

Vpliv toplotne obdelave na lastnosti avtomatne zlitine AlMgSiPbBi

Influence of Heat Treatment on the Properties of AlMgSiPbBi Free-Cutting Alloy

A. Smolej, S. Tršar, *Montanistika, FNT, Ljubljana*

V. Dragojević, A. Gorčenko, M. Jelen, T. Smolar, *IMPOL, Slovenska Bistrica*

J. Kopač, M. Sokovič, *Fakulteta za strojništvo, Ljubljana*

Avtomatna zlitina vrste AlMgSiPbBi je bila predelana ter toplotno obdelana po postopkih gašenja neposredno po iztiskanju in po standardnem postopku z ločenim raztopnim žarjenjem in gašenjem. Določen je vpliv različnih postopkov toplotne obdelave na mikrostrukturo, mehanske lastnosti in obdelovalnost polizdelkov z odrezovanjem.

Ključne besede: avtomatna zlitina AlMgSiPbBi, toplotna obdelava, gašenje po iztiskanju, mehanske lastnosti, obdelovalnost z odrezovanjem

The AlMgSiPbBi free-cutting alloy was worked and heat treated by the method of quenching in the extrusion press (T9 temper) and by the standard method of separate solution annealing and quenching (HT9 temper). Influence of various heat-treatment methods on the micro-structure, mechanical properties, and machinability of semiproducts was determined.

Key words: AlMgSiPbBi free-cutting alloy, heat-treatment, press quenching, mechanical properties, machinability

1 Uvod

Zlitine vrste AlMgSiPbBi spadajo v skupino aluminijevih zlitin za obdelavo na avtomatih. Te zlitine so bile razvite iz gnetnih, toplotno utrjevalnih zlitin AlMgSi, katerim sta bila dodana svinec in bizmut. Oba elementa se pojavljata v aluminijevi osnovi kot netopne faze, ki izboljšajo obdelovalnost materiala z odrezovanjem. Optimalna sestava, velikost in porazdelitev faz s svincem in bizmutom so bile vključno z mehanizmom lomljenja odrezkov predmet številnih raziskav¹⁻⁶. Zlitina AlMgSiPbBi ima v primerjavi z drugimi aluminijevimi, avtomatnimi zlitinami AlCuPbBi in AlCuMgPb boljše preoblikovalno sposobnost, korozijsko obstojnost, možnost anodiziranja površin ter nekoliko nižje mehanske in obdelovalne lastnosti. Zlitine AlMgSi oziroma AlMgSiPbBi imajo majhno preoblikovalno trdnost v področju nad temperaturo solvus, širok interval med temperaturo solvus in solidus ter nizko kritično hitrost gašenja. Te lastnosti omogočajo, da lahko poteka del toplotne obdelave zlitin neposredno med iztiskanjem⁷⁻⁹.

Običajni tehnološki postopek za izdelavo in toplotno obdelavo polizdelkov v obliki palic iz zlitin AlMgSiPbBi sestoji iz homogenizacijskega žarjenja polkontinuirno ulitih drogov, iztiskanja, hladne predelave z vlečenjem, raztopnega žarjenja, gašenja, umetnega staranja in ponovne hladne predelave z vlečenjem. Postopek je opisan z oznako HT 9. V primeru zlitin AlMgSi je možno toplotno obdelavo združiti z iztiskanjem. Kombiniran postopek z oznako T 9 vsebuje homogenizacijsko žarjenje ulitkov, iztiskanje, gašenje iztiskancev po izstopu iz matice, umetno staranje in hladno predelavo z vlečenjem. Za raztopno žarjenje se koristi toplota, ki se razvije med preoblikovanjem. Zaradi

manjšega števila delovnih operacij in koriščenja preoblikovalne toplote ima ta postopek v primerjavi s standardnim velike ekonomske prednosti. Gašenje po iztiskanju zahteva natančno kontrolo večjega števila parametrov izdelave kot so hitrost ohlajanja po homogenizacijskem žarjenju, temperatura materiala med iztiskanjem, hitrost iztiskanja, hitrost gašenja in dimenzije polizdelkov⁹. S pravilno izbiro teh parametrov ima material po izhodu iz matrice ustrezno temperaturo raztopnega žarjenja, kar je pogoj za gašenje na stiskalnici. Postopek T 9 se v praksi uspešno uporablja za izdelavo različnih iztiskanih polizdelkov iz zlitin vrste AlMgSi z nižjo vsebnostjo Mg in Si^{7,8}; manj pa je podatkov o vplivu take toplotne obdelave na lastnosti avtomatnih zlitin v obliki palic z večjimi premeri.

