

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

## VSEBINA

	Stran
Zalar Bogdan, I. Naraks, J. Wohinz — Metalurški inštitut Ljubljana	
ODPADNO BLATO IZ PROIZVODNJE ŽVEPLENE KISLINE KOT SEKUNDARNA SUROVINA	57
Sicherl Bogdan — FNT Ljubljana D. Vodeb — Železarna Ravne N. Zakonjšek — Železarna Store	
PROBLEMATIKA ZAMENLJIVOSTI KURILNIH PLINOV V INDUSTRIJI — II. DEL	63
Vodopivec Franc — Metalurški inštitut Ljubljana A. Kelvišar, S. Mežnar — Železarna Jesenice	
PRIMERJALNI PREIZKUSI VLEČENJA JEKLENE ŽICE S KATERE JE BILA SKAJA ODSTRANJENA Z LUŽENJEM IN PESKANJEM	85
Krašovec Viktor Inštitut Jožef Stefan Ljubljana J. Rodič — Železarna Ravne	
TEM RAZISKAVE POPUSCNIH EFEKTOV ORODNEGA JEKLA Č 4850 — OCR 12 VM	103
TEHNICNE NOVICE	
Pšeničnik Jože, J. Rodič — Železarna Ravne	
NOVA ORODNA JEKLA ZA DELO V HLADNEM Č 4754 (CRV) IN Č 4755 (CRN-2) V PROIZVODNEM PROGRAMU ŽELEZARNE RAVNE	113
Zalar Bogdan, V. Ružič	
NOVA ŽELEZONOSNA SEKUNDARNA SUROVINA IZ PREDELAVE ODPADNEGA FEROSULFATA — HEPTAHIDRATA	119

LETO 11 ŠT. 2-1977

ŽEZB BQ 11 (2) 57 — 120 (1977)

**Vsebina**

stran

Zalar Bogdan, I. Naraks,  
J. Wohinz  
**Odpadno blato iz protz-  
vodnje žveplene kisline  
kot sekundarna surovina** 57  
UDK: 669.001.83  
ASM/SLA: A8

Sicherl Bogdan, D. Vodeb,  
N. Zakonjšek  
**Problematika zamenljivo-  
sti kurilnih plinov v indu-  
striji — II. del** 63  
UDK: 662.75:662.76:662.9  
ASM/SLA: RM-m

Vodopivec Franc, A. Kel-  
višar, S. Mežnar  
**Primerjalni preizkusj vle-  
čenja jeklene žice s katere  
je bila škaja odstranjena  
z luženjem in peskanjem** 85  
UDK: 669.054.71:669.054.2  
ASM/SLA: F28, L10, L10C

Kraševc Viktor, J. Rodič  
**TEM raziskave popuščnih  
efektov orodnega jekla  
C 4850 — OCR 12 VM** 103  
UDK: 620.187:621.385.833.22:  
:621.385.833.4:669.15—  
—194.58:669.14.018  
ASM/SLA: TSh, M21e,  
M22h, N7, M8A

**Tehnične novice** 113

**Inhalt**

Seite

Zalar Bogdan, I. Naraks,  
J. Wohinz  
**Abfallschlamm aus der  
Produktion der Schwefel-  
säure als Sekundärroh-  
stoff** 57  
UDK: 669.001.83  
ASM/SLA: A8

Sicherl Bogdan, D. Vodeb,  
N. Zakonjšek  
**Probleme bei der Aus-  
tauschbarkeit der Heiz-  
gase in der Industrie** 63  
UDK: 662.75:662.76:662.9  
ASM/SLA: RM-m

Vodopivec Franc, A. Kel-  
višar, S. Mežnar  
**Vergleichsziehversuche  
eines Stahldrahtes von  
welchem der Zunder  
durch das Beizen und  
Sandstrahlen entfernt  
worden ist** 85  
UDK: 669.054.71:669.054.2  
ASM/SLA: F28, L10, L10C

Kraševc Viktor, J. Rodič  
**Durchstrahlungselektro-  
nenmikroskopische (TEM)  
Untersuchungen der An-  
lassseffekte beim Werkzeug-  
stahl C 4850 — OCR 12 VM** 103  
UDK: 620.187:621.385.833.22:  
:621.385.833.4:669.15—  
—194.58:669.14.018  
ASM/SLA: TSh, M21e,  
M22h, N7, M8A

**Technische Nachrichten** 113

**Contents**

Page

Zalar Bogdan, I. Naraks,  
J. Wohinz  
**Waste mud from sulphu-  
ric acid plant as the se-  
condary raw material** 57  
UDK: 669.001.83  
ASM/SLA: A8

Sicherl Bogdan, D. Vodeb,  
N. Zakonjšek  
**Problematics on conver-  
sion of fuel gases in indu-  
stry** 63  
UDK: 662.75:662.76:662.9  
ASM/SLA: RM-m

Vodopivec Franc, A. Kel-  
višar, S. Mežnar  
**Comparative drawing  
tests of steel wire desca-  
led by pickling and shot-  
blasting** 85  
UDK: 669.054.71:669.054.2  
ASM/SLA: F28, L10, L10C

Kraševc Viktor, J. Rodič  
**TEM Investigations of  
Tempering Effects of  
C 4850 — OCR 12 VM Tool  
Steel** 103  
UDK: 620.187:621.385.833.22:  
:621.385.833.4:669.15—  
—194.58:669.14.018  
ASM/SLA: TSh, M21e,  
M22h, N7, M8A

**Technical News** 113

**Содержание**

страница

Zalar Bogdan, I. Naraks,  
J. Wohinz  
**Одходной шлам из производ-  
ства серной кислоты как вто-  
ричное сырье** 57  
UDK: 669.001.83  
ASM/SLA: A8

Sicherl Bogdan, D. Vodeb,  
N. Zakonjšek  
**Проблематика замены горя-  
чих газов в промышленности** 63  
UDK: 662.75:662.76:662.9  
ASM/SLA: RM-m

Vodopivec Franc, A. Kelvišar,  
S. Mežnar  
**Сравнительные опыты воло-  
чения стальной проволоки, с  
которой окалина удалена  
травлением и пескоструйной  
очисткой.** 85  
UDK: 669.054.71:669.054.2/  
ASM/SLA: F28, L10, L10C

Kraševc Viktor, J. Rodič  
**ТЭМ исследования эффектов  
снятия напряжения инстру-  
ментальной стали  
С.4850 —  
OCR 12 VM.** 103  
UDK: 620.187:621.385.833.22:  
:621.385.833.4:669.15—  
—194.58:669.14.018  
ASM/SLA: TSh, M21e, M22h,  
N7, M8A

**Технические новости** 113

Vestibulum

1. Vestibulum  
2. Vestibulum  
3. Vestibulum  
4. Vestibulum  
5. Vestibulum  
6. Vestibulum  
7. Vestibulum  
8. Vestibulum  
9. Vestibulum  
10. Vestibulum

11. Vestibulum  
12. Vestibulum  
13. Vestibulum  
14. Vestibulum  
15. Vestibulum  
16. Vestibulum  
17. Vestibulum  
18. Vestibulum  
19. Vestibulum  
20. Vestibulum

21. Vestibulum  
22. Vestibulum  
23. Vestibulum  
24. Vestibulum  
25. Vestibulum  
26. Vestibulum  
27. Vestibulum  
28. Vestibulum  
29. Vestibulum  
30. Vestibulum

31. Vestibulum  
32. Vestibulum  
33. Vestibulum  
34. Vestibulum  
35. Vestibulum  
36. Vestibulum  
37. Vestibulum  
38. Vestibulum  
39. Vestibulum  
40. Vestibulum

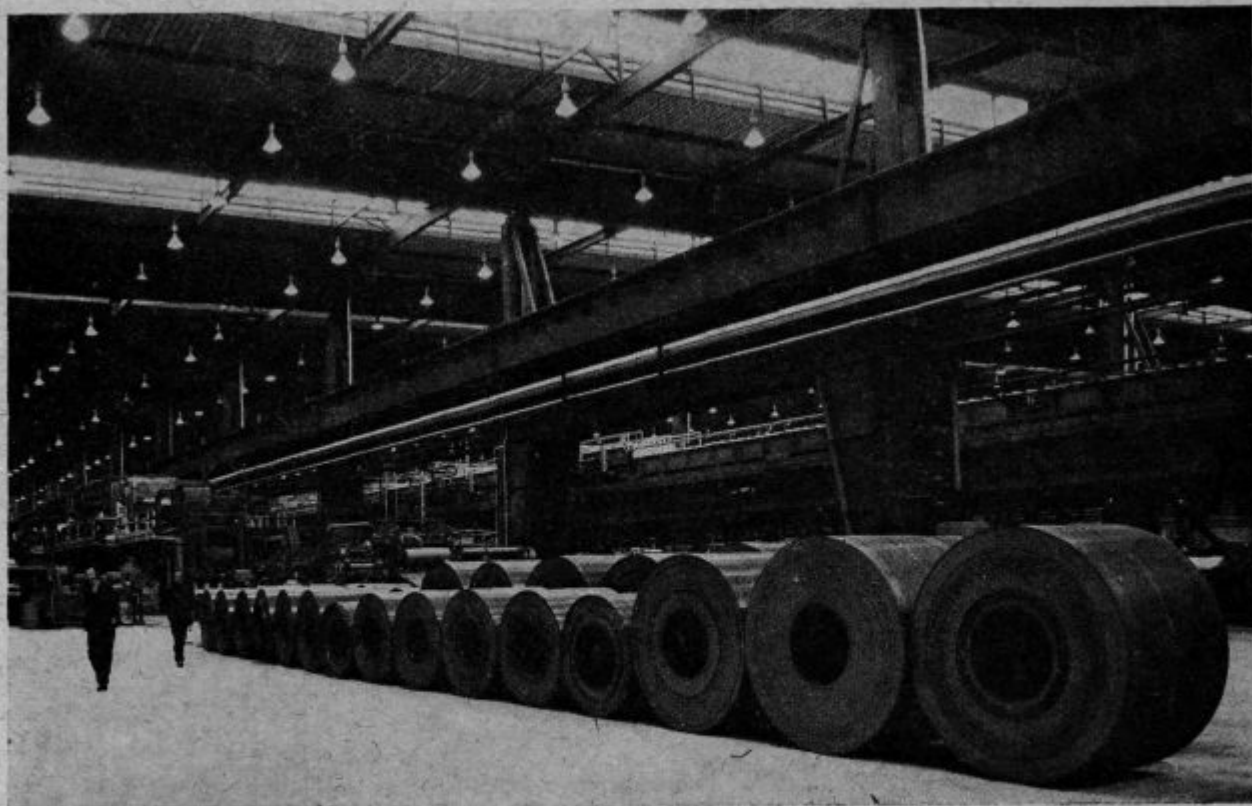


# ŽELEZARNA JESENICE

## Proizvaja:

debelo, sredno in tanko pločevino  
dinamo trakove  
hladno valjane trakove  
vlečeno, brušeno in luščeno jeklo  
vlečeno žico  
vlečeno žico — patentirano  
pleteno patentirano žico za  
prednapeti beton

hladno oblikovane profile  
cestne varnostne ograje  
jeklene podboje za vrata  
dodajni material za varjenje:  
— tehnični plin ARGON  
žičnike  
jekleni sekanec



Notranjost hladne valjarne »BELA«. Trakovi pripravljani za luženje



# TEKOL

podjetje za tehnično zaščitna dela  
Maribor, Titova c. 44

opravlja:

- protikorozijsko zaščito vseh železnih konstrukcij, plovnih objektov, hidroenergetskih objektov itd.,
- plastifikacijo, metalizacijo,
- hidroizolacijo streh,
- zaščito betona in betonskih konstrukcij.

Dela izvršujemo doma in v tujini.

---

# **INTECO**

A-8600 BRUCK AN DER MUR  
BAHNHOFSTRASSE 9

**SVETOVALEC V METALURŠKI  
INDUSTRIJI DAJE OPORO PRI  
REŠEVANJU VAŠIH PROBLEMOV**

## **INDUSTRIJSKI INŽENIRING**

Projektne študije  
Raziskave gospodarnosti  
Rentabilnost  
Uspešnost obratov in naprav  
Racionalizacije obratov  
Planiranje naprav

## **TEHNIKA METALURŠKIH POSTOPKOV**

Proizvodnja jekla  
Pretaljevanje pod žlindro  
Pretaljevanje v vakuumu  
Klasično litje in konti litje  
Predelava s kovanjem ali valjanjem  
Toplotna obdelava in finalizacija

## **KONSTRUIRANJE IN NADZOROVANJE NOVOGRADENJ**

Projektiranje in gradnja posebnih  
naprav  
Naprave za električno  
pretaljevanje pod žlindro  
Naprave za taljenje v vakuumu  
in litje  
Nadzorovanje in vodenje projektov  
Vpeljava naprav v proizvodnjo

TELEFON (0 38 62) 53 110 53 111  
TELEX 36 720 inteco

**CONSULTANT TO THE  
METALLURGICAL INDUSTRY  
WE ASSIST IN SOLVING YOUR  
PROBLEMS**

## **INDUSTRIAL ENGINEERING**

Feasibility Studies  
Modernisation of existing shops  
Improvement of material flow  
Lay out of plants and shops  
Reorganisation of shops

## **METALLURGICAL PROCESS TECHNOLOGY**

Steel production  
Remelting under Slag or Vacuum  
Ingot — or Continuous Casting  
Hotworking by Rolling or Forging  
Heat Treatment

## **DESIGN AND SUPERVISION OF CONSTRUCTION**

Design of special equipment  
Electroslag Remelting Units (ESR)  
Vacuum Melting — and Casting  
Supervision of Projects  
Start up of equipment

**INTECO** Internationale Technische Beratung Gesellschaft m. B. H.  
A-8600 BRUCK/MUR  
TELEFONE (0 38 62) 53 110  
BAHNHOFSTRASSE 9  
TELEX 36 720 inteco a

**AUSTRIA — EUROPE**

## Odpadno blato iz proizvodnje žveplene kisline kot sekundarna surovina

UDK : 669.054.83

ASM/SLA : A8

Bogdan Zalar, I. Naraks, J. Wohinz

*Specifičnosti odpadnega blata iz proizvodnje žveplene kisline, ca. 4,6 % S v obliki  $\text{CaSO}_4$ , vlažnost od 34—41 % in fina zrnatost, preprečujejo homogenizacijsko mešanje s piritnimi ogorki in povzročajo pri tem lokalne skupke iz samega blata. Ti ohranijo svojo obliko tudi pri peletizaciji in obdržijo svoje lastne fizikalne lastnosti. Članek obravnava rezultate raziskav o možnostih vključitve tega odpadnega materiala z omenjenimi specifičnimi lastnostmi v tehnologijo predelave piritnih ogorkov za potrebe v železarski industriji.*

### UVOD

Pri sedanji proizvodnji žveplene kisline v Celju dobivamo stranske proizvode: piritne ogorke (ca. 48.000 t/leto), odpadno nevtralizacijsko blato (ca. 6.000 t/leto) in iz novih industrijskih naprav t. i. ferosulfatne ogorke (ca. 42.000 t/leto). O možnostih najoptimalnejšega izkoriščanja piritnih ogorkov v proizvodnji železa in jekla ter svinca so izdelane številne raziskave z zaključnimi industrijskimi poskusi in rentabilnostnimi izračuni.<sup>1,2</sup>

Odpadno blato iz nevtralizacijskih bazenov naprav za proizvodnjo žveplene kisline je po vsebnosti železa podobno piritnim ogorkom, razlikuje pa se delno v kemijskih lastnostih in ima povsem specifične fizikalne lastnosti. Z ozirom na relativno majhne razpoložljive letne količine odpadnega blata bi bilo ekonomsko neutemeljeno uvajati kakršenkoli dodaten tehnološki postopek, ki bi posebej pripravljaval ta material za nadaljnje izkoriščanje. Zato je ideja o možnosti vključitve tega materiala

Mgr. Zalar Bogdan, dipl. ing. met., samostojni raziskovalec, Metalurški inštitut Ljubljana

Naraks Jože, dipl. teh. met., obratovodja pražarne in  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , Cinkarna Celje

Wohinz Janez, dipl. ing. kem., samostojni raziskovalec, Metalurški inštitut Ljubljana

v tehnološke postopke priprave piritnih ogorkov realna. Vendar omenjene specifične fizikalne lastnosti in dejstvo, da vsebnost ca. 7 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  v blatu zahteva sedaj v obratu nevtralizacijo z apnom, bistveno vplivajo na dosedaj raziskane postopke.

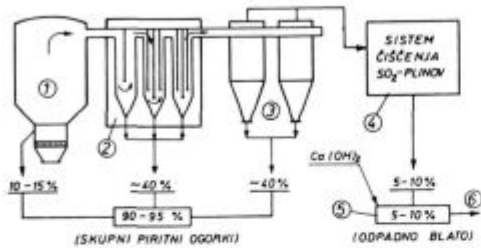
Raziskave uporabnosti in ocena ferosulfatnih ogorkov iz novih industrijskih naprav so v teku.

### IZVOR ODPADNEGA BLATA

Kakor dobimo priritne ogorke iz prve faze praženja piritnih koncentratov pri proizvodnem procesu pridobivanja žveplene kisline, dobimo tudi obravnavano blato iz tega ciklusa proizvodnje, in sicer iz pralnih stolpov in elektrofiltrov, ki opravljajo funkcijo dokončnega čiščenja  $\text{SO}_2$ -plinov. Ker izvira tako nastalo odpadno blato iz iste osnovne surovine kot piritni ogorki, bi naj bile kvalitativne lastnosti zelo blizu lastnostim piritnih ogorkov.

Od skupnih ogorkov piritnih koncentratov (sl. 1) jih direktno iz pražilnega reaktorja dobimo ca. 10—15 %, iz rekuperacijskega parnega kotla ca. 40 % in iz ciklonov tudi ca. 40 %. Vse skupaj vodimo v zbirne bunkerje za piritne ogorke. Se ca. 5—10 % finih delcev piritnih ogorkov vstopa skupno z vročimi  $\text{SO}_2$  plini naprej v sistem čiščenja. Najprej v prvi pralni stolp, kjer se navlažijo in ohladijo s pomočjo razredčene pralne kisline. Po izstopu iz stolpa vodimo pralno kislino skozi usedalce blata, kjer se dekantira in v mešalni hladilnik, kjer se pralna kislina ponovno ohladi do željene temperature in vrača v krogotok. V usedalce blata običajno vodimo tudi izpiralno tekočino iz drugega pralnega stolpa in še redkeje (samo ob remontih) izpiralno tekočino iz mokrih elektrofiltrov.

Iz usedalcev nadalje vodimo mokro blato v nevtralizacijski bazen, kjer dodajamo apneno mleko ( $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) z namenom nevtralizirati še vse-



Slika 1

Shematski tehnološki in kvantitativni prikaz izvora odpadnega blata iz prazilnega procesa piritnih koncentratov (1 — FS-reaktor, 2 — parni kotel, 3 — ciklona, 4 — čiščenje SO<sub>2</sub> plinov — opis v tekstu, 5 — nevtralizacijski bazen, 6 — končni zbirni bazen blata)

Fig. 1

Scheme of technological and quantitative presentation of the waste mud origin from the pyrite roasting process (1 — fluo-solid reactor, 2 — steam boiler, 3 — cyclons, 4 — SO<sub>2</sub> gas cleaning, 5 — neutralisation, 6 — final mud collection)

bovanih ca. 7 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Dodajamo ca. 6 kg Ca(OH)<sub>2</sub> na 1 t proizvedene H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Iz tega bazena vodimo nevtralizirano blato v zbirne bazene na prostem.<sup>6</sup>

**KEMIJSKE LASTNOSTI ODPADNEGA BLATA**

Za nadaljno predelavo in uporabo pride v poštev nevtralizirano odpadno blato, ki se nabira v končnih zbiralnih bazenih. V nevtralizacijski bazen (sl. 1, 5) pride izprano »kislo« blato, kjer dodajamo Ca(OH)<sub>2</sub>. Kemijska sestava tega blata (tabela 1) potrjuje domnevo, da je bil vzorec vzet, še preden je bila reakcija nevtralizacije dokončana. Vsebnost Ca je bila le nekoliko višja kot pri vzorcu skupnih piritnih ogorkov.

Odpadno blato iz končnega zbirnega bazena pa kaže že dve bistveni odstopanji v kemijski sestavi:  
 — vsebnost Ca je okoli 8 % in več ter  
 — vsebnost S<sub>tot</sub> (oz. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) je okoli 4,6 %.

To dejstvo dokazuje, da je reakcija nevtralizacije Ca(OH)<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = CaSO<sub>4</sub> + 2H<sub>2</sub>O izvršena in da se je odpadnemu blatu primešal tudi Ca-sulfat.

**FIZIKALNE LASTNOSTI ODPADNEGA BLATA**

Zbiralni bazeni za odpadno blato ležijo na prostem. Blato se useda na dno bazena, nad njim pa stoji voda, bodisi od dežja, bodisi od vode, ki izvira iz vodnega transporta. Ko smo pripravljali vzorec za določevanje vlage, smo predpostavljali, da se bo ta izločena voda pri vsaki nadaljnji eventualni uporabi odstranila. Takšno odpadno blato pa ima še vedno:

— vsebnost H<sub>2</sub>O od 34,5 % — 41,5 %.

Vsekakor je to izredno visoka stopnja vlažnosti in neprimerna za vsak nadaljnji postopek predelave.

Tabela 1: Kemijske analize odpadnega blata v primerjavi z analizo piritnih ogorkov iz proizvodnje H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> v Celju

Table 1  
 Chemical Analyses of Waste Mud Compared with Analyses of Pyrite Cinder of Sulphuric Acid Plant in Celje

	Skupni piritni ogorki	Odp. blato iz nevtral. bazena	Odp. blato iz končnega zbir. bazena
Fe <sub>tot</sub>	57,05	55,10	47,50
FeO	4,35	4,40	3,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	76,45	73,90	64,20
Zn	1,11	<b>1,0</b>	<b>1,06</b>
Cu	0,215	<b>0,30</b>	<b>0,18</b>
Pb	0,015	0,0280	0,0220
Sn	0,005	0,0050	0,0050
Sb	0,001	0,0035	0,0015
Cd	0,0035	0,0010	0,0010
Mn	0,0064	0,0090	0,0090
Ni	0,0023	0,0022	0,0020
Co	0,0016	0,0008	0,0004
Cr	0,0003	0,0007	0,0005
As	0,160	<b>0,170</b>	<b>0,190</b>
Ca	0,410	<b>0,90*</b>	<b>8,70</b>
Mg	0,058	0,080	0,520
Al	0,159	0,271	0,162
SiO <sub>2</sub>	5,25	7,350	5,050
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,035	0,040	0,035
TiO <sub>2</sub>	0,084	0,092	0,072
S <sub>tot</sub>	0,67	<b>1,520</b>	<b>4,600</b>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,50	1,460*	4,530*

\* — glej pripombo v tekstu

Sušenje blata ni problematično. Vendar se osušeno blato rahlo sprime v pogačo in je v takšnem primeru potrebna pred nadaljnjimi postopki razdrobitev. Sejalno analizo smo lahko iz tega razloga izdelali le po mokrem postopku.

Izredno fino zrnati karakteristiki odpadnega blata (tabela 2) v primerjavi s sejalno karakteristiko piritnih ogorkov ustreza relativno velika specifična površina. Podrobnejše preiskave so pokazale, da ima odpadno blato iz končnih zbirnih bazenov manjšo specifično površino kot blato iz nevtralizacijskega bazena (8060 g/cm<sup>3</sup>); verjetno zaradi



Tabela 2: Nekaterne fizikalne lastnosti odpadnega blata v primerjavi s piritnimi ogorki iz proizvodnje  $H_2SO_4$  v Celju.

Table 2  
Some Physical Properties of Waste Mud Compared with Those of Pyrite Cinder of Sulphuric Acid Plant in Celje.

	Skupni piritni ogorki	Odp. blato iz končnega zbir. bazena
<b>Sejalna analiza</b>		
+ 0,200 mm	2,60 %	—
+ 0,160 mm	—	1,22 %
+ 0,125 mm	7,90 %	—
+ 0,090 mm	17,73 %	1,69 %
+ 0,063 mm	22,38 %	1,64 %
+ 0,040 mm	29,32 %	1,10 %
— 0,040 mm	20,07 %	94,35 %
<b>Specifična teža</b>		
(kp/dm <sup>3</sup> )	4,24	3,78
<b>Specifična površina</b>		
(g/cm <sup>3</sup> )	2100	6481

tvorjenega  $CaSO_4$ , ki lahko že delno oblikuje majhne skupke posameznih zrn (podrobneje v nadaljnjih poglavjih).

## REZULTATI POSKUSOV UPORABNOSTI ODPADNEGA BLATA

Z ozirom na specifične lastnosti odpadnega blata smo raziskave in poskuse razvrstili v tri osnovne skupine:

— v raziskave o možnosti uporabe samega nepredelanega, t. j. nesušenega odpadnega blata,

— v raziskave o možnosti uporabe predhodno sušenega odpadnega blata, ki bi se lahko mešalo v poljubnih, oz. zahtevanih količinah s piritnimi ogorki, s končnim ciljem skupne nadaljnje predelave in

— v raziskave o možnosti dodajanja nesušenega blata v določenih količinah suhim piritnim ogorkom, tudi s ciljem skupne predelave.

Pri številnih poskusih smo upoštevali že raziskovano tehnologijo izdelave fizikalno poboljšanih piritnih ogorkov, to je izdelave bentonitnih utrjenih peletov in tehnologijo izdelave fizikalno in kemično poboljšanih piritnih ogorkov, to je izdelavo klorirnih utrjenih peletov<sup>1,3</sup>.

## Uporabnost samega nesušenega odpadnega blata

Odpadno blato je nepredelano za nadaljnjo izkoriščanje neprimerno iz naslednjih vzrokov:

— zaradi izredno visoke vsebnosti vlage (35 do 41 %)

— zaradi izredno visoke vsebnosti jekla, ca. 4,5 % in

— zaradi povečane vsebnosti Ca (ca. 8 %), ki bi zahtevala v primerjavi s piritnimi ogorki posebno tehnologijo vodenja železarskih procesov.

## Uporabnost sušenega odpadnega blata s piritnimi ogorki

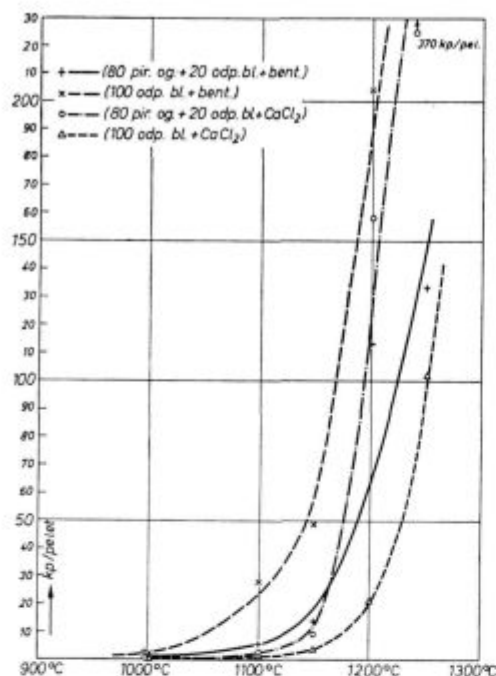
Sušenje odpadnega blata je tehnološko izvedljivo. Rahlo sprijeto blato po sušenju je potrebno pred nadaljnji postopki predelave zdrobiti. Vendar kljub drobljenju nikoli ne dobimo prvotnih zrn. Prisotni  $CaSO_4$  deluje verjetno kot nekontrolirano vezivno sredstvo. Poskusi so nadalje dokazali, da je dobljena stopnja razdrobitve zadostna za nadaljnje procese predelave.

Posušeno in naknadno zdrobljeno blato je možno zadovoljivo enakomerno pomešati z razpoložljivimi piritnimi ogorki. Tudi izdelava bentonitnih kot klorirnih peletov z ustrezno zadovoljivo homogeniziranimi mešanicami piritnih ogorkov in posušenega blata, pa tudi samega posušenega blata ne dela težav. Za izdelavo bentonitnih peletov smo tudi v tem primeru izbrali alkalijsko aktiviran bentonit iz Zaloške gore pri Celju z oznako All/R. Bentonita smo dodali 1 %. Za klorirno vezivo smo uporabili  $CaCl_2$  v obliki nasičene raztopine v več poskusnih količinah od 3,2 % do 6,4 % (preračunano na  $Cl_2$ ).

Zadovoljivo utrditev zelenih peletov iz mešanic in samega odpadnega blata dosežemo v intervalu od 1200°C do 1250°C (slika 2). Višje temperature utrjevanja narekuje izključno potreba po optimalni stopnji razžveplanja: v odpadnem blatu se nahaja žveplo v obliki težko razkrojljivega  $CaSO_4$ , zaradi česar dosežemo zadovoljivo razžveplanje šele pri temperaturah nad 1300°C. V obravnavanem primeru so takšne utrjevalne temperature potrebne za obe vrsti peletov. Bentonitne pelete iz samih piritnih ogorkov lahko namreč utrjujemo pri temperaturah malo nad 1200°C; v klorirnih peletih iz samih piritnih ogorkov pa je zaradi vezilnega sredstva  $CaCl_2$  tudi možna tvorba s  $CaSO_4$ .

Vse vrste poskusnih peletov so vzdržale preiskovalne pogoje na toplotni udar. Raziskave na talilnem mikroskopu so dokazale, da pri temperaturah okoli 1350°C taljenja še ni opaziti, torej sta obe vrsti peletov pri optimalni temperaturi utrjevanja še v trdnem stanju.

Obnašanje kemijskih lastnosti pri predelavi posameznih poskusnih mešanic je povsem enako kot pri predelavi samih piritnih ogorkov<sup>1</sup>: bento-



Slika 2

Trdnosti peletov v odvisnosti od utrjevalnih temperatur za nekatere poskusne mešanice piritnih ogorkov in sušenega ter zdrobljenega odpadnega blata (+ = 80 % piritnih ogorkov + 20 % odpadnega blata, bentonit; x = 100 % odpadnega blata, bentonit; o = 80 % piritnih ogorkov + 20 % odpadnega blata, CaCl<sub>2</sub>; Δ = 100 % odpadnega blata, CaCl<sub>2</sub>)

Fig. 2

Pellet strengths depending on the firing temperatures for some mixtures of pyrite cinder, and dried and crushed waste mud (— 80 % pyrite cinder and 20 % mud, bentonite added, x — 100 % mud, bentonite added, o — 80 % pyrite cinder and 20 % mud, CaCl<sub>2</sub> added, — 100 % mud, CaCl<sub>2</sub> added)

nitni peleti kemijske sestave ne spreminjajo, iz klorirnih peletov pa so odstranjene neželezne kovine in ostane samo problematika arzena<sup>4</sup>. Odstopanje predstavlja le specifična oblika vsebnosti žvepla v obeh vrstah peletov.

#### Uporabnost nesušenega odpadnega blata s piritnimi ogorki

Nesušeno odpadno blato se ne da homogeno zmešati s piritnimi ogorki. V mešanici se tvorijo grudice različnih oblik iz samega blata, kar potrjujejo analize le-teh:

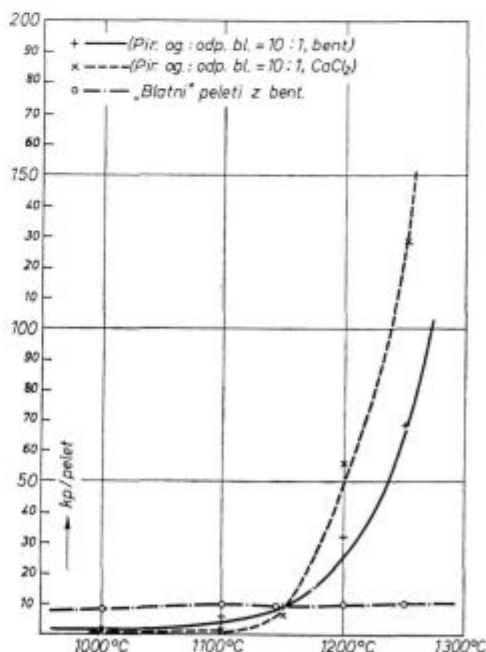
Ca = 4,01 %, S = 3,32 % (v primerjavi s povprečnimi vrednostmi v posameznih poskusnih mešanicih: Ca = 1,15 do 1,51 % in S = 0,96 do 1,18 %). Tudi mešanje nekaj ton različnih vrst poskusnih mešanic v industrijskem mešalcu tipa Eirich (z avtomatskim časovnim upravljanjem posameznih operacij in delovanjem na principu vrtenja dna krožnika z vstavljenima dvema mešaloma, s čemer je efekt mešanja učinkovitejši) ni vplivalo na razdrobitev oblikovanih komadastih grudic. V premešanem materialu so okroglasti skupki velikosti premera 3—15 mm ostali. Delno so bili na

zunanji strani obdani s tanko plastjo piritnih ogorkov. Pomembna je ugotovitev, da se je vlažnost teh skupkov znižala od vsebnosti vlage v odpadnem blatu ca. 40 % na stopnjo vlažnosti celotne mešanice. Vse kaže, da CaSO<sub>4</sub> v odpadnem blatu že v začetku faze mešanja resnično deluje kot vezivno sredstvo izključno lokalno, samo v teh skupkih odpadnega blata. Intenzivno mešanje daje verjetno samo še idealnejše pogoje za tvorbo trdnejših lokalnih peletov, oziroma skupkov.

S številnimi poskusi smo ugotovili, da je lokalno nastale skupke samega blata v mešanici s piritnimi ogorki možno razdrobiti. Takšne naknadno zdrobljene mešanice se pri obeh postopkih peletizacije obnašajo normalno (v tem primeru smo zaradi relativno večje prisotnosti vlage v poskusnih mešanicih dodajali vezivo CaCl<sub>2</sub> v trdni obliki in ne v raztopini).

Tudi smo ugotovili, da izdelavo bentonitnih in klorirnih peletov omenjeni predhodno izoblikovani skupki iz samega blata ne otežkočajo. Važna je ugotovitev, da približno 50 do 70 % skupkov ohrani svojo kompaktnost in obliko med ostalimi peleti tudi po končanem procesu peletizacije. Manjši del se verjetno zaradi mehanskih obremenitev med procesom peletizacije zdrobi in združi z ostalo mešanico.

Pri podajanju rezultatov trdnostnih lastnosti po procesu utrjevanja (slika 3), prikazujemo tudi



Slika 3

Trdnost peletov v odvisnosti od utrjevalnih temperatur za poskusne mešanice piritnih ogorkov in nesušenega odpadnega blata (+ = piritni ogorki : odpadno blato je 10:1, bentonit; x = piritni ogorki : odpadno blato je 10:1, CaCl<sub>2</sub>; o = peleti iz samega blata, bentonit)

Fig. 3

Pellet strengths depending on the firing temperatures for some mixtures of pyrite cinder, and dried and crushed waste mud (— pyrite cinder/mud 10:1, bentonite, x — pyrite cinder/mud 10:1, CaCl<sub>2</sub>, o — pellets of mud, bentonite)

obnašanje skupkov iz samega blata, ki smo jih posebej izločili iz peletov. Pomembno je dejstvo, da le-ti ne povečajo svojih trdnostnih lastnosti tudi pri temperaturah nad 1250 °C. To bi pomenilo, da pri nadaljnjih tehnoloških procesih verjetno ti skupki ne bi vzdržali mehanskih obremenitev.

Vse ostale fizikalne lastnosti so približno enake lastnostim peletov iz prejšnjega poglavja; le toplotni udar manj vzdržijo samostojni skupki iz odpadnega blata.

Odstopanja od poznanega obnašanja kemijskih lastnosti pri predelavi samih piritnih ogorkov so tudi v tem primeru samo zaradi specifičnosti oblike vsebnosti žvepla in zaradi lokalnih tvorb skupkov iz samega blata.

### ZAKLJUČNI PREDLOGI OPTIMALNE VKLJUCITVE ODPADNEGA BLATA V POSTOPKE PREDELAVE PIRITNIH OGORKOV

Iz opisanih ugotovitev lahko povzamemo osnovna specifična pojava, ki bistveno vplivata na tehnološke možnosti vključitve odpadnega blata k postopkom predelave piritnih ogorkov:

— povečana vsebnost žvepla v obliki  $CaSO_4$  v odpadnem blatu, ki narekuje visoke temperature utrjevanja z namenom istočasnega razžvepljanja po reakciji razkroja  $CaSO_4$  in

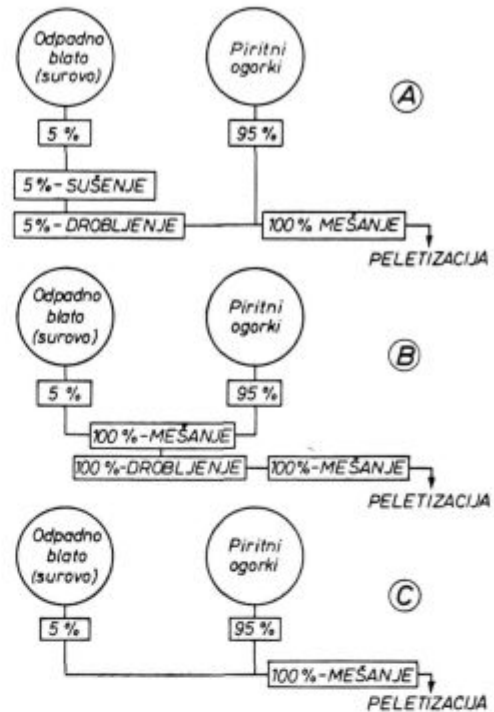
— tvorba lokalnih skupkov iz samega odpadnega blata pri homogenizacijskem mešanju nesušenega blata s piritnimi ogorki.

Na sliki 4 shematsko prikazujemo možne variante vključitve odpadnega blata v standardno tehnološko predelavo piritnih ogorkov, izdelanih na osnovi opisanih rezultatov raziskav. Iz tega pregleda lahko dobimo tudi preliminarni vpogled v potrebne kapacitete agregatov za posamezne tehnološke faze.

*Varianta A* je tehnološko najbolj ustrezna. Dodatno sta potrebni fazi sušenja in drobljenja le za količine odpadnega blata.

*Varianta B* je tehnološko zadovoljiva. Ponovno zdrobljeni lokalni skupki iz samega odpadnega blata sicer niso zdrobljeni do primarnih zrn in mešanica ni idealno homogenizirana. Za realizacijo so potrebne dodatne mešalne in drobilne naprave za celotno količino mešanice. Pri rentabilnostnih izračunih mora biti to dejstvo vsekakor eden izmed pomembnih dejavnikov.

*Varianta C* je tehnološko najmanj ugodna, vendar iz ekonomskega vidika opravičljiva. Peletizacija je pri tej varianti možna; 30 do 50 % nastalih lokalnih skupkov odpadnega blata se zdrobi že med procesom peletizacije in domnevamo, da bi se tudi v rotacijski peči pri procesu utrjevanja ti neutrjeni skupki (sl. 3) še nadalje delno zdrobili. Pri končni sejalni klasifikaciji utrjenih peletov (ki je vedno vključena v standardno tehnologijo) bi skupno z ostalim drobižem vračali v mešanico za peletizacijo tudi te zdrobljene »blatne« skupke. In če še



Slika 4

Variantne tehnološke sheme vključitve odpadnega blata v proces predelave piritnih ogorkov (v procentih so navedena dejanska kvantitativna razmerja)

Fig. 4

Possible technological flowsheets for applicability of the waste mud in preparing pyrite cinder for ferrous metallurgy (the actual quantitative portions are given in percents)

nadalje upoštevamo relativno zelo majhen del razpoložljivega blata v primerjavi z razpoložljivimi proizvedenimi piritnimi ogorki (sl. 1), lahko zaključimo, da so omenjene negativne tehnološke strani relativno majhne v primerjavi s skoraj nikakršnimi stroški za potrebne dodatne agregate in tehnološke faze.

Tehnološko najidealnejša bi bila vsekakor *varianta D* (ki jo na sliki 4 ne prikazujemo): predhodno z visoko temperaturo odstranjevanje žvepla iz samega blata z nadaljnjim zdrobljenjem in dodajanje takšnega piritnim ogorkom za nadaljnjo predelavo.

### KONČNI ZAKLJUČEK

Bistveni zaključek raziskav je, da razpoložljive količine odpadnega blata lahko na bolj ali manj optimalni način vključimo v procese priprave piritnih ogorkov za potrebe železarn.<sup>1</sup> Za rentabilno predelavo pa so razpoložljive količine piritnih ogorkov in odpadnega blata še vedno premajhne. V predelavo moramo vključiti še nove ferosulfatne ogorki iz Celja in vse druge razpoložljive železonske odpadne materiale. Dosedanje raziskave ferosulfatnih ogorkov dajejo zelo optimistične rezultate. V prihodnje pa bo potrebno raziskati možnosti vključitve v predelavo še vse železarske in jeklarske

poletine in druge finoizrnatne odpadke ter magnetno frakcijo rdečega blata. Do rentabilnostne kvantitete predelave imamo možnost vključiti v predelavo še razne ustrezne finoizrnatne železove rude.

#### Literatura

1. Poročila metalurškega inštituta v Ljubljani št. 857, 901, 906, 909, 69, 96, 326, 407, 531 (Kuharič, Wohinz, Zalar)
2. P. Souvent, B. Zalar: Optimizacija predelave svinčevih poletin, *Železarski zbornik*, 9, št. 3, 1975
3. B. Zalar: Aplikacija zakonitosti razžveplanja v procese utrjevanja pelet iz piritnih ogorkov, *Železarski zbornik*, 8, št. 3, 1974
4. B. Zalar, J. Wohinz: Aplikacija termodinamičnih in kinetičnih zakonitosti prehlapevanja As-sulfidov, As-oksido v in As-kloridov v praktično tehnologijo priprave piritov in piritnih ogorkov za proizvodnjo grodlja, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 251/1974
5. B. Waeser, Die Schwefelsäurefabrikation — Braunschweig, Frid, Vieweg & Sohn, 1961
6. Tehnologija proizvodnje  $H_2SO_4$  v CC, Interno poročilo Cinkarne Celje

### ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Produktion der  $H_2SO_4$  aus Pyritkonzentraten entstehen als Nebenerzeugnis Pyritasche und in den Neutralisationsbassins Abfallschlamm. Im Artikel sind die Untersuchungsergebnisse über die Möglichkeit der Einschliessung des Abfallschlammes in das Verfahren der Verarbeitung der Pyritasche für die Eisenhüttenindustrie beschrieben. Obwohl die chemische Zusammensetzung der meisten anwesenden Elemente der chemischen Analyse der Pyritasche ganz ähnlich ist (Tabelle 1), ist eine Eingliederung problematisch vor allem wegen der hohen Feuchte (34 bis 41 %) und wegen des relativ hohen Schwefelgehaltes (ca 4,6 % S) vorwiegend gebunden als  $CaSO_4$  (ca 8 % Ca).

Der rohe abfallende Schlamm ist für die Verarbeitung nicht geeignet. Getrockneter Schlamm klebt ein wenig, es lässt sich aber zermahlen und mit der Pyritasche in jedem Verhältnis mischen. Pelletisierung ist möglich. Die Verfe-

stigung der Pellets ist allerdings wegen des schwer zersetzbaaren  $CaSO_4$  bei den Temperaturen über  $1300^\circ C$  durchzuführen. Ein homogenes Mischen des nichtgetrockneten Schlammes mit der Pyritasche ist erfolglos: der anwesende  $CaSO_4$  im Schlamm wirkt als unkontrolliertes Bindemittel und es werden Klösschen nur von Schlamm gebildet. Auch beim Pelletisieren einer solchen unhomogenen Mischung verbleiben solche lokalisierte Klösschen von Schlamm, welche bei dem Verfestigungsprozess nichts an Festigkeit gewinnen (Bild 3).

Es sind schematisch einige technologische Varianten (Bild 4) über die Möglichkeit mehr oder weniger optimalen Eingliederung der genannten Mengen von Abfallschlamm in die Technologie der Ausbeutung von Pyritasche vorgeschlagen.

### SUMMARY

In manufacturing sulphuric acid from pyrite concentrates, pyrite cinder and the waste mud from neutralisation are the by-products. Applicability of this waste mud in preparing pyrite cinder as raw material for ferrous metallurgy was studied and described in the paper. Though chemical analysis of the mud corresponds to the chemical analysis of cinder for majority of elements (Table 1), the problems appear due to its high moisture content (34 to 41 %) and high sulphur (about 4,6 %) mainly in form of  $CaSO_4$  (about 8 %).

The waste mud alone is unsuitable for further treatment. Dry mud cakes, but it can be crushed and mixed

with the cinder in any portion. Pelletizing is possible but firing must be performed over  $1300^\circ C$  due to hard dissociation of  $CaSO_4$ . Homogenization mixing of wet mud with pyrite cinder was unsuccessful: the present  $CaSO_4$  acts like uncontrolled binding agent causing that mud alone cakes. Also during pelletizing, nonhomogeneous local mud agglomerates did not disappear and they represent weak points of fired pellets (Fig. 3).

