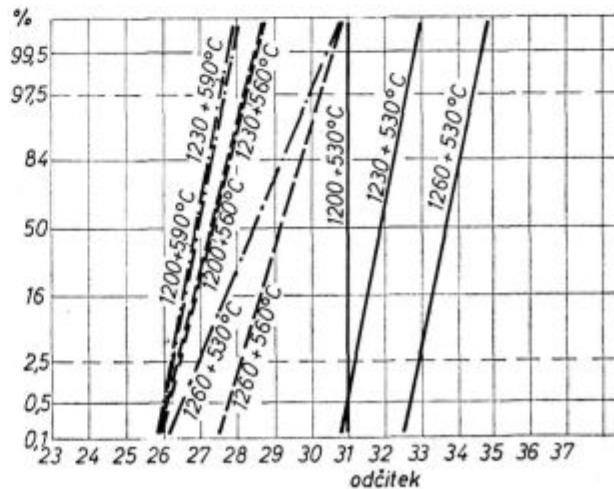
Slika 18

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah za jeklo Č.6880 (BRW)



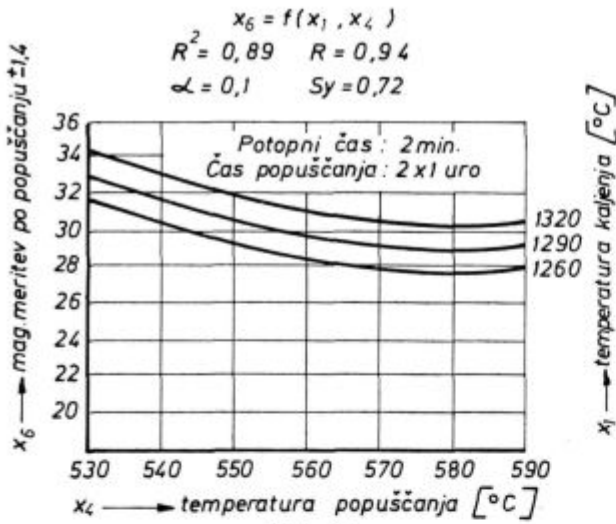
Slika 19

Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah za jeklo Č.7680 (BRM-2)

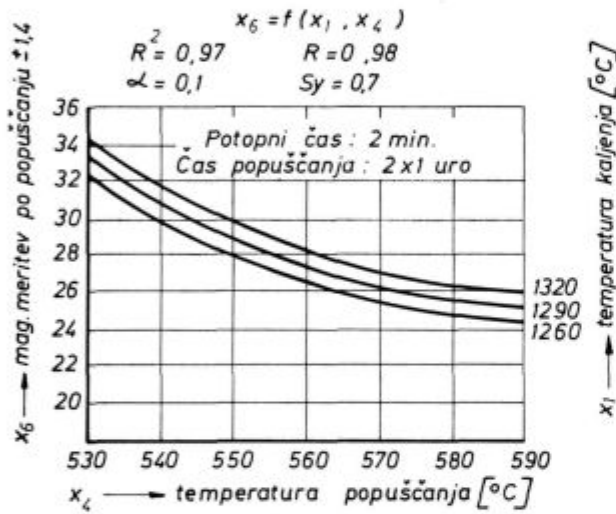


Slika 20

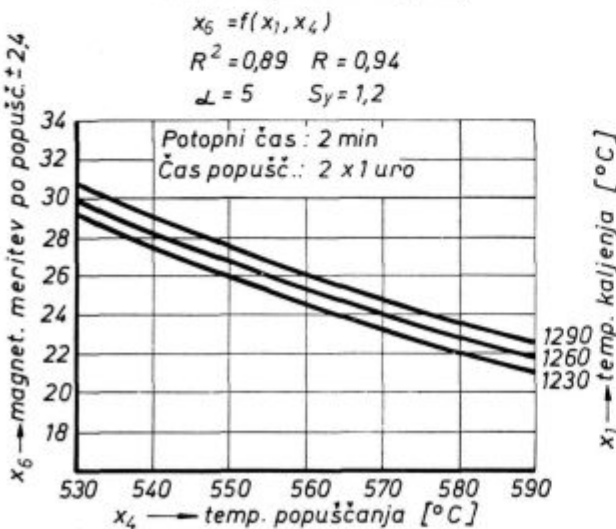
Statistična porazdelitev odklonov pri magnetnih meritvah za jeklo Č.9683 (BRU)



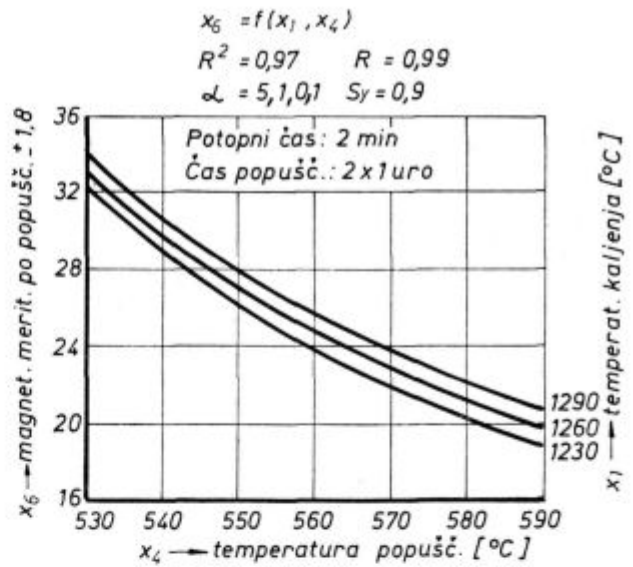
Vpliv temperature kaljenja in popuščenja na magnetno meritev za jeklo Č.9682 (BRC-3)



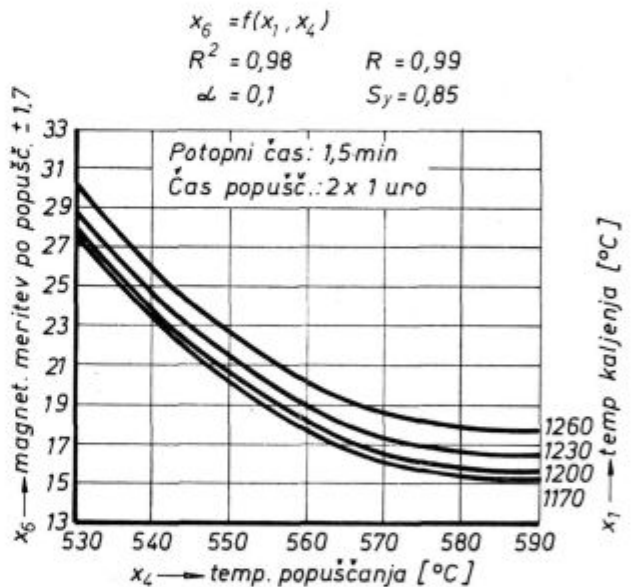
Vpliv temperature kaljenja in popuščenja na magnetno meritev za jeklo Č.6980 (BRC)



