

DK 669.35:621.9.01

## Žveplo in telur v bakrovih zlitinah z dobro električno prevodnostjo za obdelavo na avtomatskih strojih

ANTON PODGORNIK — BOJAN BRESKVAR — ALOJZ KRIŽMAN

Cisti baker ima visoko prevodnost in je zelo žilav. Na avtomatskih strojih je zato obdelovalnost omejena. Z legiranjem žvepla ali telurja smo obdelovalnost zboljšali na raven pri kvaliteti Ms 58 Pb (po JUS: Cu 58 Zn Pb). Ponekod pa je bila obdelovalnost celo boljša kakor pri klasični medi. Takšne bakrove avtomatske zlitine smo v okviru te raziskovalne naloge prvič izdelali v naši državi ter jih je že letos pričakovati na domačem tržišču.

### UVOD

Zaradi izredno dobre električne prevodnosti [1, 2, 3, 4] zavzema baker med tehničnimi elementi zelo pomembno mesto. Tako je praktično nenadomestljiv v določenih panogah elektroindustrije in elektronike. Na pomembnosti pa je pridobil zlasti z uvedbo postopka taljenja, ki ga poznamo z imenom OFHC (oxygen free, high conductivity). Zlasti čisto kovino pa je mogoče dobiti s postopki taljenja v vakuumu, ki so se zadnji čas razvili že do industrijskih razmer. Baker se uporablja pretežno v oblikah profilov cevi, žic, pločevin in trakov ter folij.

Pri določenih konstrukcijskih zahtevah pa ne da dočaže standardne oblike metalurških polizdelkov. Z obdelavo je potrebno dati posameznim elementom zaželeno obliko. Brž ko pa se pojavi ta zahteva, je baker zaradi velike žilavosti slabo obdelovalen, kar se izraža predvsem v dolgih nelomljivih ostružkih in hrapavi površini.

Kakor pri jeklu je tudi pri bakru mogoče reševati problem skrajšanja ostružkov z legiranjem majhnih količin tujih elementov, ne da bi pri tem prihajalo do bistvenega poslabšanja električne prevodnosti. Ta problem rešujejo ta čas v vrsti tehničko razvitih držav, kar opažamo v prvih zametkih posameznih nacionalnih standardov. Predvsem legirajo telur in žveplo [1, 5, 6, 7].

V tem sestavku želimo seznaniti širši krog strojnikov z napori, ki so bili pri nas\* v zadnjem času usmerjeni v tak razvoj z namenom, da bi osvojili proizvodnjo zlitin za strojno predelavo na avtomati.

### PRIPRAVA MATERIALA ZA PREISKAVE

Za študij obdelovalnosti na avtomatski stružnici kakor tudi za poskusno izdelavo posameznih konstrukcijskih delov je bilo potrebno izdelati palice in profile.

V ta namen smo izbrali ustrezno množino zlitin s telurjem in žveplom, legiranih v določenem koncentracijskem področju. Taline so bile izdelane v grafitnem loncu, ogretem s tokom srednje frekvence.

Ulite ingote — okroglice smo zagreli v indukcijski peči in jih stisnili v horizontalni stiskalnici v obliko palice ali kvadratnega profila. Zatem je bilo na vrsti luženje za odpravljanje škaje po topli predelavi in za konec hladno vlečenje ter ravnanje. Tako pripravljeni polizdelki so sestavljeni osnovni material za študij obdelovalnosti.

Izkusnje metalurškega dela so pestre, saj smo opazili pojave, ki so za zdaj v teoriji še dokaj nepojasnjeni. Ta opažanja pomenijo zadostno spodbudo za nadaljevanje teoretičnih raziskav metalurške narave. Prav tako pa so izkušnje metalurškega dela zadostno jamstvo, ki omogoča prehod na neposredno industrijsko praks pri pilotni proizvodnji.