Possible technological flowsheets are proposed (Fig. 4) for more or less optimal inclusion of the waste mud into the technology of the applicability of pyrite cinder.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При производстве  $H_2SO_4$  из пиритных концентратов получают как побочный продукт пиритные огарки, а в нейтрализационных чанах — отходной шлам. В этой работе приведены результаты исследований о возможности включения отходного шлама в процесс переработки пиритных огарков при их применении в металлургии железа. Несмотря на то, что химический состав шлама, что касается большинства содержащихся элементов, вполне отвечает анализу пиритных огарков (см. табл. 1), применение шлама под вопросом, главным образом вследствие высокого содержания влаги (прибл. 34—41 %) и серы (прибл. 4,6 %), которая находится в форме  $CaSO_4$  (прибл. 8 % Ca).

Сырой шлам непригоден для переработки. Осушенный шлам слегка окомковывается; дробление комков и их перемешивание с пиритными огарками во всех соотношениях компонент смеси

выполняется легко. Изготовление окатышей возможно, но упрочнение вследствие тяжело разлагаемого  $CaSO_4$  должно выполняться при  $t$ -рах выше  $1300^\circ C$ . Гомогенизационное перемешивание сырого шлама с огарками пирита безуспешно: в шламе содержащийся  $CaSO_4$  действует как вязущее средство, не поддающееся контролю — образуются комки чистого шлама. Также при изготовлении окатышей из этой неомогенной смеси локализованные комки шлама не распадаются, и при процессе упрочнения их прочность не повышается (см. рис. 3).

В виде схемы предложены технологические варианты (рис. 4) о возможностях большего или меньшего оптимального включения рассмотренных количеств отходного шлама в технологию использования пиритных огарков.

# Problematika zamenljivosti kurilnih plinov v industriji

DK: 662.75:662.76:662.9

ASM/SLA: RM-m

Bogdan Sicherl, D. Vodeb, N. Zakonjšek

## II. del: Sprememba pogojev pretoka ter plinski sistemi pri zamenjavanju in kombiniranju kurilnih plinov v industriji.

Za pogoje zamenljivosti so obdelani podatki plinskih mešanic ter spremembe volumskih deležev kurilnega plina in plina zamenjevalca v primeru redukcije kurilnega plina. Analizirane so spremembe pretočnih volumnov kurilnega plina in porabe zraka za zgorevanje ter prikazane spremembe na skalah merilnikov pretoka z zaježitvijo pretočnega prereza. Spremembe navedenih količin vplivajo na preračun cevovodov in plinskih gorilnikov kot pretvornikov kemijsko vezane notranje energije v toplotno energijo.

Cena zemeljskega plina je funkcija porabe toplote in je optimalna pri porabi v pasu. Obdelani primeri interpretirajo spremembe teh vrednosti.

Linijski sistem napajanja in napajanja v zanki v sklopu z glavnimi merilnimi in reducirnimi postajami so podani in obravnavani s pripadajočimi armaturami in načinom mešanja kurilnega plina ter plina zamenjevalca v mešalnih postajah.

### 1.0 Pogoji zamenljivosti

Pri zamenjavanju kurilnih plinov v industriji — konkretno pri zamenjavanju zemeljskega plina ali njegove mešanice z zrakom s plinsko mešanico plinske faze tekočega naftnega plina z zrakom, torej

ZP ali ZPZ  $\rightleftharpoons$  PBZ

dobimo ob upoštevanju dveh osnovnih pogojev:

a) enake toplotne obremenitve, torej

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 \text{ kJ/h (kcal/h)}$$

in

doc. dr. Bogdan Sicherl dipl. ing. met., predstojnik katedre za toplotno tehniko in energetiko, TOZD Montanistika, FNT Ljubljana

Dušan Vodeb dipl. ing. stroj., energetik za toplotne projekte, Železarna Ravne

Niko Zakonjšek dipl. ing. met., vodja TOZD Energetika, Železarna Štore

b) nespremenjenega tlaka v plinskem sistemu (v plinski mreži porabnika), torej

$$p_1 = p_2 \text{ N/m}^2$$

pri pogojih zamenljivosti za osnovne povprečne kemijske sestave kurilnega plina (ZP) in plina zamenjevalca (TNP + ZRAK = PBZ) zamenljive mešanice, ki so navedene v tabeli I.

V tabeli I smo upoštevali dejansko stanje, ki bo nastopilo, ko bo zaradi prekoračitve pogodbenega odvzema zemeljskega plina znotraj lastnega plinskega sistema ali v primeru redukcije dobave ZP iz kateregakoli razloga (npr. prekoračitev celokupne pogodbene dobave v okviru republike ali celo izpada ZP) potrebno dodajati v lastni plinski sistem mešanico PBZ plina kot plina zamenjevalca.

Pri računu podatkov v tabeli I smo izhajali iz sedanjega stanja, ko že obratujejo mešalne postaje za PBZ plin (kurilna vrednost med 5000 do 8000 kcal/m<sup>3</sup>), zato so v tabeli bolj zaokrožene vrednosti kurilnosti za PBZ plin.

Za obravnavo je najzanimivejše območje kurilnosti ZPZ za variante od 1 do 6, tj. za tiste porabnike, katerih plinski sistemi že sedaj obratujejo z mešalnimi postajami za PBZ plin. Ostali, ki bodo pričeli uvajati porabo plinske energije z zemeljskim plinom na novo, pa bodo lahko uporabljali varianto 10.

V primeru redukcije ZP, in s tem seveda tudi ZPZ, sledi iz prej omenjenega takojšnji dodatek PBZ plina v lastno plinsko omrežje.

Ker izhajamo iz osnovnega pogoja, tj. da morajo biti tudi v primeru redukcije vsi agregati v obratu kalorično enako oskrbovani, se bodo razmere pri pretoku v cevovodih in pri gorilnikih spremenile. Dobilj bomo zmes dveh plinov ZPZ + PBZ, oz. ZP + PBZ ali kot pravimo — rezultirajočo plinsko mešanico RPM, ki bo odvisno od stopnje redukcije imela različno sestavo ter bo tudi volumsko spremenjena.

V tabeli II., III. in IV. so navedeni podatki za oba ekstremna primera (varianti 1 in 10) ter za srednjo vrednost (varianta 5), ki pridejo v poštev.

Podatki so podani kot specifični, tj. v m<sup>3</sup>/1000 kJ ali m<sup>3</sup>/1000 kcal. Ker je pri prekoračenju porabe v pasu, t.j. pogodbene količine, posledica enaka — sledi omejitev volumskega pretoka ZP ali redukcija. Enako sledi redukcija pri zmanjšanju dobave ZP iz kateregakoli razloga. Za praktično rabo je za-

Tabela 1: Zamenljive mešanice kurilnih plinov in njih specifični parametri pri popolni zamenjavi

Kurilni plin	Plin zamenjevalec	$H_{sp}$ kJ/m <sup>3</sup> (kcal/m <sup>3</sup> )	$\rho_n$ kg/m <sup>3</sup>	Delež v mešanici m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>a</sub> <sup>3</sup>		$Z_n$ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>a</sub> <sup>3</sup>	$D_{st}$ m <sub>a</sub> <sup>3</sup> /m <sub>a</sub> <sup>3</sup>	$Z'_i$ (m <sub>a</sub> <sup>3</sup> /1000 kcal) m <sub>a</sub> <sup>3</sup> /1000 kJ	d	varianta
				$V_{PB}$ ; $V_{LP}$	$V_z$					
ZPZ		15973 (3815)	1,0672	0,4324	0,5676	3,70	4,7	0,2316 (0,9698)	0,8254	1
	PBZ	18840 (4500)	1,4853	0,1697	0,8303	3,94	5,21	0,2091 (0,8755)	1,1485	
ZPZ		18870 (4507)	1,026	0,5108	0,4892	4,55	5,58	0,2411 (1,009)	0,7935	2
	PBZ	23074 (5500)	1,5279	0,2074	0,7926	5,05	6,37	0,2188 (0,9182)	1,1817	
ZPZ		21583 (5155)	0,9878	0,5843	0,4157	5,35	6,38	0,2479 (1,0378)	0,7639	3
	PBZ	27214 (6500)	1,5706	0,2451	0,7549	6,15	7,54	0,2259 (0,9461)	1,2147	
ZPZ		24120 (5761)	0,9521	0,6529	0,3471	6,1	7,14	0,2529 (1,0588)	0,7363	4
	PBZ	31401 (7500)	1,6134	0,2828	0,7172	7,26	8,70	0,2312 (0,968)	1,2478	
ZPZ		25330 (6050)	0,9349	0,6857	0,3143	6,45	7,49	0,2546 (1,066)	0,7230	5
	PBZ	33494 (8000)	1,6347	0,3016	0,6984	7,81	9,28	0,2331 (0,976)	1,2643	
ZPZ		27637 (6601)	0,9023	0,7482	0,2518	7,13	8,18	0,2579 (1,0801)	0,6978	6
	PBZ	37681 (9000)	1,6774	0,3394	0,6606	8,91	10,44	0,2364 (0,99)	1,2973	
ZPZ		29802 (7118)	0,8717	0,8067	0,1933	7,77	8,83	0,2607 (1,092)	0,6742	7
	PBZ	41868 (10000)	1,7202	0,3771	0,6229	10,02	11,61	0,2393 (1,002)	1,3304	
ZPZ		31845 (7606)	0,8328	0,8621	0,1379	8,37	9,43	0,2628 (1,100)	0,6518	8
	PBZ	46055 (11000)	1,7629	0,4148	0,5852	11,12	12,77	0,2414 (1,011)	1,3635	
ZPZ		33767 (8065)	0,8157	0,9141	0,0859	8,94	10,00	0,2647 (1,108)	0,6308	9
	PBZ	50242 (12000)	1,8056	0,4525	0,5475	12,23	13,93	0,2434 (1,019)	1,3964	
ZP		36940 (8823)	0,7708	1,0	—	9,875	10,95	0,2673 (1,119)	0,5961	10
	PBZ	57719 (13786)	1,8819	0,5198	0,4802	14,2	16,0	0,246 (1,03)	1,4554	

Tabela 2: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici ob upoštevanju različnih stopenj redukcije kurilnega plina (ZPZ). Baza je enaka toplotna obremenitev.

Primer za varianto 1: ZPZ  $\rightleftharpoons$  PBZ

Osnovni podatki: ZPZ  $H = 15973 \text{ kJ/m}_n^3 = 3815 \text{ kcal/m}_n^3$  (kurilnost)

PBZ  $H = 18840 \text{ kJ/m}_n^3 = 4500 \text{ kcal/m}_n^3$  (kurilnost)

Stopnja redukcije R %	Rezultirajoča plinska mešanica RPM				Volumen kurilnega plina ali RPM $m_n^3/1000 \text{ kJ}$ ( $m_n^3/1000 \text{ kcal}$ )	$H_{\text{kuril}}$ $\text{kJ/m}_n^3$ ( $\text{kcal/m}_n^3$ )	$Z_c$ $m_n^3/m_n^3$	$Z_c'$ $m_n^3/1000 \text{ kJ}$ ( $m_n^3/1000 \text{ kcal}$ )	Sestava kurilnega plina ali RPM v $m_n^3/1000 \text{ kJ}$ ( $m_n^3/1000 \text{ kcal}$ )			Sestava kurilnega plina ali RPM v %			$\rho_v$ kurilni plin ali RPM $\text{kg/m}_n^3$	d		
	$V_{ZPZ}$	$V_{PBZ}$	$V_{ZPZ}$	$V_{PBZ}$					$V_{ZPZ}$	$V_{PBZ}$	$V_z$	$V_{PBZ}$	$V_{ZPZ}$	$V_z$			$V_{PBZ}$	$V_{ZPZ}$
	$m_n^3/1000 \text{ kJ}$ ( $m_n^3/1000 \text{ kcal}$ )	$m_n^3/1000 \text{ kJ}$ ( $m_n^3/1000 \text{ kcal}$ )	%															
0	0,06261 (0,26212)	—	100	—	0,06261 (0,26212)	15973 (3815)	3,7	0,2316 (0,96985)	0,027071 (0,113341)	—	0,035535 (0,148779)	43,24	—	56,76	1,067	0,8252		
10	0,05634 (0,23591)	0,00531 (0,02222)	91,39	8,61	0,06165 (0,25813)	16219 (3874)	3,72	0,22935 (0,96025)	0,024365 (0,102013)	0,000899 (0,003768)	0,036387 (0,152348)	39,52	1,46	59,02	1,103	0,8531		
20	0,05009 (0,20969)	0,01062 (0,04445)	82,51	17,49	0,060700 (0,25414)	16475 (3935)	3,74	0,22700 (0,95044)	0,021658 (0,090677)	0,001803 (0,007548)	0,037239 (0,155915)	35,68	2,97	61,35	1,140	0,8817		
30	0,04382 (0,18348)	0,01592 (0,06667)	73,35	26,65	0,059747 (0,25015)	16737 (3998)	3,76	0,22465 (0,94047)	0,018952 (0,079347)	0,002701 (0,011307)	0,038094 (0,159496)	31,72	4,52	63,76	1,1784	0,9113		
40	0,03756 (0,15727)	0,02123 (0,08889)	63,89	36,11	0,058794 (0,2462)	17008 (4062)	3,79	0,22285 (0,93304)	0,016245 (0,068014)	0,003604 (0,015089)	0,038945 (0,163056)	27,63	6,13	66,24	1,2182	0,9422		
50	0,03130 (0,13106)	0,02654 (0,1111)	54,12	45,88	0,057842 (0,24217)	17288 (4130)	3,82	0,22092 (0,94294)	0,013535 (0,055668)	0,004506 (0,018865)	0,039801 (0,166637)	23,40	7,79	68,81	1,2591	0,9737		
60	0,02504 (0,10485)	0,03184 (0,13333)	44,02	55,98	0,05688 (0,23818)	17578 (4198)	3,84	0,21848 (0,91472)	0,010824 (0,04532)	0,005405 (0,02263)	0,040658 (0,17023)	19,03	9,50	71,47	1,3013	1,0062		
70	0,01878 (0,07864)	0,03715 (0,15555)	33,58	66,42	0,055935 (0,23419)	17878 (4270)	3,86	0,21591 (0,90398)	0,008122 (0,034004)	0,006304 (0,026393)	0,041509 (0,173792)	14,52	11,27	74,21	1,3448	1,0401		
80	0,01252 (0,05242)	0,04246 (0,17778)	22,77	77,23	0,05498 (0,23020)	18187 (4344)	3,89	0,21388 (0,89548)	0,005416 (0,022668)	0,007203 (0,030169)	0,042364 (0,177366)	9,84	13,11	77,05	1,3899	1,0749		
90	0,00626 (0,026212)	0,04777 (0,2000)	11,59	88,41	0,05403 (0,22621)	18510 (4421)	3,91	0,21136 (0,88441)	0,002707 (0,011334)	0,008106 (0,03394)	0,04322 (0,180938)	5,01	15,00	79,99	1,4368	1,1112		
100	— (0,22222)	—	—	100	— (0,22222)	18841 (4500)	3,94	0,20912 (0,87555)	—	0,009007 (0,03771)	0,044069 (0,18451)	—	16,97	83,03	1,485	1,1485		

to zanimiv prikaz spremembe parametrov RPM ob dodajanju PBZ plina ali celo pri popolnem prehodu na PBZ plin.

V prikazu izhajamo iz istih pogojev kot poprej, t. j.  $\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$  in  $p_1 = p_2$ , le s to razliko, da upošteva-

mo z  $1 \text{ m}^3$  ZP ali ZPZ kot osnovnim nosilcem toplotne energije v eni uri na gorilniku dovedeno toploto. V tabelah V., VI. in VII. so obravnavane iste kombinacije t. j. 1,5 in 10 iz tabele I.

Za nazornost prikaza uporabnosti tabel naj služi naslednji primer:

Tabela 3: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici ob upoštevanju različnih stopenj redukcije kurilnega plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev

Primer za varianto 5: ZPZ ↔ PBZ

Osnovni podatki: ZPZ H = 25330 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 6050 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>PBZ H = 33494 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 8000 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

Stopnja redukcije R %	Rezultirajoča plinska mešanica RPM				Volumen kurilnega plina ali RPM m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kcal (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kcal)	H <sub>0PM</sub> kJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> (kcal/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	Z <sub>c</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>e</sub> <sup>3</sup>	Z <sub>c</sub> ' m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kJ (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kcal) (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kcal)	Sestava kurilnega plina ali RPM v m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kJ; (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kcal)			Sestava kurilnega plina ali RPM v %			e <sub>n</sub> kurilni plin ali RPM kg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	d
	V <sub>ZPZ</sub>	V <sub>PBZ</sub>	V <sub>ZPZ</sub>	V <sub>PBZ</sub>					V <sub>ZP</sub>	V <sub>PB</sub>	V <sub>Z</sub>	V <sub>ZP</sub>	V <sub>PB</sub>	V <sub>Z</sub>		
	m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kcal; (m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /10 <sup>3</sup> kcal)	%														
0	0,03948 (0,16529)	—	100,00	—	0,03948 (0,16529)	25330 (6050)	6,45	0,2546 (1,066)	0,02707 (0,11334)	—	0,01241 (0,05195)	68,57	—	31,43	0,9349	0,7230
10	0,03553 (0,14876)	0,00298 (0,0125)	92,25	7,75	0,03852 (0,16126)	25962 (6201)	6,55	0,25246 (1,0563)	0,02437 (0,1020)	0,00091 (0,00377)	0,01323 (0,0554)	63,30	2,30	34,4	0,9885	0,7645
20	0,03158 (0,13223)	0,00597 (0,025)	84,10	15,90	0,03755 (0,15723)	26628 (6360)	6,666	0,25031 (1,04811)	0,02166 (0,9067)	0,00180 (0,00754)	0,01409 (0,05902)	57,67	4,79	37,54	1,0461	0,8090
30	0,02763 (0,11570)	0,00896 (0,0375)	75,52	24,48	0,03659 (0,15320)	27327 (6527)	6,783	0,24821 (1,03922)	0,01895 (0,07933)	0,00270 (0,01131)	0,01494 (0,06256)	51,78	7,38	40,84	1,1062	0,8555
40	0,02368 (0,09917)	0,01194 (0,0500)	66,48	33,52	0,03563 (0,14917)	28067 (6704)	6,905	0,24598 (1,02998)	0,01624 (0,06800)	0,0036 (0,01508)	0,01578 (0,06609)	45,58	10,11	44,31	1,1695	0,9045
50	0,01974 (0,08264)	0,01493 (0,0625)	56,94	43,06	0,03467 (0,14514)	28845 (6890)	7,035	0,24388 (1,02104)	0,01354 (0,05667)	0,00450 (0,01885)	0,01663 (0,06962)	39,05	12,99	47,97	1,2362	0,9561
60	0,01579 (0,06612)	0,01791 (0,075)	46,85	53,15	0,03370 (0,14112)	29669 (7086)	7,173	0,24171 (1,01228)	0,01083 (0,04534)	0,00540 (0,02262)	0,01747 (0,07316)	32,13	16,03	51,84	1,3068	1,0107
70	0,01184 (0,04959)	0,02090 (0,0875)	36,17	63,83	0,03274 (0,13709)	30541 (7295)	7,318	0,23961 (1,00315)	0,00812 (0,034)	0,00630 (0,02639)	0,01832 (0,07669)	24,81	19,25	55,94	1,3816	1,0685
80	0,00789 (0,03306)	0,02388 (0,1000)	24,84	75,16	0,03177 (0,13306)	31466 (7516)	7,472	0,23746 (0,99414)	0,00541 (0,02267)	0,00720 (0,03016)	0,01916 (0,08023)	17,04	22,66	60,30	1,4608	1,1297
90	0,00395 (0,01653)	0,02687 (0,1125)	12,81	87,19	0,03082 (0,12903)	32448 (7750)	7,636	0,23533 (0,9853)	0,00271 (0,01133)	0,00810 (0,03393)	0,02001 (0,08377)	8,78	26,30	64,92	1,5451	1,1949
100	—	0,02986 (0,1250)	—	100,00	0,02986 (0,1250)	33494 (8000)	7,81	0,2331 (0,97625)	—	0,00901 (0,0377)	0,02085 (0,0873)	—	30,16	69,84	1,6347	1,2643

Osnovni kurilni plin: ZPZ, kurilnost 6050 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>  
 Plin zamenjevalec: PBZ, kurilnost 8000 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

ZPZ plin pridobivamo v mešalni postaji iz ZP s kurilnostjo 8823 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>; PBZ plin prav tako v mešalni postaji iz TNP (PB) s kurilnostjo 26521 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>. Pogodbena dobava ZP: 20 000 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h.

Poraba toplotne energije v vseh obratih:  $\dot{Q}_1 = 20\,000 \cdot 8823 = 176,46 \cdot 10^6$  kcal/h.

Potrebni volumen ZPZ plina:

$$V_{ZPZ} = \frac{\dot{Q}_1}{H_{ZPZ}} = \frac{176,46 \cdot 10^6}{6,05 \cdot 10^3} = 29167 \text{ m}_n^3/\text{h}$$



Tabela 4: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici ob upoštevanju različnih stopenj redukcije kurilne plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev.

Primer za varianto 10: ZP  $\rightleftharpoons$  PBZ

Osnovni podatki: ZP  $H = 36940 \text{ kJ}/m_n^3 = 8823 \text{ kcal}/m_n^3$  (kurilnost)

PBZ  $H = 57719 \text{ kJ}/m_n^3 = 13786 \text{ kcal}/m_n^3$  (kurilnost)

Stopnja redukcije	Rezultirajoča plinska mešanica RPM			Volumen kurilnega plina ali RPM		$H_{RPM}$ kJ/ $m_n^3$ (kcal/ $m_n^3$ )		$Z$ , $Z'$ $m_n^3/m_n^3$ , $m_n^3/1000 \text{ kJ}$		Sestava kurilnega plina ali RPM v $m_n^3/1000 \text{ kJ}$		Sestava kurilnega plina ali RPM v %		$\rho_n$ kurilni plin ali RPM kg/ $m_n^3$	d
	$V_{ZP}$ $m_n^3/10^3 \text{ kJ}$	$V_{PBZ}$ $m_n^3/10^3 \text{ kcal}$	%	$V_{RPM}$ $m_n^3/10^3 \text{ kJ}$	$V_{RPM}$ $m_n^3/10^3 \text{ kcal}$	$Z$	$Z'$	$V_Z$	$V_{Z'}$	$V_Z$	$V_{Z'}$	$V_{ZP}$	$V_{PBZ}$		
0	0,02707 (0,11334)	—	100	0,02707 (0,11334)	36940 (8823)	9,875	0,2673 (1,11923)	0,02707 (0,11334)	—	—	100	—	—	0,7708	0,5961
10	0,02436 (0,10201)	0,001732 (0,00725)	93,36	0,02609 (0,10926)	38320 (9152)	10,162	0,2652 (1,11029)	0,02436 (0,102)	0,0009 (0,0038)	0,0083 (0,0035)	93,36	3,45	3,19	0,8445	0,6532
20	0,02165 (0,090672)	0,00346 (0,014507)	86,21	0,02512 (0,10518)	39804 (9507)	10,471	0,26304 (1,10139)	0,021656 (0,09067)	0,0018 (0,00754)	0,0166 (0,00697)	86,21	7,17	6,62	0,9240	0,7146
30	0,018949 (0,07933)	0,005197 (0,02176)	78,48	0,02414 (0,10109)	51512 (9891)	10,805	0,260917 (1,09241)	0,018949 (0,079338)	0,0027 (0,011311)	0,02496 (0,010449)	78,48	11,18	10,34	1,0099	0,7811
40	0,016242 (0,06800)	0,00693 (0,02902)	70,09	0,023172 (0,09702)	43153 (10307)	11,168	0,25887 (1,08354)	0,016242 (0,068004)	0,0036 (0,014082)	0,0333 (0,013933)	70,09	15,55	14,36	1,1031	0,8531
50	0,013542 (0,0567)	0,00866 (0,03626)	60,98	0,022203 (0,09296)	45048 (10759)	11,562	0,25666 (1,07464)	0,01354 (0,0567)	0,0045 (0,01885)	0,0416 (0,01742)	60,99	20,28	18,73	1,2043	0,9314
60	0,01083 (0,04534)	0,01039 (0,04352)	51,02	0,02122 (0,08886)	47118 (11254)	11,993	0,25451 (1,06566)	0,01083 (0,04534)	0,00541 (0,02263)	0,0498 (0,02089)	51,02	25,47	23,51	1,3150	1,0170
70	0,00812 (0,03400)	0,01212 (0,05077)	40,11	0,02024 (0,08477)	49385 (11795)	12,465	0,25241 (1,05680)	0,00812 (0,0340)	0,00630 (0,02639)	0,0582 (0,02438)	40,11	31,13	28,76	1,4362	1,1107
80	0,00541 (0,03366)	0,01386 (0,05803)	28,09	0,01927 (0,08069)	51882 (12392)	12,985	0,25026 (1,04785)	0,00541 (0,02266)	0,00720 (0,03016)	0,0666 (0,02787)	28,08	37,38	34,54	1,5697	1,2139
90	0,00271 (0,01133)	0,01559 (0,06528)	14,79	0,01829 (0,07661)	54646 (13052)	13,569	0,24818 (1,03892)	0,00271 (0,01133)	0,00810 (0,03393)	0,0748 (0,03135)	14,79	44,29	40,92	1,7176	1,3284
100	—	0,01733 (0,07254)	—	0,01733 (0,07254)	57719 (13786)	14,2	0,2460 (1,03)	—	0,00910 (0,03771)	0,0832 (0,03483)	—	51,98	48,02	1,8819	1,4554

Tabela 5: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici pri različnih stopnjah redukcije kurilnega plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev, enaki tlaki, za 1 m<sup>3</sup> kurilnega plina (K. P.) ali RPM v 1 uri pri porabniku.

Primer za varianto 1: ZPZ ⇌ PBZ;

ZPZ H = 15973 kJ/m<sup>3</sup> = 3815 kcal/m<sup>3</sup> (kurilnost)

PBZ H = 18841 kJ/m<sup>3</sup> = 4500 kcal/m<sup>3</sup> (kurilnost)

Stopnja redukcije R %	Poraba ZPZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Potrebni dodatki PBZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Pretočni volumen V <sub>RPM</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Z deleži ZPZ in PBZ v RPM dovedena toplota kJ/h (kcal/h)		Z RPM ali K. P. dovedena toplota Q <sub>RP</sub> kJ/h, (kcal/h)	Volumska sestava RPM v m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h				Poraba zraka za zgorevanje		d	
				Q <sub>ZPZ</sub>	Q <sub>PBZ</sub>		V <sub>ZP</sub>	V <sub>Z</sub>	V <sub>RP</sub>	V <sub>Z</sub>	Z <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup> za V <sub>RPM</sub>	δ <sub>n</sub> kg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>		
0	1	0	1	15973 (3815)	0	15973 (3815)	0,4324	0,5676	0	0	3,7	3,7	1,067	0,8252
10	0,9	0,08478	0,98478	14376 (3433,5)	1597 (381,5)	16220 (3874)	0,38916	0,51084	0,01439	0,07039	3,72	3,664	1,1029	0,8531
20	0,8	0,16955	0,96955	12778 (3052)	3195 (763)	16475 (3935)	0,34592	0,45408	0,02877	0,14078	3,742	3,628	1,1401	0,8817
30	0,7	0,25433	0,95433	11181 (2670,5)	4792 (1144,5)	16737 (3997,5)	0,30268	0,39732	0,04316	0,21117	3,764	3,592	1,1784	0,9113
40	0,6	0,33911	0,93911	9584 (2289)	6389 (1526)	17007 (4062)	0,25944	0,34056	0,05755	0,28156	3,787	3,556	1,2182	0,9422
50	0,5	0,42389	0,92389	7987 (1907,5)	7986 (1907,5)	17288 (4130)	0,2162	0,2838	0,07193	0,355195	3,801	3,512	1,2591	0,9737
60	0,4	0,50866	0,90866	6389 (1526)	9584 (2289)	17578 (4198,5)	0,17296	0,22704	0,08632	0,42234	3,834	3,484	1,3013	1,0062
70	0,3	0,59344	0,89344	4792 (1144,5)	11181 (2670,5)	17877 (4270)	0,12972	0,17028	0,10071	0,49273	3,859	3,447	1,3448	1,0401
80	0,2	0,67822	0,87822	3195 (763)	12778 (3052)	18187 (4344)	0,08648	0,11352	0,11509	0,56313	3,885	3,412	1,3899	1,0749
90	0,1	0,763	0,8630	1597 (381,5)	14376 (3433,5)	18510 (4421)	0,04324	0,05676	0,12948	0,63352	3,912	3,376	1,4368	1,1112
100	0	0,8478	0,8478	0	15973 (3815)	18841 (4500)	0	0	0,14387	0,70393	3,940	3,340	1,4850	1,1485

Konstantino 36940 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup>, (8823 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>)

Po tabeli III. sledi:

Sestava ZPZ: V<sub>ZP</sub> = 68,57 %

V<sub>Z</sub> = 31,43 %

Volumen ZP:  $\dot{V}_{ZP} = V_{ZPZ} \cdot 0,6857 = 29167 \cdot 0,6875 = 20\ 000\ m_n^3/h$

$\dot{V}_Z = V_{ZPZ} \cdot 0,3143 = 29167 \cdot 0,3143 = 9\ 167\ m_n^3/h$

Obratovalni pogoji, ki smo jih navedli, so vnaprej znani, oz. določeni v slehernem energetskega gospodarstvu. Pri določeni stopnji redukcije, n.pr. R = 30 %, sledi (gl. tab. III.)

Poraba mešanice zemeljskega plina in zraka se mora zmanjšati na:

$$\dot{V}_{ZPZR} = \frac{\dot{Q}_1}{10^3} \cdot 0,1157 = \frac{176,46 \cdot 10^6}{10^3} \cdot 0,1157 = 20417\ m_n^3\ ZPZ/h$$

kar ustreza volumnu ZP:

$\dot{V}_{ZP} = 20416 \cdot 0,6857 = 14000\ m_n^3/h$  (0,6857 — po tabeli I., varianta 5)

(30 % redukcija od 20.000 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h da resnično 20000 · 0,7 = 14000 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h)

Kot nadomestilo pričnemo dodajati plin zamenjevalec, t. j. PBZ, katerega količina znaša po tabeli III.:

$$\dot{V}_{PBZ} = \frac{\dot{Q}_1}{10^3} \cdot 0,0375 = \frac{176,46 \cdot 10^6}{10^3} \cdot 0,0375 = 6617\ m_n^3/h$$

Sestava PBZ (glej tabelo III) je pri kurilnosti 8000 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup> 30,16 % PB + 69,84 % Z.

Potrebni dodatek plinske faze TNP (t. j. PB) je enak:

$\dot{V}_{PB} = 6617 \cdot 0,3016 = 1995,7\ m_n^3/h$  (0,3016 — po tabeli I., varianta 5)

Tabela 6: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici pri različnih stopnjah redukcije kurilnega plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev, enaki tlaki, za  $1 m_n^3$  kurilnega plina (K.P.) ali RPM v 1 uri pri porabniku.

Primer za varianto 5: ZPZ  $\leftrightarrow$  PBZ; ZPZ H = 25330 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 6050 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>  
 PBZ H = 33494 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 8000 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

Stopnja redukcije R %	Poraba ZPZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Potrebni dodatki PBZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Pretočni volumen V <sub>RPM</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Z deleži ZPZ in PBZ v RPM dovedena toplota kJ/h (kcal/h)		Z RPM ali K.P. dovedena toplota Q <sub>RPM</sub> kJ/h, (kcal/h)	H <sub>RPM</sub> kJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> (kcal/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	Volumska sestava RPM v m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h				Poraba zraka za zgorevanje		d	
				Q <sub>ZPZ</sub>	Q <sub>PBZ</sub>			V <sub>ZPZ</sub>	V <sub>PBZ</sub>	V <sub>ZP</sub>	V <sub>Z</sub>	V <sub>PB</sub>	V <sub>Z</sub>		Z <sub>1</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup> za V <sub>RPM</sub>
0	1	0	1	25330 (6050)	0	25330 (6050)	25330 (6050)	0,6857	0,3143	0	0	6,45	6,45	0,9349	0,7230
10	0,9	0,07563	0,97563	22797 (5445)	2533 (605)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,61713	0,28287	0,02281	0,05282	6,555	6,395	0,989	0,7649
20	0,8	0,015125	0,95125	20264 (4840)	5066 (1210)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,54856	0,25144	0,04562	0,10563	6,666	6,341	1,0461	0,809
30	0,7	0,22688	0,92688	17731 (4235)	7599 (1815)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,47999	0,22001	0,06843	0,15845	6,783	6,287	1,1062	0,8555
40	0,6	0,3025	0,9025	15198 (3630)	10132 (2420)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,41142	0,18858	0,09123	0,21127	6,906	6,233	1,1695	0,9045
50	0,5	0,37813	0,87813	12665 (3025)	12665 (3025)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,34285	0,15715	0,11405	0,26408	7,036	6,178	1,2362	0,9561
60	0,4	0,45375	0,85375	10132 (2420)	15198 (3630)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,27428	0,12572	0,13685	0,31690	7,173	6,124	1,3068	1,0107
70	0,3	0,52937	0,82937	7599 (1815)	17731 (4235)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,20571	0,09429	0,15966	0,36971	7,318	6,069	1,3816	1,0685
80	0,2	0,6050	0,805	5066 (1210)	20264 (4840)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,13714	0,06286	0,18247	0,42253	7,472	6,015	1,4608	1,1297
90	0,1	0,68063	0,78063	2533 (605)	22797 (5445)	25330 (6050)	25330 (6050)	0,06857	0,03143	0,20528	0,47535	6,636	5,961	1,5451	1,1949
100	0	0,75625	0,75625	0	25330 (6050)	25330 (6050)	25330 (6050)	0	0	0,3016	0,6984	7,81	5,906	1,6347	1,2643

Volumen rezultirajoče plinske mešanice pri 30 % redukciji pa bo enak:

$$\dot{V}_{RPM} = \dot{V}_{ZPZ} + \dot{V}_{PBZ} = 20416 + 6617 = 27033 m_n^3/h$$

ali z uporabo tabele (stolpec V<sub>RPM</sub>/1000 kcal!) krajše:  $\dot{V}_{RPM} = 0,15320 \cdot Q_1 = 0,15320 \cdot 176,46 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} = 27034 m_n^3/h$

Za dispečerja je še prikladnejša raba tabel, kjer so podani volumni obeh plinov ob redukciji v m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h. Za prej obravnavani primer sledi ob uporabi tabele VI:

Pogodbena dobava ZP: 20000 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h, kurilnost 8823 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

Kot kurilni plin enako kot prej: ZPZ, kurilnost 6050 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

$$\text{Sestava } V_{ZP} = 68,57 \% \\ V_Z = 31,43 \%$$

$$\dot{V}_{ZPZ} = \frac{\dot{V}_{ZP}}{0,6857} = \frac{20000}{0,6857} = 29167 m_n^3/h$$

pri normalnem obratovanju in polnem pogodbenem odvzemu.

Pri redukciji R = 30 % sme znašati poraba ZP:

$$\dot{V}_{ZPR} = \dot{V}_{ZP} \cdot 0,7 = 20000 \cdot 0,7 = 14000 m_n^3/h$$

Volumen ZPZ plina po redukciji:

$$\dot{V}_{ZPZR} = \dot{V}_{ZPZ} \cdot 0,7 = 29167 \cdot 0,7 = 20417 m_n^3/h$$

Ostalo toplotno energijo moramo dovesti s PBZ plinom (kurilnost 8000 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>)

Sestava V<sub>PB</sub> = 30,16 % (V<sub>Z</sub> = 69,84 %); po tabeli VI. sledi:

$$\dot{V}_{PBZ} = \dot{V}_{ZPZ} \cdot 0,22688 = 29167 \cdot 0,22688 = 6617 m_n^3/h$$

Volumen rezultirajoče plinske mešanice po redukciji je enak:

Tabela 7: Podatki o rezultirajoči plinski mešanici pri različnih stopnjah redukcije kurilnega plina (ZP). Baza je enaka toplotna obremenitev, enaki tlaki, za 1 m<sub>n</sub><sup>3</sup> kurilnega plina (K.P.) ali RpM v 1 uri pri porabniku.

Primer za varianto 10: ZP ⇌ PBZ      ZP H = 36940 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 8823 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>  
 PBZ H = 57719 kJ/m<sub>n</sub><sup>3</sup> = 13786 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>

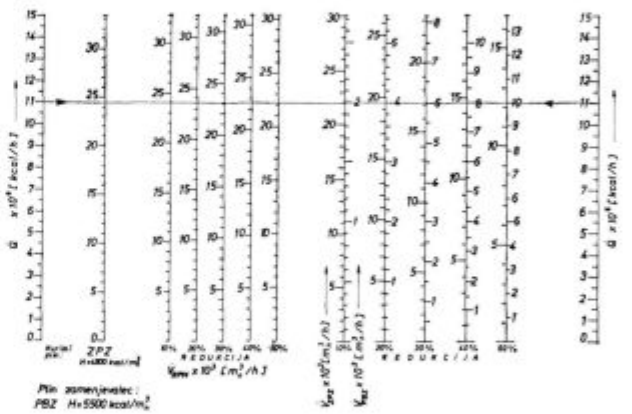
Stopnja redukcije R %	Poraba ZPZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Potrebni dodatki PBZ m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Pretočni volumen V <sub>zpm</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	Z deleži ZPZ in PBZ v RPM dovedena toplota kJ/h (kcal/h)		Z RPM ali K.P. dovedena toplota Q <sub>zpm</sub> kJ/h, (kcal/h)	H <sub>zpm</sub> kJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> (kcal/m <sub>n</sub> <sup>3</sup> )	Volumska sestava RPM v m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h			Poraba zraka za zgorevanje		d	
				Q <sub>zpz</sub>	Q <sub>zpbz</sub>			V <sub>zpz</sub>	V <sub>zpbz</sub>	V <sub>z</sub>	Z <sub>z</sub> m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /m <sub>n</sub> <sup>3</sup> za V <sub>zpm</sub>	δ <sub>z</sub> kg/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>		
0	1	0	1	36940 (8823)	0	36940 (8823)	36940 (8823)	1	0	0	9,875	9,875	0,7708	0,5961
10	0,9	0,0640	0,9640	33247 (7941)	3693 (882)	33247 (7941)	38320 (9152)	0,9	0,03327	0,03073	10,162	9,763	0,8445	0,6532
20	0,8	0,12799	0,92799	29550 (7058)	7390 (1765)	29550 (7058)	39806 (9507)	0,8	0,06653	0,06146	10,471	9,717	0,924	0,7146
30	0,7	0,19199	0,89199	25858 (6176)	11082 (2647)	25858 (6176)	41412 (9891)	0,7	0,09979	0,09220	10,805	9,638	1,0099	0,7811
40	0,6	0,25599	0,85599	22165 (5294)	14775 (3529)	22165 (5294)	43155 (10307)	0,6	0,13306	0,12293	11,168	9,559	1,1031	0,8531
50	0,5	0,31999	0,81999	18470 (4411,5)	18470 (4411,5)	18470 (4411,5)	45048 (10759,5)	0,5	0,16633	0,15366	11,562	9,481	1,2043	0,9314
60	0,4	0,38399	0,78399	14775 (3529)	22165 (5294)	14775 (3529)	47118 (11254)	0,4	0,19960	0,18439	11,993	9,402	1,315	1,017
70	0,3	0,44799	0,74799	11082 (2647)	25858 (6176)	11082 (2647)	49385 (11795)	0,3	0,23287	0,21512	12,465	9,324	1,4362	1,1107
80	0,2	0,51199	0,71199	7390 (1765)	29550 (7058)	7390 (1765)	51882 (12392)	0,2	0,26613	0,24586	12,985	9,245	1,5697	1,2139
90	0,1	0,57599	0,67599	3693 (882)	33247 (7941)	3693 (882)	54646 (13052)	0,1	0,29940	0,27659	13,560	9,166	1,7176	1,3284
100	0	0,63999	0,63999	0	36940 (8823)	0	57719 (13786)	0	0,33267	0,30732	14,2	9,088	1,8819	1,4554

Konstantno 15973 kJ/h; (3815) kcal/h

$\dot{V}_{RPM} = \dot{V}_{ZPZR} + \dot{V}_{PBZ} = 20417 + 6617 = 27034 \text{ m}_n^3/\text{h}$   
 ali krajše z uporabo tabele VI:

$\dot{V}_{RPM} = \dot{V}_{ZPZ} \cdot 0,92688 = 29167 \cdot 0,92688 = 27034 \text{ m}_n^3/\text{h}$

Za posamezne kombinacije je za grobo orientacijo možno sestaviti preprost nomogram, kot je prikazan na sl. 1. Narisani primer obravnava plinski sistem, ki bi obratoval kot varianta 2. Kurilni plin ZPZ ima H<sub>sp</sub> = 4500 kcal/m<sub>n</sub><sup>3</sup>; torej je potrebni urni pretok pri toplotni obremenitvi Q<sub>1</sub> = 11 · 10<sup>6</sup> kcal/h, V<sub>1</sub> = 2444,4 ~ 2445 m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h (prva kolona od leve proti desni na sl. 1). Količina V<sub>RPM</sub> v m<sub>n</sub><sup>3</sup>/h v odvisnosti od stopnje redukcije lahko odberemo v drugem skupu skal, poleg tega pa v tretjem skupu skal še parcialne volumne V<sub>ZPZ</sub> in V<sub>PBZ</sub> kot plina zamenjevalca. Za hitro orientacijo so taki prikazi praktiku lahko dobrodošli pripomoček.



Slika 1  
 Nomogram za odbiranje volumskih pretokov V<sub>RPM</sub> v odvisnosti od potrebne količine dovedene toplotne energije  
 Fig. 1  
 Nomogram for reading flow rates, V<sub>RPM</sub>, depending on the needed amount of thermal energy

## 2.0. Spremembe pogojev pretoka

Iz tabel II., III. in IV. sledi nazorno (posamezne vrednosti podane na enoto potrebne dovedene toplotne energije), da moramo računati pri redukcijah na spremembo nekaterih parametrov plina RPM, predvsem: volumna RPM, gostote (in s tem relativne gostote), teoretično potrebne količine zraka za zgorevanje in kinematične, oz. dinamične viskoznosti RPM.

Pri tem bodo razlike opazne pri:

a) klasičnih merilnikih pretoka z zoženjem prereza (zaslonke, Venturijeve cevi) in s tem pri regulatorjih konstantnega razmernika zraka.

b) pri gorilnikih in njihovi plamenski sliki (spremenjena temperatura gorenja, lega temperaturnega maksima plamena ter dolžina plamena)

Manjše ali za prakso nepomembne difference lahko pričakujemo pri turbinskih merilnikih pretoka in njim priključenim regulatorjem.

Za obravnavane variante 1, 5 in 10 so spremembe posameznih veličin prikazane v naslednjih tabelah (VII, VIII, IX in X).

Volumen RPM se z večjim % redukcije ZP zmanjšuje, in sicer povprečno za  $0,04 \text{ m}_n^3/1000 \text{ kcal}$  (od  $R = 0$  do  $R = 100$  %), kar pomeni izraženo v %:

pri varianti 1 — 15,22 %

pri varianti 5 — 24,37 %

pri varianti 10 — 36 %

Iz tabele VIII. sledi, da se gostota z večjim % redukcije spreminja tako, da narašča zaradi dodatka PBZ, in sicer pri:

varianta 1: + 39,20 %

varianta 5: + 74,80 %

varianta 10: + 135,10 %

Spremembe so, z ozirom na vpliv na merilnike pretoka, ki delujejo na podlagi zoženja pretočnega prereza, zelo velike.