Vpliv temperature kaljenja in popuščenja na magnetno meritev za jeklo Č.6882 (BRW-2)

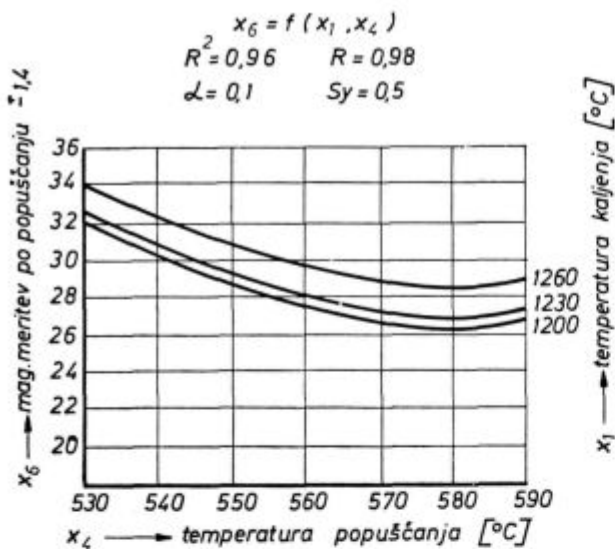


Vpliv temperature kaljenja in popuščenja na magnetno meritev za jeklo Č.6880 (BRW)



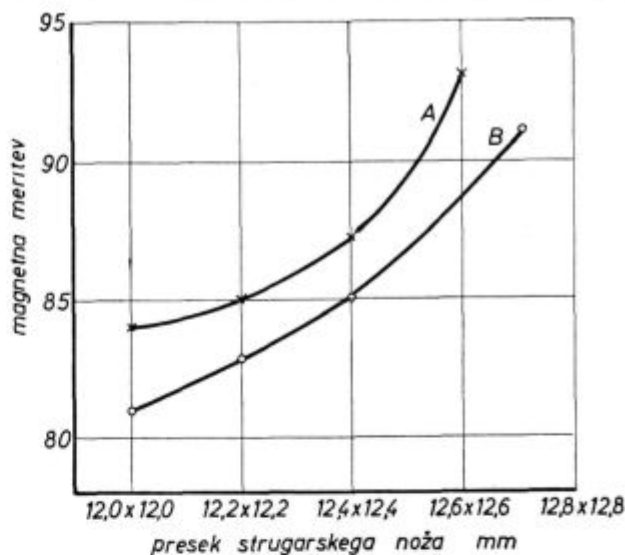
Vpliv temperature kaljenja in popuščenja na magnetno meritev za jeklo Č.7680 (BRM-2)

imeli prazno, za primerjavo in umerjanje pa nam je služil strgarski nož, ki mu nismo spreminjali dimenzij in je pred vsako meritvijo pokazal enak odklon na magnetoskopu. Spreminjali smo presek nožev. Rezultati dveh paralelek so na sliki 28. Sprememba dimenzije za 0,2 mm povzroči odklon na magnetoskopu za 1 enoto. Probe so lahko izdelane z natančnostjo  $\pm 0,1$  mm (tudi v obratu) in je zato vpliv dimenzije majhen glede na občutljivost aparature same in glede na veliko občutljivost te na toplotno obdelavo. To velja le za primer, če so preizkušanci fino zbrušeni na dimenzije s tolerancami pod  $\pm 0,1$  mm.



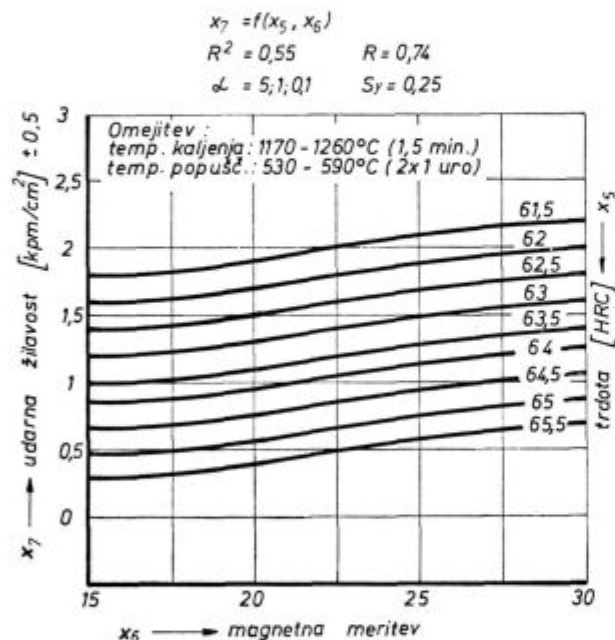
Slika 26

Vpliv temperature kaljenja in popuščanja na magnetno meritev za jeklo Č.9683 (BRU)



Slika 28

Vpliv dimenzije na magnetno meritev



Slika 27

Korelacija med udarno žilavostjo, trdoto in magnetno meritvijo za jeklo Č.7680 (BRM-2)

### Vpliv kemijske sestave šarže na magnetno meritev

Zanimalo nas je, kako vplivajo variacije kemijske sestave določenega jekla na magnetno meritev. Korelacijo smo iskali za jeklo Č.7680 (BRM-2). Rezultat kaže slika 29. Pri matematično stastični analizi korelacije smo zajeli naslednje kemijske elemente: C, Si, Mn, Cr, Mo, V in W. Pri danih omejitvah in variacijah nimajo pomembnega vpliva na magnetno meritev: Mn, Cr, V in W. Ostalim trem elementom: C, Si in Mo pa lahko pripisujemo kar 95 % variacij pri magnetnih meritvah. Tako velik vpliv kemijske sestave na magnetno

meritev dobimo le v primeru, da so izločeni vsi vplivi, kot npr. termična obdelava, geometrija prob itd. To praktično pomeni, da zaradi tako velikega vpliva kemijske sestave lahko imamo v primeru, da kontroliramo termično obdelavo serije izdelkov z različno kemijsko sestavo, resne probleme pri uporabi magnetoskopa.

