

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

## VSEBINA

	Stran
Szöke Laszlo — Železarski inštitut Budapest	
IZKUŠNJE PRI UPORABI METALIZIRANIH BRIKETOV IN PELET V OBLOČNI PEČI . . .	113
Prešeren Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana	
TEHNOLOSKE ZAKONITOSTI RAZŽVEPLA- NJA V ELEKTRIČNI OBLOČNI PEČI . . . . .	123
Nikolič Miroslav — Jesenice	
VISOKI VAKUUM KOT ZAKLJUCNA FAZA V RAZVOJU SVETLEGA ALI BELEGA ŽAR- JENJA . . . . .	131
Uranc Franc — Železarna Ravne	
LASTNOSTI HITROREZNIH JEKEL IN ANA- LIZA VZDRZNOSTI ORODIJ . . . . .	141
Jurca Stane — Metalurški inštitut Ljubljana	
PROBLEMATIKA KOMPAKTNIH SINTRANIH GRADIV . . . . .	151

LETO 7 ŠT. 3 1973

ŽEZB BQ 7 (3) 113-160 (1973)

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, STORE IN METALURŠKI INSTITUT



## VSEBINA

Stran

Szöke Laszlo — Železarski inštitut Budapest  
**Izkušnje pri uporabi metaliziranih briketov  
in pelet v obločni peči . . . . .** 113

DK: 669.187.013.5  
ASM/SLA: W 17 j, D 6—67

Prešeren Alojz — Metalurški inštitut  
Ljubljana

**Tehnološke zakonitosti razžveplanja v elek-  
trični obločni peči . . . . .** 123

DK: 669.046.546.2 669.187.5  
ASM/SLA: W 17 j, D 11 n

Nikolič Miroslav — Jesenice

**Visoki vakuum kot zaključna faza v razvoju  
svetlega ali belega žarjenja . . . . .** 131

DK: 669.153.4  
ASM/SLA: J 23 a, 1—73

Uranc Franc — Železarna Ravne

**Lastnosti hitroreznih jekel in analiza vzdrž-  
nosti orodij . . . . .** 141

DK: 669.14.018.252.3  
ASM/SLA: TSm, Tb, S21

Jurca Stane — Metalurški inštitut Ljubljana

**Problematika kompaktnih sintranih gradiv** 151

DK: 669.09  
ASM/SLA: W 6—72

## INHALT

Seite

- Szöke Laszlo — Železarski inštitut Budapest  
**Erfahrungen bei der Anwendung von Eisenschwammbröckeln und Eisenerzpellets im Lichtbogenofen . . . . .** 113  
DK: 669.187.013.5  
ASM/SLA: W 17 j, D 6—67
- Prešeren Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana  
**Technologische Gesetzmässigkeiten der Entschwefelung im Lichtbogenofen . . . . .** 123  
DK: 669.046.546.2 669.187.5  
ASM/SLA: W 17 j, D 11 n
- Nikolič Miroslav — Jesenice  
**Hochvakuum als abschliessende Phase in der Entwicklung von Blankglühen . . . . .** 131  
DK: 669.153.4  
ASM/SLA: J 23 a, 1—73
- Uranc Franc — Železarna Ravne  
**Eigenschaften der Schnellarbeitsstähle und Analyse der Werkzeugbeständigkeit . . . . .** 141  
DK: 669.14.018.252.3  
ASM/SLA: TSm, Tb, S21
- Jurca Stane — Metalurški inštitut Ljubljana  
**Problematik der kompakten gesinterten Materiale . . . . .** 151  
DK: 669.09  
ASM/SLA: W 6—72

## CONTENTS

	Page
Szöke Laszlo — Zelezarski inštitut Budapest	
<b>Experiences in use of metallized briquettes and pellets in electric arc furnace . . . . .</b>	<b>113</b>
DK: 669.187.013.5	
ASM/SLA: W 17 j, D 6—67	
Prešeren Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana	
<b>Technological principles of desulphuration in electric arc furnace . . . . .</b>	<b>123</b>
DK: 669.046.546.2 669.187.5	
ASM/SLA: W 17 j, D 11 n	
Nikolič Miroslav — Jesenice	
<b>High vacuum as the last step in the development of bright annealing . . . . .</b>	<b>131</b>
DK: 669.153.4	
ASM/SLA: J 23 a, 1—73	
Uranc Franc — Zelezarna Ravne	
<b>Properties of high-speed steels and analysis of tool endurance . . . . .</b>	<b>141</b>
DK: 669.14.018.252.3	
ASM/SLA: TSm, Tb, S21	
Jurca Stane — Metalurški inštitut Ljubljana	
<b>Problems with compact sintered materials . . . . .</b>	<b>151</b>
DK: 669.09	
ASM/SLA: W 6—72	



## СОДЕРЖАНИЕ

- Szöke Laszlo — Źelezarski inštitut Budapest  
**Опыты полученные при употреблении брикетов из металлизированных окатышей в электродуговой печи. . . . . 113**  
DK: 669.187.013.5  
ASM/SLA: W 17 j, D 6—67
- Prešeren Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana  
**Технологические закономерности десульфурации в электродуговой печи. . . . . 123**  
DK: 669.046.546.2 669.187.5  
ASM/SLA: W 17 j, D 11 n
- Nikolič Miroslav — Jesenice  
**Высокий вакуум как конечная фаза в развитии светлого отн. белого отжига. . . . . 131**  
DK: 669.153.4  
ASM/SLA: J 23 a, 1—73
- Uranc Franc — Źelezarna Ravne  
**Свойства быстрорежущих сталей и анализ выносливости инструментов. . . . . 141**  
DK: 669.14.018.252.3  
ASM/SLA: TSm, Tb, S21
- Jurca Stane — Metalurški inštitut Ljubljana  
**Проблематика плотных продуктов спекания. 151**  
DK: 669.09  
ASM/SLA: W 6—72

László Szöke dipl. inž.  
Železarski institut — Budapest

DK: 669.187.013.5  
ASM/SLA: W 17 j, D 6—67

## Izkušnje pri uporabi metaliziranih briketov in pelet v obločni peči

*Avtor obravnava rezultate industrijskih poskusov uporabe metaliziranega vložka v obločni elektro peči. Nakazuje razliko v učinkovitosti obratovanja peči pri različni količini vloženi briketov oziroma peletk, ugotavlja odvisnost učinkovitosti od specifične moči transformatorja. Iz prikazanih rezultatov ugotavljamo, da je ekonomska uporaba metaliziranega vložka funkcija velikosti peči, načina vlaganja vložka in kvalitete vložka.*

### UVOD

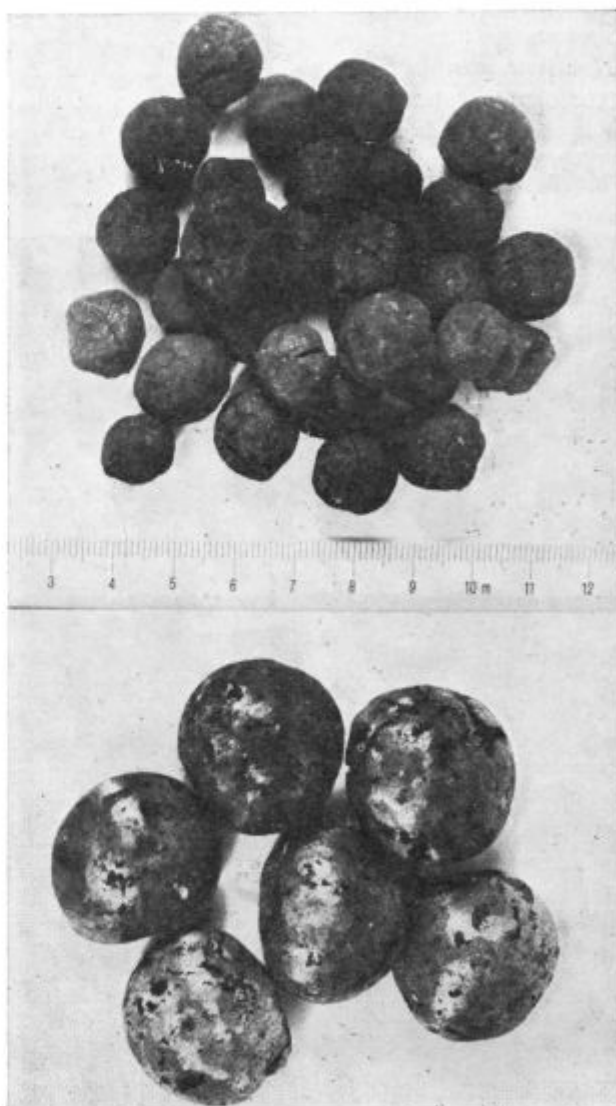
Raziskovalni institut za železarstvo Budapest je v elektrojeklarni železarne Lenin (Miškolc) napravil orientacijske poizkuse z uporabo metaliziranih briketov in pelet. Namen teh poizkusov je bil zbrati izkušnje za ovrednotenje vpliva uporabe teh materialov predvsem v sledečih pogledih:

- Vpliv načina šaržiranja na talilni učinek,
- Vpliv uporabe določene količine metaliziranega vložka na metalurška dogajanja,
- Vpliv metaliziranega vložka na kakovost jekla.

*Kemične in fizikalne vrednosti uporabljenih vrst metalizirane rude*

Za poizkuse smo imeli na razpolago približno 12 t metaliziranih briketov, reduciranih z ogljikom (izdelanih od VASKUT v obratu LKM), kakor tudi 150 t Purofer pelet (dobavil jih je Hüttenwerk Oberhausen AG.). Slika 1 kaže uporabljene snovi z ozirom na njihovo velikost.

Povprečna kemična sestava z ogljikom reduciranih VASKUT-LKM rudnih briketov in Purofer pelet je prikazana v tab. 1.



Slika 1  
Velikost Purofer peletov in briketov

Tabela 1

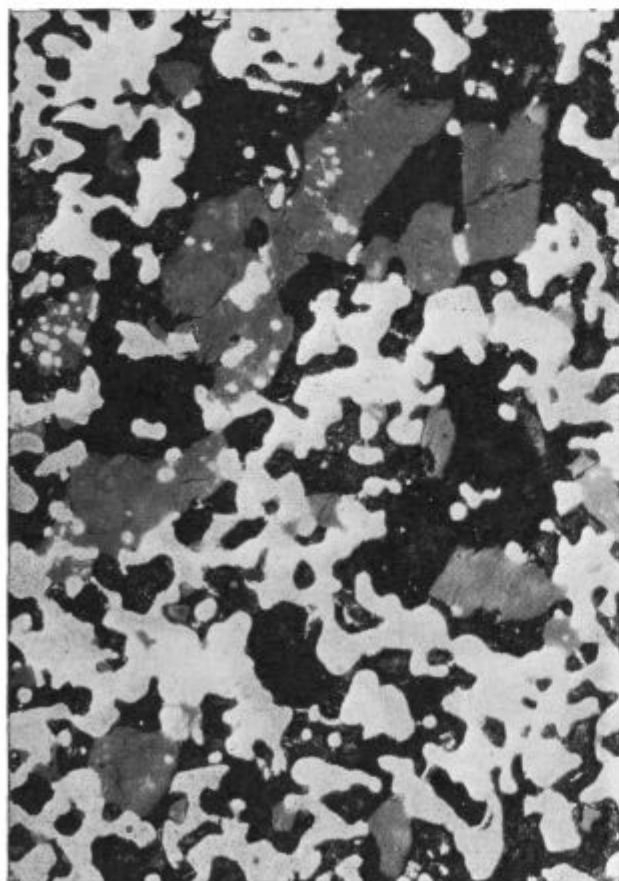
Tabela 1	VASKUT-LKM briketi	Purofer peleti
Skupni Fe %	84,0	92,1
Fe <sub>met</sub> %	79,8	86,0
P %	0,016	0,031
S %	0,092	0,003
C %	1,44	0,85
SiO <sub>2</sub> %	9,14	1,61
CaO <sub>2</sub> %	2,00	1,60
MgO %	0,50	0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	3,06	ni določen
MnO %	0,38	ni določen
Stopnja redukcije %	94,5	93,5

Fizikalne vrednosti so zajete v tabeli 2.

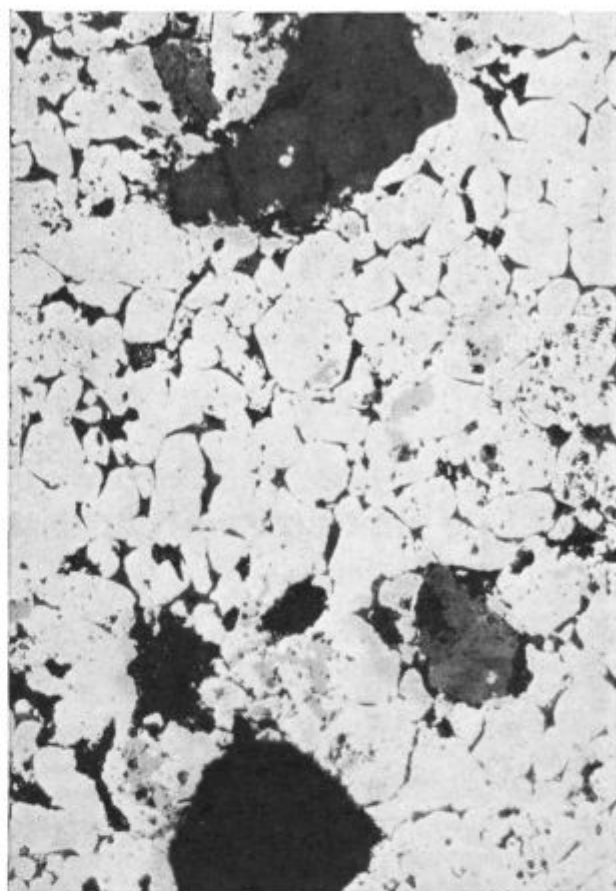
Tabela 2

Tabela 2	VASKUT-LKM briketi	Purofer peleti
Masa, mm	25 × 25 × 18	11—13 Ø
Gostota, g/cm <sup>3</sup>	5,9	6,8
Efektivna gostota*, G/cm <sup>3</sup>	4,3	3,5
Prostorninska teža, kg/m <sup>3</sup>	2300	1730
Povprečna teža kosa, g/kos	21,72	2,92

\*Merjeno s površino, prevlečeno z lakom.



Slika 2  
Struktura briketov



Slika 3  
Struktura Purofer pelet

Slika kaže karakteristično strukturo briketov in slika 3 strukturo pelet. Posnetki so vzeti iz sredine najedkanih preizkušancev.

Razdelitev poroznosti v briketih in peletih smo preiskali s kvantometrom 720 v prerezu preizkušancev (slika 4 in 5). Poroznost pri briketih se manjša od jedra proti površini. Pri Purofer peletih je poroznost na eni strani mnogo manjša, na drugi pa je njego razdelitev v preseku mnogo enakomernejša.

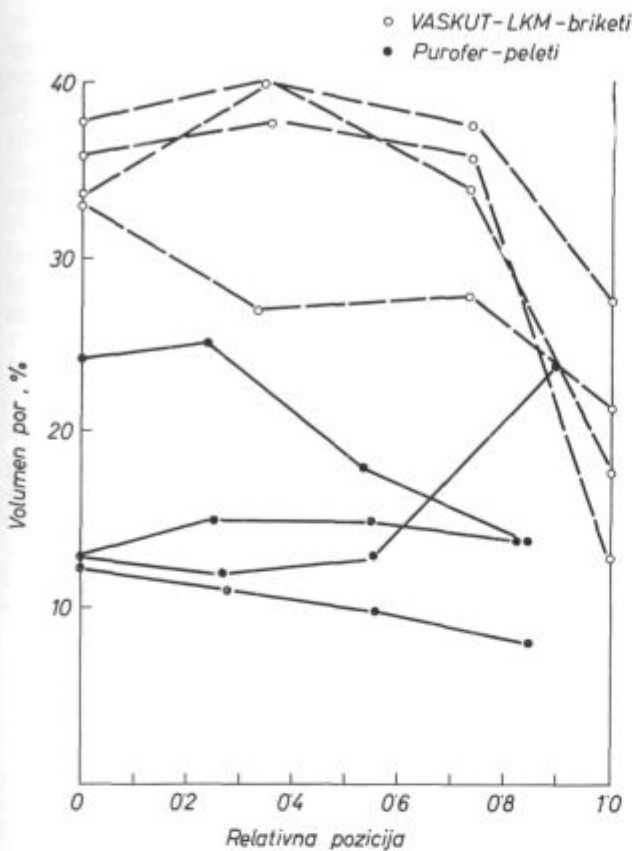
#### Obločne peči, uporabljene pri poizkusih

Briketi in peleti so bili vloženi v električne obločne peči 2,6—65 t LKM jeklarne, peči so imele bazično oblogo. Podatki peči so zajeti v tabeli 3.

Kot je razvidno, imajo vse peči običajni specifični koristni učinek transformatorja; UHP kriteriju — min. 400—450 kW/t — najbližja je 2,5 tonska peč.

*Vrsta vložka metalizirane rude, predpisana tehnologija*

Vložek metalizirane rude se lahko založi v obločno peč v celoti skupaj s starim železom s pomočjo transportnega žleba, potem ko je staro že-



Slika 4

Porazdelitev volumna por v prerezu VASKUT-LKM briketov in Purofer pelet

Tabela 3

Kapaciteta, t	2,5	11	16	65
Notranji premer peči, mm	1640	2410	2920	4550
Učinek transformatorja MVA	1,0	3,5	5,0	21
Maks. učinkoviti učinek MW	0,87	3,0	4,35	15
Specifični koristni učinek transformatorja na tono vložka kW/t	348	273	272	230
Učinek na m <sup>2</sup> površine kopeli MW/m <sup>2</sup>	0,410	0,660	0,645	0,920

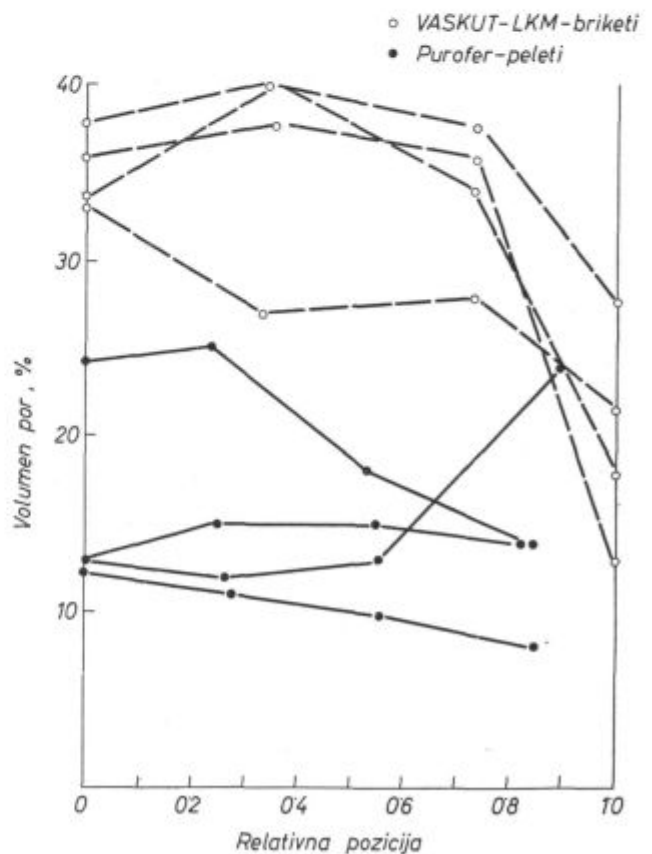
lezo že deloma raztaljeno, kontinuirno skozi predvideno eno ali tri odprtine v stropu, ali pa kontinuirno v peč, ki se vrti okoli vertikalne osi, z vmesnim predgretjem.

Pri naših poizkusih smo mogli iz gospodarnih razlogov uporabiti samo način šaržiranja v celoti. Sicer optimalno kontinuirno šaržiranje smo enostavno nadomestili s šaržiranjem z lopatami (n. pr. pri 2,6–12 tonskih šaržah).

Slika 6 kaže naše izkušnje s šaržiranjem Purofer pelet skupaj s starim železom. Najbolj neprijetne izkušnje smo imeli pri razporeditvi prvega

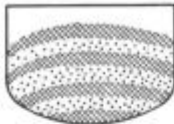
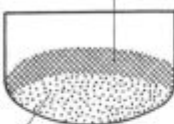

vložka v plasteh pri 65 tonski peči. Od zgoraj »na površino« potekajoče taljenje je počasno, ob koncu pa prične izredno močno (nevarno) kuhanje. Nedostatki, ki izvirajo iz neznatne toplotne prevodnosti pelet, in znižajo hitrost taljenja, so v literaturi opisani in s predmetnimi preiskavami potrjeni. Poizkusi ogrevanja jeklenih krogel enakega premera (v lab. področjih) so pokazali, da je ogrevalna hitrost kupa pelet z enotno težo v enakih pogojih 2,5 krat manjša kot pri gostih kroglah. Šaržiranje, ki metalurškemu karakterju briketov in pelet bolj ustreza, smo pri nekaj šaržah tako izvedli, da smo po šaržiranju enega dela metalizirane količine rude in tudi vložka starega železa ter po 80–90 %-nem taljenju kontinuirno vlagali še preostalo količino metalizirane rude pod elektrode. Hitrost šaržiranja v kopel s ca. 1550° C smo regulirali vizuelno z ozirom na kontinuirno raztalitev.

Pri poskusnih šaržah je bila vsebnost ogljika v talini okrog 0,25–0,30 % nad spodnjo mejno vrednostjo pri šaržah z oksidacijo, oz. na spodnji mejni vrednosti pri šaržah brez oksidacije. Pri briketih smo računali z 1,29 % in pri peletih z 1,75 % lastne vsebnosti kisika, le-ta porabi določeno vsebnost ogljika, oz. zahteva pri peletih še nadaljnjo količino ogljika v vložku, upoštevajoč vsebnost C v starem železu in potrebno vsebnost ogljika v talini.



Slika 5

Porazdelitev volumna por v prerezu VASKUT-LKM briketov in Purofer pelet

Razporeditev vložka v peči	Vrsta taljenja	Možnosti napak
	Taljenje od zgoraj „na površino“	Nepravilna razdelitev pelet v vložku. Nevarnost eksplozije pri kuhanju. Zmanjšanje talilne hitrosti.
	Taljenje od spodaj	Nastanek mastu ob koncu taljenja
	Taljenje od spodaj	Taljenje brez motenj

Slika 6

Različna razporeditev starega železa in pelet v oblačni peči in vpliv na taljenje pri enkratnem šaržiranju

V splošnem je bilo pred šaržiranjem dano na dno peči okrog 3 % žganega apna z ozirom na težo vložka.

Tabela 4

Vrste metalizirane rude	Kapaciteta peči t	2,5 t	11 t	65 t
—	Običajen vložek	1,23 t/h—100 %	4,99 t/h—100 %	27,97 t/h—100 %
Briketi	30—40 % od vložka	1,29 t/h—105 %		
Briketi	50 % od vložka	1,55 t/h—126 %		
Purofer peleti	15 % od vložka, šaržirano s košem			26,73 t/h—96 %
Purofer peleti	20 % od vložka šaržirano s košem			22,60 t/h—81 %
Purofer peleti	kontinuirno šaržirano		4,93 t/h—98,5 %	
Purofer peleti	30 % od vložka šaržirano s košem			18,80 t/h—67,5 %
Purofer peleti	kontinuirno šaržirano	1,56 t/h—127 %		
Purofer peleti	50 % od vložka, šaržirano kontinuirno		4,91 t/h—98 %	

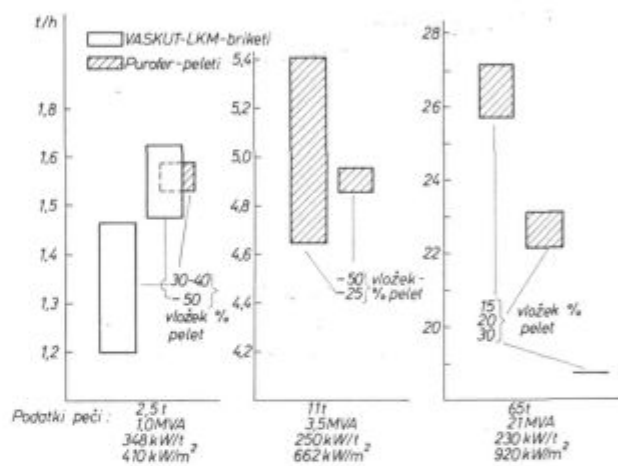
Zaradi visoke vsebnosti jalovine in kislega značaja briketov, kakor tudi njihove visoke vsebnosti S je bila talilna žilindra vedno popolnoma odstranjena. Pri šaržah napravljanih iz pelet je bilo to izvršeno samo pri šaržah brez oksidacije, pa tudi tu ni bila odstranitev žilindre vedno popolna.

Sicer pa je odgovarjala tehnologija izdelave standardnemu tehnološkemu regulativu jekla.

Delež briketov v vložku je znašal 34—50 %, pelet pa 10—50 %. Pri 13 od 27 poizkusnih šarž ni bilo oksidacije in pri eni šarži je bil odstranjen samo fosfor.

### Metalurška svojstva taljenja

Slika 7 kaže zvezo med učinkom taljenja in deležem vložka metalizirane rude. Pri 2,5 tonski



Slika 7

Talilni učinki pri šaržah 15—50 % metalizirane rude v vložku

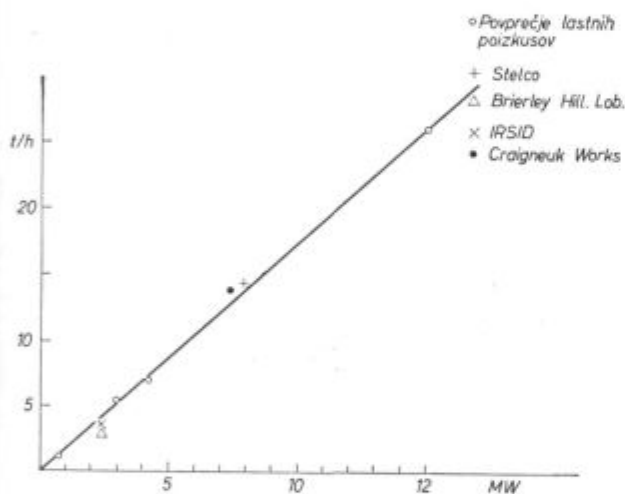


peči z največjim specifičnim električnim učinkom je nastalo pri zvišanju deleža briketov od 30 na 50 % izboljšanje talilnega učinka.

S Purofer peleti smo isto vrednost dosegli že pri 30 % deležu v vložku. V 11-tonskih pečeh z manjšim specifičnim koristnim učinkom transformatorja, zvišanje deleža kontinuirno šaržiranih Purofer pelet od 25 % na 50 % v vložku ni dalo nobenega izboljšanja učinka taljenja. Pri 65-tonski peči z najmanjšim specifičnim električnim koristnim učinkom, kjer smo vložek lahko šaržirali samo v celoti, smo z zvišanjem deleža Purofer pelet od 15 % na 30 % ugotovili zmanjšanje učinka taljenja.

Tabela 4 je primerjava povprečnih talilnih učinkov za običajne šarže in šarže z metaliziranim vložkom.

Slika 8 kaže povprečne talilne učinke naših lastnih poizkusov v primerjavi s koristnim učinkom transformatorja in inozemskimi rezultati. Naše lastne rezultate moremo brez nadaljnega uvrstiti v inozemsko vrsto podatkov.



Slika 8

Odnos med talilnim učinkom in koristnim učinkom transformatorja pri poskusnih šaržah z VASKUT-LKM in rezultati drugih raziskav

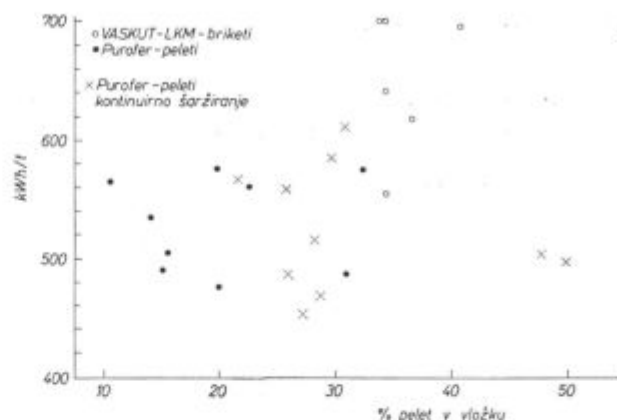
Za peč 348 kW/t z najboljšim specifičnim koristnim učinkom transformatorja smo dosegli torej 5—27 % zvišanje talilnega učinka pri kontinuirnem šaržiranju metaliziranih briketov in Purofer pelet.

Pri 11-tonski peči 250 kW/t je bil talilni učinek za 1,5 do 2 % manjši kot pri običajnem vložku.

Tabela 5

Kapaciteta peči t	11	65
Povprečna specifična poraba toka za taljenja:		
a) za običajen vložek	472 kWh/t—100 %	
b) 20—50 % pelet	524 kWh/t—111 %	463 kWh/t—100 %
c) 15—30 % pelet		513 kWh/t—111 %

Pri 65-tonski peči z 230 kW/t in šaržiranju s košem je nastal pri zvišanju količine Purofer pelet padec talilnega učinka za 4—32,5 %.



Slika 9

Specifična poraba toka za taljenja šarž, izdelanih z briketi in peleti

Slika 9 kaže razmerje med specifično porabo toka za taljenja in deležem metalizirane rude. Najvišje vrednosti se pokažejo pri uporabi rud z veliko jalovine (briketi) in naraščajo z deležem v vložku; pri Purofer peletih so vrednosti manjše in se ne pokaže odločilen porast pri povečanih odstotkih v vložku.

V tabeli 5 prikazujemo primerjavo med povprečno porabo za taljenja pri uporabi Purofer pelet in brez njih.

Specifična poraba toka za taljenja je torej pri kontinuirnem šaržiranju s košem enakomerno za 11 % višja kot pri običajnem vložku.

Pri taljenju je bilo pri uporabi metalizirane rude ugotovljeno, da se pojavlja valovanje kopeli od »kuhanja apnenca« do srednje močnega kuhanja rude. To aktivno taljenje je zelo koristno z ozirom na vsebnost vodika in dušika v talini in zagotavlja tudi ustrezno vsebnost kisika v kopeli, kot kaže tabela 6.

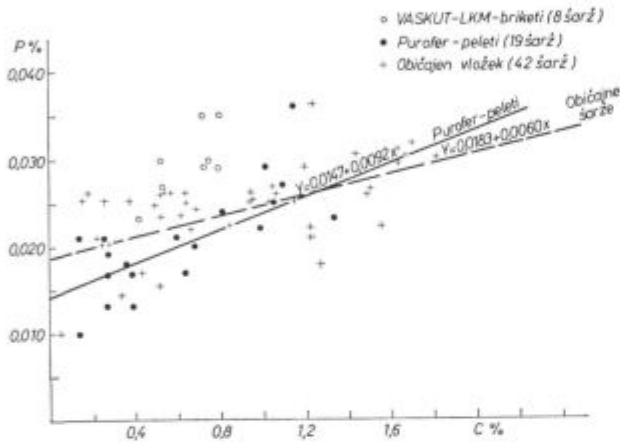
Pri uporabi metalizirane rude dobimo torej pri taljenju enake vsebnosti plina kot pri žilavenju taline. Izgleda, da lahko žilavenje opustimo (oksidacija) tudi pri takih vrstah jekla, kjer je bila ta operacija doslej predpisana.



Tabela 6

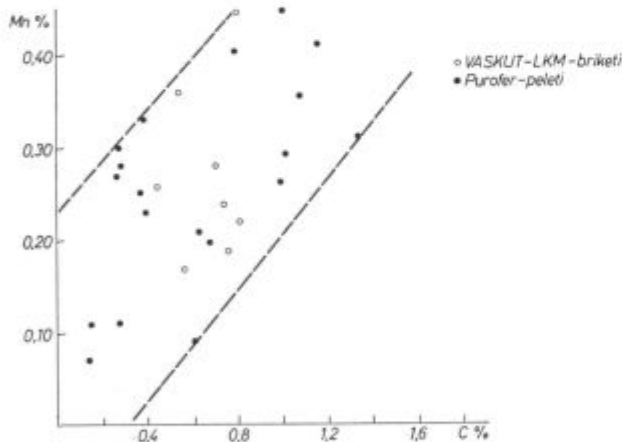
	Vodik	Dušik	Kisik
Običajen vložek z VASKUT-LKM briketi v vložku	11,4 cm <sup>3</sup> /100 g—100 %	56,7 ppm—100 %	82 ppm—100 %
Purofer peleti v vložku	6,3 cm <sup>3</sup> /100 g—56 %	14,4 ppm—26 %	170 ppm—208 %
	4,6 cm <sup>3</sup> /100 g—49,5 %		237 ppm—290 %

Slika 10 kaže razmerje med P in C pri taljenju. Regresijske premice se sekajo pri 1,3 % C; izpod te vrednosti je vsebnost P v talini šarže s Purofer peleti manjša kot pri običajnem vložku.



