

# TOPLOTNA OBDELAVA ALUMINIJEVE ZLITINE AlCuMgPb (AA2030) MED INDIREKTNIM IZTISKOVANJEM

## HEAT TREATMENT OF FREE-CUTTING AlCuMgPb (AA2030) ALLOY DURING INDIRECT EXTRUSION

ANTON SMOLEJ<sup>1</sup>, V. DRAGOJEVIJ<sup>2</sup>, I. KVERH<sup>2</sup>, M. SOKOVIJ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>NTF, Oddelek za materiale in metalurgijo, Univerza v Ljubljani, Aker-eva 12, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>IMPOL, Partizanska ul. 38, 2310 Slovenska Bistrica

<sup>3</sup>Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Aker-eva 6, 1000 Ljubljana

*Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19*

Toplotno 'arjenje in ga{enje aluminijevih zlitin med predelavo z iztiskovanjem je poznano kot "ga{enje na iztiskovalnici". Ta toplotna obdelava se redkeje uporablja za visokotrnostne zlitine med indirektnim iztiskovanjem. Prispevek obravnava mo'nost delne toplotne obdelave med indirektnim iztiskovanjem avtomatne zlitine AlCuMgPb (AA2030, ISO: AlCu4PbMg). Z laboratorijskimi preizkusi je bilo ugotovljeno, da so -asi potrebnega topilnega 'arjenja te zlitine relativno kratki za doseganje ustreznih trdnostnih lastnosti po staranju. Iztiskovane palice, ki so bile ga{ene na iztiskovalnici, so dosegale ve-je trdnostne lastnosti v primerjavi s standardno toplotno obdelanimi iztiskovanci. Vzrok je razli-na mikrostruktura kot posledica razli-ne toplotne obdelave. Ugotovljen je bil tudi vpliv razli-nih toplotnih obdelav na obdelovalnost z odrezovanjem. Postopek ga{enja na iztiskovalnici potrebuje vi{je preoblikovalne temperature in hitrosti, kar je pri tej zlitini te'ko dose-i brez pojave povr{inskih napak. Ta problem je bil re{en z uvedbo hlajenja votlice s teko-im du{ikom, kar je so-asno izbolj{alo tudi izkoristek iztiskovalnice in kakovost povr{ine polizdelkov.

Klju-ne besede: avtomatna zlitina AlCuMgPb, indirektno iztiskovanje, toplotna obdelava, mehanske lastnosti, tehnolo{ke lastnosti

The solution heat treatment and quenching of aluminium alloys during the extrusion is known as "press quenching". Press quenching of high-strength aluminium alloys at indirect press is less known in industrial practice. The paper deals with the possibility of using partial heat treatment of free-cutting AlCuMgPb (AA2030, ISO: AlCu4PbMg) alloy during the indirect extrusion. The laboratory investigations showed that relatively very short solution annealing times are necessary for obtaining sufficiently high strength properties of this alloy after the aging. The extruded and press quenched rods have got higher strength properties in comparison to the standard separate heat treated one. The main reason for these differences is the microstructure. Various heat treatments influence also the machinability of semiproducts. The process of press quenching needs higher working temperatures and extrusion rates what is for this alloy type very difficult to ensure because of the surface tearing. This problem was solved by introducing die cooling with liquid nitrogen which also improved the efficiency of the press and the surface quality of extruded pieces.