Kot srednjo vrednost difference  $Z_t'$  max in  $Z_t'$  min lahko upoštevamo  $0,091 \text{ m}_n^3/1000 \text{ kcal}$ . Z rastočim dodatkom PBZ pri povečevanju redukcije se specifična poraba zraka za zgorevanje zmanjšuje! Razlika v procentih je naslednja:

varianta 1: — 9,7 %

varianta 5: — 8,4 %

varianta 10: — 7,9 %

Z drugimi besedami: če je zgorevanje v neki peči zregulirano tako, da pri  $R = 0$  % poteka s teoretično potrebno količino zraka, dobimo pri  $R = 100$  % zgorevanje s prebitkom, in sicer:

pri varianti 1:  $n = 1,107$  ali 10,7 %

pri varianti 5:  $n = 1,0919$  ali 9,2 %

pri varianti 10:  $n = 1,086$  ali 8,6 %

Ker pri dodajanju PBZ plina, ki pri zgorevanju še bolj teži k spajanju kot ZP je povečanje faktor-

Tabela 7: Sprememba volumna RPM v odvisnosti od stopnje redukcije (od 0 do 100 %)

Varianta	$V_{RPM}$ v $\text{m}_n^3/1000 \text{ kcal}$										
	R %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	0,26212	0,25813	0,25414	0,25015	0,24616	0,24217	0,23818	0,23419	0,23020	0,22621	0,22222
5	0,16529	0,16126	0,15723	0,15320	0,14917	0,14514	0,14112	0,13709	0,13306	0,12903	0,1250
10	0,11334	0,10926	0,10518	0,10109	0,09702	0,09296	0,08886	0,08477	0,08069	0,07661	0,07254

Tabela 8: Sprememba gostote in relativne gostote RPM v odvisnosti od stopnje redukcije (od 0 do 100 %)

Varianta	Vrednost	Stopnja redukcije R %										
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	$\rho$	1,0670	1,1030	1,1401	1,1784	1,2182	1,2591	1,3013	1,2448	1,3899	1,4368	1,485
	d	0,8252	0,8531	0,8817	0,9113	0,9422	0,9737	1,0062	1,0401	1,0749	1,1112	1,1485
5	$\rho$	0,9349	0,9885	1,0461	1,1062	1,1695	1,2362	1,3068	1,3816	1,4608	1,5451	1,6347
	d	0,7230	0,7645	0,8090	0,8555	0,9045	0,9561	1,0107	1,0685	1,1297	1,1949	1,2643
10	$\rho$	0,7708	0,8445	0,9240	1,0099	1,1031	1,2043	1,3150	1,4362	1,5697	1,7176	1,8819
	d	0,5961	0,6532	0,7146	0,7811	0,8531	0,9314	1,0170	1,1107	1,2139	1,3284	1,4554

Tabela 9: Spremembe specifične teoretične količine zraka za zgorevanje v odvisnosti od stopnje redukcije (od 0 do 100 %)

Varianta	Količina zraka za zgorevanje v m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /1000 kcal = Z <sub>t</sub> '										
	R %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	0,96985	0,96025	0,95044	0,94047	0,93304	0,92494	0,91472	0,90398	0,89548	0,88441	0,87555
5	1,0660	1,05628	1,04811	1,03922	1,02998	1,02104	1,01228	1,00315	0,99414	0,98529	0,97625
10	1,11923	1,11029	1,10139	1,09241	1,08354	1,07464	1,06566	1,05680	1,04785	1,03892	1,03000

Tabela 10: Sprememba dinamične viskoznosti RPM v odvisnosti od stopnje redukcije (od 0 do 100 %) 10<sup>6</sup> · η<sub>m</sub> kg/ms

Varianta	Dinamična viskoznost RPM 10 <sup>6</sup> · η <sub>m</sub> kg m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>										
	R %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	14,36	14,00	13,71	13,46	13,24	13,06	12,91	11,83	12,67	12,60	12,53
5	12,46	11,92	11,52	11,21	10,98	10,81	10,68	10,61	10,58	10,58	10,62
10	10,15	9,51	9,09	8,82	8,66	8,58	8,59	8,65	8,78	8,96	9,20

ja zračnega prebitka v bistvu ugodno. Neprijetno se bo odrazilo le pri pečeh, ki jih namerno kurimo reduktivno.

Kakšne bodo potrebne korekture pri merjenju pretoka z merilniki z zoženjem prereza? Če izhajamo iz osnovne enačbe pretoka, ki ga merimo z zaslonko, je:

$$\dot{V}_1 = 0,673 \cdot m \cdot \alpha \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{P_1}{T_1}} \cdot \frac{1}{(\sqrt{\rho_{o1}} + f_1)(0,804 + f_1)} \cdot \sqrt{h_1} \quad \text{m}_n^3/\text{h} \quad (1)$$

Vsi indeksi 1 se nanašajo na osnovni kurilni plin. Za plin zamenjevalec — indeks 2 — v tem primeru RPM z fizikalnimi lastnostmi, ki so odvisne od stopnje redukcije — sledi:

$$\dot{V}_2 = 0,673 \cdot m \cdot \alpha \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{P_2}{T_2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho_{o2}} + f_2)(0,804 + f_2)} \cdot \sqrt{h_2} \quad (2)$$

Ker smo za osnovni pogoj že v prvem delu razprave postavili, da ostane tlak plina konstanten, torej

$$P_1 = P_2 \quad (\text{pri tem je } P = p + b!), \quad (3)$$

dalje lahko predpostavimo, da ostane temperatura obeh plinov praktično nespremenjena, torej

$$T_1 = T_2 \quad (T = \vartheta + 273 \text{ K}) \quad (4)$$

ob upoštevanju nespremenjene vlažnosti obeh plinov (v zimskem času bodo potrebne dodatne korekture!), torej  $f_1 = f_2$

ter dejstvu, da ostane vedno geometrija zaslonke in cevovoda ista, torej  $0,673 \cdot m \cdot \alpha \cdot D^2 = \text{konst} = K$  bomo dobili pri enakem diferenčnem tlaku na zaslonki, torej

$$h_1 = h_2 \quad (5)$$

v prvem približku, da je ob pogoju  $\rho_{o1} > f_1$  in  $\rho_{o2} > f_2$ :

$$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \frac{K \sqrt{P_2/T_2}}{K \sqrt{P_1/T_1}} \cdot \sqrt{\frac{(\rho_{o1} + f_1)(0,804 + f_1)}{(\rho_{o2} + f_2)(0,804 + f_2)}} \cdot \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \quad (6)$$

in po krajšanju odvisnost

$$\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} = \sqrt{\frac{\rho_{o1}}{\rho_{o2}}} = k \quad (7)$$

Torej bo pri istem merilniku pretoka

$$\dot{V}_2 = \dot{V}_1 \cdot k \quad \text{m}_n^3/\text{h} \quad (8)$$

Za obdelane variante 1, 5 in 10 dobimo vrednosti  $k$  v odvisnosti od stopnje redukcije  $R = 0$  do 100 %, kot so navedeni v tabeli XI.

Tabela 11: Vrednosti korekturnega faktorja za merjenje pretoka RPM z merilniki z zoženjem prereza v odvisnosti od stopnje redukcije (0 do 100 %)

Varianta	k										
	R %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	1	0,1835	0,96741	0,95156	0,93589	0,92056	0,90550	0,89074	0,87617	0,86617	0,84765
5	1	0,97251	0,94536	0,91932	0,89409	0,86964	0,84582	0,82261	0,79999	0,77786	0,75625
10	1	0,95537	0,91334	0,87364	0,83592	0,80002	0,76561	0,73259	0,70075	0,66989	0,63999

Maksimalne razlike, ki nastopajo pri popolni zamenjavi kurilnega plina in plina zamenjevalca, so torej:

- varianta 1: — 15,23 %
- varianta 5: — 24,37 %
- varianta 10: — 36,00 %

kar odgovarja realnim vrednostim zmanjšanja pretočnega volumna RPM, kot smo jih prikazali v tabeli VII.

Ker je sprotno preračunavanje pri merjenju pretoka s klasično zaslonko ali Venturijevo cevjo preveč zamudno, bo energetik — toplotni tehnik v prvi fazi lahko uporabil korigirano skalo instrumenta za merjenje pretoka osnovnega kurilnega plina. Slika 2 kaže način konstrukcije in korekturo za primer — varianta 1. Osnovni kurilni plin je ZPZ, plin zamenjevalec pa PBZ. Osnovna delitev skale za pretok  $2000 \text{ m}^3 = V_1$ , t. j. ZPZ preračunano na PBZ in skalo razdelimo, kot kaže primer na sliki 2. Za hitro korekturo pretoka je ob upošteva-

nju prej navedenih pogojev tak način prikladen, za primer, ko pa se spreminjata še vlažnost in temperatura, bo potrebno vrednosti sproti preračunavati.

Za industrijske plinske sisteme v kontinuirni rabi bo zato potrebno, zlasti če bo priključena avtomatska regulacija peči, uporabiti pri meritvah pretoka z zoženjem prereza merilnike s korigiranimi vrednostmi za temperaturo in gostoto (ev. vlažnost) pretočnega medija. Sistem pretvornikov in korektorji diferenčnega tlaka<sup>2</sup> so že v rabi.

Hkrati se ob tem ponuja misel o uvedbi procesnega računalnika, ki bi zlasti prišel v poštev pri večjih odjemalcih.

Že danes je potrebno posebej poudariti to dejstvo in prilagajati plinske sisteme tako, da bo mogoče ob uporabi računalnika dejansko dispečersko službo povsem avtomatizirati.

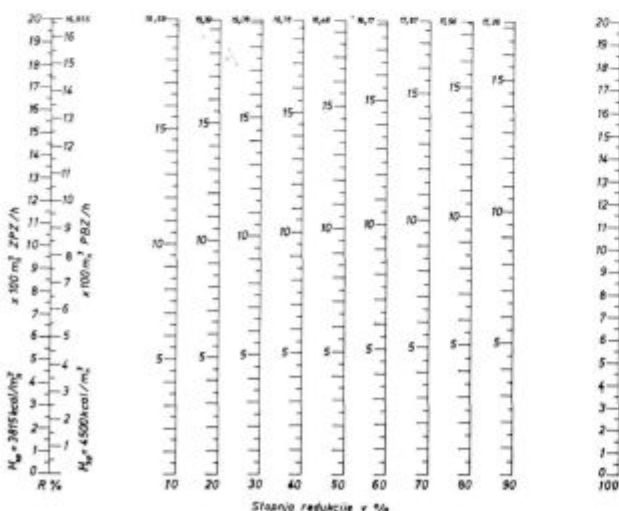
V ta namen kot ilustracija nekaj osnovnih misli:

Kot bistvena vhodna veličina je pogodbeni odvzem zemeljskega plina, ki ga sproti korigira avtomatski kalorimeter tako, da je maksimalna količina dovedene toplote vedno čim bolj konstantna. Hkrati je vhod tudi temperatura in gostota plina. Sleherno spremembo porabe kot sumarno porabo ZP in s tem tudi ZPZ ter PBZ računalnik sproti korigira ter v mešalni postaji daje impulze posameznim mešalnikom za vklop in izklop ob hkratni regulaciji pretočnih volumnov.

Ker je na tak način možno priključiti posamezne obrate (TOZDE) z njihovo specifično porabo kot posebnim vhodnim signalom na računalnik, je evidentno, da nudi tak način ne le zelo učinkovit sistem dispečerstva, temveč hkrati že vodi do sorazmerno visoke stopnje optimizacije energijske porabe.

### 3.0. PRERACUN CEVOVODOV ZA PLINSKO MEŠANICO RPM

Toplotni agregat je dimenzioniran za določeno toplotno obremenitev, ki mora ostati konstantna. Dovodno in razdelilno cevno omrežje je dimenzionirano za obstoječo plinsko mešanico in določeno toplotno obremenitev.



Slika 2

Način konstrukcije in uporabnost grafikona v primeru različnih stopenj redukcije osnovnega kurilnega plina za varianta 1 — potrebni korekturni faktorji in spremenjena skala

Fig. 2

Construction and application of the graph for various degrees of reduction of the basic fuel gas, case 1 — necessary correction factors and corrected measuring scale.

Pri kombiniranem kurjenju moramo raziskati tlačne razmere v cevovodih pri konstantni obremenitvi toplotnega agregata.

Tlačni padec v cevovodu, če ne upoštevamo višinske razlike, je<sup>3</sup>

$$\frac{dp}{\rho_{RPM}} = -(\lambda_R + \lambda_B) \frac{P}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot dL \text{ N/m}^2 \quad (22)$$

Za izotermični tok plina se enačba (22) glasi

$$P_1 - P_2 = P_1 \left( 1 - \sqrt{1 - 2 \lambda_R \frac{\rho_{RPM}}{P_1} \cdot \frac{P}{L} \cdot \frac{w_1^2}{2}} \right) \text{N/m}^2 \quad (23)$$

V enačbi (23) se nam s spreminjanjem sestave rezultirajoče plinske mešanice spreminja  $\lambda_R$ ,  $\rho_1$ ,  $w_1$ , začetni tlak  $P_1$  je konstanten.

Koeficient trenja za ravno hrapavo cev določimo po enačbi Colebrook.<sup>3</sup>

$$\frac{1}{\lambda_R} = -2 \lg \left( \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda_R}} + \frac{k}{3,72 d} \right) \quad (24)$$

Enačbo (24) zapišemo tudi v naslednji obliki<sup>3</sup>

$$\lambda_R = A \cdot d^B \cdot Re^C \quad (25)$$

Za ravne hrapave jeklene cevi je

$$\begin{aligned} A &= 0,094 \\ B &= -0,055 \\ C &= -0,14 \end{aligned} \quad (26)$$

Reynoldsovo število izračunamo po enačbi

$$Re = \frac{w \cdot d}{\eta_{RPM}} \cdot \rho_{RPM} \quad (27)$$

Če upoštevamo, da je hitrost plinske mešanice

$$w = \frac{\dot{V}_{RPM} \cdot 4}{\pi \cdot d^2}; \quad \dot{V}_{RPM} = \frac{\dot{Q}}{H_{RPM}} \text{ m}^3/\text{s} \quad (28)$$

izrazimo Reynoldsovo število

$$Re = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\rho_{RPM}}{\eta_{RPM}} \cdot \frac{1}{d} \cdot \dot{V}_{RPM} \quad (29)$$

Če vstavimo enačbo (29), (28) in (25) v enačbo (23) dobimo tlačni padec v cevovodu kot funkcijo sestave plinske mešanice pri konstantni toplotni obremenitvi.

$$P_1 - P_2 = P_1 (1 - \sqrt{1 - 0,14732 \cdot E \cdot F}) \quad (30)$$

V enačbi (30) pomeni

$$E = \frac{1}{P_1} \cdot d^{-4,915} \quad (31)$$

$$F = \rho_{RPM} \cdot \dot{V}_{RPM}^{1,86} \cdot \left( \frac{\eta_{RPM}}{\rho_{RPM}} \right)^{0,14}$$

Za vsak računski primer je člen E konstanten, člen F pa se spreminja s sestavo rezultirajoče plinske mešanice RPM.

Primer izračuna tlačnega padca v cevovodu dolžine 60 m in premera 100 mm, če uporabimo za osnovo čisti zemeljski plin

$$H_{ZP} = 36940 \text{ kJ/m}^3 \text{ (8823 kcal/m}^3\text{)}$$

$$\rho_{ZP} = 0,7708 \text{ kg/m}^3$$

Plin zamenjevalec, plinska mešanica PBZ

$$H_{PBZ} = 57719 \text{ kJ/m}^3 \text{ (13786 kcal/m}^3\text{)}$$

$$\rho_{PBZ} = 1,8819 \text{ kg/m}^3$$

Ostali podatki po tabeli IV

Dovodni cevovod vodi na peč, kjer je 40 gorilnikov z nazivno toplotno obremenitvijo  $3 \cdot 10^5$  kJ/h ( $7,2 \cdot 10^4$  kcal/h).

Nazivni dovedeni toplotni tok je

$$\dot{Q} = 40 \cdot 3 \cdot 10^5 = 1,20 \cdot 10^7 \text{ kJ/h (2,88} \cdot 10^6 \text{ kcal/h)}$$

V odvisnosti od stopnje redukcije se nam spreminjajo tlačne razmere. Rezultate podamo tabelarično v tabeli XII.

Tabela 12

Spreminjanje padca tlaka za navedeni cevovod za toplotno obremenitev  $\dot{Q}_{do} = 1,2 \cdot 10^7$  kJ/h ( $2,88 \cdot 10^6$  kcal/h) in  $P_1 = 4905$  N/m<sup>2</sup>.

R	%	0	25	50	75	100
$H_{RPM}$						
	kJ/m <sup>3</sup>	36940	42134	47329	52524	57719
	kcal/m <sup>3</sup>	8823	10065	11307	12548	13786
$\rho_{RPM}$						
	kg/m <sup>3</sup>	0,7708	1,0486	1,3264	1,6041	1,8819
$\eta_{RPM}$	$\frac{\text{kg}}{\text{ms}} \cdot 10^{-6}$	10,150	8,95	8,58	8,715	9,202
$\dot{V}_{RPM}$	m <sup>3</sup> /h	324,85	284,81	253,54	228,47	207,90
$P_1 - P_2$						
	N/m <sup>2</sup>	76,97	78,02	76,67	74,19	71,27
	mm VS	7,84	7,95	7,84	7,56	7,26
$\frac{P_1 - P_2}{P_1}$	%	1,57	1,59	1,56	1,51	1,45
$\frac{(\Delta P) \text{ min}}{\Delta P}$	%	7,99	9,47	7,58	4,09	0

Iz računskega primera je razvidno, da vpliva na tlačne in pretočne razmere v cevovodih poleg spreminjajoče se količine plinske mešanice tudi dinamična viskoznost rezultirajoče plinske mešanice.

#### 4.0 PLINSKI GORILNIK

Toplotna obremenitev plinskega gorilnika je<sup>2</sup>

$$\dot{Q}_g = H_{RPM} \cdot A \cdot \alpha \sqrt{\frac{2P}{\rho_{RPM}}} \text{ kJ/s (kcal/s)} \quad (32)$$



Upoštevamo izvajanja v I. delu, kjer smo dobili enačbo

$$\frac{\sqrt{P}}{\sqrt{\rho_{RPM_1}}} \cdot H_{RPM_1} = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{\rho_{RPM_2}}} \cdot H_{RPM_2} = \text{konst.} \quad (33)$$

Za določevanje variant zamenjevanja zemeljskega plina s plinom zamenjevalcem smo izhajali iz naslednjega kriterija<sup>3</sup>

$$\frac{H_{RPM_1}}{\sqrt{\rho_{RPM_1}}} = \frac{H_{RPM_2}}{\sqrt{\rho_{RPM_2}}} = \text{konst} = C_1 \quad (34)$$

ki je številčno znan za vsako obravnavano varianto zamenjevanja. Za določen plinski gorilnik lahko toplotno obremenitev plinskega gorilnika izrazimo s konstanto  $C_1$  in tlakom plinske mešanice  $p$ . Z vstavljanjem enačbe (34) v (32) dobimo

$$\dot{Q}_g = C_1 \cdot A \cdot \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot P} = C_1 \cdot C_2 \cdot \sqrt{P} \text{ kJ/s (kcal/s)} \quad (35)$$

Konstanta  $C_2$  je definirana z enačbo

$$C_2 = A \cdot \alpha \cdot \sqrt{2} \text{ m}^2 \quad (36)$$

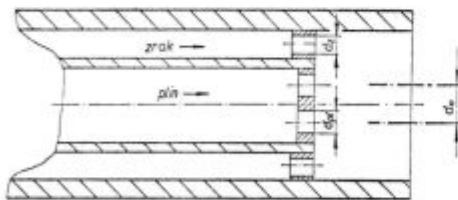
in je odvisna od dimenzij in pretočnih karakteristik gorilnika. Količino plinske mešanice RPM na plinskem gorilniku, da dobimo konstantno toplotno obremenitev gorilnika, izračunano po enačbi

$$\dot{V}_{RPM} = \frac{\dot{Q}_g}{H_{RPM}} \quad \text{m}_n^3/\text{s} \quad (37)$$

Z upoštevanjem enačbe (35) je

$$\dot{V}_{RPM} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot \sqrt{P}}{H_{RPM}} \quad \text{m}_n^3/\text{s} \quad (38)$$

Za izbrano kombinacijo osnovnih plinskih mešanic je volumski tok za konstantno toplotno obremenitev gorilnika in za podane tlačne razmere na gorilniku samo funkcija sestave rezultirajoče plinske mešanice.



Osnovni podatki za gorilnik

- $d_{\mu} = 8 \times 35 \text{ mm}$
- $d_s = 16 \times 50 \text{ mm}$
- $A_f A_g = 0,00007693 \text{ m}^2$
- $A_z = 0,0004071 \text{ m}^2$
- $d_w = 10 \text{ mm}$
- $\alpha_p = 0,8694$
- $\dot{Q}_p = 63,721 \text{ kW (pri } \rho_{p,20} 0,880 \text{ N/m}^3, H_{p,20} 25,20 \text{ kJ/m}_n^3)$

Slika 3

Shema ustja plinskega gorilnika z oznakami in podatki

Fig. 3

Scheme of the burner opening with markings and data

Za prejšnji primer preračunano spreminjanje količine plinske mešanice za navedeni plinski gorilnik s karakteristikami, prikazanimi na sl. 3

Rezultate navajamo v tabeli XIII

Tabela 13

Preračun plinskega gorilnika  $\dot{Q}_g = 3 \cdot 10^5 \text{ kJ/h}$ ,  $P = 1962 \text{ N/m}^2$ ,  $C_1 = 42075$ ,  $C_2 = 9,589 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$

R	%	0	25	50	75	100
$H_{RPM}$	kJ/m <sub>n</sub> <sup>3</sup>	36940	42134	47329	52524	57719
$\dot{V}_{RPMG}$	m <sub>n</sub> <sup>3</sup> /h	17,416	15,269	13,594	12,289	11,146
$\Delta \dot{V}$	%	56,25	36,99	21,96	9,89	0

Iz tabele XIII je razvidno, da se nam za konstantno toplotno obremenitev količina rezultirajoče plinske mešanice RPM pri redukciji od 0 do 100 % spreminja od 0 do 56,25 %.

### 5.0 VPLIV STOPNJE REDUKCIJE ZEMELJSKEGA PLINA NA CENO PORABLJENE ENERGIJE

Osnova, iz katere določamo glavne pogoje za izračun cene porabljene energije, sta mesečni in dnevni diagram energije. Ta dva diagrama določimo na osnovi statističnih opazovanj porabe energije v določenih časovnih intervalih ali kontinuirano. Vsak odjemalec bo imel drugačen mesečni in dnevni digram. Primer videza mesečnega in dnevnega diagrama je prikazan na sl. 4

Pri obravnavanju cene porabljene energije na mesec ločimo dva primera

- a) porabljeno energijo pokrijemo samo z zemeljskim plinom
- b) porabljeno energijo pokrijemo z rezultirajočo plinsko mešanico RPM

Stroški porabljene mesečne energije, ki jo pokrijemo z zemeljskim plinom, znašajo

$$S_{eo} = \dot{V}_{ZPo} \cdot c_{ZPo} \quad \text{din/mesec} \quad (39)$$

$$\frac{S_{eo}}{\dot{V}_{ZPo}} = c_{ZPo}$$

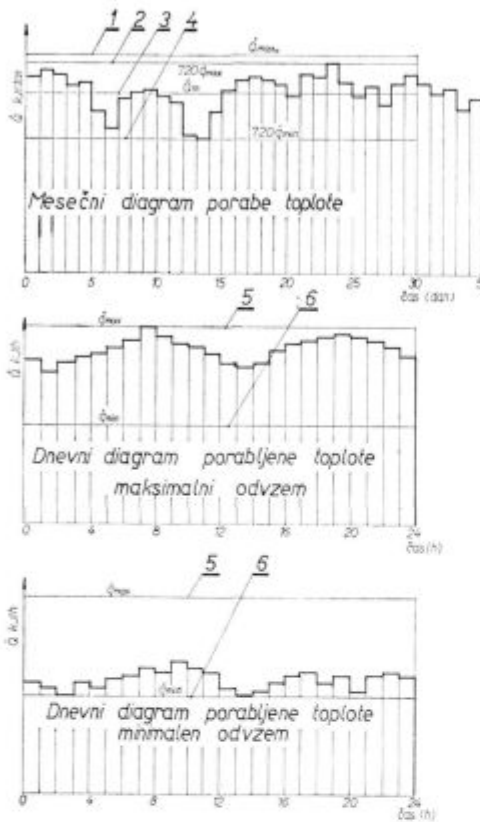
$\dot{V}_{ZPo}$  je dejansko porabljena količina zemeljskega plina na mesec, če kurimo samo z zemeljskim plinom, in je enaka:

$$\dot{V}_{ZPo} = \frac{\dot{Q}_{dej}}{H_{ZP}} \quad \text{m}_n^3/\text{mes} \quad (40)$$

Ceno zemeljskega plina izračunamo po enačbi:

$$c_{ZPo} = a \frac{K_{20}}{K_{10}} + c + b (K_{20} - 1) \quad \text{din/m}_n^3 \quad (41)$$

- 1 Planirana mesečna količina toplote
- 2  $\dot{Q}_{720}$  objema toplota pri polnem kurjenju
- 3 dejansko porabljena toplota
- 4  $\dot{Q}_{720}$  porabljena toplota pri minimalnem kurjenju
- 5 maksimalna urna poraba toplote
- 6 minimalna urna poraba toplote



Slika 4  
Mesečni in dnevni maksimalni oziroma dnevni minimalni diagram porabljene toplote  
Fig. 4  
Monthly and daily maximal and daily minimal heat consumption

Koeficienta  $K_{10}$  in  $K_{20}$  sta določena po diagramih mesečne in dnevne porabe energije. Za določenega odjemalca, ki ima svoj specifičen režim dela, sta ta dva koeficienta, če kurimo samo z zemeljskim plinom, fiksna podatka. Nanju in s tem na ugodnejšo ceno zemeljskega plina lahko vplivamo edino s spremembo režima dela, kar pa v veliko primerih ni možno.

Stroški porabljene mesečne energije, če kurimo z rezultirajočo plinsko mešanico, so

$$S_{cRPM} = S_{cZP} + S_{cPB} \quad \text{din/mes} \quad (42)$$

Stroški energije so vsota stroškov dovedene energije z zemeljskim plinom in stroškov dovedene energije s plinom zamenjevalcem.

Stroški energije, dovedene z zemeljskim plinom, so

$$S_{cZP} = \dot{Q}_{ZP} \cdot c_{cZP} = \dot{V}_{ZP} \cdot c_{ZP} \quad \text{din/mes} \quad (43)$$

Stroški energije, dovedene s plinom zamenjevalcem, so

$$S_{cPB} = \dot{Q}_{PB} \cdot c_{cPB} = \dot{V}_{PB} \cdot c_{PB} \quad \text{din/mes} \quad (44)$$

Cena zemeljskega plina v enačbi (13) je definirana

$$c_{ZP} = a \frac{K_2}{K_1} + c + b(K_2 - 1) \quad \text{din/m}_n^3 \quad (45)$$

Faktorja  $K_1$  in  $K_2$  se razlikujeta od faktorjev  $K_{10}$  in  $K_{20}$ . Določimo ju na novo, pri tem pa si prizadevamo, da sta določena tako, da se cena zemeljskega plina čim bolj približuje ceni zemeljskega plina pri porabi v pasu.

Cena plina zamenjevalca propan-butana se s porabo ne spreminja.

Enačbo (42) lahko z upoštevanjem enačb (43) in (44) zapišemo

$$S_e = \dot{V}_{ZP} \cdot c_{ZP} + \dot{V}_{PB} \cdot c_{PB} \quad \text{din/mes} \quad (46)$$

Dejansko porabljeno toploto na mesec izrazimo  $\dot{Q}_{dej} = \dot{V}_{ZPo} \cdot H_{ZP} = \dot{V}_{ZP} \cdot H_{ZP} + \dot{V}_{PB} \cdot H_{PB}$  kJ/mes; (47) (kcal/mes)

Faktor redukcije zemeljskega plina  $R$  definiramo z

$$r = \frac{\dot{V}_{ZP}}{\dot{V}_{ZPo}} R = 100 \cdot r \% \quad (48)$$

pri čemer je  $r \leq 1$

Iz enačbe (47) z upoštevanjem enačbe (48) izrazimo  $\dot{V}_{PB}$

$$\dot{V}_{PB} = \frac{H_{ZP}}{H_{PB}} \cdot \dot{V}_{ZPo} (1 - r) \quad \text{m}_n^3/\text{mes} \quad (49)$$

Enačba (46) se sedaj glasi

$$S_e = \dot{V}_{ZP} \cdot c_{ZP} + \frac{H_{ZP}}{H_{PB}} \dot{V}_{ZPo} (1 - r) \cdot c_{PB} \quad (50)$$

Cena energije na enoto zemeljskega plina pri kurjenju samo z zemeljskim plinom je torej:

$$c_e = \frac{S_e}{\dot{V}_{ZPo}} = R \cdot c_{ZP} + \frac{H_{ZP}}{H_{PB}} (1 - r) \cdot c_{PB} \quad (51)$$

Na osnovi enačb (39), (41), (45) in (51) in s pomočjo mesečnega in dnevnega diagrama porabe energije lahko poiščemo optimalne razmere zamenjevanja zemeljskega plina s plinom zamenjevalcem (PB).

Ta problem težko posplošimo, ker je potrebno pri iskanju optimalnih razmer upoštevati vse specifičnosti porabnika, ki jih ne moremo definirati v splošnem matematičnem izrazu. Kot primer izračuna navedemo naslednji primer:

Za narisani mesečni diagram (sl. 4) porabe energije dobimo s planimetriranjem dejansko mesečno porabo toplote, ki znaša

$$\dot{Q}_m = 1,39 \cdot 10^{11} \text{ kJ/mes} \quad (3,32 \cdot 10^{10} \text{ kcal/mes})$$

Iz obeh dnevnih diagramov dobimo maksimalno dnevno porabo

$$\dot{Q}_{\max} = 5,32 \cdot 10^9 \text{ kJ/dan} \quad (12,72 \cdot 10^8 \text{ kcal/dan})$$

in minimalno dnevno porabo

$$\dot{Q}_{\min} = 3,410 \cdot 10^9 \text{ kJ/dan} \quad (8,17 \cdot 10^8 \text{ kcal/dan})$$

Osnovni podatki za izračun

Kalorična vrednost obeh plinskih mešanic

$$H_{ZPZ} = 33488 \text{ kJ/m}_n^3 \quad (8000 \text{ kcal/m}_n^3)$$

$$H_{PBZ} = 25115 \text{ kJ/m}_n^3 \quad (6000 \text{ kcal/m}_n^3)$$

Osnovni podatki za zemeljski plin in tekoči plin so navedeni v I. poglavju članka.

Planirana količina zemeljskega plina

$$\dot{Q}_{\max} = 1,67 \cdot 10^{11} \text{ kJ/mes} \quad (4,0 \cdot 10^{10} \text{ kcal/mes})$$

Cena zemeljskega plina

$$c = 2,473 \text{ din/m}_n^3$$

Faktorja transporta in neenakomernosti odvzema

$$a = 0,3$$

$$b = 1,2$$

Cena plina zamenjevalca, še ne mešanega z zrakom

$$c_{TNP} = 2,3 \text{ din/kg}$$

Cena rezervnega kuriva, ki je navedena za tekoče stanje, preračunamo na plinsko mešanico PBZ

$$c_{PB} = c_{TNP} \frac{H_{PBZ}}{H_{TNP}} = 2,3 \frac{6000}{11000} = 1,255 \text{ din/m}_n^3$$

Obdelamo računsko oba načina kurjenja.

Kurjenje samo z zemeljskim plinom

Iz diagrama dnevne porabe toplote razberemo največjo urno porabo toplote

$$\dot{q}_{\max} = 2,51 \cdot 10^8 \text{ kJ/h} \quad (6,0 \cdot 10^7 \text{ kcal/h})$$

Količino zemeljskega plina določimo iz mesečne porabe toplote

$$\dot{V}_{ZPo} = \frac{\dot{Q}_m}{H_{ZP}} = \frac{1,39 \cdot 10^{11}}{33488} = 4,15 \cdot 10^6 \text{ m}_n^3/\text{mes}$$

Po enačbah iz I. dela članka izračunamo faktor neenakomerne porabe in faktor dejanske porabe

$$K_{10} = 0,926$$

$$K_{20} = 1,205$$

Ceno zemeljskega plina, če kurimo samo z zemeljskim plinom, izračunamo po enačbi (11)

$$c_{ZPo} = 0,3 \frac{1,205}{0,926} + 2,473 + 1,2 (1,205 - 1)$$

$$c_{ZPo} = 3,103 \text{ din/m}_n^3$$

Za kasnejše primerjanje cen preračunamo na 1000 kcal in dobimo

$$c_{eo} = 0,388 \text{ din/1000 kcal}$$

Drugi primer kurjenja je, če konice pokrivamo z rezervnim kurivom, t.j. s plinom zamenjevalcem. V I. delu smo ugotovili, da je najugodnejši primer

takšnega kurjenja, če zemeljski plin trošimo v pasu. Za tak primer kurjenja sta faktorja

$$K_1 = K_2 = 1$$

Iz diagrama minimalne porabe dobimo

$$\dot{q}_{\min} = 12,56 \cdot 10^7 \text{ kJ/h} \quad (3,10^7 \text{ kcal/h})$$

Količina toplote, ki jo dovedemo z zemeljskim plinom, znaša

$$\dot{Q}_{ZP} = 9,04 \cdot 10^{10} \text{ kJ/mes} \quad (2,16 \cdot 10^{10} \text{ kcal/mes})$$

Toplota, ki jo moramo pokriti s plinom zamenjevalcem, znaša

$$\dot{Q}_{PB} = \dot{Q}_m - \dot{Q}_{ZP} = 4,86 \cdot 10^{10} \text{ kJ/mes} \quad (1,16 \cdot 10^{10} \text{ kcal/mes})$$

Stopnja redukcije zemeljskega plina znaša po enačbi (48)

$$R = \frac{\dot{V}_{ZP}}{\dot{V}_{ZPo}} = \frac{\dot{Q}_{ZP}}{H_{ZP}} \cdot \frac{H_{ZP}}{\dot{Q}_m} = \frac{\dot{Q}_{ZP}}{\dot{Q}_m} = 0,65$$

Po enačbi (21) izračunamo ceno energije za opisani primer kurjenja

$$c_e = (0,3 + 2,473) \cdot 0,65 + \frac{8000}{6000} (1 - 0,65) \cdot 1,255 = 2,388 \text{ din/m}_n^3$$

Cena energije, preračunana na enoto 1000 kcal

$$c_e = 0,267 \text{ din/1000 kcal}$$

Razlika v ceni med najugodnejšim in najneugodnejšim primerom je

$$\Delta c = 31,18 \%$$

## 6.0 PLINSKI SISTEM V INDUSTRIJI PRI ZAMENJAVANJU IN KOMBINIRANJU PLINSKIH GORIV

Industrijski potrošniki zemeljskega plina v SR Sloveniji bodo lahko oskrbovani z zemeljskim plinom iz magistralnega plinovoda

— iz visokotlačnega omrežja

— iz srednjetačnega omrežja

Vrsto odvzema bo določala lokacija porabnika, manj pa velikost in tehnološki karakter.

Direktno oskrbovani porabniki iz visoko tlačne mreže bodo imeli urejeno reduciranje tlaka v dveh stopnjah. Te postaje imajo funkcijo reduciranja tlaka, regulacije in merjenja pretoka zemeljskega plina, imenujemo jih glavne industrijske merilno-regulacijske postaje.

Porabniki, oskrbovani iz srednje tlačne mreže, bodo opremljeni s postajami, kjer bo redukcija tlaka samo v eni stopnji.

Predredukcija tlaka bo izvedena že prej v glavni industrijski merilno-regulacijski postaji, ki bo oskrbovala širšo okolico z zemeljskim plinom srednjega tlaka. Postaja pri porabniku, ki je oskrbovan iz srednjetačne mreže, se imenuje merilno-regulacijska postaja. Tak način je predviden za mestna področja ali večje industrijske odjemalce.

Slike 5, 6, 7 shematsko prikazujejo osnovne načine priključitve na magistralno mrežo ZP za karakteristične industrijske porabnike.



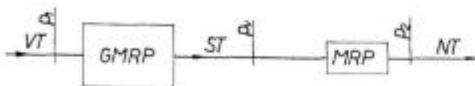
Tlačne razmere  
 $p_1 = 50 - 10 \text{ bar}$   
 $p_2 = 1 \text{ bar}$

Slika 5

Dvostopenjska redukcija tlaka zemeljskega plina v glavni industrijsko merilno regulacijski postaji — GIMRP

Fig. 5

Double-grade pressure reduction of natural gas. In the main industrial measuring and regulation station — GIMRP



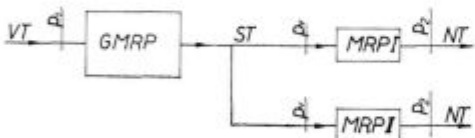
Tlačne razmere  
 $p_1 = 50 - 10 \text{ bar}$   
 $p_2 = 10 - 5,3 \text{ bar}$   
 $p_{2m} = 1 \text{ bar}$

Slika 6

Ločena redukcija tlaka zemeljskega plina, prva stopnja redukcije v glavni merilno regulacijski postaji — GMRP in druga stopnja redukcije v merilno regulacijski postaji — MRP

Fig. 6

Separated pressure reduction of natural gas. The first reduction grade is in the main measuring and regulation station — GMRP, the second reduction grade is in the measuring and regulation station — MRP



Tlačne razmere  
 $p_1 = 50 - 10 \text{ bar}$   
 $p_2 = 3 \text{ bar}$   
 $p_{2m} = 1 \text{ bar}$

Slika 7

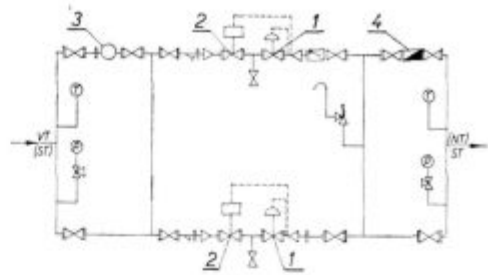
Primer oskrbe velikega porabnika, ki ima zelo oddaljena potrošna mesta

Fig. 7

Example of supply to a great consumer with very distant small consumers

Merilno-regulacijske postaje so opremljene s takole osnovno opremo:

- regulacijska oprema za enostopenjsko ali dvostopenjsko redukcijo plina,
- varnostna oprema za preprečevanje prekočitve tlaka in povratnih udarcev,
- vezna armatura (plinski ventili),
- instalacije,
- lovilnik nesnage,
- merilniki tlaka in temperature,
- merilniki pretoka plina.



- 1 Regulator
- 2 Varnostna loputa
- 3 Skruber
- 4 Mertec pretaka

Slika 8

Shema enostopenjske merilno regulacijske postaje

Fig. 8

Scheme of a single-grade measuring and regulation station

Regulacijska oprema je izvedena v dveh linijah. Ena linija je rezervna. Obe liniji sta medsebojno povezani in je možno avtomatsko aktiviranje rezervne linije. Osnovno shemo enostopenjske merilno-regulacijske postaje prikazuje slika 8.

Pri uvajanju zemeljskega plina za industrijsko porabo je pri izbiri načina odvzema ZP potrebno upoštevati tele elemente:

- obseg in način porabe ZP,
- dolgoročno pokrivanje porabe toplotne energije,
- dolgoročno oskrbovanje s toplotno energijo,
- tehnološke karakteristike potrošnih mest,
- sedanji način oskrbovanja s toplotno energijo,
- obstoječe kurilne naprave z opremo in instalacijami obstoječega plinskega sistema,
- možnosti dopolnjevanja in zamenjevanja plinske energije z drugimi plini (konične porabe, izpadi ZP, ekonomika obratovanja).

Pred odločitvijo o načinu odvzema in oskrbe z zemeljskim plinom moramo analizirati naslednje glavne elemente plinskih sistemov:

a) Sedaj uporabljamo naslednje kurilne pline:

1. generatorski plin (GP)
2. plavžni plin (PP)
3. TH — plin
4. plinsko fazo tekočega naftnega plina (PB)
5. mešanico propan-butan-zrak (PBZ)
6. mestni — plinarniški plin (MP)
7. cepljeni plin (CP)
8. porabnik brez plinske oskrbe

b) Upoštevati moramo dejstvo, da plini, ki vsebujejo CO in H<sub>2</sub>, niso zamenljivi z zemeljskim plinom pri nespremenjenih armaturah in gorilnikih.

c) Z upoštevanjem tega lahko pišemo:

- GP  $\nrightarrow$  ZP . . . . . ni zamenljiv
- PP  $\nrightarrow$  ZP . . . . . ni zamenljiv
- PB  $\nrightarrow$  ZP . . . . . ni zamenljiv
- CP  $\nrightarrow$  ZP . . . . . ni zamenljiv
- PBZ  $\rightleftharpoons$  ZP . . . . . je zamenljiv
- PBZ  $\rightarrow$  ZPZ . . . . . je zamenljiv
- CP  $\nrightarrow$  ZPZ . . . . . ni zamenljiv
- MP  $\nrightarrow$  ZPZ . . . . . ni zamenljiv

Na način izbire transportiranja zemeljskega plina od merilneregulacijske postaje do porabnih mest vpliva:

- obstoječa inštalacija
- obstoječe naprave
- lokacija potrošnih mest
- velikost posameznih potrošnih mest
- način porabe posameznih potrošnih mest
- razvoj

Za oskrbovanje uporabljamo naslednje sisteme:

1. linijski sistem oskrbe
2. oskrba iz zanke
3. mešani način oskrbe

Pri izbiri načina oskrbe je najvažnejša lokacija, velikost in poraba posameznih potrošnih mest. Običajno uporabljamo linijski način in mešani način oskrbe. Pri linijskem načinu se po posameznih vejah omrežja oskrbujejo potrošna mesta iz centralne merilneregulacijske postaje. V primerih, ko se nam tlačne razmere na določenih potrošnih mestih preveč spremenijo, nastane prevelika odvisnost distribucijskega tlaka od porabe, povežemo lahko samo nekaj kritičnih potrošnih mest v zanko, ostali pa so oskrbovani linijsko. Tak način je mešani način oskrbe. Če povežemo vsa potrošna mesta, da bi izboljšali tlačne razmere na potrošnih mestih, imenujemo tak sistem oskrba iz zanke.

Od prej naštetih pogojev je odvisen tudi tlak v razdelilnem plinskem sistemu. Po nemških normah (DVGW) ločimo naslednje tlačne režime:

1. nizekotlačni . . . . . do 4905 N/m<sup>2</sup> (500 mm H<sub>2</sub>O)
2. srednjetačni . . . . . od 4905 N/m<sup>2</sup> do 2,94 bar (500 mm H<sub>2</sub>O do ca. 3 at)
3. visokotlačni . . . . . nad 2,94 bar (nad 3 at)

Za izbrani tlačni režim, hitrost plina in prepustnost cevovodov je dejanski delovni tlak pri porabniku osnovni pokazatelj za pravilno izbiro plinskega oskrbovalnega sistema.

Za posamezne režime ločimo po velikosti naslednje tlake:

1. oskrbovalni tlak . . . . .  $p_o$  . . . . . tlak v oskrbovalnem cevovodu
2. distribucijski tlak . . . . .  $p_d$  . . . . . tlak v internem razvodu
3. tlak na potrošnem mestu . . . . .  $p_p$  . . . . . dejanski tlak pri porabniku

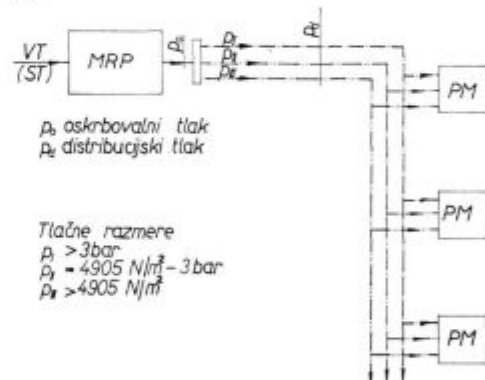
Pri prehodu na novi plinski medij moramo izvršiti še podrobno analizo stanja naprav, opreme in aparatov obstoječega plinskega sistema. Pri tem moramo podrobno obdelati:

- instalacije
- zaporne armature
- regulacijske armature
- varnostne armature
- merilno-regulacijsko opremo

V nadaljevanju bomo obdelali različne variante plinskih sistemov za različne kombinacije medsebojne uporabe zemeljskega plina ali plinske mešanice zemeljski plin-zrak s plinskimi mešanici plinske faze TNP ali PB z zrakom. Sočasno bomo upoštevali tudi različne tlačne režime in načine oskrbe.

### Plinski sistem za čisti zemeljski plin

Plinski sistem je uporaben za porabnike, ki do sedaj v svoji energetski oskrbi še nimajo plinskih goriv, in odvzemnike, ki bodo zgradili poleg obstoječe plinske mreže novo plinsko mrežo za oskrbovanje določene skupine potrošnih mest. Slika 9 prikazuje linijsko oskrbo, slika 10 pa oskrbo v zanki.

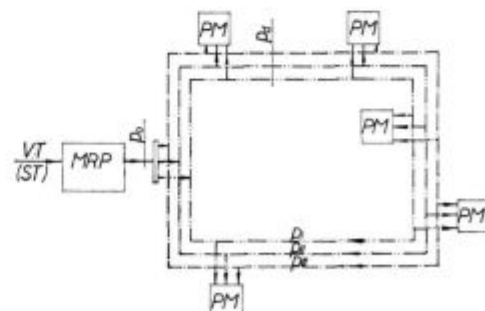


Slika 9

Linijska oskrba potrošnih mest samo z zemeljskim plinom z različnimi tlačnimi nivoji

Fig. 9

Line supply of consumers with natural gas alone, being at various pressure levels



Slika 10

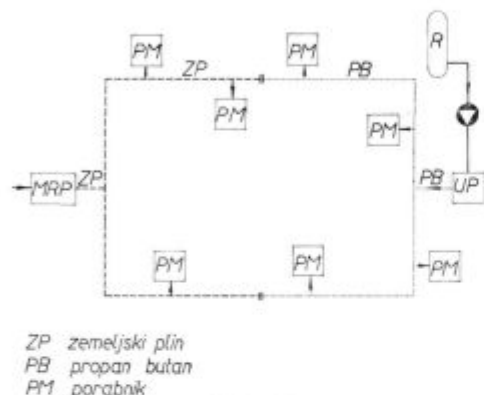
Oskrba potrošnih mest samo z zemeljskim plinom iz zanke za različne tlačne nivoje

Fig. 10

Supply of consumers with natural gas alone from the loop for various pressure levels

**Plinski sistem za čisti ZP in ločeni sistem za PB**

V bistvu obravnavamo dva ločena plinska sistema, enega za ZP in drugega za PB. Uporaben je za porabnike, ki že uporabljajo PB, vendar bodo za določeno skupino potrošnih mest uporabljali samo čisti ZP. Pri tem moramo upoštevati dvojnost sistema in nezamenljivost PB z ZP. Vpliv nihajoče in konične porabe ZP pri taki rešitvi ni možno kompenzirati brez večjih investicij. Ob izpadu enega od plinskih medijev nimamo nobene rezerve. Shema takega sistema je prikazana na sliki 11.