Najmočnejši vpliv od naštetih treh vplivnih kemijskih elementov ima Si. Iz nomograma na sliki 29 se vidi, da se pri spremembi silicija za 0,12 % spremeni odklon na magnetoskopu za 7 enot. Ravno takšen velikostni red sprememb na magnetoskopu pa zaznamo tudi pri variacijah termične obdelave. Ta, za praktično uporabo magnetoskopa pomemben problem, se da rešiti le tako, da izvedemo sortiranje preizkušancev po šaržah, pred magnetno meritvijo.

### Umerjanje magnetnih meritev z rentgensko strukturno analizo

Z rentgensko strukturno analizo smo hoteli umeriti magnetne meritve na zaostali avstenit in s tem dokazati, da zavisi magnetna meritev po toplotni obdelavi, predvsem od vsebnosti zaostalega avstenita, za katerega smo dobili pri magnetnih meritvah le relativne vrednosti.

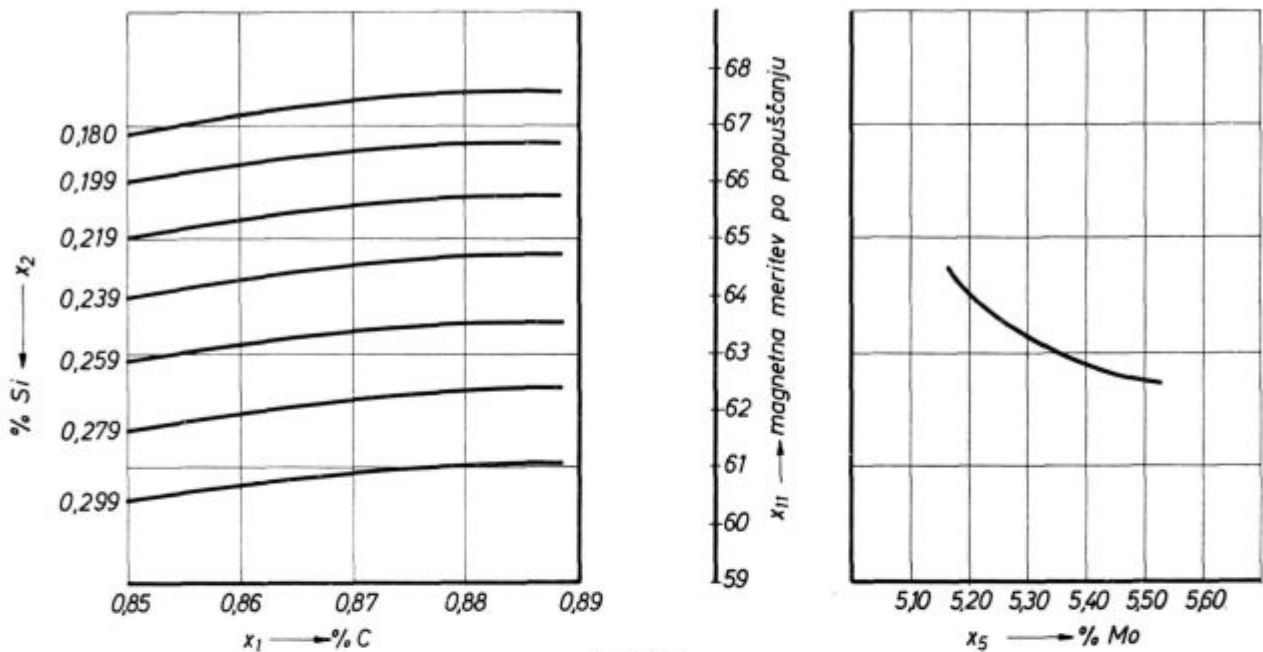
Za kvantitativno določitev zaostalega avstenita smo na rentgenskem difraktometru posneli uklonski liniji avstenita (220) in martenzita (200), na osnovi katerih je izdelana metoda za določevanje zaostalega avstenita.

Pri določevanju zaostalega avstenita v preiskovanih jeklih z visokim odstotkom karbidotvornih legirnih elementov nastopajo določene težave, ki močno zmanjšajo možnost določitve prave vsebnosti zaostalega avstenita. Poleg standardnih napak so se pojavile še napake zaradi delne koincidence karbidnih in martenzitnih oz. avstenitnih uklonskih linij ter visokega odstotka karbidne

$$x_{11} = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) \quad R = 0,97 \quad R^2 = 0,95 \quad n = 50$$

$$S_y = 0,34 \quad \mathcal{L} = 5 \quad 5 \text{ šarž}$$

$$x_{11} \pm 0,67$$



Slika 29

Korelacija med magnetno meritvijo in kemijsko sestavo jekla C.7680 (BRM-2)

faze. Kristalne rešetke — nastopajo tri kristalne vrste druga poleg druge — so močno napete in deformirane, kar se kaže v močno razširjeni in deformiranih uklonskih linijah. Tudi to znižuje natančnost meritev.

Zaradi naštetih vzrokov in zato, ker je težko določiti točen odstotek karbidov je natančnost meritev  $\pm 1\%$  zaostalega avstenita.

Iz tabele 2 je razvidna povezava med toplotno obdelavo, trdoto, odstotkom zaostalega avstenita in magnetno meritvijo jekla C.7680 (BRM-2). Meritve smo izvršili pred in po popuščanju. Več zaostalega avstenita in večji odklon na magnetoskopu dobimo pri višjih temperaturah kaljenja.

Po popuščanju dobimo pri varianti toplotne obdelave  $1260 + 560^\circ\text{C}$  večjo trdoto kot pri varianti  $1170 + 560^\circ\text{C}$ , kljub temu, da imamo pri prvi varianti višji odstotek zaostalega avstenita in večji odklon na magnetoskopu. To si pojasnimo s tem,

da nam pri popuščanju prob, kaljenih pri temperaturi  $1260^\circ\text{C}$ , razpade pri popuščanju  $4,8\%$  zaostalega avstenita, dočim pri probah kaljenih pri temperaturi  $1170^\circ\text{C}$ , razpade le  $2,3\%$  zaostalega avstenita.

Zanima nas primerjava magnetne meritve z odstotkom zaostalega avstenita, ki je v tabeli 2 vpisana v obliki kvocienta. Razmerje med magnetno meritvijo in odstotkom avstenita se spreminja, kar pomeni, da med njima ni preproste linearne odvisnosti.