### IZBIRA METODE ZA PRESOJO OBDELOVALNOSTI

Obdelava kovin in zlitin na avtomatskih stružnicah je združena s posebnimi zahtevami pri strojih, nožih, hladilnem sredstvu in materialu. Na težave pa zadevamo, brž ko bi hoteli kvantitativno opredeliti sposobnost določenega jekla ali zlitine za takšno vrsto obdelave. Tako ni čudno, če obstaja v literaturi kakor tudi v praksi vrsta metod in postopkov, ki podajajo sliko o obdelovalnosti. Te metode izhajajo iz različnih zahtev, ki so včasih tudi v medsebojni divergenci. Če presojamo obdelovalnost po vzdržljivosti noža [8], je potrebno imeti na izbiro veliko materiala za preiskave. Ocena oblike ostružkov [1] lahko zavaja v enostransko sklepanje. Kakor kaže to delo, lahko nastaja pri kratkih lomljivih krhkih ostružkih, ki so navidezno idealni, bolj groba površina kakor pri daljših. Če uporabimo samo kriterij nasipnega števila [8], pa izvemo še manj.

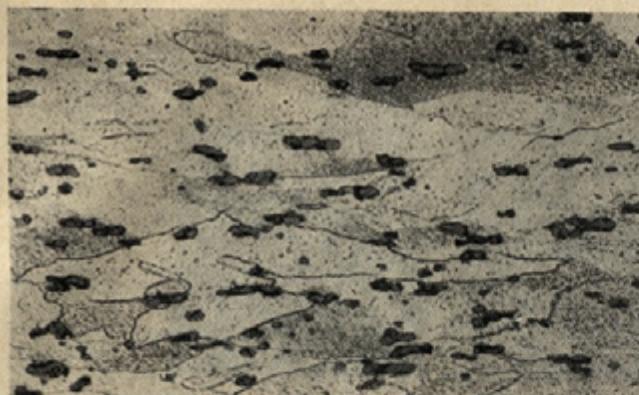
Tako smo se v danem primeru sprva odločili za metodo konstantnega podajalnega pritiska [9, 10, 11]. Rezultati, dobavljeni tako pri jeklu, so doslej bolj kvantitativni, saj omogočajo meritve indeksa o obdelovalnosti in kasnejši izračun o ekonomski hitrosti rezanja. V našem primeru pa je bilo potrebno najprej določiti specifične parametre preiskav za bakrove zlitine. Pri tem delu smo dobili rezultate, ki nakazujejo določene težnje, vendar s prevelikim raztresom. Verjetno bo za preiskavo obdelovalnosti bakra potrebno uporabiti preciznejšo stružnico.

Tako smo se slednjič odločili za klasično stružnico (Prvomajska) in dodatne meritve o hrapavosti površine na merilnem stroju (Taylor Hobson) z referenčno dolžino 12 mm. Stroj avtomatično registrira oblikovanje površine, povrh tega pa omogoča neposredno razbiranje srednje vrednosti hrapavosti  $R_a$  in  $\mu\text{m}$ .

### Razpredelnica št. 1

Kemična sestava %	Trdota HB kp/mm <sup>2</sup>	Hladna deformacija %	Električna prevodnost m/Ω mm <sup>2</sup>
0,45 S	95,5	61,0	53,9
0,59 S	100,0	61,0	51,6
0,78 S	104,0	36,0	50,8
0,32 Te	95,0	36,0	55,8
0,81 Te	97,0	27,8	55,8
0,58 S	84,0	11,1	52,8
0,59 S	84,5	11,1	52,0
0,60 S	86,0	11,1	51,8
0,72 Te	90,0	11,1	57,2
0,78 Te	92,5	11,1	56,6

\* To delo je del rezultatov raziskovalne naloge, ki so jo gmotno omogočili Sklad Borisa Kidriča, Mariborska litvarna Maribor in Metalurški inštitut v Ljubljani.



Sl. 1. Bakrovi sulfidi v hladno deformirani osnovi (500 : 1)



Sl. 2. Bakrovi teluridi v hladno deformirani osnovi (100 : 1)

### REZULTATI PREISKAV

V razpredelnici št. 1 prikazujemo uporabljene zlitine pri preiskavah obdelovalnosti. Po kemični sestavi jih uvrščamo med podobne inozemske. Iz merjenih vrednosti o električni prevodnosti vidimo, da jih lahko razporedimo med bakrove zlitine z dobro električno prevodnostjo.