Slika 10

Odnos med C in P v talinah s 15–50 % metalizirane rude v vložku in običajnim vložkom



Slika 11

Odnos med C in Mn pri talinah z briketi in Purofer-peleti v vložku

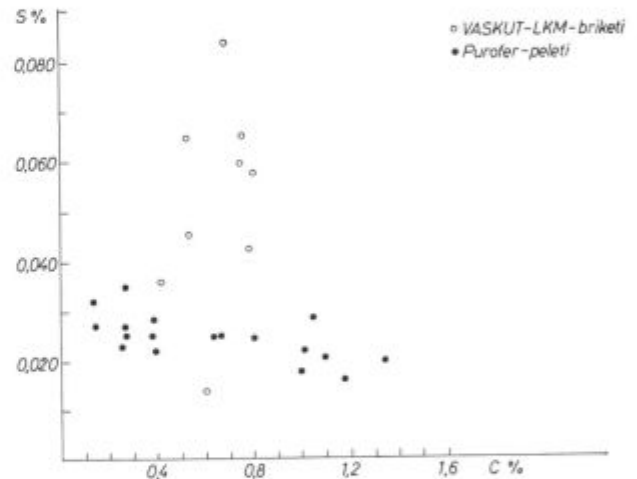
Slika 11 kaže razmerje med C in Mn pri taljenju za šarže z briketi oz. s Purofer peleti. Mn vsebnost, kot je običajno, s stopnjevanjem vsebnosti C narašča.

Slika 12 kaže razmerje med S in C pri taljenju.

Visoka količina S pri taljenju vložkov v VASKUT-LKM briketi je posledica kisle jalovine in visoke vsebnosti S v briketu.

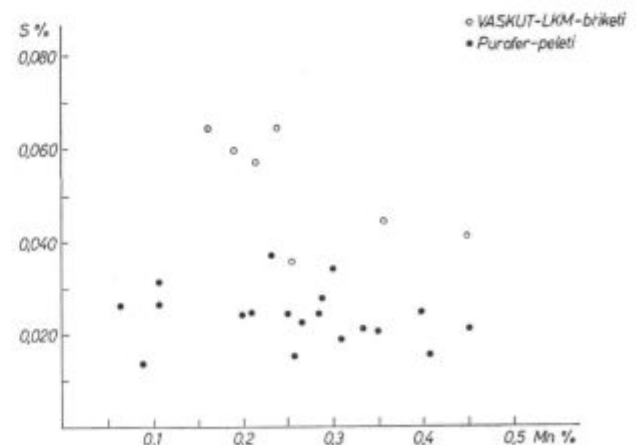
Slika 13 kaže S in Mn pri taljenju. Za šarže, izdelane s Purofer peleti je značilno, da je po taljenju v talini nizka vsebnost S v ozkem intervalu pri širokem intervalu Mn.

Slika 14 kaže razmerje med viškom baze (izračunan iz sestave talilne žilindre oz. žilindre, ki se tvori na koncu kuhanja) in razdelitve žvepla. Vrišana premica karakterizira ravnotežnostne pogoje. Pri kislih talilnih žilindrah — briketnih šaržah — je razdelitev žvepla ugodnejša kot pri ravnotežju; naši podatki za Purofer pelete pa opazovanje N. Mc. Callum-a in R. J. W. Peters-a niso podprla.



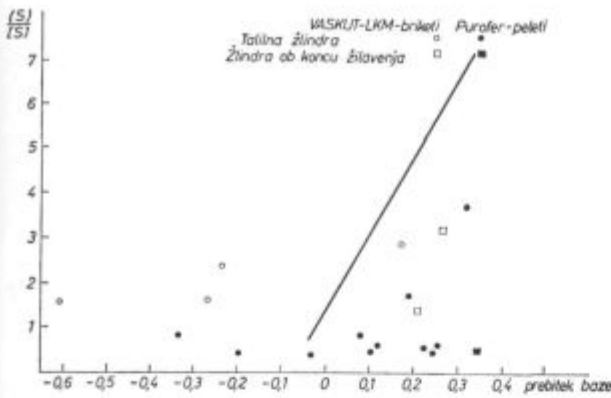
Slika 12

Odnos med C in S v talinah z metalizirano rudo v vložku



Slika 13

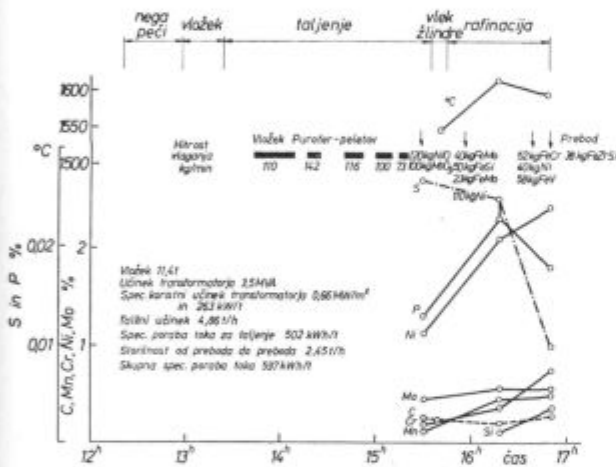
Odnos med Mn in S pri talinah z metalizirano rudo v vložku



Slika 14

Odnos med S/S in prebitkom baze pri talinah z brketi v vložku

Slika 15 kaže potek Cr-Ni-Mo poboljšane šarže, izdelane z 48 % Purofer pelet v vložku.



Slika 15

Izdelava Cr-Ni-Mo šarže (48 % Purofer-pelet v vložku)

Kvaliteta izdelanih vrst jekla

Pri šaržah, izdelanih z žilavenjem ali brez, je bila po odstranitvi žilindre nadaljnja tehnološka praksa običajna. Nismo ugotovili nikakih kvarnih posledic vsled uporabe metalizirane rude. V tabeli 7 prikazujemo sestave poizkusnih šarž, izdelanih z uporabo metalizirane rude.

Pri valjanih in kovanih ingotih je bila toplotna predelava brezhibna. Šarže so ustrezale zahtevam modrega preloma, ultrazvoka in stopničasto struženih preizkušancev, kakor tudi predpisom o trdnosti, kaljivosti in vključkih.

Seveda je bilo tudi mogoče znižati količino nezajeljenih oligoelementov. V sliki 16 primerjamo vsebnost Cu, Ni, Mo v šaržah z metaliziranim vložkom in brez njega. Povprečje se zniža z vsakim elementom in posebno močno pri Cu za 21 %.

Tabela 8 kaže trakasto strukturo karbida kot tudi oksidne in sulfidne vključke pri šaržah jekla za kroglične ležaje.

Tabela 8

Statistična primerjava kvalitete šarž za kroglične ležaje, ki so bile izdelane z običajnim vložkom (H), oz. s Purofer peleti (P):

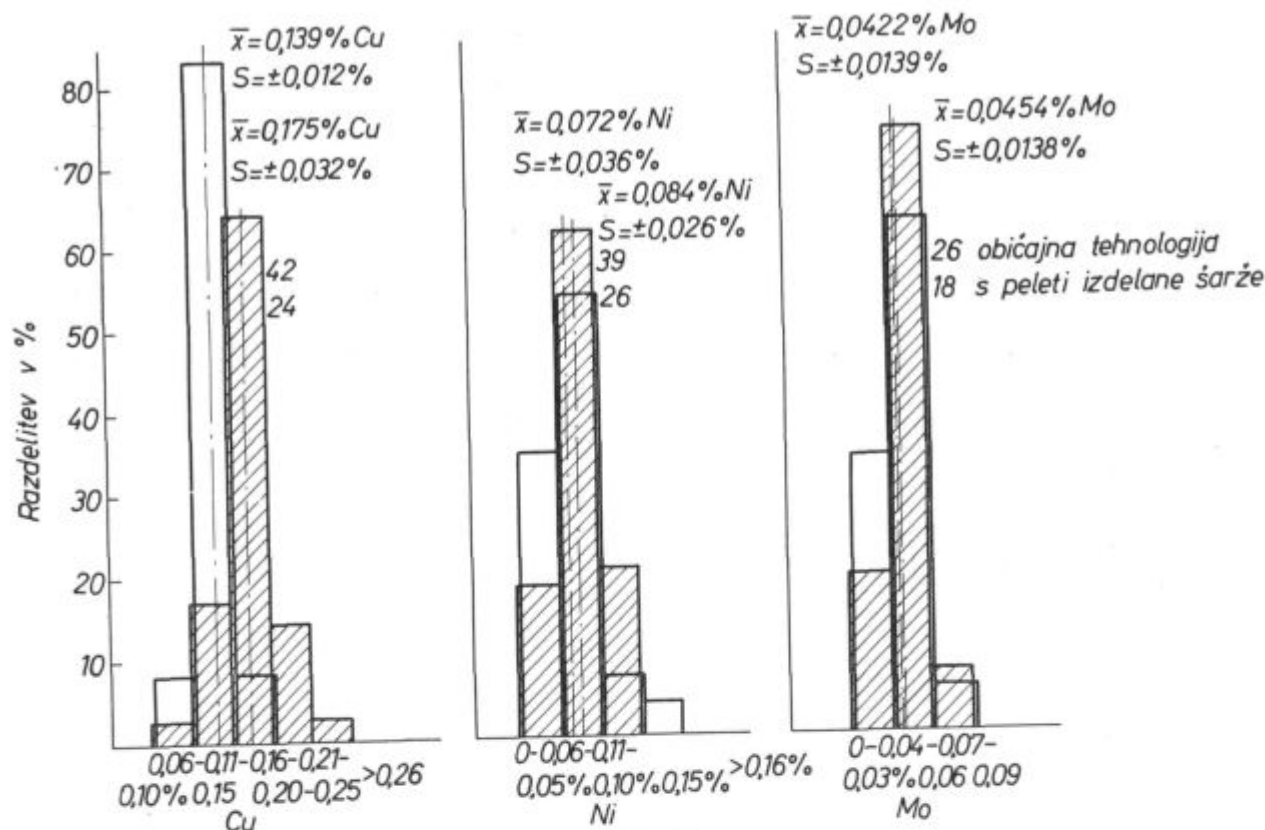
	H	P	H	P	H	P
x	1,934	1,973	1,610	1,476	1,726	1,569
s	0,915	0,880	0,461	0,583	0,199	0,380
Preiskane šarže:	31	5	31	5	31	5
vzorcji	196	36	195	42	195	36

Uporaba Purofer pelet torej nima nobenega škodljivega vpliva na preiskane kakovostne vrednosti jekla za kroglične ležaje.

Šarže izdelane z uporabo metalizirane rude — kemična sestava:

Tabela 7

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
0,21—0,30	0,20—0,42	0,40—0,60	max. 0,040	max. 0,040				
0,31—0,40	0,20—0,42	0,60—0,90	max. 0,040	max. 0,040				
0,41—0,50	0,20—0,42	0,60—0,90	max. 0,040	max. 0,040				
0,12—0,20	0,30—0,50	0,60—0,80	max. 0,030	max. 0,030	0,90—1,30	max. 0,50	0,40—0,60	
1,25—1,40	0,25—0,45	0,40—0,60	max. 0,040	max. 0,040	0,90—1,20		0,30—0,45	
1,50—1,65	0,25—0,45	0,40—0,60	max. 0,04	max. 0,04			0,30—0,45	
0,42—0,49	0,17—0,37	0,50—0,80	max. 0,035	max. 0,035	max. 0,25	max. 0,25		max. 0,25
0,31—0,39	0,17—0,37	0,50—0,80	max. 0,035	max. 0,035	0,80—1,10	max. 0,25		
0,38—0,44	0,17—0,37	0,65—0,80	max. 0,035	max. 0,035	0,95—1,10	max. 0,25		
0,25—0,35	0,17—0,37	0,20—0,60	max. 0,020	max. 0,025	1,30—1,65	2,25—2,75	0,50—0,70	V: 0,20—0,30
0,95—1,05	0,17—0,37	0,20—0,40	max. 0,020	max. 0,025	1,30—1,65	max. 0,25	max. 0,10	



Slika 16  
 Vsebnost Cu-Ni-Mo po raztaljenju običajnega vložka z 10–37 % metaliziranih peletov

Primerjalna tabela produktivnosti in specifične porabe toka za šarže z običajnim vložkom in z metalizirano rudo

Tabela 9

Peč	2,5 t*	11 t*	65 t
Poprečna storitev, t/h, (tap to tap) za šarže z običajnim vložkom:	0,53 (100 %)	2,18 (100 %)	11,4 (100 %)
Poprečna storitev, t/h, metalizirana ruda v vložku z žilavenjem	0,53 (100 %)	2,31 (106 %)	10,9 (96 %)
in brez žilavenja	0,68 (128 %)	2,45 (112 %)	12,8 (112 %)
Poprečna poraba toka za šarže z običajnim vložkom	903 (100 %)	706 (100 %)	594 (100 %)
Poprečna poraba toka, metalizirana ruda v vložku z žilavenjem	945 (104 %)		677 (114 %)
brez žilavenja	828 (91 %)	637 (90 %)	590 (99,7 %)

\* kontinuirno šaržiranje metaliziranih pelet

### ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund der relativ kleinen Zahl der untersuchten Schmelzen, welche im Lichtbogenofen einmal aus Eisenschwammbricketen und zweitens aus im Purofer Verfahren erzeugten Eisenerzpellets geschmolzen worden sind, sind wir zu folgenden Feststellungen gekommen:

1. Die Anwendung von Eisenschwamm in untersuchten Mengen von 15 bis 50 % im Einsatz kann im Ofen mit einer entsprechend hohen spezifischen Transformatorleistung über 300 kW/t zu einer höheren Schmelzleistung führen. Beim kontinuierlichen Einsetzen kann diese noch weiter gesteigert werden.

2. Durch die Anwendung von Purofer Eisenerzpellets im Lichtbogenofen mit einer kleinen spezifischen Transformatorleistung wird die Schmelzleistung beim einsetzen mit Korb in Schichten vermindert.

3. Bei Anwendung von vorreduzierten Eisenerzpellets in einer Menge von mehr als 20% im Einsatz ist eine Möglichkeit gegeben die Frischperiode zu unterlassen. Es kommt nämlich zu einer Überlagerung der Frischperiode

mit der Einschmelzperiode und somit zur Erhöhung der Erzeugungsleistung.

4. Die Anwendung von Eisenschwamm hat keine besondere metallurgische Probleme ausgelöst.

5. Die Anwendung von Eisenschwammbricketten und Puroferpellets in einer Menge von 15 bis 50% im Einsatz hat keinen ungünstigen Einfluss auf die Stahlqualität und ist demnächst ein effektives Mittel zur Verminderung der Spurrelemente im Stahl.

## SUMMARY

The following findings were achieved after a relatively small number of test-batches made with metallized ore briquettes and Purofer pellets in electric arc furnace:

1. The used metallized ore in quantity of 15 to 50 % of charge enables better smelting effect in the furnace at a corresponding high effective output of the transformer over 300 kW/t. The automatic charging can even increase these values.

2. In the furnace with small effective output of the transformer the smelting effect is reduced by charging Purofer pellets with basket in layers.

3. When more than 20 % pellets are used in the charge a favourable metallurgical conditions exist to drop the refining period.

4. Use of metallized ore did not cause any special metallurgical problems.

5. Use of metallized ore briquettes and Purofer pellets in amount 15 to 50 % of the charge did not have any unfavourable effect on the quality of manufactured steel, and on the other hand, this is an effective way to reduce the content of accompanying elements.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании относительно небольшого количества исследованных шихтов изготовленных из брикетов металлизированной железной руды и Purofer окатышей в электродуговой печи, получены следующие результаты:

1. Применение металлизированной руды в количестве 15—50 % в шихте даёт возможность в электродуговой печи повысить плавильную производительность при условии, если удельная плазменная эффективность трансформатора превышает 300 кВт/т.

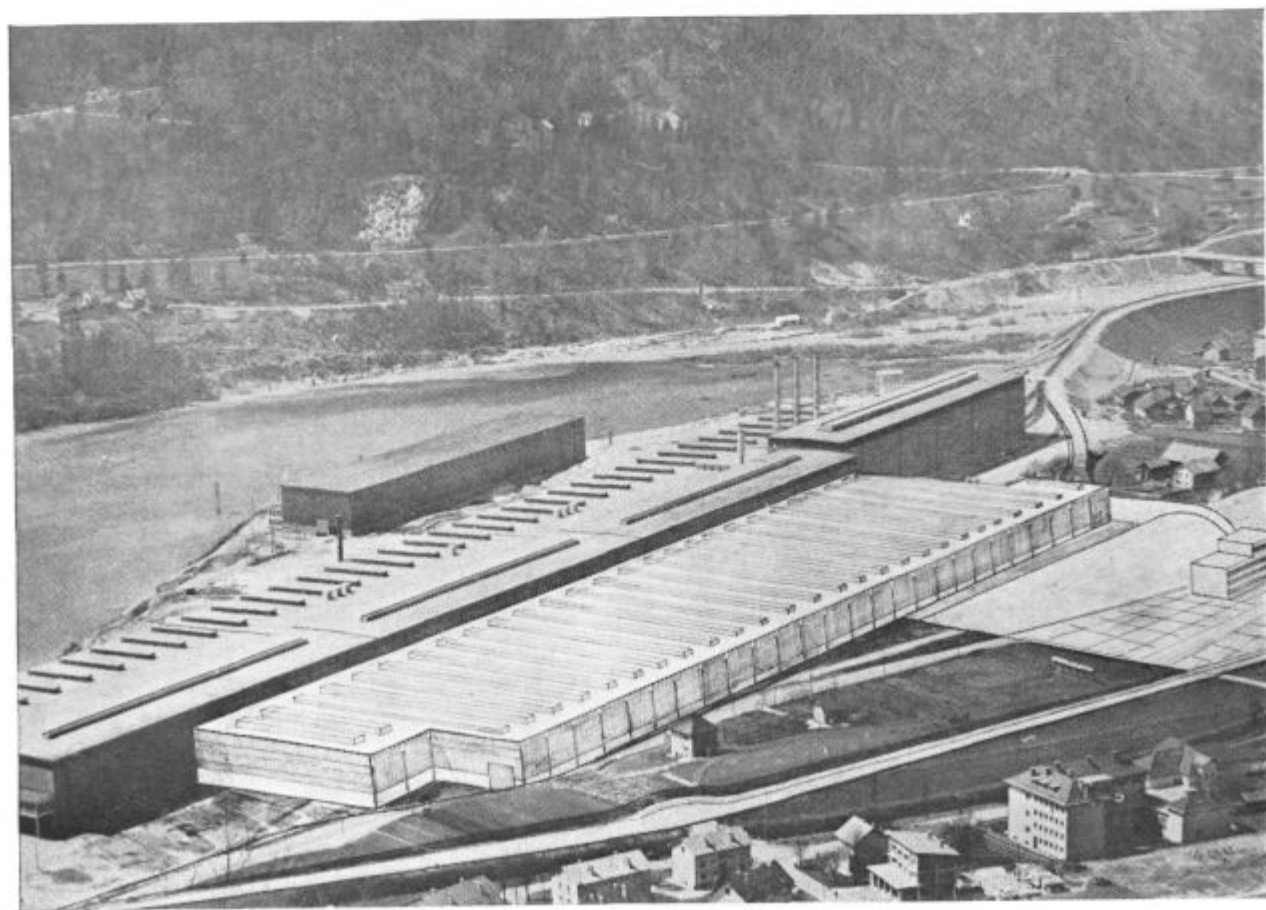
2. В электродуговой печи с незначительным полезном эффекте трансформатора плавильная производительность печи уменьшается

при загрузке с Purofer окатышами пластами при помощи корзины.

3. При употреблении окатышей в количестве свыше 20 % в шихте, есть металлургическая возможность выполнить процесс без периода фришования.

4. Употребление металлизированной руды не вызвало никаких специальных металлургических вопросов.

5. Употребление брикетов из металлизированной руды и Purofer окатышей в количестве 15—50 % в загрузки не имело отрицательного влияния на качество выработной стали; способом также эффективно уменьшено содержание олигоэлементов.



Valjarna Bela, v ospredju z vrisano shemo bodoče hladne valjarne

## Tehnološke zakonitosti odžvepljanja v električni obločni peči

Modificirano tehnologijo izdelave kvalitetnega jekla (brez reduktivne žlindre) spremlja manjši obseg razžvepljanja in manjši preddezoksidacijski potencial. Z učinkovito obarjalno preddezoksidacijo moremo uspešno znižati kisik v talini pred prebodom, za pojačano intenzivnost razžvepljanja po so potrebni razni praktični ukrepi, predvsem pravilno vodenje rafinacije o pogledu tvorbe aktivne žlindre.

Na osnovi raziskav odnosov med tehnološkimi parametri, kinetiko razžvepljanja in kvaliteto jekla v pogledu sulfidnih vključkov zaključujemo, da je specifična intenzivnost razžvepljanja vplivnejša komponenta za količino sulfidov kot skupno razžvepljanje oziroma končno žveplo v jeklu. Za pojačano specifično intenzivnost razžvepljanja so potrebni velik dodatek apna in talil, vsklajeni parametri med časom dodatka in količino, visoka temperatura in učinkovito mehanično premešavanje žlindre s talino.

### UVOD

V postopku izdelave jekla v obločni elektro peči vse bolj dobiva na pomenu produktivnost in s tem povezana ekonomičnost. S povečanjem velikosti peči do določenih dimenzij, s povečano specifično močjo transformatorja, s kvalitetno pripravljenim vložkom moremo doseči linearno povečanje produktivnosti in v glavnem tudi povečano ekonomiko, kar se danes izraža pri masovnih elektro kvalitetah če niso cene toka in osnovnega vložnega materiala umetno formirane.

Današnji trend v dosegi ekonomičnosti, predvsem v elektro jeklarnah s starejšimi pečmi, oziroma z manj ugodnimi zunanji vplivi pa skuša za dosego prejšnjega cilja uvesti v standardne tehnologije čim več modificiranih ukrepov, to je vsestranska intenzifikacija postopka, visoke temperature, skrajšanje rafinacije, uvajanje učinkovite obarjalne preddezoksidacije, argonska obdelava jeklene taline v livnih ponovcih itd.

Z dodatkom plinastega kisika že med taljenjem in po taljenju dosežemo velike žilavilne hitrosti do 0,15 % C/min., visoke temperature ob koncu te faze do 1680° C; z obarjalno preddezoksidacijo moremo učinkovito znižati kisik v talini. Navedena modifikacija nudi pri naknadni končni dezoksidaciji manj primarnih oksidov, saj je izločanje oksidov teoretično končano že do preboda taline iz

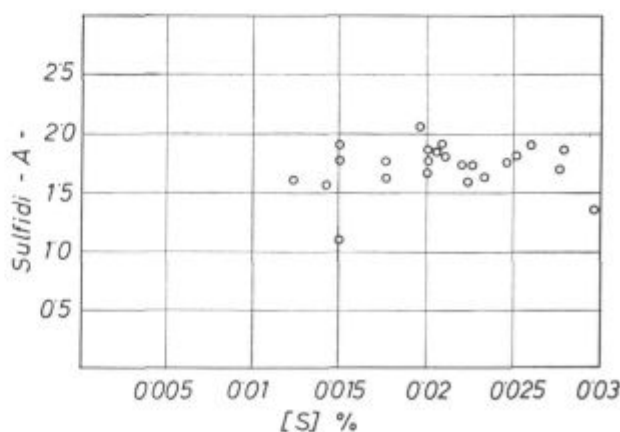
peči in talina ima v ponovci pred litjem v kokile znatno manj kisika, kar pomeni tudi znatno manjšo količino sekundarnih oksidov, ki se sicer težko izločajo.

V praktičnem ukrepu za skrajšanjem rafinacijskega časa torej ne predstavlja problema povečana intenzivnost zmanjšanja kisika zaradi povečane intenzifikacije postopka, ne moremo pa tega trditi za kinetične odnose odžvepljanja, ki so po splošni oceni funkcija količine dodanega apna, temperature, mehničnega mešanja žlindre in taline in v določenem smislu časa trajanja, to je časa, da dosežemo določeno stopnjo reaktivnosti apna, kar se naj pokaže v povečanem obsegu odžvepljanja. Tudi vpliv kinetike odžvepljanja na tvorbo sulfidnih vključkov tipa A, torej vpliv na kvaliteto jekla, še ni povsem razčiščen. Linearna odvisnost med žveplom v jeklu in količino sulfidnih vključkov tipa A zasluži pozornost le pri malih vrednostih A, medtem ko pri količinah večjih od 0,1 praktično ni odvisnosti oz. zakonitosti (sl. 1).

Konkretno smo pri poskusnih šaržah ugotavljali vrednosti A med 0,1 do 2,1 pri žveplu v jeklu od 0,01 do 0,03 %, brez medsebojne odvisnosti (gre dice 80 mm valjane iz ingotov 450 × 450 mm).

### PROGRAM RAZISKAV

Da bi bolj osvežili kinetiko odžvepljanja in postavili za tehnološko analizo v ospredje predvsem one faktorje, ki ne diktirajo samo odžveplja-



Slika 1  
Odvisnost med žveplom v jeklu in sulfidnimi vključki



nja, temveč posegajo tudi v nastanek in kvaliteto sulfidnih vključkov (tipa A po JK skali), smo želeli z raziskavami zasledovati predvsem naslednje:

— splošen odnos za odžvepljanje po posameznih tehnoloških fazah na specifičnih parametrih v izdelavnem postopku,

— analiza intenzivnosti odžvepljanja v odvisnosti od tehnoloških parametrov, kar spričo kratkih časov rafinacije v modificirani tehnologiji predstavlja prav gotovo vplivnejši faktor kot skupni obseg odžvepljanja,

— odvisnost med kinetiko odžvepljanja in količinskimi oziroma kvalitetskimi vrednostmi sulfidov v vključkih.

V smislu programa raziskav smo v vzorcih taline iz posameznih tehnoloških faz zasledovali še skupni kisik in v končnih vzorcih količino kislinotopnega Al ter izvedli vrsto metalografskih raziskav sulfidov v izvaljanih gredicah (najslabša mesta).

## IZVAJANJE POSKUSOV

V 10 t in 25 t E-peči smo izdelali več šarž kvalitete cementacijskega jekla EC 80, EC 100, EC Mo 80 in EC Mo 100. Šarže smo izdelali delno po standardnem postopku z dvema žlindroma, torej ca. 80 do 100 minut trajajočo fazo difuzijske dezoksidacije, delno pa s forsirano modificirano tehnologijo to je po intenzivni oksidaciji s kisikom in normalnim izkuhavanjem smo izvedli učinkovito obarjalno preddezoksidacijo, ter 30 minut trajajočo preostalo rafinacijo.

Spremenljivi faktorji so bili obseženi v:

— različnih časih trajanja posameznih tehnoloških faz,

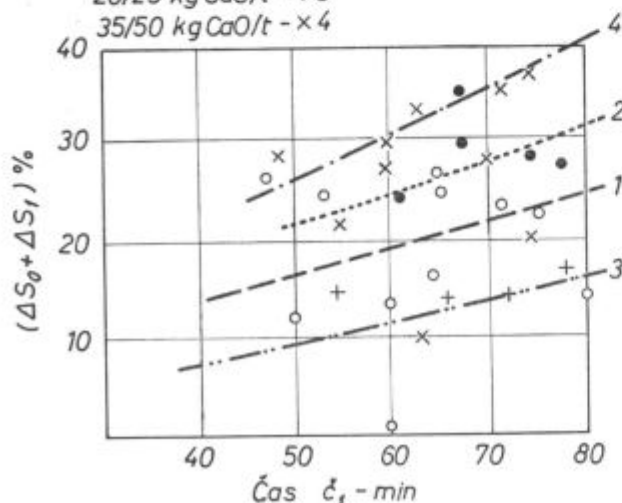
— različnih temperaturah,

25/30 kg CaO/t - o 1

30/35 kg CaO/t - ● 2

20/25 kg CaO/t - + 3

35/50 kg CaO/t - x 4



Slika 2a

Vpliv količine dodanega apna in časa  $\check{c}_1$  na odžvepljanje v času oksidacije in izkuhavanja

— različnih dodatkih apna v posameznih tehnoloških fazah.

Zaradi razlik v intenzivnosti žilavenja in časa normalnega izkuhavanja smo imeli opraviti pri šaržah z različnimi vsebnostmi kisika v toku procesa, kot v talini pred prebodom, kar je nudilo pri sicer praktično enakih dodatkih aluminija različne vsebnosti kislinotopnega Al.

## REZULTATI RAZISKAV

Zasledovanje odžvepljanja po posameznih tehnoloških fazah dovoljuje naslednjo ocenitev:

med oksidacijo znaša poprečna stopnja odžvepljanja do 25 %, med normalnim izkuhavanjem okrog 8 do 12 %, v času delovanja reduktivne žlindre okrog 10 do 12 %, v času rafinacije brez reduktivne žlindre 5 do 10 %, med prebodom samim pa 15 do 30 % pri praksi z dvema žlindroma oz. 10—25 % pri praksi z eno žlindro.

V praksi z dvema žlindroma je torej za okrog 10 do 15 % obsežnejše odžvepljanje na račun kvalitete reduktivne žlindre.

Intenzivnost odžvepljanja znaša v času oksidacije in izkuhavanja okrog 0,56 %/min, v času difuzijske dezoksidacije 0,17 %/min, med prebodom pa okrog 5 %/min. V času rafinacijske periode pri praksi z eno žlindro je intenzivnost razžvepljanja okrog 0,23 %/min.

Med samo difuzijsko dezoksidacijo je stopnja odžvepljanja relativno najskromnejša, kar utemeljuje stremljenje jeklarja, da to fazo v tehnologiji čim bolj skrajša, manjkajoči potencial odžvepljanja pa nadoknadi z drugimi učinkovitejšimi ukrepi.

Analiza rezultatov nudi naslednje zaključke:

— čas oksidacije in izkuhavanja ( $\check{c}_1$ ) vplivata na povečanje odžvepljanja ( $\Delta S_0 + \Delta S_1$ ), vendar je ta vpliv večji pri večjem dodatku apna (sl. 2a)

— Obseg odžvepljanja v času od dodatka Al do preboda ( $\check{c}_2$ ) raste manj s časom, občutneje pa s količino dodanega apna, pri čemer je ta vpliv bolj poudarjen kot v prejšnjem primeru (sl. 2b).

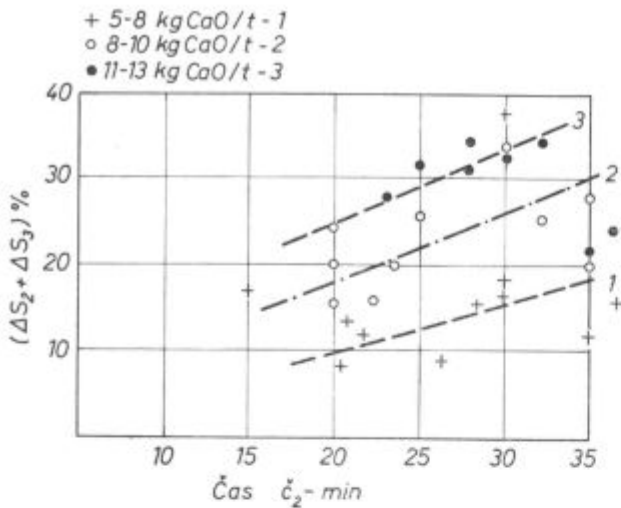
— Količina dodanega apna v vložku ( $\text{CaO}_0$ ), v času  $\check{c}_1$  ( $\text{CaO}_1$ ) in talil ima znaten vpliv, vendar povezano z višino temperature taline: pri hladnejših šaržah, kljub večji količini dodanega apna, ni zadovoljivega odžvepljanja. Vpliv temperature v toku procesa na odžvepljanje prikazujemo v sl. 3 (dodatek apna v vložku  $\text{CaO}_0$  znaša okrog 11 kg/t).

— V sliki 4 prikazujemo vpliv dodatka apna med oksidacijo in izkuhavanjem  $\text{CaO}_1$  ter v preostalem času rafinacije  $\text{CaO}_2$  (pri  $\text{CaO}_0$  okrog 11 kg/t) ter temperature v času  $\check{c}_1$  na skupni obseg odžvepljanja.