Slika 11

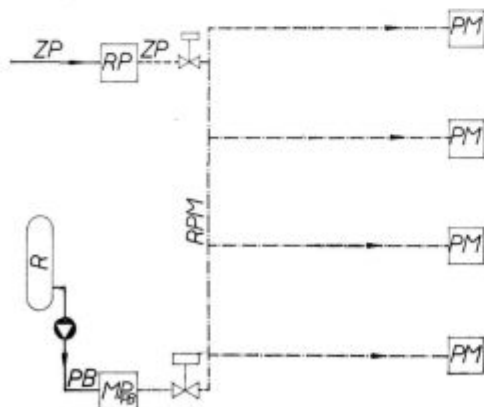
**Kombinirani sistem oskrbe potrošnih mest z zemeljskim plinom in propan-butanom, ki sta med sabo ločena**

Fig. 11

**Combined supply system with the separated natural and propane-butane gas**

**Plinski sistem za ZP in PBZ**

Sočasna uporaba obeh plinov je možna pri uporabi plinske mešanice propan-butan-zrak (PBZ). Za tak način uporabe je potrebna mešalna naprava za mešanje PB z zrakom. Sistem oskrbujemo z ZP iz merilno-regulacijske postaje (MRP) in s PBZ iz mešalne postaje (MP). Glede na vrsto, značaj in velikost potrošnje je možen sistem v zanki (slika 13) ali linijski sistem (slika 12).

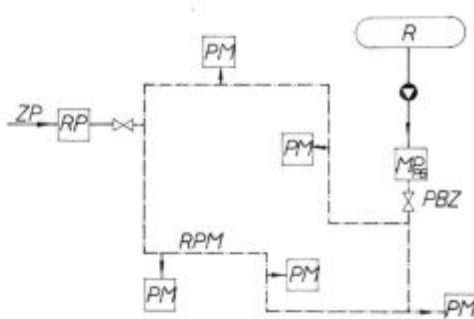


Slika 12

**Linijski sistem kombinirane oskrbe potrošnih mest z zemeljskim plinom in plinsko mešanico propan-butan-zrak**

Fig. 12

**Line system of the combined supply with the natural gas and the propane-butane-air mixture**



Slika 13

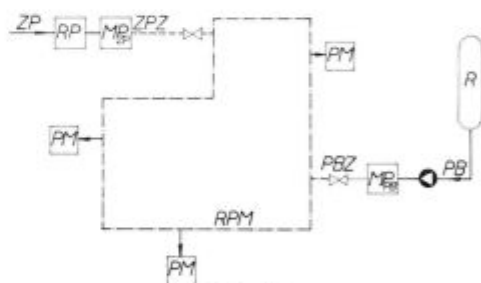
**Kombinirani sistem oskrbe iz zanke potrošnih mest z zemeljskim plinom in plinsko mešanico propan-butan-zrak**

Fig. 13

**Combined supply system from loop with the natural gas and the propane-butane-air mixture.**

**Plinski sistem za ZPZ in PBZ**

Zamenljivost PBZ in ZPZ je možna v širšem območju. Rezultirajoča plinska mešanica (RPM) obeh komponent se lahko brez dodatnih omejitev uporablja na gorilnikih. Zemeljski plin se po redukciji (MRP) v mešalni postaji meša z zrakom na zahtevano kurilno vrednost in z njim napaja sistem. Enako se PB v mešalni postaji meša z zrakom na zahtevano kurilno vrednost in vodi v sistem. Tak plinski sistem je zelo elastičen; možna je kompenzacija nihajoče porabe in porabe ZP v pasu. Glede na vrsto, značaj in obseg potrošnih mest je lahko sistem izveden v zanki (slika 14) ali linijsko (slika 15).



Slika 14

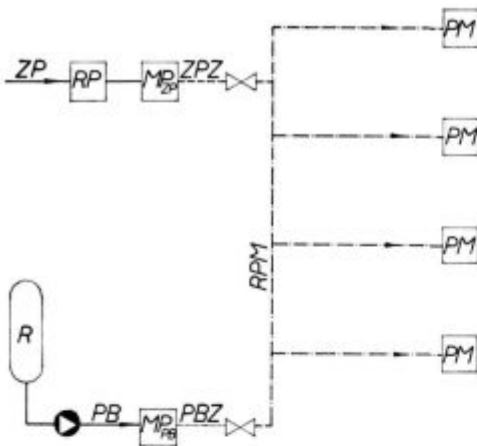
**Kombinirani sistem oskrbe iz zanke potrošnih mest s plinsko mešanico zemeljski plin-zrak in plinsko mešanico propan-butan-zrak**

Fig. 14

**Combined supply system from loop with the natural gas — air mixture and the propane-butane-air mixture**

**Obratovanje plinskega sistema ZPZ in PBZ**

Porabo plinske energije (ZPZ in PBZ) diktirajo porabniki, oz. tehnološki postopki. Poraba ni enakomerna, ampak niha. Plinski sistem priredimo tako, da odvezujemo časovno konstantno količino ZP, spreminjamo pa časovno porabo tekočega naftnega plina v mešanici PBZ. S pomočjo programskega regulatorja, ki dobiva impulz z merilnega mesta na obeh oskrbovanih cevovodih plinskih medijev, ustrezno nastavljamo pretočno količino enega ali drugega plinskega medija.



Slika 15

Kombinirani linijski sistem oskrbe potrošnih mest s plinsko mešanico zemeljski plin-zrak in plinsko mešanico propan-butan-zrak

Fig. 15

Combined line supply system with the natural gas-air mixture and the propane-buthane-air mixture

### Armature

Pri plinskih sistemih uporabljamo različne armature, ki služijo za odpiranje, pripiranje in zapiranje plinskega pretoka. Uporabljamo plinske ventile, zasune (ročne ali daljinsko krmiljenje), vodne zapore in lopute. Poleg tesnosti za plin, obratovalne vzdržljivosti in konstrukcijske robustnosti zahtevamo od armature tudi, da povzročajo male padce tlaka in da imajo linearno karakteristiko pretoka plina v celem obratovalnem območju. Pomembno je, da pri uvajanju novih plinskih medijev upoštevamo za armature krivulje propustnosti in glede na tlačni režim izberemo tiste, ki nam funkcionalno najbolj ustrezajo v sistemu.

### Tlačne razmere v cevovodih

Pri obravnavi plinskega sistema in uvajanju novih plinskih medijev moramo upoštevati vpliv fizikalnih lastnosti (gostota, viskoznost) na tlačne razmere v cevovodih. Obdelati moramo spremembo tlakov zaradi spremembe hitrosti, ki je pogojena s spremembo pretočnih volumnov, vpliv uporov armatur in merilnikov na tlačne razmere v cevovodih in izgubo tlaka zaradi trenja v cevovodih. Pri tem obravnavamo:

$$\Delta p|_o^n = \sum (\Delta p_w + \Delta p_x + \Delta p_\lambda) \dots N/m^2 (\text{mm H}_2\text{O})$$

$\Delta p|_o^n$  — skupna sprememba tlaka v plinskem sistemu

$\Delta p_w$  — sprememba tlaka zaradi spremembe hitrosti

$\Delta p_x$  — izguba tlaka zaradi uporov armatur in merilnikov v plinskem sistemu

$\Delta p_\lambda$  — izguba tlaka zaradi trenja v plinskem sistemu

### Regulacija tlaka pri porabnikih

Pogoj za pravilno in učinkovito zgorevanje plina na mestu porabe je, da dovajamo plin na gorilnik pri konstantnem tlaku. Ta pogoj je posebno pomemben pri uporabi ZP in mešanice ZP in PBZ. Kurilno tehnične lastnosti plinov zamenjevalcev se bistveno razlikujejo od kurilno tehničnih lastnosti »klasičnih« plinov. Zato je nujna vgradnja regulatorjev tlaka pred uporabniki. Osnovna naloga plinskega regulatorja je, da nihajoči tlak iz omrežja regulira na konstantno vrednost pri uporabniku. Pri opredelitvi in izboru regulatorjev je potrebno, da pregledamo nekatere njihove osnovne karakteristike:

Karakteristika	Razlaga	Po DIN 3380 (DVGW - G 650)
----------------	---------	----------------------------

NP — predpisani tlak za ohišje regulatorja (trdnost)

$p_{pl}$  — tlak plina pred regulatorjem

$p_{plmax}$  — maksimalni tlak plina pred regulatorjem

$p_{plmin}$  — minimalni tlak plina pred regulatorjem

$P_{opl}$  — območje nihanja tlaka plina pred regulatorjem

$p_{p2}$  — tlak plina za regulatorjem

$P_{pl-2}$  — padec tlaka v regulatorju

$p_{pr}$  — regulirani tlak plina (na regulatorju)

$P_{opr}$  — območje nihanja reguliranega tlaka plina

$p_{pz}$  — zaporni tlak regulatorja

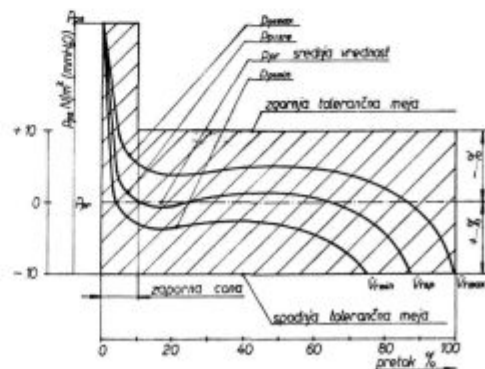
$V_r$  — kapaciteta regulatorja

$V_{rmax}$  — maksimalna kapaciteta regulatorja

$V_{rmin}$  — minimalna kapaciteta regulatorja

Po načinu delovanja ločimo regulatorje brez pomožne energije in regulatorje s pomožno energijo. Prav tako ločimo regulatorje glede na tlačne stopnje: od 0,49 bar (0,5 at), 15,69 bar (16 at), 24,52 bar (25 at), 39,23 bar (40 at) in 62,76 bar (64 at).

Pri izboru regulatorja moramo upoštevati toleranco tlaka za regulatorjem ( $p_{p2}$ ) v odvisnosti od reguliranega tlaka ( $p_{pr}$ ). Po DIN 3380 ločimo tako



Slika 16

Karakteristika p/V tlačnega regulatorja

Fig. 16

p/V characteristics of a pressure regulator

tri skupine regulatorjev: R 3 s toleranco  $\pm 3\%$ , R 10 s toleranco  $\pm 10\%$  in R 25 s toleranco  $\pm 25\%$ . Bistvenega pomena pri izboru regulatorja je njegova karakteristika  $p/V$ , ki je prikazana na sliki 16. Tipične normirane krivulje z dovoljenim tolerančnim poljem (DIN 3380) kažejo karakteristično spremembo tlaka za regulatorjem kot funkcijo pretoka.

Uporabljene oznake:

$\dot{Q}$	— toplotna obremenitev v kJ/h <sub>2</sub> ali kcal/h
$p_{1,2P}$	— tlak plinskega medija v N/m <sup>2</sup> , barih ali mb
ZP	— zemeljski plin
ZPZ	— mešani plin zemeljski plin + zrak
PB	— plinska faza tekočega naftnega plina, ali propan-butan
PBZ	— mešani plin iz propana-butana in zraka
R	— stopnja redukcije v %
RPM	— rezultirajoča plinska mešanica
$\rho_0$	— gostota plinskega medija ali plinske mešanice pri normnih pogojih kg/m <sup>3</sup>
d	— relativna gostota z ozirom na zrak $d = 1$ , premer cevovoda v m
m	— koeficient zoženja (zaslonka, Vneturijeva cev i. p.)
$\alpha$	— pretočno število
$\alpha$	— premer cevovoda mm
f	— vlažnost plina v kg/m <sup>3</sup>
D	— diferencialni tlak
$\vartheta$	— temperatura °C
T	— temperatura v K
$\eta$	— dinamična viskoznost kg/ms
H	— kurilnost plina ali plinske mešanice v kJ/m <sup>3</sup> ali (kcal/m <sup>3</sup> )
Z <sub>t</sub>	— teoretična poraba zraka za zgorevanje
Z <sub>t</sub> '	— specifična poraba zraka
D <sub>st</sub>	— teoretična količina vlažnih dimnih plinov
V <sub>PB</sub>	— delež plinske faze PB v mešanem plinu PBZ ali RPM m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
V <sub>ZP</sub>	— delež zraka v mešanem plinu PBZ; ZPZ ali RPM m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
V <sub>Z</sub>	— delež mešanega plina ZPZ v RPM m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
V <sub>ZPZ</sub>	— delež mešanega plina PBZ v RPM m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
V <sub>PBZ</sub>	— količina zemeljskega plina m <sup>3</sup> /h
$\dot{V}_Z$	— količina zraka m <sup>3</sup> /h
$\dot{V}_{ZPZ}$	— količina mešanega plina ZPZ m <sup>3</sup> /h
$\dot{V}_{PB}$	— količina plinske faze propan-butan m <sup>3</sup> /h
$\dot{V}_{PBZ}$	— količina mešanega plina PBZ m <sup>3</sup> /h
$\dot{V}_{RPM}$	— količina rezultirajoče plinske mešanice RPM m <sup>3</sup> /h
KP	— kurilni plin
V <sub>ZPZR</sub>	— reducirana količina mešanega plina ZPZ
p	— nadtlak plina N/m <sup>2</sup>
b	— atmosferski tlak N/m <sup>2</sup>
K	— konstanta merilnika z zoženjem prereza
k	— konstanta hrapavosti cevi
dp	— diferencialni tlak N/m <sup>2</sup>
$\lambda_R$	— koeficient trenja
$\lambda_B$	— koeficient pospeševanja
dL	— diferencial dolžine m
w	— hitrost plina v cevovodu m/s

L	— dolžina cevovoda m
Re	— Reynoldsovo število
A	— konstanta, prerez plinskih šob m <sup>2</sup>
B, C	— konstante
E, F	— konstante cevovoda
C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub>	— konstante plinskega gorilnika
S <sub>00</sub>	— stroški porabljene energije, ki jo pokrijemo samo z zemeljskim plinom din/mes
$\dot{V}_{ZP0}$	— dejansko porabljena količina zemeljskega plina na mesec, če kurimo samo z zemeljskim plinom m <sup>3</sup> /mes
c <sub>ZP0</sub>	— cena zemeljskega plina, če kurimo samo z zemeljskim plinom din/m <sup>3</sup>
K <sub>10</sub> , K <sub>20</sub>	— faktorja, ki upoštevata neenakomerno porabo in dejansko porabo
K <sub>1</sub> , K <sub>2</sub>	— faktorja, ki upoštevata neenakomerno porabo in dejansko porabo
a	— faktor transporta din/m <sup>3</sup>
b	— faktor neenakomernosti odvzema din/m <sup>3</sup>
c	— cena zemeljskega plina na meji din/m <sup>3</sup>
S <sub>0RPM</sub>	— stroški porabljene energije, če kurimo z RPM din/mes
S <sub>ZP</sub>	— stroški energije dovedene z zemeljskim plinom din/mes
S <sub>PB</sub>	— stroški energije dovedene s plinom zamenjevalcem din/mes
c <sub>ZP</sub>	— cena zemeljskega plina pri kombiniranem kurjenju din/m <sup>3</sup>
c <sub>PB</sub>	— cena plina zamenjevalca din/m <sup>3</sup>
c <sub>ZP</sub>	— cena energije dovedene z ZP din/kJ (din/kcal)
c <sub>PB</sub>	— cena energije dovedene s plinom zamenjevalcem din/kJ (din/kcal)
r	— faktor redukcije zemeljskega plina
c <sub>e</sub>	— cena energije (din/kcal) din/kJ
GP	— generatorski plin
RP	— plavžni plin
MP	— mestni — plinarniški plin
CP	— cepljeni plin
p <sub>0</sub>	— oskrbovalni tlak
p <sub>d</sub>	— distribucijski tlak
p <sub>p</sub>	— tlak na potrošnem mestu
$\Delta p _0^*$	— sprememba tlaka v sistemu
$\Delta p_w$	— sprememba tlaka zaradi hitrosti
$\Delta p_s$	— izguba tlaka zaradi armatur
$\Delta p_\lambda$	— izguba tlaka zaradi trenja v cevovodu

Literatura:

1. B. Loriger, dipl. ing., Petrol Ljubljana, Posvetovanje o gazifikaciji Slovenije, referat, dec. 1975
2. B. Sicherl, D. Vodeb: Problematika zamenljivosti kurilnih plinov v industriji, I. del, Žel. zbornik št. 4, 1976
3. H. Richter: Rohrhydraulik, Springer Verlag 1962

Pripis fusnota k članku

Sicherl: Problematika zamenljivosti . . .

Avtorji se za posredovanje podatkov o formiranju cene ter prikazu na primerih (Železarski zbornik, letnik 10, december 1976, str. 163) zahvaljujejo Ferdu Medlu dipl. inž., direktorju tehniških služb Železarne Ravne.



## ZUSAMMENFASSUNG

In der Industriepraxis werden wir bei der Einführung des Erdgases im breiten Verbrauch mit den Verbrauchern zu tun haben, welche schon den flüssigen Erdölgas benutzen und über die Mischanlagen für die Erzeugung des gemischten Gases Propan-Butan-Luft verfügen, und anderen, welche Gas als Heizmittel erst anwenden werden.

Für beide Fälle dieser Verbraucher sind charakteristische Parameter der Gasmischungen bearbeitet worden für den Fall der Einschränkung des Erdgases als grundlegenden Heizgases. Da bei der Einschränkung der Gasmenge eine Änderung der Durchflussmenge eintritt und sich die physikalischen Eigenschaften der resultierenden Gasmischung ändern, sind die Änderungen dieser Eigenschaften und des Luftverbrauches für die Verbrennung bearbeitet worden. Die angegebenen neuen Eigenschaften äussern sich bei der Projektierung der Brenner und als Änderung der Durchflusswiderstände in Gasleitungen.

Beim Messen der Durchflussmengen der resultierenden Gasmischung mit klassischen Messgeräten mit einer Ein-

dämmung des Durchflussquerschnittes durch die Messblende, entsteht wegen der Änderung der physikalischen Eigenschaften und der tatsächlichen Änderung des Volumens eine Änderung des Differenzdruckes. Die Änderungen der Mess-skala der Messgeräte werden behandelt und die Art der Korrektur derselben ist angegeben. Angedeutet sind Elemente—Umformer des Differenzdruckes mit eingebauten Korrektoren für die Dichte, Druck und Temperatur des Gasmediums.

Der Erdgaspreis ist eine Funktion des Wärmeverbrauches und ist beim Bandverbrauch am günstigsten. Die bearbeiteten Beispiele interpretieren die Änderungen dieser Werte für den günstigsten Fall. Die Art der Versorgung der Verbraucher mit Gas aus der Hoch- oder Mitteldruckgasleitung ist für ein Liniensystem und ein Schlingensystem zusammen mit der Behandlung der zugehörigen Armaturen und Druckreglern im Niederdrucksystem bearbeitet worden.

## SUMMARY

Introduction of natural gas into industry as the most common fuel will demand two ways of solutions. Some consumers already use liquid oil gas and they have mixing stations for production of mixed propane-butane-air gas. For the other consumers, the natural gas will be the first fuel gas. Characteristic parameters of gas mixtures when the amount of natural gas as the basic fuel is reduced are described for both types of consumers. Since such a reduction means also changed flow rate, and changed physical properties of the resulting gas mixture, also properties and changed air needs for combustion are described. The mentioned new properties have influence on the burner construction and on the flow resistance in pipes. In normal measuring the flow rates of the resulting gas mixtures by

contraction of the cross section, the changed physical properties and changed volumes cause various differential pressures, therefore the measuring scales of instruments must be corrected. Additional measuring devices — converters of differential pressure with built-in correctors for gas density, pressure and temperature are proposed.

Price of natural gas is a function of the heat consumption and it is the lowest in the band consumption. The treated examples interpret the changes of these parameters for the most unsuitable and for the optimal case. Gas delivery from the high-pressure and medium-pressure pipe line is treated for the line system and loop system together with the corresponding armatures and pressure regulators for reduction to the low-pressure system.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При введении природного газа для широкого применения в промышленности будем иметь с потребителями, которые уже употребляют газовую фазу ТНП и имеют в распоряжении смешительные станции для производства смешанного газа пропан-бутан-воздух, а также и с потребителями, которые лишь начнут с употреблением природного газа как топлива. Для обоих случаев таких потребителей разработаны типичные параметры газовых смесей в случае редукции природного газа как основного топлива. Так как при редукции наступают изменения вакуумного протока, а также изменяются физические свойства полученной смеси, разработаны изменения этих свойств и определено изменение расхода воздуха необходимого для сгорания. Приведенные новые свойства учитываются при проектировании горелок и при изменениях сопротивлений в трубопроводах. При измерении расхода полученной газовой смеси с классическими измерительными приборами при

сокращении проходного сечения возникают, вследствие изменения физических свойств и фактического изменения объема, изменения дифференциального давления. Рассмотрены изменения и интерпретирован способ корректуры шкал измерительных приборов. Дано указание на элементы — преобразователи дифференциального давления с вмонтированными приборами для исправления густоты, давления и температуры газовой смеси.

Стоимость природного газа представляет собой функцию расхода теплоты; при зональном расходе она оптимальна. Рассмотренные примеры объясняют изменения этих значений при самом неблагоприятном и оптимальном случае. Способы снабжения потребителей с газом из газового трубопровода высокого, отн. среднего давления разработаны для линейной системы и для системы с петлей; при этом рассмотрены также принадлежащие арматуры и регуляторы давления в трубопроводах низкого давления.



# Primerjalni preizkusi vlečenja jeklene žice, s katere je bila škaja odstranjena z luženjem in s peskanjem

UDK: 621.778.13

ASM/SLA: F 28, L 10, L 10c  
669.054.76:669.054.2

Franc Vodopivec<sup>1</sup>, A. Kelvišar<sup>2</sup>  
in S. Mežnar<sup>2</sup>

*S površine maloogljične in visokoogljične žice je bila odstranjena škaja z luženjem in s peskanjem. Raziskave kažejo, da to povzroči razliko v topografiji površine, ki pa se izravna že po prehodu skozi tretjo votlico. Razlika v načinu odstranitve škaže ne povzroči razlik v mehanskih lastnostih, v rekristalizaciji, v količini maziva na žici. Tudi ni razlike v obrabi votlic v obsegu laboratorijskega preizkusa obrabe.*

## 1. UVOD IN NAMEN DELA

Zmanjšanje količine različnih kislin, ki se v žičarnah in valjarnah uporabljajo za odstranjevanje škaže iz valjane žice po kemijski poti, je vse bolj pomembno zato, ker se s tem zmanjša količina emisij v okolje. To velja posebej za Slovenijo, kjer je na razmeroma majhnem prostoru zbrano precej industrije, ki je potencialen vir takih emisij, vodni tokovi pa so razmeroma majhni. Pomembna je tudi čisto gospodarska plat tega zmanjšanja, pa naj gre pri tem za čistejšo delovno okolje brez kislinskih hlapov; zmanjšanje korozijskih poškodb na tehnoloških napravah, ki so v dosegu kislinskih hlapov; zmanjšanje nevarnosti slučajnih in nekontroliranih emisij agresivnih tekočin; zmanjšanje stroškov za transport in nevtralizacijo izrabljenih lužil ter odprava lužilnih napak na površini žice.

Odprava kislin in uvedba mehanskega odstranjevanja škaže predstavlja tudi investicijski prihranek in daje na preprost način možnost, da se odstranjevanje škaže uredi kot kontinuiran proces (F. Legat, 1). Po podatkih tega avtorja je največ uspehov pokazala, vsaj v predelovalni industriji, nadomestitev luženja s peskanjem z jeklenim zdrobom, ki je tehnološko tudi doseglo najvišjo razvojno in uporabno raven v industrijsko razvitih državah.

V razvitih državah proizvajajo že industrijske naprave za odstranjevanje škaže s peskanjem, zato

ni bil naš namen, da s tem delom prispevamo k razvoju postopka. Naša želja je bila, da na domačih jeklih preverimo osnovne značilnosti postopka, ne zato, ker bi dvomili v tem, ali je postopek tehnološko mogoč, ampak zato, ker smo hoteli opredeliti ali lahko pričakujemo zaradi zamenjave kemijskega odstranjevanja škaže z mehničnim spremembe v tehnoloških in uporabnih lastnostih žice.

Ne mislimo seveda, da smo z doseženimi rezultati dobili odgovor na vsa vprašanja, ki bi se pojavila pri industrijski uporabi mehanskega odstranjevanja škaže.

Na odstranitev škaže se gleda nekoliko drugače v predelovalni industriji, ki izdeluje iz jeklene žice različne izdelke, na primer vijake, matice in drugo, kot v industriji, ki izdeluje žico različnih kvalitete in različne debeline. V predelovalni industriji je običajno redukcija preseka žice po peskanju razmeroma majhna. Žica mora namreč ohraniti zadostno plastičnost, da je mogoča njena predelava s plastičnim preoblikovanjem v hladnem v končni izdelek. V proizvodnji jeklene žice pa naj bi bila odstranitev škaže izvršena na tak način, ki dovoljuje največjo redukcijo preseka in doseganje čim manjših debelin brez vmesnih žarjenj za rekristalizacijo in vsesplošno uporabnost žice. Zato je potrebno problem obravnavati s stališča lastnosti žice, natančnih dimenzij, obrabe votlic, porabe maziva za vlečenje, temperature žice pri vlečenju na obstoječih vlečnih napravah, kemijskih lastnostih površine žice in estetskega videza površine ter končno sposobnosti površine za eventualno začasno protikorozijsko zaščito.

Materialna sredstva za realizacijo tega dela je dala na voljo Raziskovalna skupnost Slovenije.

Železarna Jesenice je dala na voljo potrebno žico, votlice in mazivo ter omogočila, da se je izvršilo luženje in površinska obdelava industrijskih kolobarjev po postopkih, ki so predpisani za posamezne kvalitete. Peskanje žice smo izvršili v SZ, Tovarna vijakov Plamen, Kropa. Določitev količine maziva na žici je izvršila sodelavka Metalurškega inštituta dipl. ing. Majda Šimnic. V okviru te raziskovalne naloge je naredil svoje diplomsko delo študent strojništva Ivan Konavec.

1. SZ Metalurški inštitut, Ljubljana

2. SZ Železarna Jesenice

## 2. SESTAVA IN PRIPRAVA ŽICE

Analiza proizvodnega programa jeklene žice v železarni Jesenice je pokazala, da je najprimerneje, če se za poizkuse izbere žica iz jekel, katerih vrsta in sestava je navedena v tabeli 1. Tu je navedena tudi teža predelane žice. Z izborom smo hoteli zajeti morebitni učinek legiranih elementov v malo-legiranih in ogljičnih žicah, od katerih bi po fizikalno-kemijski naravi pričakovali najmočnejši vpliv na sestavo in oprijetost šlake, to je predvsem ogljika, mangana, silicija in kroma. Pri kвалiteti Č 1632 smo uporabili patentirano žico, to je žico, na kateri je škaja nastala ved avstenitizacijo pred patentiranjem. Na ostalih vzorcih je bila le valjarska škaja, to je škaja, ki nastane na žici po koncu toplega valjanja med ohlajanjem kolobarjev na navijalnih strojih in na hladilnih konvejerjih.

Delo smo zasnovali na primerjavi učinka treh različnih obdelav površine žice:

- a) peskanje
- b) luženje in dodatna obdelava, ki je predvidena v regulativu (poapnenje, boraksiranje)
- c) peskanje in dodatna obdelava površine kot pri b)

Mehansko odstranitev šlake s peskanjem smo izvršili na napravi tipa WFL 263, proizvodu tovarne Georg Fisher Schaffhausen, Švica. V tej napravi se škaja odstranjuje s curkom jeklenega drobljenca, nazivne velikosti 0,3 mm, ki ima hitrost 80 m/sek. Hitrost žice pod curkom je 1 m/sek. Pri delu nismo mogli spreminjati pogojev dela peskalne naprave.

Luženje in površinska obdelava kolobarjev je bila izvršena po regulativu za posamezne kvalitete žice. Žice iz maloogljčnih jekel so bile poapnene, žice iz visokoogljčnih jekel pa boraksirane. Za

vlečenje smo uporabili standarden prašek kalcijevega stearata in votlice iz trde kovine, ki se uporabljajo v železarni Jesenice. Vlečenje smo izvršili na enostopenjskem stroju. Hitrost vlečenja je bila 2 m/sek. Parcialne redukcije so bile podobne kot na večstopenjskih napravah, na katerih se predeluje v železarni Jesenice žica izbranih kvalitet. Skupna redukcija je bila toliko, da smo na koncu dobili komercialen proizvod, kar je nekoliko zmanjšalo materialne stroške pri delu. Pregled začetnih in končnih dimenzij ter povprečnih in skupnih redukcij je v tabeli 3. Od vsakega kolobarja smo na začetku in na koncu odrezali vzorec za preiskave, le preiskavo debeline in strukture šlake smo napravili na vzorcu, ki je bil odrezan v sredini posameznih kolobarjev. Program dela je obsegal naslednje:

1. preiskavo debeline in strukture šlake,
2. opredelitev obrabe votlic,
3. preiskavo površine in spremembe v njeni morfologiji med vlečenjem,
4. določitev količine stearatnega maziva na žicah, kvalitete Č 1632 in EPP 2 ter deloma Č 4230, ...
5. mehansko tehnološke preiskave: trdnost, raztezek, kontrakcija in deloma vzvoj,
6. preizkuse rekristalizacije žic, kvalitet EPP 2 in Č 1632.

Postopek dela pri določanju obrabe votlic je obsegal pazljivo merjenje debeline žice z mikrometrom na začetku vsakega kolobarja in po vsaki parcialni redukciji.

Količino maziva na žici smo določili po kemijski poti iz vzorcev, ki so bili odrezani na začetku in na koncu kolobarjev ter z direktnim merjenjem v elektronskem mikroanalizatorju na gladkih delih površine žic EPP 2 in Č 1632. Hrapavost površine smo določili s profilometrom ter opazovanjem preseka žic v mikroskopu, morfologijo pa z opazovanjem v vrstičnem mikroskopu.

Tabela 1: Sestava jekel v % in teža žice

Kvaliteta	Šarža	C	Mn	Si	P	S	Cr	Teža žice kg
Č. 1632	023423	0,49	0,65	0,19	0,014	0,026		271
EPP 2	023286	0,11	1,08	0,15	0,016	0,022		342
VAC 60	102590	0,10	1,53	0,88	0,014	0,009		289
Č. 3990	023399	0,13	1,20	0,08	0,120	0,280		235
Č. 4230	102395	0,66	0,55	1,22	0,027	0,012	0,44	Ca. 300

Tabela 2: Kratak opis parametrov luženja, apnenja in boraksiranja

Kvaliteta	Cas luženja v 15% — H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pri 60° C	Površinska obdelava
Č. 1632	10 min	boraksiranje
Č. 4230	15 min	10 min. potopitev kolobarja v 10 % raztopino boraksa pri 80° C, sušenje pri 120° C, 15—20 min.
EPP 2	20 min	apnenje
VAC 60	20 min	potopitev v vrelo apneno mleko (ca. 90° C)
Č. 3990	15 min	2 × á 1 min.

Tabela 3: Pregled vmesnih in končnih debelin in redukcij

Kvaliteta in stanje površine	Začetna debelina v mm začetek in konec kolobarja		poprečna parcialna redukcija v % in število vlekov	Končna debelina v mm in skupna redukcija v %
Č. 1632 L	6,07	6,05	22	1,99 <sup>1</sup>
P	6,00	5,99	9	89
PL	5,84	5,83		
EPP 2 L	6,05	5,98	22	2,48
P	6,18	5,86	7	83
PL	6,24	5,85		
VAC 60 L	6,08	6,12	22	2,19
P	6,09	6,07	8	87
PL	6,07	6,22		
Č. 3990 L	6,0	6,15	22	2,48
P	6,05	6,20	7	83
PL	5,96	5,92		
Č. 4230 L	5,95	6,16	23	4,52/41 <sup>2</sup>
P	6,09	5,93	4	3,88/57
PL	6,02	5,93		3,42/67

Opombe: 1 — parcialna in skupna redukcija sta izračunani z upoštevanjem poprečne začetne debeline  
2 — žica se ni dala potegniti do predvidene končne mere, zato so navedene dosežene najmanjše debeline in njim ustrezne skupne redukcije.

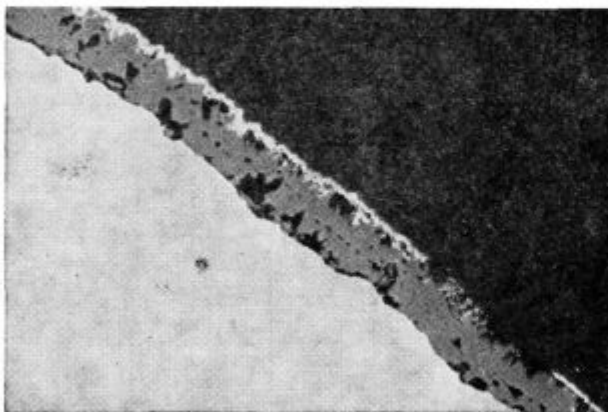
### 3. REZULTATI

#### 3.1 Debelina in sestava škaje

Ni standardiziranih metod za določanje oprijetosti škaje na površino žice. Nismo tudi uspeli, da bi oprijetost škaje numerično opredelili s tem, da bi določili njeno odpadanje od površine pri hladni deformaciji žice s torzijo, oz. z upogibanjem. Zato smo se omejili na to, da smo na prerezu, pravokotnem na os žice, na vzorcih, ki so bili odrezani iz sredine kolobarja, ocenili hrapavost mejne po-

vršine in kvaliteto stika škaja-kovina. Žice smo prekrili z varovalnim slojem niklja, da ne bi pri metalografski pripravi prišlo do odpadanja škaje ali drugih sprememb.

Škaja na patentirani žici je najdebelejša in dokaj enakomerna (sl. 1). Je krhka, stik z jeklom je razmeroma slab, saj so pogoste drobne mikrorazpoke paralelne s površino žice na meji med kovino in oksidom. Škaja zato lahko odpade. Sestavlja jo magnetit, ki ima na zunanji površini tanek sloj hematita. Škaja na žici EPP 2 je mnogo tanjša in precej enakomerna (sl. 2). Ima redke klinaste ko-

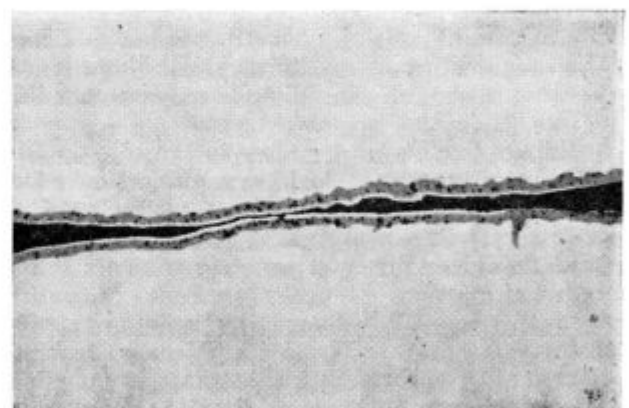


Slika 1

× 200, škaja na patentirani žici iz jekla Č 1632

Fig. 1

× 200, scale on the patented Č.1632 steel wire

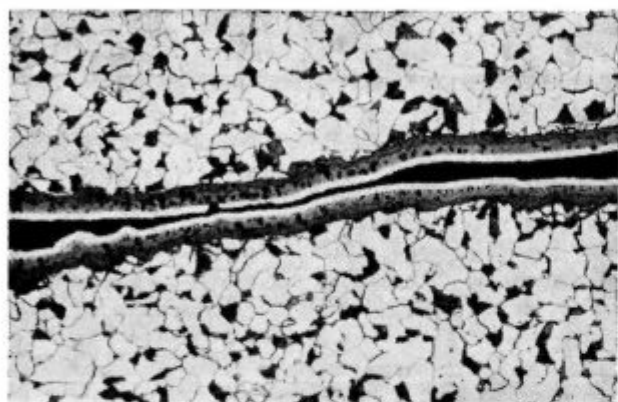


Slika 2

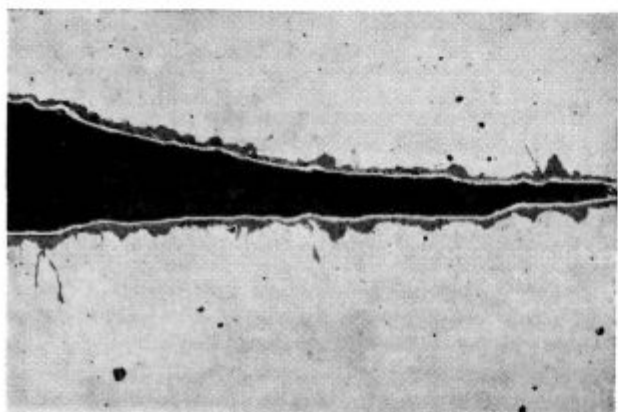
× 100, škaja na žici kvalitete EPP 2

Fig. 2

× 100, scale on the EPP 2 steel wire



Slika 3  
 × 200, jedkano z nitalom. Ista žica kot sl. 2  
 Fig. 3  
 × 200, etched with Nital. The same wire as in Fig. 2

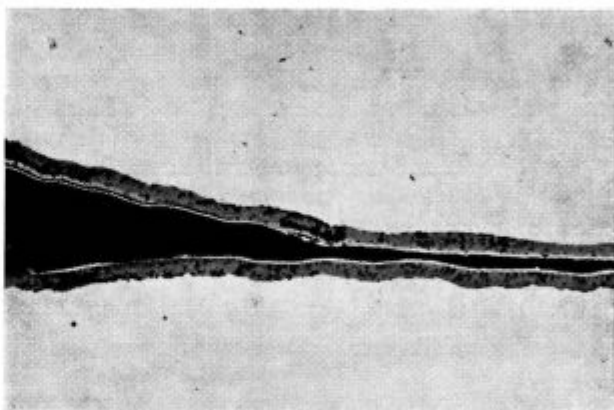


Slika 4  
 × 100, škaja na žici VAC 60  
 Fig. 4  
 × 100, scale on the VAC steel wire

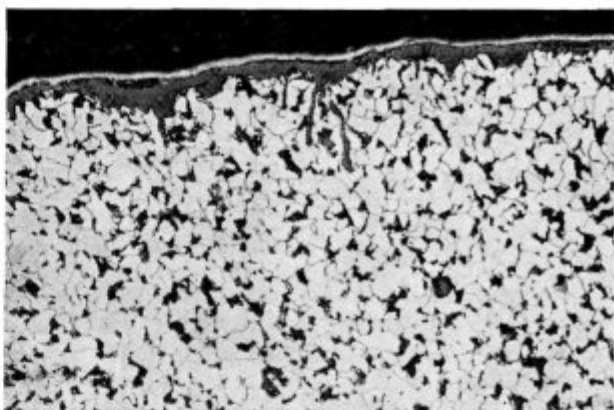
renine, ki segajo v jeklo največ do trikratne povprečne debeline škaje. Na žici so tudi globlje zaljanine. Škaja se dobro drži hrapave površine jekla; mikrorazpok, paralelnih s površino, nismo opazili. Pri večji povečavi se pokaže, da sestavlja škajo trije podsloji (sl. 3). Notranji podslaj vu-stita in vmesni podslaj magnetita sta mnogo debelejša od zunanega hematitnega sloja. Škaja je gosta, drobne pore, ki jih vidimo v magnetitnem sloju, so nastale med pripravo vzorcev.

Mejna površina med jeklom in škajo je na žici VAC 60 zelo hrapava. V jeklo se zadirajo široke klinaste zajede in tanke koreninaste tvorbe (sl. 4 in 5). Te so številne in nekajkrat globlje od debeline škaje. Po videzu pri večji povečavi sestavlja škajo predvsem magnetit (sl. 6) ter tanek sloj hematita ob zunanji površini. V magnetitnem sloju najdemo precej silikatne faze, ki je razdeljena v drobnih »nametanih« tvorbah. Stik med škajo in površino jekla je dober in brez razpok. Detajlno opazovanje v mikroskopu pokaže, da je perlit v neposrednem stiku s korenastimi poglobitvami škaje. To kaže, da so le-te nastale med deformacijo v kalibrih zaradi gubanja ali trganja površine pri prostem šir-

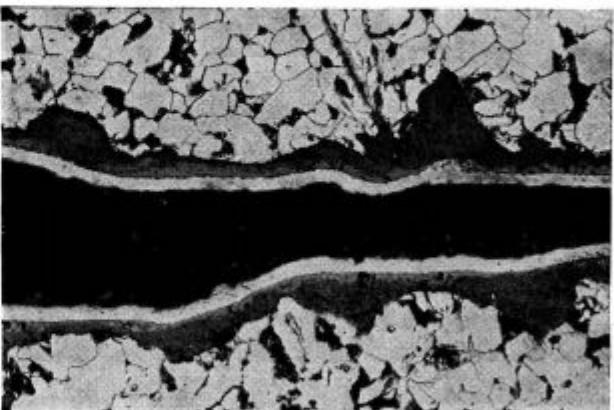
jenju. Ni mogoče tako zagotovo opredeliti nastanka koreninastih tvorb, vendar kaže njihova mnogokrat prekinjena oblika, da so najverjetneje posledica zažganosti gredic. Na žici smo opazili tudi



Slika 7  
 × 100, škaja na žici iz jekla Č 3990  
 Fig. 7  
 × 100, scale on the Č.3990 steel wire



Slika 5  
 × 200, jedkano z nitalom. Ista žica kot sl. 4  
 Fig. 5  
 × 200, etched with Nital. The same wire as in Fig. 4



Slika 6  
 × 500, jedkano z nitalom. Ista žica kot sl. 4  
 Fig. 6  
 × 500, etched with Nital. The same wire as in Fig. 4

zavaljanine, ki so večinoma zelo poševne glede na površino, v mnogih primerih celo z njo paralelne. Imajo značilen videz nizov vustitnih zrn, področje okoli njih pa je nasičeno s kisikom. Zato se zdijo na jedkanem obrusku te vrste napake večje, kot so v resnici.

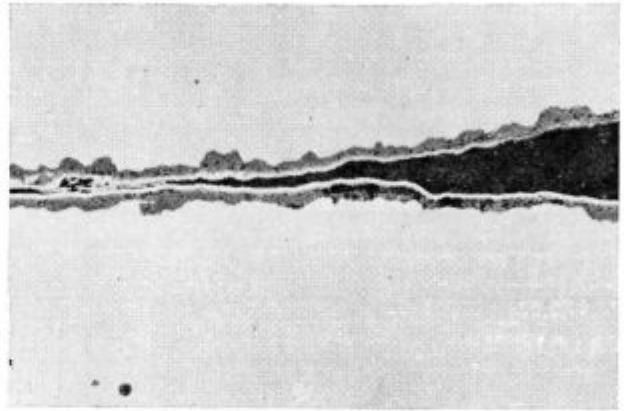
Škaja na jeklu Č 3990 je nekoliko debelejša kot na jeklu EPP 2, mejna površina pa je bolj ravna (sl. 7). Sestava škaje je podobna, le delež notranjega sloja vustita je večji na račun vmesnega magnetnega sloja.

Na žici Č 4230 je škaja neenakomerne debeline (sl. 8) in ima tope poglobitve, podobno kot na jeklu VAC 60, nima pa koreninastih zajed. Škaja se dobro drži površine jekla. Po videzu v mikroskopu je ves sloj iz magnetita in hematita. Ta je na zunanji strani in na mnogih mestih prodira preko polovice debeline škaje. V notranjem delu so v škaji drobni vložki, verjetno silikati ali oksidi kroma in železa.

Iz primerjave vzorcev različnih kvalitiet moramo izločiti jeklo Č 1632, ki ima najdebelejšo, najbolj krhko in slabo oprijeto škajo, ker ta škaja ni valjalniškega porekla, ampak je nastala pri ogrevanju za patentiranje. Pri primerjavi drugih jekel moramo upoštevati, da so lahko med jekli in kolobarji razlike v temperaturi navijanja in hitrosti ohlajanja. Mikroskopska preiskava kaže, da je škaja EPP 2 in Č 3990 podobne sestave in oblike z razmeroma ravno mejno površino kovina — oksid. Na jeklih VAC 60 in Č 4230 je škaja spet podobna po sestavi in obliki mejne površine oksid — kovina, ki je bolj neenakomerna kot na prejšnjih dveh jeklih. Ta razlika je posledica učinka silicija in morda kroma. Železovi silikati in kromiti, ki ležijo na površini med škajo in kovino, zavirajo proces rasti škaje, zato ima ta neenakomerno debelino. V razmerah pri ohlajanju valjane žice raste škaja z difuzijskim prenosom železa skozi vustitni in magnetni sloj proti atmosferi in nasprotnim difuzijskim tokom kisika skozi hematit in manj skozi magnetit. Če je na mejni površini oksid—kovina ovira za prehod železa v vustit, se zavre ali zaustavi difuzijski prenos železa navzven, zmanjša se povprečna hitrost škanja in poveča se relativna debelina slojev magnetita in hematita proti debelini vustitnega podsloja v celotni škaji. Opazovanje v mikroskopu to potrjuje, saj je na jeklih s silicijem škaja skoraj brez vustita, medtem ko je v jeklih EPP 2 in Č 3990 vustitni sloj bistvena sestavina škaje.