Zanimiva je ugotovitev, da se razlika med vsebnostjo zaostalega avstenita pred popuščanjem in po njem zelo močno zazna na magnetoskopu. Tako se na primer pri C.7680 (BRM-2) ( $1170^\circ\text{C}$ ) pri spremembi vsebnosti zaostalega avstenita za  $2,3\%$  spremeni odklon na magnetoskopu za 26 enot in hkrati, da se pri spremembi vsebnosti zaostalega avstenita za  $50\%$ , tudi na magnetosko-

Tabela 2

Vrsta jekla	Temperatura		Trdota HRc	% zaostalega avstenita	Magnetna meritve	Mag. meritev % avstenita
	kaljenja	popuščanja				
C.7680 (BRM-2)	1170	—	63,5	4,4	46	10,5
	1260	—	64	7,2	48	6,7
	1170	560	63	2,1	20	9,5
	1260	560	64,5	2,4	24	10

pu spremeni odklon za cca 50 % enot. To je zadosten dokaz, da z magnetno meritvijo toplotno obdelanega brzoreznega jekla, merimo relativno vsebnost zaostalega avstenita, ki vpliva na mehanske lastnosti tega jekla.

### Zaključek

Pokazalo se je, da magnetoskop dobro registrira vsako spremembo vsebnosti zaostalega avstenita v brzoreznem jeklu. To pa še ni zadostni pogoj, za uporabo magnetoskopa v redni kontroli termične obdelave brzoreznih jekel, kajti na magnetno meritev vplivata močno še dva faktorja: kemijska sestava jekla in dimenzije preizkušanca. V primeru, da ta dva faktorja eliminiramo, bi bila redna uporaba magnetoskopa mogoča. Vpliv kemijske sestave odstranimo s tem, da merimo v eni seriji meritev le preizkušance z isto kemijsko sestavo, to je preizkušance izdelane iz iste šarže. Vpliv dimenzije lahko zmanjšamo z nižjimi frekvencami na magnetoskopu, primernejšo obliko

tuljav in s čim enakomernejšimi dimenzijami preizkušancev. Po rešitvi teh problemov bi lahko kontrolirali trdoto brzoreznih jekel z magnetno meritvijo po popuščanju.

### Literatura

1. Segel J.: Diplomsko delo, Fakulteta za montanistiko, Ljubljana 1969
2. Lindgren R.: »Measuring Retained Austenite by X Ray Techniques« — Metal Progres (Ohio) 87, No 4, 102—106, 1965
3. M. Šipek: »K problemu ločenja feromagnetnih materialov po sestavi in trdoti s pomočjo neporušnih metod ter magnetne strukturne analize« — Železarski zbornik (Jesenice), 1969/1, str. 53—65
4. J. Magušar: Rentgensko določevanje zaostalega avstenita v jeklih — Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, 1967
5. B. Rode: »Analiza statistične porazdelitve na elektronskem računalniku« — Železarski zbornik (Jesenice), 1967/1, str. 189—205
6. B. Rode: »Statistična analiza regresije z uporabo elektronskih računalnikov« — Železarski zbornik (Jesenice), 1961/3, str. 221—237

### ZUSAMMENFASSUNG

Die magnetische Analyse wird in immer grösserem Ausmass für das Trennen der vermischten feromagnetischen Materialien, für die Kontrolle der Wärmebehandlung, und für das Entdecken der Oberflächenfehler angewendet. Im Artikel ist eine Untersuchung über die Anwendbarkeit der magnetischen Analyse für die Überprüfung der Härte und der Wärmebehandlung der Schnellarbeitsstähle beschrieben. Für die Datenbearbeitung sind mathematisch-

statistische Methoden und eine Elektronenrechenmaschine angewendet worden.

Wenn bei der Untersuchung die chemische Zusammensetzung und die Probenanpassungen konstant gehalten werden, kann man mit der magnetischen Messung jede Änderung des Resaustenitgehaltes im Schnellarbeitsstahl registrieren. Es ist eine hohe Korrelation zwischen der magnetischen Messung und der Härte nach dem Anlassen festgestellt worden.

### SUMMARY

Magnetic analysis is becoming important in separation of mixed magnetic materials, for the control of heat treatment, and for detection of surface defects. The investigation of usability of magnetic analysis for the control of hardness and of heat treatment of high-speed steels is described in the paper. Mathematical statistical

analysis and computer were used in treatment of data obtained by measurements and investigations.

If chemical composition and dimensions of the test pieces are constant magnetic measurements can register any change of content of retained austenite in high-speed steel. High correlation between the magnetic measurement and hardness at annealing was determined.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Магнитный анализ имеет уже широкое применение при отделении замешанных ферромагнитных материалов; также для контроля термо-обработки и для обнаруживания пороков на поверхности изделия.

В статье описаны исследования о применимости магнитного анализа при проверке твердости и тепловой обработки быстрорежущей стали. Для обработки данных полученных при измере-

ниях и исследований употребил математическо-статистический контроль и электронный счётчик.

В случае, когда химический состав и размеры пробных образцов постоянны, можно с магнитным анализом заследить каждое изменение содержания заостаточного аустенита в быстрорежущей стали. Установили высокую корреляционную связь между магнитным измерением и твердостью материала после отпуска.

## Preverjanje statističnih hipotez s pomočjo operacijskih karakteristik

V članku je opisano, kako po predhodni izbiri dopustnih verjetnosti za napako prvega in drugega reda določimo velikost vzorca s pomočjo operacijskih karakteristik (OC curve — operating characteristic curve).

Kot primer je navedeno preskušanje hipoteze  $\mu = \mu_0$  v primeru, ko sta standardni deviaciji obeh distribucij znani in enaki.

### VZOREC IN POPULACIJA

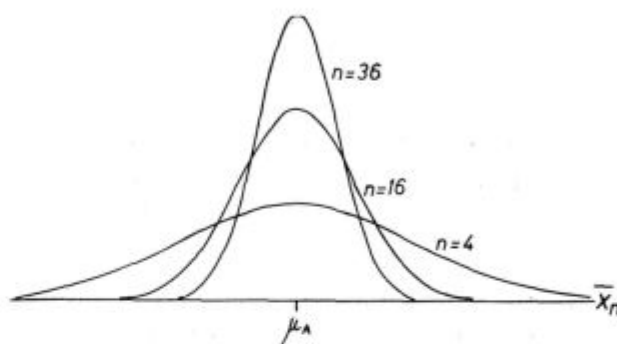
Pri raziskovalnem delu pogosto skušamo priti do informacij o večji množici podatkov ene vrste (populacija) tako, da analiziramo manjši vzorec. Pri tem pa navadno ne moremo najti točne vrednosti parametra, ki je karakterističen za celo populacijo. Najdemo le interval, v katerem lahko z neko določeno verjetnostjo pričakujemo vrednost parametra.