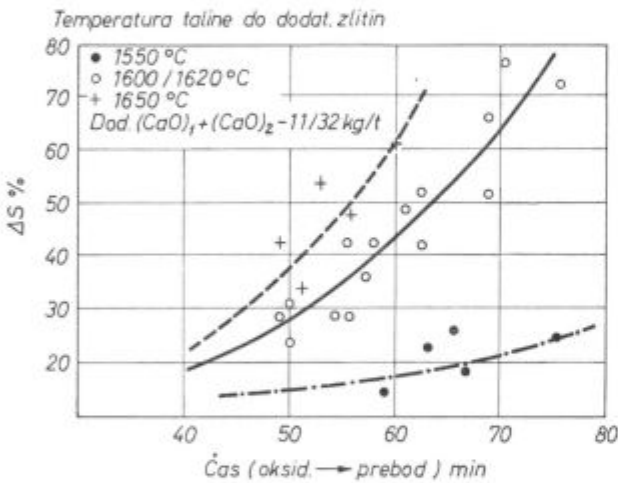
— Pri času  $\check{c}_2 = 27$  minut, temperaturi 1640° je matematičen obrazec za odžvepljanje v času rafinacije in preboda:

$$(\Delta S_2 + \Delta S_3) \% = 3,3 + 0,16 \times \text{CaO}_2^2$$

$$R = 0,49 \quad S_y = 6,55 \quad N = 30$$



Slika 2 b  
 Vpliv količine dodanega apna in časa  $\check{c}_2$  na odžvepljanje v času od dodatka  $A_1$  do zaključenega preboda taline v ponovco



Slika 3  
 Odnos med temperaturo, taline, časom trajanja rafinacije in skupnim obsegom odžvepljanja

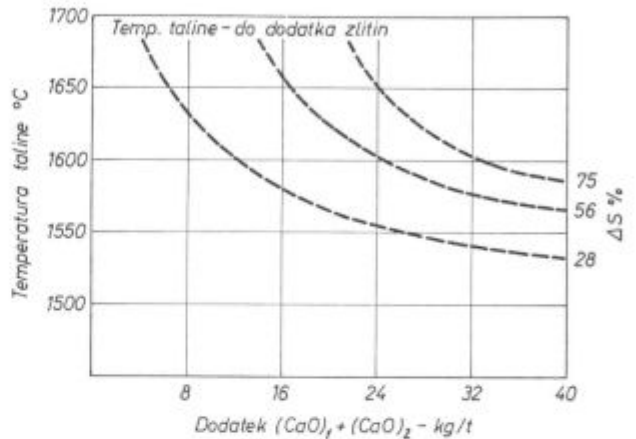
Na osnovi prikazanih posameznih odnosov smo sestavili monogram vpliva vseh parametrov na obseg odžvepljanja kot je prikazano v sl. 5. Pri konkretno 35 kg  $(\text{CaO}_1 + \text{CaO}_2)/\text{t}$  oz.  $\text{CaO}_2 - 10 \text{ kg/t}$   $\text{CaO}_1 - 11 \text{ kg/t}$  je pričakovati poprečen obseg odžvepljanja okrog 65 %. Jasno prevladuje vpliv količine apna  $\text{CaO}_1$ , vpliv temperature, manjši vpliv izkazuje dodatek apna med rafinacijo  $\text{CaO}_2$ .

— S povečano količino apna se povečuje skupni obseg odžvepljanja praktično neodvisno od velikosti peči, če so tehnološki pogoji realizirani v podobnem smislu (sl. 6).

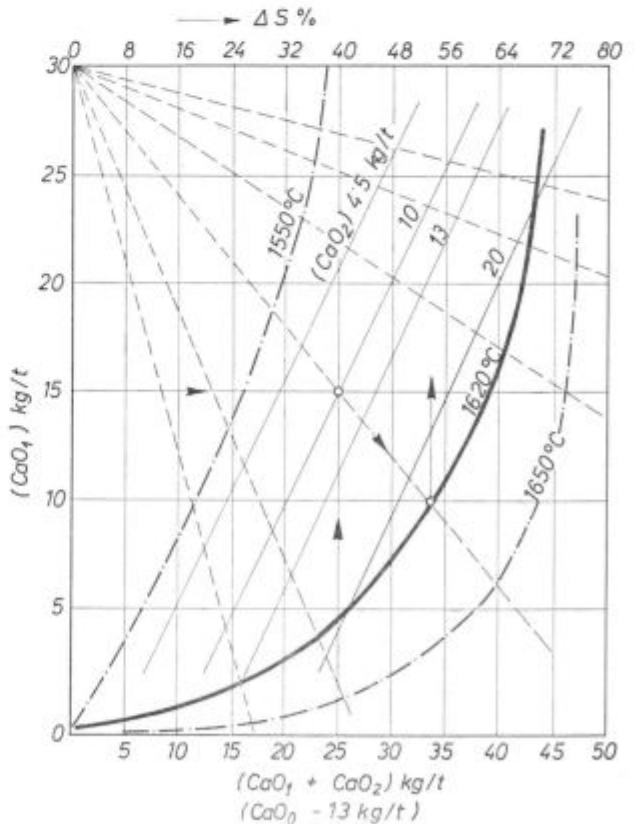
— Že uvodoma smo poudarili, da moramo z oz. na modificirano tehnologijo posvetiti posebno pozornost prej specifični intenzivnosti kot skupnemu obsegu odžvepljanja. V sl. 7 prikazujemo vpliv količine dodanega apna v vložku  $\text{CaO}_1$  in v času

od prve probe do dodatka žlčin  $\text{CaO}_1$  na specifično intenzivnost odžvepljanja to je  $(\Delta S_0 + \Delta S_1) \%/ \text{min} \cdot \check{c}_1$ .

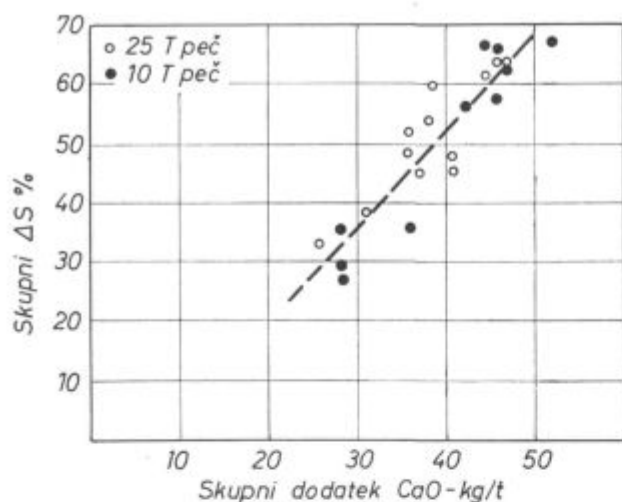
Če grupiramo dodatke apna s količinami od 20—30 kg/t, 30—40 kg/t, 40—52 kg/t, dobimo za posamezne grupe določeno verjetnost, da se s povečano količino apna znotraj ene grupe manjša specifična intenzivnost odžvepljanja. Če pa med posameznimi grupami izločimo šarže s slabo inten-



Slika 4  
 Vpliv dodatka apna in temperature na skupen obseg odžvepljanja

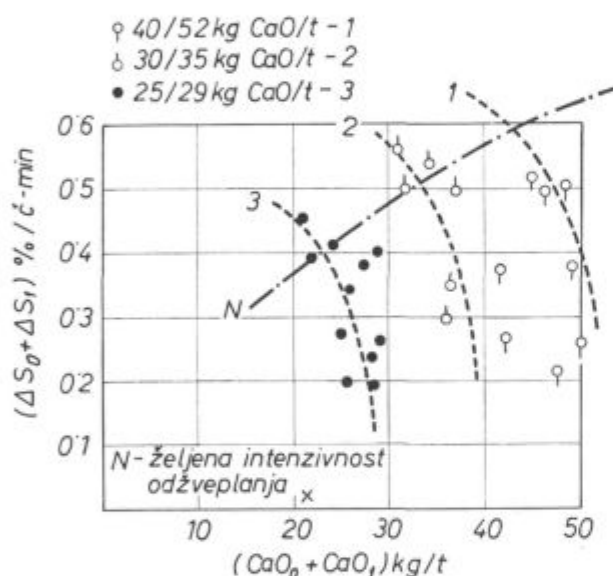


Slika 5  
 Vpliv osnovnih parametrov izdelavne prakse na skupno odžvepljanje



Slika 6

Vpliv skupnega dodatka apna na skupno odžvepljanje



Slika 7

Vpliv količine dodanega apna in časa č, na intenzivnost odžvepljanja

zivnostjo odžvepljanja, kar je predvsem značilno za grupo z dodatkom apna med 40—52 kg/t, potem dobimo smiselno oz. logično krivuljo, na osnovi katere moremo sprejeti zaključek, da s povečano količino dodanega apna raste specifična intenzivnost odžvepljanja, seveda če so za to ustvarjeni tehnološki pogoji. Ugotavljamo pa, da se manjša intenzivnost odžvepljanja znotraj določene grupe z oz. na dodatek apna zaradi tega, ker v osnovi ne upoštevamo tehnološke potrebe, da je za povečani dodatek apna potrebna povečana količina talila pri v glavnem enakem času reagiranja. Ta tehnološki pogoj obvladujemo razmeroma slabo oz. površno. Če torej primerjamo med seboj samo šarže, pri katerih je s povečanim dodatkom apna sledila tudi povečana količina jedavca FeSi (CaSi), potem se

s povečano količino dodanega apna bistveno povečuje specifična intenzivnost odžvepljanja. V nasprotnem slučaju pa ustvarjamo s povečano količino apna slabše pogoje za specifično intenzivnost odžvepljanja.

Ta definicija zasluži vso pozornost predvsem iz razloga, ker je za nove modificirane tehnologije izredno važna intenzivnost odžvepljanja, torej čim obsežnejše odžvepljanje v čim krajšem času. Realizacija te zahteve je vezana na velik dodatek apna ob velikem dodatku talil oziroma ob tvorbi žilindre v optimalnem razmerju med posameznimi komponentami.

— Vrednotenje prikazanih odnosov z računalnikom nudi pri dodatku apna  $CaO_0 + CaO_1 = 34$  kg/t in temperaturi 1660° C ob koncu izkuhavanja naslednji obrazec medsebojnih odvisnosti za obseg odžvepljanja v času oksidacije in izkuhavanja, torej v času č:

$$((\Delta S_0 + \Delta S_1) \% = 32,7 - 27346,5 \times S_2^2 + 2,43 CaF_2$$

$S_2$  — procent žvepla v talini ob koncu izkuhavanja

$CaF_2$  — kg/t jedavca v času od prve probe do dodatka Al za predžvepljanje

$R = 0,8$      $S_y = 5,57$      $N = 28$

Iz navednega odnosa sledi, da je količina dodanega talila v času med oksidacijo in izkuhavanjem izredno važna komponenta za odžvepljanje.

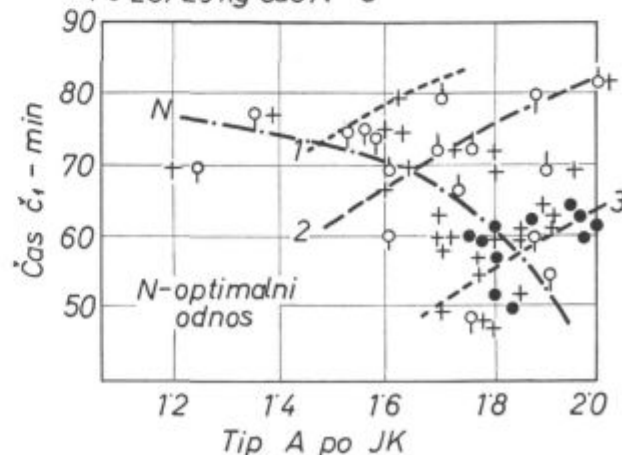
— Če skušamo ugotavljati vpliv prej prikazanih grup z ozirom na količinski dodatek apna in čas reagiranja č, na sulfidne vključke tipa A, potem sledi iz sl. 8, da tak konstruktiven odnos stvarno obstaja. S povečano količino apna se manjša vrednost vključkov tipa A, če upoštevamo samo šarže z relativno ugodnimi pogoji odžvepljanja (kri-

|GN| gredica

+ 40/52 kg CaO/t - 1

+ 30/35 kg CaO/t - 2

+ 25/29 kg CaO/t - 3



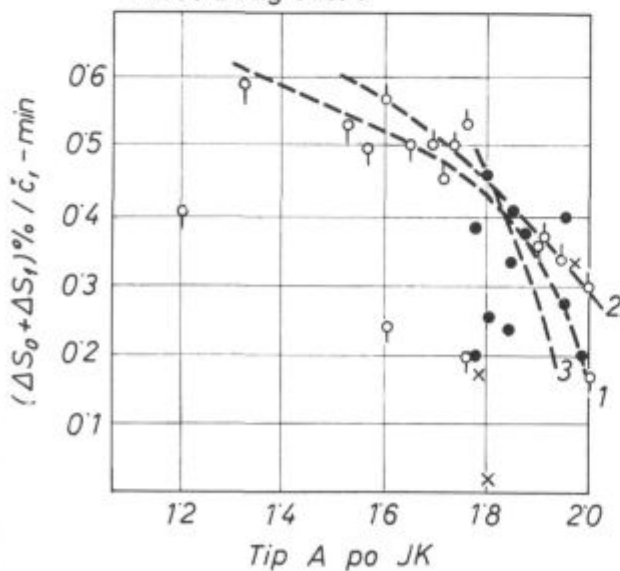
Slika 8

Vpliv količine dodanega apna v času č, na količino sulfidnih vključkov

vulja N). Če teh pogojev ni, ugotavljamo, da znotraj grupe z določenim dodatkom apna rastejo sulfidi tipa A s časom  $\check{c}_1$ . To praktično pomeni, da predolgi čas oksidacije in izkuhavanja ne vpliva pozitivno v smislu zmanjšanja sulfidov, temveč nasprotno; praksa, da ustvarimo pri določeni količini apna odgovarjajočo reaktivno žlindro in s tem določeno odžvepljanje v dolgem rafinacijskem času ne predstavlja uspešnega parametra za zmanjšanje sulfidov, to pa potrjuje prejšnjo verjetnost, da je za dosego manjše vrednosti tipa A potrebna le velika specifična intenzivnost odžvepljanja. Torej zahteva tudi odnos prikazan v sliki 8 tvorbo močno aktivne žlindre v čim manjšem času. Prav gotovo povzroča ta definicija pomisleke v pogledu izkoristka dodanega aluminija v času preddezoksidacije (kratka doba izkuhavanja ni ugodna za boljši izkoristek Al). Praktično vzeto je potrebna kompromisna rešitev.

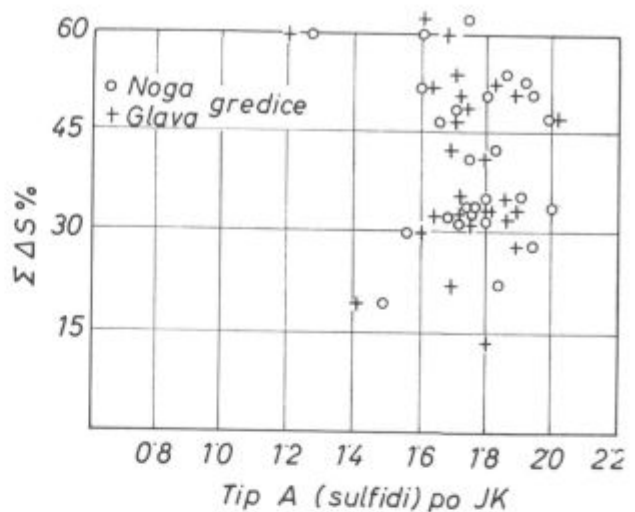
— V sliki 9 prikazujemo vpliv specifične intenzivnosti odžvepljanja v času  $\check{c}_1$  na velikost sulfidov tipa A. Na splošno zaključujemo, da zmanjšuje povečano specifično odžvepljanje sulfidne vključke; to zmanjšanje raste s povečano količino dodanega apna. Ugotavljamo, da je pri določenih optimalnih pogojih pri dodatku apna 25 do 29 kg/t možno doseči vrednost tipa A 1,78 do 2,0, pri dodatku apna 30 do 35 kg/t poprečno 1,6 do 1,78, manjšo vrednost sulfidov pa dosežemo pri znatno večjem dodatku apna, če povečani dodatek apna istočasno dovoljuje veliko specifično intenzivnost odžvepljanja. Nekaj poskusnih šarž smo uspešno izdelali ob dodatku  $\text{CaO}_0 + \text{CaO}_1 = 40$  do 52 kp/t,

- 40/52 kg CaO/t - 1
- ◊ 30/35 kg CaO/t - 2
- 25/29 kg CaO/t - 3
- × 20/24 kg CaO/t



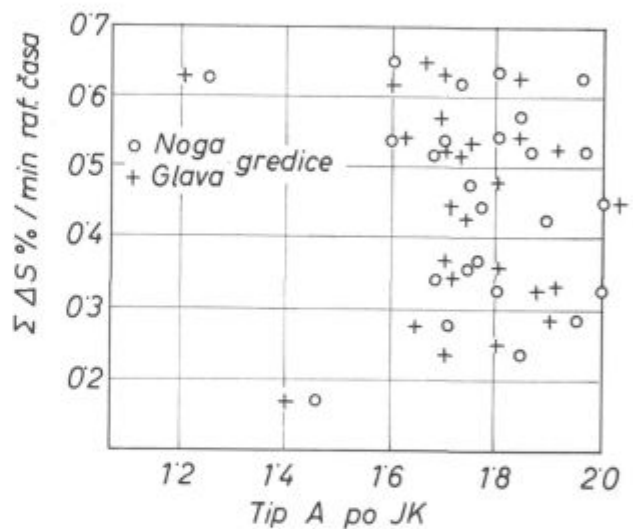
Slika 9

Odvisnost sulfidnih vključkov od intenzivnosti odžvepljanja in količine dodanega apna



Slika 10

Vpliv skupnega odžvepljanja na sulfidne vključke



Slika 11

Vpliv specifičnega odžvepljanja v skupnem rafinacijskem času na količino sulfidnih vključkov

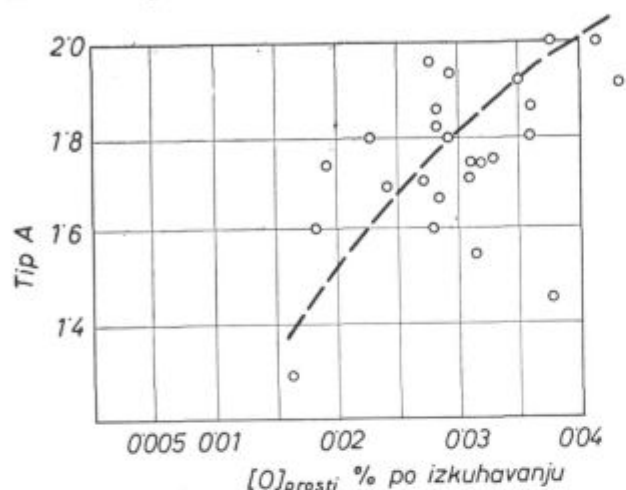
pri nekaterih pa niso bili ustvarjeni pogoji za veliko specifično intenzivnost odžvepljanja, zato tudi nismo uspeli doseči male količine sulfidov. Zaključujemo, da je praktično iste važnosti kot dodatek apna tudi izdaten dodatek talil oziroma pravilni odnos med komponentami žlindre.

— V potrditev verjetnih zaključkov iz prejšnjih točk podajamo rezultate vpliva skupnega obsega odžvepljanja in intenzivnosti odžvepljanja v skupnem rafinacijskem času na sulfidne vključke tipa A. Ugotavljamo, da ni zakonitosti tega vpliva (sl. 10 in 11). Torej je za željeno manjšo vrednost sulfidov tipa A potrebno posvetiti veliko pozornost predvsem specifični intenzivnosti odžvepljanja v času do dodatka Al torej v času od prve probe do končane periode izkuhavanja. Če je temu stvarno tako, potem mora obstajati vzročna odvisnost



med prostim kisikom ob koncu izkuhavanja oz. vsaj delna odvisnost med  $Al_1$  pred prebodom in sulfidi tipa A.

— V sliki 12 prikazujemo vpliv prostega kisika po izkuhavanju na sulfide tipa A. Odnos sledi določeni zakonitosti in sicer s povečano količino kisika raste količina sulfidov. Pri določeni količini C je za visoko koncentracijo prostega O v talini značilna mala batičnost žilindre, kar moremo zaključiti tudi iz odnosov prikazanih v prejšnjih slikah.

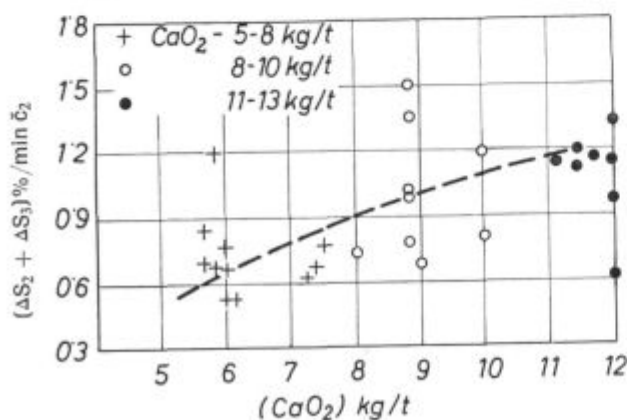


Slika 12  
Odnos količine sulfidnih vključkov od količine prostega kisika v talini po izkuhavanju

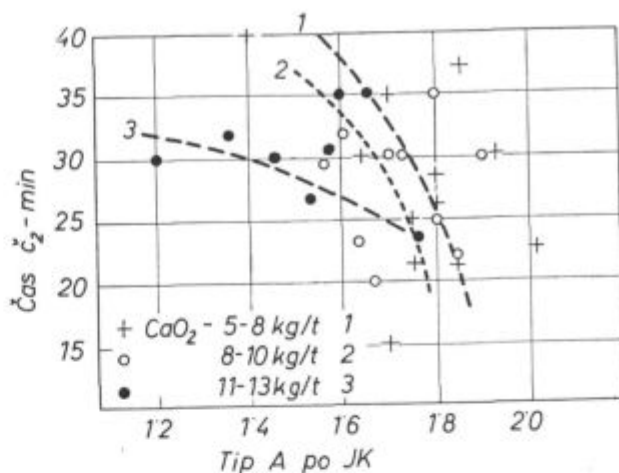
Na osnovi navedenega moremo zaključiti, da je že v prvi fazi po taljenju nujno potrebno:

- povečati dodatek talil
- uvesti drobno zrnato ali celo pnevmatsko apno, mesto kosovnega
- forsirati žilavenje s plinastim kisikom za dosego visoke temperature in dobrega mešanja taline.

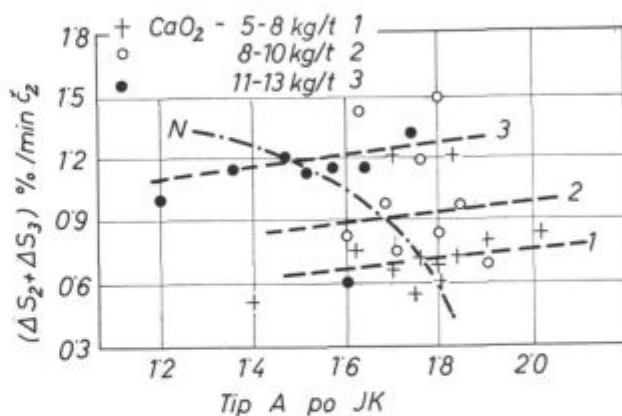
Analiza parametrov, ki spremljajo fazo rafinacije od dodatka zlitin do preboda ( $\check{c}_2$ ) dovoljuje naslednje zaključke:



Slika 13  
Vpliv količine dodanega apna v času  $\check{c}_2$  na specifično intenzivnost odžvepljanja



Slika 14  
Vpliv količine dodanega apna in časa  $\check{c}_2$  na sulfidne vključke



Slika 15  
Vpliv količine dodanega apna in specifične intenzivnosti odžvepljanja v času  $\check{c}_2$  na količino sulfidnih vključkov

— intenzivnost odžvepljanja v osnovi raste s povečano količino dodanega apna  $CaO_2$ , čeprav je pri nekaterih poskusnih šaržah znatno odstopanje, kar poudarja, da povsod nismo izpolnili pogojev za tvorbo aktivne žilindre (sl. 13).

— Vpliv časa  $\check{c}_2$  na velikost sulfidnih vključkov A je izrazitejši pri mali količini dodanega apna  $CaO_2$ , praktično z malim vplivom pa pri večji količini (krivulja 3 v sl. 14). Tak odnos dokazuje, da smo pri večini poskusnih šarž z veliko količino dodanega  $CaO_2$  le uspeli ustvariti zadovoljive pogoje za hitro tvorbo aktivne to je z večjim dodatkom  $CaF_2$ , visoko temperaturo, dobrim mešanjem taline in žilindre. Pri malih dodatkih  $CaO_2$  smo skušali te pogoje ustvariti z daljšim časom pri manjših dodatkih talil, kar pa se pokaže za znatno manj učinkovito.

Sledi, da prednjači vpliv dodatka  $CaO_2$  pred časom  $\check{c}_2$ . Z dolgimi rafinacijskimi časi pa moremo tudi pri manjši količini  $CaO_2$  doseči manjšo količino sulfidov, za kar je praktični primer faza reaktivne žilindre. Mogli bi zaključiti, da ta faza

vsled skromnega obsega odžvepljanja ni bistvena, njena prava vrednost je v rezultiranju manjše količine sulfidov.

— Iz slike 15 sledi, da praktično ni vpliva intenzivnosti odžvepljanja na velikost sulfidov znotraj grupe z enako količino dodanega apna. Obstaja pa značajan vpliv specifičnega odžvepljanja na velikost sulfidov, če primerjamo različno velike dodatke  $\text{CaO}_2$ .

## POVZETEK

Pri modificirani tehnologiji izdelave jekla v električni peči, katere značilnost je predvsem obsežna v skrajšanju skupnega rafinacijskega časa, zavzemajo sulfidi A preveliko vrednost. Praktično nastopi le manjše izboljšanje, če dodamo v izgotovljeno talino določeno količino  $\text{CaSi}$ , oziroma, če talino v jeklarski ponovci obdelujemo s plinastim argonom.

S tehnološko analizo pogojev odžvepljanja in specifične intenzivnosti odžvepljanja v posameznih tehnoloških fazah ter primerjavo odnosov med tehnologijo in sulfidnimi vključki smo ugotovili naslednje:

— odžvepljanje v času oksidacije in izkuhavanja je odvisno od količine dodanega apna v vložek in v času  $\check{c}_1$ . S povečano količino apna niso vselej dani pogoji za obsežnejše odžvepljanje: pri ena-

kem dodatku talila in povečanim dodatkom apna nastopi slabša specifična intenzivnost odžvepljanja. Nujno je potrebno že v prvi fazi rafinacije dodati večjo količino talila, če želimo izboljšati pogoje odžvepljanja.

— Med skupnim odžvepljanjem in količino sulfidnih vključkov (najslabše mesto) ni zakonite odvisnosti. Obstaja pa odvisnost med specifično intenzivnostjo odžvepljanja in sulfidi: s povečano intenzivnostjo in povečano količino dodanega apna v času  $\check{c}_1$  jo pričakovati manjšo količino sulfidov. Tako smo ugotovili pri konkretnih pogojih izdelave in predelave poskusnih šarž (valjanje gredic 80 mm iz ingota  $450 \times 450$  mm) da moremo doseči manjšo vrednost A kot 1,4 pri dodatku apna v vložku in v času  $\check{c}_1$  pri količini iznad 35 kg/t, če znaša specifična intenzivnost razžvepljanja v času  $\check{c}_1$  vsaj  $0,55 (\Delta S_0 + \Delta S_1) \% : \check{c}_1$ .

— Pravilna tvorba zelo aktivne žilindre v času  $\check{c}_1$  je izredno važna, tej fazi je treba posvetiti znatno več pozornosti, kot to danes izvajamo.

— Vpliv preostalega časa rafinacije ( $\check{c}_2$ ) na količino sulfidnih vključkov je predvsem izražen v dodatku apna v tej periodi, manj v času trajanja te periode. Tudi za to periodo je dodatek talil odločujočega pomena. Zaradi kratkega trajanja te periode je nujno potrebno uvesti dodatke kontrolirane sintetične mešanice s takimi komponentami in s takim razmerjem komponent, da bo žilindra v čim krajšem času zelo aktivna.

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei der modifizierten Technologie der Stahlerzeugung im Lichtbogenofen, welche durch eine Verkürzung der Gesamtrafinationszeit gekennzeichnet ist, nehmen die sulfidischen Einschlüsse im Stahl einen zu grossen Wert ein. Es wird durch die Zugabe von  $\text{CaSi}$  in die Pfanne oder bei der Durchspülung des Stahles in der Pfanne mit Argon nur eine geringe Verbesserung erzielt.

Durch die technologische Analyse der Entschwefelungsbedingungen und der spezifischen Entschwefelung in den einzelnen technologischen Phasen und durch die Vergleichung des Verhältnisses zwischen der Technologie und der sulfidischen Einschlüsse haben wir folgendes festgestellt:

Die Entschwefelung während der Oxydations und Auskochzeit ( $\check{c}_1$ ) ist von der Menge des zugesetzten Kalkes im Einsatz und in der Oxydationszeit abhängig. Jedoch gewährleistet eine grössere Kalkmenge nicht immer auch eine bessere Entschwefelung. Wenn die Flussmittelmenge gleich bleibt und die Kalkmenge vergrössert wird, sinkt die spezifische Entschwefelung. Es ist dringend schon anfangs der ersten Phase der Refinationszeit eine grössere Flussmittelmenge zuzugeben, um die Entschwefelungsbedingungen zu verbessern.

Zwischen der Gesamtentschwefelung und der Menge der sulfidischen Einschlüsse (die schlechteste Stelle) ist

keine gesetzmässige Abhängigkeit. Es besteht aber eine Abhängigkeit zwischen der spezifischen Entschwefelung und der Sulfideinschlussmenge. Es ist bei einer grösseren spezifischen Entschwefelung und bei einer grösseren Kalkzugabe in der Oxydations und Auskochzeit ( $\check{c}_1$ ) eine kleinere Sulfideinschlussmenge zu erwarten. So haben wir bei den Versuchsschmelzen (Knüppel 80 mkv. gewalzt aus einem Block 450 mm Quadrat) festgestellt, dass ein kleinerer Wert A als 1,4 bei einer grösseren Kalkzugabe als 35 kg/t im Einsatz und in der Zeit  $\check{c}_1$  zu erreichen ist, wenn die spezifische Entschwefelung in der Zeit  $\check{c}_1$  wenigstens  $0,55 \cdot (\Delta S_0 + \Delta S_1) \% : \check{c}_1$  beträgt.

Richtige Formierung einer aktiven Schlacke in der Zeit  $\check{c}_1$  ist sehr wichtig. Dieser Periode ist nötig viel mehr Acht zu widmen als heute üblich ist.

Einfluss der übrigen Refinationszeit ( $\check{c}_2$ ) auf die Sulfideinschlussmenge ist vor allem von der zugegebenen Kalkmenge in dieser Periode und weniger von der Dauer dieser Periode bedingt. Auch in dieser Periode ist die Flussmittelmenge von entscheidender Bedeutung. Da diese Periode kurz ist, ist dringend eine sintetische Schlackenmischung mit solchen Komponenten und in einem solchen Verhältniss zusammenzustellen, dass die Schlacke in kürzester Zeit aktiv wird und diese regelmässig der Schlacke zuzugeben.

## SUMMARY

In modified technology of steelmaking in electric arc furnace which characteristic is mainly the reduction of total time of refining, content of sulphides A is too high. Practically only small improvement is achieved if a certain amount of  $\text{CaSi}$  is added to the melt of the completed

steel or if the melt is treated by gaseous argon in the steelmaking ladle.

Technological analysis of desulphuration conditions and of specific intensity of desulphuration in single technological operations, and comparison of relations



between the technology and the sulphide inclusions led to the following findings:

— desulphuration during refining and boiling ( $C_1$ ) depends on amount of added lime to the batch in the beginning and during the refining time. Increased lime additions do not always cause a greater degree of desulphuration: at the same addition of fluxes and the increased addition of lime a worse specific intensity of desulphuration occurs. Therefore it is necessary already in the first refining operation to add greater amount of fluxes if the desulphuration conditions should be improved.

— there is no relationship between the total desulphuration and the amount of sulphide inclusions (in the worst region). But relationship between the increased intensity of desulphuration and the amount of sulphides exists: a smaller amount of sulphides is to be expected at the increased intensity and increased amount of added

lime in time  $C_1$ . Thus actual conditions of manufacturing and working the test batches (rolling billets 80 mm from ingot  $450 \times 450$  mm) showed that value of A can be lowered below 1.4 if the lime addition to the batch in time  $C_1$  is over 35 kg/t and the specific intensity of desulphuration in time  $C_1$  is at least  $0.55 (\Delta S_0 + \Delta S_1) \% : C_1$ .

— the correct formation of very active slag in time of refining and boiling ( $C_1$ ) is extremely important, and much more attention than nowadays must be given to this operation.

— influence of the residual refining time ( $C_2$ ) on the amount of sulphide inclusions is mainly determined by lime additions in this period and less dependant on the duration of this period. Additions of fluxes have also decisive significance in this period. Because of shortness of this period the flux additions must have controlled composition with such components and such ratio between them that the slag will be active in the shortest time.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изменённой технологии производства стали в электродуговой печи характеристика которой главным образом состоит в сокращении времени общего рафинирования, весьма большое влияние имеют сульфиды группы А. Практический опыт показал, что небольшое улучшение можно получить при добавке определённого количества CaSi в законченную плавку, или же обработать плавку в ковше дуванием Аргона. При изучении технологических условий десульфуризации в отдельных технологических фазах, а также при сравнении отношения между технологией и сульфидными включениями получены следующие результаты:

— десульфуризация во время окисления и кипения стали зависит от количества добавленной извести и длительности окисления. Отмечено, что с увеличением добавки извести не всегда даны условия для более интенсивной десульфуризации, т. е. при одном и том же количестве добавленных флюсов а при увеличении добавки извести удельная интенсивность десульфуризации уменьшается. Чтобы улучшить условия при которых происходит десульфуризация стали необходима добавка большого количества флюсов сразу в первой фазе рафинации.