V tem delu je opisan vpliv gašenja po iztiskanju na mikrostrukturo, mehanske lastnosti in obdelovalnost z odrezovanjem v primerjavi s standardno predelano in toplotno obdelano zlitino AlMgSiPbBi.

2 Eksperimentalno delo

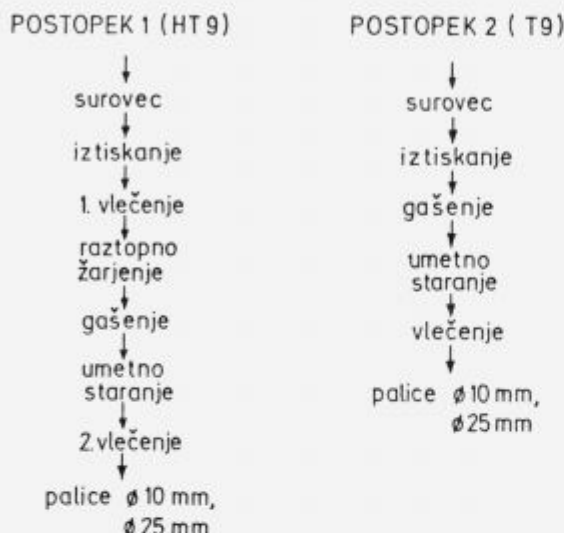
Polkontinuirno uliti drogovci iz zlitine AlMgSiPbBi (tabela 1) so bili po homogenizacijskem žarjenju razrezani v surovce, ki so bili predelani in toplotno obdelani po dveh postopkih (slika 1). Premeri surovcev so bili za postopek HT 9 218 mm in za postopek T 9 155 mm. Končni premeri polizdelkov v obliki palic so bili 10 mm in 25 mm. Oba postopka se razlikujeta predvsem po načinu raztopnega žarjenja in gašenja. Pri postopku HT 9 so bile iztiskane in vlečene palice raztopno žarjene v solni kopeli pri temperaturi 525°C in gašene v mlačni vodi. Pri drugem postopku,

kjer se za raztopno žarjenje koristi preoblikovalna toplota, so bile palice gašene z vodno prho po izstopu iz matrice.

in delno rekristalizirana mikrostruktura v površinskih področjih palic so vzrok za nizko mikrotrdoto v primerjavi z ostalim presekom palic (slika 3).

Tabela 1. Kemijska sestava preiskusne zlitine AlMgSiPbBi (v m.%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Pb	Bi
0.70	0.16	0.35	0.07	0.95	0.07	0.49	0.48



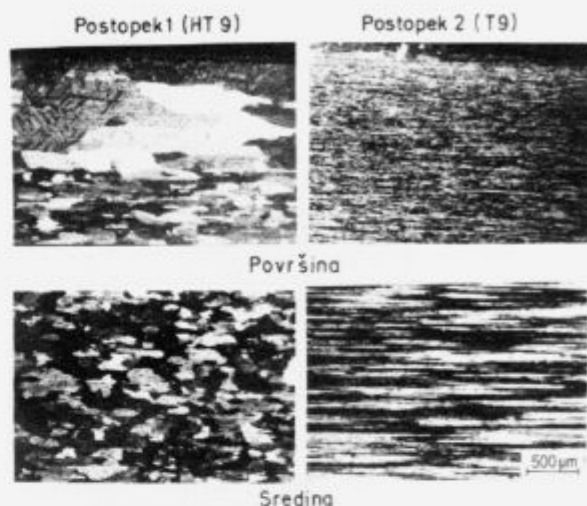
Slika 1. Shemi postopkov za predelavo in toplotno obdelavo zlitine AlMgSiPbBi.

Figure 1. Schemes of working and heat treatment of AlMgSiPbBi alloy.

Preiskusi obdelovalnosti so bili narejeni na univerzalni stružnici in so obsegali določitev obrabe orodij, kvalitete površin, velikosti rezalnih sil in oblike odrezkov. Preizkušanci so bili v obliki palic z dimenzijami $\phi 25 \times 500$ mm. Glavni parametri rezanja so bili rezalna hitrost ($v_c = 88$ do 175 m/min.), podajanje ($f = 0.10$ do 0.20 mm/vrt.) in globina rezanja $a_p = 1$ mm. Uporabljena orodja so bila iz hitreznega jekla z geometrično obliko rezalnega noža $\gamma = 15^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\lambda = 5^\circ$ in $\kappa = 90^\circ$. Obdelovalnost je bila določena po metodologiji INFOS-a¹⁰.