Zaradi lažjega razumevanja si mislimo populacijo A sestavljeno iz velike množice vrednosti, ki so porazdeljene okrog srednje vrednosti  $\mu_A$  s standardno deviacijo  $\sigma_A$ . Vzemimo iz te populacije slučajnostni vzorec  $n$  vrednosti in izračunajmo aritmetično srednjo vrednost vzorca  $\bar{X}_n^{(1)}$ . Ponovimo tak poskus in spet povsem slučajno izberimo  $n$  vrednosti! Srednja vrednost novega vzorca bo na primer  $\bar{X}_n^{(2)}$ . Če tak poskus večkrat ponovimo, dobimo množico srednjih vrednosti vzorcev  $\bar{X}_n^{(1)}, \bar{X}_n^{(2)}, \dots$ , za katere velja, da se porazdeljujejo po normalni distribuciji s srednjo vrednostjo, ki je enaka  $\mu_A$  in standardno deviacijo  $\frac{\sigma_A}{\sqrt{n}}$ . Tri take distribucije z različnimi  $n$  so narisane na sliki 1.

Očitno je, da so aritmetične srednje vrednosti večjih vzorcev porazdeljene v ožjem pasu okrog vrednosti  $\mu_A$ .

Na podoben način bi lahko prišli tudi do zaključkov o vrednosti drugih parametrov. Tako bi lahko ocenili standardno deviacijo  $\sigma_A$  iz vrednosti standardnega odklona v vzorcu.

Kadar želimo primerjati karakteristični vrednosti dveh populacij, si tudi pomagamo z manjšimi



Slika 1

vzorci. Ko se predhodno odločimo za dopustno napako prve in druge vrste, si velikost vzorca izberemo s pomočjo familije operacijskih karakteristik.

### NAPAKE PRVE IN DRUGE VRSTE PRI TESTIRANJU HIPOTEZ

Pri primerjanju karakterističnih vrednosti dveh populacij lahko neko v naprej postavljeno trditev zavržemo ali pa sprejmemo.

Oglejmo si, na primer, kako postopamo pri preverjanju hipoteze, da je  $\mu_B = \mu_A$ , pri pogoju, da je  $\sigma_B = \sigma_A$ , če je  $\mu_B$  srednja vrednost neke populacije B.

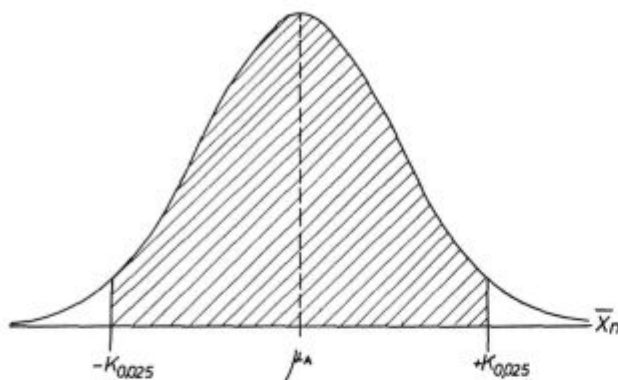
Najprej se vprašajmo, kaj bi lahko pričakovali za srednjo vrednost vzorcev  $n$  vrednosti, ki bi jih vzeli iz populacije A s srednjo vrednostjo  $\mu_A$  in s končno varianco  $\sigma_A^2$ . Ker je pri tem porazdelitev srednjih vrednosti vzorcev normalna, lahko najdemo dve taki vrednosti  $-K \frac{\alpha}{2}$  in  $+K \frac{\alpha}{2}$  med katerima leži  $(1 - \alpha)$ . 100 % vseh srednjih vrednosti vzorcev\*. Pri tem si mislimo, da smo naše merilo premaknili tako, da je  $\mu_A = 0$ .

Če si bomo izbrali  $\alpha = 0,05$ , bomo rekli, da pričakujemo med  $-K_{0,025}$  in  $+K_{0,025}$  95 % vseh možnih srednjih vrednosti vzorcev z  $n$  podatki. Za srednjo vrednost enega vzorca pa lahko rečemo, da je 95 % verjetno, da bo ležala na intervalu

\* Glej članek B. Rodeta v Železarskem zborniku št. 3, letnik 1967, str. 189.



( $-K_{0,025} + K_{0,025}$ ). Na sliki 2 je narisana porazdelitvena krivulja za srednje vrednosti vzorcev z  $n$  podatki. Šrafirana ploskev predstavlja 95 % vse ploščine med krivuljo in absciso.



Slika 2

Kolikšna mora biti aritmetična srednja vrednost vzorca  $n$  vrednosti iz populacije B, da bomo lahko trdili, da je  $\mu_B = \mu_A$ ?

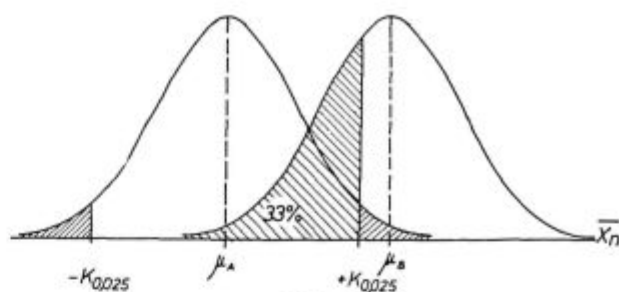
Če je  $\mu_B$  v resnici enak  $\mu_A$ , lahko pričakujemo na primer s 95 % gotovostjo, da bo  $\bar{X}_n$  vzorca  $n$  vrednosti iz populacije B ležala med  $-K_{0,025}$  in  $+K_{0,025}$ .

Lahko se odločimo, da bomo sprejeli hipotezo, da je  $\mu_B = \mu_A$  vedno takrat, kadar bo srednja vrednost vzorca  $n$  vrednosti iz populacije B ležala na intervalu  $(-K_{\frac{\alpha}{2}}, +K_{\frac{\alpha}{2}})$ . Pri takem sklepanju pa se lahko zgodi, da napravimo tako imenovano napako prve vrste:  $\alpha \cdot 100\%$  je namreč verjetno, da leži aritmetična srednja vrednost vzorca B izven intervala  $(-K_{\frac{\alpha}{2}}, +K_{\frac{\alpha}{2}})$ . V takem primeru bi pa zavrgli hipotezo, ki je pravilna. Če bi hoteli zmanjšati možnost za napako prve vrste bi morali interval  $(-K_{\frac{\alpha}{2}}, +K_{\frac{\alpha}{2}})$  razširiti.