— Между общей десульфуризацией и количеством сульфидных включений (на самом плохом участке) не отмечена никакая закономерность зависимости. Зависимость же обнаружена между удельной интенсивности десульфурации и количеством сульфидов,

т. е. отмечено, что при повышенной интенсивности и увеличенном количестве добавленной извести в интервале времени  $C_1$ , можно ожидать уменьшение количества сульфидов. При прокатке 80 мм заготовок из слитков  $450 \times 450$  мм, при конкретных условиях производства опытных плавков оказалось, что существует возможность получить величину А меньше 1.4, при условии, что в шихте в промежутке времени  $C_1$  количество извести будет свыше 35 кг/т, и, кроме этого, удельная интенсивность десульфуризации в том же промежутке времени т. е.  $C_1$  должна быть не меньше  $0.55 (\Delta S_0 + \Delta S_1) \% : C_1$ .

— Весьма большое значение имеет процесс образования очень активного шлака во время окисления и кипячения в том же промежутке времени ( $C_1$ ); этой фазе процесса необходимо уделить гораздо больше внимательности чем это выполняем теперь.

— Влияние остального промежутка времени рафинации ( $C_2$ ) на количество сульфидных включений выражен главным образом добавкой извести в этот период времени а менее в продолжительности процесса в этом же интервале ( $C_2$ ). Решающее значение в этом периоде времени имеет добавка флюсов. Вследствии короткой длительности этого периода, необходимо ввести добавочный контроль синтетической смеси с такими компонентами и в таком отношении этих компонент, что будет дана возможность получить очень активный шлак в коротком промежутке времени.

## Visoki vakuum kot zaključna faza v razvoju svetlega ali belega žarjenja

*V sestavku je v glavnih potezah prikazan celotni razvoj metod, postopkov in sredstev za svetlo oz. belo žarjenje; od žarjenja v ostružkih sive litine do žarjenja v visokem vakuumu.*

*Obravnava značilne lastnosti in problematiko, ter omenja tendence razvoja in možne ustrezne kombinacije posameznih sredstev in postopkov. Z visokim vakuumom je namreč zaključeno osvajanje elementarnih instrumentov za doseg željenega cilja: nedotaknjene izgleda in stanja površine materiala pri termičnih postopkih.*

### ZACETEK SVETLEGA ŽARJENJA IN PRVOTNI POSTOPEK

Brez ognja si železarstva ne moremo predstavljati. Ker imajo tako zagrevalni postopek, kakor tudi oblikovalna postopka na visoki temperaturi, kovanje in vroče valjanje, za neizogibno posledico oksidirano, črno površino izdelka, je železarstvo dobilo naziv »črna metalurgija«.

Razvoj finalne hladne predelave, na prvem mestu žičarstva, pa je prinesel nove težnje: doseči svetlo površino izdelka s plastičnim preoblikovanjem v hladnem stanju in pri tem po možnosti zadržati nespremenjeno površino, tudi pri potrebnem žarilnem postopku za odpravo povečane trdnosti in zmanjšane duktilnosti, kot posledic hladne predelave.

Od nastanka žičarstva v davni preteklosti pa vse do 12. stoletja, so vlečeno železno žico (znali so vleči samo mehko nizkoogljeno jeklo!) žarili na odprtih ognjiščih in to na oglje. Oksidirano površino so za nadaljnje vlečenje čistili z drgnjenjem, ravno tako kot začetni vložek v obliki kovanjalic.

V 12. ali 13. stoletju, z razvojem ročnega vlečenja tankih dimenzij žice v kolobarje na t. i. bobinah, beleži tudi žarilna tehnika prvi, toda pomemben korak v napredku: kolobarje tanjše žice žarijo že v zaprtih kotlih ali posodah. V večji ali manjši meri ostaja površina žice po žarjenju svetla.

V naslednjih stoletjih so postopek izpopolnjevali in je končno dobil obliko, ki je bila še leta 1930 tipična za žarilne obrate žičarn in hladnih valjarn: kolobarje vlečene žice ali hladnovaljanih trakov so vlagali v cilindrične kotle različnih velikosti, lite iz nizkoogljene jekla ali pa tudi zvar-

jene iz pločevine, ter preostali prostor v kotlu zasuli z ostružki sive litine. Na zgornji, razširjeni del kotla so namestili dva pokrova, zatesnjena z glino; prostor med njimi pa so izpopolnili z ostružki sive litine.

Šaržirane kotle so vlagali večinoma pogreznjene v tla, tako imenovane globinske peči, kurili pa so jih z lesom, premogom ali z generatorskim plinom. Temperaturo peči in kotla v njej so kontrolirali na oko; resnične temperature vložka v kotlu pa ni bilo mogoče kontrolirati.

Kasneje so bile sodobne peči za kontrolo temperature v pečnem prostoru že opremljene s pirometri.

Ostružki sive litine so imeli nalogo, da pri rastoči temperaturi v kotlu absorbirajo hlape ostanka maziva na površini žice ali hladno valjanih trakov, kakor tudi, da vežejo nase kisik preostalega zraka v kotlu.

Rezultat je bil relativno ugoden in zadovoljiv. Neoksidirana površina vložka je bila več ali manj čista in svetla; pri žici in trakovih iz trših vrst jekla pa ni bilo pojava površinskega razogljčenja.

Bistvena pomanjkljivost postopka pa je bila v tem, da ni bilo mogoče voditi in kontrolirati termičnega procesa pri žarjenju, kakor tudi v razmeroma zelo veliki mrtvi teži, t. j. balastu vsake šarže (teža kotla in ostružkov!).

### RAZVOJ PO PRVI SVETOVNI VOJNI

Drugi, revolucionarni korak v napredku svetlega žarjenja je sledil naglemu razvoju električno gretih peči po letu 1920, ki so edine omogočale precizno vodenje temperaturnega režima. Od leta 1925 do leta 1929 se vrstijo prizadevanja na znanstvenoraziskovalnem področju, kakor tudi poskusi v praksi s ciljem, da se oblikuje ustrezen postopek na dosežkih sodobne tehnike. Ubrane so bile različne poti. Nekatere rešitve so bile zelo zanimive in moderno zasnovane, toda preveč komplicirane in zahtevne, da bi dobile široko potrditev v proizvodni praksi.

Npr. postopek dr. inž. A. Pompa<sup>1</sup> in dipl. inž. T. Stassineta<sup>2</sup>: Kolobarje hladno valjanih trakov se vložijo direktno v hladno električno peč. Iz tesno zaprte peči se najprej iztisne zrak z dovodom oglji-

kovega dvokisa ( $\text{CO}_2$ ) spodaj; potem se  $\text{CO}_2$  izplakne z dovodom vodika ( $\text{H}_2$ ) zgoraj. Ko v pečnem prostoru, poleg vložka, ostane samo čisti vodik, se vključi gretje in žarjenje se začne. Kot zaščitni plin je torej služil tehnično čisti vodik, pridobljen z elektrolizo vode. Za kroženje in čiščenje zaščitnega plina, zaradi tega, ker so se oljni hlapi in pare na začetku žarilnega procesa zelo hitro razvijali, so bile potrebne posebne naprave. Razen tega pa še baterija za elektrolizo, ter rezervoarji za ogljikov dvokis, vodik in kisik kot stranski produkt elektrolize.

Tako zaradi enostavnosti kot zaradi principa dela kot manipulacije, so se po letu 1930 v evropskih žičarnah in hladnih valjarnah začele najbolj uveljavljati globinske električne peči z visečimi kotli in visečo obešeno šaržo v njih, sistem BBC — Grünwald, patentiran leta 1928.

Ker so tudi vse sodobne peči tega tipa raznih velikosti, v bistvu grajene na istem principu, je konstrukcija znana in je ni treba opisovati.

Svetla površina žarjenega materiala je bila dosežena z naravnim vakuumom za časa hlajenja v hermetično zaprtih kotlih.

Metoda je temeljila na iztiskanju zraka iz kotla v času žarjenja, najprej zaradi povečanja temperature, potem zaradi izhlapevanja mazivnih sredstev (maziva, olja, emulzije) s površine žice ali trakov, pri čemer so bili ostanki kisika mimogrede absorbirani z delnim zgorevanjem teh maziv. Pri višjih temperaturah je v odvisnosti od sestave teh maziv nastajal njihov razkroj, kar je puščalo na sicer neoksidirani površini žarjenega vložka v manjši ali večji meri prevleko iz saj.

Ker ni bilo izplakovanja kotla, so v njem na koncu žarjenja ostali razredčeni hlapi maziv oz. plinski produkti njihovega razkroja. Oksidacija površine je bila preprečena, toda pri trših jeklih je večinoma nastala nezaželena površinska dekarbonizacija! Iz tega razloga je moral biti sicer zelo priljubljeni princip »naravnega vakuuma« (nobene skrbi z zaščitno atmosfero in s plini za njo!), pozneje tudi pri tem tipu peči nadomeščen z aplikacijo zaščitne atmosfere, kadar so bile višje zahteve glede izgleda površine in popolne odsotnosti površinskega razogljichenja, pri žarjenju kvalitetnih izdelkov iz trših vrst jekla.

NB! S temi pečmi, na principu naravnega vakuuma, dela žarilnica predelovalnih obratov železarne Jesenice že od leta 1933, ko je kot ena med prvimi v Evropi z njimi zamenjala stare peči na generatorski plin. Po preselitvi v nove obrate, leta 1953, pa je bila kapaciteta žarilnice povečana tudi z zvonastimi in konti pečmi na zaščitni plin.

Svetlo, oz. belo žarjenje na principu naravnega vakuuma, je praktično mogoče samo v kotlih sistema BBC — Grünwald in v ustreznih globinskih pečeh. Vendar pa je teža in velikost šarže žice ali trakov pri tem tipu peči omejena! Npr. pri najbolj pogosti velikosti, s koristnim prostorom v

kotlu ca  $800 \text{ mm } \varnothing \times 1700 \text{ mm}$ , znaša dovoljena teža šarže v kotlu ca 2000 kg maksimalno.

Stalno povečevanje velikosti in teže kolobarjev žice in trakov, je neizogibno narekovalo tudi prehod na zvonasti tip žarilnih peči, ki dovoljujejo neomejene teže kolobarjev; deloma pa tudi na konti-žarilne peči.

S tem pa je prišla sedanja doba in vladavina zaščitnih plinov!

## ZAŠČITNE ATMOSFERE, GLAVNI TIPI IN NJIHOVE ZNACILNOSTI

Zaščitne, ali bolj natančno rečeno, uravnavane atmosfere v pečeh za termično obdelavo jeklenih predmetov, imajo lahko različne naloge: da preprečijo oksidacijo in matiranje površine; da pri ogljikovih in legiranih jeklih obenem preprečijo površinsko razogljichenje; da izvršijo čim močnejše razogljichenje pri dinamo- in trafo-trakovih in pločevini; da preprečijo oksidacijo in izvršijo površinsko naogljichenje oz. »cementiranje« v željenem slučaju itd.

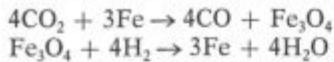
Odvisno od vsakokratne naloge, sestave jekla, delovne temperature itd., se določa ustrezno vrsto in sestavo plina, kot tudi željeno stopnjo čistoče.

V sodobni metalurgiji zaščitni plini oz. uravnavane atmosfere pomenijo važno področje. Buren razvoj vrhunskih finalnih izdelkov, kot tudi poboljšana kvaliteta in izgled površine (finishing) standardnih izdelkov, temelji na razvoju tehnike zaščitnih atmosfer, ter na oblikovanju ustreznih tipov in ustreznih postopkov in naprav. Z vidika tega prikaža so predvsem zanimive določene razvojne tendence: prehod od dosedaj splošno veljavnega exo-plina pri žarjenju izdelkov iz nizkoogljicnega jekla na njegovo oplemeniteno modifikacijo monoplina; porast produkcije in porabe inertnih, oz. plemenitih plinov, predvsem dušika in argona; čim večja stopnja čistoče od nezaželenih primesi; težnja z oblikovanjem novih proizvodnih postopkov in naprav poenostaviti in poceniti proizvodnjo mono-plina.

Eksotermični zaščitni plini (»exo-plini«) kot produkt delnega zgorevanja kaloričnih plinov široke porabe, npr.: propan-butana (v prejšnjih časih celo bukovega lesa in oglja), predstavljajo sicer standarden tip plina za svetlo žarjenje nizkoogljicnega jekla, pri katerem eventualno razogljichenje ni v škodo, in to v vseh vrstah peči, so razmeroma tudi najcenejši, toda vse prej kot idealni!

Občasni pojav hrapavosti in nečistosti zunanjih navojev in do določene globine tudi robov notranjih navojev kolobarjev trakov iz nepomirjenega jekla, po žarjenju v zvonastih pečeh, razlaga W. Minkler<sup>3,4</sup> s katalizatorsko vlogo površine trakov pri ravnotežnih reakcijah med plinskimi komponentami:  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  in  $\text{H}_2\text{O}$  ob spremembi temperature tekom žarilnega procesa.

Zaščitni plin se »nevtralno« obnaša le, če se ravnate na principih »Wassergas«-reakcije ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ) in Boudouard-reakcije ( $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C}$ ) ustvarja brez kakršnekoli udeležbe žarjenega vložka. Toda prva reakcija gre lahko deloma na naslednji način:



Zaradi katalizatorske vloge postane površina trakov hrapava in potem pri ohlajevanju izvrstno služi kot katalizator za naslednjo ravnatežno reakcijo:  $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$ , ter dobi nase še usedlino saj.

V obratu navadno za takšne pojave valijo krivdo na mazivo ali na pomanjkljivo čistočo plina.

Druga slaba stran exo-plinov je, da so pri večji vsebnosti CO in  $\text{H}_2$  strupeni in eksplozivni.

Nič čudnega, da se sedaj tudi pri žarjenju masovnega nizkoogljiknega jekla teži k plinu, ki bi imel stabilen značaj in ne bi bil podvržen spremembam in ravnatežnim reakcijam tekom žarilnega procesa, ki ne bi bil eksploziven in čim manj strupen, ki bi imel čim bolj inerten in univerzalen karakter.

Prvo retišev v tej smeri predstavlja mono-plin, v bistu radikalno oplemenitena oblika exo-plina s pomočjo optimalne odstranitve ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ) in vlage ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Poglavitna sestavina mono-plina je dušik ( $\text{N}_2$ ) z 99 do 75 %. Iz tega izhaja tudi ime plina. Z ozirom na ostali komponenti se mono-plin deli na vrsto »NX«, ki vsebuje še 0,5 do 15 % vodika ( $\text{H}_2$ ) in 0,5 do 10 % ogljikovega monoksida (CO) in na vrsto »HNX«, ki vsebuje 1 do 25 % vodika ( $\text{H}_2$ ) in samo ca 0,1 % ogljikovega monoksida (CO), ter je praktično brez ogljikovih spojin.

Mono-plin z vsebnostjo  $\text{CO} + \text{H}_2 \leq 8\%$  ni eksploziven v mešanici z zrakom, ima torej lastnosti inertnega plina. Če pa vsebuje samo  $\text{H}_2 \leq 5\%$  ni niti strupen in lahko uhaja v delovne prostore.

Da se kljub temu v Evropi mono-plin ni uveljavil v širšem obsegu, so bili do nedavnega razlogi v obsežnosti, kompliciranosti in občutljivosti proizvodnih naprav zanj, in relativno zelo visoki proizvodni stroški v primerjavi s ceno exo-plina. Namreč, da se zagotovi predpisana sestavina in čistoča mono-plina, mora biti ustrezno razmerje: zrak — gorilni plin natančno, razen tega pa mora biti tudi eliminacija vlage ( $\text{H}_2\text{O}$ ) in ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ) izvršena v maksimalni možni meri.

Po navedbah W. Minklerja<sup>4</sup> je bila še leta 1968 proizvodna cena »HNX« — monoplina več kot dvakrat višja od cene exo-plina.

Aplikacija molekularnih sit<sup>5</sup>, pa pomeni pomemben napredek na tem področju.

Po dosedanem t.i. MEA-postopku, se odstranitev ogljikovega dioksida ( $\text{CO}_2$ ) iz plina vrši v stolpu za izpiranje z raztopino monoethanolamina, ki pri 30° C absorbira  $\text{CO}_2$ , zagreta na višjo temperaturo pa oddaja; odstranitev vlage ( $\text{H}_2\text{O}$ ) pa se kot obi-

čajno vrši v absorpcijsko-sušilnih kolonah, ki se izmenoma regenerirajo s povišanjem temperature.

V zadnjih letih pa se namesto te metode uveljavljajo »molekularna sita«, ki z adsorpcijskim delovanjem svojih por istočasno eliminirajo ogljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) in vlago ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Naprave na principu aplikacije molekularnih sit, se v odnosu na MEA-princip, odlikujejo z bolj enostavno konstrukcijo, z manjšim potrebnim prostorom in manjšo višino, z nižjimi investicijskimi izdatki, kakor tudi z nižjimi obratovalnimi in vzdrževalnimi stroški. Poleg tega pa še z manjšim ostankom  $\text{CO}_2$  v plinu.

Pri t. i. termični regeneraciji sit, s povišanjem temperatur na 250—320° C in z izplakovanjem s suhim plinom, se lahko doseže ostanek  $\text{CO}_2$  v plinu pod 10 ppm ( $\leq 0,001\%$ ), medtem ko pri MEA-postopku kvečjemu 0,05 %.

Rosišče, kot merilo za ostanek vlage ( $\text{H}_2\text{O}$ ) v plinu, znaša pri exo-plinu običajno —30° C, pri mono-plinu po MEA-postopku —50° C, pri aplikaciji molekularnih sit pa pod —65° C.

Zaradi ekstremne čistoče mono-plina pri termični regeneraciji molekularnih sit, ima le-ta do temperature 1100° C nevtralen značaj, brez razložitelne delovanja. Predstavlja torej univerzalen tip zaščitnega plina, idealen tudi za srednje in visokoogljikna jekla in to v pečeh vseh vrst in velikosti.

Ključ za njegovo uveljavitev pa leži v uspešni rešitvi vprašanja enostavne in cenene proizvodnje.

Druga rešitev: Vse večja poraba kisika in povečanje tako števila kot zmogljivosti kisikarn, posebno v železarnah, sta odlični možnosti za proizvodnjo monoplina iz odpadnega dušika kot cenene surovine.

Potrebni delež se v rafinacijskih napravah očisti na željeno stopnjo čistoče, ter pri ugodni zgoščeni lokaciji potrošnikov, lahko ena centralna plinska postaja, oskrbuje vse koristnike po razdelilnem plinovodnem omrežju. Torej nobene skrbi več s produkcijo plina po obratih!

Vemo, da v slučaju brezhibne, kovinsko čiste površine, tako vložka kot sten žarilnega kotla oz. komore, dušik z optimalno stopnjo čistoče, na običajnih temperaturah žarjenja zadostuje kot zaščitni plin za dosego svetle površine. Toda, ker je ta pogoj redkokdaj izpolnjen, je — kot nujno zlo — potrebno dodajati  $\text{N}_2$ -monoplino kot redukcijsko in čistilno komponento vodik ( $\text{H}_2$ ) v toliko večji meri, v kolikor jeklo po sestavi rajši oksidira, ostanki maziva pa težje hlapijo. Vodik namreč s hidriranjem cepi težke ogljikovodike v lažje hlapljive (bližje metanu), tako da jih zaščitni plin bolj uspešno odstranjuje s površine materiala.

Za žarjenje masovnega nizkoogljiknega jekla se smatra, da dodatek 2—8 % vol.  $\text{H}_2$  normalno ustreza. Pri vsebnosti 5 %  $\text{H}_2$ , ki bi bil primešan že v centralni rafinacijski postaji, bi imeli idealno varen standardni plin za distribucijo in uporabo.



Za žarjenje visokokvalitetnih ogljikovih in legiranih jekel je do nedavnega razkrojni plin amoniak, t. i. »AX« s 75 % H<sub>2</sub> in 25 % N<sub>2</sub>, kot glavni predstavnik endotermičnega tipa zaščitnih plinov, pomenil standardno zaščitno atmosfero, ali pa izhodiščno osnovo za njo. Posebno je to veljalo za Cr-Ni-jekla, ker je optimalno brez ogljikovih spojin, ter za dinamo- in trafo-trakove, zaradi močnega razogljivevalnega delovanja. Toda tudi to področje ni brez problemov.

Amoniak, kot razmeroma draga osnovna surovina, mora imeti čim manj vlage, da bi bilo rosišče razkrojnega plina čim nižje. Navadno je -30° C do -45° C. V plinu niso zaželeni niti sledovi nedisociranega amoniaka, zaradi nevarnosti nastanka trde nitridne prevleke na površini žarjenega materiala. Vendar dobavitelji ustreznih proizvodnih naprav<sup>6</sup> predvidevajo ostanek NH<sub>3</sub> v plinu v obsegu ca. 0,04 %.

Plin AX, kot endo-plini sploh, je vse prej kot prijeten in ugoden za manipulacijo. Eksploziven je in razmeroma varno uporaben le v konti-žarilnih pečeh, kjer je temperatura stalno nad 600° C.

Lastnosti mu določa — sorazmerno deležu — vodik kot prevladujoča in aktivna komponenta. Le-ta pa deluje kot dvorezen nož.

Kot že omenjeno, na eni strani koristi, ker reducira okside in čisti površino, kar je posebno važno pri svetlem žarjenju delikatnih Cr-Ni-jekel (npr. nerjaveče 18/8 %), na drugi strani, pa od temperature ca. 700° C navzgor, opravlja vse močnejše površinsko razogljivenje, posebno na jeklih z višjo vsebnostjo ogljika, po formuli  $C_{Fe} + 4H = CH_4$ .

To delovanje je koristno in zaželeno le pri razogljivevalnem žarjenju Dinamo- in Trafo-trakov na ca. 860° C, kjer se z dodatkom vlage povišuje rosišče plina na +20° C do +40° C.

Drugi negativni pojav je absorpcija vodika v jeklo, kar ima za posledico poslabšanje žilavosti.

Kot je znano, vodik lahko difundira samo v atomarnem stanju. Na temperaturah pod 300° C mora a priori biti v tem stanju, ali pa »in statu nascendi«. Toda na temperaturah nad 300° C lahko katalitični procesi na površini jekla prevedejo vodik iz molekularnega v atomarno stanje in disocirani atomi H deloma difundirajo v jeklo.

#### Vplivni faktorji:

a) **POVRŠINA:** Poseg na meje zrn z rjo, oksidacijo, jedkanjem, brušenjem in poliranjem povečuje H-absorpcijo. Na poliranih površinah difundira več H!

b) **KEMIČNI SESTAV IN STRUKTURA:** Cr in Si zmanjšujeta absorpcijo; elementi pa, ki tvorijo hidride: C, P, S, As, Se, Sb in Pb s katalitičnim delovanjem, bistveno povečujejo absorpcijo. Nizkoogljična jekla absorbirajo manj kot visokoogljična. Tudi avstenitna so manj občutljiva kot martenzitna.

c) **HLADNA PREDELAVA:** Schumann in Erdmann — Jesnitzer, sta z raziskavami ugotovila, da z odvzemom A = 10—20 % absorpcija doseže maksimum ter da z nadaljnjo hladno predelavo pade na nižje vrednosti kot v začetnem stanju pred hladno predelavo.

Torej za žarjenje jekel in izdelkov, občutljivih za kvarni vpliv vodika, je umestno vsebnost vodika v zaščitnem plinu ustrezno zmanjšati. Ravno tako v vseh fazah žarilnega procesa in v zonah žarilnih prog, kjer so temperature lahko pod 600° C, kontakt z zrakom pa je mogoč (nevarnost eksplozije!).

To se dosega z naknadnim zgorevanjem odvečnega dela vodika v AX-plinu, tako da njegova vsebnost v novomodificiranem plinu znaša po želji od 0,5 % do 30 % H<sub>2</sub>.

Ta postopek pa je z ekonomske strani zelo neracionalen! Poleg delne potrate dragega plina, pridejo še dodatni stroški za čiščenje od vlage, ki je produkt tega delnega zgorevanja vodika, da bi rosišče plina ostalo na dopustni višini.

Zato bo sedaj v marsikaterih primerih, odvisno od dopustnega ostanka ogljikovih spojin: CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, bolj ustrezala uporaba mono-pilna, vrste NX z 0,5 % do 15 % H<sub>2</sub>, ali pa vrste HNX z 1 % do 25 % H<sub>2</sub>.

Če je odpadni dušik na razpolago, potem je — kot že omenjeno — optimalna surovina za izdelavo zaščitnega plina! Pri rafinaciji npr.: na bazi amoniaka, se istočasno ustvarja in dodaja vodikova komponenta v željenem iznosu.

Če pa je produkcija dodatnega vodika neodvisna, v posebni napravi na principu elektrolize vode, potem je pogoj za njegovo čistočo voda brez sledov klora in ogljikovega dioksida (CO<sub>2</sub>), kar v industrijsko razvitih deželah ni lahka zahteva!

Od plemenitih plinov se sedaj v metalurški porabi najbolj uveljavlja argon. Toda za svetlo žarjenje, brez pojava površinskega razogljivenja, mora biti izredno čist. Tem bolj, čim bolj je jeklo nagnjeno k oksidaciji in površinskemu razogljivenju. Komercialni argon tehnične čistoče 99,95 % je nezanesljiv!

Že več desetletij je znana resnica, da najmanjši sledovi primesi CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O, v sicer nevtralnih plinih, povzročajo dekarbonizacijo!

Torej optimalna čistoča, brez škodljivih primesi, je brezpogojna značilnost vseh brezhibnih zaščitnih atmosfer za svetlo žarjenje. Sodobne proizvodne naprave in postopki omogočajo realizacijo ustrezne stopnje čistoče, analitične metode pa kontrolo in eksaktno količinsko določanje primesi tudi v najmanjših sledovih.

V nadaljevanju je navedeno nekaj primerov visoke stopnje čistoče:

Argon železarne Jesenice, kvaliteta A, ima optimalno čistočo 99,9995 %. Torej skupno primesi 5 ppm, od tega kisik 0,2 ppmO<sub>2</sub>.

Standardna srednja čistoča prodajnega argona pa znaša 99,99 %.

Dušik železarnice Jesenice ima optimalno čistočo 99,9995 %. Pri tem znašajo »nečistoče« skupno 5 ppm.

Specialno čiščen razkrojni plin amoniaka AX za svetlo žarjenje občutljivih Cr-Ni-jekel (naprava tvrdke Ebner — Industrieofenbau) ima primese največ:

$< 0,0003 \text{ CO}_2 \%$   $< 0,0001 \text{ O}_2 \%$   
rosišče  $< -65^\circ \text{C}$ .

NB! Ostanek kisika pa je splošno pri vseh zaščitnih plinih pod 1 ppm ( $\leq 0,0001 \%$  O<sub>2</sub>).

Razumljivo, da z dviganjem stopnje čistoče, krepko rastejo tudi proizvodni stroški in cena zaščitnega plina. Zato optimalna rešitev za vsak konkreten primer, upošteva ta ekonomski moment.

### APLIKACIJA VISOKEGA VAKUUMA

Iz bežno prikazanega stanja je razvidno, da je še edina radikalna razvojna prvina na tem področju možna na principu odsotnosti kakršnekoli atmosfere pri žarjenju ali termičnem procesu, torej postopek v vakuumu.

Misel ni nova in je, kot že rečeno, delno izkoriščena pri ohlajevanju v kotlih sistema BBC — Grünwald. Toda sodobne zahteve so mnogo večje in stremijo k optimalnemu vakuumu.

Razmah termičnih postopkov v visokem vakuumu, iz laboratorijskih okvirov v industrijske razmere, je prvič nastal v ZDA neločljivo združen z razvojem nuklearne in raketne tehnike.

Namreč, tukaj se neobhodne »eksotične« kovine, npr. titan, cirkon in razne njihove legure, dajo brezhibno termično obdelati le v vakuumu. Po navedbah v literaturi<sup>7</sup> tvrdka Titanium Metals Corp., Toronto, Ohio, je leta 1966 razpolagala s konti-vakuum-progo za žarjenje titanovih trakov širine do 1200 mm.

Po obdobju omejenosti samo na to specialno področje, prodira vakuum-postopek v zadnjih letih v ZDA tudi v termično obdelavo specialnih nerjavnih jekel, orodja, utopov in matric, kakor tudi v procese sintranja, kjer kljub višjim stroškom obdelave uspešno tekmuje z dosedanjo običajno, pretežno vodikovo zaščitno atmosfero. Prednosti bom kasneje omenil.

Neodvisno od razvoja v ZDA in na drugem, bolj vsakdanjem področju žarilne tehnike, je startal visoki vakuum v Evropi. Nositeljice napredka so bile zopet znane električne globinske peči z visečimi kotli tipa BBC-Grünwald. Pionir pa je bila tvrdka dr. Werner Herdieckerhoff, Unna, Zahodna Nemčija<sup>8</sup>.

Prvi patent iz leta 1952 je predvideval vakuum samo v kotlu. Ta rešitev je lahko še sedaj interesantna za žarilnice, ki razpolagajo že z globinskimi pečmi normalne izvedbe, s temperaturo žarjenja pa ne gredo čez 700°C. Le, da za preprečitev

implozije, morajo kotli biti močnejše konstrukcije, specialno oblikovani iz debelejšje pločevine, kar pa z ozirom na slabo toplotno prevodnost Cr-Ni pločevine, ni ravno ugodno.

Drugi patent iz leta 1956, je že vseboval obojestranski vakuum, v peči in v kotlu. Razbremenjeni kotli lahko ostanejo iste debeline kot doslej, toda peči morajo biti drugačne in neprodušne konstruirane. Ker se tukaj atmosferski pritisk prenosi na zunanji mrzli plašč peči, lahko temperature žarjenja dosežejo do ca. 1100°C brez nevarnosti implozije kotlov, tudi pri največji velikosti.

Kot je znano, se vakuum kot recipročna veličina označuje z odgovarjajočo višino preostalega tlaka. Ta pa se običajno izraža v Torrih (1 Torr = 1 mm Hg-stebra), ali v mikronih (1 Mikron =  $10^{-3}$  Torr =  $10^{-6}$  m Hg-stebra). Torej 1000 mikronov = 1 Torr; 760 Torrov = 1 Atmosfera.

Praktični postopek pri žarjenju v globinskih pečeh na principu obojestranskega vakuuma bi bil sledeč: po vložitvi šaržiranega kotla v peč, se s sistemom črpalk začne vzporedna evakuacija pečnega prostora in kotla. Tlak v pečnem prostoru se navadno zniža na ca. 10 Torrov. Ustrezni vakuum v kotlu pa je odvisen od kvalitete in specifičnosti vložka za žarjenje, kar določa tudi sestavo črpalnega sistema.

Za časa žarjenja črpalke držijo vakuum na postavljeni višini. Eventuelno začetno splakovanje in neizogibno polnjenje kotla z zaščitnim plinom po končanem žarjenju, se vrši z dušikom ali z argonom najboljše kvalitete (najvišje čistoče). Dokler se kotel polni z inertnim plinom, se pečni prostor vzporedno polni z zrakom. Ko tlak obojestransko doseže višino zunanje atmosfere, se kotel hermetično zapre in dvigne iz peči.

### STOPNJE VAKUUMA ZA POSAMEZNE ŽARILNE NALOGE IN USTREZNI ČRPALNI AGREGATI

V nadaljevanju na kratko podajam pregled ustreznih stopenj vakuuma in črpalnih agregatov, kakor tudi uporabnega plina za polnjenje, odvisno od kvalitete in specifičnosti žarjenega materiala:

- 1) 50—100 Mikronov (0,5 do  $1 \times 10^{-1}$  Torr):

Sedaj standarden vakuum za nizkoogljikova jekla, pa tudi za ogljikova jekla, če se glede dekarbonizacije in izgleda površine, ne postavlja vrhunске zahteve. Daje tudi dobre rezultate pri termični obdelavi Cr-Ni jekel in legur s čim večjo vsebnostjo niklja (npr.: Cr/Ni-legura 20/80). V večini primerov ustreza za žarjenje stiskanih (»prešanih«) delov iz Cr-Ni-materiala pod pogojem, da imajo čisto površino, oziroma da je uporabljeno mazivo lahko hlapljivo.

Za vakuum te stopnje služijo mehanične črpalke (Drehkolbenpumpen, Sperrschieberpumpen).



2) ca. 10 Mikronov ( $1 \times 10^{-2}$  Torr):

Uspešno zadovoljuje povečane zahteve glede brezhibne sijajno-svetle površine in odsotnosti površinske dekarbonizacije pri občutljivih visokogljivičnih in legiranih jeklih, npr.: za šivanke, za iglaste in kroglične ležaje in drugo. Popolnoma ustreza za avstenitna Cr-Ni-jekla, tudi za težavno nerjavno kvaliteto 18/8, če stabilizacija ni izvršena s titanom in če je predhodno površina materiala očiščena od ostankov maziva.

Za vakuum te stopnje uporabljajo kombinacije mehaničnih črpalk z Root-ventrili.