Key words: free-cutting AlCuMgPb (AA2030) alloy, indirect extrusion, heat treatment, mechanical properties, technological properties

### 1 UVOD

Toplotna obdelava aluminijevih zlitin za doseganje ve-jih trdnostnih lastnosti je sestavljena iz topilnega 'arjenja, ga{enja in staranja. Polizdelki iz zlitin, ki se predelujejo z iztiskovanjem, se navadno topilno 'arijo v pe-eh s solnimi kopelmi. Poleg obi-ajnega, lo-enega topilnega 'arjenja se nekatere zlitine lahko delno toplotno obdelujejo med iztiskovanjem. Ta postopek, ki se imenuje "ga{enje na iztiskovalnici", obsega topilno 'arjenje pred preoblikovanjem in med ter ga{enje iztiskovancev. Za topljenje zlitinskih elementov se uporablja toplota ogrevanja na preoblikovalno temperaturo in toplota, ki nastane med preoblikovanjem. Tak na-in dela ima ve- prednosti v primerjavi z lo-enim topilnim 'arjenjem, kot so ni'ji stro{ki izdelave zaradi manj{e porabe energije in kraj{ega delovnega -asa, izbolj{anje mehanskih in tehnolo{kih lastnosti ter manj{e onesna'evanje okolja zaradi odsotnosti solnih kopeli.

Ga{enje na iztiskovalnici zahteva kontrolo ve-jega {tevila izdelovalnih parametrov, kot so hitrost ohlajanja

ulitih drogov po homogenizacijskem 'arjenju, na-in ogrevanja materiala na preoblikovalno temperaturo, hitrost iztiskovanja in -as, ki pote-e med iztiskovanjem in ga{enjem<sup>1</sup>. Vsi ti parametri vplivajo na topljenje zlitinskih elementov v matrici in posredno tudi na mehanske in tehnolo{ke lastnosti po staranju. Aluminijeve zlitine, ki so primerne za tako toplotno obdelavo, morajo imeti naslednje lastnosti: {irok temperaturni interval med temperaturama solvusa in solidusa, majhno kriti-no hitrost ga{enja in majhne napetosti te-enja nad temperaturo solvusa<sup>1</sup>. Ta postopek se uporablja predvsem za zlitine skupine AlMgSi, ki ustrezajo na{tetim zahtevam<sup>1-4</sup>. Visokotrnostne zlitine skupine AlCuMg se te'e toplotno obdelujejo med preoblikovanjem zaradi o'jega podro-ja med temperaturama solvusa in solidusa ter ve-jih napetosti te-enja. V strokovni literaturi obstaja malo podatkov za ga{enje teh zlitin na direktni<sup>5</sup> ali indirektni<sup>6</sup> iztiskovalnici.

^lanek obravnava iztiskovanje in toplotno obdelavo avtomatne zlitine AlCuMgPb (AA2030, ISO: AlCu4PbMg) na indirektni iztiskovalnici. Namen dela je

bila uvedba gačenja na iztiskovalnici za to zlitino. Preizkusi so obsegali določitev najkrajših potrebnih časov toplilnega 'arjenja ter primerjavo mikrostrukturnih, mehanskih in tehnoloških lastnosti iztiskovancev, ki so bili ločeno toplilno 'arjeni v solni kopeli in med iztiskovanjem. Za gačenje na iztiskovalnici so potrebne višje temperature materiala v primerjavi z navadnim preoblikovanjem. Višje temperature povzročijo nastanek razpok na površini iztiskovancev. Z namenom, da se odpravijo površinske napake, je bila votlica hlajena s tekočim dušikom. Dodatno hlajenje izboljša lastnosti polizdelkov in poveča izkoristek iztiskovalnice.

## 2 EKSPERIMENTALNO DELO

Preizkusna zlitina (tabela 1) je bila polkontinuirno ulita v drogove s premerom 285 mm. Drogovi so bili po homogenizacijskem 'arjenju razrezani v okroglice, ki so bile po stručenju do globine 5 mm ogrete v plinski in indukcijski pečici na preoblikovalno temperaturo. Iztiskovanje v palice s premerom 27,70 mm je potekalo v indirektni iztiskovalnici 35 MN. Zlitina je bila iztiskovana v konstantnih preoblikovalnih razmerah brez hlajenja votlice in pri spremenljivih stiskalnih razmerjih ter hitrostih pomikov bata s hlajenjem votlice s tekočim dušikom. Iztiskovane palice so bile toplotno obdelane po treh postopkih (slika 1): z ločenim toplilnim 'arjenjem v solni kopeli (postopka HT4 in T3) in z gačenjem na iztiskovalnici (postopek T3A). Preiskave iztiskovanih in toplotno obdelanih palic so obsegale določitev mikrostrukture, mehanskih lastnosti in obdelovalnosti z odrezavanjem v odvisnosti od načinov toplotne obdelave.