Palice so bile različno hladno deformirane glede na zahtevane dimenzijske vzorce za določanje obdelovalnosti. Zlitine z žveplom so bolj drobnozrnate od zlitin s telurjem. Mikrostrukturi na slikah 1 in 2 prikazujejo te razmere za hladno deformirano stanje. Nasprotno so bakrovi teluridi v sestavi Cu<sub>2</sub>Te veliko bolj drobnozrnati od bakrovega sulfida Cu<sub>2</sub>S. Lomljivost ostružkov je funkcija množine velikosti in porazdelitve teh vključkov. Očitno je ugodnejša fina disperznost bakrovih teluridov.

Kakor je razvidno iz razpredelnice 1, kaže 1. serija vzorce, ki so bili močneje hladno deformirani, 2. serija pa take z najmanjšo stopnjo hladne deformacije. Prva serija je bila preiskana na avtomatskih strojih s pogoji, kakršne predpisuje literatura [1, 12] za zlitine bakra s telurjem. Za zlitine z žveplom v tej literaturi ni podatkov.

Na sliki 3 so razvidni podatki, ki zajemajo kvaliteto ostružkov in hrapavost površine v odvisnosti od podajanja pri konstantnih pogojih struženja. Primerjava velja za med Ms 58 Pb proti zlitini bakra z žveplom.

Podobno prikazujemo na sliki 4 rezultate struženja za zlitino bakra s telurjem v primerjavi z Ms 58 Pb. Tudi v tem primeru gre za enake pogoje dela kakor na sliki 3.

Prikaze s slik 3 in 4 pa je mogoče podati tudi v diagramski obliki. Tako prikazuje diagram 1 odvisnost hrapavosti površine od množine legirnih elementov žvepla in telurja pri različnih podajanjih. Diagram 2 pa podaja odvisnost hrapavosti površine od podajanja.

Literatura, ki navaja kote nožev pri avtomatičnih bakrovih zlitinah, ni enotna. Temu je vzrok nepreiskanost področja, ki se še uveljavlja. Tako smo v prvi seriji pod vplivom podatkov [1, 12] uporabljali kote nožev:

$$\gamma = 0^\circ, \lambda = 0^\circ,$$

v drugi pa pod vplivom podatkov [6]

$$\gamma = 9^\circ, \lambda = +1^\circ \text{ za grobo in}$$

$$\gamma = 9^\circ, \lambda = -4^\circ \text{ za fino struženje.}$$

Razen tega smo v drugi seriji razširili pomike na večje področje, hitrost rezanja pa je bila v dveh

primerih povečana vzporedno na 200 m/min. Rezultate druge serije prikazujejo analogno prvi seriji slike 5 in 6 ter diagrama 3 in 4.

Po končanem delu smo prejeli podatke za obdelovalnost bakrovih zlitin s telurjem [13]. Tudi ti nakanujejo neenotnost stališč glede na optimalno predelavo teh zlitin. Tako je podano:

#### Struženje:

rezalna hitrost	100 ... 250 m/min
globina rezanja	0,2 ... 0,5 mm
pri grobem struženju	0,05 ... 0,4 mm
globina rezanja	0,15 ... 0,50 mm/vrt.
pri finem struženju	0,05 ... 0,30 mm/vrt.
podajanje	rezilni kot
pri grobem struženju	$\gamma = 3 \dots 8^\circ$
podajanje	prosti kot
pri finem struženju	$\alpha = 0 \dots 10^\circ$
rezilni kot	$\lambda = -5 \dots +5^\circ$
prosti kot	
nagibni kot	

#### Vrtanje:

rezalna hitrost	50 ... 150 m/min
podajanje	0,03 ... 0,7 mm/vrt.
rezilni kot	$\gamma = 3 \dots 8^\circ$
prosti kot	$\alpha = 12 \dots 15^\circ$
zasučni kot	$\psi = 10 \dots 22^\circ$
kot konice	$\varepsilon = 115 \dots 120^\circ$