3) ca. 1 Mikron ( $1 \times 10^{-3}$  Torr)

Za vrhunske zahteve v pogledu čistoče in izgleda površine specialnih, občutljivih izdelkov, fine žice, kapilarnih cevi (za injekcijske igle) in drugo, iz plemenitih jekel in raznih legur, kakor tudi pri posebnih težavah s kvaliteto Cr-Ni 18/8.

Ta visoki vakuum je skrajni domet, ki se — v odvisnosti od dimenzij in dolžine spojnih cevovodov — še da doseči s kombinacijo mehaničnih črpalk z Root-ventrili. Drugače že od te stopnje naprej črpalni sistem potrebuje dodatno še difuzijske črpalke, kar ga občutno podražuje.

4) 0,1 do 0,01 Mikron ( $1 \times 10^{-4}$  do  $10^{-5}$  Torr):

Vrhunska stopnja vakuuma v industrijskem merilu. Uporablja se v specialnih pečeh za žarjenje čistega titana, titanovih in cirkonovih legur, Cr-jekel in drugih specialnih kovin.

Za realizacijo tega vakuuma uporabljajo kombinacije raznih mehaničnih črpalk z difuzijskimi črpalkami.

Po mnenju Amerikancev ni pametno delati z višjim vakuumom kot je za konkretni primer ustrezen. Razen tega da je obratovanje dražje, lahko tudi škoduje. Nekatere kovine sublimirajo kot plini že pri razmeroma nizkih vakuumih. Tako npr.: previsoki vakuum brez kompenzacijskega polnjenja z argonom, lahko potegne krom iz marikaterega z njim legiranega jekla.

**POLNILNI PLINI**

1.) Titan, kakor tudi legure titana in cirkona se žarijo in tudi hladijo v vakuumu. Torej tudi pri ohlajevanju ni polnjenja z inertnim plinom! Iz tega sledi, da za termično obdelavo te skupine kovin ustrezajo le peči posebne konstrukcije.

2.) Argon ustreza za vsa avstenitna Cr-Ni-jekla. Idealen inertni plin je tudi za vsa ostala jekla in legure, ter se z njim vedno dosega optimalna sijajna površina žarjenega materiala. Le relativno visoka cena argona omejuje njegovo uporabo bolj na materiale višje vrednosti.

3.) Dušik se predvsem uporablja za vsa mehka in ogljična jekla. Tudi za valjano Cr-Ni-žico. Menijo, da daje površini materiala bolj moten blesk kot argon. NB! Vsi polnilni plini morajo imeti najvišjo stopnjo čistoče!

Pri polnjenju kotlov s plinom na koncu žarjenja, za prenos iz globinske peči v hladilno jamo, je treba imeti na umu, da poraba plina računajoč v Nm<sup>3</sup> pri 0° C, znaša v odvisnosti od žarilne temperature le delež preostalega praznega prostora v kotlu, šaržiranega z žico ali trakovi. Če tega označimo z Vo, znaša potrebna kubatura plina Vn:

a) pri temp. žarjenja 700° C:  $V_n = 28 \% V_o$

b) pri temp. žarjenja 1150° C:  $V_n = 19,2 \% V_o$

Ovisno od obsega produkcije, v nekaterih primerih zadošča nabava polnilnega inertnega plina v jeklenkah!

Aplikacija obojestranskega vakuuma ni ostala omejena samo na globinske peči z visečimi kotli. Sedaj je razširjena tudi na druge tipe peči: zvonaste peči normalne in nadglavne izvedbe, horizontalne retortne peči za žarjenje tenkostenskih cevi in drugo.

Nimamo pa podatkov, da bi tudi v Evropi obratovale konti-peči na principu visokega vakuuma.

**ZNAČILNOSTI ŽARJENJA V VISOKEM VAKUUMU**

## 1.) POVRŠINSKI UCINEK:

Največja odlika vakuum-žarjenja je optimalno svetla in čista površina žarjenega materiala, nespremenjena v vsakem pogledu, ker ni nobenih površinskih reakcij, ki bi jo spremenile ali vplivale na material.

Toda poudariti je treba, da je pogoj za zanesljivo 100 % realizacijo te odlike, kovinsko čista in suha površina tako vložnega materiala kot sten recipienta oz. kotla, ter njegova brezhibna neprodušnost.

To pomeni, da bi bilo treba material pred žarjenjem razmastiti oz. očistiti, kar v proizvodni praksi ni razveseljiva zahteva, ker vsaka dodatna delovna operacija nekaj stane in bi bili dodatni stroški upravičljivi kvečjemu pri žarjenju visokovrednega materiala.

Normalno torej pride material na žarjenje, ki ima na površini ostanke maziva od vlečenja, valjanja ali stiskanja in s tem nastopa faktor, ki odvisno od obnašanja in lastnosti maziva, občutno vpliva na površinski učinek vakuum-žarjenja.

Vedeti je treba, da je evakuiranje najbolj učinkovit način za odstranitev ostankov mazivnih sredstev, kot tudi obstoječe atmosfere iz kotla. To je bolj učinkovito kot še tako radikalno izplakovanje z zaščitnimi plini, toda čudežev ne more delati! Tudi vakuum odstrani lahko le hlape.

S tega vidika lahko klasificiramo maziva v tri skupine:

a) Maziva, ki se praktično ne razkrajajo (Krackfrei) in na povišanih temperaturah popolno izhlapevajo oz. se uplinjajo. Zaželjeno je, da je temperatura v začetku izhlapevanja čim nižja. To je najbolj ugodna vrsta maziv, brez kakršnegakoli

negativnega vpliva na površino. Učinek je podoben tistemu pri predhodno razmaščeni in očiščeni površini vložnega materiala.

b) Maziva, ki na določeni temperaturi sicer popolnoma izhlapevajo, toda s povečano temperaturo do razkrojne točke (Crackpoint), se začnejo razkrajati. Navadno se vse dogaja v temperaturnem področju do ca. 400° C. Za uspešen rezultat tudi s temi mazivi, je treba skrbno voditi ustrezen temperaturni režim pri segrevanju šarže v kotlu. Nobena točka na površini šarže namreč ne sme doseči razkrojno temperaturo, preden najbolj mrzla mesta v notranjosti šarže niso že dosegla temperaturo izhlapevanja, in mazivo še ni imelo časa, da popolnoma izhlapi. Iz tega razloga je zaželen čim večji temperaturni interval med točko izhlapevanja in točko razkroja določenega maziva.

c) Maziva, ki so glede na svoj sestav in dodatke podvržena neizogibnemu razkroju na povišani temperaturi, ter le delno izhlapevajo. Ostanek na površini materiala lahko pri nadaljnjem povečanju temperature stopa v kemijsko reakcijo z osnovnim materialom, ter poleg umazanosti površine nastane eventualno še oksidacija in razogljivenje. To je npr. možno pri stearatih za vlečenje žice z dodatki kovinskih oksidov, ki se na visokih temperaturah v vakuumu razkrajajo in osvobajajo kisik.

Če so bila zaradi odličnih mazilnih lastnosti pri hladni predelavi uporabljena takšna maziva, je priporočljivo pred termičnim procesom material razmastiti.

Zanimivo je to, da povišanje vakuumu deluje kompenzativno na negativne površinske vplive, kar pojasnjuje preje navedeno razpredelnico vakuumskih stopenj: čim bolj so jekla občutljiva za oksidacijo ali razogljivenje, ter čim lepšo površino želimo, tem višja je stopnja ustreznega vakuumu.

## 2.) TERMOTEHNIČNI UČINEK:

Ker pri žarjenju v obojestranskem vakuumu ni nobene atmosfere, niti v pečnem prostoru niti v kotlu, torej nobenega konvekcijskega medija, se prenos toplote vrši izključno samo z žarčenjem. To ima tako dobro, kakor tudi slabo stran.

Velika prednost je v tem, da je temperatura vzdolž stebra šaržiranega vložka v kotlu, v istem času na analognih mestih popolnoma enaka. Namreč pri običajnem žarjenju v globinskih in zvonastih pečeh, zrak v pečnem prostoru s segrevanjem sili navzgor in konvektivno povečuje segrevanje kotla pri vrhu, kjer so zaradi tega vedno višje temperature.

Za mnoge žarilne naloge, pa je optimalna točnost in enakomernost dosežene temperature v vsej šarži, pogoj za uspeh.

Npr.: za kvalitetno modrenje jeklene žice in trakov v kolobarjih na 300° C, ali pa za globularno perlitno žarjenje jekla na temperaturi 680—710° C,

kjer točnost temperature daje v prvem primeru enakomeren moder barvni ton v vsej šarži, v drugem pa optimalno enakomerno globularno strukturo in enake mehanske lastnosti. Tudi za brezhibno žarjenje najfinejše žice velja isto.

Slaba stran pa je to, da je do ca. 600° C prenos toplote s konvekcijo daleč bolj učinkovit kot z žarčenjem, ki šele s povišanjem temperature od 600° C naprej, vedno bolj prihaja do veljave.

Posledica segrevanja samo z žarčenjem na nizkih temperaturah, je občutno podaljšan čas žarjenja, posebno pri težjih šaržah kolobarjev hladno valjanih trakov, kar negativno vpliva na produktivnost in ekonomičnost.

Rešitev problema nudi naslednja kombinacija: začetek žarjenja do temperature ca. 400° C je potrebno izvesti v ustreznem vakuumu, tako da se ostanke maziv, nečistoče in drugo, odstrani v maksimalni meri. Potem se vakuum v pečnem prostoru vzdržuje še nadalje, dokler se kotel oz. recipient polni z ustreznim inertnim plinom, dušikom ali argonom in tega spravi v cirkulacijo. S tem se poleg ojačanega prenosa toplote doseže tudi enakomernost temperature po višini šarže. Ker ni izgub, je poraba plina ekonomična, ravno kot pri polnjenju na koncu žarilnega procesa v vakuumu.

Visoki vakuum, kot zadnje možno elementarno sredstvo za ohranitev svetle in intaktne površine kovin pri termičnih postopkih na visokih temperaturah, je na pohodu. Osvaja žarilnice, vendar iz konstrukcijskih in ekonomskih razlogov ni verjetno, da bo dobil splošen značaj in izključno aplikacijo. V smotrni kombinaciji, predvsem z inertnimi pilni pa predstavlja velik napredek v žarilni tehniki, ki prinaša nove možnosti in odlično rešuje marsikatere probleme in proizvodne naloge.

Omenimo nekatere in ponovno poudarimo, da je pogoj za zanesljiv popoln uspeh kovinsko čista površina vložka in recipienta (kotla, komore), ali pa da je uporabljeno mazivo totalno in lahko hlapljivo. Sem lahko štejemo še kvalitetne oljne emulzije in raztopine ustreznih sintetičnih sredstev za svetlo mokro vlečenje žice.

a) Zaradi optimalno čiste in svetle površine ni potrebno po vmesnem žarjenju za nadaljnje vlečenje lužiti nobene žice, tudi Cr-Ni kvalitete in žice za armirano steklo ne.

b) Ravno tako ni potrebno po končanem žarjenju lužiti material pred površinsko obdelavo. Luženje kot nadležna začetna faza pocinkanja, pokositrenja in posvinčenja odpade.

c) Svetlo-mokro vlečena pobakrena žica pri žarjenju v vakuumu na temperaturah do 620° C zadrži nespremenjen sijaj bakrene prevleke.

d) Visoko kvalitetno modrenje žice in hladno valjanih trakov, namesto v dragem konti-postopku, se lahko izvede v normalno navitih kolobarjih. Pod vakuumom se temperatura dvigne do ca 400° C, da zanesljivo izhlapijo in bodo evakuirani ostanki maziva, potem se temperatura šarže zniža in izenači na 300° C in v kotel spusti kisik (čist).

e) Po končanem žarjenju izdelkov iz avstenitnih Cr-Ni-kvalitet v ustrezni stopnji vakuuma, ostane površina kovinsko čista in svetla, da je naknadno luženje odveč. Uspeh se doseže toliko lažje, kolikor večja je vsebnost niklja. Pri tem je treba omeniti: običajen standarden postopek za žarjenje avstenitnih Cr-Ni-jekel v praksi, je »gašenje« s temperature ca. 1050° C v vodi ali v pišu mrzlega zraka. Navadno je temu priključeno luženje. Cilj tega hitrega ohlajevanja na čim nižjo temperaturo je, kot je znano, preprečiti nastanek krom-karbidov v jeklu in doseči brezhibno avstenitno strukturo. Dr. Herdieckerhoff pa upravičeno pripominja, da je ta metoda oblikovana v času, ko je normalna vsebnost ogljika v Cr-Ni-jeklih znašala 0,10—0,20 % C.

Pri sedanjih super čistih Cr-Ni-jeklih, z vsebnostjo 0,03 % C in manj, posebno še stabiliziranih s titanom, tantalom ali niobom, pa to vprašanje Cr-karbidov ni več tako velikega pomena. Posebno ne pri skupini ognjeodpornih jekel.

Pri tem je potrebno še upoštevati, da je izločanje Cr-karbidov intenzivno le na temperaturnem področju od 900° C do 800° C.

V primerih lažjih in ne preveč kompaktnih šarž, pa se hitro ohlajevanje do ca. 800° C, da doseči tudi pri normalnem postopku v kotlu.

V marsikaterih primerih bo torej žarjenje v vakuumu, kljub relativno počasnem segrevanju in hlajenju, dajalo tudi brezhibno strukturo poleg brezhibne površine. Velika prednost pa je v tem, da odpade naknadno luženje, kar je pri Cr-Ni-jeklih še večji problem kot pri ogljičnih in nizko-legiranih.

f) Defektno površino žice iz ogljičnih jekel, je z žarjenjem v vakuumu mogoče popraviti in ponovno narediti svetlo in sicer na 600° C, če površina kaže napustne barve od pomanjkljivega žarjenja in na 700° C, če je površina rjasta.

Tudi regeneracija zelene oksidirane površine žice trakov in pločevine iz Cr-Ni-jekel je mogoča na temperaturi ca. 1050° C in v vakuumu stopnje 10 do 1 Mikron.

Ta učinek na površini hladno predelanega materiala, se lahko pojasni z odkritjem dr. Herdieckerhoffa, ob priliki razvoja in preizkusov njegovih žarilnih naprav za obojestranski vakuum.

To je fenomen termičnega razkrojnega dekapiranja (Spaltbeize), ki bo v okviru tega prikaza le bežno orisan:

S segrevanjem mehke nizkoogljične (C = 0,05 odst.), kakor tudi Cr-Ni-visokolegirane vroče valjane žice na temperaturo 1050—1100° C v stalnem vakuumu od 100 mikronov, katerega je v posebnih primerih potrebno povečati do ca. 10 mikronov, ter z držanjem na tej temperaturi 60 do 90 minut, nastaja brez kakršnegakoli dodatnega redukativnega sredstva razkroj oziroma redukcija oksidne prevleke — škaje. Iz nje odhaja kisik in na površini žice ostaja mehka železna kožica srebrne

barve, ki je mikroporozna in odlično služi kot nosilec maziva pri naslednjem vlečenju, ko se po enem ali dveh vlekah izgubi.

S povečanjem vsebnosti ogljika pri jekleni žici, se ustrezna temperatura reakcije znižuje, tako da pri jeklu s ca 0,90 % C znaša nekaj nad 700° C.

Tvrdka dr. W. Herdieckerhoff, Unna, Zah. Nemčiji je ta svoj postopek razvila in patentirala. V industriji ga že uporabljajo, predvsem pri izdelavi visokovredne Cr-Ni-žice. Poraba el. energije znaša 250—300 kwh/1 tona žice. Pojav v celoti do sedaj še ni pojasnjen in tudi ni enotnega mišljenja o dejavnikih, ki so v njem udeleženi. Po eni tezi disociacija oksidov, ali kakšno izhlapevanje le-teh, z ozirom na temperaturo in višino vakuuma ne prihaja v poštev. Bistveno vlogo, da ima reakcija, ki je možna le v vakuumu in to je vezanje kisika iz oksidne prevleke z ogljikom iz osnovne kovine — jekla v plin CO, ki ga črpalni sistem evakuira iz kotla.

Dr. Herdieckerhoff pa ugovarja, da razkroj oksidne prevleke — škaje na valjani žici nastaja tudi pri kovinah (Cu) in pri legurah (Ni-Cr 80/20), ki praktično ne vsebujejo ogljika, ter tudi da pri jeklih ni možno ugotoviti dekarbonizacijo v iznosu, ki bi bil potreben za doseženo redukcijo škaje. Nedvomno pa ima vsebnost ogljika v jeklu v procesu vplivno vlogo, ker se s povečanjem vsebnosti C % zmanjšuje ustrezna temperatura.

Za vroče valjane trakove to razkrojno dekapiranje ni tako ugodno kot za žico. Preostala kožica se namreč ne odstranjuje kot pri vlečenju, temveč se pri valjanju deloma vtiskuje v površino traku in kviri izgled. Postopek je sprejemljiv v primerih, kjer izgled površine nima važne vloge.

Termični procesi in postopki, predvsem v visokem vakuumu, so bili obravnavani z aspekta uporabe v črni metalurgiji. Pomemben razmah aplikacije imajo tudi pri barvnih kovinah, posebno pri izdelkih iz bakra.

#### Literatura:

1. Dr. ing. A. Pomp u. dipl. ing. L. Walther: »Technologische Studien über das Blankglühen von Stahl im elektrischen Ofen«. Stahl und Eisen, 49 Jahrgang, No. 37/1929, stran 1329—1334.
2. Dipl. ing. T. Stassinot: »Elektrische Glühanlagen«. Stahl und Eisen, 49 Jahrgang, No. 42/1929, stran 1509—1518.
3. Ing. W. Minkler: »Neutrales oder inertes Schutzgas beim Blankglühen von Stahlband«. Blech, No. 1/1963.
4. Obering. W. Minkler: »Kohlenstofffreie künstliche Atmosphären«. Draht, No. 12/1968.
5. Ing. T. F. Kohlmeyer: »Neue Verfahren der Schutzgastechnik zur Erzeugung von Monogas mittels Molekularsieben«. Draht-Welt No. 6/1969.
6. Ebner, Industrieofenbau: Prospekt »Schutzgasanlagen«.
7. Prikaz »Vacuum treats the »common« Metals«, The Iron Age, August 25, 1966.
8. Dr. Werner Herdieckerhoff: razprave, referati, sporočila in prospekti.



## ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung der Kaltformgebung in der Metallurgie in erster Stelle des Drahtziehens ging in der Richtung das erzielte blanke Aussehen und die Oberflächenbeschaffenheit bei thermischen Verfahren bzw. beim Glühen so viel wie möglich unbeeinträchtigt zu erhalten.

Est entstand der Begriff von Blank oder Weissglühen. Im Laufe der Jahrhunderte hat sich das erste standard Verfahren entwickelt: Glühen in geschlossenen Kesseln, wo der übriggebliebene Raum mit Graugussspänen ausgefüllt war. Nach dem ersten Weltkrieg hat sich von den neuen Lösungen auf Grund der besten Ergebnisse in der Praxis das BBC-Grünwald Verfahren in elektrisch beheizten Tieföfen auf Grund des natürlichen Vakuums beim Abkühlen in hermetisch geschlossenen Kesseln durchgesetzt. Da das Changengewicht in diesem Ofentyp begrenzt war, ist mit dem schnellen Ansteigen des Bundgewichtes und des Bundausendurchmessers dringend zum Übergang auf neuere Ofentypen für allem die Haubenöfen gekommen.

Damit fing auch die Epoche der Schutzgasentwicklung an: die Anwendung der exothermen Schutzgase beim Glühen der niedriggekohlten Massenstähle und der endothermen, für die Kohlenstoffhaltigen und legierten Quali-

tätsstähle. Aus den im Artikel angegebenen Mangelhaftigkeiten der einen wie anderen im metallurgischen wie auch im betrieblichen Sinne, ist das Bestreben andere Lösungen zu suchen verständlich.

Es äussert sich in den Bemühungen mit Exoschutzgas ekonomisch Monogas zu erzeugen, welches sicher auch beim Glühen der Qualitätsstähle angewendet werden kann; in einer immer grösseren Produktion und Anwendung der inerten Gase; bei der gelegentlichen Ausbeutung des abfallenden Stickstoffes bei der Sauerstoffproduktion für entsprechend modifiziertes Schutzgas und in der Bemühung für einen hohen Reinheitsgrad aller Schutzgase.

Die Entwicklung und Anwendung des hohen Vakuums nach dem zweiten Weltkrieg, unabhängig auf verschiedenen Gebieten in USA und Europa, stellt den letzten elementaren Instrument beim Weiss bzw. Blankglühen dar, bei der Erzeugung einer unangreifbaren Oberfläche des Materials, bei den Thermischen Prozessen. Die günstigen und ungünstigen Eigenschaften des Hochvakuums sind angegeben. Vor allem die Wichtigkeit der sauberen Oberfläche, bzw. die Charakteristiken des angewendeten Schmiermittels. Eine optimale Lösung in jedem einzigen Fall, stellt jetzt aus dem technologischen und ekonomischen Gesichtspunkt, eine entsprechende Kombination der Glühverfahren und Mitteln dar.

## SUMMARY

Development of cold working in metal processing, especially in wire drawing, demands that bright surface of products must be retained as much as possible also after thermal treatment or annealing. Term «bright annealing» was defined. Development through centuries gave the first standard process: annealing in closed boxes where the residual space was filled with grey cast iron chippings. After the First World War the BBC — Grünwald process of annealing in electrically heated pit furnaces on the principle of «natural vacuum» with subsequent cooling in tight boxes was the most used in practice among the new solutions based on up-to-date achievements. The process was limited by the weight and dimensions of the batch but increased weights and dimensions of wire and strip coils demanded another furnace types, especially bell type furnaces.

This caused development of controlled atmospheres: application of exothermic gases in annealing low carbon steels for wide use, and endothermic gases for high carbon

and alloyed quality steels. As showed, both types of furnaces have disadvantages in metallurgical and operational viewpoint therefore the tendency towards new solutions is expected. It is expressed in the effort to obtain Mono-gas, safe and applicable also for high quality steels, by economical improving of the Exo-gas; in ever increasing use of inert gases; in occasional use of waste nitrogen from oxygen production for corresponding modified controlled atmospheres, and in effort for increased purity of all controlled atmospheres.

Development in application of high vacuum after the Second World War, independently in various regions in U.S.A. and Europe, gave another possibility to retain intact surface of material during the heat treatment by bright annealing. Advantages and disadvantages of the process are expressed. Especially important are the purity of the surface and the characteristics of the used lubricants. The optimal solution for each practical case represents technologically and economically corresponding combination of annealing processes and media.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие холодной переработки в металлургии, на первом плане в волочильном производстве проволоки, поставлено перед задачей задержать светлую наружность поверхности изделия не смотря на процесс термической обработки, т. е. после отжига поверхность должна остаться почти незатронутой. Получилось понятие светлого или белого отжига. В течении столетий возник первый стандартный способ отжига в закрытых котлах в которых пустое пространство было заполнено с отходами серого чугуна. После первой мировой войны, среди новых способов, на основании современных достижений в промышленности лучше всего оказался способ BBC - Grünwald в электро-нагревательном колоде, на принципе «природного вакуума», при охлаждении в герметически закрытых котлах. Вследствии весьма большой ограниченности что касается для тяжести и размер витков проволоки в этой конструкции печи, перешли на отжиг в другие агрегаты, на первом месте на копаковую печь. С этим фактором наступил период применения защитной атмосферы т. е. применение тепло отдающихся газов при отжиге низкоуглеродистой стали для широкого потребления и, эндотермических, для сталей с высоким содержанием углерода, также легированных сортах качественной стали.

На основании недостатков указанных при одном и другом способе что касается металлургической и промышленной стороны употребления, понятно стремление подыскать новые более успешные способы. Один из них состоит в усилении экзотермический газ, успешно и экономично переделать в моно-газ, надежного состава в применении также для сталей высокого качества. Следует всё чаще употребление инертных газов. Используется также азот как отход при производстве кислорода; его превращают в соответствующую модификацию защитного газа. В программе также выработка защитных газов чем высшей степени чистоты.

Развитие применения высокого вакуума после второй всемирной войны, независимо на разных пределах С. Ш. Америки и Европы, принесло светлому или белому отжигу также последнее элементарное средство для получения чистой, незатронутой поверхности материала при термических процессах. Приведены его положительные и отрицательные стороны. Главное значение имеет в особенности чистота поверхности которая зависит от свойств смазочного средства. Оптимальное решение для каждого конкретного случая представляет теперь с технологической и экономической точки зрения соответствующая комбинация способов отжига и средств.

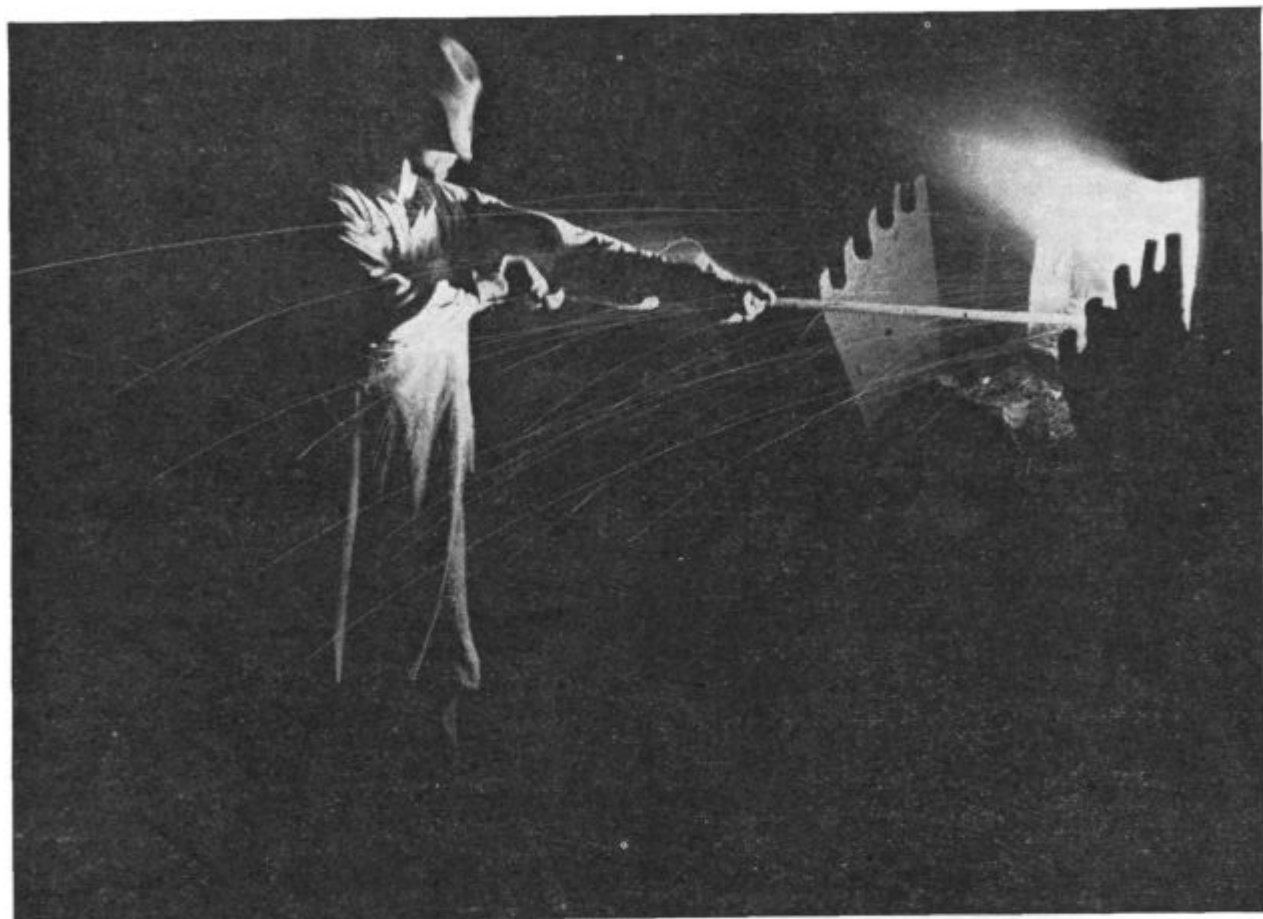
---

**Svinčeva jekla nova možnost  
za povečano produktivnost obdelovalnih strojev**

---

**Svinčeva jekla, nov proizvod  
ZPSŽ-ŽELEZARNE JESENICE**

---



---

**Svinčeva avtomatska jekla  
ATJ 100 Pb**

---

**Svinčeva konstrukcijska jekla**  
– ogljikova  
– nizko legirana

---

**Vsako jeklo lahko legiramo s svincem!**

---



## Lastnosti hitroreznih jekel in analiza vzdržnosti orodij

Preiskavam orodnih jekel so še zmerom postavljene precejšnje omejitve zaradi težavnosti izdelave prob in samih orodij. Posebej velja to za hitrorezna jekla. Zato se za dve od največ uporabljenih vrst hitroreznih jekel podaja nekaj najnovejših ugotovitev, ki lahko koristijo pri toplotni obdelavi in spreminjanju kemijske sestave. Posebej se prikazuje tudi analiza vzdržnosti orodij s pomočjo njihove trdote in žilavosti. Na osnovi analize se ustvari krivulja relativne vzdržnosti za nekaj različnih pogojev mehanske obdelave, vključno pri visoki temperaturi. Iz izvajanj je razvidno, da je za izboljšanje kvalitete orodij, za izbiro ustrežnejših jekel treba izdelovati jeklo zmerom v analiznih mejah, da ga je treba skrbno toplotno obdelati in da se morajo dobro poznati njegova trdota, žilavost in po možnosti trdota v vročem. Poudarek je tudi na zasledovanju vzdržnosti orodij, kajti le tako da je možno skonstruirati smerno krivuljo relativne vzdržnosti samo na osnovi znanih trdot in žilavosti.

žanje trdnosti se začne pri nižji kalilni temperaturi, če je vsebnost ogljika povišana. Tudi plastično upogibno delo je pri probah, kaljenih z višje temperature manjše, toda veliko hitreje pada z zviševanjem temperature kaljenja pri probah z nižjim ogljikom, kot pri probah z višjim ogljikom (sl. 1).

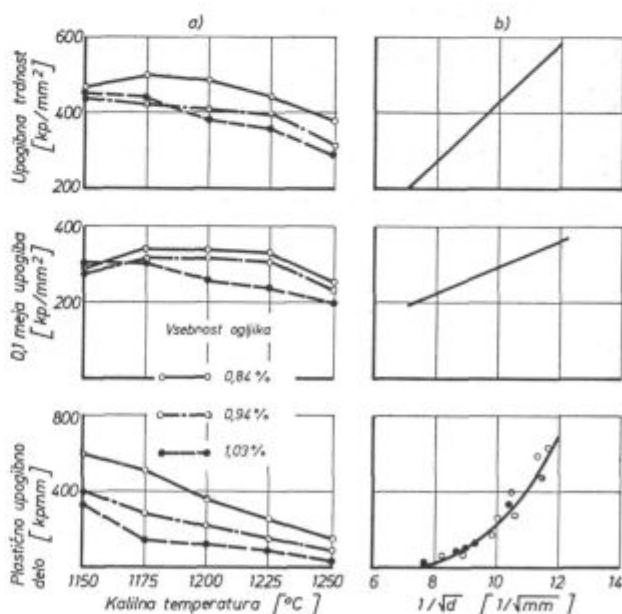
Mehanske lastnosti so močno odvisne od velikosti avstenitnega zrna, zato so na sliki 1b prikazane mehanske lastnosti prob v odvisnosti od recipročne vrednosti kvadratnega korena premera zrna, izraženega v milimetrih. Za upogibno trdnost so dobili znano ravnočrtno odvisnost, podobno tudi za upogibno mejo 0,1, medtem ko se plastično upogibno delo ne obnaša po tej zakonitosti. Pomembno pri vsem tem je, da na mehanske lastnosti vsebnost ogljika ne vpliva, v kolikor kalimo probe na enako velikost zrna.

Vpliv zadržanega avstenita na 0,1 upogibno mejo je viden iz slike 2. Meja 0,1 pada z večjo vsebnostjo zadržanega avstenita, vendar ni videti posebnega vpliva vsebnosti ogljika. Preizkušali so

### VPLIV TOPLTNE OBDELAVE IN SPREMEMB KEMIJSKE SESTAVE NA MEHANSKE LASTNOSTI TER REZILNOST ORODJA IZ JEKLA TIPA 6-5-2, KI USTREZA JEKLU BRM 2 (Č. 7680)

S poskusi statičnega upogiba so pri hitroreznih jeklih ugotovili, da mehanske lastnosti pri povečevanju vsebnosti ogljika niso odvisne samo od vsebnosti ogljika temveč tudi od velikosti avstenitnega zrna in količine zadržanega avstenita. Vpliv samega ogljika je pravzaprav težko določiti, čeprav se seveda lahko računa na manjše plastično upogibno delo pri jeklih z večjo vsebnostjo ogljika. Rezilna zmožnost orodij iz hitroreznih jekel molibdenovega ali kobaltovega tipa se zveča z zvišanjem vsebnosti ogljika predvsem tedaj, ko so trdota v vročem, popuščna obstojnost in obrabna obstojnost ustrezne obremenitvam. Za obdelavo, pri kateri nastopajo udarci, imajo orodja iz jekel z višjim ogljikom samo tedaj prednost, kadar se zagotovi z ustrežno toplotno obdelavo zadostna žilavost.