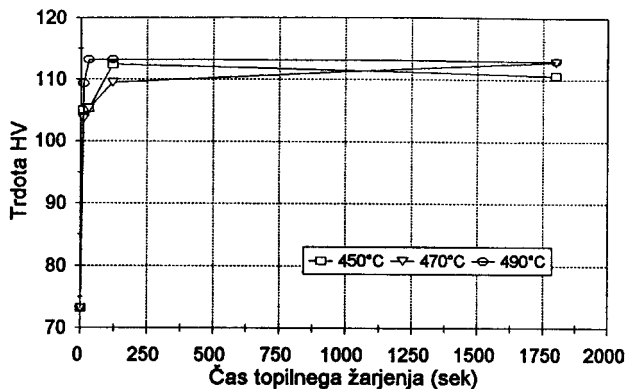


Slika 1: Sheme postopkov za toplotno obdelavo zlitine AlCuMgPb  
Figure 1: Schemes of heat treatment of AlCuMgPb (AA2030) alloy

Tabela 1: Kemijska sestava preizkusne zlitine (m%)  
Table 1: Chemical composition of investigated alloy (wt.%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Pb	Bi
0,25	0,47	4,07	0,58	0,72	0,01	0,01	0,03	0,98	-

Potrebni časi za toplilno 'arjenje zlitine so bili ugotovljeni s simulacijo toplilnega 'arjenja v laboratorijski pečici s kovinsko talino. Za preizkuse je bila uporabljena iztiskovana, toplotno neobdelana zlitina. Vzorci z dimenzijami  $\phi$  27,70 mm so bili predhodno 'arjeni 4 ure pri temperaturi 300°C z namenom, da bi se popolnoma



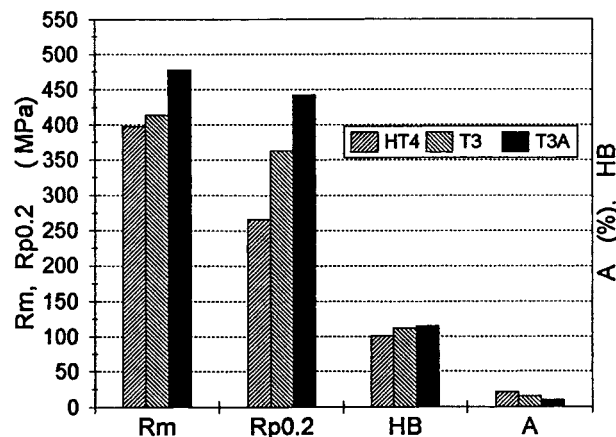
Slika 2: Vpliv časa toplilnega 'arjenja na trdoto zlitine AlCuMgPb po naravnem staranju  
Figure 2: The influence of solution annealing time on the hardness of AA2030 alloy after natural aging

izločiti utrjevalni elementi iz trdne raztopine časi toplilnega 'arjenja pri temperaturah 450°C, 470°C in 490°C so bili od 5 sekund do 30 minut. Merilo za učinkovitost toplilnega 'arjenja je bila mikrotrdota po naravnem staranju.