#### Frezanje:

rezalna hitrost	70 ... 130 m/min
podajanje	na zob/vrtljaj
rezilni kot	0,2 mm
prosti kot	$\gamma = 15^\circ$
nagibni kot	$\alpha = 6^\circ$
	$\lambda = -5^\circ$

### RAZLAGA REZULTATOV

Rezultati, prikazani v obliki foto posnetkov o ostružkih, vrednostih meritev hrapavosti in diagramih odvisnosti hrapavosti so rezultat vrste preiskav, pri katerih smo se skušali držati določenih skupnih parametrov. Pri tem smo se omejevali samo na dve hitrosti rezanja, spremenjali pa smo nekatere kote. Zaradi dokaj razširjene palete pogojev je bilo število poskusov precej skromno. Morda bi bili lahko imeli za paralelke določene kemične sestave, ki so si po množini legirnih elementov precej blizu.

Hitrost rezanja 120 m/min

Podajanja [mm/vrt]: 0,125

0,062

0,030

*Ms 58 Pb*

$R_a [\mu\text{m}]:$  4,3

1,6

1,4

0,45% S

$R_a [\mu\text{m}]:$  4,5

2,4

2,3

0,59% S

$R_a [\mu\text{m}]:$  4,3

2,5

2,1

0,78% S

$R_a [\mu\text{m}]:$  4,7

2,2

1,3

Sl. 3. Prva serija poskusov — vpliv žvepla  
(Merilo 1:1,1)

Pogoji preskusa: nož BRC3 s koti:  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ , zaoblitev  $r = 0,5 \text{ mm}$ , globina reza  $0,5 \text{ mm}$ .

Ne glede na orientacijsko naravo meritev o obdelovalni sposobnosti preiskovanih zlitin pa je možno zajeti nekatere za prakso zanimive izsledke.

Predvsem je treba ugotoviti, da metoda ocenjevanja ostružkov ni vedno skladna z meritvami o hrapavosti površine. Ostružki niso sami sebi namen, zato poudarjamo prednost meritev o hrapavosti. Četudi so oblike ostružkov v vseh preiskanih primerih zadovoljive, pa se prednost zlitin z žveplom ali telurjem kaže ravno v manjši hrapavosti površine, v določenih

pogojih mehanske obdelave. Medtem ko lahko pri kotih  $\gamma = 0^\circ$  in  $\lambda = 0^\circ$  dajemo glede na manjšo hrapavost prednost zlitini Ms 58 Pb, pa je pri kotih druge serije in majhnih podajanjih zadeva vprav nasprotna. Avtomatična med je bolj hrapava.

Prva serija, ki je bila med drugim prilagojena tudi vplivu legirnega elementa na obdelovalnost, jasno kaže, da se oblika ostružkov izboljšuje pri enakih podajanjih z dodatkom žvepla ali telurja. Hrapavost površine in oblika ostružkov je zadovoljiva že pri

Hitrost rezanja 120 m/min

Podajanja [mm/vrt]: 0,125

Ms 58 Pb

0,062

0,030

 $R_a [\mu\text{m}]$ : 4,3

1,6

1,4

0,32% Te

 $R_a [\mu\text{m}]$ : 4,5

2,3

1,5

0,81% Te

 $R_a [\mu\text{m}]$ : 4,4

1,8

1,2

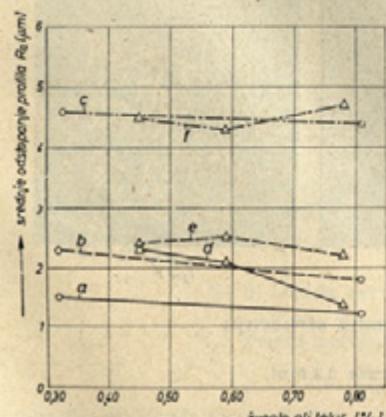
Sl. 4. Prva serija preskusov — vpliv telurja  
(Merilo 1:1,1)Pogoji preskusa: nož BRC3 s koti:  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ , zaoblitev  $r = 0,5$  mm, globina reza 0,5 mm.