S statičnim upogibnim preizkusom so ugotovili pri jeklu BRM 2, da se z zviševanjem kalilne temperature orodij trdnost in meja 0,1 tembolj zmanjšujeta, čimvečja je vsebnost ogljika in tudi zni-

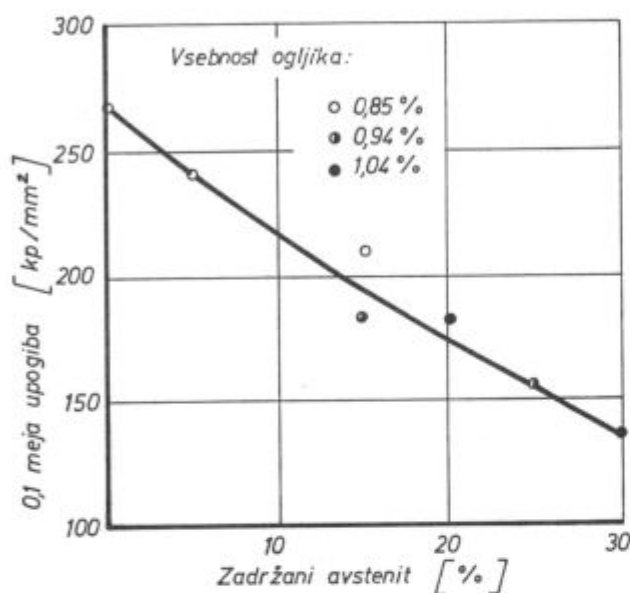


Slika 1  
 Upogibne lastnosti jekla BRM 2, ki ima različne vsebnosti ogljika in je popuščeno 2 × 1 h na 550° C.  
 a) Vpliv kalilne temperature, b) Vpliv velikosti avstenitnega zrna (d = srednji premer zrna).

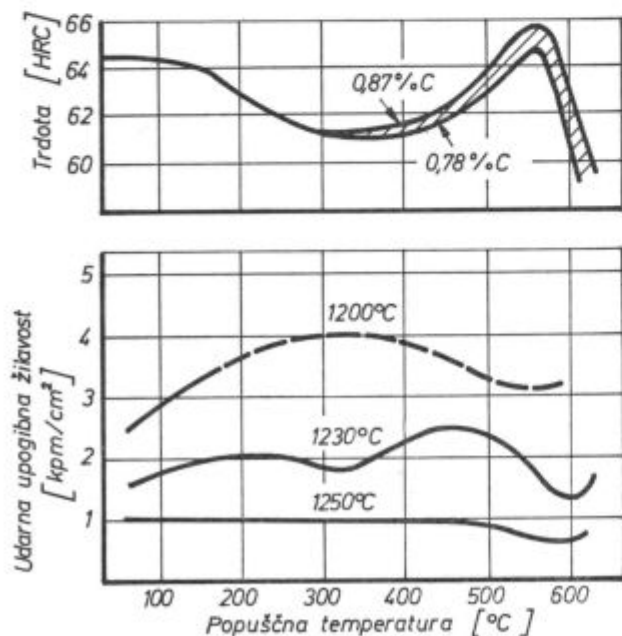
probe jekla S 6-5-2-5, ustreza BRCMo (Č.9780), ki so se popuščale na temperaturo pod vrhom sekundarne trdote (1).

Vpliva ogljika ni lahko določiti, ker je veliko drugih vplivov (tudi izceje), toda pri navadni toplotni obdelavi je višjeogljivično hitrorežno jeklo krhkejše od nižjeogljivičnega.

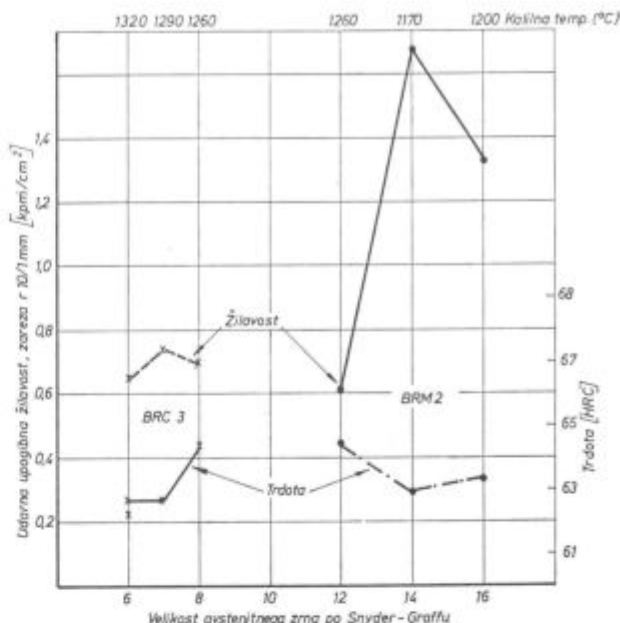
Iz slike 3 je jasno razvidno kako ugoden je vpliv zvišanja vsebnosti ogljika na trdoto po popuščanju in kako močno je žilavost orodij odvisna od toplotne obdelave. Za kvalitetno orodje naj ne



Slika 2  
Odvisnost 0,1 upogibne meje od količine zadržanega avstenita v jeklu BRM 2 z dodatkom 5% Co.



Slika 3  
Trdota BRM 2 (avstenitizirano 2,5 min na 1230° C, popuščano 2 h). Žilavost merjena na probah 8 × 10 × 55 mm



Slika 4  
Odvisnost žilavosti in trdote od velikosti avstenitnega zrna pri jeklih BRC 3 (Č. 9682) in BRM 2 (Č. 7680). Popuščano 2 × 1 h na 560° C.

bodo odstopanja vsebnosti ogljika v raznih talinah večja od 0,05 % C. Vsebnost ogljika nikakor ne sme pasti pod spodnjo analizo mejo. Orodja z vsebnostjo ogljika pod 0,75 % C se zelo težko toplotno obdelujejo, težko se dosega sekundarna trdota. Pri jeklih z višjim ogljikom je zelo primeren dodatek 5 do 10 % kobalta, ker se lahko dviga kalilna temperatura (če ni prevelika vsebnost vanadija, to je, če ga je manj kot 3 %) in se lahko doseže velika trdnost, ki je pomembna predvsem pri rezilnih orodjih. Kobaltova jekla so zelo trda v vročem, zelo trdna, toda tudi zelo krhka, kljub drobnejšemu avstenitnemu zrnu kot ga ima BRM 2 (sl. 4).

Vpliv toplotne obdelave na stisno trdnost in obrabno obstojnost hitroreznih jekel je tudi izredno velik. Tlačna trdnost je pomembna predvsem pri orodjih kot so trni pri hladnem stiskanju. Jeklo se mora kaliti z visoke temperature, da se dobi trda osnovna masa. Casovna dinamična trdnost se z zvišanjem kalilne temperature dvigne na 300 kp/mm<sup>2</sup>, čeprav se zvečata zrno in količina zadržanega avstenita.

Obrabna obstojnost je močno odvisna od kemijske sestave in toplotne obdelave jekla iz katerega je orodje. Najbolj obrabno obstojno je orodje popuščano na 550 do 600° C, vendar je po takšnem popuščanju žilavost minimalna. Z zvišanjem vsebnosti ogljika in ustreznim znižanjem kalilne temperature se močno zvečata tako žilavost in trdota kot tudi obrabna obstojnost orodij (2).

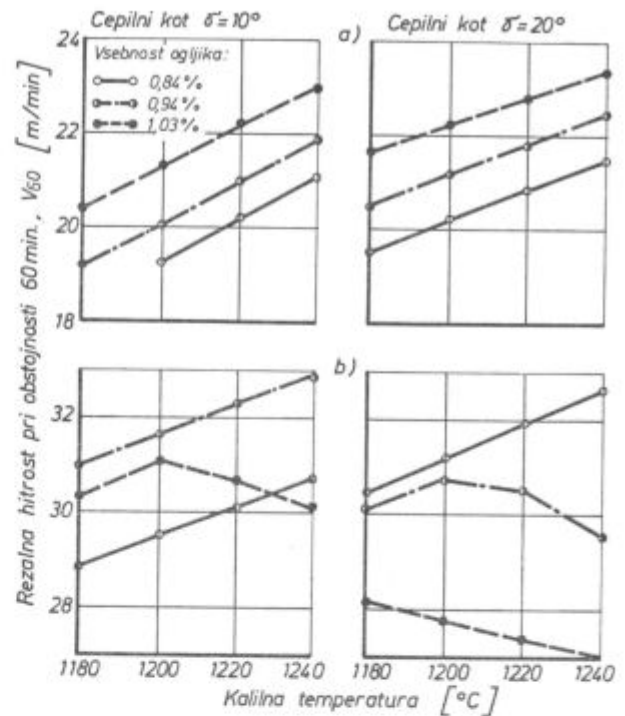
Preiskovali so tudi rezilnost orodij iz BRM 2 z različnimi vsebnostmi ogljika. Na sliki 5 je prikazana rezilna zmožnost strgarskih nožev v odvis-

nosti od kalilne temperature. Obravnava pa se obenem tudi vpliv ostrine rezila (s cepilnim kotom gama) na obnašanje, ker je pri kotih 10 do 20° žilavost rezine zelo pomembna za rezilnost strgarskih nožev.

Pri neprekinjenem preizkusu so ugotovili, da večji cepilni kot na ostrini orodja in večja vsebnost ogljika v jeklu orodja ter višja kalilna temperatura podpirajo večjo rezilno obstojnost orodja. Pri danih preizkusnih pogojih določata rezilnost orodja veliko bolj popuščna obstojnost in trdota v vročem kot pa žilavost. Tudi jeklo z najvišjim ogljikom je zadosti žilavo, da se orodja izdelana iz njega ne porušijo, četudi so izdelana z velikimi cepilnimi koti. S preizkusi drugih hitroreznih jekel (npr. tipa 2-9-2) so ugotovili, da popuščna obstojnost v resnici določa rezilno sposobnost pri tekočem rezanju. To kažejo krivulje trdot po popuščanju, saj so podobne krivuljam rezilne zmožnosti. Največjo rezilno zmožnost kažejo noži, popuščeni tik nad popuščno temperaturo trdnega maksimuma. Zato vse, kar vpliva na popuščno obstojnost, vpliva tudi na rezilnost. V tem smislu torej delujeta na rezilnost zvišanje vsebnosti ogljika in zvišanje kalilne temperature.

Pri prekinjevanem struženju odločajo o rezilni zmožnosti drugi značilni pogoji. Pri cepilnem kotu noža 10° se lahko zvišuje hitrost rezanja s kalilno temperaturo samo tedaj, če je vsebnost ogljika, pri teh poskusnih pogojih 0,84 ali 0,94 % C. Nož iz jekla z najvišjo poskusno vsebnostjo ogljika ne vzdrži največ, temveč manj od noža z 0,94 % C, poleg tega se mu vzdržnost zmanjšuje z zvišanjem kalilne temperature nad 1200° C. Zvišanje cepilnega kota na 20° prinese večjo vzdržnost samo pri nožih z najmanjšo vsebnostjo ogljika. Noži iz jekla z največjo vsebnostjo ogljika imajo zelo majhno vzdržnost, če je rezilni kot 20° in z zviševanjem kalilne temperature se ta vzdržnost še zmanjšuje. Noži s srednjo vrednostjo ogljika pa imajo tudi majhno vzdržnost, če so ostrejši, vendar s kalilno temperaturo do 1200° C rezilnost raste, z višjo pa spet pada. Noži iz jekla z visoko vsebnostjo ogljika se prikažejo zelo dvomljive vrednosti pri prekinjevanem delu — kajti njihova rezilnost je majhna in še pada s kalilno temperaturo, podobno kot žilavost.

S prekinjevanim preizkusom so ugotovili na drugih jeklih, da je pri nizkoogljičnih popuščna obstojnost pomembnejša kot žilavost, ki ni popolnoma izkoriščena. To kažejo podobnosti popuščnih diagramov in diagramov rezilne zmožnosti, ter močno zvečanje rezilnosti, če so noži ostrejši. Pri višje ogljičnih jeklih je maksimum rezilnosti pri višjih popuščnih temperaturah in dobra rezilnost je tedaj, če se s tem popuščanjem zviša žilavost. Posebej so obravnavali rezilnost orodij, ki so imela različno vsebnost ogljika in še dodatke kobalta. Preizkušali so na čas temperaturne obstojnosti, to je rezilno obstojnost za jeklo tipa 6-5-2-5. Slika 6 kaže rezilno obstojnost strgarskih nožev, izdelanih iz tega jekla z različnimi vsebnostmi ogljika.



Slika 5

Rezilna (temperaturna) obstojnost strgarskih nožev iz BRM 2 z različnimi vsebnostmi ogljika, kaljenih z različnih temperatur. Orodja so popuščena 2 × 1 h na 550° C. Obdelovana snov: Ck 60 z natezno trdnostjo 84 kp/mm<sup>2</sup>, presek stružca 2 × 0,2 mm<sup>2</sup>.

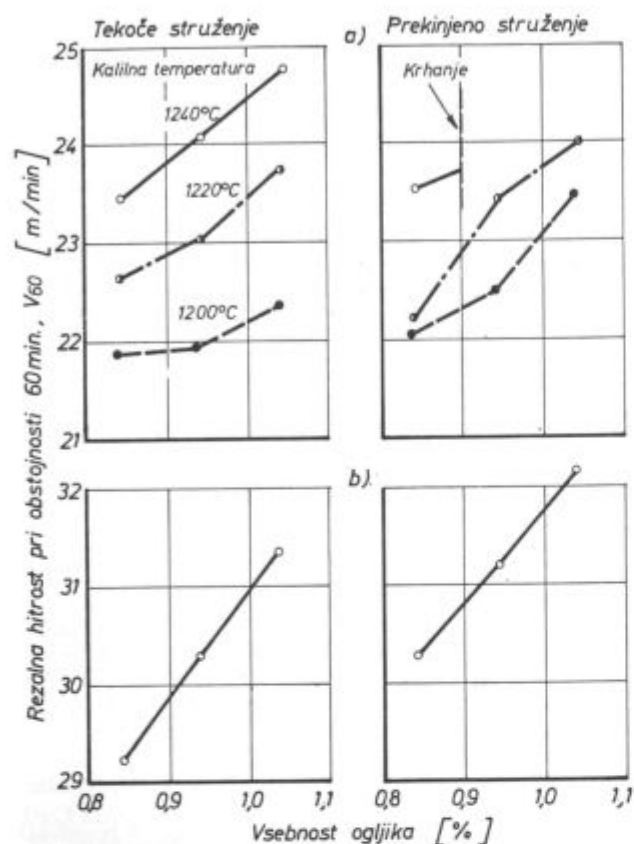
a) Tekoče, b) Prekinjevano struženje.

Preizkušali so z enakomernim ter prekinjevanim struženjem. Slika 6a je rezultat struženja jekla C 60 s trdnostjo 82 kp/mm<sup>2</sup>. Noži so bili obstojnejši, če so bili izdelani iz višjeogljičnega jekla in kaljeni z višjih temperatur, vendar za prekinjevano delo niso primerne kalilne temperature nad 1220° C pri visokoogljičnih jeklih, ker se tedaj noži predčasno lomijo. To pomeni, da se celo rahlo pregreti noži iz visokoogljičnega jekla tega tipa lahko zelo dobro obnesejo, tudi če so razmeroma topi ( $\gamma = 10^\circ$ ). Za enakomerno in prekinjevano delo so primernejši noži iz tega tipa jekla tedaj, če imajo višjo vsebnost ogljika.

Diagrama na sliki 6b sta rezultat struženja ognjeobstojnega jekla X8CrNiNb16 13, kjer so bili odvzemi manjši. Tudi tu se vidi ugoden vpliv višje vsebnosti ogljika v jeklu strgarskega noža. Pri obdelavi tega mehkega, toda močno k hladnemu utrjevanju nagibajočega se jekla, so odkrili, da so bolj rezilno obstojni noži iz višjeogljičnega jekla, četudi so bili rahlo pregreti (1240° C). Seveda je vzdržnost nožev večja zaradi manjšega odvzema in mehkejšega obdelovanca.

Raziskave rezilne zmožnosti pri jeklih z različno vsebnostjo ogljika in enako toplotno obdelavo kažejo na to, da imajo noži iz visokoogljičnih jekel veliko obstojnost predvsem pri obdelavi visokolegiranih jekel.

Popuščanje orodij iz višjeogljčnih hitroreznih jekel naj bo toliko višje od popuščanja nižjeogljčnih, da se dobi zadostna žilavost pri zadostni trdoti, ki pri teh jeklih ne pade tako hitro z zvišanjem temperature.



Slika 6

Odvisnost rezilnosti od načina struženja in temperature, s katere so orodja kaljena. Jeklo orodje je BRM 2 z različnimi vsebnostmi ogljika in z dodatkom 5 % Co.

- a) Obdelava jekla Ck 60 s trdnostjo 82 kp/mm<sup>2</sup>, presek stružca 2 × 0,45 mm<sup>2</sup>.  
 b) Obdelava temperaturno obstojnega jekla s trdnostjo 56 kp/mm<sup>2</sup>, presek stružca 2 × 0,2 mm<sup>2</sup>.

## 2. ANALIZA REZILNOSTI IN OBRABNE OBSTOJNOSTI S POMOČJO VZDRŽNOSTI PROTI UDARNI OBRABI

Izsledke o vplivu kemijske sestave (in predvsem ogljika) in pogojev dela na lastnosti orodij iz hitroreznih jekel so skušali potrditi z raziskavami na doslej neznan način. To se je zdelo umestno predvsem zato, ker imamo osvojeno posebno metodo merjenja odpornosti materialov na udarno obrabo. Po tej metodi lahko ugotovimo, kolikšne udarne obremenitve je orodje iz določenega jekla zmožno prenesti, ne da bi se preveč obrabljalo. Podatki stružnih preizkusov z noži iz jekla BRC 3 so se izkoristili za izdelavo krivulje, ki naj bi kazala relativno vzdržnost strugarskih nožev iz jekla BRM 2. To krivuljo lahko izdelamo

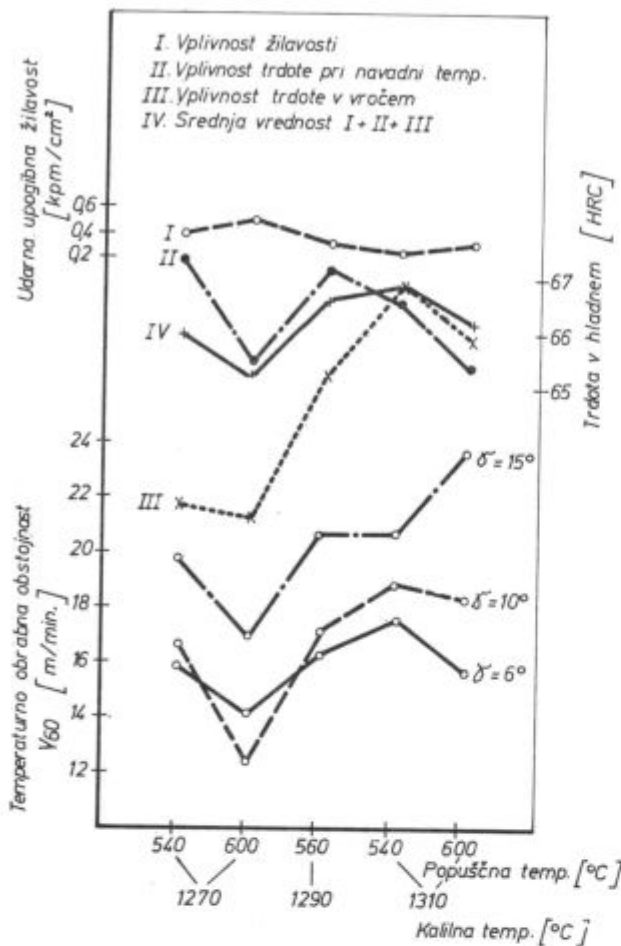
na osnovi rezultatov stružnega preizkusa temperaturne obstojnosti jekla BRC 3 in na osnovi rezultatov udarnih obrabnih preizkusov obeh jekel. Razvojna pot do takšne krivulje je analiza rezultatov obeh preizkusnih načinov ter nato sinteza, ki izhaja iz ugotovljenih sorazmerij.

S porastom žilavosti se določenemu jeklu v mejah primerne toplotne obdelave sorazmerno dviga obrabna obstojnost in lahko predvidimo povezanost trdote in trdote v vročem z obrabno obstojnostjo. Torej najbrž obstaja računsko pot za določitev relativne obrabne obstojnosti orodij iz določenega jekla, obdelanega na različne trdote. V kolikor zadosti točno opredelimo medsebojni odnos vplivov žilavosti, trdote in trdote v vročem na obrabno obstojnost, se lahko po predpostavki ti vplivi enostavno seštejejo in se dobi za vsoto krivulja relativne obrabne obstojnosti. Vpliv posamezne komponente obrabne obstojnosti ni dejansko nič drugega kot komponenta sama izražena v svojih enotah in pomnožena z določenim faktorjem, ki določa njen odnos glede na drugi dve komponenti obrabne obstojnosti in obrabno obstojnost samo. Poenostavljen postopek sinteze vseh treh vplivov je določanje srednje vrednosti iz vrednosti, ki se odčitavajo iz krivulj vplivnosti posameznih komponent obrabne obstojnosti. Tako dobimo krivuljo — rezultanto vplivov.

Vplivnost komponent obrabne obstojnosti moremo določiti samo na osnovi ustreznih preizkusov. Kvečjemu eno od komponent lahko podamo samo v relativnih enotah, to je morda lahko trdota ali trdota v vročem, če sta obe v podobni odvisnosti od toplotne obdelave. Tako se lahko z rezultati žilavostnega in stružnega preizkusa in z meritvami trdot na različno toplotno obdelanih probah, oziroma stružnih nožih določi vplivnost posameznih komponent obrabne obstojnosti in tudi rezilnosti, ki je posebna vrsta obrabne obstojnosti pri določenih pogojih delovanja. Za jeklo BRC 3 so se zato izrisale krivulje trdot in žilavosti v takšnih sorazmerjih, da se je skupaj s krivuljo predpostavljene trdote v vročem lahko dobila rezultantna krivulja rezilnosti. Odnos med vplivnostjo žilavosti in trdote pri navadni temperaturi se je mogel opredeliti s pomočjo rezultatov preizkusa temperaturne obrabne obstojnosti strugarskih nožev. Način obremenjevanja strugarskega noža ni udaren, kar kaže tudi krivulja  $v_{60}$ , če jo primerjamo s krivuljo trdote. Zato se je vzelo za žilavostno vplivnost tako majhne enote, da so sešteti vsi vplivi trdote, trdote v vročem in žilavosti dali krivuljo, podobno po obliki krivulji  $v_{60}$  (sl. 7).

Kot pove ime preizkusa  $v_{60}$  je orodje toplotno obremenjeno in je zato trdota v vročem močno vplivna na obrabno obstojnost in s tem tudi na rezilnost. Glavni vpliv na rezilnost imata trdota v vročem in trdota pri navadni temperaturi. Vplivnost trdote v vročem je določena s tem, da se zaradi nje, kot lahko sklepamo, dvigne rezilnost po kaljenju na najvišjo glede na srednjo preizkusno kalilno temperaturo. Porast trdote v vročem





Slika 7

Rezilnost strgarskih nožev iz jekla BRC 3 pri različnih cepilnih kotih nožev. Za primerjavo je dana konstruirana krivulja rezilnosti. Hipotetična trdota v vročem nima absolutne vrednosti.

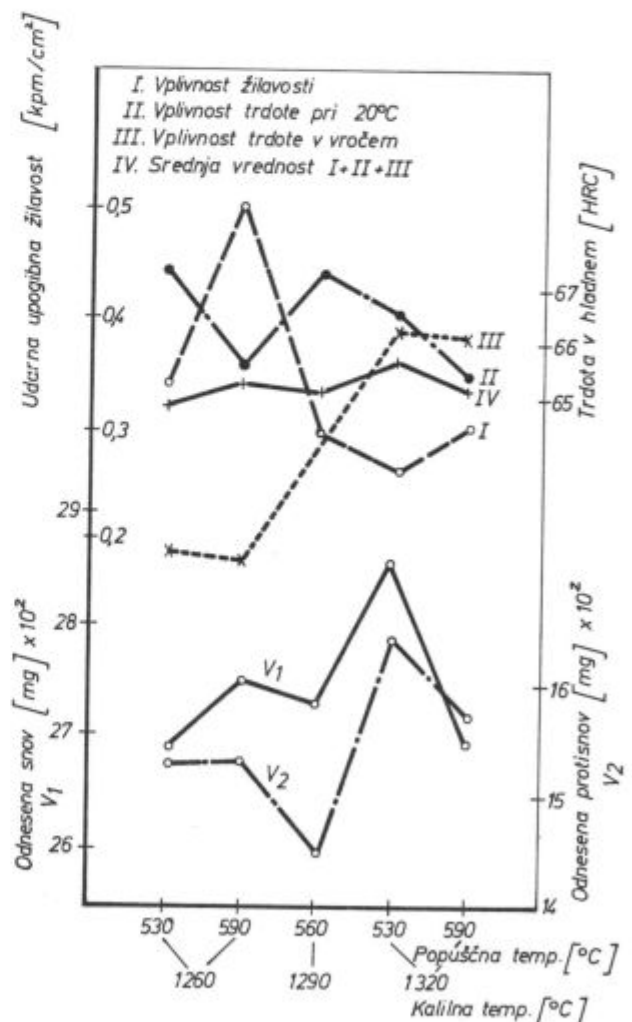
je približno enakomeren z dvigom kalilne temperature, vpliv popuščanja ni velik. Tako je opredeljen odnos med trdoto v vročem in trdoto pri navadni temperaturi. Odnos teh dveh do žilavosti pa je opredeljen s tem, da se žilavostnega vpliva pravzaprav ne sme opaziti na krivulji rezilnosti vsaj pri nožih s cepilnimi koti pod  $10^\circ$ .

Zanimiva je krivulja temperaturne obstojnosti nožev s koti  $15^\circ$ . Noži kaljeni z nižjih dveh temperatur so kazali, da na njihovo obstojnost močno vpliva trdota, oziroma trdota v vročem, manj pa njihova žilavost. To je razumljivo, če upoštevamo, da imajo ti noži z velikim cepilnim kotom velik delovni učinek in se zato tudi močno obrabljajo ter grejejo in so tudi sunki precejšnji. Ker so ti noži, kaljeni z nižjih temperatur, razmeroma manj temperaturno obstojni, je njihova šibkost premajhna trdota glede na prikazano žilavost. Noži, kaljeni z najvišje kalilne temperature so temperaturno dobro obstojni in je zato omejitvev za še boljši delovni učinek premajhna žilavost — vendar ni ravno majhna, saj se najbrž ravno zaradi ugod-

ne žilavosti dvigne storilnost nožev, ki so popuščeni na višjo temperaturo. Težko, da bi ta porast lahko pripisali samo ugodnejši razdelitvi karbidov, ki se izločajo po popuščanju nad popuščajno temperaturo sekundarne trdote.

Podobno, kot so določili vplivnosti glavnih komponent rezilnosti pri jeklu BRC 3, so določili tudi vplivnosti komponent udarne obrabne obstojnosti (sl. 8). Rezultati udarnega obrabnega preizkusa, ki so bili že objavljeni, so se uporabili za analizo, ki bi morda dopustila sklepati na rezilno zmožnost nožev, ki bi bili izdelani iz tega jekla. Pri teh preizkusih igrata posebno močno vlogo žilavost in trdota v vročem.

Na osnovi teh dveh analiz in sintez krivulj udarne obrabne obstojnosti in rezilnosti se je lahko analizirala krivulja udarne obrabne obstojnosti jekla BRM 2 in ker so se dobili podobni odnosi vplivnosti posameznih komponent udarne obrabne obstojnosti kot pri jeklu BRC 3, se je



Slika 8

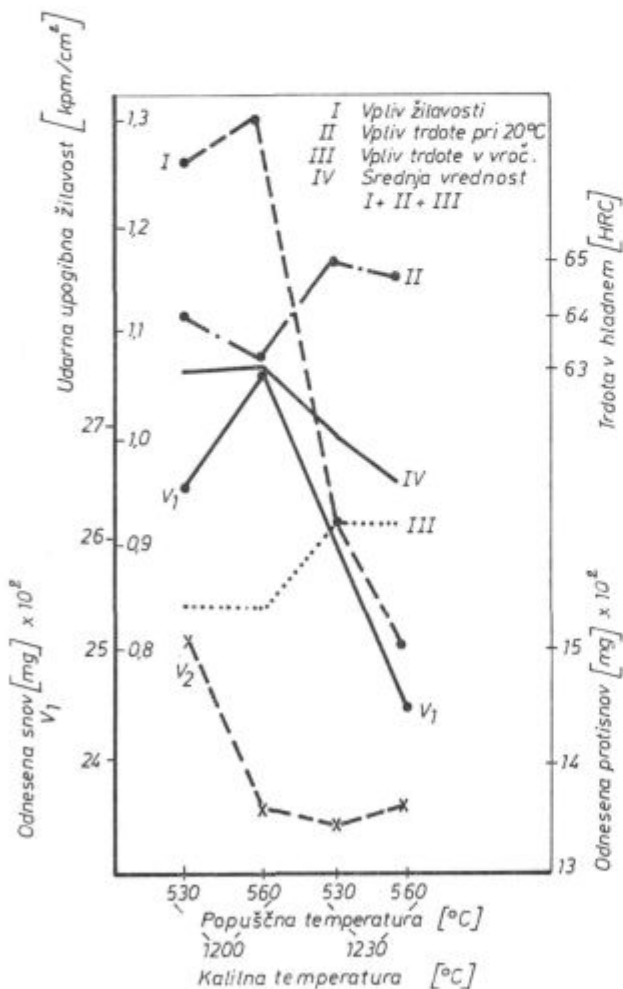
Odpornost jekla BRC 3 proti udarni obrabi pri velikih tlakih.  $P = 60 \text{ kp}$ ,  $v_1 = 265 \text{ obr/min}$ ,  $v_2 = 150 \text{ obr/min}$ ,  $t = 1 \text{ min}$ . Obdelovana snov: poboljšan C 35 (210 HB), dolžina rezila 10 do 20 mm. Hipotetična trdota v vročem nima absolutne vrednosti.



s sintezo izdelala krivulja relativne rezalne zmožnosti nožev iz BRM 2, predvsem za majhne cepilne kote. Takšna krivulja se gotovo lahko uporabi za predvidevanje najugodnejše toplotne obdelave raznih rezalnih orodij, ki so manj obremenjena na udarce, precej pa na ogrevanje in obrabo (sl. 9, sl. 10).

To sklepanje pa še nima prave uporabne vrednosti, kajti vsako jeklo ima prednosti, ki ga priporočajo za določeno uporabo in se zato ne gleda samo na to, kako naj se jeklo obdelata na največjo trdoto ali trdoto v vročem ali obrabno obstojnost, temveč se obdelata tako, da je polno izkoriščena tista njegova lastnost, ki ga odlikuje pred drugimi jekli in zaradi katere je sploh v uporabi. Jeklo BRM 2 se ne uporablja samo zato, ker je hitrorezno jeklo z veliko trdoto v vročem, temveč predvsem zato, ker je to najbolj žilavo hitrorezno jeklo.

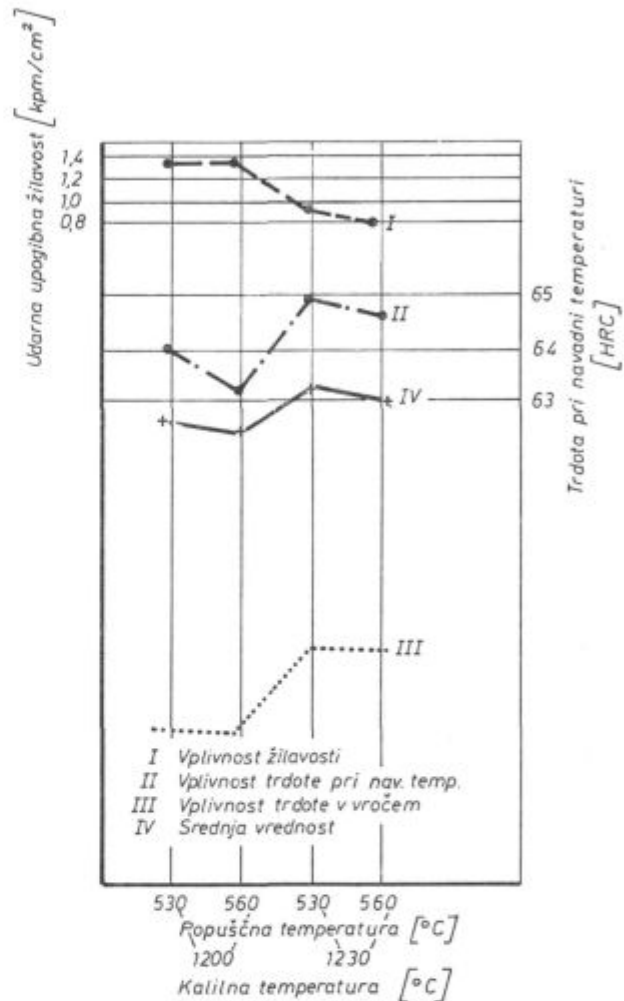
Pri tem jeklu je zato preizkus temperaturne obrabne obstojnosti (metoda  $v_{60}$ ) manj odločujoč



Slika 9

Odpornost jekla BRM 2 proti udarni obrabi pri velikih tlakih.  $P = 60$  kp,  $v_1 = 265$  obr/min,  $v_2 = 150$  obr/min,  $t = 1$  min. Obdelovana snov: poboljšan C 35 (210 HB), dolžina rezila 10 do 20 mm. Hipotetična trdota v vročem nima absolutne vrednosti.

za izbiro primerne toplotne obdelave kot preizkus udarne obrabe. To se vidi tudi iz rezultatov in iz teženj v dejanski toplotni obdelavi orodij. Ne kali se to jeklo s 1230° C, razen če gre za tanka, ostra orodja, temveč z nižje temperature, kjer se sicer ne doseže takšna trdota v vročem, je pa orodje zato bolj žilavo.