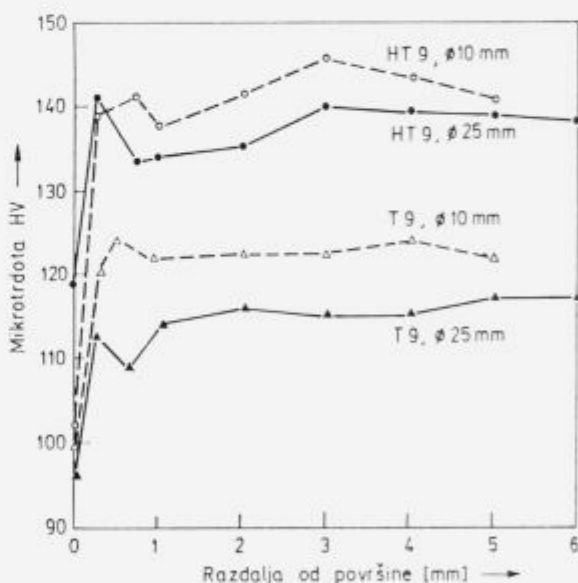
3 Rezultati preiskav in diskusija

Mikrostruktura palic, ki so toplotno obdelane po postopku HT 9, sestoji iz rekristaliziranih zrn po celotnem preseku (slika 2). Ta zrna nastanejo po procesu statične rekristalizacije med raztopnim žarjenjem palic v solni kopeli pri temperaturi 525°C . Velika zrna na obodu palic so posledica višje temperature in deformacije površinskega področja med iztiskanjem ter dodatnega preoblikovanja med prvim vlečenjem, ki je v mejah kritične stopnje deformacije. Na površini so zaradi trenja materiala z matrico drugačni preoblikovalni pogoji kot v notranosti iztiskancev¹¹⁻¹³. Usmerjenost kristalnih zrn nastane med drugim vlečenjem, ki sledi toplotni obdelavi. Palice, ki so gašene neposredno po iztiskanju, imajo vlaknata kristalna zrna in delno rekristalizirano površinsko področje (slika 2). Vlaknata zrna nastanejo med iztiskanjem, kjer poteka v materialu proces dinamične poprave. Nepopolna statična rekristalizacija poteče le v ozkem površinskem področju v kratkem času med izstopom iz matrice in gašenjem. Velika kristalna zrna



Slika 2. Mikrostruktura zlitine AlMgSiPbBi v področju površine in sredine palice. Zlitina je bila izdelana po postopkih HT 9 (levo) in T 9 (desno).

Figure 2. Microstructure of AlMgSiPbBi alloy in the surface region, and in the centre of rod. The alloy was manufactured by the HT 9 process (left), and T 9 process (right).



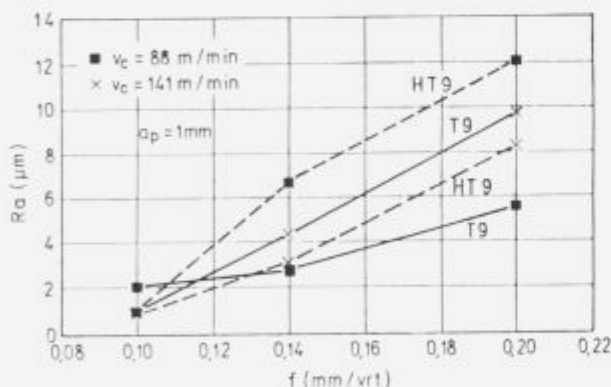
Slika 3. Mikrotrdote prečnega preseka palic, ki so bile izdelane po postopkih HT 9 in T 9.

Figure 3. Microhardness on the lateral cross section of rods being made by HT 9 and T 9 processes.

Mikrotrdota po preseku palic je odvisna od načinov toplotne obdelave (slika 3). Palice, ki so gašene po iztiskanju, imajo nižjo mikrotrdoto v primerjavi z ločeno raztopno žarjenim in gašenim materialom. Med iztiskanjem s hitrostjo 10 m/min. je izstopna temperatura materiala 540 do 550°C . Ta temperatura je višja od potrebne temperature za raztopno žarjenje zlitin vrste AlMgSi. Čas