Iz podobne morfologije in sestave škaje na jeklih VAC 60 in Č 4230 sklepamo, da prisotnost ogljika v jeklu nima pomembnega vpliva na tvorbo škaje med ohlajanjem kolobarjev valjane žice.

Na osnovi sestave škaje in oblike mejne površine med oksidom in kovino bi mogli o oprijemljivosti škaje in o njeni sposobnosti, da se odstranjuje s površine žice, reči naslednje: škaja se teže luži na obeh jeklih s silicijem, zato ker ima malo ali nič vustita, ki zaradi svoje fizikalno—kemijske narave olajša kemične reakcije luženja in zato ker



Slika 8  
× 100, škaja na žici iz jekla Č 4230  
Fig. 8  
× 100, scale on the Č.4230 steel wire.

je večja adhezijska vez, ki je posledica hrapavosti površine. To je vzrok, da škaja teže odstopa pod pritiskom nastajajočega vodika in odstopa v manjših kosih. Na obeh jeklih je škaja relativno kompaktna in ima malo razpok, ki bi pospešile dostop kisline do površine kovine in s tem pospešile luženje.

Zaradi različne hrapavosti površine sklepamo, da bodo tudi pogoji za kvantitativno odstranjevanje škaje po mehanskem postopku ostrejši v primeru jekel z mnogo silicija, kot v primeru jekel z malo silicija.

### 3.2 Obraba votlic

Obrabo votlice zaradi vlečenja je mogoče opredeliti najobjektivneje z vlečenjem velikih količin žice skozi daljše obdobje, ki eliminira slučajne statistične variacije in odstopanja, ki so posledica razlik v sestavi jekla, v njegovi trdoti in v stanju površine. Celotno metodo, ki natančno s pomočjo radioizotopov merijo odnašanje materiala iz votlice, oporeka literatura veljavnost.

Newnhan (2) navaja, da proces obrabe ni enakomeren, zato ga ni mogoče objektivno opredeliti v laboratorijskem merilu. Razumljivo je, da tega dela nismo mogli povečati do takega obsega, da bi izvršili preizkuse vlečenja na količinah, ki bi šle v več deset ton žice. Zato smo se omejili na to, da v kolikor mogoče enakih pogojih vlečenja opredelimo obrabo z merjenjem naraščanja debeline žice pri vlečenju. Upoštevati je seveda potrebno, da je opredelitev debeline mogoča samo z odstopanjem, ki je posledica nenatančnosti mikrometra in napake pri merjenju zaradi ovalnosti žice.

Ne glede na te napake smo sklepali, da bi se morale stvarne razlike pokazati v enostranskem odstopanju povprečne debeline, ki bi bilo večje od statistične napake, če upoštevamo vse vmesne debeline iste vrste žice, to je obrabo pri vlečenju 600 do 900 kg žice iste vrste. Da bi se izognili vplivu morebitnih razlik med votlicami, smo za vse poizkuse vlečenja uporabili eno serijo votlic, torej le eno votlico za vsako dimenzijo, ne glede na vrsto

žice in pripravo površine. Rezultate smo izrazili tako, da je mogoča primerjava obrabe, ne glede na debelino (med 5,16 in 2 mm) in količino žice. Koefficient obrabe je namreč izražen v %/kg in izraža povečanje debeline žice glede na težo žice, ki je bila potegnjena skozi eno ali skozi celo serijo votlic.

Rezultati teh meritev so zbrani v tabeli 4. Variacije med posameznimi vrstami žice in debeline so razmeroma velike. Standardna variacija povprečnega indeksa povečanja debeline žice, ki je izračunana iz indeksov vseh parcialnih debelin, v nekaj primerih celo presega po absolutni vrednosti povprečen indeks obrabe. To pomeni, da je potrebno indekse upoštevati le z veliko rezervo. Značilno pa je, da imajo povprečni indeksi v vseh primerih pozitivno vrednost, ne glede na to, da so pri posameznih debelinah celo negativni. To je seveda fizikalno nemogoče in je tak rezultat le znak premajhne natančnosti meritev.

Primerjava indeksov obrabe pri isti vrsti jekla ne pokaže nobene, tudi najbolj splošne zakonitosti. Če primerjamo enako površinsko obdelavo pri različnih jeklih, ugotovimo, da je v treh primerih indeks obrabe največji v luženem stanju in le enkrat v peskanem, oz. v peskanem in luženem stanju.

Iz celote rezultatov lahko sklepamo, da mehanična odstranitev škaje ni pri naših preizkusih povzročila nobenega povečanja obrabe votlic, ampak prej relativno zmanjšanje. Splošno veljavo tega sklepa omejuje dejstvo, da so ideksi obrabe povprečje meritev na razmeroma majhni količini vlečene žice. Ne glede na to pa menimo, da ni pričakovati od uporabe mehničnega odstranjevanja škaje takega povečanja obrabe, ki bi ga ne mogli

s pravilno izbiro pogojev peskanja (debelina granulata, hitrost žice pri prehodu skozi curek, smer udarjanja curka na površino in njegova hitrost) in vlečenja (kvaliteta in zrnatost maziva, parcialna redukcija in hitrost vlečenja) kompenzirati, ne da bi zaradi tega trpela ekonomičnost proizvodnje žice. To potrjuje Legat (7), ki navaja, da se v tovarni verig Lesce ni spremenila intenziteta obrabe votlic zaradi uvedbe peskanja valjane žice namesto prejšnjega luženja.

### 3.3 Topografija in morfologija površine žice

Površino žic iz jekel Č 1632 in EPP 2 smo pregledali v vrstičnem mikroskopu pri začetni debelini, po prehodu skozi prvo votlico (pri debelini 5,16 mm) in po prehodu skozi sedmo, oz. osmo votlico (pri debelini približno 2,5 mm). Na enakih vzorcih smo posneli v vzdolžni smeri še profil površine s profilometrom s konico, debelo ca 1 mikron. Končno smo površino tudi ocenili na vzdolžnem preseku, kjer je mogoče v mikroskopu neposredno videti profil hrapavosti površine in spremembe v mikrostrukturi jekla ob njej.

Že s prostim očesom se jasno razloči lužena žica od peskane, nekoliko manj je jasna pred vlečenjem razlika med peskano in peskano—luženo žico. Torej je videz površine odvisen od njene hrapavosti in od sredstev, ki so bila nanjo nanesena po odstranitvi škaje in so koncentrirana predvsem v vdolbinah. Na posnetkih 9 do 12 vidimo posnetke luženih in peskanih žic EPP 2 in Č 1632, po prehodu skozi prvo votlico ter pri debelini 2,5 mm.

Po štirih do petih vlekkih razlik v videzu površine ni mogoče več zaznati s prostim očesom. Tudi pri veliki povečavi ni mogoče razločiti pri debelini

Tabela 4: Specifični koefficienti povečanja debeline žice ( $\times 10^{-3}$ )

Kvaliteta in stanje površine	Nazivna debelina žice v mm										Poprečni koefficient	Koefficient variacije %
	5,16	4,52	3,88	3,41	2,98	2,78	2,68	2,50	2,19	2,0		
Č. 1632 L	0	2,1	0,69	0,31	0,71	—	—0,79	0,21	0,24	0	0,71	107
P	1,98	—1,35	—1,58	1,9	1,37	—	—1,14	1,22	2,33	1,53	0,70	158
PL	0,49	0	0,98	—0,74	0,85	—	0,94	0	0	0,63	0,35	58
EPP 2 L	0	0	1,78	0,34	1,15	1,65	—	—0,46	—	—	0,64	88
P	—0,41	1,13	0,75	0,64	0,25	0,3	—	—0,59	—	—	0,15	87
PL	1,33	—0,68	—0,39	0,85	0,49	0	—	0	—	—	0,23	70
VAC 60 L	1,8	0,21	0,25	0,28	0,96	—	1,06	0,38	0,43	—	0,47	35
P	0,69	—1,32	—2,15	1,04	1,2	—	0,89	0	2,72	—	0,38	153
PL	1,55	1,33	0,52	—0,88	—1,34	—	1,87	0	—	—	0,44	124
Č. 3990 L	0,6	0,68	0,4	0	—0,52	0,31	0,71	—	—	—	0,31	44
P	1,34	1,32	1,22	0,5	0,58	1,24	0,69	—	—	—	0,98	38
PL	0,79	1,81	1,28	1,19	1,03	0	0,82	—	—	—	0,99	55

Specifični koefficient povečanja debeline je izračunan iz izraza:

$$K = \frac{\Delta d}{d_z} \cdot \frac{100}{T} \text{ (%/kg)}, \text{ v izrazu so: } d_z \text{ — nazivna debelina žice}$$

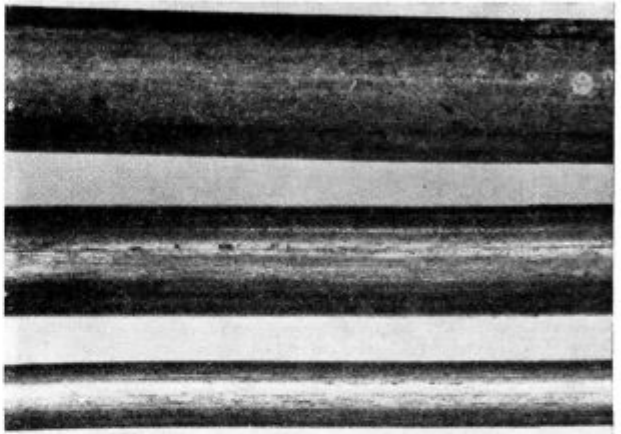
$$\Delta d \text{ — razlika v debelini med začetkom in koncem}$$

$$T \text{ — teža kolobarjev v kg}$$



2,5 mm kakšna je bila priprava površine, neposredna primerjava pa pokaže, da so peskane žice v splošnem nekoliko svetlejše.

Na slikah 13 do 16 so posnetki površine žic, ki jih prikazujejo posnetki 9 do 12, vendar pri večji povečavi. Večja povečava omogoča, da se razložijo mikroskopski, topografski in morfološki detajli. Površina lužene žice je drobno razčlenjena. Na njej so drobne vdolbine in izbokline s premerom v intervalu 20 do 60 mikronov. Finejša je površina žice Č 1632, na kateri vidimo še položne izbokline. Na mestih, kjer je prišlo do direktnega udara jeklenega zrna ob površino žice, so v peskani površini vdolbine, velikosti 100 do 200 mikronov, ki so ločene z ostrimi grebeni. Med njimi so posamezna področja enakih velikosti, kjer ni bilo neposrednega udara jeklenih zrn in je ostala površina žice takšna, kot je bila pod škažo. V povprečju so vdol-

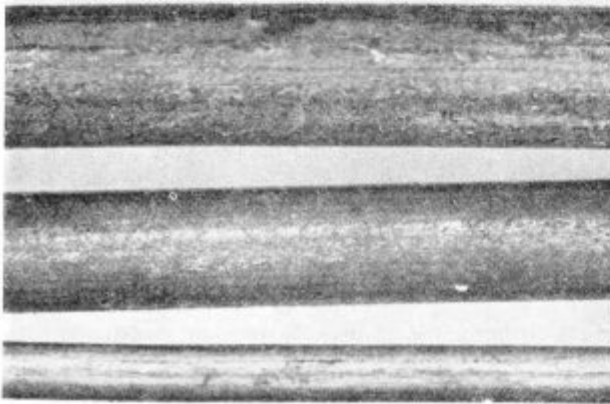


Slika 11

× 4, videz lužene žice kvalitete Č 1632 pred vlečenjem, po prehodu skozi prvo votlino in pri debelini 2,48 mm

Fig. 11

× 4, appearance of the pickled Č.1632 steel wire before drawing, after the first pass, and when it was 2.48 mm thick

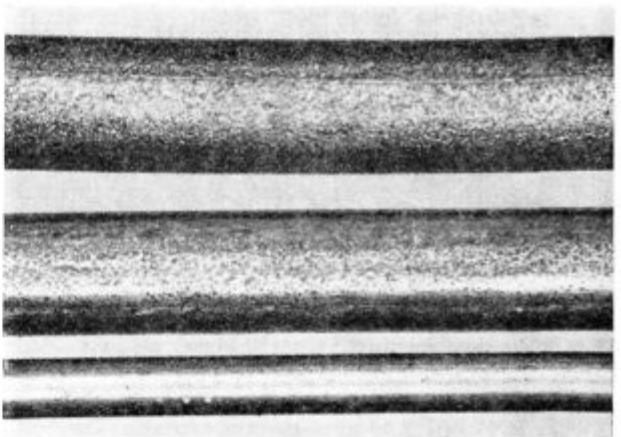


Slika 9

× 4, videz lužene žice kvalitete EPP 2 pred vlečenjem, po prehodu skozi prvo votlino in pri debelini 2,48 mm

Fig. 9

× 4, appearance of the pickled EPP 2 steel wire before drawing, after the first pass, and when it was 2.48 mm thick

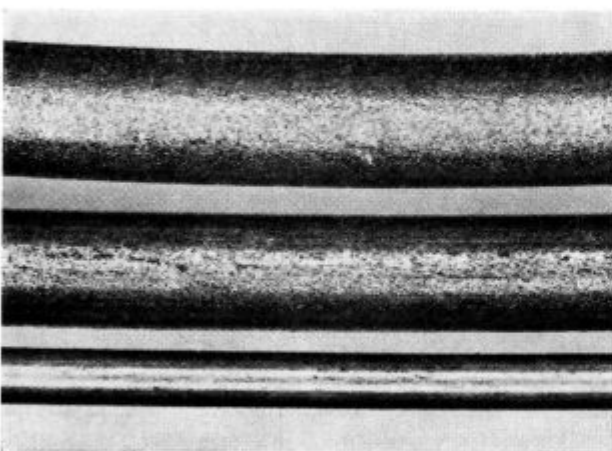


Slika 12

× 4, enako kot sl. 11, vendar za peskano žico

Fig. 12

× 4, the same as in Fig. 11, only the wire was shot-blasted



Slika 10

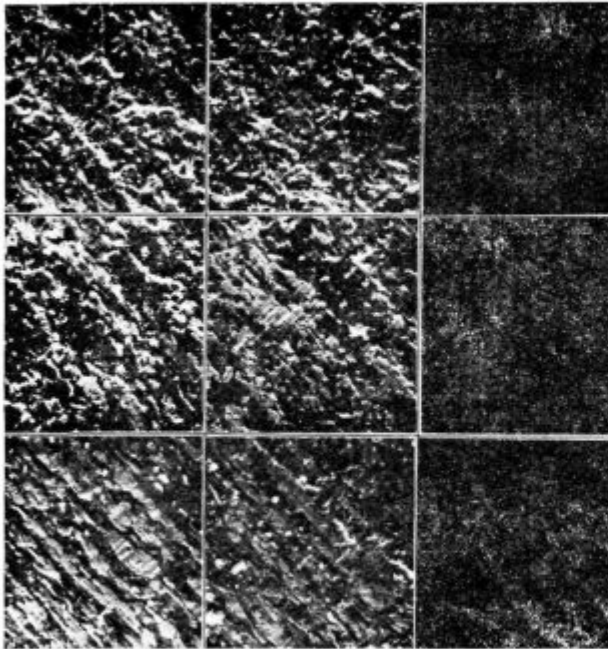
× 4, enako kot sl. 9, vendar za peskano žico.

Fig. 10

× 4, the same as in Fig. 9, only the wire was shot-blasted

bine na žici EPP 2 nekoliko večje kot na žici Č 1632, splošen videz površine pa je v obeh primerih enak.

Na površini žice opazimo po prehodu skozi prvo votlino večje ali manjše dele razmeroma gladke površine, ki so raztegnjeni v smeri vlečenja. Te gladke ploskvice so ločene z žlebovi s hrapavim dnom in so manjše ter bolj pogoste na luženi kot na peskani, oz. peskani in luženi žici. Delež površine, ki ga pokrivajo gladke ploskvice, ni enakomeren po obodu žice. To je posledica neenakomerne deformacije žice, ki ima v valjanem stanju ovalen presek. Na gladkih ploskvah često opazimo drobne poševne raze, nastale zaradi trenja ovoja ob ovoj žice v kolobarju, neke vrste šrafe, ki so pravokotne na os vlečenja in so znak neenakomernega toka žice skozi votlino zaradi tresenja vlečnega stroja in enakomerne vzdolžne raze, ki so verjetno odrgnine od krast v votlicah.



Slika 13

× 150, posnetek površine žice kvalitete EPP 2. Prva vodoravna vrsta kaže luženo površino, druga vodoravna vrsta kaže površino lužene žice po prehodu skozi prvo votlico in tretja vodoravna vrsta površino lužene žice vlečene na debelino 2,48 mm. V desni vertikalni vrsti so specifični X posnetki. V obliki zgostitev belih točk kažejo mesto povečane količine kalcija na površini žice

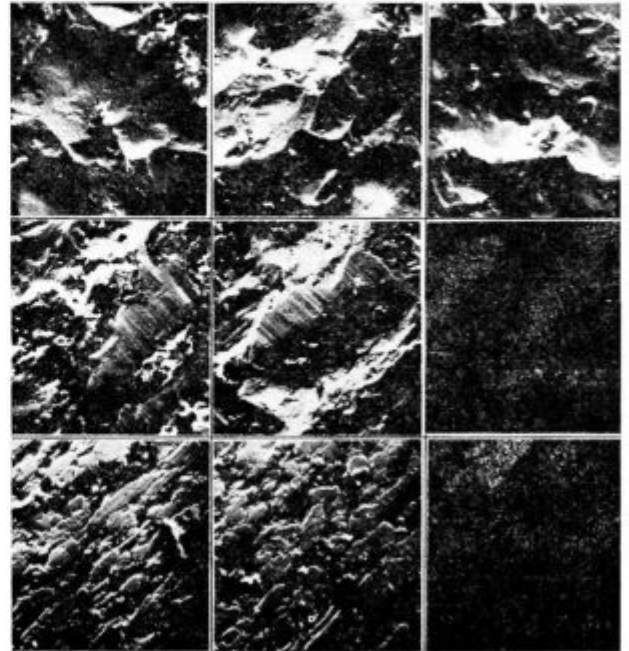
Fig. 13

× 150, picture of the surface of the EPP 2 steel wire. The first row shows pickled surface, the second one pickled surface after the first pass, and the third one the surface when the pickled wire was drawn to 2.48 mm. In the right column specific X-ray pictures are presented. Higher density of white dots represents areas of higher calcium concentration on the surface

Pri debelini 2,48 mm prekrivajo površino razpotegnjene ovalne ploskvice, ki so med seboj ločene z ozkimi žlebovi. Po videzu v mikroskopu med temi ploskvami ni razlike v velikosti, ki bi bila posledica začetno različne hrapavosti površine. Mnogo večje razlike v deležu, ki ga na površini zavzemajo te ploskvice, opazimo, če pregledamo ves obod žice. Torej je delež površine, ki ga pokrivajo gladke ploskvice, tem bolj neenakomeren, čim bolj nenakomerna je bila deformacija po preseku žice, in je večji tam, kjer je bila zaradi ovalnosti ali lege votlice glede na os žice deformacija intenzivnejša.

Na sliki 17 so prikazani rezultati meritve na profilometru. Te meritve potrjujejo, da je bolj hrapava površina žice, s katere je bila škaja odstranjena po mehnični poti. Razlike v globini pa so manjše, kot bi se dalo sklepati iz posnetkov površine. Podatki kažejo, da je v luženem in v peskanem stanju hrapavost površine (če jo opredelimo z največjo in povprečno topografsko razliko višine) večja pri mehkejši žici EPP 2, kot pri trši žici Č 1632. Pri tej žici so tudi manjše razlike med luženim in peskanim, oz. peskano—luženim sta-

njem. Razlike ostanejo enake po prehodu skozi prvo votlico, že po prehodu skozi tretjo votlico pa razlike niso več sistematične in površina vlečene žice dobi specifično hrapavost, ki je bolj odvisna

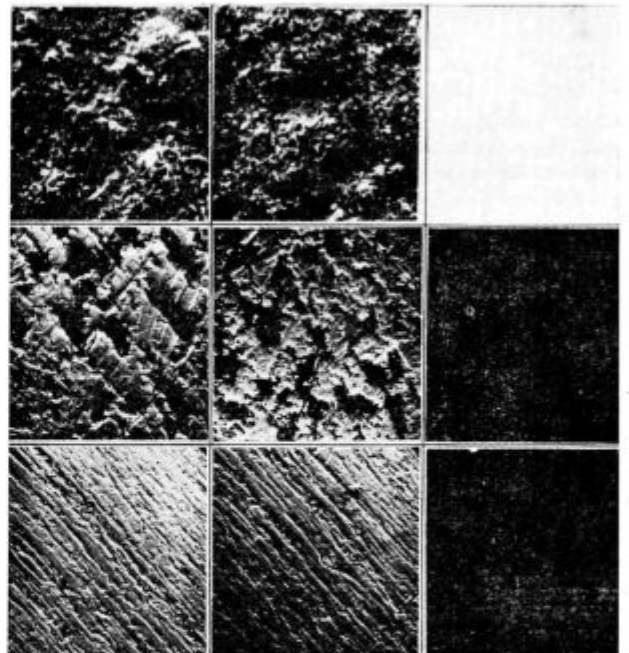


Slika 14

× 150, podobno kot sl. 13, vendar za peskano žico kvalitete EPP 2. V zgornji vodoravni vrsti so le posnetki površine

Fig. 14

× 150, similar to Fig. 13, only the wire was shot-blasted. The first row presents only the wire surface.



Slika 15

× 150, podobno kot slika 14, vendar za luženo žico kvalitete Č 1632

Fig. 15

× 150, similar to Fig. 14, for the pickled wire of Č.1632 steel

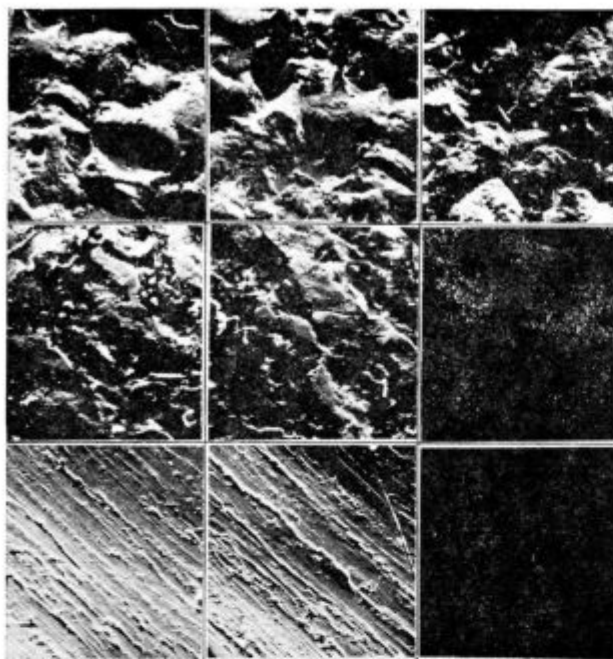
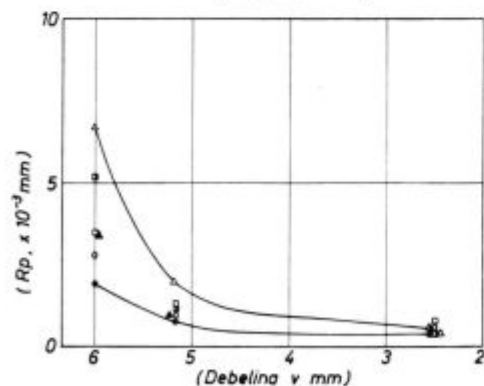
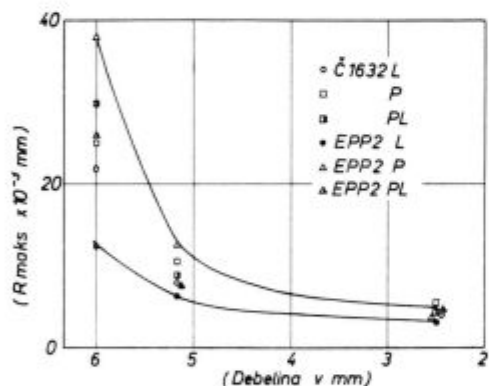


Fig. 16  
 × 150, podobno kot sl. 14, vendar za peskano žico kvalitete  
 Slika 16  
 × 150, similar to Fig. 14, shot-blasted Č.1632 steel wire.  
 Č 1632



Slika 17  
 Sprememba največje ( $R_{maks.}$ ) razlike v višini in odstopanja od poprečne površine ( $R_p$ ) v odvisnosti od zmanjšanja premera žice pri vlečenju

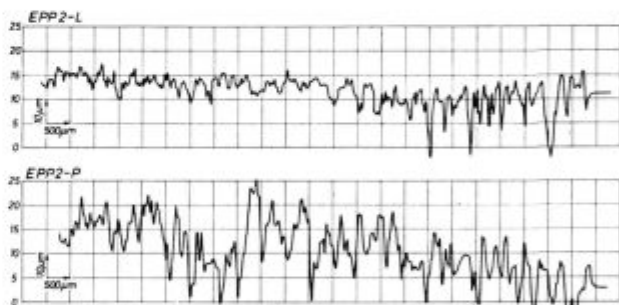
Fig. 17  
 Change of the maximal difference ( $R_{maks.}$ ) of height and the deviation from the average surface ( $R_p$ ) depending on the reduced wire diameter during drawing

od pogojev vlečenja kot od začetne hrapavosti površine.

Na slikah 18 in 19 so prikazani profili površine lužene in peskane žice iz jekel EPP 2 in Č 1632. Na njih vidimo, da je korak med vdolbinami in izboklinami manjši na luženi kot na peskani površini, kar potrjuje prejšnje sklepanje. Na luženi površini je povprečna globina vdolbin manjša, nekatere vdolbine pa imajo podobno globino kot na peskani površini. Torej nastajajo pri luženju na površini žice posamične globoke zajede. Ker so globlje na jeklu EPP 2 kot na jeklu Č 1632, sklepamo, da niso odvisne od debeline škaže (ta je debelejša na jeklu Č 1632). Na jeklu EPP 2 je mejna površina med kovino in škažo gladka, zato niso globlje zajede tudi posledica procesa škakanja (izlužene eventualne zajede škaže). Njihovo poreklo je mogoče v daljšem lužilnem učinku kisline v posameznih točkah, zato ker škaža ni odstopila zaradi dobre povezave s površino jekla.

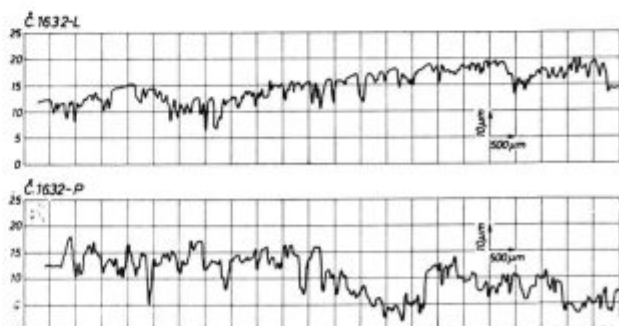
Posnetki 20, 21 in 22 kažejo površino žic na vzdolžnem preseku.

Površina lužene žice kaže značilno hrapavost, ki smo jo opisali že preje. Peskana površina je bolj hrapava, robovi vdolbin pa so često spodmolasto upognjeni. Kovina na dnu vdolbin, kamor so neposredno udarile jeklene kroglice, je močno deformirana. Prehod skozi prvo votlico površino



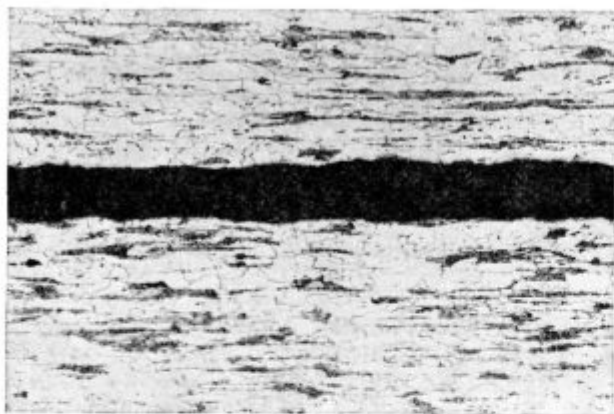
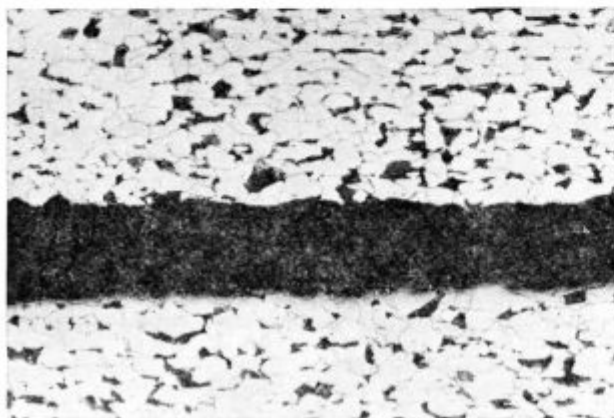
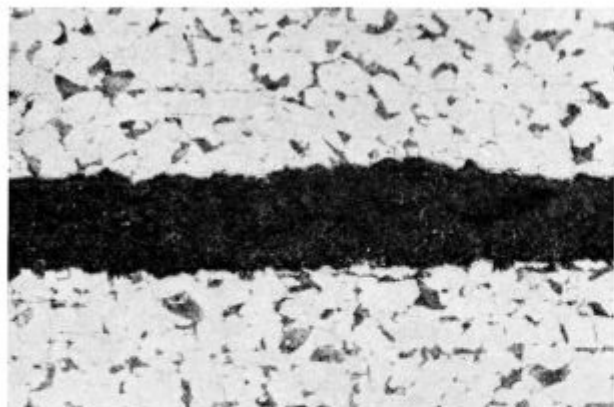
Slika 18  
 Profil hrapavosti površine lužene in peskane žice kvalitete EPP 2

Fig. 18  
 Roughness profile of the pickled and shot-blasted surface of the EPP2 steel wire



Slika 19  
 Profil hrapavosti površine lužene in peskane površine žice kvalitete Č 1632

Fig. 19  
 Roughness profile of the pickled and shot-blasted surface of the Č.1632 steel wire



Slika 20

× 160, jedkano z nitalom. Posnetki vzdolžnega preseka luženih žic kvalitete EPP 2 z debelino 6 mm (a), po prehodu skozi prvo votlino (b) in pri debelini 2,48 mm (c). Rekrystalizirano stanje

Fig. 20

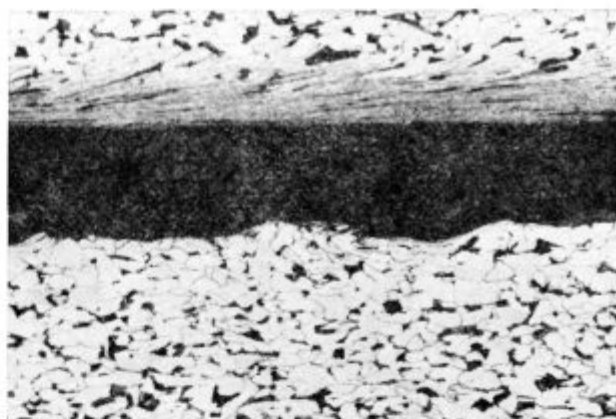
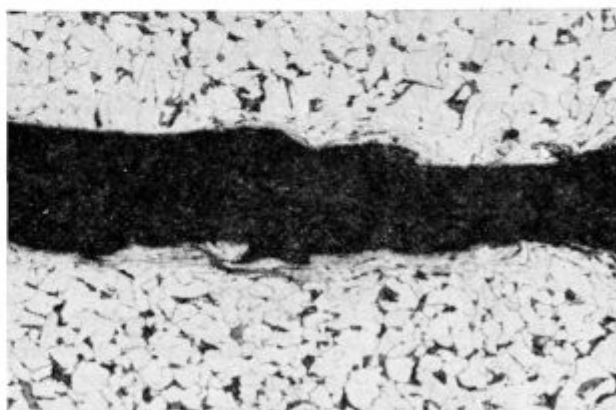
× 160, etched with Nital. Transversal cross section of pickled EPP2 wires, 6 mm thick (a), after the first pass (b), and 2.48 mm thick (c), Recrystallized

zgladi. Na sliki 21b vidimo, da povzroči nesimetrična deformacija veliko razliko v gladkosti. Na isti sliki vidimo tudi, da je lokalna hladna deformacija, ki jo povzroči nesimetrična deformacija, neprimerno bolj intenzivna kot lokalna deformacija zaradi udara jeklenih zrn ob površino.

Po vlečenju na debelino 2,48 mm se tudi na preseku površina peskane žice ne razlikuje od površine lužene žice.

Na posamičnih mestih smo na peskani površini opazili ostanke škaje, redkeje pa primere, ko je ostanek škaje prekrival droben, previhan sloj jekla.

Podobne ugotovitve veljajo za obliko površine na preseku žice iz jekla Č 1632. V primerjavi z



Slika 21

× 160, jedkano z nitalom. Enako kot sl. 20, vendar za peskano žico

Fig. 21

× 160, etched with Nital. The same as in Fig. 20, the shot-blasted wire

mehkejšim jeklom EPP 2 so vdolbine plitvejše in položnejše. Nismo opazili slučaja, ko bi bili robovi vdolbine spodmolasto upognjeni proti vdolbini. Tudi pri tem jeklu sta bili obe žici pri debelini 2,48 mm na prečnem prerezu identični. Lokalna hladna deformacija pod jamicami je bila po videzu v mikroskopu omejena na tanjši površinski sloj in v splošnem manj intenzivna kot na žici EPP 2.

### 3.3 Količina maziva na žici

Količino maziva na žici smo določili tako, da smo površino žice »razmehčali« v solni kislini, jo obrisali s filter papirjem, določili kalcij in tega preračunali v ustrezno količino kalcijevega stearata. Pri vzorcih, ki niso bili poapnjeni, pokaže ta postopek realno količino maziva, če zanemarimo eventualne izgube v vdolbinah, v katere kislina nima zadostnega dostopa. Na poapnenih žicah pa pokaže analiza celoten kalcij, to je kalcij, ki je vezan na stearat in kalcij od poapnenja površine. Ni mogoče zanesljivo opredeliti, koliko poapnene plasti se odlušči in otrese, preden pride žica do vhoda v votlino, ko mazivo preostali apneni sloj zalije in ga močnejše poveže s površino žice. Verjetno postopek ne zagotavlja, da je analiza zajela vse mazivo na žici. Kljub temu pa lahko rezultate uporabimo za primerjavo, saj so netočnosti v vseh primerih podobne.

Na sliki 23, ki kaže odvisnost med količino stearata na površini žice in njeno debelino, smo za žico EPP 2 L, ki je bila pred vlečenjem poapnena, vrisali dve krivulji; eno (oznaka 1), ki kaže količino maziva, kot da je ves kalcij vezan v stearatu, in drugo (oznaka 2), pri kateri je odštet kalcij, ki ga je pokazala analiza na žici pred vlečenjem. Iz posameznih odvisnosti na sliki lahko izluščimo naslednje osnovne ugotovitve:

— na obeh trših žicah je v skoraj vsem področju vlečenja manj maziva, kot na žici EPP 2,

— na večini žic rahlo narašča količina maziva na žici z nadaljevanjem vlečenja ali ostaja približno konstantna do 3. votlice (do debeline 3,88 mm), nato se količina maziva v vseh primerih zmanjšuje,

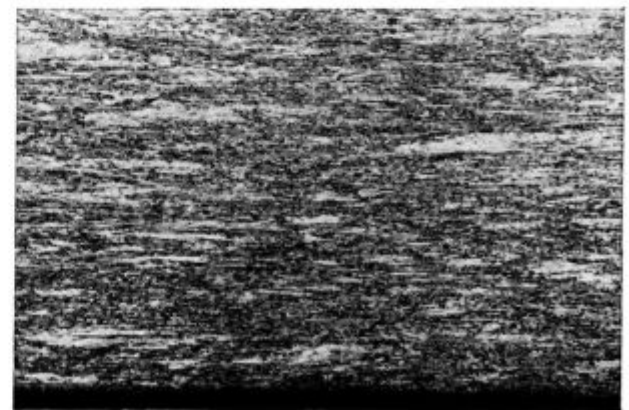
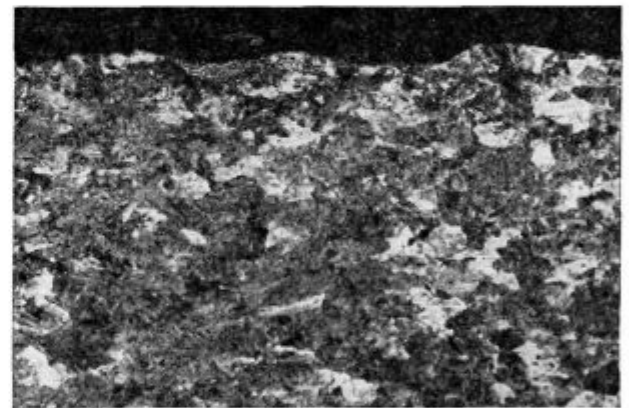
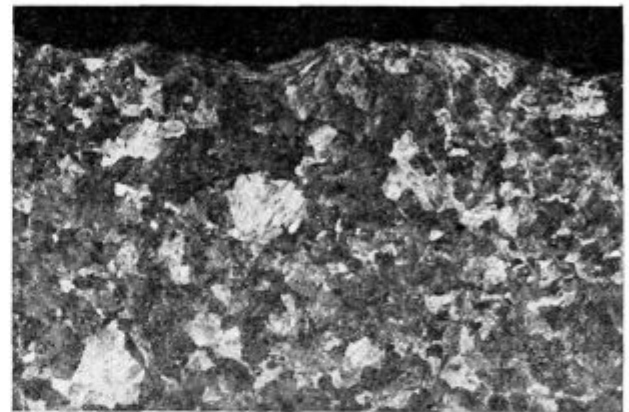
Tabela 5: Relativna\* količina maziva na svetlih delih površine žice

Kvaliteta in pov. obdelava	Debelina v mm		
	5,16	3,88	2,5
EPP 2 P	1	0,48	0,51
L	0,94	—	0,44
Č. 1632 P	0,74	0,46	0,58
L	0,74	—	0,55

\*Opombe: Primerjalna vrednost (= 1) je žica peškana EPP 2 z debelino 5,16 mm.

— na žici Č 1632 začne naraščati količina maziva, ko pade debelina pod pribl. 2,5 mm.

V tabeli 5 so prikazani rezultati analize količine kalcija na gladkih ploskvicah na nekaterih tipičnih vzorcih. Vrednosti so podane v relativni obliki, tako da je privzeto kot primerjalno jeklo EPP 1 P. Številke dejansko predstavljajo razmerje koncentracij, vendar velja, da so identične z razmerjem debelin. Mazivni sloj je bil zelo tenak, zato je elek-



Slika 22

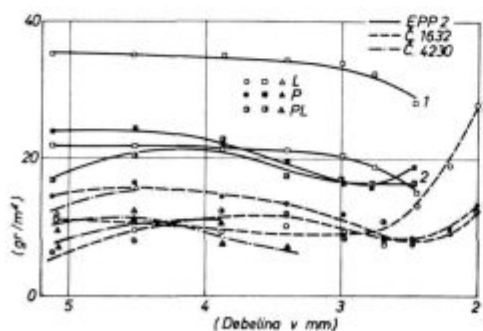
× 160, jedkano z nitalom. Enako kot sl. 20, vendar za peškano žico kvalitete Č 1632

Fig. 22

× 160, etched with Nital. The same as in Fig. 20, the shot-blasted Č.1632 steel wire

tronski curek prodril skozenj, v jeklu pa nismo našli kalcija. Ni mogoče zanesljivo opredeliti, kolika je dejanska debelina mazivnega sloja na gladkih ploskvah. Če predpostavimo, da je popolna absorpcijska dolžina elektronov z energijo 20 Kv v kalcijevem stearatu največ 10 mikronov (ta predpostavka je sprejemljiva glede na povprečno atomsko število Ca stearata in energijo elektronov), pokaže enostaven račun, da je debelina mazivnega sloja na gladkih ploskvah največ 0,02 mikrona, kar ustreza nekaj molekularnemu sloju maziva (2). Zato ne bi bilo realno iz podatkov na sliki 23 izračunati povprečno debelino mazivnega sloja. Mazivo na površini žice je namreč zelo neenakomerno porazdeljeno. Preje smo zvedeli, da je na gladkih ploskvah debelina sloja nekaj stotink mikrona, v jamicah pa je ta debelina nekaj mikronov ter ga zato pokaže tudi površinska analiza v mikroanalizatorju (sl. 13, 14, 15 in 16). Na gladkih ploskvah doseže pri tretji votlici debelina mazivnega sloja konstantno vrednost, ki se do debeline 2,5 mm ne spreminja več pomembno (tabela 5). Ker istočasno narašča delež teh ploskvic na žici, moremo sklepati, da se vdolbine polnijo z mazivom do približno tretje votlice, ko narašča celotna količina maziva na žici. To velja seveda le, če zaradi ogrevanja žice pri vlečenju ne prihaja do razpada maziva, zaradi česar bi se na površini ohranil le kalcij.

Po morfologiji površine in po porazdelitvi maziva na njej lahko opredelimo mehanizem mazanja pri prehodu žice skozi votlico. V procesu vlečenja v nobenem primeru ne sme priti do pretrganja sloja maziva in neposrednega kovinskega stika med žico in votlico. Debelina mazivnega sloja kaže, da prihaja na gladkih ploskvah do mejnega trenja (Riez 3), ko le nekajmolekularni sloj stearata loči površino jekla od votlice. Na mestih, kjer so na površini vdolbine, v katerih je več maziva, prihaja do hidrodinamičnega mazanja. Mazivo, ki je okludirano v vdolbinah, pod velikim pritiskom prenaša deformacijsko silo z votlice na jeklo in tako omogoča enakomerno deformacijo žice.



Slika 23

Razmerje med debelino vlečene žice in količino maziva na njej

Fig. 23

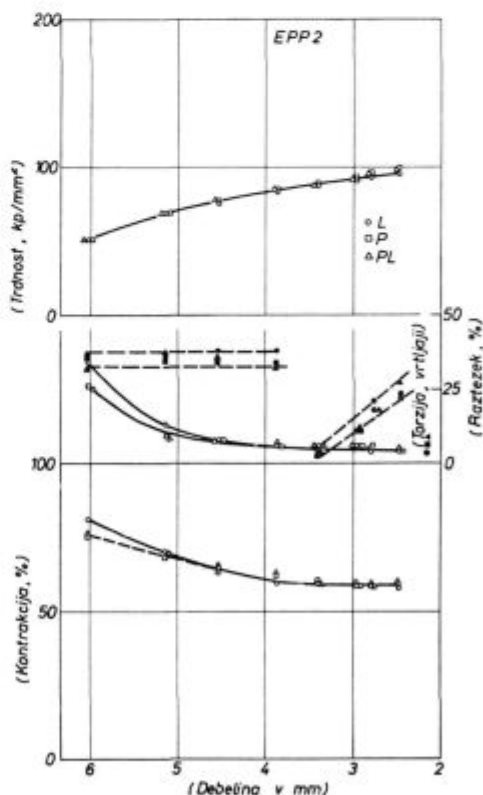
Relationship between the thickness of the drawn wire and the amount of lubricant

Pod debelino približno 2,5 mm začne naraščati količina maziva na žici Č 1632. Ne vemo, ali to velja tudi za druge kvalitete, pri katerih je bilo vlečenje zaustavljeno pri tej debelini. Že preje smo povedali, da z zmanjšanjem debeline raste delež gladke površine, to je površine mejnega trenja med votlico in žico. Pri debelini 2,5 mm prevladuje te vrste površina. Menimo, da so najverjetnejši vzrok za naraščanje količine maziva spremenjeni geometrični pogoji vlečenja pod 2,5 mm, mogoče povečan odnos med obsegom in presekom žice, kar pomeni, da je povečan delež maziva na težo deformirane žice. To interpretacijo podpira dejstvo, da je mogoče za vlečenje tankih žic uporabljati tekoča maziva z manjšo mazivno sposobnostjo.

Na žicah obeh trših kvalitet je manj maziva kot na mehkejši EPP 2 žici. To ni v zvezi s hrapavostjo površine, saj se razlika pojavlja tudi v luženem stanju. Skoraj ni razlike v količini maziva med žicami Č 1632 in Č 4230. To je dokaz, da neprimerčnost zadnje žice za vlečenje ni v neposredni zvezi z mazivom.