Diagram 1. Prva serija preskusov — vpliv žvepla ali telurja

Zlitine bakra in žvepla:  
 a — podajanje 0,03 mm/vrt.  
 b — podajanje 0,062 mm/vrt.  
 c — podajanje 0,125 mm/vrt.

Zlitine bakra in žvepla:  
 d — podajanje 0,03 mm/vrt.  
 e — podajanje 0,062 mm/vrt.  
 f — podajanje 0,125 mm/vrt.

*Hitrost rezanja 120 m/min*

Podajanja [mm/vrt]: 0,250

0,125

0,062

0,030

*Ms 58 Pb*

*R<sub>a</sub> [μm]: 6,70*

*2,95*

*2,65*

*3,20*

*0,78 % Te*

*R<sub>a</sub> [μm]: 7,50*

*2,00*

*1,25*

*1,10*

*0,60 % S*

*R<sub>a</sub> [μm]: 7,80*

*2,35*

*1,45*

*1,20*

*Hitrost rezanja 200 m/min*

*0,60 % S*

*R<sub>a</sub> [μm]: 7,45*

*2,75*

*1,95*

*1,57*

Sl. 5. Druga serija preskusov — vpliv žvepla ali telurja pri finem struženju  
(Merilo 1:1,1)

Pogoji preskusa: nož BRC3 s koti:  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\lambda = -4^\circ$ , globina reza 0,5 mm.

dodatku 0,3 odstotka žvepla ali telurja. Z naraščajočim dodatkom posameznih legirnih elementov pa se še izboljšuje. Pri enaki vrednosti žvepla ali telurja je obdelovalnost zlitin s telurjem boljša.

Pri majhnih podajanjih kažejo zlitine bakra z žveplom ali telurjem vedno manjšo hravost od zlitine Ms 58 Pb. Ta ugotovitev velja tudi za pogoje, ko je

bila hitrost rezanja povečana od standardne 120 m/min na maksimalno 200 m/min. Velja pa tudi za grobo in fino struženje.

#### SKLEP

Izdelane in preiskane malo legirane zlitine bakra z žveplom ali telurjem, ki imajo dobro električno

Podajanja [mm/vrt]: 0,250

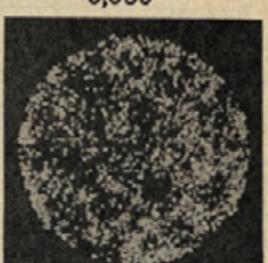
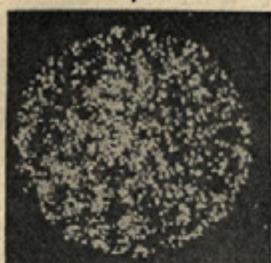
Hitrost rezanja 120 m/min

0,125

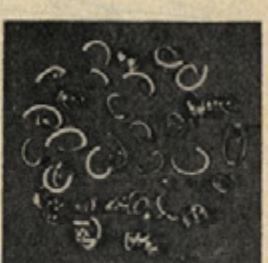
0,062

0,030

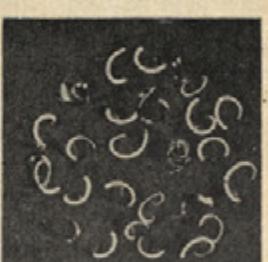
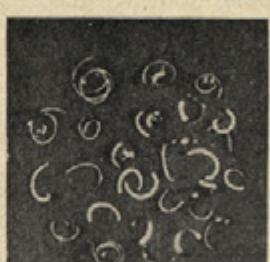
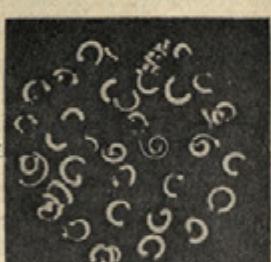
Ms 58

 $R_a [\mu\text{m}]: 6,10$  $2,90$  $3,50$  $3,17$ 

0,72% Te

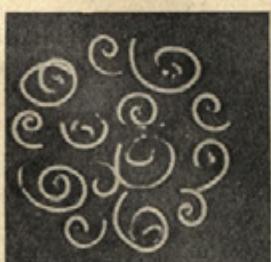
 $R_a [\mu\text{m}]: 6,00$  $1,65$  $1,40$  $1,20$ 