Zastavimo pa si še drugo vprašanje! Če smo že sprejeli hipotezo, da je  $\mu_B = \mu_A$ , ali nismo mogoče sprejeli napačne hipoteze? Vse gornje izvajanje velja namreč le za primer, ko je naša hipoteza v resnici pravilna.

Če pa bi bila srednja vrednost populacije  $\mu_B$  enaka vrednosti  $\mu_1$ , ki je nekoliko večja od  $\mu_A$ , bi imeli opravka z distribucijo, ki je glede na prvo premaknjena nekoliko v desno. Ako bi bila pri tem standardna deviacija  $\sigma_B$  enaka  $\sigma_A$ , bi to lahko pozorili s sliko 3.

Verjetnost, da bi zdaj srednja vrednost vzorca ležala na intervalu  $(-K_{0,025}, +K_{0,025})$  ni več 95 %, ampak manjša. Nikakor pa ni zanemarljivo majna, proporcionalna je srednji šrafirani ploskvi na sliki 3.



Slika 3

Če bi se torej še vedno držali prvotnega predpisa, da bi namreč sprejeli hipotezo  $\mu_B = \mu_A$ , kadar bi srednja vrednost vzorca padla v interval  $(-K_{\frac{\alpha}{2}}, +K_{\frac{\alpha}{2}})$ , bi pri tem lahko naredili pomembno napako: lahko bi sprejeli hipotezo, ki v resnici ni pravilna. To imenujemo napako druge vrste. Na sliki 3 smo za vzorec izbrali 16 meritev, za razliko  $\mu_1 - \mu_A$  pa  $0,6\sigma_A$ . V takem slučaju je verjetnost za napako druge vrste kar precejšnja, saj bi na primer v povprečju pri eni tretjini vseh vzorcev trdili, da je  $\mu_B = \mu_A$ , ker bi jih toliko ležalo v intervalu  $(-K_{0,025}, +K_{0,025})$ , to pa ne bi bilo prav.

Napaka druge vrste je tem večja, čim manjša je razlika med  $\mu_A$  in  $\mu_B$  in čim večja je standardna deviacija teh srednjih vrednosti vzorcev. Ta pa se spreminja z velikostjo vzorca.

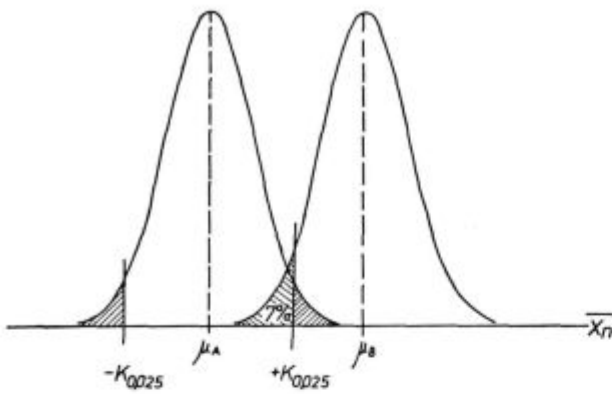
Če bi imeli v gornjem primeru v vzorcu 36 vrednosti namesto 16, bi bila verjetnost, da bi srednja vrednost tako velikega vzorca padla v interval  $(-K_{0,025}, +K_{0,025})$  bistveno manjša. Znašala bi le približno 7 % in takšna bi bila tudi verjetnost za to, da bi sprejeli napačno hipotezo  $\mu_B = \mu_A$ . Na sliki 4 sta narisani porazdelitveni krivulji za primer, če bi imeli po 36 vrednosti v vzorcu. Pri tem pa je razlika  $\mu_1 - \mu_A$  prav tako  $0,6\sigma_A$ .

Srednja šrafirana ploskev predstavlja 7 % ploščine med porazdelitveno krivuljo in absciso.

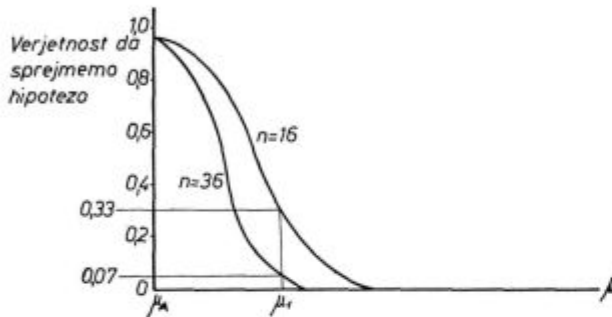
### OPERACIJSKA KARAKTERISTIKA

Lahko konstruiramo krivuljo, ki predstavlja verjetnost, da sprejmemo hipotezo  $\mu_B = \mu_A$ , če se držimo gornjega kriterija. Na sliki 5 sta narisani dve operacijski karakteristiki — za večji ( $n = 36$ ) in manjši vzorec ( $n = 16$ ). Za  $\alpha$  smo si izbrali spet vrednost 0,05. Razlika med  $\mu_1$  in  $\mu_A$  pa znaša spet  $0,6\sigma_A$ .

Če bi bil n. pr. naš vzorec sestavljen iz 16 vrednosti, bi bilo 33 % verjetno, da smo s tem, ko smo sprejeli hipotezo, da je  $\mu_B = \mu_A$  naredili napako:



Slika 4



Slika 5

ker smo namreč rekli, da je  $\mu_B = \mu_A$ , ko je pa v resnici morda  $\mu_B = \mu_1$ . Očitno je verjetnost, da bi zgrešili večjo razliko manjša, za manjšo razliko pa večja, nikakor pa ne gre brez neke določene napake.

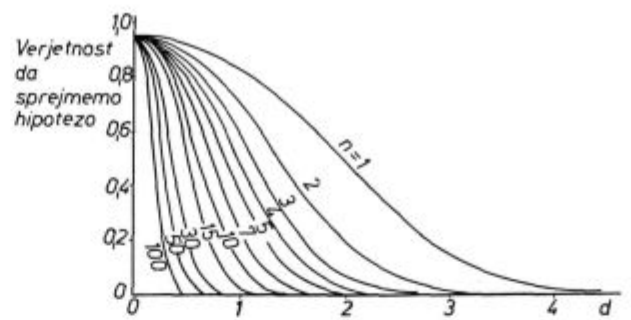
To nam pa ne sme vzeti zaupanja v tak način ocenjevanja hipotez. Vsak raziskovalec namreč ve, kolikšna razlika je pri določeni analizi še pomembna.