## 3 REZULTATI PREISKAV IN DISKUSIJA

### 3.1 Topilno 'arjenje

Laboratorijska simulacija toplilnega 'arjenja je pokazala, da je topljenje utrjevalnih elementov najhitreje v začetnem časovnem intervalu do 100 sekund (slika 2). V tem času naraste trdota zlitine za približno 1,6 krat. Daljši časi 'arjenja malo vplivajo na dodatno topljenje utrjevalnih elementov in s tem na trdoto zlitine po staranju. Ti rezultati veljajo le za učinkovite čase pri posameznih temperaturah, ki so bile zelo hitro dosežene v kovinski talini. Kratek čas toplilnega 'arjenja je eden od pogojev za toplotno obdelavo te zlitine med iztiskovanjem. Topljenje mora potekati tudi med ogrevanjem



Slika 3: Mehanske lastnosti zlitine AlCuMgPb po različnih toplotnih obdelavah  
Figure 3: Mechanical properties of AlCuMgPb (AA2030) alloy after various heat treatments



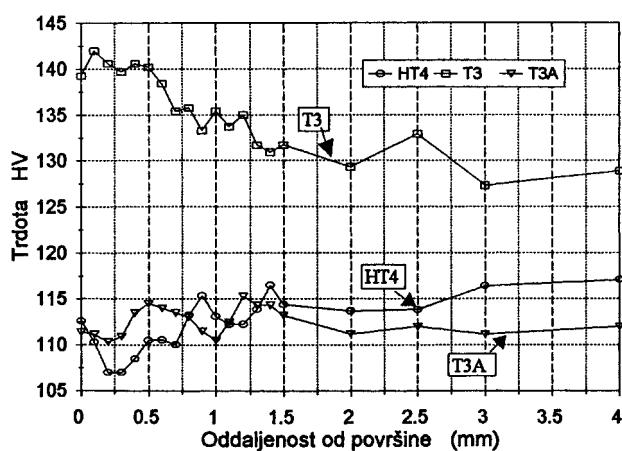
Slika 4: Mikrostruktura zlitine AlCuMgPb po toplotnih obdelavah HT4, T3 in T3A

Figure 4: Microstructure of AlCuMgPb (AA2030) alloy after HT4, T3 and T3A heat treatments

zlitine na preoblikovalno temperaturo, ker je trajanje deformacije med indirektnim iztiskovanjem krajše od eksperimentalno doloženih potrebnih časov. Temperatura materiala pred preoblikovanjem in po njem mora biti zato višja od temperatur, ki se navadno uporabljajo za indirektno iztiskovanje.

### 3.2 Lastnosti zlitine v odvisnosti od načina toplotne obdelave

**Mehanske lastnosti.** Natezna trdnost in meja tečenja iztiskovanih in toplotno obdelanih palic po postopku T3A sta večji v primerjavi s stanjema HT4 in T3 (slika 3), čeprav so bile temperature iztiskovanega materiala nižje od temperatur, ki se navadno pojavljajo za lo-eno topilno 'arjenje. Vzrok so vlaknata kristalna zrna, ki nastanejo med preoblikovanjem in ostanejo nespremenjena do gaženja (slika 4). Med topilnim 'arjenjem v solni kopeli pri temperaturi 485°C poteka popolna statična rekristalizacija. Skladno z naraščanjem trdnostnih lastnosti v smeri iztiskovanja se manjšajo prelomni raztezki. Vpliv toplotne obdelave na trdoto HB je manj izrazit. Z meritvami mikrotrdot pa je bilo ugotovljeno, da ima material po lo-enem topilnem 'arjenju večje vrednosti po



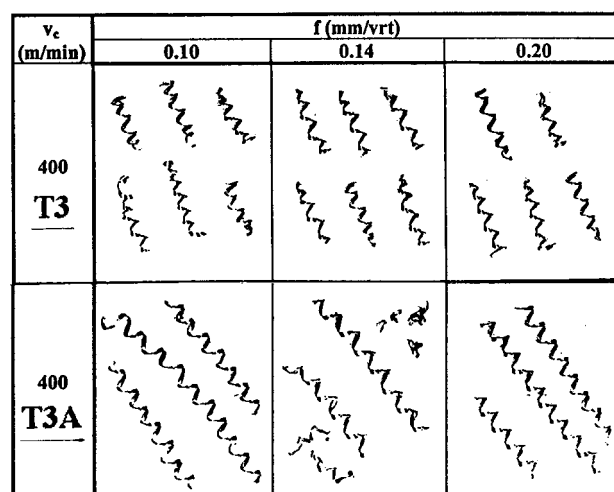
Slika 5: Mikrotrdota zlitine AlCuMgPb po preseku iztiskovanih palic, ki so bile različno toplotno obdelane