0,59% S

 $R_a [\mu\text{m}]: 7,30$  $2,45$  $1,60$  $1,50$ 

Hitrost rezanja 200 m/min

0,58% S

 $R_a [\mu\text{m}]: 6,00$  $1,70$  $1,45$  $1,40$ SL 6. Druga serija preskusov — vpliv žvepla ali telurja pri grobem struženju  
(Merilo 1:1,1)Pogoji preskusa: nož BRC3 s koti:  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\gamma = 9^\circ$ ,  $\lambda = +1^\circ$ , globina reza 0,5 mm.

prevodnost in dobro mehansko obdelovalnost, so bile preiskane z metodo merjenja o hrupavosti površine in oceno oblike ostružkov. Že orientacijski poskusi tega dela kažejo, da imamo opraviti z novimi kovinski gradivi, ki se bodo nedvomno uveljavila povsod tam, kjer so potrebeni proizvodi v velikih serijah z dobro električno prevodnostjo.

Zaradi tega menimo, da je potrebno opozoriti, da se preiskane zlitine po kvaliteti ostružkov v ničemer ne razlikujejo ali zaostajajo za klasično medjo za obdelavo na avtomatih tipa Ms 58 Pb. Nasprotno — če pritegnemo h kriteriju ocenjevanja še faktor o hrupavosti površine, moramo reči, da je v vrsti delovnih pogojev pri obdelovanju na stružnici površina

## LITERATURA

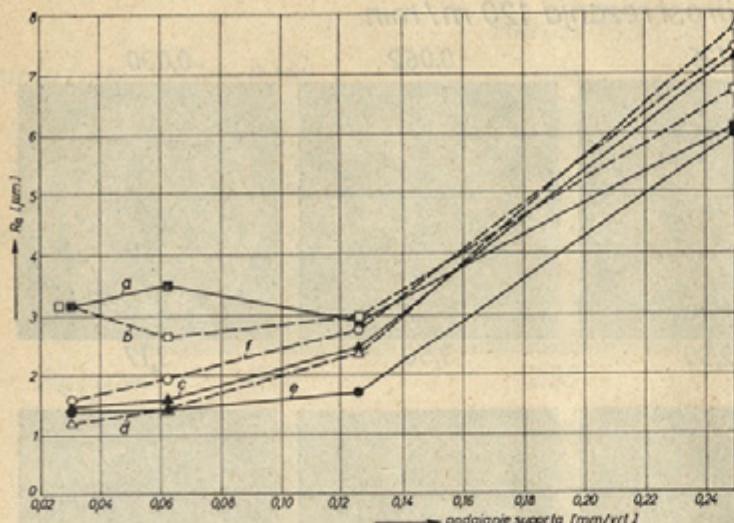


Diagram 3. Druga serija preskusov — vpliv žvepla

Hitrost rezanja  $v = 120$  m/min: Hitrost rezanja  $v = 200$  m/min:  
 a — Ms 58 Pb,  $\lambda = +1^\circ$  e — 0,58% S,  $\lambda = +1^\circ$   
 b — Ms 58 Pb,  $\lambda = -4^\circ$  f — 0,60% S,  $\lambda = -4^\circ$   
 c — 0,59% S,  $\lambda = +1^\circ$   
 d — 0,60% S,  $\lambda = -4^\circ$