Predno se sploh lotimo meritev in zbiranja podatkov, se odločimo za napako prve vrste. Nato v naprej določimo, kolikšno razliko smo še pripravljene z neko določeno verjetnostjo ( $\beta$ ) tolerirati pri preverjanju hipoteze. Nato pa iz familije operacijskih krivulj določimo število potrebnih meritev v vzorcu. Na raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice navadno izbiramo za napako prve vrste vrednost  $\alpha = 0,05$  ali pa  $\alpha = 0,01$ .

Na sliki 6 je narisana familija operacijskih karakteristik za različne velikosti vzorcev ( $\alpha = 0,05$ ). Na abscisi je brezdimenzijska spremenljivka  $d = \frac{|\mu - \mu_0|}{\sigma}$ . Kako si lahko pomagamo s to sliko, si ogledjmo na posebnem primeru.

**PRIMER ZA UPORABO OPERACIJSKIH KARAKTERISTIK**

Radi bi preverili, če se je zaradi spremenjenega postopka pri valjanju spremenila povprečna trdnost žice od prejšnjih 45 kpmmm<sup>-2</sup> ( $\mu_0$ ). Znano je, da znaša standardna deviacija 2,5 kpmmm<sup>-2</sup>. Pred-



Slika 6

postavljamo, da se ta ni spremenila zaradi spremenjenega načina valjanja.

Želimo torej ugotoviti ali se trdnost ni spremenila ali se je spremenila. Do tega zaključka želimo priti s 95 % gotovostjo ( $\alpha = 0,05$ ). Obenem smo se pa odločili, da sme biti verjetnost za napako druge vrste pri razliki 2 kpmmm<sup>-2</sup> le 10 % ( $\beta = 0,10$ ).

Najprej izračunamo d:

$$d = \frac{|\mu - \mu_0|}{\sigma} = \frac{2 \text{ kpmmm}^{-2}}{2,5 \text{ kpmmm}^{-2}} = 0,8$$

Nato poiščemo točko s koordinatama (0,8; 0,1) v diagramu na sliki 6. Ta točka leži v bližini krivulje, ki pripada vrednosti  $n = 15$ . Odločili smo se za 16 meritev v vzorcu in dobili naslednji rezultat:

$$n = 16$$

$$\bar{X}_{16} = 46 \text{ kpm/mm}^2$$

Ker so srednje vrednosti vzorca z n podatki normalno porazdeljene okrog  $\mu_0$  s standardno deviacijo  $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ , bomo hipotezo  $\mu = \mu_0$  sprejeli, če bo srednja vrednost vzorca  $\bar{X}_n$  ležala znotraj intervala  $(-K_{0,025}, +K_{0,025})$ .

Za standardno normalno distribucijo ( $\mu_0 = 0, \sigma = 1$ ) pa velja, da je  $K_{0,025} = 1,96$ . Naša porazdelitev srednjih vrednosti vzorcev je pa tudi normalna s srednjo vrednostjo  $\mu_0$  in standardno deviacijo  $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ . Zato izračunamo parameter K, za katerega velja standardna normalna distribucija:

$$K = \frac{(\bar{X}_n - \mu_0) \sqrt{n}}{\sigma} = \frac{1 \text{ kpmmm}^{-2} \sqrt{16}}{2,5 \text{ kpmmm}^{-2}} = 1,6$$

Ker je  $-K_{0,025} < K < +K_{0,025}$ , bomo sprejeli hipotezo, da je  $\mu = \mu_0$  oziroma bomo trdili, da se pod navedenimi pogoji srednja trdnost žice ni spremenila.

Do prav takega zaključka bi tudi prišli, ako bi na primer namesto 16 napravili le 5 meritev in ako bi dobili enak rezultat za  $\bar{X}_5$ . V takem primeru bi bil K enak  $\frac{1 \cdot \sqrt{5}}{2,5}$ , kar je še manj kot 1,6.

Verjetnost za napako druge vrste bi bila pa večja. S slike 6 se vidi, da bi v takem primeru ( $d = 0,8$ ) bila verjetnost, da smo sprejeli napačno hipotezo (ko bi se resnični  $\mu$  razlikoval od  $\mu_0$  za  $2 \text{ kp/mm}^2$ ) približno 50 %. 10 % verjetnost za napako drugega reda bi bila šele pri  $d \cong 1,5$ , kar bi pomenilo, da je  $\mu - \mu_0 = 1,5 \cdot 2,5 \text{ kp/mm}^2 = 3,75 \text{ kp/mm}^2$ .

Na podlagi petih vrednosti bi sicer tudi sprejeli hipotezo, napaka druge vrste pa bi bila prevelika, tako da se na tako majhen vzorec ne bi mogli zanesti. V tem primeru bi namreč pri sprejeti hipotezi, da je  $\mu = \mu_0$ , dopuščali tudi možnost, da se resnični  $\mu$  razlikuje od  $\mu_0$  za več kot  $2 \text{ kp/mm}^2$ , kar pa za nas ne bi bilo več nepomembno.

V mislih predpostavimo še tretjo možnost: da bi namesto 16 meritev naredili 100 meritev in da bi bila srednja vrednost vzorca spet enaka kot prej  $\bar{X}_{100} = 46 \text{ kpm/mm}^2$ .

V takem primeru bi bila vrednost

$$K = \frac{1 \text{ kpm}^{-2} \sqrt{100}}{2,5 \text{ kpm}^{-2}} = 4$$

kar bi padlo daleč izven intervala, v katerem bi bili pripravljene sprejeti hipotezo  $\mu = \mu_0$ . Hipotezo bi torej zavrgli: rekli bi, da se srednja vrednost trdnosti nove žice razlikuje od predpisane vrednosti  $\mu_0$ . Ako bi torej pri vzorcu 100 vrednosti dobili takšen rezultat ( $\bar{X}_{100} = 46 \text{ kp/mm}^2$ ), bi bili sigurni, da gre za razliko med  $\mu$  in  $\mu_0$ . Z diagrama na sliki 6 pa je razvidno, da bi bila v takem primeru 10 % verjetnost za napako druge vrste pri  $d \cong 0,3$  oziroma pri razliki ( $\mu - \mu_0$ ) =  $0,75 \text{ kp/mm}^2$ .

Vprašanje pa je, ali bi bilo zares potrebno narediti 100 meritev, ko pa že vnaprej vemo, da za nas razlika v trdnosti do  $2 \text{ kp/mm}^2$  ni tako pomembna.

V tem je tudi prednost uporabe operacijskih karakteristik. Čemu bi namreč delali veliko število meritev in na primer ugotavljali z veliko verjetnostjo, da gre za razlike v srednjih vrednostih populacij, ko pa te razlike niso pomembne. S tem lahko prihranimo dosti časa in denarja.