Figure 5: Cross section microhardness of AlCuMgPb (AA2030) alloy of extruded rods after different heat treatment procedures

pravokotnih presekih na smer iztiskovanja (slika 5). Višje trdote so posledica u-inkovitejšega topilnega 'arjenja v solni kopeli. Vlaknata mikrostruktura kompenzira manjši u-inek topljenja utrjevalnih elementov pred iztiskovanjem in po njem v primerjavi z lo-anim 'arjenjem.

**Obdelovalnost z odrezavanjem.** Oblika odrezkov je eden od glavnih meril pri ugotavljanju obdelovalnosti materiala. Nastanek ugodnih ali neugodnih odrezkov je odvisen od trdote materiala. Na obliko odrezkov vplivajo tudi rezalni parametri, kot so globina rezanja in hitrost podajanja. Pri konstantnih rezalnih razmerah z orodjem iz karbidne trdine ima zlitina v stanju T3 ugodnejše odrezke v primerjavi s stanjem T3A (slika 6). Daljši spiralni odrezki stanja T3A po klasifikaciji še vedno spadajo v skupino z zadovoljivimi oblikami. Vzrok za krajše odrezke stanja T3 je večja trdota materiala v rezalni coni.

Iztiskovane palice v stanju T3A imajo gladko in svetlečo površino v primerjavi z iztiskovanci, ki so lo-eno topilno 'arjeni (slika 7). Svetla površina je posledica



Slika 6: Oblika odrezkov pri različnih rezalnih hitrostih ( $v_c$ ), podajanjih ( $f$ ) in globini rezanja 1 mm za zlitino AlCuMgPb, ki je bila izdelana po postopkih T3 in T3A

Figure 6: Chip shapes at various cutting speeds ( $v_c$ ), feed rates ( $f$ ) and depth of cut 1.0 mm for AlCuMgPb (AA2030) alloy made by T3 and T3A processes



Slika 7: Površina palic po različnih postopkih toplotnih obdelav  
Figure 7: Surface of rods after various heat treatments procedures

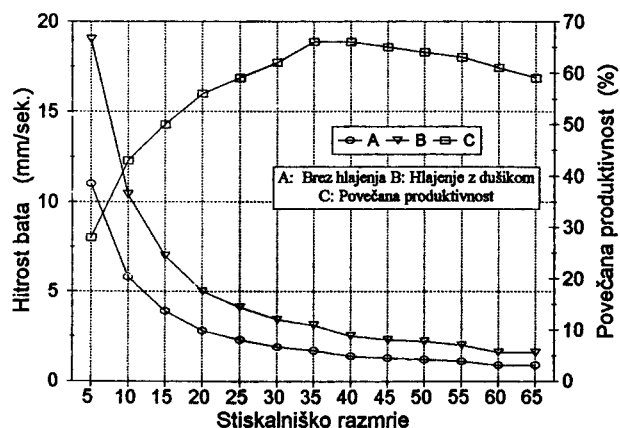
dica gaženja na iztiskovalnici, kjer material ni v stiku s soljo med topilnim 'arjenjem.

