

Vplyv teploty formy na vybrané vlastnosti AlSi5Cu2Mg

Elena Kantoríková, Ing. PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,

Žilinská univerzita v Žiline,

Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: elena.kantorikova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2763

The influence of mold temperature on selected properties of AlSi5Cu2Mg

Abstract: Currently, high demands are placed on the costs associated with the production of products, therefore it is advisable to know the individual characteristics of materials that are used in industry. The article deals with the influence of mold temperature on the mechanical properties of *aluminium* alloy. By knowing the characteristics of individual materials, it is possible to effectively design and manufacture equipment that will be safe and suitable for the given application. In many cases, *aluminium* alloys are offered as a solution, which are considered innovative construction materials, mainly because of the perfect combination of their properties.

Keywords: mechanical properties, *aluminium* alloys, heat treatment.

ÚVOD

V súčasnosti sa kladú vysoké požiadavky na náklady spojené s vyhotovovaním výrobkov, preto je vhodné poznať jednotlivé charakteristiky materiálov, ktoré sú využívané v priemysle. Znalosťou charakteristík jednotlivých materiálov je možné efektívne navrhovať a vyrábať zariadenia, ktoré budú bezpečné a vhodné pre danú aplikáciu. V množstve prípadov sa ako riešenie ponúkajú *hliníkové* zliatiny, ktoré sú považované za inovatívne konštrukčné materiály, najmä z dôvodu perfektnej kombinácie ich vlastností. Sú to materiály, bez ktorých by sa priemysel nezaobíšiel, predovšetkým v dopravnom sektore. Pridávaním vhodných legúr, tepelným spracovaním možno dosiahnuť skvelú kombináciu vlastností, čím sa zväčší interval použitia v mnohých sektoroch [1].

Hliník sa nachádza všade okolo nás. Má vplyv na náš život a výrobky z *hliníka* nachádzajú uplatnenie v nespočetnom množstve aplikácií. Sprevádza nás už približne 100 rokov pri všetkom, čo robíme. V minulosti bol *hliník* drahší než *zlato* z dôvodu malej produkcie, pričom sa v tom období používal len na špeciálne účely v klenotníctve. Postupom času bol *hliník* omnoho prístupnejší, čo malo za následok výrobu produktov s využitím v každodennom živote. Najviac je *hliník* v súčasnosti využívaný v doprave, stavebníctve, v strojárskom a hutníckom priemysle, energetike, v elektrotechnickom a potravinárskom priemysle a v mnohých iných oblastiach. Stavebný priemysel je hneď po dopravnom priemysle na druhom mieste v spotrebe *hliníka*. V posledných desaťročiach stúpila spotreba *hliníka* hlavne vyrábaním fasádnych prvkov, ako sú rôzne tvarované

profily, rúrky [2]. Dnes sa objavuje *hliník* tak ako aj vo vnútri, tak aj z vonka budov na obohatenie ich architektúry. *Hliníkové* prvky uchovávajú bezchybný vzhľad po dlhú dobu, majú jednoduchú a lacnú údržbu, vysokú odolnosť proti korózii, nízku hmotnosť, možnosť prefarbenia atď. Strojárske odvetvie sa radí na tretiu pozíciu z hľadiska spotreby *hliníka*, pretože v tomto odvetví je vyrobených z *hliníka* nespočetné množstvo súčiastok, strojov a zariadení. Ako príklady aplikácie *hliníka* môžeme uviesť súčasti čerpadiel, cisterny a nádrže pre skladovanie i prepravu čpavkovej vody, rotory a ventilátory pračiek pri výrobe čpavku, rôzne technologické potrubia [3].

Hliníkové zliatiny na báze *Al-Si* sú charakteristické tým, že na výrobu odliatkov sa môže použiť ktorúkoľvek zlievarenskú metódu. Voľba metódy odlievania je ovplyvnená počtom odlievaných kusov, rozmermi, hmotnosťou a technickými požiadavkami kladených na odliatky [3, 4].