### 3.5 Mehanske lastnosti žic

Pri vseh kvalitetah smo določili trdnost, raztezek in kontrakcijo, pri žicah Č 1632 in EPP 2 pa še število vrtljajev do zloma. Za ta preizkus smo uporabili mere preizkušancev, dolžino 50 debelin do

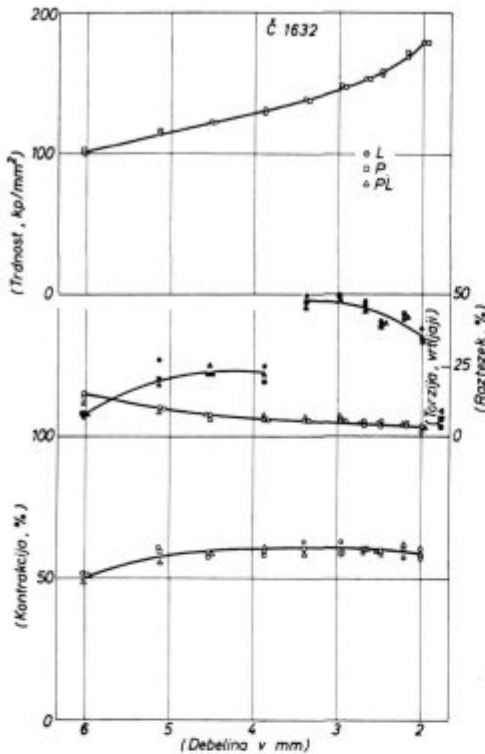


Slika 24

Vpliv redukcije pri vlečenju na lastnosti žice kvalitete EPP 2

Fig. 24

Influence of the reduction by drawing on the properties of EPP2 steel wire



Slika 25

Vpliv redukcije na lastnosti patentirane žice kvalitete Č 1632

Fig. 25

Influence of the reduction on the properties of the patentirane Č.1632 steel wire

premera 3,5 mm in dolžino 100 debelin pod tem premerom, kot so v uporabi v železarni Jesenice. Zato so v grafikonih prelomljene krivulje, ki kažejo število vrtljajev do zloma med debelinama 3,88 in 3,48 mm.

Rezultati mehanskih preizkusov so na slikah 24 do 28. Iz njih lahko razberemo naslednje značilnosti:

— z naraščanjem stopnje deformacije enakomerno narašča trdnost jekla Č 1632, počasi pada raztezek, kontrakcija pa doseže že pri drugem vleku neko vrednost, ki se z nadaljevanjem redukcije ne spreminja več pomembno. Podobna je odvisnost za število vrtljajev do zloma, le da začne število vrtljajev enakomerno padati po redukciji približno 65 %,

— trdnost jekla EPP 2 enakomerno narašča z redukcijo, razteznost pade po prvem vleku na vrednost, ki se s povečanjem redukcije le malo zniža, kontrakcija pa enakomerno pada do približno 60 % redukcije. Nekoliko je presnetljiva odvisnost med redukcijo in številom zasukov do zloma pri vzvojni deformaciji. Sposobnost za vzvojni deformaciji ostaja neodvisna od hladne utrditve do redukcije ca. 60 %, nato pa narašča. Ker se enako obnašajo vse tri vrste vzorcev (L, P in PL vzorci), je odvisnost verodostojna. Upoštevati moramo, da je odvisnost v celem intervalu deformacije nekoliko popačena zaradi spremembe dolžine vzorca. Zanimi-

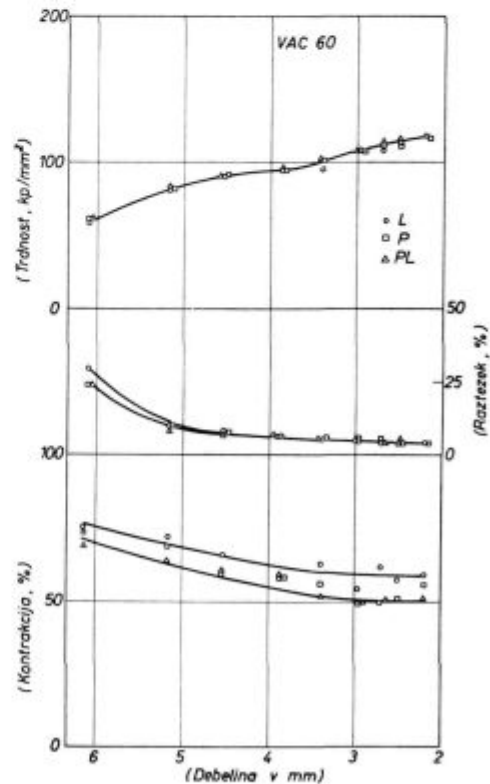
vo je, da ima povečanje dolžine pri žici EPP 2 nasproten učinek kot pri žici Č 1632,

— pri žici VAC 60 je vpliv redukcije na raztezek in kontrakcijo podoben kot pri žici EPP 2, podobne so tudi absolutne vrednosti, večji pa je razpis med vsemi tremi vrstami žice.

Mislimo, da ne gre pri tem za učinek različne obdelave površine, ampak za razliko v lastnostih kolobarjev. Znano je, da je izoblikovanje mikrostrukture in s tem plastičnost, ki se najbolj izraža v kontrakciji, pri tem jeklu zelo odvisna od pogojev ohlajanja posameznih kolobarjev. Pri tem jeklu opazimo v grafikonu, ki kaže naraščanje trdnosti z naraščajočo hladno deformacijo, koleno pri približno 65 % redukciji. Zato daje videz, kot da odvisnost sestavljata dve položni paraboli. Ta značilnost je pri jeklu EPP 2 rahlo nakazana pri redukciji približno 50 %,

— enake značilnosti kaže vpliv hladne deformacije na lastnosti jekla Č 3990. Razlika je le v tem, da trdnost monotono narašča v položni paraboli z naraščanjem redukcije, kontrakcija pa je manjša v začetnem stanju v vsem intervalu deformacije,

— žico Č 4230 lahko najbolj realno primerjamo z žico Č 1632. V nevlečnem stanju imata obe podobno trdnost in razteznost in različno kontrakcijo. Hladna deformacija močno zmanjša plastičnost žice Č 4230. Kontrakcija žice Č 4230 pade z redukcijo in ostane nato v vsem intervalu redukcije znatno manjša, dosega le približno tretjino kon-

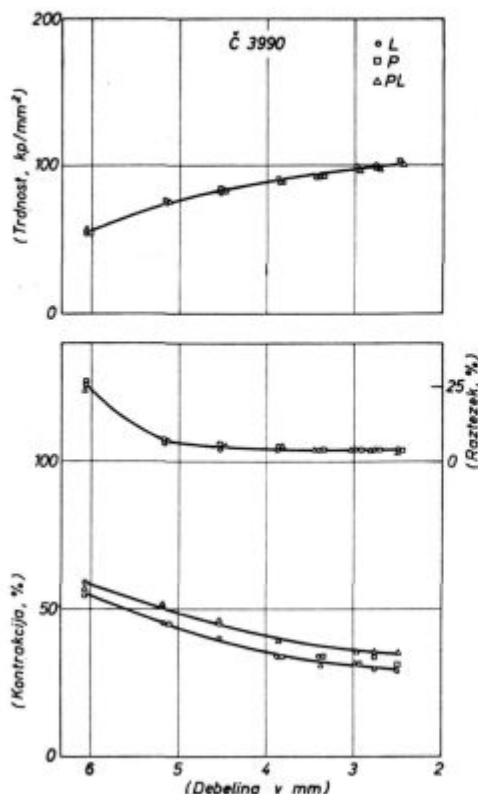


Slika 26

Vpliv redukcije na lastnosti žice kvalitete VAC 60

Fig. 26

Influence of the reduction on the properties of the VAC 60 steel wire



Slika 27  
Vpliv redukcije na lastnosti žice kvalitete Č.3990

Fig. 27  
Influence of the reduction on the properties of the Č.3990 steel wire

trakcije patentirane žice. Trdnost jekla Č.4230 narašča po položni paraboli z naraščanjem hladne deformacije, kar je tudi drugače kot pri jeklu Č.1632.

Razpravo o vzrokih za razlike v vplivu hladne deformacije na lastnosti vseh petih vrst žice bi presegala okvir tega dela. Velja, da razlika v obdelavi površine ne povzroči nobene razlike v mehanskih lastnostih žic.

### 3.6 Rekristalizacijski preizkusi

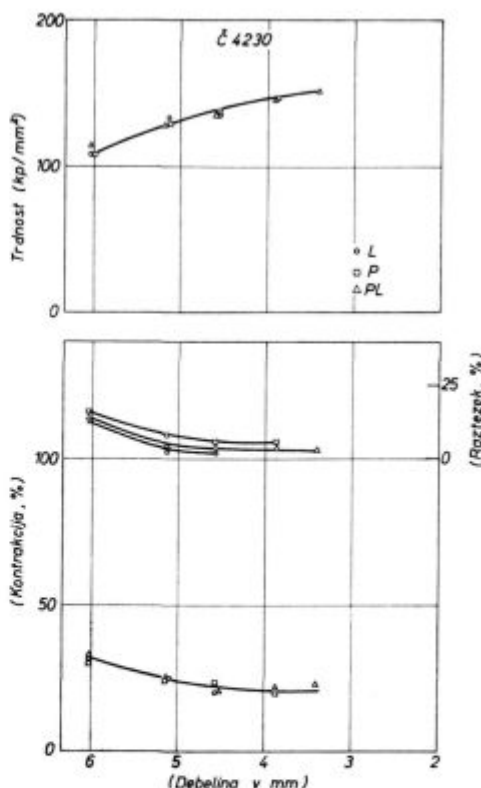
Te preizkuse smo napravili na žicah EPP 2 in Č.1632 na vzorcih P in L, z debelinami 5,16 mm in 2,5 mm, to je po 25 %-(en vlek) in 83 %-deformaciji. Za rekristalizacijo smo izbrali temperaturo 600 °C, ker smo iz izkušnje vedeli, da je po enournem ogrevanju pri tej temperaturi mogoče doseči odpravo deformacijskega stanja. Proces te odprave smo zasledovali z merjenjem trdote in z opazovanjem v mikroskopu.

Slika 29 kaže vpliv trajanja ogrevanja pri 600 °C na trdoto obeh vrst vzorcev (debelina 5,16 in 2,5 milimetrov) ter trdoto nedeformiranega vzorca, ki smo ga uporabili za oceno pojavov popuščanja jekla, ki so neodvisni od hladne deformacije.

Iz grafikonov razberemo vpliv razlike v hladni deformaciji. Razlika v izhodni trdoti pri jeklu

EPP 2 spada v interval razlike med kolobarji. Trdota nedeformiranega vzorca se že po nekajminutnem zadržanju pri 600 °C zniža na konstantno vrednost. Pri deformaciji 25 % z ogrevanjem pri 600 °C ne pride do rekristalizacije. Del deformacijskih napetosti se odpravi s hitro fazo poprave, ki je končana že v približno 5 minutah, nato pa poteka počasneje tehnično nepomembna druga faza poprave. Zato ohrani jeklo še po enournem zadržanju pri 600 °C znatno večjo trdoto, kot jo ima v nedeformiranem stanju. Popolnoma drugače poteka proces odprave deformacije pri redukciji 83 %. Popolna rekristalizacija se izvrši v približno 20 minutah, ko jeklo doseže končno trdoto, ki se z nadaljevanjem žarjenja do ene ure ne spreminja več. Proces lahko točno opredelimo, če primerjamo posnetek 21 s posnetki na sliki 30. Končna trdota je nekoliko višja kot pri nedeformiranem jeklu zaradi razlike v velikosti feritnih zrn.

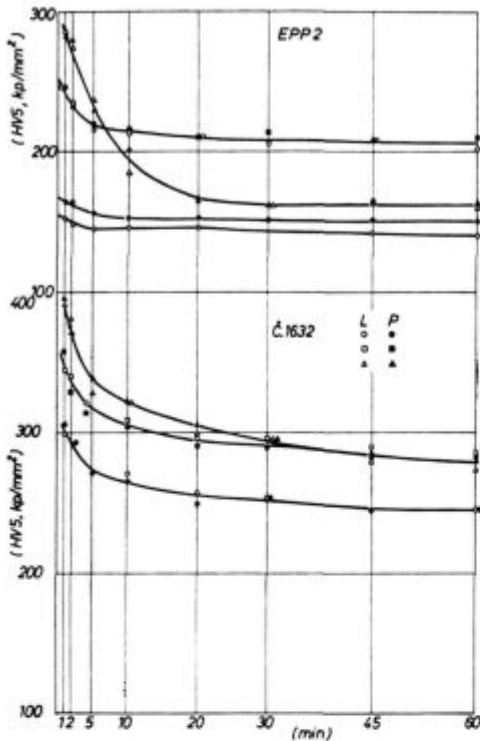
Pri jeklu Č.1632 je proces mehčanja nekoliko bolj zapleten in ga je težje točno opredeliti. V procesu rekristalizacije sodeluje le ferit in ni mogoče v optičnem mikroskopu zaznati, ali gre za proces poprave ali za proces rekristalizacije z nastankom in rastjo novih kristalnih zrn. Trdota tega jekla se v nedeformiranem stanju stabilizira šele po približno 45-minutnem ogrevanju, ko se konča najhitrejša faza sferoidizacije perlitnih lamel. Podobno se obnaša jeklo po 25 in po 83 %-deformaciji.



Slika 28  
Vpliv redukcije na lastnosti žice kvalitete Č.4230

Fig. 28  
Influence of the reduction on the properties of the Č.4230 steel wire





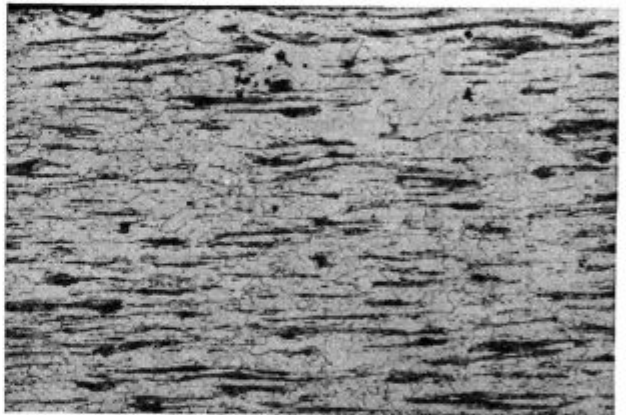
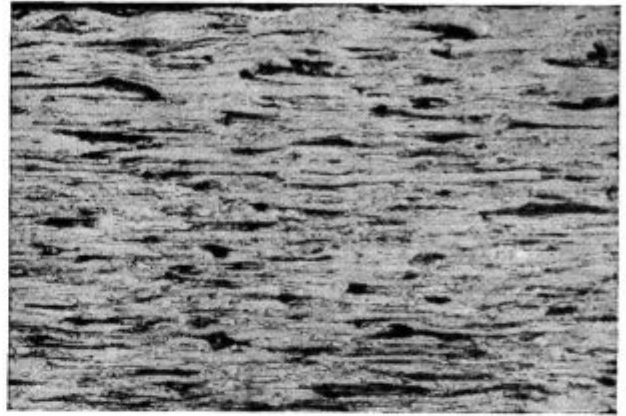
Slika 29

Vpliv trajanja ogrevanja pri 600 °C na trdoto žic, kvalitete EPP 2 in Č.1632, ki so bile hladno reducirane za 26 % (kvadrati) oz. 83 % (trikotniki). Krogi označujejo nedeformirano žico

Fig. 29

Influence of the heating time at 600 °C on the hardness of EPP2 and Č.1632 wires cold deformed for 26 % (squares) or 83 % (triangles). Circles represent underformed wire

proces rekristalizacije z nastankom in rastjo novih feritnih zrn, v drugih pa je prišlo do rekristalizacije, pri kateri so kot kralji za rekristalizacijo služila nedeformirana ali premalo deformirana feritna zrna, ki so bila nekoliko bolj oddaljena od površine.



Slika 30

× 200, jedkano z nitalom. Mikrostruktura žice kvalitete EPP 2 vlečene na debelino 2,48 mm in žarjene pri 600 °C 5 min (a), 20 min (b) in 60 min (c)

Fig. 30

× 200, etched with Nital. Microstructure of the EPP2 wire drawn to 2.48 mm and annealed 5 min (a), 20 min (b), and 60 min (c) at 600 °C

Gre torej v obeh primerih za enak proces odprave deformacijskega stanja. Različna izhodna trdota je posledica različne izhodne stopnje hladne deformacije. Hitrost odprave deformacijskih napetosti je večja po višji redukciji. Zato je po približno 30-minutnem zadržanju v obeh primerih dosežena enaka trdota, če upoštevamo interval napake pri meritvah. Iz odvisnosti med trdoto in trajanjem ogrevanja sklepamo, da je prišlo med ogrevanjem jekla Č.1632 pri 600 °C do rekristalizacije, to je odprave deformacijskih napetosti s tvorbo novih zrn.

Rezultati kažejo, da ni nobene razlike v tem, kako se pri žarjenju za odpravo deformacijske utrditve obnašata lužena in peskana žica.

Na slikah 21 a in 21 b vidimo, da je zaradi peskanja prišlo do lokalne deformacije ob površini žice. Pazljiv pregled peskanih vzorcev, ki so bili ogrevani pri 600 °C, pokaže, da znakov hladne deformacije ni mogoče več opaziti po 20-minutnem zadržanju. To kaže, da je v tem časovnem intervalu prišlo v jeklu EPP 2 do rekristalizacije posamičnih deformiranih mest. Tu so nastala nova feritna zrna, ki so ohranila deformacijsko teksturo, vendar so bila mnogo bolj drobna od feritnih zrn v okolici, na drugih mestih pa razlike v velikosti ni bilo. To kaže, da se je izvršil v nekaterih primerih popoln



Slika 31

× 500, žica kvalitete Č 4230 vlečene na debelino 3,48 mm (redukcija 66 %). Vozlaste tvorbe cementitnih lamel

Fig. 31

× 500, Č.4230 steel wire drawn to 3.48 mm (66 % reduction). Knot-like forms of cementite lamels

#### 4. O VZROKIH ZA SLABO VLEČNO SPOSOBNOST JEKLA Č 4230

Razprava o tem vprašanju presega program tega dela, so pa rezultati opozorili na nekatera dejstva, ki bi lahko služila kot izhodišče za temeljitejša raziskave s ciljem, da se izboljša deformacijska sposobnost jekla Č 4230.

V primerjavi z jeklom Č 1632 ima jeklo Č 4230 v nevlečenem stanju slabšo plastičnost, ki se izraža v manjši kontrakciji pri enaki trdnosti in raztežku. Z naraščanjem stopnje hladne deformacije se podobno spreminjata raztezek in trdnost, zmanjšuje pa se kontrakcija, ki je bila že v začetku nižja, medtem ko pri jeklu Č 1632 kontrakcija po prvem vleku celo zraste in ostane nato nespremenjena. Ni razlike v količini maziva na obeh žicah, torej so pogoji za mazanje v obeh primerih podobni. Praktično vlečenje kaže, da se zaradi deformacije mnogo bolj greje žica Č 4230 kot žica Č 1632. Če upoštevamo, da je trdnost skoraj enaka, bi bilo torej večje ogrevanje predvsem posledica razlike v tem, kako se v deformacijskem procesu obnaša mikrostruktura enega in drugega jekla. Mikrostruktura je v obeh primerih iz identične komponente, le iz lamelnega perlita. Cementitne in feritne lamele v perlitu pa so mnogo debelejšje v jeklu Č 4230 kot v jeklu Č 1632. Lambert in Greday (4) ter Funke, Jain in Wittek (5) trdijo, da ima perlitno jeklo tem manjšo deformacijsko sposobnost, čim debelejšje so cementitne lamele in čim večja razlika je med smerjo teh lamel in smerjo vlečenja jekla. Po Lambertu in Gredayu se morajo cementitne lamele med procesom vlečenja zdobiti ali pa usmeriti v os vlečenja. Oba omenjena avtorja sta ugotovila, da se večji del cementitnih lamel preusmeri. Pri tem nastajajo vozlaste tvorbe lamel, ki so pod topim kotom glede na os vlečenja. Tak primer kaže sl. 31. V okolici takih tvorb je deformacija nehomogena zaradi nenormalnega

toka jekla. To lahko privede celo do odlepljenja med feritom in cementitno lamelo in do zmanjšane plastičnosti jekla, podobno kot smo ugotovili prej za vlečenje jekla z mikrostrukturo iz ferita in martenzita (6). V mikroskopu takih odlepljenj nismo odkrili, prelomi so bili razmeroma gladki in strižnega tipa.

Zato sklepamo, da slabša plastičnost jekla Č 4230 ni neposredno posledica slabše inherentne plastičnosti jekla, zato ker ima krom in več silicija kot patentirana žica, ampak posledica slabe plastičnosti, ki jo povzroči za hladno vlečenje malo primerna mikrostruktura. Če hočemo torej izboljšati vlečno sposobnost jekla Č 4230, je potrebno doseči, da bo imelo mikrostrukturo iz lamelnega perlita z bolj finimi cementitnimi lamelami. To se da doseči na dva načina: s tem, da se pri ohlajanju hitro preide pri valjanju preko področja počasne nukleacije perlita in se transformacija izvrši pri nižji temperaturi ali pa s tako korekturo sestave jekla, ki bi zagotovila, da bo pri normalnem ohlajanju po vročem valjanju avstenit nekoliko bolj stabilen in bo do njegove transformacije prišlo pri nižji temperaturi kot dosedaj.

Dalje smemo sklepati, da pride do pretrganja žice pri vlečenju in onemogočanja normalnega vlečenja na naslednji način: večje deformacijsko ogrevanje segreje žico nad temperaturo, pri kateri kalcijev stearat ohrani mazivno sposobnost. Riez (3) navaja, da se poruši na površini žice v bližini prehodne temperature, ki je blizu tališču maziva, kratki red polarno orientiranih mazivnih molekul. Porazdelitev postane statistična. Posledica je skokovit porast trenja med žico in votlico, zato ker med polarno orientiranimi mazivnimi molekulami ni več lateralne povezave, ki ohranja trdnost mazivnega sloja. Prehodna temperatura je po podatkih Rieza za kalcijev stearat približno 150 °C, torej nad to temperaturo stearat hitro izgubi sposobnost, da z mazanjem ustvarja pogoje za majhno trenje med votlico in žico. Rezultat je povečano trenje, povišana temperatura in zelo hitro ogretje žice na temperaturo, ko postane odpor proti prehodu skozi votlico večji od trdnosti žice in žica se pretrga.

#### 5. SKLEPI

Izvršili smo različne preiskave žic iz jekl, kvalitete EPP 2, Č 1632, VAC 60 in Č 4230, s katerih je bila odstranjena škaja po mehničnem postopku s peskanjem z jeklenim zdrobom, s konvencionalnim luženjem, oz. po peskanju površinsko obdelana z apnenjem, oz. boraksiranjem.

Vlečenje je bilo izvršeno po suhem postopku na enostopenjskem stroju s hitrostjo 2 m/sec. in z uporabo kalcijevega stearata kot maziva.

Ugotovili smo, da peskanje povzroči na površini žice hrapavost, ki je globlja in bolj groba kot hrapavost lužene žice in ustvari ob površini sloj z neenakomerno hladno utrditvijo, ki sega največ 20 mikronov globoko. Hrapavost ni v zvezi s hra-

pavostjo mejne površine — škaja kovina. Pri zaporednih prehodih skozi votlice se razlika v hrapavosti zmanjšuje in je po prehodu skozi tretjo votlico že v intervalu merilnih napak.

Različna prehodna priprava površine ne povzroči razlik v količini maziva, ki ostaja na žici po prehodu skozi posamezne votlice; ni povzročila takih razlik v obrabi votlic, ki bi jih lahko zaznali z vlečenjem v količinskem obsegu naših poizkusov; ne povzroči razlik v mehanskih lastnostih žice pri naraščajoči stopnji hladne deformacije in ne povzroči razlik v rekristalizacijski sposobnosti jekla.

Zato domnevamo, da bi uvedba mehanskega postopka odstranjevanja škaje s površine valjane ali patentirane žice ne mogla povzročiti nobenih tehnoloških problemov, ki bi jih ne mogli obvladati s sredstvi in ukrepi, katere imajo žičarji na voljo, da bi ohranili gospodarnost izdelave žice. Preden preidemo na industrijsko uporabo mehanskega odstranjevanja škaje v večjem obsegu, bi bilo potrebno preveriti dve važni tehnološki vprašanji: intenziteto obrabe votlic in porabo vlečnega praška. Na

ti dve vprašanji bi bilo mogoče popolnoma realno odgovoriti le na osnovi primerjalnega vlečenja večjih količin žice istih kvalitet in različnih šarž.

#### Literatura

1. F. Legat: Odstranjevanje oksidnih plasti na valjani žici in žarjeni žici s peskanjem: Poročilo S2 Tovarna verig Plamen Lesce, marec 1974.
2. J. A. Newnhan: Wire drawing lubricants: Metals deformation processes. Friction and lubrication, zal. M. Dekker, New York 1970.
3. C. H. Riez: Friction, wear and lubrication mechanism, Ibidem.
4. N. Lambert in T. Greday: Deformation des structures d'aciers au carbone au cours de l'étirage: Mem. Scient. Rev. Metall, jul.—avg. 1975, 525—545.
5. P. Funke, A. Jain in R. Wittek: Bestimmung der Verformungseigenschaften von Drähten aus unlegiertem Stahl über die mikroskopische Gefügeausbildung: Arch. Eisenh. 46, 1975, št. 10, 639—640.
6. F. Vodopivec, A. Kelvišar in S. Mežnar: Zelezarski zbornik, 9, 1975, št. 2, 81—88.
7. F. Legat: Predavanje na XXI. Metalurškem srečanju, Portorož 1976.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Es sind verschiedene Untersuchungen an einem Stahl-draht der Qualität EPP 2, C 1632, VAC 60 und C 4230 durchgeführt worden, von welchem der Zunder durch ein mechanisches Verfahren mit Sandstrahlen mit Stahlgussgranulat, oder durch ein übliches Beizverfahren entfernt worden ist und welcher nach dem Sandstrahlen mit Kalkmilch oder Borax oberflächlich behandelt worden ist.

Das Ziehen ist auf einer einstufigen Ziemaschine nach dem Trockenverfahren mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s und mit der Anwendung des Kalziumstearates als Schmiermittel durchgeführt worden.

Wir haben festgestellt, dass das Strahlen des Drahtes eine rauhe Oberfläche zur Folge hat und dass diese tiefer und gröber ist als die Rauigkeit des gebeitzten Drahtes, und dass durch das Strahlen an der Oberfläche eine dünne Schicht mit einer ungleichmässigen Kaltverfestigung entsteht, welche maximal 20 µm tief ist. Diese Rauigkeit ist in keiner Verbindung mit der Rauigkeit der Grenzfläche zwischen Zunder und Metall. Bei den nacheinander folgenden Durchgängen durch den Ziehstein wird der Unterschied in der Rauigkeit kleiner und ist nach dem Durchgang durch den dritten Ziehstein schon im Messfehlerintervall.

Verschiedene Oberflächenvorbereitung hat keinen Einfluss auf die Menge des Schmiermittels, welches nach dem Durchgang durch die einzelnen Ziehsteine am Draht haften bleibt; es verursacht weiter keine so grosse Unterschiede in der Abnutzung der Ziehsteine, dass wir sie mit unseren Versuchen wahrnehmen könnten; es verursacht keine Unterschiede der mechanischen Eigenschaften des Drahtes beim steigenden Kaltverformungsgrad, und es verursacht auch keine Unterschiede in der Rekristallisationsfähigkeit des Stahles.

Die Einführung eines mechanischen Verfahrens für die Entzunderung des warmgewalzten oder patentierten Drahtes würde deshalb keine technologischen Probleme hervorrufen, welche mit Mitteln und Massnahmen, die dem Zieher zur Verfügung stehen, nicht beherrscht werden könnten, um die Wirtschaftlichkeit der Drahterzeugung zu erhalten. Vor dem Übergang auf die industrielle Anwendung des mechanischen Entzunders im grossen Umfang wäre es notwendig zwei wichtige technologische Fragen zu überprüfen, und zwar die Intensität der Ziehsteinabnutzung und die Anwendung des Ziehpulvers. Diese zwei Fragen könnten ganz real nur auf Grund eines Vergleichsziehens grösserer Drahtmengen derselben Qualität und verschiedener Schmelzen beantwortet werden.

#### SUMMARY

The tested wire samples were made of EPP 2, C.1632, VAC 60, and C.4230 steel. They were descaled by blasting with steel shot, or by usual pickling, or the surface was lime-or borax-coated after the shot blasting.

Single-grade drawing machine with the drawing speed 2 m/s was used for dry drawing, while calcium stearate was applied as a lubricant.

Shot blasting causes rough surface which is rougher than that of the pickled wire, therefore a non-uniformly hardened, 20 micrometers deep layer is formed. The roughness has no connection with the roughness of the interface between the scale and the metal. After consecutive passes through the dies, the roughness is reduced and after the third pass it is already in the interval of the measuring accuracy.

Various descaling methods have no influence on the lubricant consumption which remains on the wire after single passes; no detectable difference in die wear was found during our experiments; no differences in mechanical properties at the increasing degree of cold deformation neither differences in the recrystallization ability of steel were observed.

Thus the mechanical descaling of rolled or patented wire could not cause any technological difficulties which could not be overcome by wire-drawers with usual measures and means to keep the profitability of the wire manufacturing. Before the mechanical descaling of wire is broadly applied, wear rate of dies and application of the drawing-powder must be investigated. Real answers could be given after comparative drawing of greater amount of wire, of the same quality but of various melts.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен целый ряд различных исследований на проволоки стали качеств EPP 2, S.1632, VAC 60 и S.4230 с которой окалина была удалена механическим способом пескоструйной очисткой с стальной дробью, общепринятым травлением, также известковой побелкой, относ. Действием боратов на поверхность проволоки. Волочение выполнено сухим способом на одноступенчатой машине с быстротой 2 м/сек. при употреблении стеарата кальция как смазочного средства. Установлено, что обработка песком вызывает на поверхности проволоки шероховатость которая более грубокая чем шероховатость травленной проволоки; на поверхности образуется слой неравномерной твердости как следствие холодной достигает глубину не свыше 20 микронов. Шероховатость не имеет отношение с шероховатостью с граничной поверхностью слоя окислы металла. При последующих проходах через волочильные очки разницы шероховатости уменьшаются и после перехода через третье очко находятся уже в пределах ошибок измерения.

Различные предварительные приготовления поверхности проволоки не показали разниц при определении мази, которая остается на проволоки после прохода через отдельные очки; также не причиняет разниц при изнашивании очков в такой мере, чтобы это

могло быть замечено при волочении что касаясь количественного объема выполненных опытов; не причиняет разниц при механических свойствах проволоки при увеличении степени холодной деформации и, наконец, не причиняет разниц способности стали к рекристаллизации.

Поэтому введение механического способа удаления окислы с поверхности катаной или патентованной проволоки не может вызвать никаких технологических проблем, которых нельзя бы было преодолеть с средствами и мерами, которые имеют в распоряжении волочильники проволоки чтобы сохранить рентабельность выделки проволоки.

Прежде чем перейти на промышленное употребление механического удаления окислы в более широком объеме было бы необходимо проверить два важных технологических вопросов, т. е. интенсивность изнашивания очков и употребительность волочильного порошка. Вполне реально ответить на эти два вопроса было бы можно только на основании сравнительного волочения больших количеств проволоки одного и того же качества из различных плавков.

# TEM raziskave popuščnih efektov orodnega jekla Č. 4850 — OCR 12 VM

UDK: 620.187:621.385.833.22:  
621.385.833.4:669.15-194.58  
669.14.018.25

ASM/SLA: TSh, M 21e, M 22h, N 7, N 8a

Viktor Kraševac, Jože Rodič

S TEM in ED so bili raziskovani popuščni efekti v visokolegiranih orodnih jeklih. Med popuščanjem pride do izločanja karbidov, ki imajo v začetku ( $1^h$  pri 100, oz. 200 °C) slabo definirano obliko in strukturo ter velikost okrog 100 Å, v končni stopnji ( $1^h$  550 oz. 600 °C) pa obliko od 500 do 1000 Å debelih in okrog 0.5 µm dolgih lamel z ortorombsko strukturo  $Fe_3C$ . Poleg tega je bilo ugotovljeno tudi, da se struktura in sestava primarnih karbidov vrste  $Cr_7C_3$  s približno sestavo ( $Cr_{2,6}Fe_{1,98}V_{0,34}Mo_{0,11}$ )  $C_3$  med popuščanjem ni bistveno spremenila. Dobljeni rezultati so bili primerjani z rezultati drugih raziskav lastnosti, analize kemične sestave in rentgenske strukturne analize.

## UVOD

Preiskave s transmisijsko elektronsko mikroskopijo (TEM) in z elektronskim uklonom (ED) predstavljajo za raziskave visokolegiranih orodnih jekel ledeburitnega tipa novo, zelo zanimivo področje, ki ima velik pomen. Posebno pomembna je lahko ta raziskovalna tehnika pri raziskovanju vplivov toplotne obdelave, predvsem pa pri spoznavanju vplivov strukturnih sprememb pri popuščanju na lastnosti jekel. Že po nekaj uvodnih raziskavah lahko trdimo, da sta na tem področju ti dve preiskovalni metodi nepogrešljivi.

V okviru obsežnega projekta raziskav visokolegiranih orodnih jekel ledeburitnega tipa<sup>101</sup> so bile med drugim opravljene sistematične raziskave vplivov kemijske sestave in toplotne obdelave v širokem območju variacij na žilavost, preizkušano po novi metodi železarne Ravne<sup>155</sup>.

Pri teh raziskavah, planiranih z modeli za optimalno vrednotenje z metodami matematične statistike, so bile ugotovljene zelo pomembne korelacije in kvantitativno izraženi vplivi legirnih elementov ter vplivi pogojev toplotne obdelave na žilavost.

Vse te odvisnosti so seveda samo matematično izražene odvisnosti, katere pa želimo znanstveno

pojasniti, kar tudi moramo, če jih hočemo v tehnologiji obvladati. Pri tem metalografskih preiskav ne moremo pogrešati.

Precej ugotovljenih korelacij, vplivov na spremembe trdote in žilavosti smo pojasnili s klasičnimi metalografskimi preiskavami osnovne mikrostrukture, velikosti in oblik avstenitnega zrna ter karbidov<sup>135</sup>. Te preiskave smo povezovali s preiskavami neenakomernosti karbidnih izcej in z analizami porazdelitve velikosti karbidov na kvantitativnem mikroskopu<sup>144</sup>. Karakteristične porazdelitve koncentracij posameznih elementov ter tipe in sestave karbidov smo študirali z elektronskim mikroanalizatorjem<sup>4</sup>, z elektrolitsko izolacijo karbidov in analizami izolatov na rentgenskem difraktometru<sup>7,135</sup>. Pomembne odvisnosti smo odkrili z ugotavljanjem količine faz, posebno zaostalega avstenita s pomočjo kvantitativne rentgenske difraktometrije. Tudi z dilatometrijsko metodiko preiskav, z diferenčno termičnimi analizami in z akustično emisijo smo spremljali strukturne spremene<sup>135</sup>. Pri študiju mehanizmov lomljenja žilavostnih vzorcev smo si veliko pomagali za rastrsko elektronsko mikroskopijo<sup>145</sup>, pri čemer smo uporabljali preiskave prelomnih ploskev, jedkanih metalografskih obrusov in površin preizkušancev po elektrolitski izolaciji karbidov z REM povečavami od 100 × do 20.000 ×.

Pri peizkušancih istega jekla, ki so bili vsi enako kaljeni, smo ugotavljali bistvene razlike žilavosti v odvisnosti od popuščanja. To je popolnoma razumljivo in kjer pride do teh sprememb zaradi premene zaostalega avstenita v martenzit in naprej preko nizko popuščanega martenzita do tipičnih popuščnih struktur, je to lahko pojasniti s klasično mikroskopijo in z REM pri večjih povečavah, ker so opazne očitne razlike v mikrostrukturah.

V določenih ožjih temperaturnih območjih popuščanja pa pride do očitnih sprememb žilavosti, katerih pa s preiskavami prej navedenih metod ni bilo mogoče pojasniti, ker gre po našem mnenju za vplive izločanja submikroskopskih delcev, katerih odkrivanje pa je zaradi premajhne ločljivosti optičnega mikroskopa in tudi REM nemogoče.

Zato smo si zastavili nalogo, da bi nekatere popuščne efekte poskušali pojasniti s preiskavami TEM in ED.

Za te raziskave smo izbrali serijo vzorcev jekla Č 4850 — OCR 12 VM. To jeklo iz proizvodnega

Dr. Viktor Kraševac je znanstveni sodelavec inštituta »Jožef Stefan« v Ljubljani.

Jože Rodič je diplomirani inženir metalurgije in vodja službe za razvoj tehnologije, izdelkov in metalurške raziskave v Železarni Ravne.

programa železarne je eno izmed 11 različnih vrst visokolegiranih orodnih jekel ledeburitnega tipa, ki jih sistematično raziskujemo v okviru prej omenjenega raziskovalno razvojnega projekta železarne Ravne.

Vzorci tega jekla, vsi iz iste šarže z oznako »P« so imeli naslednjo kemično sestavo:

C = 1,52 %; Cr = 11,4 %; W = 0,10 %; Mo = 0,82 %; V = 0,92 %; Ni = 0,18 %; Si = 0,13 %; Mn = 0,31 %; S = 0,006 %; P = 0,026 %; Cu = 0,18 %.

Vsi preiskovani vzorci so bili enako kaljeni s temperature 1040° C v olju in nato popuščani po eno uro

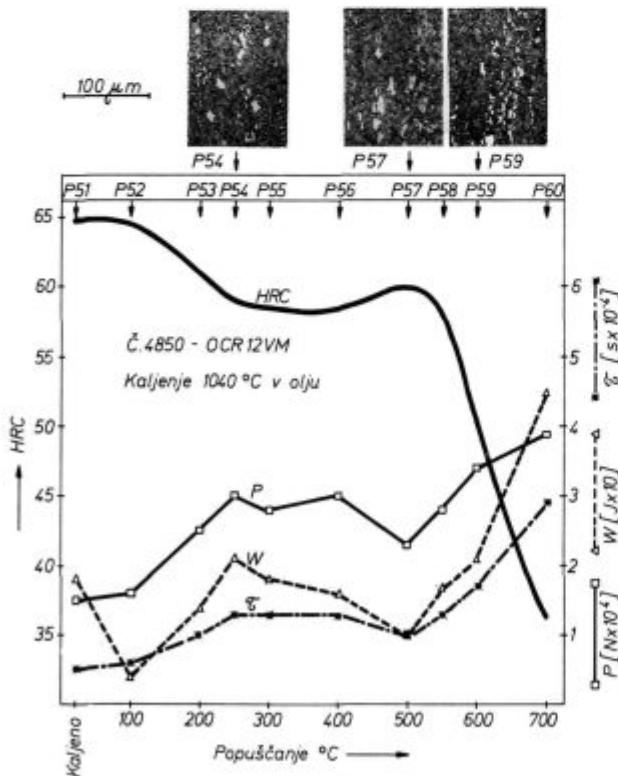
- vzorec P 52 pri 100° C,
- vzorec P 53 pri 200° C,
- vzorec P 54 pri 250° C,
- vzorec P 55 pri 300° C,
- vzorec P 56 pri 400° C,
- vzorec P 57 pri 500° C,
- vzorec P 58 pri 550° C,
- vzorec P 59 pri 600° C.

HRC - Trdota po kaljenju in popuščanju

P - Maksimalna sila loma  $N \times 10^4$

W - Parabljeno delo  $J \times 10$

τ - Relativni čas loma  $s \times 10^{-4}$



Slika 1

Odvisnost trdote in žilavosti jekla Č.4850-OCR 12 VM od temperature popuščanja

Fig. 1

The dependence of the hardness and the impact properties of steel Č.4850-OCR 12 VM on the annealing temperature

Slika 1 prikazuje osnovne lastnosti teh vzorcev, ugotovljene z meritvami trdot HRC in s preizkušanjem žilavosti po metodi železarne Ravne, s katero dobimo podatke o maksimalni sili loma P, relativnem času loma τ in porabljenem delu za zlom preizkušanca W. Krivulje prikazujejo dobro korelacijo teh meritev in spremembe posameznih lastnosti pod vplivom popuščanja. Metalografski posnetki kažejo razlike, kakršne ugotavljamo z optično mikroskopijo. V mikrostrukturah najdemo poleg tipičnih karbidov v osnovni matici naslednje strukturne komponente:

— pri popuščanju na 250° C (vzorec P 54) je tipična struktura nizko popuščenega martenzita in zaostali avstenit z jasno izraženimi mejami avstentnih zrn,

— pri popuščanju na 500° C (vzorec P 57) dobimo tipičen igličasti bainit,

— pri popuščanju na 600° C (vzorec P 59) pa že nastane značilna popuščna struktura krogljčastega zgornjega bainita.

K tem podatkom lahko dodamo še rezultate meritev zaostalega avstenita na rentgenskem difraktometru. Vzorci jekla šarže »P« so imeli za kalilno temperaturo 1040° C naslednje vsebnosti zaostalega avstenita:

- v kaljenem stanju . . . . . 14,3 %,
- po popuščanju na 300° C . . . . . 13,7 %,
- po popuščanju na 550° C . . . . . 1,4 %,
- po popuščanju na 600° C . . . . . pod 1 %.

Za TEM raziskave so bili vzorci pripravljene na običajni način, in sicer razrezani z žično abrazivno žago na nekaj desetink mm debele ploščice, ki so bile zatem rahlo zbrušene z obeh strani na mokrem karborundnem papirju 220. Iz ploščic so bili nato izrezani z votlim abrazivnim svedom diski s premerom 3,2 mm, nakar so bili vzorci elektrospolirani z obeh strani v elektrolitu s sestavo led-ocetna kislina + 25 % perklorne kisline + 1—3 % solitrne kisline na ustrezno debelino, ki je bila transparentna za 100 keV elektrone v Siemensovem elektronskem mikroskopu Elmiskop I. A.

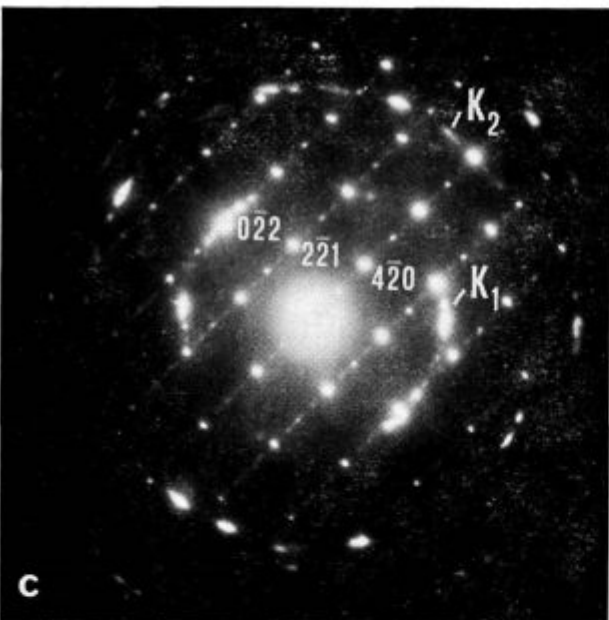
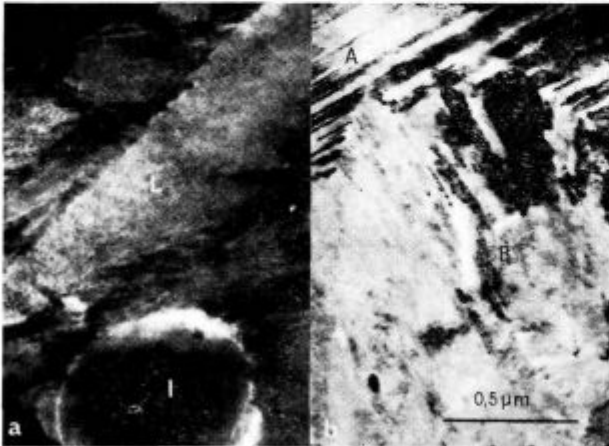
Vzorca P 56 in P 57 zaradi omejenega obsega raziskav nista bila raziskovana, kar pa, kot bo iz nadaljnega razvidno, ne vpliva na nekatere zaključke teh preliminarnih raziskav.

### REZULTATI IN DISKUSIJA REZULTATOV

Na sliki 2 a in b je prikazana tipična mikrostruktura vzorca P 52, ki jo tvorijo v glavnem snopiči martenzitnih lamel, v večini primerov tanjših od 0,2 μm in posamezne večje lamele (L), vsebuječe drobne dvojčke (A). V posameznih lamelah je viden fini črtasti kontrast (n. pr. pri B). Na sliki 2 a sta vidna tudi dva velika izločka, pripadajoča vrsti izločkov, ki so v nadaljnjem tekstu označeni z I. Na uklonski sliki 2 c so poleg krogov K<sub>1</sub> in K<sub>2</sub>,

ki predstavljata množico refleksov iz osnove z enako medmrežno razdaljo ( $K_1 \sim d_{110}$  in  $K_2 \sim d_{211}$ ), vidni tudi regularno razporejeni refleksi, ki pripadajo izločku vrste I.

Prikazane mikrostrukturne tvorbe, z izjemo izločkov I, so običajne za jekla z visoko vsebnostjo ogljika<sup>1</sup>. Iz uklonske slike 2 c je razvidno še, da so



Slika 2

(a in b) Tipična mikrostruktura vzorca P 52, ki je bil popušen  $1^h$  pri  $100^\circ\text{C}$ , I-primarni karbid. (c) uklonska slika iz področja, ki je vsebovalo primarni karbid. Refleksi na krogih  $K_1$  in  $K_2$  pripadajo lamelni osnovi, oštevilčeni refleksi (heksagonalna rotacija z nemim tretjim indeksom) pa pripadajo primarnemu karbidu.