Slika 10

Konstruirana krivulja relativne rezalnosti za BRM 2. Trdota v vročem nima absolutne vrednosti.

Zanimiva je primerjava udarne obrabne obstojnosti jekel BRC 3 in BRM 2 glede na njuno žilavost. Vkljub udarnim obremenitvam, ki so pri teh poskusih za nekajkrat hujše kot pri struženju, se je BRC 3 bolje obnesel kot BRM 2, posebej velike razlike med obema so pri manjši poskusni hitrosti (150 obr/min), kar je razumljivo zaradi manjših udarcev pri teh pogojih. Razmerje vplivnosti trdote z vplivnostjo odpornosti na udarjanje (žilavost) je pri udarnih obremenitvah tovrstnega obrabnega preizkusa za približno desetkrat manjše kot pri stružnem preizkusu, kjer je obraba veliko mirnejša in trdota glede na žilavost orodij pomembnejša. Vpliv trdote v vročem je približno enak pri udarni obrabi kot pri struženju, pri teh pogojih in odnosih med vplivom žilavosti in trdote.

Gornje preizkusno in sintetično dobljene krivulje udarne obrabne obstojnosti ter rezilnosti se dobro ujemajo s prikazanimi rezultati preiskav drugih raziskovalcev.

Kot kaže slika 5, se strgarski noži iz jekla BRM 2 pri mirnem delu tembolje obnesejo čim višje je bila njihova kalilna temperatura. To velja za srednje velike in velike cepilne kote nožev. O vplivu žilavosti na vzdržnost nožev pa govori diagrama, ki kaže rezilnost nožev pri prekinjevanem delu. Kot se vidi iz slike 1 upada žilavost nožev z večanjem vsebnosti ogljika in kalilne temperature. Pri prekinjevanem struženju se posebej noži večjih cepilnih kotov slabo obnesejo, če so izdelani iz višje ogljičnega jekla ali kaljeni z višje kalilne temperature. Večanje ostrine rezila močno poveča nagnjenost h krhkemu obnašanju orodja. Z našimi udarnimi obrabnimi preizkusi pa se je doseglo podobne odvisnosti obstojnosti probe od kalilne temperature kljub topemu rezilu. Topo rezilo probe pri udarni obrabi je pokazalo več krhkosti kot najostrejši nož iz visokoogljjičnega jekla pri prekinjevanem delu.

Preizkus udarne obrabne obstojnosti ni nekoristno namenjen sam sebi, temveč se lahko njegovi rezultati analizirajo podobno kot rezultati preizkusov z BRC 3. Podobnost vplivnosti posameznih komponent udarne obrabne obstojnosti pri preizkusih prob iz BRC 3 in BRM 2 dopušča možnost, da se tudi krivulje rezilnosti lahko podobno analizirajo, če jih imamo na razpolago za obe jekli. Ker pa nimamo podatkov o rezilnosti nožev iz BRM 2, se lotimo naloge z drugega konca. Namesto analize in sinteze, ki bi služili ugotavljanju podobnosti sintetično ustvarjene krivulje s poskusnimi rezultati, se s seštevanjem posameznih vplivnosti komponent dobi sintetična krivulja, ki je uporabna sama zase. Pravilnost relativnih vrednosti takšne krivulje (enot ni možno predvideti, ker ne vemo točnih vrednosti trdot v vročem) temelji na upravičenosti do sklepov o enaki vplivnosti posameznih komponent rezilnosti pri enakih pogojih rezanja. Doslednost v podobnosti vplivnosti posameznih komponent pa pokaže še stranski rezultat. Opazimo namreč, koliko bolj se z dviganjem kalilne temperature lahko zviša trdota v vročem kobaltovem in molibdenovem jeklu.

Takšna analiza, s katero dobimo potem krivuljo relativne rezilnosti nožev iz BRM 2, je bila potrebna samo zato, ker so na razpolago za to jeklo samo rezultati preizkusov, ki so bili opravljeni pri opisanih pogojih. Kot pa se je že s posebnimi preizkusi dokazalo, se lahko s krajšimi probami — manj udarni preizkusi — dobijo neposredno, brez vmesnih analiz, krivulje, ki potekajo enako kot krivulje rezilnosti.

Nadaljnja dva diagrama kažeta, da se s primernimi količniki pomnožene vrednosti za žilavost in trdoto orodij že lahko uporabijo, brez upoštevanja stopnje legiranja, za sintezo krivulje relativne vzdržnosti.

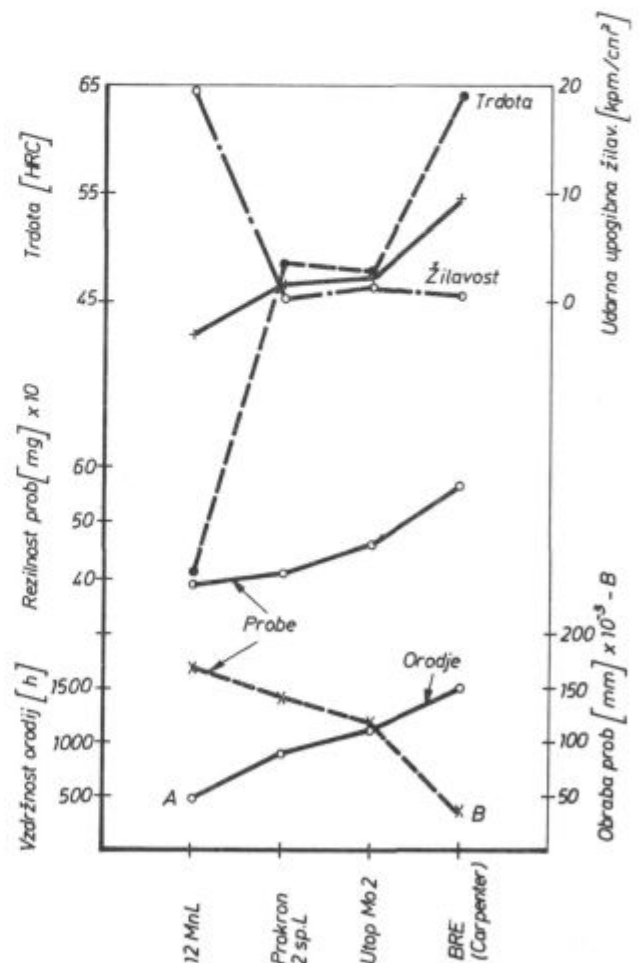
Na slikah 11 in 12 so prikazani rezultati dveh različnih vrst udarnih obrabnih preizkusov.

Slika 11 kaže rezultate preizkusov, pri katerih so bili udarci le šibki. Ti rezultati se primerjajo z vzdržnostjo orodij iz enakih jekel. Krivulji sta si zelo podobni, enako pa sta podobni krivulji, ki je dobljena kot diagramska sredina krivulj trdote in žilavosti.

Slika 12 podaja samo rezultate udarnega obrabnega preizkusa, ter trdote in žilavosti na istih probah, ki so se obrabljale. Izrisala se je tudi krivulja vplivnosti kemijske sestave, ki se je izračunala po formuli

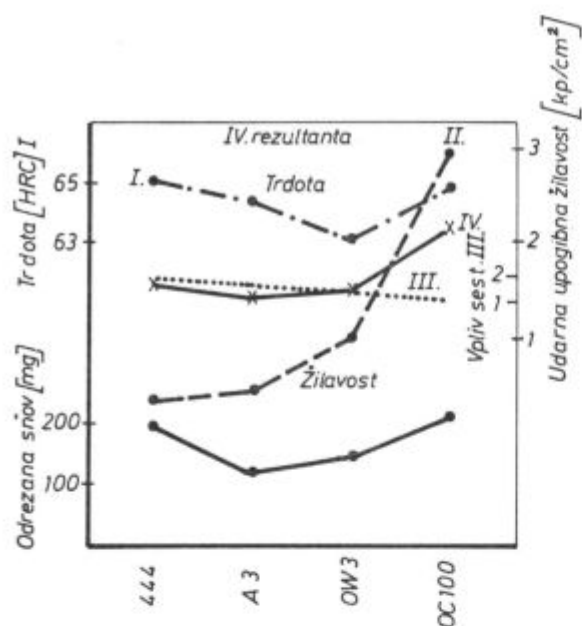
$$v = 1 + 2 (\% C - 1) + 0,02 (\% \text{ ostalih leg. elementov}),$$

vendar ni preveč vplivno nagnjena in se dobi podobna rezultanta tudi brez nje. Pri teh na kratko prikazanih preizkusih obrabne vzdržnosti v hladnem sta približno enako vplivna dvig trdote za eno enoto HRC ali dvig žilavosti za 1 kpm/cm<sup>2</sup> do 0,33 kpm/cm<sup>2</sup> na probah dimenzij 10 × 10 × 55 mm z radialno zarezo r10 globine 1mm.



Slika 11

Rezultanta trdote in žilavosti v primerjavi z vzdržnostjo mlinskih segmentov za les ter vzdržnost udarnih prob iz preizkušanih jekel. Pogoji obrabnega preizkusa: P = 10 kp,



Slika 12

$v = 230 \text{ obr/min}$ ; obdelovana snov je C 35, obdelovana površina  $10 \times 20 \text{ mm}^2$

Pri preizkusih s strgarskimi noži je ta ekvivalent za eno enoto HRC trdote v hladnem okoli  $0,4 \text{ kpm/cm}^2$ , seveda pa je pri tem treba upoštevati močan vpliv trdote v vročem. Ta trdota se dejansko razlikuje pri preizkusnih probah iz jekla BRM 2 za okoli 1,5 enote HRC na temperaturi  $500^\circ \text{C}$ . To je dobljeno na osnovi interpolacije vrednosti trdot v vročem pri probah kaljenih s  $1150$  in  $1230^\circ \text{C}$ . To pomeni, da je trdota v hladnem približno enako vplivna kot trdota v vročem.

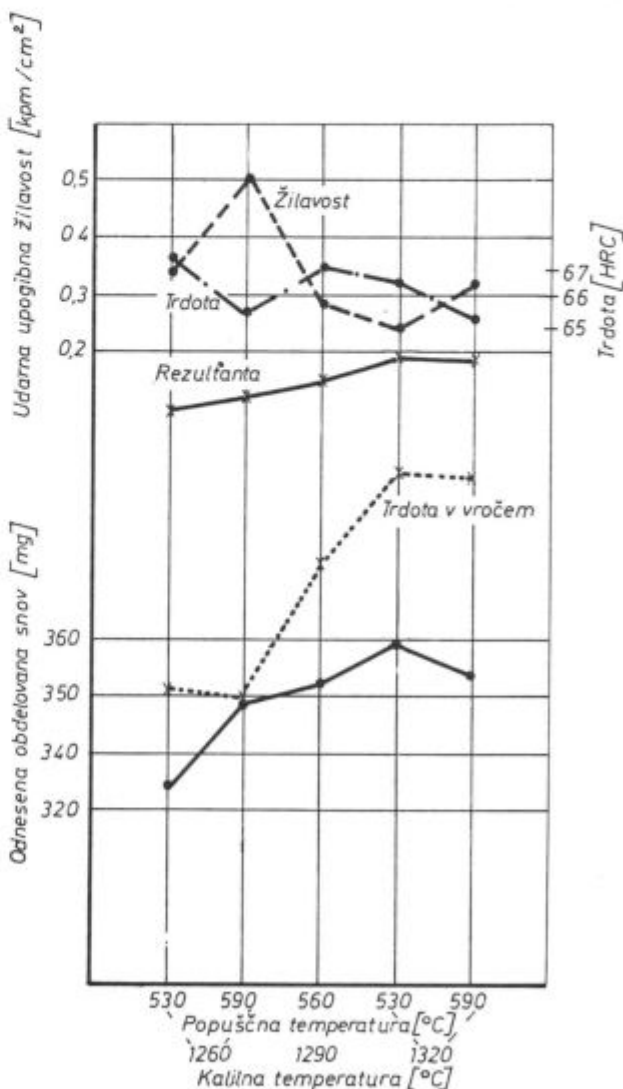
Pri orodjih iz BRC 3 pa je vroča trdota spremenljiva v širših mejah kot pri BRM 2 in je možno, da je bolj vplivna — saj je najbrž precej višja kot trdota BRM 2 pri enaki temperaturi. Pri udarnih obrabnih preizkusih pod velikim tlakom je vplivnost žilavosti glede na vplivnost trdote pri navadni in trdote pri povišani temperaturi precej večja kot pri struženju. Enoti HRC ustreza tu že  $0,05 \text{ kpm/cm}^2$ .

To pa nikakor ne pomeni, da bi se morali za preizkuse hitroreznih jekel ustvariti tako močno udarni pogoji, če želimo, da bi občutili pri obrabi tudi vplivnost trdote v vročem. V poprejšnjih poročilih o tem predmetu je že bilo prikazano, da je možno s krajšimi primerjalnimi probami (snovi, ki se obdeluje) dobiti popolnoma enako krivuljo kot se dobi s stružnimi preizkusi. V tej analizi smo se morali spoprijeti z nevarnejšo in težavnejšo obliko krivulje, ker za BRM 2 niso bili opravljeni drugačni preizkusi in so se morali za analizo vzeti preizkusni rezultati enakovrstnih obremenitev pri jeklih BRC 3 in BRM 2.

Na sliki 13 je prikazana krivulja udarne obrabne obstojnosti v vročem pri majhnih tlakih in šibkih udarcih. Skonstruirana je tudi tej krivulji

podobna krivulja kot rezultanta trdote, žilavosti in trdote v vročem, katera je podana samo hipotetično. Tudi tu ustreza enoti Rc že  $0,05 \text{ kpm/cm}^2$ . V primerjavi z obstojnostjo pri velikih tlakih in hitrostih (sl. 8) je tu vplivnost trdote v vročem glede na vplivnost trdote in žilavosti pri navadni temperaturi za polovico večja. To je razumljivo, saj se je proba ogrevala večji del samo zaradi prenosa toplote od obdelovane snovi, ki se je posebej ogrevala za preizkus. Obdelava snovi je bila razmeroma lahka in udarci šibki.

Pravilnost domneve o možnosti skonstruiranja krivulje relativne obrabne obstojnosti (za določene delovne pogoje) se je opravičila z analizo več vrst rezultatov. Zanimivo je, da sta vpliv trdote in vpliv žilavosti daleč najbolj odločilna za obrabno obstojnost orodja. V teh dveh so zajeti že drugi vplivni dejavniki. Za posamezne pogoje obrabe je torej treba ugotoviti le odnos med vplivnostjo



Slika 13

Udarne obrabni preizkus jekla BRC 3 v vročem.  $P = 10 \text{ kp}$ ,  $v = 100 \text{ obr/min}$ ,  $t = 2 \text{ min}$ . Obdelovana snov valjčki  $d = 10 \text{ mm}$ ,  $l = 17 \text{ mm}$ , ogretj na  $650^\circ \text{C}$ .

trdote in odpornosti na udarce, pa se lahko predvidi, kakšna toplotna obdelava je najugodnejša, ali katero jeklo je za določeno uporabo najprimernejše, če se pravilno toplotno obdela.

Seveda so se pri analizi rezultatov udarno obrabnih preizkusov pojavila tudi odstopanja, ki niso bila v skladu s pravilom. Toda manj kot ena desetina vseh preizkušanih jekel se je izjemno obnašala. Poudariti je treba, da naj se v analizi, ki naj primerja vzdržnosti jekel, ločujejo lita orodja od kovanih, ki so iz istih jekel, enako kot če bi bila iz različnih jekel.

### Zaključki

Krivulja rezilnosti, konstruirana na osnovi preizkusov udarne obrabne obstojnosti, se ujema glede najpopolnejše toplotne obdelave z rezultati stružnih preizkusov nožev iz jekel BRM 2 in BRC 3. V resnici pa se vendar orodja iz BRM 2 kalijo z nižje meje kalilnih temperatur, ker se ta orodja navadno uporabljajo pri obdelavi, kjer nastopajo precejšnji udarci. Preizkusi udarne obrabne obstojnosti kažejo velike razlike v vzdržnosti različno kaljenih orodij.

Tudi pri orodjih drugačnih vrst kot so strugar-ska se je prikazalo, da se njihova obstojnost glede na orodja iz določenega jekla lahko predvidi že samo s pravilno analizo obremenitev in ustreznim seštevanjem vplivov trdote ter žilavosti posameznih jekel. Odstopanja od takšnih računskih določitev vzdržnosti orodij iz različnih jekel znašajo povprečno samo 10 %, to je, v skupini desetih jekel se lahko zgodi, da se eno ne bo obnašalo tako

kot kaže splošno zakonita odvisnost trdote, žilavosti in vzdržnosti za določene pogoje. To se je ugotovilo s primerjavo več poskusnih vrst rezultatov dobljenih na skupini dvanajstih jekel. Poudariti je treba, da se v analizi vzdržnosti ne smejo skupaj obravnavati lita in kovana orodja.

Kakor kažejo izsledki, udarnega obrabnega preizkusa skoraj ne rabimo več, potem ko smo enkrat že ugotovili to tesno in v glavnem odločilno, skoraj funkcijsko, povezavo trdota—žilavost—vzdržnost. Potrebujemo samo rezultate dejanskega obnašanja treh, štirih različno trdih in različno žilavih, ali samo različno žilavih, ali samo različno trdih orodij za določen tip mehanske obdelave. Krivulja vzdržnosti orodij iz različnih jekel se poskuša skonstruirati s seštevanjem vplivnosti trdote in žilavosti vsakega od teh orodij in ta konstruirana krivulja se potem lahko poljubno dopolni s trdoto in žilavostjo kateregakoli od kovanih (ali ločeno litih) orodnih jekel. Ločeno se seveda obdelujejo primeri za delo v vročem in primeri, kjer se temperatura orodij dvigne le neznatno nad sobno temperaturo. Vpliv stopnje legiranja se najlažje vnese z razmerji med trdotami pri povišani temperaturi.

### Literatura:

1. Bungardt, K., H. H. Weigand, E. Haberling: Einfluss erhöhter Kohlenstoffgehalte auf einige Eigenschaften von Schnellarbeitsstählen mit rd 2 % V, Stahl und Eisen 89 (1969), Nr. 8, April, str. 420—426
2. Zmihorski, E.: Einfluss der Zusammensetzung und Wärmebehandlungsfaktoren auf die kennzeichnenden Eigenschaften der Schnellarbeitsstähle, Härtereitechn. Mitt., 22 (1967), Heft 4, str. 348-354.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die modernen Werkzeugstähle enthalten mehr Kohlenstoff als die vor Jahren erzeugten Stähle. Mit dem Steigen des Kohlenstoffgehaltes werden die Zähigkeitseigenschaften der Schnellarbeitsstähle wichtiger. Im Artikel wird eine besonders einfache Methode für die Bestimmung der relativen Beständigkeit der Werkzeuge aus Schnellarbeitsstählen und auch anderen Werkzeugstählen vorgestellt. Nach dieser Methode ist für ein bestimmtes Werkzeug aus einem bestimmten Schnellarbeitsstahl möglich die günstigste Wärmebehandlung voraus zu bestimmen, nur mit Hilfe des Addierens der Zähigkeitseinflüsse, der Härte, bei der höheren und bei der Raumtemperatur.

Für irgendein Werkzeug welches schon aus verschiedenen Stählen gefertigt wurde, kann die Kurve der relativen Beständigkeit konstruiert werden. Dies ist möglich mit

Hilfe der Daten über die Beständigkeit drei oder vier gleichartigen Werkzeuge, die aus verschiedenen Stählen hergestellt worden sind, und von denen die Härte und die Zähigkeit bekannt sind. Das Werkzeug kann nur von einem Stahl hergestellt werden, welches verschieden wärmebehandelt worden ist. Die Kurven für die relative Beständigkeit können für jeden Stahl beliebig verlängert werden, wenn die Härte und die Zähigkeit bekannt sind. Eine jede Kurve der relativen Beständigkeit ist nur für eine bestimmte Art der Werkzeugbeanspruchung bzw. für einen bestimmten Typ der Werkzeuge gültig. Die Daten für die gegossenen und für die geschmiedeten Werkzeuge müssen getrennt werden, ebenso die Daten für diejenige Werkzeuge, welche im höheren Temperaturbereich arbeiten. Der Legierungsgrad kann mit dem Verhältniss der Härte im warmen Zustand berücksichtigt werden.

## SUMMARY

Contemporary tool steels contain more carbon than those manufactured few years ago. Increased carbon content increases toughness of high-speed steels. The paper presents a specially simple method for determining relative endurance of tools made of high-speed steels and also of other tool steels. This method enables to determine beforehand the most suitable heat treatment by adding

influences of toughness, and hardness at high and room temperatures for any tool of a given high-speed steel.

For any tool made of various steels a curve of relative endurance can be plotted. This is possible if data on endurance of three or four tools of the same kind and made of various steels, and their hardness and toughness

are known. The tool can be made of the same steel if it was treated in different ways. The curve of relative endurance can be prolonged for any steel which hardness and toughness are known. Each curve of relative endurance is valid only for a certain way of loading the tools, and

for a certain type of tools. A difference is to be made between the data on cast and forged tools, and hot forming tools and tools working at normal temperatures. Influence of alloying degree can be introduced by the ratios between hardnesses at high temperatures.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные инструментальные стали содержат больше углерода в сравнении с сталями тех же самых марок произведённые несколько лет тому назад. С увеличением содержания углерода улучшается вязкость быстрорежущих инструментов. В статье рассмотрен специальный метод определения относительной выносливости инструментов, изделий из быстрорежущей а также и из других сортов инструментальной стали. По описанному методу можно для каждого намечённого инструмента из определённой марки стали заранее определить самую подходящую термическую обработку лишь на основании сочетания вязкости, твёрдости в горячем состоянии и твёрдости при нормальной температуре.

Для любого инструмента изготовленного из разных сортов стали можно вывести кривую относительной выносливости. Это возможно на основании данных о выносливости трёх до четырёх одно-

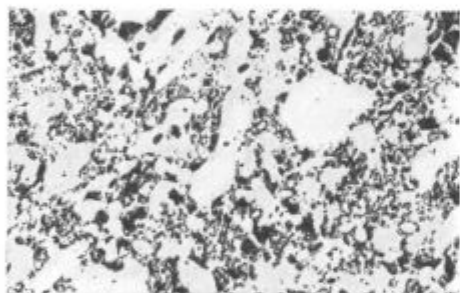
родных инструментов, изделий из разных сортов стали, твёрдость и вязкость которых известны. Инструмент можно изготовить также из одной и той же самой марки стали которая находилась под переменным режимом термической обработки. Кривую относительной выносливости можно по усмотрению продолжить для каждого сорта стали, твёрдость и вязкость которых нам известна. Необходимо взять во внимание, что одну и ту же самую кривую относительной выносливости можно применить только к определённому способу нагружения инструмента, также при учёте выбора инструмента. Также надо отличать данные литых и откованных инструментов; данные инструментов при употреблении при работе в горячем состоянии или при более высоких  $t$ -ах. В кривую можно, параллельно с отношениями между твёрдостями в горячем состоянии, внести также влияние степени легирования.



## Problematika kompaktnih sintranih gradiv

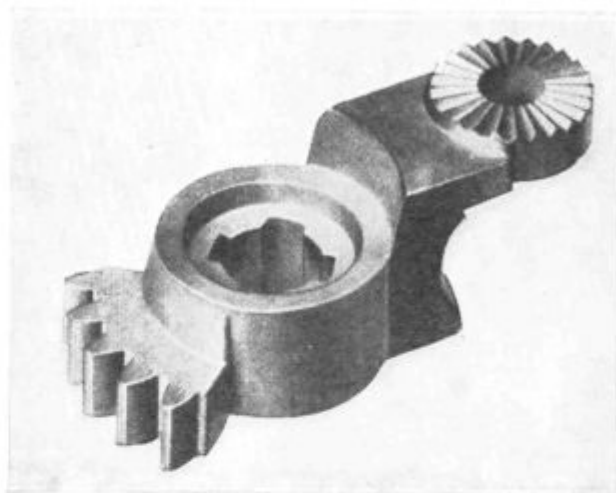
Članek obravnava kompaktna sintrana gradiva, to je neporozne materiale izdelane iz prahov. Podane so bistvene prednosti sintranih materialov v primerjavi z ulitimi; omenjena so področja, kjer bi lahko izkoristili prednosti, ki jih nudi tehnologija sintranja ter današnje stanje na tem področju.

Med sintranimi izdelki so danes gotovo najbolj poznani porozni ležaji (slika 1), katerih gobasto zgradbo napolnimo z oljem, ki se pri ogrevanju močneje širi kot kovina, izstopa zato na površino in tvori poznano drsno blazino. V tem primeru so pore, ki tvorijo več kot petino volumna, sestavni del tega strojnega elementa; pri vseh drugih pri-



Slika 1  
Struktura sintranege ležaja  $\times 100$

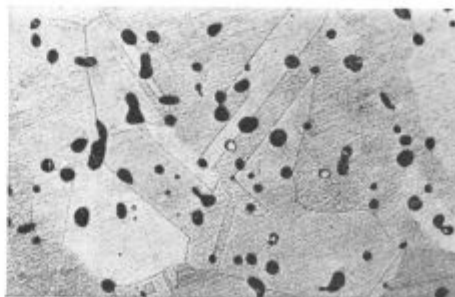
merih sintranih izdelkov — izjema so samo še filtri — pa je poroznost nujna posledica izdelave teh predmetov iz prahov. Volumen, ki ga zavzemajo pore v sintranih strojnih in konstrukcijskih elementih je sicer manjši kot pri ležajih, vendar predstavlja v vsakem primeru kompromis med zahtevanimi lastnostmi izdelka in ekonomiko izdelave. Vemo, da je tak kompromis mogoč in da uporabljamo v praksi vrsto sintranih strojnih in konstrukcijskih elementov, ki povsem ustrezajo zahtevam uporabe. Slika 2 dokazuje, da je tehnologija sintranih strojnih in konstrukcijskih elementov dozorela do takšne mere, da je kos oblikovno zahtevnim izdelkom pa tudi materialom s trdnostmi do  $150 \text{ kp/mm}^2$ . Razvoj, ki je šel od poroznih ležajev k vedno višjim gostotam, pa se seveda ni ustavil pri 94 do 95 % teoretske gostote, kar dosežemo danes v metalurgiji prahu pri železu jeklu s standardno tehniko dela, pač pa so se vprašali, kaj bi dosegli z materiali iz prahov, pri katerih bi zmanjšali preostalo poroznost na minimum.



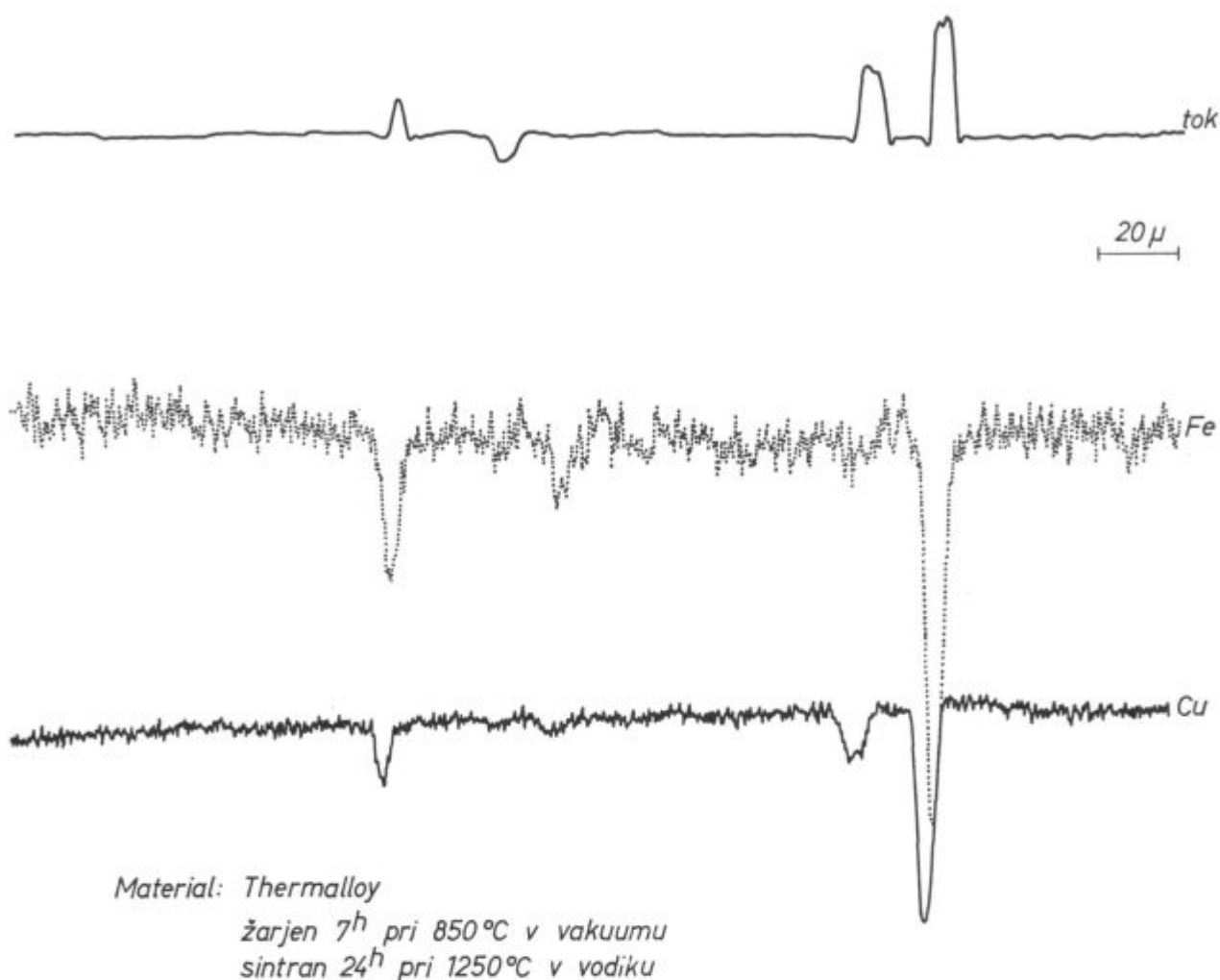
Slika 2  
Primer oblikovno zahtevnega sintranege izdelka (po perspektivu firme Mannesmann).

Prvo vprašanje je, kako sploh doseči minimalno poroznost, to je tako gostoto materiala, ki je blizu teoretske vrednosti. V izjemnih primerih, na primer pri karbidnih trdinah, je to sicer mogoče s sintranjem s tekočo fazo; pri pretežni večini materialov pa tudi dvig temperature in podaljšanje časov sintranja ne poveča bistveno gostote, ker se material »zasintra«, to je, pore dobimo v kristalnih zrnih, kar onemogoča nadaljnje zgoščevanje materiala. Take pore pa lahko odstranimo praviloma edino s predelavo materiala v vročem stanju.