Omenjeni primer za uporabo operacijskih karakteristik je le eden od mnogih načinov za testiranje raznih statističnih hipotez.

Pri vseh si pomagamo s podobnimi operacijskimi karakteristikami, ki pa so seveda za različne statistične parametre različne, saj gre navadno pri tem tudi za druge vrste distribucij.

Na raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice preverjamo na primer tudi hipoteze  $\mu = \mu_0$ , ko

standardna deviacija ni znana in jo šele ocenimo iz standardnega odklona vzorca. Preverjamo tudi hipoteze o srednjih vrednostih in standardnih deviacijah dveh populacij, ko imamo na razpolago le vzorca in v naprej ne poznamo nobenega parametra ene od populacij. Zelo pogosto preverjamo tudi hipoteze tipa  $\mu_1 \leq \mu_2$  (enostransko preverjanje). Pri tem je postopek praktično povsem enak, le da se operacijske karakteristike nekoliko razlikujejo od tistih, pri katerih testiramo trditve tipa  $\mu = \mu_0$  (dvostransko preverjanje).

V splošnem je z uporabo operacijskih karakteristik dana možnost hitrejšega in učinkovitejšega dela na vseh področjih merjenja. Obenem pa posredno navaja raziskovalca na to, da si vedno skuša odgovoriti na vprašanje, kaj lahko z dobljenimi rezultati ugotovi in česa ne more. Tako se mu večja tudi zaupanje v pravilnost trditve in odločitev, ki bazirajo na statističnih analizah.

## ZAKLJUČEK

Pri preskušanju hipotez o karakterističnih parametrih populacije, si pogosto zastavljamo vprašanje, koliko meritev je treba narediti, da bo naša odločitev pravilna, oziroma da verjetnost za napačno odločitev ne bo presegala neke določene vrednosti.

Pri tem se je treba pred samo meritvijo odločiti, kolikšna naj bo verjetnost za napako prve vrste ( $\alpha$ ) in kolikšna sme biti še dopustna verjetnost za napako druge vrste ( $\beta$ ). Nato pa s pomočjo familije operacijskih karakteristik določimo potrebno velikost vzorca.

Opisan je primer preskušanja hipoteze  $\mu = \mu_0$  pri pogoju, da je  $\sigma = \sigma_0$ . Za napako prve vrste smo izbrali 5 %, obenem pa smo si izbrali tudi napako druge vrste. S pomočjo operacijskih karakteristik smo določili velikost vzorca (16) in določili rezultat, ki je potrdil hipotezo. Predpostavili smo tudi možnost, da bi enak rezultat dobili pri manjšem (5) in večjem vzorcu (100 meritev). V prvem primeru bi sprejeli isto hipotezo  $\mu = \mu_0$ , v drugem primeru pa bi lahko hipotezo zavrgli, če bi se držali opisanih pravil.

## Literatura

1. A. H. Bowker, G. J. Lieberman: Engineering Statistics Prentice Hall, Inc. (1959)
2. B. Ostle: Statistics in Research, Iowa State University Press (1969)

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Überprüfung der Hypothesen über die charakteristischen Parametern einer Population wird oft die Frage gestellt, wieviele Messungen nötig sind, um einen richtigen Entschluss zu fassen bzw., dass die Wahrscheinlichkeit für einen falschen Entschluss einen bestimmten Wert nicht überschreiten wird.

Dabei muss vor der eigentlichen Prüfung die Wahrscheinlichkeit für den Fehler ersten Ranges ( $\alpha$ ) und die Wahrscheinlichkeit für den Fehler zweiten Ranges ( $\beta$ ) festgestellt werden. Danach wird mit Hilfe einer Familie der Operationscharakteristiken die nötige Probenzahl bestimmt.

Ein Beispiel der Hypothesen-überprüfung  $\mu = \mu_0$  bei der Bedingung  $\sigma = \sigma_0$  ist in diesem Artikel beschrieben. Für den Fehler zweiten Ranges sind 5% gewählt worden. Auch der Fehler zweiten Ranges ist bestimmt worden. Mit Hilfe der Operationscharakteristiken ist die Probenzahl (16) und das Ergebniss, welches die Hypothese bestätigt, bestimmt worden.

Bei der Voraussetzung der Möglichkeit dasselbe Ergebnis auch bei einer kleineren (5) und einer grösseren (100) Probenzahl zu bekommen, hat sich herausgestellt, dass im ersten Fall die Hypothese  $\mu = \mu_0$  angenommen werden kann, im zweiten Fall müssten wir jedoch die Hypothese bei Einhaltung der beschriebenen Regeln verwerfen.

### SUMMARY

By testing of hypotheses about characteristic parameters of some population we often wish to know the sample size. This enables us to make the correct decision, so that the probability of the wrong decision does not exceed some defined value.

Before performing the experiment one must choose the probability of making the Type I. error ( $\alpha$ ) and the probability of making the error of Type II. ( $\beta$ ). Then we find the necessary sample size by means of the family of OC curves — (Operating characteristic curves).

An example of testing the hypothesis  $\mu = \mu_0$  when  $\sigma = \sigma_0$  is described in the article. The Type I error was fixed 5% and the error of Type II. was chosen too. By means of OC curves we found the necessary sample size (16). Then we made the measurements and we got such a result that we could accept the hypothesis.

We also supposed that we might get the same result in some smaller (5) and in a bigger sample (100). In the first case we should accept the same hypothesis but in the second one we should reject it using the criteria for rejection.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании гипотез характеристических параметров часто наступает вопрос, сколько измерений необходимо выполнить для того, чтобы решение было правильным т.е. чтобы вероятность ошибочных решений не превышала определённой предельной величины.

Прежде чем начать измерение надо определить вероятность ошибки первой группы ( $\alpha$ ). После этого также надо определить допустимую вероятность ошибки второй группы ( $\beta$ ). Наконец, при помощи семейства характеристик, определяем необходимую величину образца.

В статье описан пример исследования гипотезы  $\mu = \mu_0$  при условии когда  $\sigma = \sigma_0$ . Для ошибки первой группы выбрали 5%. Определили также ошибку второй группы. Наконец, на основании операционных данных определена количество образцов (16) и получен результат который доказал что гипотеза правильная. Предположили также возможность одинакового результата при небольшом количестве образцов (5) и при измерении количества 100 образцов. В первом случае могли бы воспринять гипотезу  $\mu = \mu_0$ ; во втором случае опровергнуть, в случае если бы придерживались описанных правил.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Janez Barborič dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.

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