Fig. 2

(a and b) A typical microstructure of the specimen P 52 ( $1^h/100^\circ\text{C}$ ; the primary carbide is denoted by I) (c) the diffraction pattern taken from the region containing the primary carbide. Reflections which form the circles  $K_1$  and  $K_2$  belong to the lamellar base; indexed reflections (hexagonal notation with the omitted third index) belong to the primary carbide.

orientacijske razlike med posameznimi lamelami majhne — skupine refleksov na posameznem krogu pripadajo eni družini lamel — in da refleksa  $K_1$  in  $K_2$  pripadata osnovi s skoraj kubično strukturo. Slednje je v skladu z ugotovitvijo Kurdjumova in Lyssaka, da v visokooogljičnih jeklih že v prvi stopnji popuščanja primarni martenzit (faza  $\alpha'$ ) razpade v nizkooogljični martenzit (faza  $\alpha''$ ) z razmerjem osi med 1,012—1,013 in prehodne karbidne izločke<sup>2</sup>.

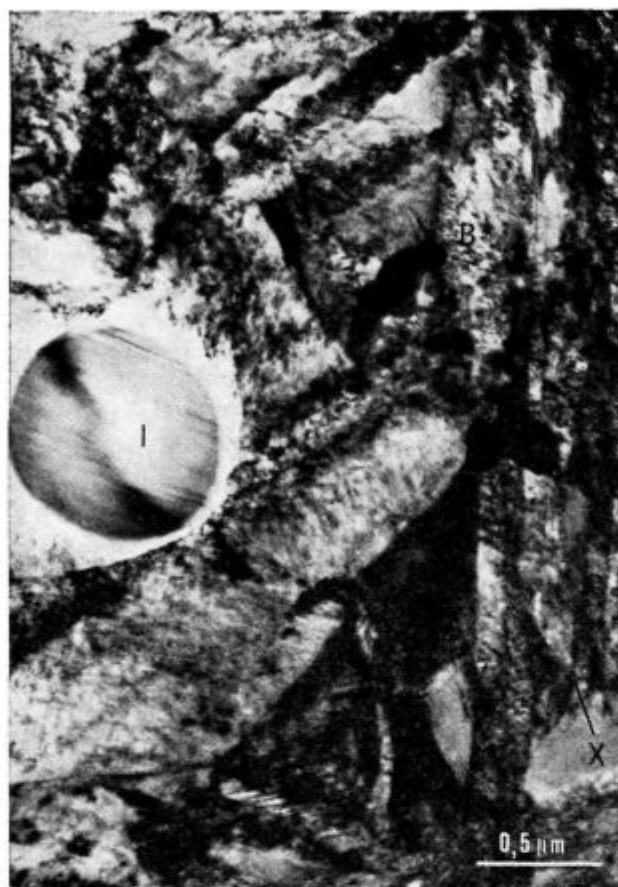
Črtasti kontrast v posameznih lamelah (B) predstavlja zelo fina dislokacijska omrežja, ki so verjetno — z ozirom na toplotno obdelavo vzorca — že rahlo dekorirana z izločki (II. — sekundarni karbidi).

Medmrežne razdalje  $d_{hkl}$  označenih refleksov hkl na sliki 2 c so bile določene na ta način, da je bila uklonska slika interno kalibrirana z ozirom na pripadajoči medmrežni razdalji osnove ( $\alpha$ -Fe) t. j.  $d_{110}$  in  $d_{211}$ , ki sta približno 2,03 in 1,17 Å.

Ugotovljeno je bilo, da se te medmrežne razdalje odlično ujemajo s strukturo, oziroma superstrukturo kompleksnega karbida ( $\text{Cr}_{2,5}\text{Fe}_{4,3}\text{Mo}_{0,1}$ ) $\text{C}_3$  (ASTM kartica 22-211). Omenjeni karbid ima heksagonalno strukturo z  $a_0 = 13,982$  Å,  $c = 4,506$  Å in  $c/a = 0,332$  ter pripada karbidom vrste  $M_7\text{C}_3$  s strukturo  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ . Za ta strukturalni tip karbida pa je znano<sup>3</sup> da ima zelo visoko toplotno stabilnost za železo ( $\text{Me}/\text{Fe} = 0,6$ ) ter znatno za vanadij ( $\text{Me}/\text{V} = 0,16$ ) in molibden ( $\text{Me}/\text{Mo} = 0,055$ ), ki sta pomembnejša dodatka raziskovanega jekla. Z ozirom na to in v skladu z rezultati preiskav jekla Č.4850-OCR-12 VM na elektronskem mikroanalizatorju<sup>4</sup> je mogoče zaključiti, da je izloček I kompleksni karbid ( $\text{Cr}\alpha - \text{Fe}\beta - \text{V}\gamma - \text{Mo}\delta$ ) $\text{C}_3$ , pri čemer je  $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 7$  in  $\alpha \approx \beta \gg \gamma \approx \delta$  s strukturo, oziroma  $d_{hkl}$  določenimi s kartico ASTM 22-211.

Na sliki 3 je prikazana tipična mikrostruktura vzorca P 53 ( $1^h/200^\circ\text{C}$ ). Poleg snopičev skoraj vzporednih lamel je lepo viden izloček vrste I z množico vzporednih črt v notranjosti, ki so posledica kompleksne strukture karbida. Oblika izločka je skoraj okrogla s premerom približno  $0,7\mu\text{m}$ , kar lahko pomeni, da je izloček ravnotežnega značaja. Temne prečne črte v posameznih lamelah (B) predstavljajo izločke, najverjetneje ob dislokacijah (intralamelarno izločanje), čeprav je jasno vidno že tudi interlamelarno izločanje (n.pr. pri X). Čeprav izločki niso bili direktno identificirani z elektronskim uklonom gre zelo verjetno za izločanje sekundarnega karbida  $\eta - \text{Fe}_2\text{C}$  z ortorombsko strukturo.<sup>5</sup>

Na sliki 4a je pokazan skupek karbidov I v vzorcu P 53 z lepo vidnimi strukturalnimi tvorbami v notranjosti. Slika 4b je ustrezna uklonska slika, posneta z dveh različno orientiranih izločkov  $I_1$  in  $I_2$ . Razpotegnjeni refleksi (streaks) pričajo, da vzporedne svetlo-temne proge v izločkih predstavljajo planarne napake, ki so lahko napake v zložitvi



Slika 3

Mikrostruktura vzorca P 53 ( $1^h/200\text{ }^\circ\text{C}$ ) z začetki interlamelnega (x) in intralamelnega (B) izločanja sekundarnih karbidov

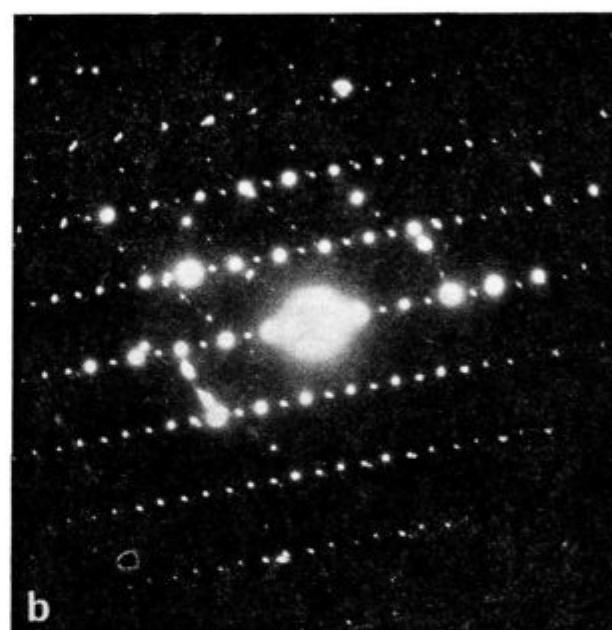
Fig. 3

The microstructure of the specimen P 53 ( $1^h/200\text{ }^\circ\text{C}$ ). Note the early stage of the inter- (x) and intralamellar (B) precipitation of the secondary carbides.

plasti (stacking faults) ali posledica regularne nestehiometrične zložitve atomov v določeni kristalografski ravnini (strižna struktura).

Iz slike 5a, ki predstavlja področje vzorca P 54 ( $1^h/250\text{ }^\circ\text{C}$ ), je razvidno, da so sekundarni izločki II tako v lamelah kot med njimi postali večji in redkejši. Na uklonski sliki (sl. 5b) iz tega področja so poleg refleksov  $K_1$  in  $K_2$ , ki pripadajo osnovi, vidni tudi znatno šibkejši refleksi ( $K'$ ), ki nastopajo ali v posameznih parih ali tvorijo nepopolne kroge. Medmrežne razdalje teh refleksov, ki so bile dobljene podobno kot v primeru izločkov I, so primerljive z medmrežnimi razdaljami cementita  $\text{Fe}_3\text{C}$  z ortorombsko strukturo (ASTM kartica 6-0688) in konstantami osnovne celice  $a = 4,5234\text{ \AA}$ ,  $b = 5,0883\text{ \AA}$ ,  $c = 6,7426\text{ \AA}$ . S pomočjo slik v temnem polju je bila ugotovljena zveza med izločki II na sliki 5a in šibkimi refleksi cementita na sliki 5b.

Iz slike 6, ki prikazuje področje vzorca P 55 ( $1^h/300\text{ }^\circ\text{C}$ ), je podobno kot v predhodnem primeru vidno povečanje sekundarnih karbidov. Poleg



Slika 4

(a) Skupek primarnih karbidov v vzorcu P 53 ( $1^h/200\text{ }^\circ\text{C}$ ) s pripadajočo uklonsko sliko (b)

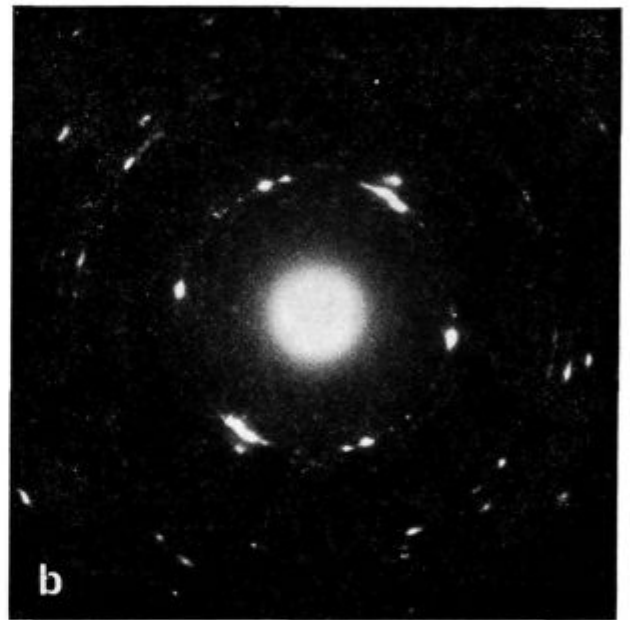
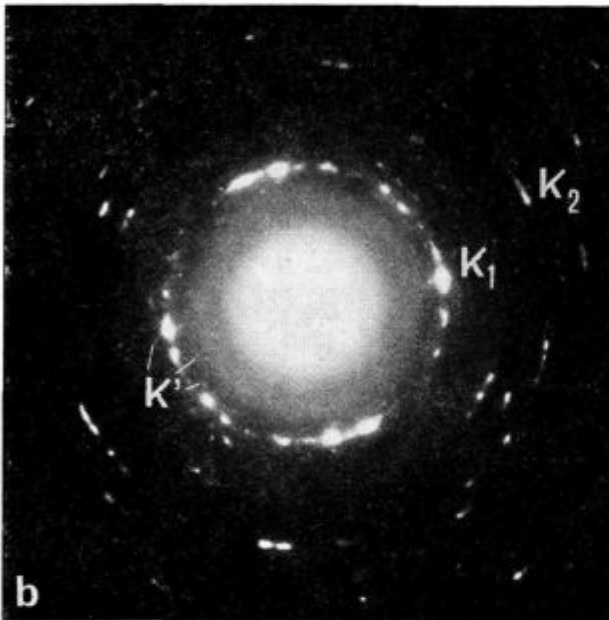
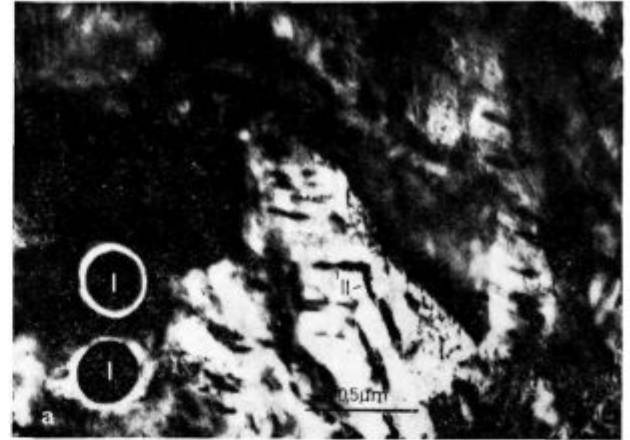
Fig. 4

(a) a cluster of primary carbides in the specimen P 53 ( $1^h/200\text{ }^\circ\text{C}$ ) with the corresponding diffraction pattern (b)

tega je, tako iz TEM posnetka kot iz uklonske slike razviden začetek preorientacije med lamelami, kar je pravzaprav presenetljivo z ozirom na relativno nizko temperaturo popuščanja ( $300\text{ }^\circ\text{C}$ ), saj je npr. znano,<sup>6</sup> da pride do omembe vrednega okrevanja strukturnih defektov šele med popuščanjem nad  $400\text{ }^\circ\text{C}$ , kar pa je seveda odvisno od vpliva dodanih elementov.

Na sliki 7a sta prikazani obe vrsti izločkov, veliki ovalni izločki primarnih karbidov I in igličasti oz. lameralni sekundarni karbidi II, v vzorcu P 58 ( $1^h/550\text{ }^\circ\text{C}$ ). Na sliki 7b sta prikazani dve skupini usmerjenih karbidov II, ki so nastali kot posledica interlamelnega izločanja. Meje med posameznimi lamelami so skoraj izginile, čeprav, kot je razvidno





Slika 5

(a) Primarni karbid (I) in sekundarni karbidi (II) v vzorcu P 54 ( $1^h/250^\circ\text{C}$ ). Na pripadajoči uklonski sliki so vidni cementitni refleksi (K')

Fig. 5

(a) The primary carbide (I) and the secondary carbides (II) in the specimen P 54 ( $1^h/250^\circ\text{C}$ ); In the corresponding diffraction pattern the cementite reflections (K') are visible.

iz uklonske slike, še vedno obstajajo manjše razlike v orientaciji med posameznimi področji (npr. skupina refleksov 011, ki ležijo na krogu  $K_1$ ; slika 7c). Iz slike 7c je tudi razvidno nadaljnje povečanje intenzitete cementitnih refleksov.

Na sliki 7d je prikazana uklonska slika z razmeroma velike monokristalne osnove z orientacijo  $\langle 111 \rangle$ , pri čemer so cementitni refleksi »zastrti«.

Slika 7e predstavlja uklonsko sliko s področja, ki je vsebovalo osnovo ( $K_1$ ,  $K_2$ ), izloček I (relativno močni regularni in superstrukturni refleksi) ter iz-

Slika 6

(a) Mikrostruktura vzorca P 55 ( $1^h/300^\circ\text{C}$ ). Sekundarni karbidi so večji in pripadajoči refleksi izrazitejši

Fig. 6

(a) The microstructure of the specimen P 55 ( $1^h/300^\circ\text{C}$ ). The secondary carbides are larger and the corresponding reflections (b) are more pronounced.

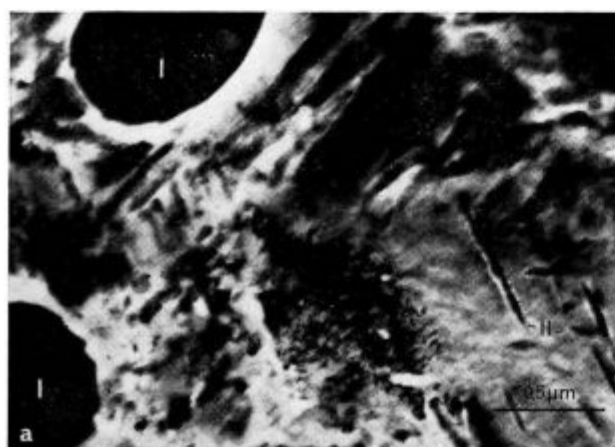
loček II (šibki, v glavnem neregularno razporejeni refleksi). Tudi v tem primeru je bilo možno regularne in superstrukturne reflekse pripisati kompleksnemu karbidu vrste I, oziroma ni bilo mogoče ugotoviti razlike v primeru s karbidom, ki je povzročil uklon, prikazan na sliki 2c, vzorec P 52).

Na levi strani slike 8a je prikazana končna faza sekundarnega izločanja. Podobno kot v prejšnjem primeru imajo karbidi obliko lamel (interlamelarni karbidi). Meje med posameznimi lamelami so iz-

ginile. Iz uklonske slike (slika 8b), ki je bila posneta v glavnem iz velikega karbida I, prikazanega na sliki 8a, je razvidno, da veliki karbid podobno kot v prejšnjem primeru, ni spremenil strukture in verjetno tudi sestave ne. Večina šibkih reflektov ustreza, podobno kot prej, cementitu oz. ortoromb-skemu karbidu  $M_3C$ . Poleg tega smo našli še dodatne šibke reflekse, katerim zaenkrat še ni bilo mogoče ugotoviti pripadnosti.

### GLAVNE UGOTOVITVE RAZISKAV

Rezultate pričujočih raziskav — v celoti je bilo narejenih 109 posnetkov (55 TEM in 54 ED) — je mogoče strniti v tele zaključke:



Slika 7

- (a) Primarni (I) in sekundarni karbidi (II) v vzorcu P 58 ( $1^b/550^\circ\text{C}$ )
- (b) Skupina vzporednih sekundarnih karbidov, ki so nastali kot posledica interlamelnarnega izločanja
- (c) Pripadajoča uklonska slika s cementitnimi refleksi
- (d) Uklonska slika osnove v orientaciji  $\langle 111 \rangle$  z »zastrtimi« cementitnimi refleksi
- (e) Uklonska slika primarnega karbida

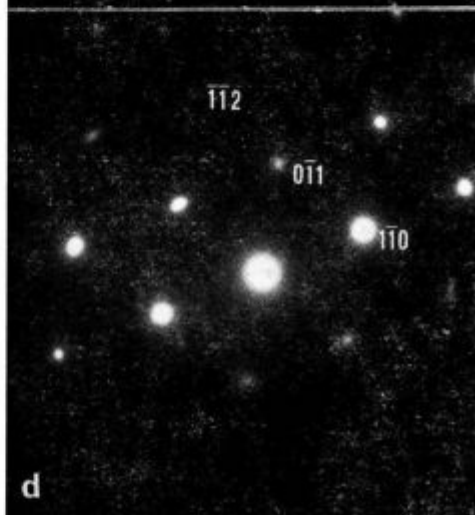
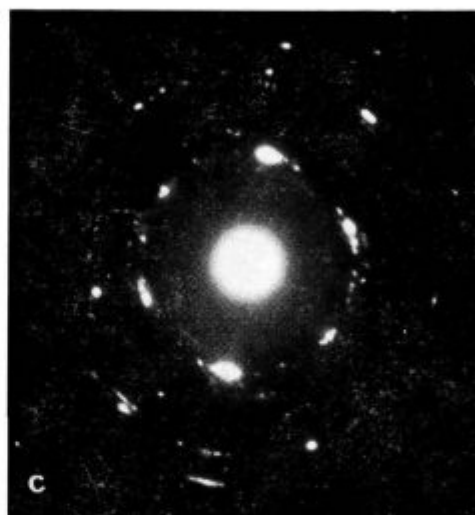


Fig. 7

- (a) The primary (I) and the secondary (II) carbides in the specimen P 58 ( $1^b/550^\circ\text{C}$ ).
- (b) a group of parallel secondary carbides formed as a consequence of interlamellar precipitation.
- (c) corresponding diffraction pattern containing cementite reflections.
- (d) diffraction pattern from the base in  $\langle 111 \rangle$  orientation with »veiled« cementite reflections.
- (e) diffraction pattern of the primary carbide.

— med postopnim popuščanjem kaljenih vzorcev pri višjih temperaturah je bil zaznan proces izločanja karbidov vrste  $M_3C$  (II — sekundarni karbidi);

— proces izločanja sekundarnih karbidov poteka v več stopnjah ( $\eta - Fe_2C \rightarrow Fe_3C \rightarrow M_3C(?)$  ali  $M_{3+x}C$ ) in je močno odvisen od mikrostrukturnih značilnosti kaljenih vzorcev;

— struktura in verjetno tudi sestava karbidov vrste  $M_7C_3$  (I — primarni karbidi) se med popuščanjem vzorcev pri višjih temperaturah ni znatno spremenila. Podrobneje je bilo analiziranih 9 posnetkov izločkov I ( $M_7C_3$ ) iz vzorcev P 52, P 53 in P 54 (nizke temperature) ter 11 posnetkov izločkov I iz P 58 in P 59 (visoke temperature);

— oblika primarnih karbidov (I) kaže, da ti karbidi nastajajo ali z normalnim izločanjem ter ostanejo nespremenjenih oblik (ovalni karbidi, veliki nekaj desetink mikrona) ali pa imajo zaradi značilnosti v tehnološkem procesu vroče predelave in toplotne obdelave nepravilne oblike (karbidi, veliki nekaj mikronov).

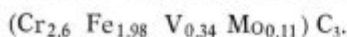
#### PRIMERJAVA Z REZULTATI OSTALIH RAZISKAV

V tabeli I so prikazani rezultati kemičnih analiz izolatov<sup>7</sup> treh vzorcev iz serije P. Tabela vsebuje samo tiste elemente, katerih koncentracije se spreminjajo v večjem obsegu, kot je natančnost določanja koncentracije. V zadnjem stolpiču je prikazano razmerje med številom kovinskih in številom ogljikovih atomov v izolatu (»povprečni karbid«). Iz tabele je razvidno, da to razmerje s toplotno obdelavo vzorcev pri višjih temperaturah narašča, in sicer na račun železovih atomov. Slednje je zelo verjetno posledica sekundarnega izločanja karbidov, tj. procesa, ki je bil zaznan s TEM in ED.

Tabela I: Kemijske analize izolatov

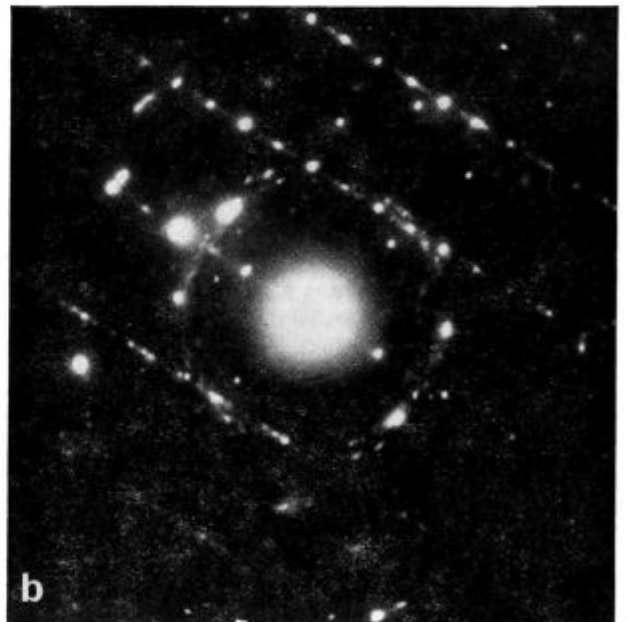
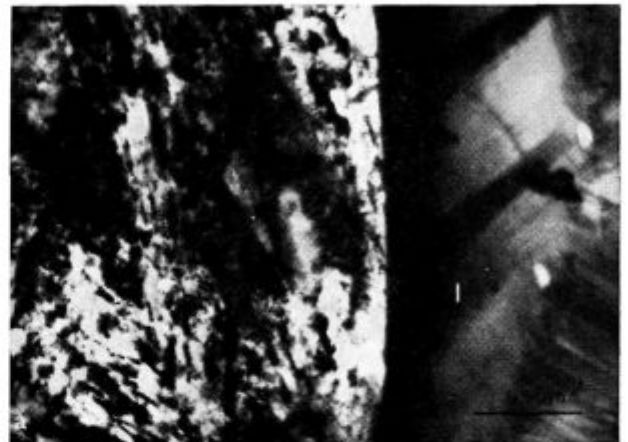
Vzorec	ut. % izol.	sestava izolata v %					R
		Fe	Cr	V	Mo	C	
P 51	13,0	31,5	38,4	5,05	3,04	10,2	1,68
P 53	13,7	34	41,5	5,17	2,72	10,4	1,77
P 58	16,6	38,6	37,2	4,28	2,46	8,53	2,13

Iz utežnega razmerja med posameznimi komponentami lahko napišemo atomsko sestavo »povprečnega« karbida v kaljenem vzorcu P 51 kot



Razmerje med posameznimi komponentami ( $N_{Fe} : N_V : N_{Mo} = 60 : 12 : 4$ ) presenetljivo ustreza razmerju med maksimalnimi topnostmi posameznih komponent v karbidu  $Cr_7C_3$ .<sup>3</sup>

Na sliki 9 so prikazani rezultati kvantitativne analize na elektronskem mikroanalizatorju.<sup>4</sup> Iz slike je razvidno, da tudi v tem primeru razmerje med komponentami ( $N_{Fe} : N_V : N_{Mo} = 60 : 12 : 4$ ) izredno dobro ustreza razmerju med maksimalnimi topnostmi omenjenih komponent v karbidu  $Cr_7C_3$ .<sup>3</sup>



Slika 8

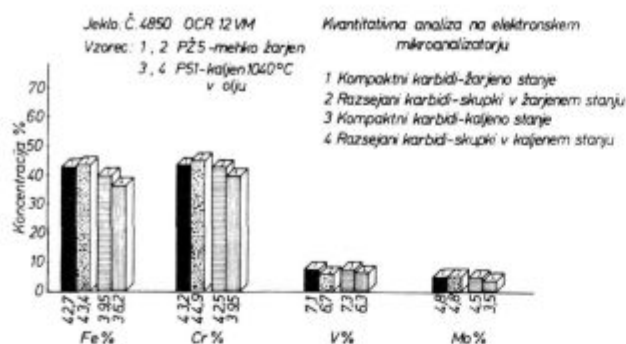
(a) Sekundarni karbidi (II) in primarni karbid (I) v vzorcu P 59 ( $1^b/600^\circ C$ ) s pripadajočo uklonsko sliko (b)

Fig. 8

(a) The secondary carbides (II) and the primary carbide (I) in the specimen P 59 ( $1^b/600^\circ C$ ) with the corresponding diffraction pattern (b).

Iz slike 9 je nadalje razvidno, da so med kompaktnimi karbidi in razsejanimi karbidi v kaljenem stanju razlike v sestavi minimalne!

Primerjava med 2 (žarjeno) in 4 (kaljeno) pove, da je v žarjenem stanju koncentracija železa in kroma v razsejanih karbidih večja kot v kaljenem stanju.



Slika 9

Kvantitativna analiza žarjenih in normalno kaljenih vzorcev jekla Č.4850-OCR 12 VM na elektronskem mikroanalizatorju

Fig. 9

A quantitative analysis of annealed and normally quenched specimens of the steel Č.4850-OCR 12 VM made on the electron microanalyzer.

To je lahko posledica izločanja sekundarnih karbidov ( $Fe_3C$ ), procesa, ki je bil zaznan z TEM in ED, čeprav vemo, da je pri analizi drobnih razsejanih karbidov zajete tudi nekaj več obdajajoče osnove, bogatejše z železom in kromom.

Omembe vredno dejstvo je, da z elektronskim mikroanalizatorjem niso bile ugotovljene bistvene razlike med kaljenim vzorcem (P 51) in vzorcem, ki je bil kaljen ter nato popuščan na 700 °C (P 60), čeprav so TEM raziskave nedvomno pokazale, da pride med naknadnim popuščanjem do intenzivnega izločanja karbidov ( $Fe_3C$ ).

V tabeli II so prikazane strukturne analize izolatov, dobljenih sicer na drugi vrsti vzorcev, vendar za jeklo s podobno sestavo.<sup>7</sup>

Tabela II: Strukturne analize izolatov.<sup>7</sup>

Vzorec	$M_7C_1$ (%)	$M_{23}C_6$ (%)	R
U 51	90	10	2,48
U 53	90	10	2,48
U 58	95	5	2,41

Razmerje med številom kovinskih in ogljikovih atomov (R) v zadnjem stolpiču kaže, v nasprotju s prej ugotovljenimi dejstvi (kemijske in elektronske analize), da pride med naknadnim popuščanjem pri višjih temperaturah do tvorbe karbidov, ki imajo v povprečju manj kovinskih atomov. Za razlago omenjenega dejstva bi bile potrebne dodatne, oz. podrobnejše informacije o strukturnih meritvah.\*

Naknadna strukturna analiza vzorcev P 51, P 53 in P 58 je pokazala enako razmerje med karbidi vrste  $M_7C_1$  in karbidi vrste  $M_{23}C_6$ , in sicer 9 : 1 v vseh treh vzorcih.

## NADALJNI PROGRAM

V dosedanjih raziskavah so bile vse preiskave omejene na vzorce ene vrste jekla, ki so bili vsi enako kaljeni in nato različno popuščani. Z ozirom na dokazan pomen teh raziskav in zanimive ugotovitve bomo pri spoznavanju mehanizmov sprememb v mikrostrukturi in njihovih vplivov na lastnosti orodnega jekla lahko precej pridobili, če bomo v nadaljnjem programu raziskali še vzorce, toplotno obdelane pri drugačnih pogojih. Predvsem bo zanimiva razširitev teh raziskav na žarjene vzorce, podkaljene in pregrete pri kaljenju ter ustrezno popuščane.

Poleg tega pa bo zanimiva dopolnitev tudi raziskava drugih jekel iz raziskovalnega projekta v primerjavi z orodnimi jekli na bazi 5 % kroma z variantami ogljika 1 % za delo v hladnem in 0,35 % za delo v vročem ob tipičnih dodatkih molibdena in vanadija.

Ob primerjavah teh jekel naj bi raziskali in medsebojno primerjali naslednja stanja:

- normalno kaljeno in nizko popuščano,
- normalno kaljeno in visoko popuščano,
- nizko kaljeno in nizko popuščano,
- visoko kaljeno in visoko popuščano,
- normalno kaljeno, nizko popuščano in lomljeno pri  $-50$  °C,
- normalno kaljeno, visoko popuščano in lomljeno pri  $+400$  °C.

Pri vseh teh pogojih se izvaja v okviru raziskovalnega projekta preizkušanje žilavosti, trdote in spremljajoče preiskave, ki bodo raziskave TEM in ED zelo koristno dopolnile.

## ZAKLJUČEK

Pričujoče raziskave so pokazale, da TEM predstavlja pravzaprav edino metodo, ki omogoča direktno in kompetentno spremljati proces izločanja sekundarnih karbidov (nekaj 100 Å široke in nekaj desetink mikrona dolge ploščice) med naknadnim segrevanjem kaljenih vzorcev. Nadalje je razvidno, da je proces izločanja sekundarnih karbidov odvisen od mikrostrukturnih značilnosti kaljenega vzorca (lamelarna zgradba primarnega martenzita, primarni karbidni izločki, itd.), kar ne-

### Opomba na koncu članka

Rezultati opisanih TEM in ED raziskav so plod sodelovanja med železarno Ravne in inštitutom Jožef Stefan v Ljubljani. Preiskave na elektronskem mikroskopu so bile izvršene v okviru raziskovalne naloge U-IL/NG-139 (F-303 SK), ki jo financira raziskovalna skupnost Slovenije. Pri raziskavah je sodeloval tudi abiturient D. Božić, praktikant na IJS, s tem da je pripravil odlične vzorce za TEM raziskave.

dvomno močno vpliva na mehanske lastnosti materiala. Posebej bi bilo potrebno proučiti nastanek in strukturo primarnih karbidnih izločkov.

Primerjava rezultatov, dobljenih z različnimi tehnikami, kaže, da lahko edino koordinirane raziskave, ki dopolnjujejo druga drugo, vodijo k uspešnemu študiju tako kompleksnega procesa, kot je utrjevanje materiala z izločanjem karbidov.

## Literatura

1. Kelly P. M., Nutting J., The Martensite Transformation in Carbon Steels, *Proceeding of Royal Society, (London) A 259* (1960) strani 45—58
2. Kurdjumov, G., Lyssak, L., The Application of Single Crystals to the Study of Tempered Martensite, *Journal of the Iron and Steel Institute (London) 156*, (1947) strani 29
3. Woodhead, J. H., Quarrel, A. G., Role of Carbides in Low-alloy Creep resisting Steels, *Journal of the Iron and Steel Institute (London) 203* (1965) strani 605—620
4. Rodič, J., Vodopivec, F., Ralič, B., Preiskave jekla Č.4850-OCR 12 VM na elektronskem mikroanalizatorju, *Železarski zbornik 10* (1976) št. 3, str. 145—156 (cit. 146)\*
5. Hirotsu, Y., Nagakura, S., Electron microscopy and Diffraction Study of the Carbide Precipitated at the First

Stage of Tempering of Martensitic Medium, *Japan Institute of Metals (OMACHI, SENDAI 980) 15* (1974) strani 129—134

6. Speich, G. R., Leslie, W. C., Tempering of Steel, *Metalurgical Transactions (New York) 3* (1972) stran 1043—1054
7. Lavrič, T., Grešovnik, F.: Študij izolacije karbidov iz orodnih jekel, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, naloga MI-371 in MI-424, december 1975 (lit. 161)\* in J. Rodič, pismo Ing. JRO/CP/V-74 z dne 21. 6. 1976.
- 101.\* J. Rodič in sodelavci: Kompleksne raziskave ledeburitnih orodnih jekel, Raziskovalni projekt Železarne Ravne R-7221.
- 135.\* J. Rodič in sodelavci: Razvoj metodike raziskav... visokolegiranih orodnih jekel ledeburitnega tipa — I. del, Poročilo Metalurškega inštituta in Železarne Ravne, naloga 237, september 1974.
- 144.\* J. Rodič: Praktične izkušnje pri raziskavah ledeburitnih orodnih jekel z uporabo kvantitativne metalografije, *Železarski zbornik 9* (1975) šte. 4, str. 217—238.
- 145.\* J. Rodič: Uporaba rastrske elektronske mikroskopije pri raziskavah ledeburitnih orodnih jekel, *Železarski zbornik 10* (1976) št. 3, str. 125—144.
- 155.\* J. Rodič, M. Pikalo: Primerjalne raziskave žilavosti ledeburitnih orodnih jekel z novo metodo Železarne Ravne, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani in Železarne Ravne — naloga MI-496, december 1976.

\* Oznake literature po dokumentaciji projekta raziskav ledeburitnih orodnih jekel in publikacijah s tega področja.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Anlassfekte bei den hochlegierten Werkzeugstählen sind mittels der Durchstrahlungselektronenmikroskopie (TEM) und der Elektronenbeugung (ED) untersucht worden. Das Anlassen bei niedrigen Temperaturen (1 Stunde bei der Temperatur von 100 bis 200° C) hat eine Ausscheidung von sehr feinen Karbiden (~100 Å) verursacht, welche am Anfang sehr schlecht definierte Form und Gefüge haben. In der Endstufe (1 Stunde bei 550 bzw. 600° C) sind diese in Form von 500 bis 1000 Å dicken und

rund 0,5 µm langen Lamellen mit einem orthorhombischen Gefüge des Fe<sub>3</sub>C vorhanden. Neben dem ist es auch festgestellt worden, dass sich das Gefüge und die Zusammensetzung der primären Karbide der Reihe Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> mit einer ungefähren Zusammensetzung Cr<sub>2,6</sub>Fe<sub>1,98</sub>V<sub>0,34</sub>Mo<sub>0,11</sub>)C<sub>3</sub>, während des Anlassens nicht wesentlich verändert hat. Die erhaltenen Ergebnisse sind mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen der Eigenschaften, der chemischen Zusammensetzung, und der röntgenographischen Gefügeanalyse verglichen worden.

## SUMMARY

The annealing effects in high-alloyed tool steels have been studied by TEM and ED. Annealing at low temperatures (1 hour at temperatures 100 and 200° C) resulted in formation of very small carbides (~100 Å) of ill-defined shape and structure, while during annealing at high temperatures (1 hour at 550° C or 600° C) approximately 500—1000 Å thick and 0,5 µm long lamellae of orthorhombic

Fe<sub>3</sub>C were formed. Besides, it has been found that the structure and the composition of the so-called primary carbides with the composition (Cr<sub>2,6</sub>Fe<sub>1,98</sub>V<sub>0,34</sub>Mo<sub>0,11</sub>)C<sub>3</sub> and the structure type of Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> have not changed essentially during the annealing. The obtained results were compared with the investigated mechanical properties, with the chemical composition, and the X-ray structure analysis.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффекты снятия напряжения были исследованы на высоколегированных инструментальных сталях методом трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) и методом девиации электронов (ЭД). Снятие напряжения при низких температурах (один час при 100 и 200° Ц) были причиной выделения очень мелких карбидов (~100 Å), толщиной прибл. 0,5 µm длинных ламель с орторомбической структурой Fe<sub>3</sub>C.

Кроме этого также установлено, что структура и состав первичных карбидов вида Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> формулы прибл.

(Cr<sub>2,6</sub>Fe<sub>1,98</sub>V<sub>0,34</sub>Mo<sub>0,11</sub>)C<sub>3</sub> во время снятия напряжения существенно не изменилась. Полученные результаты были сравнены с результатами анализа химического состава и рентгеновским структурным анализом.



## Tehnične novice

### Nova orodna jekla za delo v hladnem Č4754 (CRV) in Č4755 (CRV-2) v proizvodnem programu Železarne Ravne

Pšeničnik Jože, Rodič Jože

V smislu koncepta o čimvečji finalizaciji proizvodnje in izboljšanja kakovosti proizvodov smo se v železarni Ravne lotili razvoja proizvodnega programa na osnovi sistematičnih raziskav orodnih jekel za delo v hladnem. Rezultati tega dela so razni predlogi izboljšav o načinih toplotne obdelave, načinih preizkušanja legiranih orodnih jekel kakor tudi dopolnitve proizvodnega programa z novimi legiranimi jekli, saj nekatere klasične vrste jekel ne zagotavljajo več izpolnjevanja kakovostnih zahtev in delovne kapacitete orodij.

Razširjeno skupino ledeburitnih orodnih jekel znanegega tipa OCR-12 smo dopolnili z jeklom, ki ima nižjo vsebnost ogljika in kroma ter povečano vsebnost molibdena. To jeklo je dobilo oznako Č 4754 (CRV), nadaljnja varianta v nakazani smeri pa je jeklo Č 4755 (CRV-2). To jeklo ima še nižjo vsebnost ogljika in kroma, še večji dodatek molibdena, poleg tega pa še nekaj več kot 1% volframa. Druge dopolnitve proizvodnega programa orodnih jekel smo v tehničnih novicah že predstavili. Najbližje obravnavani skupini je jeklo Č 4756 — OA 2.

Ta nova orodna jekla uporabljamo povsod tam, kjer z drugimi klasičnimi tipi jekel za delo v hladnem ali z ledeburitnimi orodnimi jekli skupine OCR-12 nismo več zadovoljni v pogledu kombinacije obrabne obstojnosti, žilavosti in odpornosti proti udarcem.

Z izgradnjo tovarne orodij v železarni Ravne v letu 1973 so se na tem področju odprle nove možnosti uporabe teh jekel v lastni proizvodnji strojnih nožev, ki so ob istovrstni uporabi vzpodbudile razširjene raziskave o lastnostih teh jekel.

Z otvoritvijo novega obrata za proizvodnjo orodij sovpada v tem razvoju tudi uvedba proizvodnje specialnih jekel po najmodernejšem jeklarskem postopku električnega pretaljevanja pod žlindro s posebnimi strukturnimi in tehnološkimi lastnostmi. Ta postopek omogoča doseganje bistveno boljše čistoče in posebne izboljšave makro- in mikrostrukture, kar ima izredno pomemben vpliv na lastnosti orodij.

Ta jekla smo v prvi fazi proijvajali za potrebe lastne finalizacije, sedaj pa so že vključena v redno proizvodnjo. Za ta jekla prodajna služba že normalno sprejema naročila in nudimo vse normalne kakovostne garancije.

#### STANDARDNE KARAKTERISTIKE IN OSNOVNI PODATKI ZA UPORABO JEKEL Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2

Smerna kemijska sestava v %

Oznaka jekla Z. R. JUS	C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V
Č 4754 CRV	1,0	0,50	0,30	10,0	—	1,1	0,25
Č 4755 CRV-2	0,53	0,90	0,40	8,50	1,15	1,35	0,10

Tip jekla:

Jeklo Č 4754 (CRV) je plenito visoko legirano Cr — Mo — V orodno jeklo za kaljenje na zraku na bazi 10% Cr z

visoko vsebnostjo ogljika, namenjeno predvsem za delo v hladnem stanju, kjer se zahteva visoka obrabna obstojnost, žilavost in obnem odpornost proti udarcem.

Č 4755 (CRV-2) je plemenito visoko legirano Cr — Mo — W — V jeklo za kaljenje v olju in na zraku na bazi 8% Cr z znižamo vsebnostjo ogljika in dodatkom W in Mo.

To jeklo je namenjeno za delo v hladnem povsod tam, kjer zaradi visokih zahtev žilavosti in odpornosti proti udarcem ledeburitna visoko legirana jekla tipa OCR-12 ne ustrezajo kvalitetnim zahtevam kombinacije obrabna obstojnost — žilavost — odpornost proti udarcem.

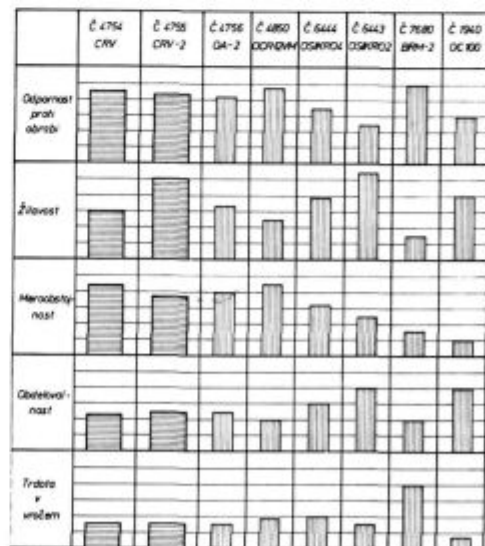
Značilnosti in osnove lastnosti:

Za jekli Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2 so značilne naslednje lastnosti:

- odlična odpornost proti obrabi,
- odlična žilavost,
- odlična odpornost proti udarcem,
- odlična rezna sposobnost,
- velika popuščna obstojnost,
- dobra meroobstojnost,
- nekoliko slabša obdelovalnost v žarjenem stanju,
- slabša sposobnost za brušenje.

Primerjava lastnosti:

Če primerjamo glavne lastnosti obeh obravnavanih vrst jekel z lastnostmi drugih vrst poznanih orodnih jekel (na sliki 1), bomo prav lahko ugotovili, kdaj se bomo odločili za izbiro enega od teh jekel.



Slika 1

Primerjava lastnosti jekel Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2 z drugimi znanimi vrstami orodnih jekel

Jeklo Č 4755 — CRV-2 ima npr. prednost pred ledeburitnimi orodnimi jekli tipa OCR-12 takrat, kadar z žilavostjo teh jekel nismo povsem zadovoljni, posebno še, če so orodja obremenjena na udarce.

#### Področje uporabe:

Izbira jekel Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2 je zaradi kombinacije obrabna obstojnost — žilavost — odpornost proti udarcem priporočljiva predvsem v primerih, ko se zahteva odlična obrabna obstojnost, a klasična obrabna obstojna jekla ne ustrezajo zaradi udarnih obremenitev. Če temu prištetemo še kaljivost, zanesljivost pri kaljenju in meroobstojnost, je pomen teh jekel za izdelavo zahtevnih in kompliciranih orodij jasen. Posebnega pomena je še možnost kaljenja na zraku. Kaljenja na zraku se poslužujemo pri jeklu Č 4754 — CRV, pri jeklu Č 4755 — CRV-2 pa samo izjemno, kar je za tega bolj priporočljivo kaljenje v olju, posebno pri večjih presekih.

Popuščna obstojnost obeh je zelo ugodna glede na področje uporabnosti in značilnosti toplotne obdelave.

Iz teh jekel izdelujemo vse vrste strojnih nožev visoke kakovosti za celulozno in lesno industrijo, razne skobelne in frezalne glave in zelo obremenjena frezala v lesni industriji, ravnalne in oblikovalne valje in podobno. Na tem področju poznamo izkušnje, prepričani pa smo, da lahko pričakujemo dobre rezultate na številnih drugih področjih uporabe, saj smo jekla s takimi lastnostmi dolgo pogrešali. Poznamo tudi uspešno uporabo teh jekel za izdelavo ploščatih in okroglih nožev za hladno rezanje pločevine, debeline 5—15 mm.