Material na sliki 3 je zlitina thermallov, ki vsebuje 67,5 ut. % Ni, 30,0 % Cu in 2,5 % Fe. Sintrali smo ga 24 ur pri  $1250^\circ \text{C}$  v vodiku; slika 4 pa kaže, da je sestava materiala popolnoma homogena, kar dokazuje, da je mogoče izdelati homogene mate-



Slika 3  
Primer »zasintranega« materiala  $\times 200$



Slika 4  
 Linjska analiza materiala thermalloy

riale iz mešanic raznih prahov v tehnično sprejemljivih časih in temperaturah, čeprav gre za razmeroma majhne deleže posameznih sestavin, v našem primeru železa. V odvisnosti od materiala in tempe-

rature so časi, ki so potrebni za homogenizacijo, dolgi od 2 do 48 ur.<sup>1</sup>

Poznano je, da so prahovi praviloma dražji od kompaktnih kovin; za ilustracijo naj navedemo, da

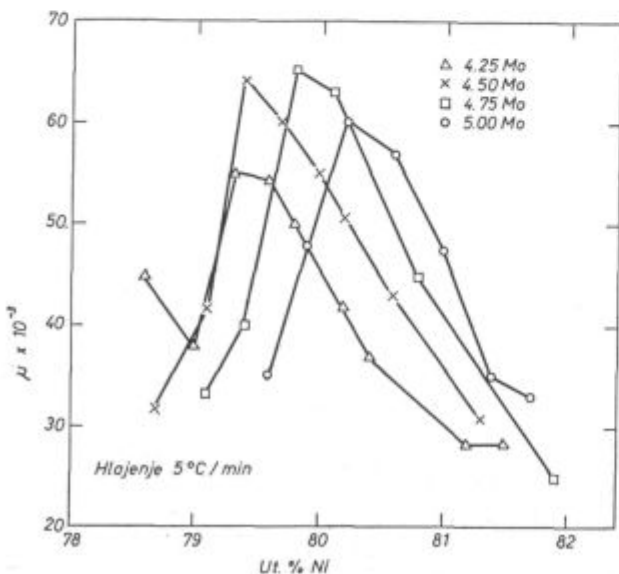
Tabela 1: Magnetske lastnosti materiala orthonol

Sarža št.	$B_m^1$	$B_r/B_m^2$	$H_l^3$	$\Delta H^4$	
1	15490	0.990	0.204	0.017	1. Gauss
2	15500	0.984	0.200	0.017	2. pravokotnost
3	15500	0.986	0.202	0.018	3. Oersted
4	15410	0.988	0.208	0.018	4. Oersted
5	15500	0.981	0.195	0.019	
6	15600	0.983	0.204	0.019	
7	15550	0.986	0.190	0.018	
8	15420	0.985	0.198	0.018	
9	15680	0.989	0.204	0.020	
10	15500	0.990	0.206	0.020	
	15515	0.986	0.201	0.018	
$\sigma$	79,74	0.003	0.005	0.001	
variabilnost	0.5 %	0.3 %	2.5 %	5.6 %	

je cena niklja danes približno 80 din/kg, cena nikljevega prahu pa ~ 120 din/kg. Zato je razumljivo, če vprašamo, kaj pridobimo, če izdelamo material iz prahov namesto s poznanimi talilnimi postopki?

Na sliki 5 je podana permeabilnost materiala permalloy v odvisnosti od sestave. Podatki nazorno kažejo, da so optimalne vrednosti odvisne od nihanja sestave v mejah  $\pm 0.2\%$ , torej v mejah, ki so mnogo ožje od običajnih toleranc talilnega postopka, pri katerem na primer niha vsebina niklja v mejah  $\pm 0.75\%$  in molibdena  $\pm 0.5\%$ . Na drugi strani pa je poznano, da lahko zatehtamo prahove s točnostjo, ki gotovo omogoča izdelavo zlitin v mejah  $\pm 0.1\%$ .<sup>2</sup> Posledica te točnosti in pa čistih surovin ni le zelo točna, ampak tudi izredno enakomerna sestava od šarže do šarže, kar kažejo podatki s tabele 1 za material orthonol (48.0% Ni, 0.25 Mn, ostalo Fe)<sup>1</sup>. Gre za 10 zaporednih šarž po 450 kg v traku debeline 0.05 mm.

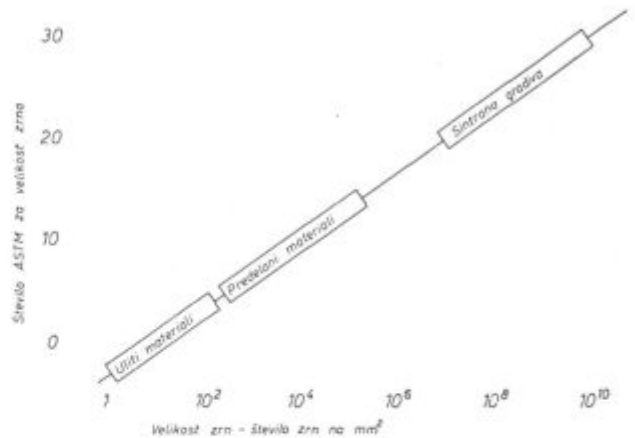
Bistvena prednost materialov iz prahov je torej kvaliteta; vprašanje pa je, če nudi kvalitetnejši in kvalitetno enakomernjši material tolikšne prednosti, da le-te odtehtajo razliko v ceni surovin in morda tudi izdelavnega postopka. Pri oceni odgovora ne smemo in, seveda, ne moremo mimo dejstva, da je izkoristek ulitega materiala razmeroma nizek; navadno se giblje okrog 60% pri manjših blokih, ostanek pa izgubimo zaradi lunckerjev, obdelave površin in odreza. Blok iz prahu pa nima takih napak, oziroma niso toliko pomembne, zato je izkoristek prahu, na primer za trak debeline 0.1 mm, 85% ter celo 95% pri palicah in žicah, kar pa v znatni meri kompenzira višjo ceno prahu.



Slika 5

Vpliv vsebine niklja in molibdena na permeabilnost zlitine permalloy debeline 0.35 mm<sup>1</sup>

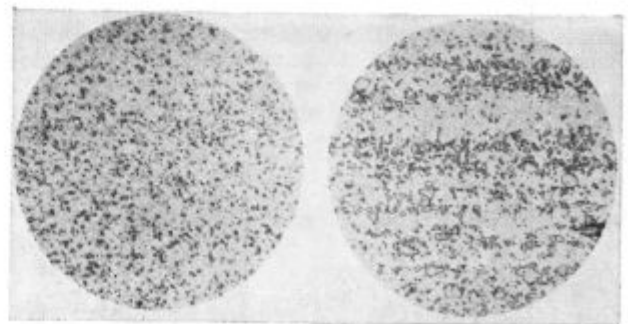
Pomembno je, da je zrno materiala, ki ga izdelamo iz prahu, lahko znatno manjše od zrn ulitega ter kovanega materiala, — slika 6 — kar pomeni med drugim homogenost po celem volumnu ter lažjo predelavo, kar je posebno pomembno, na primer, pri takih materialih kot so super zlitine in brzorezna jekla. Razlika v kvaliteti blokov je zato ogromna in ker vemo, da že izdelujejo bloke težke 500 do 600 kg, to pomeni, da je na voljo oprema, ki omogoča redno proizvodnjo. Normalna teža ingota brzoreznega jekla v Železarni Ravne je, na primer, 250 kg.



Slika 6

Velikost zrn za razne načine izdelave materiala.<sup>3</sup>

Ingote iz prahu za zlitine s posebnimi lastnostmi stiskajo izostatično, jih sintrajo, nato pa jih predelajo vroče in hladno po standardnih metodah. Za brzorezna jekla pa sta švedski firmi ASEA in STORA razvili poseben postopek, po katerem pripravijo prah ustrezne sestave, tega stisnejo hladno izostatično; vročo predelavo pa nadomestijo z vročim izostatičnim stiskanjem.<sup>4</sup> Bistvena prednost brzoreznega jekla izdelanega iz prahu je, da so karbidi razdeljeni izredno enakomerno — slika 7 — material reagira zato hitreje na toplotno obdelavo in je manj občutljiv za razpoke pri brušenju, kar se končno manifestira v daljši življenjski dobi iz njega izdelanih orodij — slika 8.



Slika 7

Porazdelitev karbidov v brzoreznem jeklu  
levo: standardna izdelava  
desno: material iz prahu

Tabela 2: Gostote vroče izostatsko stisnjenih materialov<sup>5</sup>

	temperatura: °C	Tlak: bar	gostota: %
Zelezov prah MH 100.24	1000	1000	99.9
Brzorezno jeklo BRM-2	1100	1000	99.9
Molibden	1350	1000	99.8
Zircaloy 2	900	1400	99
WC-Co/90-10	1350	1000	99.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1350	1500	99.9
MgO	1300	1000	98
ZrB <sub>2</sub>	1350	1000	99.9

Postopek ASEA — STORA seveda ni primeren le za brzorezna jekla, pač pa tudi za druge materiale, kar kaže tabela 2.

Na kraju ne smemo pozabiti, da poleg vročega valjanja oziroma iztiskovanja ter vročega izostatskega stiskanja obstoja tudi vroče kovanje, ki daje enake rezultate; to je gost material izdelan iz prahu. Narava izdelkov za katere potrebujemo posebne materiale in deloma tudi narava izdelkov iz brzoreznic jekel je taka, da moramo izdelati pol-

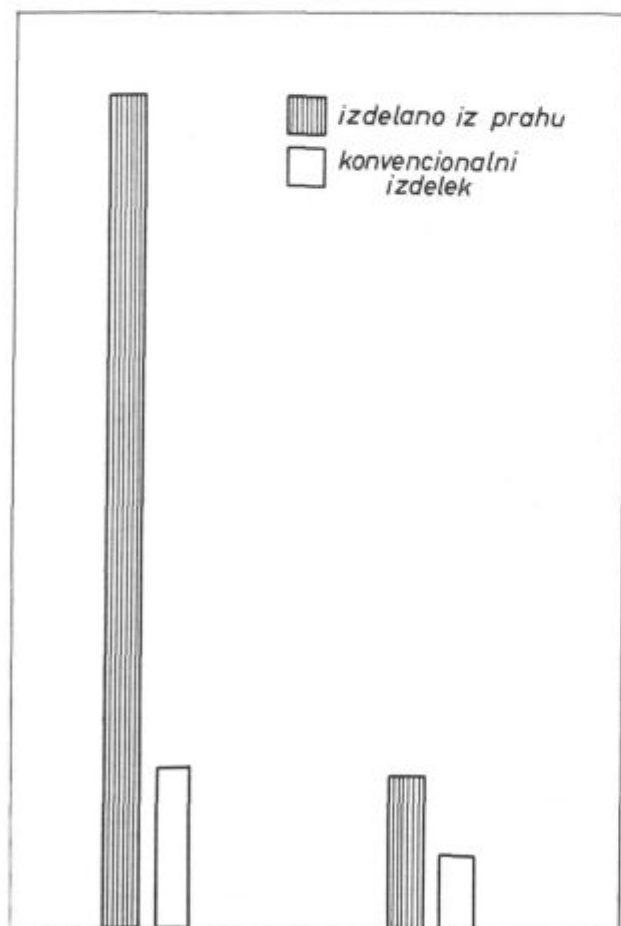
proizvode, to je trakove, palice profile in žico. Za take oblike pa sta vroče valjanje in iztiskovanje najbolj primerna predelavna načina. Vroče kovanje sintra pa je povezano z razvojem kovanja v zaprtih utopih in vročega preciznega kovanja, ki daje končne izdelke, to je strojne in konstrukcijske elemente za dinamične obremenitve. Če tu uporabimo sintrane surovce namesto standardnih oblikovancev, močno zmanjšamo težave z orodji, ki so sicer izpostavljena zelo močnim obremenitvam, kar ravno predstavlja izhodišče za razvoj vročega kovanja sintra.

Po tem kratkem pregledu prednosti kompaktnih sintranih gradiv je seveda smotrno, če vprašamo v kolikšni meri že uporabljamo te postopke, kar je nedvomno neko merilo uspešnosti:

Posebne materiale proizvaja firma Magnetics Inc. (Metals Division), Box 391 Butler, Pa. 16001, USA, ki je po podatkih iz leta 1968 kos šaržam od 15 do 900 kg. Brzorezna jekla iz prahu redno proizvaja ameriška firma Crucible Specialty Metals, Division of Colt Industries Syracuse, N. Y., USA katere produkcija je ~ 550 ton letno;<sup>7</sup> švedska firma STORA pa je investirala 11 milj. švedskih kron v obrat s kapaciteto 2300 ton, ki bi po poznanih podatkih tudi že moral obratovati;<sup>8</sup> vroče kovanje sintra pa ima vpeljeno že več proizvajalcev, med katerimi prednjačijo Japonci.

Kaj lahko pokažemo mi na tem področju. Žal ne posebno veliko; nekaj laboratorijskih poskusov s količinami do ~ 700 g, saj večjim izdelkom nismo kos z opremo, ki jo imamo na Metalurškem inštitutu v laboratoriju za metalurgijo prahu. Odveč je najbrže poudariti, da je s tolikšnimi količinami nemogoče vsako resnejše študiranje predelavnosti in s tem lastnosti materialov, saj so laboratorijske razmere predelave bistveno drugačne od tega, kar bi dalo delo na proizvodnih agregatih. Pred kratkim smo s sodelovanjem tovarne Impol iztisnili prvi večji, to je 6 kg težak blok iz srebra z 10 % niklja, kar kaže, da morda le ne bi bilo pretežko osvojiti proizvodnjo tega materiala; vsaj v količinah, ki jo potrebuje naše tržišče. S Kovaško industrijo iz Zreč ter koprskim Tomosom pa smo se lotili vročega kovanja sintra.

Ostaja torej celo področje specialnih zlitin in področje brzoreznic jekla. Prepričan sem, da bi



Slika 8

Zivljenjska doba svetrov iz brzoreznega jekla:  
levo: material s trdoto 300 HB  
desno: material s trdoto 235 HB



bili obe področji za nas zanimivi, če bi izkoristili časovno prednost, ki jo verjetno še imamo in če bi se upali spopasti za evropski trg. Seveda pa ne moremo mimo ugotovitve, da so obrati metalurgije prahu velike kapitalne investicije. Tako na primer stane postroj za hladno in vroče izostatično stiskanje firme ASEA pilotne velikosti, to je za blok teže 10 do 15 kg, 250 milijonov starih din; ekstruzijska stiskalnica, ki bi bila primerna za nadaljno predelavo teh blokov pa kakih 300 milijonov starih din. To dvoje daje sliko o količini potrebnega kapitala, ki posebno v današnjih razmerah ni majhna. Ni pa rečeno, da tega ne bi zmogli v skupni akciji zainteresiranih podjetij in tega ne bi smeli pozabiti dokler imamo v rokah vsaj tisto, kar se ne da kupiti, to je čas.

#### Literatura:

1. J. D. Bitzer: »Recent Developments in the Production of Strip, Rod, and Wire by Powder Metallurgy«, Progress in Powder Metallurgy (New York), MPIF, Vol. 25. 1969
2. P/M Newsletter, Vol. 6, No. 4, 1972. Höganäs Corporation, Riverton, N. J., USA
3. C. P. Mueller — L. M. Bianchi: »Consolidation — Powder Metallurgy Versus Melting and Casting of High Temperature Alloys, Tool Steels and Specialty Alloys«, predavanje na 7. Plansee Seminarju Reutte, 21—25. VI. 1971
4. ASEA Pamphlet AQ 10-103 E
5. ASEA Broschüre AQ 41-101 T
6. Magnetics Bulletin MF-108 10 M(5)68
7. J. J. Obrzut: »New Tool Steels by Particle Metallurgy« Iron Age International (Haag), June, p. 34/35, 1971
8. »Improved High-speed Steels«, Metals and Materials (London), Vol. 4, No. 10, p. 392-394, 1970

### ZUSAMMENFASSUNG

Unter den gesinterten Fertigteilen sind die porösen Lager, bei denen die Poren Bestandteile dieses Maschinenelementes bilden, besonders bekannt. Bei allen anderen gesinterten Fertigteilen, ausnahme bilden nur noch Filter, sind die Poren eine dringende Folge der Fertigung dieser Teile aus Pulver und stellen einen Kompromiss zwischen der verlangten Eigenschaften des Erzeugnisses und der Wirtschaftlichkeit des Erzeugungsverfahrens dar. Mit der üblichen Verfahrenstechnik können etwa 95 % der theoretischen Dichte erreicht werden; die übrige Porosität kann auf ein Minimum — ausser in Ausnahmefällen — nur mit einer Warmformgebung vermindert werden. Metallpulver ist in der Regel teurer als der kompakte Metall, deshalb ist es verständlich, dass das Verfahren nur dort angewendet wird, wo die technischen Vorteile einen höheren Preis abwägen. Die wesentliche Vorteile der kompakten Werkstoffe

aus Pulver sind vor allem eine genaue Zusammensetzung in Grenzen  $\pm 0.1$  gew. %, dass heisst in Grenzen welche viel enger sind als sie mit den Schmelzverfahren erreicht werden können, womit ein höheres Qualitätsniveau erreicht wird, eine aussergewöhnlich gleichmässige Qualität und ein feines Korn. Diese Vorteile können bei den Werkstoffen mit besonderen Eigenschaften bei Super-Legierungen und beim Schnelldrehstahl ausgenützt werden.

Die Einrichtung die uns heute zur Verfügung steht ermöglicht die Fertigung von 500—600 kg Blöcken, also eine regelmässige Produktion. Die Literaturangaben zeigen, dass einige Werke eine solche Produktion schon eingeführt haben, und dass es zweckmässig wäre zu überlegen, wenn solches Verfahren nützlich auch bei uns eingeführt werden könnte.

### SUMMARY

Among sintered materials the most known are porous bearings where pores are a part of this machine part. In all the other sintered products but the filters, the pores are unavoidable consequence of manufacturing these products from powders and they represent a compromise between the demanded properties of the product and the profitable manufacturing. By standard techniques the achieved densities reach the value of 95 %; the residual porosity can be reduced to a minimum with some exceptions by hot working of material.

Powders are regularly more expensive than compact metals therefore the application of powder metallurgy is profitable only in the fields where technical advantages compensate the higher price. Essential advantages of the

compact materials from powders are mainly in compositional accuracy in the range  $\pm 0.1$  wt. %, i. e. in the range which is much closer than that achieved by melting processes, and which enables higher qualities, in the extraordinary uniformity of quality, and in fine grain. These advantages can be usefully applied for materials with special properties, for super-alloys, and for high-speed steels.

Equipment available today enables manufacturing ingots from 500 to 600 kg, i. e. this equipment enables regular production. Data show that some manufacturers already introduced such production and therefore it is necessary to decide whether this process can be usefully applied also with us.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди продуктов спекания больше всего известны пористые подшипники, при чём поры представляют собой составную часть этого машинного элемента. С исключением только фильтров, при всех остальных изделиях спекания поры представляют собой неразлучное последствие изготовления этих продуктов из порошка и равновесие между требованиями которые поставлены на качественные свойства изделий и экономии их производства. При

применении унифицированной техники работы можно теперь достигнуть теплень до 95 % теоретической густоты. Остаток пористости можно уменьшить — с исключением некоторых параметров — при помощи горячей обработки.

По праву порошки дороже от плотных металлов и, поэтому понятно, что способ изготовления продуктов спекания из порошков

рекомендуется только в случае преимущества качественных свойств изделий при сравнении увеличения расходов производства.

Существенные преимущества плотных изделий из порошков в их точности качественного состава в пределах  $\pm 0.1$  весовых %; это пределы гораздо уже в сравнении с пределами процессов плавления. Компактные изделия из порошков обладают лучшими качествами, чрезвычайной равномерностью качественных свойств и мелкозернистостью. Эти преимущества можно полезно использо-

вать для производства продуктов специальных свойств, при суперсплавах и при производстве быстрорежущей стали.

Оборудование, которое мы теперь имеем в распоряжении, даёт возможность выработки слитков тяжести 500—600 кг., т. е. позволяет вести регулярное производство. Известные данные указывают, что несколько предприятий уже ввело это производство. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность применения этого способа производства также в нашей стране.

## Tehnične novice

Pregled stanja na področju direktne redukcije rud v svetu:

(Informacija firme Union Carbide S. A. Carbon Products Division Genf Švica št. 3 julij 1973).

V svetu stalno raste zanimanje elektrojeklarjev za direktno redukcijo rud in uporabo produktov direktne redukcije kot vložek za električne obločne peči. Samo nekaj primerov o najnovejšem razvoju.

### Mehika

**HYL postopek še naprej dobiva na pomenu.** V letu 1972 je železova goba dobljena po HYL postopku udeležena pri proizvodnji 1,85 milj. ton elektrojekla s 65 %. To pa znaša kar 42 % skupne proizvodnje jekla v Mehiki. Obe jeklarni od Hojalata y Lamina S. A. (HYLSA) v Monterreyu in v Puebla in jeklarna Tubos de Acero de Mexico S. A. (TAMSA) v Veracruzu so v letu 1972 proizvedli 1,2 milj. ton jekla. Jeklarna Puebla firme HYLSA je v letu 1972 prekoračila nominalno kapaciteto za 25 %. Pričakujejo, da bodo v tej železarni v letu 1973 proizvedli 350.000 ton železove gobe, kar odgovarja približno 1060 ton dnevne proizvodnje. Nova naprava za direktno redukcijo v obratu HYLSA v Monterreyu bo začela obratovati v decembru 1973, letna proizvodnja bo znašala 475.000 ton železove gobe. S tem bo dosegel HYL postopek največjo instalirano kapaciteto za železovo gobo na svetu.

### Brazilija

**Direktna redukcija postaja vedno pomembnejša pri povečanju proizvodnje jekla.** Pri skupni proizvodnji 6,5 milj. ton v letu 1972 je elektrojeklo udeleženo z 1,37 milj. ton ali 21,1 %. Brazilija pa namerava povečati proizvodne jeklarske kapacitete do leta 1980 na 25 milj. ton. Dve napravi za direktno redukcijo sta pred dokončanjem. Pričakujejo, da bosta ti dve napravi imeli velik vpliv na bodočo izbiro postopkov za proizvodnjo jekla v tej deželi, za katero je značilna zelo hitra ekspanzija industrije.

Pri firmi Usina Siderurgica da Bahia S. A. (USIBA) v Salvadorju pričakujejo zelo hiter začetek obratovanja prve faze povečanja proizvodnje jekla. Program predvideva izgradnjo treh električnih obločnih peči in dve do tri naprave za direktno redukcijo. V letu 1980 predvidevajo proizvodnjo 600.000 ton gredic letno. Prva električna obločna peč (110 t 42 MVA) naj bi začela obratovati v aprilu in to s starim železom v vložku, kasneje pa je

predvideno, da bi vložek sestavljalo 67 % železove gobe in 33 % starega železa. Naprava za direktno redukcijo po HYL postopku s kapaciteto 667 ton železove gobe na dan bo začela obratovati avgusta istega leta. Računajo, da bodo to nominalno kapaciteto dosegli v 30 dneh.

Pri firmi ACOS FINOS PIRATINI S. A. v Porto Alegre bo v aprilu začela obratovati nova jeklarna z dvema električnimi obločnimi pečmi 40 t/16 MVA in 15 t/6 MVA na bazi starega železa za vložek. V avgustu pa bo začela obratovati ena SL/RN rotacijska peč s predvideno letno proizvodnjo 65 000 ton železove gobe. Planirana letna proizvodnja znaša 110 000 ton surovih blokov. Vložek za električne obločne peči pa bo sestavljen iz 70 % železove gobe in 30 % starega železa. Proizvodni program bo obsegal visokoogljčna jekla, kakor tudi legirana jekla do nerjavnih jekel. V drugi fazi izgradnje bodo postavili še eno 40 t obločno peč in drugo napravo za direktno redukcijo s predvideno letno zmogljivostjo 120 000 ton. Letna proizvodna kapaciteta bo potem znašala 220 000 ton surovega jekla.

### Sovjetska zveza

**Idejni načrt za peletizirno napravo z 8 milj. ton letne zmogljivosti.** Korf Stahl A. G. in državno podjetje Salzgitter Gruppe imata naročilo od Sovjetske zveze za izdelavo projektne študije, ki naj bi bila končana v 18 mesecih. Predvidena je letna proizvodnja 8 milj. ton rudnih pelet, ki naj bi služili za proizvodnjo 5 milj. ton železove gobe. (3 milj. ton železove gobe letno naj bi porabili na kraju samem v velikem železarskem kompleksu. Ostanek 2 milj. ton železove gobe pa bi eksportirali v zvezno republiko Nemčijo, ki bi deloma služila za kritje investicijskih stroškov. Ko bo končana ta študija bo potrebno še 18 mesecev za izdelavo inženiringa in nadaljnja tri leta za izgradnjo objektov. Tako ni mogoče računati z začetkom obratovanja tega integriranega elektro jeklarskega kompleksa pred letom 1979.

### Iran

**Idejni načrt za gradnjo železarne z letno kapaciteto 2,5 milj. ton.** V okviru projektne študije preiskuje vlada različne procese za direktno redukcijo, da bi lahko bogata lastna nahajališča zemeljskega plina in visokovredne železove rude bolje izkoriščali. Ta ugodna kombinacija zemeljskega plina in nahajališča železa lahko omogoči Iranu, da postane eden najbolj pomembnih proizvajalcev jekla na osnovi direktne redukcije.

## Venezuela

Osnovano je novo podjetje Fior de Venezuela. Objavljeno je bilo, da bo podjetje zgradilo napravo za proizvodnjo železove gobe s 400.000 ton letne proizvodnje po postopku Fluidatbett (fluidizirni reaktor — FIOR). Ta postopek je razvila firma Esso Research and Engineering Company, licenčne pravice pa prodaja firma Arthur G. Mc Kee & Company. Lastniki novega podjetja so med drugim Corporation Venezolana de Guajana (CVG), ki zastopa venezuelsko vlado, potem Lukens Steel Company v Coastsvillu, Pennsylvania ZDA, neko privatno železarsko podjetje iz Venezuele, in številni posamezni privatni lastniki kapitala.

Dolgoročni načrt predvideva povečanje letne zmogljivosti na 1,5 milj. ton železove gobe. Investicijski stroški bodo znašali mnogo milijonov dolarjev, gradnja pa naj bi bila končana sredi leta 1975. Računajo, da bo s tem storjen pomemben korak v razvoju železarske industrije v Venezueli, ker pač vsak postopek direktne redukcije zmanjšuje porabo metalurškega koksa v deželi.

## Južnoafriška republika

Podjetje Dunswart Iron and Steel Works LTD je postavilo v Benoni napravo za proizvodnjo železove gobe z letno zmogljivostjo 150 000 ton. Napravo je gradila firma Fried Krupp Industriebau GmbH iz Essena in bo rabila južno afriško kosovno rudo s 65 do 67 % Fe. Redukcijsko sredstvo so domači antraciti in mastni premogi.

## Kanada

11. aprila je začela obratovati naprava za direktno redukcijo pri firmi Sidbec Dosco v Contrebeuveur, Quebec. Investicijski stroški so znašali 18 milj. US \$. Naprava dela po Midrex postopku, gradilo pa jo je podjetje Midland-Ross Corporation. Oskrbuje dve 120 ton električni obločni peči. Do konca aprila so že izdelali 11.712 ton železove gobe, kar odgovarja 950 ton dnevne proizvodnje.

## Argentina

Firma Hipasam je naročila pri Midrex Division, firme Midland Ross Corporation, izgradnjo naprave za letno proizvodnjo 1,5 milj. ton rudnih pelet. V prihodnosti planira ta državna družba možno izgradnjo direktne redukcije za te železove pelete.

## Saudova Arabija

Državna družba Petromin je sklenila pogodbo z Marcona Corporation, San Francisco Kalifornija ZDA o izgradnji projekta za železarno. Marcona spada v tem okviru k posebnemu konzorciju, pri katerem sta soudeležena tudi Gilmore Steel Corporation, ki poseduje eno integrirano jeklaro in Midland-Ross Corporation oba iz ZDA. Ta konzorcij bo skupaj s firmo Petromin pretehtal vse faktorje, ki se tičejo proizvodnje jekla na bazi direktne redukcije / elektrojeklarne. Če se bo pokazalo, da je takšen projekt izvedljiv, bodo na obali arabskega zaliva postavili integrirano železarno z letno zmogljivostjo ca. 1 milijon ton. V skupni družbi, ki naj bi jo v ta namen ustanovili bo 50 % kapitala v lasti firme Petromin ostala polovica pa bi bila last Marcona grupe.

## Zvezna republika Nemčija

Naprava za proizvodnjo železove gobe v jeklarni Hamburger Stahlwerke GMBH obratuje že 15 mesecev in oskrbuje elektrojeklaro z Midreks predreduciranimi peleti. Z gradnjo tega obrata so začeli avgusta 1970 prve predreducirane pelete pa so dobili že konec oktobra 1971. Do konca marca tega leta so proizvedli že 250 000 ton železove gobe. Naprava je zgrajena za 400 000 ton letne zmogljivosti. V prvem kvartalu 1973 je naprava za direktno redukcijo obratovala s 93 % razpoložljivega časa.

## Belgija

Vložek železove gobe pri proizvodnji elektrojekla bo glavna tema enega zasedanja mednarodnega simpozija o električnih obločnih pečeh, ki bo 13 in 14 novembra v mestu Liege v Belgiji. Druge pomembne teme na tem kongresu bodo še o preskrbi elektrojeklarn z električno energijo, o konstrukcijskih principih modernih obločnih peči, o električni in termični kontroli procesa izdelave jekla, kakor tudi s področja metalurgije v ponvi. Za nadaljnje informacije in zaradi prijave se obrnite na organizatorja. Secretariat de l'Association des Ingenieurs — Electriciens Sortis de l'Institut Electrotechnique Montefiore A. J. M, Rue St. Gilles 31 B-4 Liege Belgija.



# EBNER

## Industriefenbau

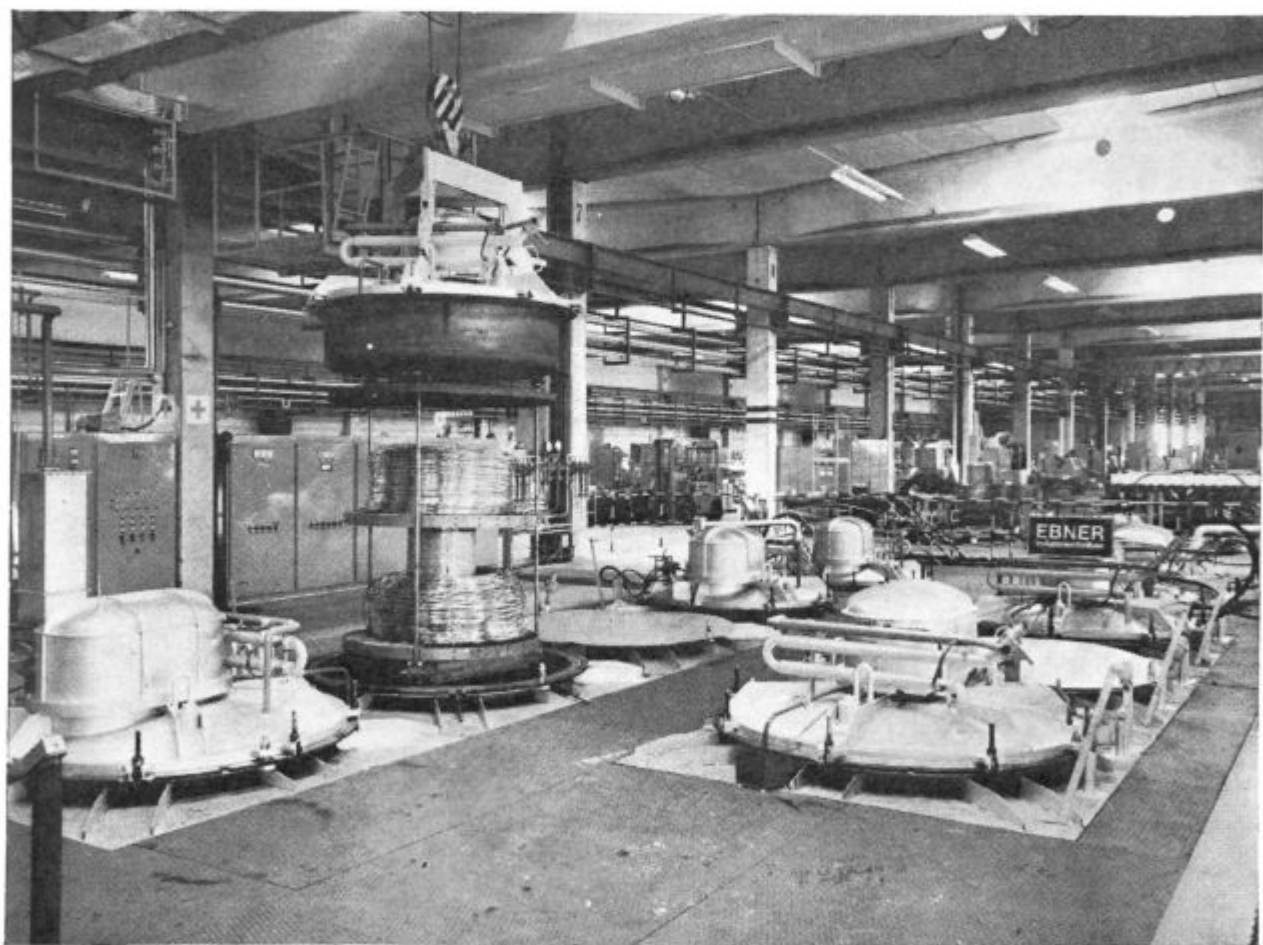
A 4021 Linz/Austria

Postfach 345

Tel. 07222 57 4 71

Telex 02/1415

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



Dve vakuumski-globinski pečji za svetlo žarjenje kolobarjev bakrene in medeninaste žice ter trakov v kombinirano vakuumski in varovalni atmosferi

Notranje mere: 1.500 mm  $\varnothing$ , globina 1.600 mm, max. temp. obratovanja 850° C, priključna moč 250 kW za vsako peč, max. teža šarže 4.000 kg.

---

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

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS  
— sekretariat za informacije št. 421-1/72 od 20. marca 1973

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