1 GRAVITAČNÉ LIATIE DO KOVOVÝCH FORIEM

Je to metóda odlievania *hliníkových* zliatin pôsobením gravitačnej sily do formy (kokily). Najvhodnejšie *hliníkové* zliatiny pre túto technológiu sú zliatiny s nízkou teplotou tavenia, dobrou zabiehavosťou, s úzkym intervalom tuhnutia. To znamená, že optimálnymi materiálmi sú zliatiny *Al-Si* *podeutektického* a *eutektického* zloženia. Použitím tejto progresívnej metódy sa dosahuje zvýšenie mechanických vlastností, kvalitný povrch odliatkov, nižšiu rozmerovú toleranciu odlievaných súčiastok,

zvýšenie produktivity práce, použitím kovového jadra nie je nutná výroba jadra. Formy sa vyhotovujú z jedného, alebo viacerých dielov a zväčša sa vyrábajú odlievaním z liatiny s lupienkovým alebo guľôčkovitým grafitom. Typické prvky formy (deliaca rovina, upínacie výstupky, vyhadzovacie otvory) sa obrábajú a funkčné plochy ostávajú v liatom stave. V praxi sa formy inštalujú na kokilové stroje, ktoré umožňujú efektívnejšiu prácu s formou a manipuláciu s odliatkami. Pred samotným odlievaním musí byť kovová forma predhriata na teplotu pohybujúcu sa v rozmedzí 200°C až 250°C. Aby nedochádzalo poškodeniu povrchu formy, na povrch sa pravidelne nanášajú ochranné nátery [5, 6].

2 VYTVRDZOVANIE

Vytvrdzovanie sa považuje sa najdôležitejší spôsob tepelného spracovania hliníkových zliatin. Zámerom je spevnenie zliatiny spätným rozpustením intermetalických fáz do homogénneho roztoku $\alpha(Al)$. Tieto intermetalické fázy sa vylučujú vo forme koherentných alebo semi-koherentných útvarov, ktoré danú zliatinu spevnia. Dosiahne sa výrazné zvýšenie medze pevnosti a tvrdosti, na druhej strane ťažnosť klesá. Východiskovým polotovarom bývajú odliatky, pri ktorých je nutným predpokladom prítomnosť prísady, ktorá má výraznú zmenu rozpustnosti v tuhom roztoku. K najčastejšie vytvrdzovaným zliatinám sa radia zliatiny $Al-Si-Mg$, $Al-Si-Cu$. Vytvrdzovanie pozostáva z troch častí, ktorými sú rozpúšťacie žihanie, rýchle ochladenie, precipitačné vytvrdenie.

Jednou z troch etáp procesu vytvrdzovania je rozpúšťacie žihanie. Je to ohriatie odliatku na rozpúšťaciu teplotu, pri ktorej sa prítomná intermetalická fáza rozpustí v tuhom roztoku. Doba trvania tejto etapy by nemala byť dlhá, aby nedošlo k zhrubnutiu zrna [7, 8].

V druhej etape dochádza k ochladeniu, kde je snaha získať presýtený tuhý roztok. Ochladzovanie zvyčajne prebieha vo vode pri rôznych teplotách vyplývajúcich z druhu súčiastky. Po tejto etape získa hliníková zliatina nízku pevnosť, tvrdosť a je vysoko plastická. Poslednou etapou procesu vytvrdzovania je

umelé starnutie, ktoré sa skladá z ohrevu s následnou výdržou pri zvýšenej teplote. Okrem umelého starnutia je známe tiež prirodzené starnutie, pri ktorom sa zliatina po rýchlom ochladení ponecháva pri teplote okolia. Teplota výdrže pri umelom starnutí sa zvyčajne pohybuje v rozsahu teplôt 140°C až 200°C. V technickej praxi sa volí výdrž na danej teplote približne niekoľko hodín, pretože môže dôjsť k prestarnutiu. Prestarnutie je nežiaduci jav, pretože nastáva pokles mechanických vlastností zliatiny. V tejto etape nastáva rozpad presýteného tuhého roztoku $\alpha(Al)$, čo sa prejavuje konečným spevnením (rastie pevnosť a tvrdosť) zliatiny. Pri umelom starnutí prebieha počas rozpadu presýteného tuhého roztoku $\alpha(Al)$ niekoľko fáz. Vznikajú tzv. Guinier-Prestonove zóny I. a II (zvyšuje sa efekt vytvrdenia), ďalej vzniká tzv. prechodný precipitát a poslednou fázou je vznik rovnovážneho precipitátu $CuAl_2$ [9, 10].

3 EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V experimentálnej časti sa článok venuje sledovaniu zmien štruktúr zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ v závislosti od teploty formy a rýchlosti tuhnutia. Okrem toho sú porovnávané mechanické vlastnosti pred a po tepelnom spracovaní vzoriek danej zliatiny. Na experiment boli vyhotovené tri vzorky, pri ktorých bola využitá metóda odlievania gravitačným liatím do kovovej formy.