raztopnega žarjenja je domnevno prekratek za popolno raztapljanje elementov Mg in Si v aluminijevi osnovi, kar ima za posledico nižjo mikrotrdoto v primerjavi z ločeno toplotno obdelanim materialom. V nasprotju z mikrotrdoto sta natezna trdnost in meja plastičnosti enakega velikostnega reda za vse preiskuvance ($R_{p0.2} = 390 \text{ N/mm}^2$, $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$, $A_5 = 5 - 8\%$). Vzrok za podobne lastnosti je izenačitev vpliva učinkovitejšega raztopnega žarjenja pri ločeno toplotno obdelanih palicah in vlaknate mikrostrukture v palicah, ki so gašene po iztiskanju. Vlaknata mikrostruktura povzroči v iztiskanih in toplotno utrjenih materialih večje trdnostne lastnosti v vzdolžni smeri v primerjavi s toplotno utrjenimi materiali, ki imajo rekristalizirano mikrostrukturo. Ta pojav je poznan kot "presefekt"¹²⁻¹⁴. Presefekt, ki se doseže z gašenjem na stiskalnici, kompenzira manjši učinek raztopnega žarjenja in povzroči dodatno povečanje trdnostnih lastnosti v vzdolžni smeri iztiskancev. Doseženi natezna trdnost, meja plastičnosti in raztezek so skladni z zahtevanimi vrednostmi po standardih.

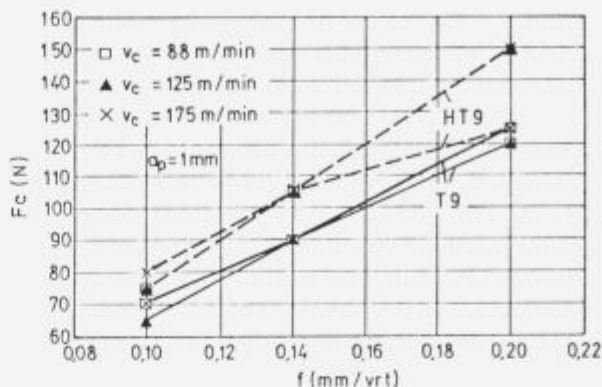
Mikrostrukturne in mehanske lastnosti zlitine, ki nastanejo po različnih postopkih predelave in toplotne obdelave, ne povzročijo znatnih razlik v obrabi orodij, kvaliteta površin in rezalnih silah. Te veličine so pri enakih pogojih rezanja podobne za obe stanji oziroma celo manjše pri nekaterih preiskusnih pogojih za materiale, ki so gašeni po iztiskanju. Bolj kot snovne lastnosti vplivajo na te veličine parametri rezanja. Obraba orodij, hrapavost površin in rezalne sile se večajo z naraščajočim podajanjem in rezalno hitrostjo, pri čemer ima podajanje večji vpliv (sliki 4 in 5). Različna postopka toplotne obdelave pa vplivata na obliko odrezkov. Med struženjem materiala v stanju T 9 nastanejo v primerjavi s stanjem HT 9 pri večini kombinacij rezalnih parametrov daljši odrezki v obliki zvitkov in poševnih spiral (slika 6). Ti odrezki so uvrščeni po klasifikaciji v zadovoljive do neugodne skupine.



Slika 4. Hrapavost obdelane površine v odvisnosti od podajanja f in rezalne hitrosti v_c za zlitino AlMgSiPbBi, ki je bila izdelana po postopkih HT 9 in T 9.

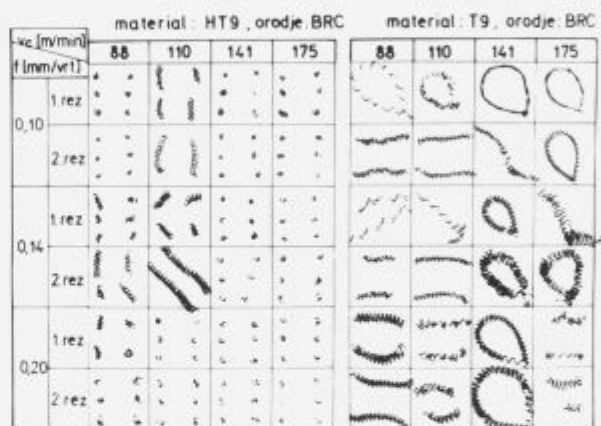
Figure 4. Roughness of machined surface depending on feed (f) and cutting speeds (v_c) for AlMgSiPbBi alloy made by HT 9 and T 9 processes.

Mikrostrukturne in trdnostne lastnosti polizdelkov iz zlitine AlMgSiPbBi imajo med vsemi kriteriji obdelovalnosti največji vpliv na obliko odrezkov. Le-ta je odvisna od preoblikovalne sposobnosti in mehanskih lastnosti materiala v rezalni coni. Na ugodne oblike odrezkov pri materialu v stanju HT 9 vpliva višja trdota, ki je posledica učinkovitejšega izločevalnega utrjevanja. Za nastanek



Slika 5. Glavne rezalne sile v odvisnosti od podajanja f in rezalne hitrosti v_c za zlitino AlMgSiPbBi, ki je bila izdelana po postopkih HT 9 in T 9.