### 3.3 Hlajenje orodja s teko-*im* dušikom

Topilno 'arjenje na iztiskovalnici zahteva višje temperature predgrevanja materiala, preoblikovalne temperature in hitrosti iztiskovanja. V teh razmerah nastanejo razpoke na površini iztiskovancev. Z namenom, da bi dosegli večje hitrosti iztiskovanja pri višjih preoblikovalnih temperaturah, je bilo vpeljano hlajenje votlice s teko-*im* dušikom. Ta postopek je poznan za direktno iztiskovanje; zelo malo pa je podatkov za indirektno iztiskovanje<sup>7-9</sup>. Hlajenje prepre-uje kriti-*no* povišanje temperature v ozkem površinskem podro-ju iztiskovanca in s tem nastajanje površinskih razpok. Hlajenje votlice omogo-*a* tudi hitrejše iztiskovanje, kar pove-*a* izkoristek iztiskovalnice. Na **sliki 8** so prikazane hitrosti bata iztiskovalnice in njene u-inkovitosti pri različnih stiskalniških razmerjih za postopka s hlajenjem votlice in brez. V obeh primerih so bile palice gašene na iztiskovalnici. Rezultati na **sliki 8** veljajo za zlitino AlCu4Mg1 (AA2024), ki ima podobno sestavo kot avtomatna zlitina AlCuMgPb. Hlajenje votlice pove-*a* hitrost bata do 90% in izboljša izkoristek iztiskovalnice do 60% brez površinskih napak.

## 4 SKLEPI

Visokotrdnostna in te'e iztisljiva zlitina AlCuMgPb (AA2030) se lahko topilno 'ari in gasi med indirektnim iztiskovanjem. Polizdelki imajo višjo natezno trdnost in mejo te-enja, svetlo površino in zadovoljive odrezke v primerjavi z iztiskovanci, ki so lo-eno topilno 'arjeni v



Slika 8: Hitrost bata in izboljšana produktivnost iztiskovalnice v odvisnosti od stiskalniškega razmerja za postopka s hlajenjem votlice s teko-*im* dušikom in brez njega

Figure 8: Ram speed and improved productivity of press as function of extrusion ratio for die cooling with and without liquid nitrogen

solni kopeli. Vzrok za višje trdnostne lastnosti je nerekristalizirana mikrostruktura. Hlajenje votlice s teko-*im* dušikom prepre-uje nastanek površinskih razpok in pove-*a* u-inkovitost iztiskovanja.

## 5 LITERATURA

- Hains R. W.: Press quenching of aluminium alloys, *Proceedings of Third International Aluminium Extrusion Technology Seminar*, Atlanta, 1 (1984) 81-88
- Achenbach D.: Strangpressen von Aluminium, *Aluminium*, 46 (1970) 9, 607-613
- Zoller H., A. Ried: Metallkundliche Gesichtspunkte bei der Entwicklung wenig abschreckempfindlicher AlMgSi-Legierungen, *Zeitschrift für Metallkunde*, 62 (1971) 5, 351-385
- Smolej A., M. Sokovič, J. Kopač, V. Dragojevič: Influence of heat treatment on the properties of the free-cutting AlMgSi alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, Elsevier, Amsterdam, 53 (1995) 373-384
- Sheppard T.: Metallurgical aspects of direct and indirect extrusion, *Proceedings of Third International Aluminium Extrusion Technology Seminar*, Atlanta, ZDA, 1 (1984) 107-124
- A. Smolej, V. Dragojevič, I. Kverh: Press quenching of high-strength aluminium alloys at indirect extrusion press, *3rd World Congress Aluminium 2000*, Conference Proceedings, Limassol-Cyprus, 1997
- Ward T. J., J. F. Heffron: The effects of nitrogen and liquid and gaseous - on aluminium extrusion productivity, *Proceedings of Third International Aluminium Extrusion Technology Seminar*, Atlanta, ZDA, 1 (1984) 211-219
- R. J. Selines, F. D. Lauricella, P. Cienciwa, C. Goff: Extrusion cooling and inerting using liquid nitrogen, *Proceedings of Third International Aluminium Extrusion Technology Seminar*, Atlanta, ZDA, 1 (1984) 221-226
- H. Brodbeck: Experience using liquid nitrogen for die cooling, *Proceedings of Third International Aluminium Extrusion Technology Seminar*, Atlanta, ZDA, 1 (1984) 279-282