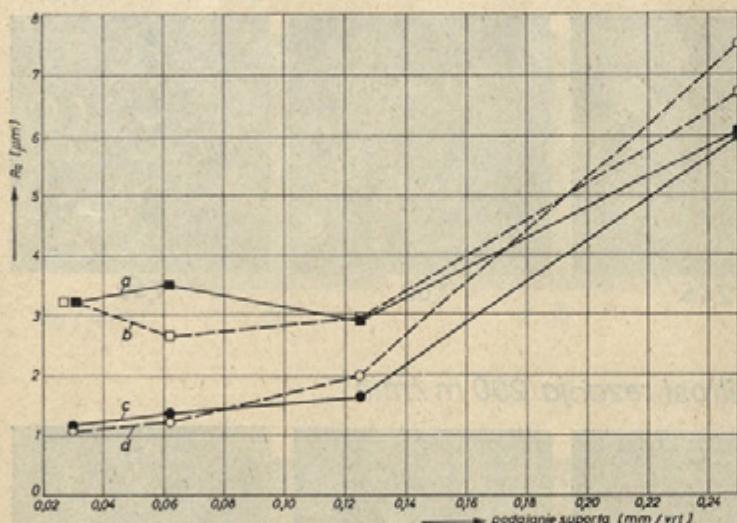


Diagram 4. Druga serija preskusov — vpliv telurja

Hitrost rezanja  $v = 120$  m/min:  
 a — Ms 58 Pb,  $\lambda = +1^\circ$   
 b — Ms 58 Pb,  $\lambda = -4^\circ$   
 c — 0,72% Te,  $\lambda = +1^\circ$   
 d — 0,78% Te,  $\lambda = +1^\circ$   
 e — 0,72% Te,  $\lambda = -4^\circ$   
 f — 0,78% Te,  $\lambda = -4^\circ$

zlitin z žveplom ali telurjem bistveno boljša kakor pri klasični medi.

Te nove bakrove zlitine za avtomatično obdelavo so bile v okviru tega dela prvič izdelane v naši državi. Avtorji tega dela sodijo, da utegnejo te nove zlitine — uporabljene v proizvodnji — postati vsakdanji materiali, s kakršnimi bo računal tako konstrukter kakor tudi graditelj. Redno bo začela izdelovati te zlitine Mariborska livarna že letos. Tako se tudi pri nas začenja uveljavljati praksa, kakršno spremljamo v razvitih državah.

## Naslovi avtorjev:

- prof. dr. ing. Anton Podgornik,  
Oddelek za montanistiko,  
Fakultete za naravoslovje  
in tehnologijo v Ljubljani
- dipl. ing. Bojan Breskvar,  
Metalurški inštitut v Ljubljani
- dipl. ing. Alojz Križman,  
Mariborska livarna Maribor

- [1] Dies, K.: Kupfer- und Kupferlegierungen in der Technik, Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1967.
- [2] Vereinigte deutsche Metallwerke A. G., Blankes Material für die Elektrotechnik, Frankfurt a. M.-Hedderheim, 1955.
- [3] D. I. Sučkov: Med'i e splavy, Metallurgija, 1967.
- [4] A. P. Smirjagin: Promyslennye cvetnye splavy, Metallurgizdat 1956.
- [5] Deutsches Kupfer-Institut, Ge normte Kupferlegierungen, Vergleich zwischen USA, Großbritannien, Deutschland und der ISO, Berlin, julij 1965.
- [6] OSNA Cu 58 Automatenkupfer, Kabel- und Metallwerke, Gutehoffnungshütte Aktiengesellschaft, Fachbereich 7 NE-Sonder-Erzeugnisse.
- [7] British Standard, B. S., 2874: 1962, C 109.
- [8] Vodopivec, F., Žvokelj, J., Kalan, A.: Preskusi obdelovalnosti jekel za avomate Železarne Jesenice, Poročilo Metalurškega inštuituta v Ljubljani, januar 1963.
- [9] Razinger, A.: Določanje obdelovalnosti jekel za obdelavo na avtomatih po postopku s konstantnim pritiskom, Železarski zbornik Železarne Jesenice, Ravne in Store ter Metalurški inštitut I, (1968), 21...34.
- [10] Boulger, F. W. in dr.: Constant-Pressure Lathe Test for Measuring the Machinability for Free-Cutting Steels, Transaction of the ASME, July 1949, str. 431.
- [11] Thomsen in dr.: Mechanics of plastic deformation in metal processing. Machining (1965), 448.
- [12] Die spanabhebende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen, Herausgegeben vom Deutschen Kupfer-Institut e. V. Berlin, 1956.
- [13] Deutsches Kupfer-Institut: Niedriglegierte Kupferlegierungen, Berlin, 1965.