Figure 5. Principal cutting forces depending on feed (f) and cutting (v_c) speeds for AlMgSiPbBi alloys made by HT 9 and T 9 processes.



Slika 6. Oblike odrezkov pri različnih rezalnih hitrostih v_c , podajanjih f in geometrijskih mestih rezanja (1. rez — površina palice, 2. rez — sredina palice) za zlitino AlMgSiPbBi, ki je bila izdelana po postopkih HT 9 in T 9.

Figure 6. Chip shapes at various cutting speeds v_c , feedrates f , and on various cutting locations (1st cut — rod surface, 2nd cut — rod centre) for AlMgSiPbBi alloy made by HT 9 and T 9 processes.

ugodnih odrezkov je odločujoča trdota materiala v coni rezanja, ki prevladuje nad obliko kristalnih zrn in trdnostnimi lastnostmi zaradi presefakta.

4 Zaključki

Avtomatna zlitina AlMgSiPbBi je bila predelana z iztiskanjem in toplotno obdelana po standardnem postopku z ločenim raztopnim žarjenjem in gašenjem (HT 9) in po postopku neposrednega gašenja po iztiskanju (T 9). Lastnosti polizdelkov v stanju T 9 so vlaknata mikrostruktura, nižja mikrotrdota po preseku palic, ustrezni meja plastičnosti in natezna trdnost ter podobna obdelovalnost razen oblike odrezkov v primerjavi s stanjem HT 9. Ekonomske prednosti in lastnosti polizdelkov potrjujejo možnost uporabe postopka gašenja po iztiskanju za izdelavo palic iz avtomatne zlitine AlMgSiPbBi.

5 Literatura

- ¹ P. Johne: Handbuch der Aluminiumzerspanung, Aluminium-Verlag, Düsseldorf, 1984, str. 21–86.
- ² H. Zoller, G. Enzler, J.C. Fornerod: Über die Zerspanbarkeit von Aluminiumlegierungen, Aluminium, 45, 1969, 1, str. 49–54.
- ³ A. Podgornik, F. Vodopivec: Versuch einer quantitativen Darstellung der Gefügeanordnung des Bleis und des Wismuts in der Legierung AlCu5PbBi, Aluminium, 46, 1970, 9, str. 614–617.
- ⁴ A. Podgornik, A. Smolej: Der Einfluss der Oberflächenspannung auf Grösse und Verteilung von spanbrechenden Einschlüssen bei Legierungen vom Typ AlCu5(Pb)(Bi), Aluminium, 47, 1971, 9, str. 554–556.
- ⁵ W. König, W. Kreis: Werkstoffkenngrössen und ihre Bedeutung für die Zerspanung, Zeitschrift für Metallkunde, 66, 1975, 1, str. 1–10.
- ⁶ Davies: Machinability and microstructure of non-ferrous metals and alloys, Metals Technology, 5–6, 1976, str. 283.
- ⁷ D. Achenbach: Strangpressen von Aluminium, Aluminium, 46, 1970, 9, str. 607–613.
- ⁸ H. Zoller, A. Ried: Metallkundliche Gesichtspunkte bei der Entwicklung wenig abschreckempfindlicher AlMgSi-Legierungen, Zeitschrift für Metallkunde, 62, 1971, 5, str. 351–358.
- ⁹ R.W. Hains: Press quenching of aluminium alloys, Proceedings of the third international aluminium technology seminar, Vol. 1, Atlanta, 1984, str. 81–88.
- ¹⁰ Informationszentrum für Schnittwerte, WZL-TH Aachen
- ¹¹ G. Scharf, D. Achenbach, W. Gruhl: Beeinflussung der Grobkornbildung bei Pressprofilen aus Aluminiumlegierungen, Zeitschrift für Metallkunde, 60, 1969, 6, str. 515–520.
- ¹² D. Altenpohl: Aluminium und Aluminiumlegierungen, Springer-Verlag, Berlin, 1965, str. 733–737.
- ¹³ K. Laue, H. Stenger: Strangpressen, Aluminium-Verlag, Düsseldorf 1976, str. 4–20.
- ¹⁴ K. Ohori, H. Watanabe: Mikrostruktur und mechanische Eigenschaften von stranggepressten Stangen aus AlMgSi-Legierungen, Aluminium, 62, 1986, 3, str. 188–192.