Zaradi odlične meroobstojnosti se obe vrsti jekla uporabljata tudi za izdelavo raznovrstnih merilnih orodij.

#### TIPIZACIJA

Obe obravnavani vrsti jekla sta novi in se na domačem tržišču šele uveljavljata, zato sta seveda »netipizirani«. Glede na dosedanje izkušnje pa jima lahko pripisujemo dobre perspektive pri uveljavljanju na širokem področju uporabe za izdelavo orodij, ki se uporabljajo za delo v hladnem.

#### VROČA PREDELAVA

Normalno območje vroče predelave je 1050—900 °C. Pri ogrevanju in zadrževanju na temperaturi pred vročo predelavo je treba upoštevati nagnjenost teh jekel k razogljčenju in potrebno ukrepati za zaščito.

Zaradi kaljivosti na zraku je občutljivost teh jekel pri ohlajanju po končani vroči predelavi razumljiva. Zelo nevarno je izpostavljanje prepihu in vlagi. Zagotoviti je treba dovolj počasno ohlajanje v peči ali pa v primernih izolacijskih sredstvih.

Preoblikovalna sposobnost teh jekel pri plastični predelavi v vročem že zaradi osnovnih značilnosti sestave ni najboljša in je zato potrebno precej izkušenj za uspešno predelavo.

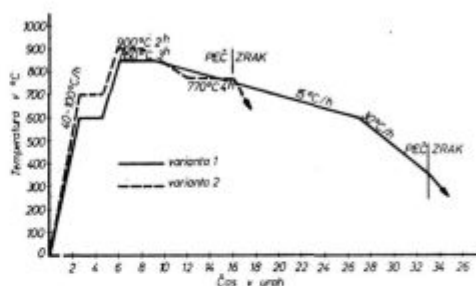
Ingoti, izdelani po EPŽ postopku, imajo precej boljše sposobnosti za plastično preoblikovanje v vročem, zato EPŽ izvedbi poleg vseh drugih prednosti pripisujemo tudi s tega stališča velik pomen.

Za doseganje dobrih osnovnih lastnosti ima končna temperatura vroče predelave velik pomen in naj bo čim bližja spodnji temperaturi predpisanega območja, vendar ne nižja od 900 °C. Po končani vroči predelavi je treba ta jekla čimprej žariti.

#### MEHKO ŽARJENJE

Ogrevanje za žarjenje mora biti počasno, po možnosti stopenjsko. Hitrost ogrevanja do temperature žarjenja se giblje od 40—100 °C/h, kar je odvisno od količine in oblike vložka. Za mehko žarjenje jekla Č 4754 — CRV se uporabljata dve varianti, prikazani na sliki 2.

Prva varianta predstavlja klasičen postopek žarjenja. Temperatura mehkega žarjenja je 840—870 °C. Čas držanja na temperaturi naj bo ca. 3 ure. Hitrost ohlajanja po kon-



Slika 2

#### Diagram žarjenja jekla Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2

čanem zadrževanju na temperaturi mehkega žarjenja, predvsem v območju 800—650 °C, ne sme presegati 15 °C/h. Nadaljnje ohlajanje je lahko hitrejše.

Druga varianta je priporočljiva predvsem takrat, kadar je po vroči predelavi zaželen prekristalizacija. Jeklo ogrejemo v avstenitno območje ca. 900 °C, ga na tej temperaturi zadržimo ca. 2 uri in nato ohladimo na 770 °C. Na tej temperaturi ga držimo ca. 4 ure in nato ohladimo na zraku.

Žarjenje jekla Č 4755 — CRV-2 je podobno. Hitrost ohlajanja po končanem zadrževanju na temperaturi mehkega žarjenja je zaradi nižje vrednosti ogljika lahko nekoliko večja, vendar ne sme presegati 20 °C/h do temperature 600 °C. Nadaljnje ohlajanje je lahko hitrejše.

Pri obeh vrstah jekla je potrebno pri žarjenju zagotoviti ustrezno varovanje proti prekomernemu razogljčenju površine.

#### Trdota:

Trdota jekel Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2 v žarjenem stanju je maks. 250 HB.

#### Obdelovalnost:

V žarjenem stanju se obe vrsti jekla zaradi visoke legirne sestave nekoliko težje obdelujeta.

#### ŽARJENJE ZA ODPRAVO NOTRANJIH NAPETOSTI

Žarjenje za odpravo notranjih napetosti se izvaja v temperaturnem območju 600—700 °C z zadrževanjem na temperaturi najmanj 1 uro. Pri večjih debelinah nad 25 mm se na vsakih 25 mm povečanja debeline čas držanja na temperaturi podaljša za 1 uro. Ohlajanje se izvaja počasi v peči do 500 °C, dalje pa na mirnem zraku.

Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja po grobi mehanski obdelavi. Nujno potrebno je pri vseh orodjih, kjer so preseki na raznih delih orodja zelo različni. Velik pomen ima to žarjenje pri orodjih, ki se pred končno toplotno obdelavo močno ravnajo.

Pri žarjenju za odpravo napetosti ni potrebna posebna zaščita proti razogljčenju.

#### Kaljenje:

Normalno območje temperatur kaljenja je 1000 do 1020 °C v olju ali 1020—1040 °C na zraku. S časom zadrževanja na kalilni temperaturi moramo tako kot pri ledeburitnih orodnih jeklih zagotoviti zadostno raztapljanje karbidov v avstenitu.

Za večino orodij je najboljša temperatura kaljenja 1020 °C. Za orodja do debeline ca. 80 mm se ohlajanje izvaja na mirnem zraku ali pa v rahlem pišu suhega zraka. Za debeljša orodja pa je potrebno kaljenje v olju.

Uporablja se tudi kaljenje v termalni kopeli na ca. 550 °C za izenačitev temperature, nakar sledi ohladitev na zraku.

Pri ogrevanju na temperaturo avstenitizacije zelo priporočamo dobro predogrevanje v območju 800—850 °C, ker se s tem doseže boljše enakomernost temperature po pre-



seku na temperaturi kaljenja, kar v precej zmanjša stopnjo deformiranja orodij pri kaljenju. Na temperaturi predgrevanja zadržujemo orodje približno 1 uro na vsakih 25 mm debeline preseka. Že na temperaturi predgrevanja je treba poskrbeti za ustrezno zaščito proti zarogličjenju, še bolj pomembno pa je to pri nadaljnjem ogrevanju in zadrževanju na temperaturi kaljenja. Priporočljiva je varovalna atmosfera v peči z najmanj 10 % CO ali pa varovalno pakiranje orodij.

Pri kaljenju večjih kosov priporočamo izbiro temperature kaljenja bližje spodnji meji predpisanega območja, ker se s tem zmanjša količina zadržanega avstenita v jeklu po kaljenju. Ta je namreč zelo odvisna od temperature avstenitizacije in od časa držanja na kalilni temperaturi.

Za manjša ali tanjša orodja priporočamo ogrevanje na kalilno temperaturo v solni kopeli na bazi 70–90 % BaCl<sub>2</sub> in 30–10 % NaCl.

#### Trdota po kaljenju:

Orodja debeline do 50 mm dosežejo po kaljenju na zraku povprečno trdoto 59–62 HRC in prekalijo skoraj po celem preseku. Pri kaljenju v olju je običajno trdota nekoliko višja 59–63 HRC.

Orodja večjih debelin dosežajo pri kaljenju na zraku že nekoliko nižje trdote in imajo med trdoto na površini in v sredini precejšnje razlike. Zato priporočamo kaljenje v olju, vendar je izbira ohlajevalnega sredstva odvisna tudi od oblike orodja.

#### Popuščanje:

Uporabno območje temperature popuščanja je 150–550 °C. Največkrat popuščamo jekli Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2 na temperaturi 150–250 °C. Raziskave so pokazale, da je ravno v tem področju najboljša žilavost. Če pa zahtevamo od orodja boljšo popuščno obstojnost, pa popuščamo pri temperaturah 400–550 °C.

Popuščanje se mora izvršiti takoj po kaljenju, še preden doseže jeklo sobno temperaturo. Najprimernejše je prenesti orodje na popuščanje, ko doseže po kaljenju temperaturo 50–60 °C. Pri višjih temperaturah popuščanja je priporočljivo dvakratno popuščanje, kar pa zadošča, če je pravilno izvedeno. Čas popuščanja na temperaturi naj bo ca. 1 uro za vsakih 25 mm debeline, vendar tudi pri najtanjših kosih nikoli manj kot 1 uro.

Jekli Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2 imata izražen efekt sekundarne trdote pri popuščanju, ki je tem močnejši, čim višja je temperatura kaljenja. Pri kaljenju v olju je efekt sekundarne trdote močnejši kot pri kaljenju na zraku. Zaradi efekta sekundarne trdote lahko izberemo razmeroma visoke temperature popuščanja posebno takrat, kadar orodja dodatno nitriramo.

Diagrami popuščanja prikazujejo odvisnost trdote od temperature kaljenja in temperature popuščanja za kaljenje na zraku in v olju (sl. 3, 4, 5 in 6).

#### Delovne trdote orodij:

Večina orodij iz teh vrst jekel ima delovno trdoto v mejah 50–62 HRC.

Zahtevana trdota je odvisna predvsem od namena orodja. Tako pri nožih, ki so izpostavljeni maksimalni obrabi, medtem ko žilavost ni pomembna, težimo k maksimalnim trdotam. Pri drugih orodjih, kjer je potrebna večja žilavost, le-to prilagodimo s popuščanjem.

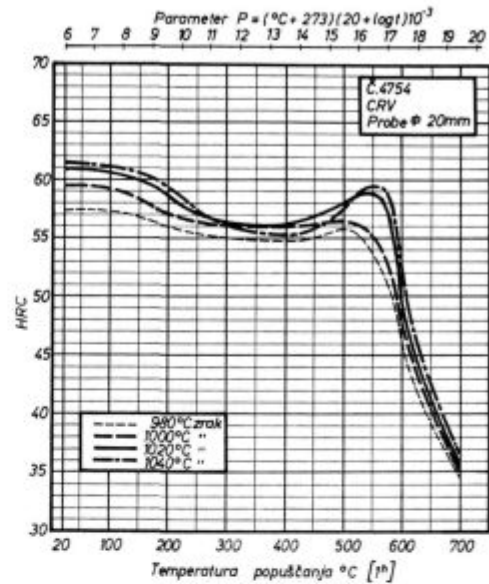
Oblikovalni valji imajo trdoto v mejah 58–62 HRC.

Pri nekaterih večjih orodjih za ravnanje in upogibanje zadošča delovna trdota 56–58 HRC.

Orodja za industrijo umetnih mas imajo običajno trdoto 58–60 HRC.

Orodja, namenjena za delo v vročem, imajo največkrat trdoto od 50–55 HRC.

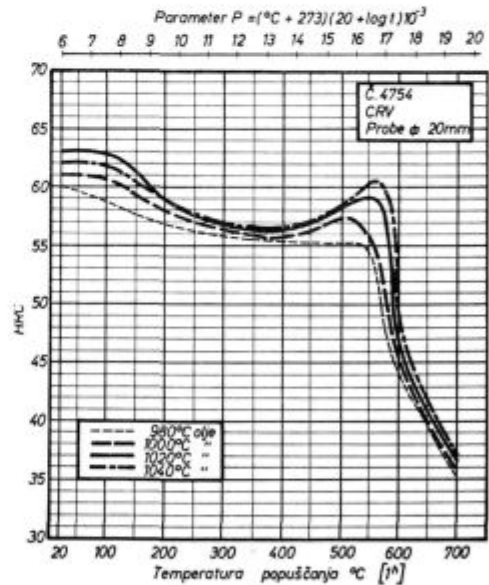
Smerna kemijska sestava	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %
	1,0	0,5	0,3	10,1	1	0,25



Slika 3

Vpliv kalilne temperature na popuščno obstojnost jekla Č 4754 — CRV, kaljenega na zraku

Smerna kemijska sestava	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	W %
	1,0	0,5	0,3	10,1	1	0,25



Slika 4

Vpliv kalilne temperature na popuščno obstojnost jekla Č 4754 — CRV, kaljenega v olju

Za orientacijo, oziroma pravilno izbiro odnosa trdota — udarna žilavost podajamo primerjalni diagram odvisnosti udarne žilavosti od temperature popuščanja pri normalni temperaturi kaljenja v olju za nekatera jekla (slika 7).

#### NITRIRANJE

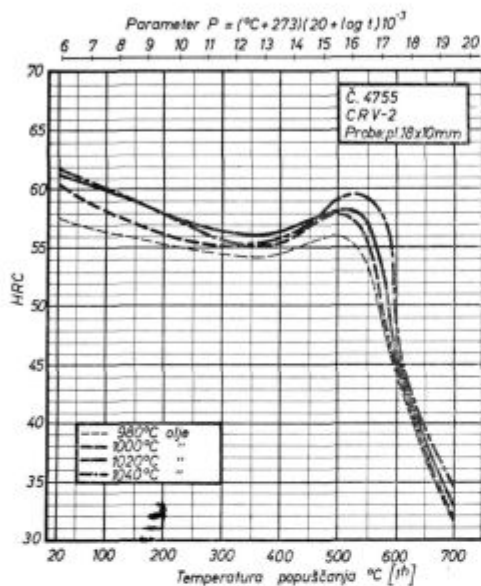
Jekli Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2 sta v splošnem zelo primerni za nitriranje. Če nameravamo orodje nitrirati po tenifer postopku, priporočamo kaljenje z višje temperature. Jeklo moramo namreč popuščati na temperaturo,

ki je višja od temperature nitriranja ali vsaj njej enaka, pri tem pa ne želimo trdote preveč znižati.

Največkrat v takih primerih kalimo jekli Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2 s temperature 1080 °C, kar si v večini primerov lahko privoščimo. Če uporabimo nitriranje, želimo vsekakor doseči predvsem maksimalno odpornost proti obrabi in lahko na račun zmanjšanja žilavosti zvišamo temperaturo kaljenja.

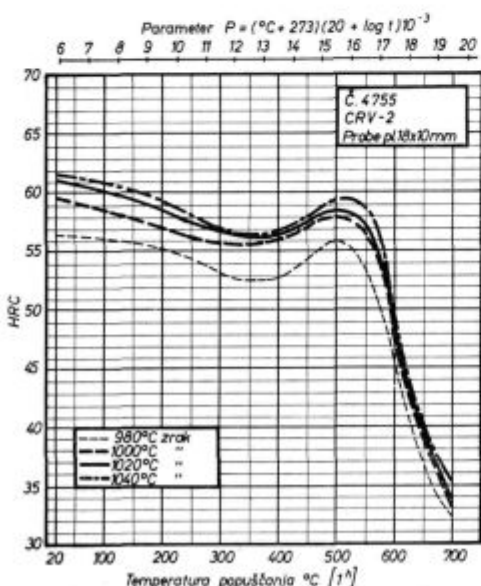
Če nameravamo jeklo plinsko nitrirati, ga popuščamo na ca. 540 °C, če pa ga nameravamo nitrirati po tenifer postopku, ga popuščamo na ca. 570 °C.

Smerna kemijska sestava	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	W %
	0,53	0,90	0,40	8,50	1,35	1,15

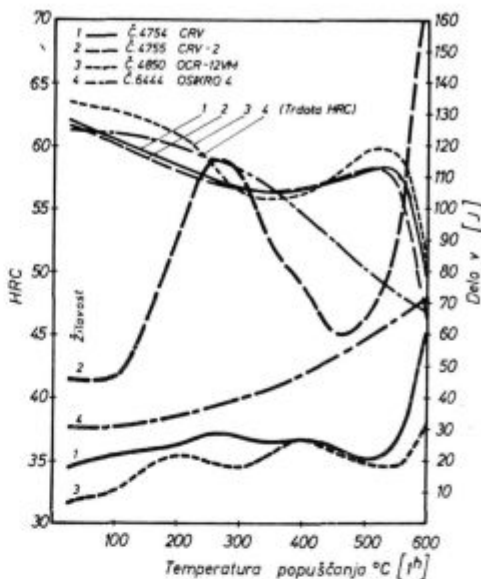


Slika 5 Vpliv kalilne temperature na popuščeno obstojnost jekla Č 4755 — CRV-2, kaljenega na zraku

Smerna kemijska sestava	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	W %
	0,53	0,90	0,40	8,50	1,35	1,15



Slika 6 Vpliv kalilne temperature na popuščeno obstojnost jekla Č 4755 — CRV-2, kaljenega v olju



Slika 7 Vpliv temperature popuščenja na trdoto in vzdolžno žilavost

Pri plinskem nitriranju na 520 °C 15 ur pričakujemo nitrirno trdo plast debeline ca. 0,12 mm. Jedro orodja ima pri tem trdoto 54—57 HRC, površina pa 900—1100 HV. Nitriranje v cianidni kopeli daje tanjšo nitrirano plast, površinski sloj pa je bolj krhek kot pri nitriranju v plinu.

**Podhlajevanje:**

Normalna ohladitev s kalilne temperature podhlajevanje do —50 °C ali nižje zagotavlja popolnejši razpad avstenita. Pri takem poizkusu se doseže trdota za dva do tri HRC višje kot pri običajnem kaljenju in povečanje dimenzij povprečno za 0,003 mm/mm. Nadaljnje popuščenje na 150—200 °C zniža trdote na vrednosti normalnega kaljenja v olju. Vnekaterih primerih uporabe je tak postopek, ki daje maksimalno trdoto in minimalno vsebnost zadržanega avstenita, je zelo pomemben. Podhlajevanje po predhodnem popuščenju ima pri teh jeklih mnogo manjši učinek.

Podhladitev na —70 °C omogoča minimalno vsebnost zaostalega avstenita, nižje podhladitve pa so glede praktičnega učinka neutemeljene.

**Mehanske lastnosti:**

Zaradi uporabe teh jekel smo od mehanskih lastnosti preizkušali le žilavost. Za preizkušanje žilavosti so bile uporabljeni preizkušanci 10 mm × 10 mm × 55 mm, ki imajo v sredini oslabitev za 1 mm s polmerom 10 mm.

Na sliki 8 je podana primerjava vzdolžne in prečne žilavosti za jekli Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2.

**Metalografija jekel Č 4754 — CRV in Č 4755 — CRV-2:**

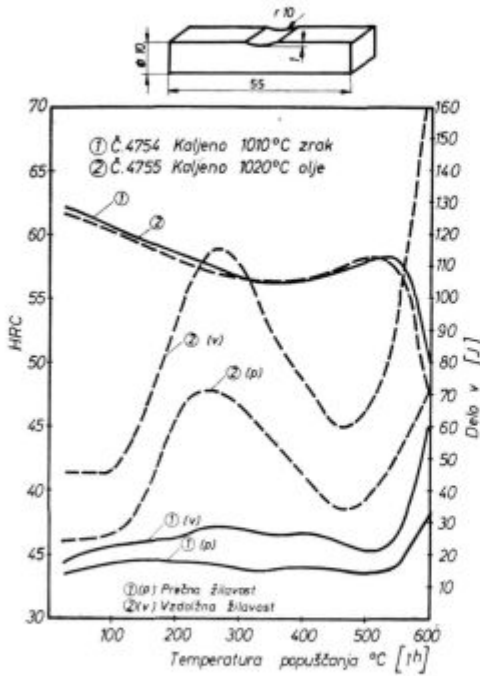
Po lastnostih sta si obe jekli zelo podobni, po strukturi pa sta to dva različna tipa jekel.

Jeklo Č 4754 — CRV spada v skupino ledeburitnih orodnih jekel. Struktura po žarjenju je enakomerno sferoidizirana, sestavljena iz perlita in evtektičnih karbidov.

Po kaljenju so v strukturi tega jekla martenzit, zaostali avstenit in karbidi.

Jeklo Č 4755 — CRV-2 spada v skupino nadevtektoidnih orodnih jekel. Struktura po žarjenju je enakomerno sferoidizirani kroglični perlit iz zločenimi posebnimi karbidi.

Po kaljenju so v strukturi tega jekla martenzit, zaostali avstenit in karbidi.



Slika 8

Vpliv temperature popuščenja na trdoto, vzdolžno in prečno žilavost za jekli C 4754 — CRV in C 4755 — CRV-2

Premenske točke:

Ohlajanje 2,5 °C/min. Ogrevanje 2,5 °C/min.

	Ac začetek	Ar začetek
C.4754 — CRV	807 °C	732 °C
	Ac konec 847 °C	Ar konec 696 °C
C.4755 — CRV-2	825 °C	770 °C
	Ac konec 880 °C	Ar konec 730 °C

### ZAKLJUČKI

Namen te publikacije je bil, da podamo informacijo o dosedanjih raziskavah novih jekel C 4754 — CRV in C 4755 — CRV-2, ki sicer še niso zaključene, dovoljujejo pa že presojo kakovosti lastnosti teh jekel v zvezi s področji uporabnosti.

Podani so rezultati preiskav osnovnih lastnosti, katere pa bo treba dopolniti in povezati z informacijami o obnašanju teh jekel pri praktični uporabi.

### Literatura

1. Roberts — Hamaker — Johnson: Tool Steels — 1962, Metals Park.
2. Vizjak F., J. Rodič, J. Gnamuš: Osvajanje jekla CRV, interna raziskovalna naloga O-6704 — Železarna Ravne.
3. Vizjak F., R. Pori, R. Hovnik, J. Gnamuš: Osvajanje jekla CRV-2, interna raziskovalna naloga O-7303 — Železarna Ravne.
4. Pšeničnik J.: Osvajanje jekla OCR-12 VM, interna raziskovalna naloga O-7003 — Železarna Ravne.
5. Rodič J.: Osvajanje jekla AO-2, interna raziskovalna naloga O-7302 — Železarna Ravne.



# Nova železonosna sekundarna surovina iz predelave odpadnega ferosulfata — heptahidrata

B. Zalar, V. Ružič

Iz nove proizvodnje titanovega belila v Celju se kot stranski produkt pridobi letno približno 60.000 t odpadnega ferosulfata — heptahidrata, ki vsebuje še okoli 40 % vlage. Ta material je do sedaj predstavljal problem, kot ga predstavljajo vsi industrijski odpadki za posamezne organizacije združenega dela in celotno družbo.

Tabela 1: Kemijska analiza industrijsko posušenega surovega ferosulfata — heptahidrata v monohidrat

Vsebina v % <sup>1</sup>		Vsebina v % <sup>1</sup>	
Fe <sub>tot</sub>	27,5 — 30,5	Co	0,0047 (0,0052)
Cu	<b>0,001 (0,40)</b>	Cr	0,001 (0,005)
Zn	<b>0,043 (0,85)</b>	Ca(CaO)	0,002 (0,5)
Pb	0,0015 (0,10)	Mg(MgO)	0,056 (0,17)
Sb	0,001 (0,01)	Al(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	<b>0,002 (0,32)</b>
Sn	0,004 (0,001)	SiO <sub>2</sub>	<b>0,02 (5,3)</b>
As	<b>0,0013 (0,18)</b>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,003 (0,025)
Cd	0,0002 (0,0002)	TiO <sub>2</sub>	0,085 (0,025)
Mn	0,26 (0,015)	S <sub>tot</sub>	15,8 (1,00)
Ni	0,0025 (0,002)		

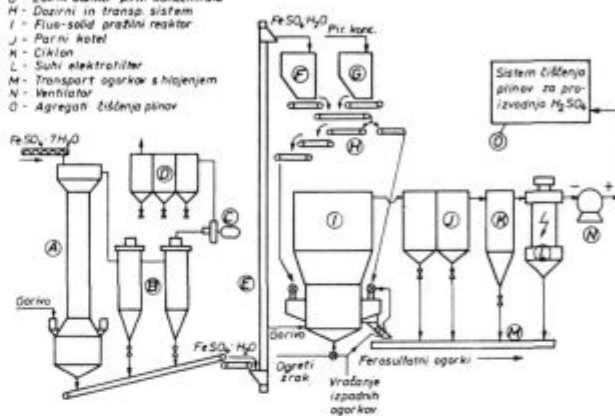
1 Vrednosti v oklepajih veljajo za piritne ogorke v Celju

V tabeli 1 je navedena kemijska analiza industrijsko posušenega ferosulfata (do približno FeSO<sub>4</sub> · 1,2 H<sub>2</sub>O). Iz vsebnosti oligoelementov, predvsem Cu, Zn in As ter nekaterih jalovinskih spojin vidimo, v primerjavi s sicer običajnimi piritnimi ogorki iz Celja, da bi lahko tudi ta odpadni material uporabili kot sekundarno surovino za proizvodnjo železa. Problem je le v že omenjeni vsebnosti vlage v surovih odpadkih in v prisotnosti visokega % žvepla.

Čeprav obstajajo različne možnosti predelave ferosulfata v kemijski industriji, so v Cinkarni realizirali specifični način, pri katerem je po odstranitvi vlage s sušenjem osnovni cilj izkoristiti žveplo za proizvodnjo žveplene kisline in izkoristiti Fe-substanco za proizvodnjo železa ali jekla.

Osnovno shemo posameznih industrijskih agregatov prikazujemo na sl. 1. Posebej opozarjamo na novo uvedeni industrijski agregat za sušenje surovega ferosulfata, ki je eden izmed prvih uvedenih v običajnih sklopih agregatov za proizvodnjo žveplene kisline. Proces sušenja poteka v sušilnem stolpu po protitočnem principu, ker je samo s takšnim načinom možno dobiti posušeni ferosulfat v zrnatih obliki, kakršnega zahteva nadaljnji proces praženja v fluo-solid pražilnem reaktorju. Poraba toplotne energije je re-

- A - Agregat za sušenje
- B - Ciklon
- C - Ekshavator
- D - Obdelovanje sušenih pirov
- E - Elevator
- F - Zbirni bunker posuš. ferosulfata
- G - Zbirni bunker pirit. koncentrata
- H - Dozirni in transport sistem
- I - Fluo-solid pražilni reaktor
- J - Parni kotel
- K - Ciklon
- L - Suhi elektrofilter
- M - Transport oporok s hlojenjem
- N - Ventilator
- O - Agregat čiščenja pirov



Slika 1

Shema industrijske predelave odpadnega ferosulfata — heptahidrata v Celju

lativno velika z ozirom na pridobljeno žveplo. Z dokončno realizacijo industrijskega izkoriščanja tudi Fe-substance iz novo pridobljenih odpadkov bi bila rentabilnost predelave ugodnejša.

V novo uvedenem postopku je proces praženja v fluo-solid reaktorju prirejen na suho šaržiranje piritnih koncentratov in predhodno posušenega odpadnega ferosulfata. Zaradi endotermnega efekta razkroja FeSO<sub>4</sub> je v pražilni agregat možno dodajati toplotno energijo z dodatnim zgorevanjem tekočega goriva. V projektu je predviden vsip v razmerju 1:1 z obveznim dodatkom ustrezne količine goriva. V teku je izdelava toplotno energetske bilance, s katero bi se točno določilo možnost spremembe tega razmerja s ciljem zmanjševanja potrebnega dodatka toplotne energije. Za nekaj časa je uspelo šaržirati 57 % pirita in 43 % posušenega ferosulfata brez dodatka goriva (kvaliteta dobljenih novih ferosulfatnih ogorkov v tabeli 2 se nanaša na ta čas proizvodnje) vendar so pri tem še številni drugi dejavniki, ki vplivajo na dokončno določitev razmerja vsipa, in so v teku ustrezne raziskave.

Na osnovi proučevanja bistvenih kemijskih in fizikalnih lastnosti novih ferosulfatnih ogorkov in na osnovi dosedanjih laboratorijskih in delnih industrijskih poskusov lahko trdimo, da jih je v vsem možno vključiti v kakršenkoli postopek predelave standardnih piritnih ogorkov. Kemijska sestava daje ferosulfatnim ogorkom celo določene prednosti v primerjavi s piritnimi ogorki.

Z uvedbo opisane industrijske predelave je rešen problem celotnega izkoriščanja velikih količin odpadnega ferosulfata v Celju; predvsem pa je rešen istočasno tudi problem onesnaževanja naravnega okolja celjske okolice.

Mgr. Bogdan Zalar, dipl. ing. met., samostojni raziskovalec, Metalurški inštitut v Ljubljani  
Vojislav Ružič, dipl. ing. kem., Cinkarna Celje

Tabela 2: Kemijske in fizikalne lastnosti novih ferosulfatnih ogorkov

%	Novi ferosulfatni ogorki <sup>1</sup>	Piritni ogorki <sup>2</sup>
<b>Kemijska analiza:</b>		
Fe	ca. 54,0	58,0 do 60,0
<b>Cu</b>	0,28 <b>(0,228)</b>	<b>0,40</b>
<b>Zn</b>	0,53 <b>(0,503)</b>	<b>0,85</b>
<b>As</b>	<b>0,11</b> <b>(0,097)</b>	<b>0,18</b>
CaO	ca. 0,26	0,50
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>ca. 2,80</b>	<b>5,30</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ca. 0,16	0,32
S	0,5 — 2,0(!) <sup>3</sup>	1,00
<b>Sejalna analiza:</b>		
nad 200 μm	6,50	2,60
125 μm	9,10	7,90
90 μm	20,20	17,73
60 μm	22,10	22,38
40 μm	24,40	29,32
pod 40 μm	17,70	20,07

**Specifična teža:**(kp/dm<sup>3</sup>) 3,88 4,24**Specifična površina:**(cm<sup>2</sup>/g) 1796 2200

1 V oklepaju navajamo teoretsko izračunane vrednosti na osnovi omenjenega razmerja vsipa 57:43

2 Kvaliteta piritnih ogorkov, dobljenih s praženjem piritnih koncentratov iz SSSR

3 Široko območje še zaradi uvajanja proizvodnje; sicer predvideno ca. 1,0 %

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

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

Naslov uredništva: ZPSZ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341 int. 880 — Tisk: GP »Gorenjski tisk«, Kranj

# VSEBINA

UDK: 669.054.83  
ASM/SLA: A8

Metalurgija — odpadno blato — peletiziranje

B. Zalar, J. Naraks, J. Wohinz

**Opadno blato iz proizvodnje žveplene kisline kot sekundarna surovina**

Železarski zbornik 11 (1977) 2 s 57—62

Specifičnosti odpadnega blata pri proizvodnji žveplene kisline iz piritnih koncentratov, ca. 4,6% S v obliki  $\text{CaSO}_4$ , vlažnost od 34—41% in fina zrnatost, preprečujejo homogenizacijsko mešanje s piritnimi ogorki in povzročajo pri tem lokalne skupke iz samega blata. Ti ohranijo svojo obliko tudi pri peletizaciji in obdržijo svoje lastne fizikalne lastnosti. Članek obravnava rezultate raziskav o možnostih vključitve tega odpadnega materiala z omenjenimi specifičnimi lastnostmi v tehnologijo predelave piritnih ogorkov za potrebe v železarski industriji.

Avtorski izvleček

UDK: 621.778.13  
669.054.76:669.054.2

ASM/SLA: F28, L10, L10c

Metalurgija — površinska obdelava — vlečenje

F. Vodopivec, A. Kelvišar, S. Mežnar

**Primerjalni preiskusi vlečenja jeklene žice, s katere je bila škaja odstranjena z luženjem in s peskanjem**

Železarski zbornik 11 (1977) 2 s 85—102

S površine maloogljikovih in visokoogljicne žice je bila odstranjena škaja z luženjem in s peskanjem. Raziskave kažejo, da to povzroči razliko v topografiji površine, ki pa se izravna že po prehodu skozi tretjo votlico. Razlika v načinu odstranitve škaže ne povzroči razlik v mehanskih lastnostih, v rekristalizaciji, v količini maziva na žici. Tudi ni razlike v obrabi votlic v obsegu laboratorijskega preiskusa obrabe.

Avtorski izvleček

UDK: 662.75:662.76:662.9  
ASM/SLA: RM-m

Toplotna tehnika — kurilni plin

B. Siherl, D. Vodeb, M. Zakonjšek

**Problematika zamenljivosti kurilnih plinov v industriji**

Železarski zbornik 11 (1977) 2 s 63—83

Za pogoje zamenljivosti so obdelani podatki plinskih mešanic ter spremembe volumskih deležev kurilnega plina in plina zamenjevalca v primeru redukcije kurilnega plina. Analizirane so spremembe pretočnih volumnov kurilnega plina in porabe zraka za zgorevanje ter prikazane spremembe na skalah merilnikov pretoka z zadržitvijo pretočnega prereza. Spremembe navedenih količin vplivajo na preračun cevovodov in plinskih gorilnikov kot pretvornikov kemijsko vezane notranje energije v toplotno energijo.

Cena zemeljskega plina je funkcija porabe toplote in je optimalna pri porabi v pasu. Obdelani primeri interpretirajo spremembe teh vrednosti.

Linjski sistem napajanja in napajanje v zanki v sklopu z glavnimi merilnimi in reducirnimi postajami so podani in obravnavani s pripadajočimi armaturami in načinom mešanja kurilnega plina in plina zamenjevalca v mešalnih postajah.

Avtorski izvleček

UDK: 620.187:621.385.833.22:621.385.833.4:669.15—194.58:669.14.018.25  
ASM/SLA: TSh, M 21e, M 22h, N 7, N 8a

Metalurgija — Specialna jekla — Visokolegirana orodna jekla — (ED) — Popuščni efekti

Kraševc V., J. Rodič

**TEM raziskave popuščnih efektov orodnega jekla C.4850 — OCR 12 VM**

Železarski zbornik 11 (1977) 2 s 103—112

S TEM in ED so bili v visoko legiranih orodnih jeklih študirani popuščni efekti s posebnim oziranjem na izločanje submikroskopsko majhnih sekundarnih karbidov ter stabilnost velikih primarnih karbidov. Sekundarni karbidi med popuščanjem rastejo in imajo v končni fazi obliko lamel ter ortorombno strukturo cementita. Oblika in sestava primarnih karbidov, ki imajo strukturo tipa  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  se med popuščanjem bistveno ne spremenijo.

Avtorski izvleček

# INHALT

UDK: 669.054.71:669.054.2

ASM/SLA: F28, L10, L10c

Metallurgie-Oberflächenbearbeitung — Ziehen

F. Vodopivec, A. Kelvišar, S. Mežnar

**Vergleichsziehversuche eines Stahldrahtes von welchen der Zunder durch das Beizen und Sandstrahlen entfernt worden ist.**

Zelezarski zbornik 11 (1977) S 85—102

Aus der Oberfläche eines niedriggehohnten und hochgekohnten Stahldrahtes ist der Zunder durch das Beizen und durch das Sandstrahlen entfernt worden. Die Untersuchungen zeigen, dass dadurch ein Unterschied in der Topographie der Drahtoberfläche entsteht und dass sich dieser beim Durchgang durch den dritten Ziehstein ausgleicht. Ein Unterschied in der Zunderentfernung verursacht keine Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften, in der Rekristallisation und in der Menge des Schmiermittels am Draht. Auch kein Unterschied in der Ziehsteinabnutzung im laboratorischen Untersuchungsmass konnte festgestellt werden.

Auszug des Autors

UDK: 669.001.83

ASM/SLA: A8

Metallurgie — Abfallschlamm — Pelletisierung

B. Zalar, J. Naraks, J. Wohinz

**Abfallschlamm aus der Produktion der Schwefelsäure als Sekundärrohstoff**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 S 57—62

Die spezifischen Eigenschaften des Abfallschlammes bei der Produktion der Schwefelsäure aus Pyritkonzentraten mit ca 4,6 % S in Form von  $\text{CaSO}_4$ , Feuchtigkeit 34—41 % und Feinkörnigkeit, verhindern ein homogenes Mischen mit Pyritasche und verursachen die Bildung lokaler Klösschen aus reinem Schlamm. Diese behalten auch beim Pelletisieren ihre Form und ihre eigenen physikalischen Eigenschaften. Im Artikel werden die Ergebnisse der Untersuchungen über die Möglichkeit der Eingliederung dieses Abfallmaterials mit den genannten spezifischen Eigenschaften in die Technologie der Verarbeitung der Pyritasche für den Bedarf der Eisenhüttenindustrie behandelt.

Auszug des Autors

UDK: 620.187:621.385.833.22:621.385.833.4:669.15—194.58:669.14.018.25

ASM/SLA: TSh, M21e, M22h, N7, M8a

Metallurgie — Spezialstähle — Hochlegierte Werkzeugstähle — Durchstrahlungselektronenmikroskopie (TEM) — Elektronenbeugung (ED) — Anlassfekte

V. Kraševc, J. Rodič

**Durchstrahlungselektronenmikroskopische (TEM) Untersuchungen der Anlassfekte beim Werkzeugstahl C 4850 — OCR 12 VM**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 S 103—112

Durch TEM und ED Untersuchungen sind in hochlegierten Werkzeugstählen Anlassfekte studiert worden, mit besonderer Beachtung der Ausscheidung der submikroskopisch kleinen Sekundärkarbide und der Stabilität der grossen primären Karbide. Die sekundären Karbide wachsen während des Anlassens und haben in der Endphase eine Lamellenform und ein ortorhombisches Zementitgefüge. Die Form und die Zusammensetzung der primären Karbide mit einem Gefüge des Types  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  verändert sich während des Anlassens nicht wesentlich.

Auszug des Autors

UDK: 662.75:662.76:662.9

ASM/SLA: RM-m

Wärmewirtschaft — Heizgase

B. Sicherl, D. Vodeb, N. Zakonjšek

**Probleme bei der Austauschbarkeit der Heizgase in der Industrie**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 S 63—83

Für die Bedingungen der Austauschbarkeit der Heizgase sind Daten für die Gasmischungen und Änderungen der Volumenanteile des Heizgases und des austauschenden Gases im Falle der Einschränkung des Heizgases bearbeitet worden. Die Änderungen der Durchflussmengen des Heizgases und des Luftverbrauches für die Verbrennung sind analysiert worden und die Änderungen der Durchflussmessgerätskala beim Messen durch die Eindämmung des Durchflussquerschnittes durch die Messblende sind angedeutet. Die Änderungen der genannten Mengen beeinflussen die Berechnung der Gasleitungen und Gasbrennern als Umformer der chemisch gebundenen Energie in die Wärmeenergie.

Der Erdgaspreis ist eine Funktion des Wärmeverbrauches und ist am günstigsten beim Bandverbrauch.

Die bearbeiteten Beispiele interpretieren die Änderungen dieser Werte.

Das Liniensystem und das Schlingensystem der Speisung in Zusammenfügung mit den Hauptmess- und Reduziermesstellen sind angegeben und behandelt mit den zugehörigen Armaturen und der Mischweise des Heizgases und des austauschenden Gases in Mischanlagen.

Auszug des Autors



# CONTENTS

UDK: 669.054.71:669.054.2  
ASM/SLA: F28, L10, L10c

Metallurgy — Surface Treatment — Drawing

F. Vodopivec, A. Kelvišar, S. Mežnar

**Comparative Drawing Tests of Steel Wire Descaled by Pickling and Shot-Blasting**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 P 85—102

Low- and high-carbon steel wire was descaled by pickling and shot-blasting. Investigations showed differences in the surface topography which disappear already after the third pass. Different methods of descaling do not cause differences in mechanical properties, recrystallization or amount of lubricant on the wire. During the laboratory tests no difference in the de wear was observed.

Author's Abstract

UDK: 669.001.83  
ASM/SLA: A8

Metallurgy — Waste Mud — Pelletizing

B. Zalar, J. Naraks, J. Wohinz

**Waste Mud from Sulphuric Acid Plant as the Secondary Raw material**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 P 57—62

Since the waste mud from the sulphuric acid plant gaining sulphur from pyrite concentrates, contains about 4.6 % sulphur in form of  $\text{CaSO}_4$  and 34 to 41 % moisture, and since it is very fine, homogenization mixing with pyrite cinder is not possible as local aggregates of mud are formed. They keep their form and own physical properties also during pelletizing. Investigation results on possible applicability of this waste material in preparing pyrite cinder as raw material for ferrous metallurgy are described.

Author's Abstract

UDK: 620.187:621.385.833.22:621.385.833.4:669.15—194.58:669.14.018.25  
ASM/SLA: TSh, M21e, M22h, N7, N8a

Metallurgy, Special steels, High-alloyed tool steel, Transmission electron microscopy (TEM) — Electron diffraction (ED) — Tempering effects

Kraševc V., J. Rodič

**TEM Investigations of Tempering Effects of Č.4850 — OCR 12 VM Tool Steel**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 P 103—112

The analysis of the tempering effects in high-alloyed tool steel by TEM and ED was aimed to study the precipitation of submicroscopic secondary carbides and big primary carbides. The secondary carbides grow during tempering. They finally gain lamellar or orthorhombic structure of cementite. The form and composition of primary carbides with the structure of  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  is not essentially changed during the tempering.

Author's Abstract

UDK: 662.75:662.76:662.9  
ASM/SLA: RM-m

Heat Engineering — Fuel Gases

B. Sicherl, D. Vodeb, N. Zakonjšek

**Problematics on Conversion of Fuel Gases in Industry**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 P 63—83

To obtain conditions for conversion, the gas mixtures and changed volume portions of the fuel and the converting gas are treated for the case that the amount of fuel gas is reduced. Changes of flow rates of fuel gas and air needs for combustion are analyzed, the needed changes of the measuring scales of flow-rate instruments are indicated. The changes of mentioned parameters demand recalculation of pipe lines and burners for conversion of chemical energy into heat.

The price of natural gas is a function of heat consumption and it is the lowest in the band-consumption. The changes are illustrated by examples.

Line system delivery and loop system delivery are presented together with the main measuring devices and reducing stations, with the corresponding armatures and the way of mixing the fuel and the converting gas in the mixing stations.

Author's Abstract

# СОДЕРЖАНИЕ

УДК: 669.054.83

АСМ/САА: А8

Металлургия — отходной шлам — окомковывание

В. Zalar, J. Naraks, J. Wohinz

**Отходной шлам из производства серной кислоты как вторичное сырье**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 с 57—62

Особенности отходного шлама при производстве серной кислоты из пиритных концентратов с содержанием прибл. 4,6 % S в форме  $\text{CaSO}_4$  и влажности между 34—41 %, мелкозернистого состояния, препятствуют гомогенному перемешиванию с пиритными огарками, остаются локальные накопления, состоящие из чистого шлама. Эти накопления сохраняют свою форму и собственные физические свойства также при получении окатышей.

В работе приведены результаты исследования о возможности применения этого отходного материала с упомянутыми свойствами в технологии переработки пиритных огарков для потребности в металлургии железа.

Автореф.

УДК: 621.778.13: 669.054.76: 669.054.2

АСМ/САА: L 10, L 10 с

Металлургия — поверхностная обработка — волочение.

F. Vodopivec, A. Kelvižar, S. Mežnar

**Сравнительные опыты волочения стальной проволоки, с которой окалина удалена травлением и пескоструйной очисткой.**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 с 85—102

С поверхности низко и высокоуглеродистой проволоки после травления была при помощи пескоструйной очистки удалена окалина. Исследования показали, что это послужило причиной появления разнообразности что касается топографии поверхности, но эти разнообразности уравнились уже после прохода через третье волочильное очко.

Разница в способе удаления окислов не причиняет появления различий механических свойств при рекристаллизации и при расходе мази на проволоке. Также не обнаружены различия изнашивания волочильных очков учитывая, что опыты были лабораторного характера.

Автореф.

УДК: 662.75: 662.76: 662.9

АСМ/САА:

Тепловая техника — горючий газ

В. Siherl, D. Vodeb, N. Zakonjšek

**Проблематика замены горючих газов в промышленности**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 с 63—83

Рассмотрены характеристики смесей газов и изменения объемных отношений горючего газа и замененного газа в случае редукции горючего газа с точки зрения необходимости замены. Проанализированы изменения объемных протоколов горючего газа и расхода воздуха для сгорания. Поданы изменения показаний протоколов снятых на шкалах измерительных приборов при сокращении проходного сечения. Изменения их масс надо учитывать при расчете трубопроводов и газовых горелок как преобразователей внутренней связанной химической энергии в тепловую энергию.

Стоимость природного газа представляет собой функцию расхода теплоты, при зональном расходе стоимость оптимальна. Приведенные примеры интерпретируют изменения этих величин.

Рассмотрена линейная система питания и питание с петлей в связи с главными измерительными и редукционными станциями при учете принадлежащих арматур, и также способ перемешивания горючего газа и газа заменителя в смесительных станциях.

Автореф.

УДК: 620.187: 621.385.833.22: 621.385.833.4: 669.15-194.58: 669.14.018.25

АСМ/САА: TSh, M21e, M22h, N7, M8a

Металлургия — специальные стали — высоколегированные инструментальные стали-передающая электронная микроскопия (ТЭМ) — электронная девиация (ЭД) — эффекты снятия напряжения.

V. Kraševac, J. Rodič

**ТЭМ исследования эффектов снятия напряжения инструментальной стали С.4850 — ОСР 12 VM.**

Zelezarski zbornik 11 (1977) 2 с 103—112

При применении ТЭМ и ЭД исследовали на высоколегированных сталях эффекты снятия напряжения принимая особенно во внимание выделение субмикроскопическо малых вторичных карбидов и устойчивость по объему больших первичных карбидов. Во время снятия напряжения вторичные карбиды увеличиваются в объеме и в конечной фазе имеют пластинчатую форму и орторомбическую структуру цементита.

Форма и состав первичных карбидов, структура которых соответствует типу  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ , во время снятия напряжения существенно не изменяется.

Автореф.