Obr. 1. Odliatok v kovovej forme

Tab.1 Chemické zloženie experimentálnej zliatiny

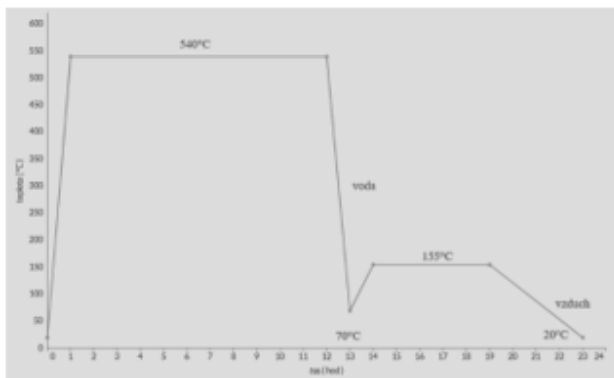
Prvok	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Mg</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>
Obsah [%]	5,40	0,177	1,85	0,0148	0,286	0,0164	0,0047
Prvok	<i>Zn</i>	<i>Ti</i>	<i>B</i>	<i>Bi</i>	<i>Ca</i>	<i>Cd</i>	<i>Li</i>
Obsah [%]	0,0093	0,0135	0,0001	0,0005	0,00093	0,00027	0,00002
Prvok	<i>Mo</i>	<i>Na</i>	<i>P</i>	<i>Pb</i>	<i>Sb</i>	<i>Sr</i>	<i>Zr</i>
Obsah [%]	0,00051	0,00004	0,0007	0,0045	0,0012	0,0101	0,00086
Prvok	<i>V</i>	<i>ostatné</i>	<i>Mn/Fe</i>	<i>Al</i>	-	-	-
Obsah [%]	0,0053	0,0018	0,0839	92,2	-	-	-

Odlievanie sa uskutočnilo pri troch rôznych teplotách kovovej formy. Postupne sa odlievali vzorky do kovovej formy, ktorá bola nahriata na teploty 370°C, 250°C, 150°C. Na vzorkách sa vykonala chemická analýza.

Ďalej sa vzorky pripravili k skúmaniu ich štruktúry a k tepelnému spracovaniu. Posledným krokom bolo meranie tvrdosti daných vzoriek pred a po tepelnom spracovaní.

3.1 Tepelné spracovanie

Proces vytvrdzovania skúmanej zliatiny *AlSi5Cu2Mg* pozostával z dvoch častí. Prvý cyklus tepelného spracovania sa skladal zo žihania pri teplote 540°C ±10°C, kde výdrž na tejto teplote bola 12 hod. s následným ochladením vo vode pri 70°C. Umelé starnutie prebiehalo pri teplote 155°C ±10°C s výdržou na tejto teplote 5 hod. Ochladenie bolo realizované voľne na vzduchu. Proces tepelného spracovania je graficky zobrazený na obr. 2.



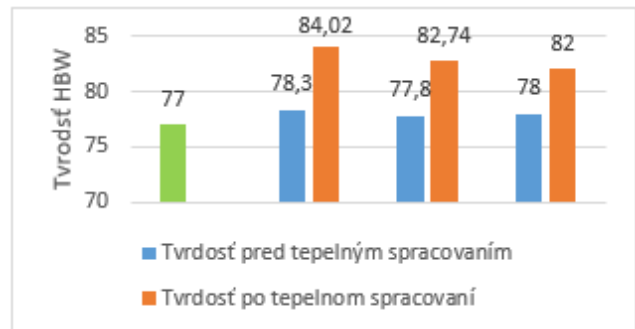
Obr. 2. Graf tepelného spracovania zliatiny *AlSi5Cu2Mg*

3.2 Mechanické vlastnosti

Na meranie tvrdosti bola použitá metóda podľa *Brinella*. Princíp tejto skúšky podľa je založený na vtláčaní kalenej oceleovej guľôčky s daným priemerom, s určitou dobou trvania, pri pôsobení určitého zaťaženia. Výsledkom tejto skúšky je hodnota tvrdosti materiálu, ktorej kritériom pre hodnotenie je vtláčok. V tomto experimente sa meranie tvrdosti podľa *Brinella* uskutočnilo na prístroji *Innovatest Nexus 3000*. Priemer vtláčanej guľôčky bol 5 mm so zaťažením 250 kg po dobu trvania 10 sekúnd. Tvrdosť sa merala na vzorkách pred a po tepelnom spracovaní. Každá vzorka sa merala päťkrát. Z nameraných hodnôt tvrdosti sa stanovil aritmetický priemer. Výsledky merania sú zaznamenané v grafe (obr. 3).

Vzorka pred experimentom mala hodnotu tvrdosti v liatom stave 77 HBW. Po následnom tepelnom spracovaní sa tvrdosť experimentálnej zliatiny *AlSi5Cu2Mg* zvýšila. Najvyššia priemerná hodnotu tvrdosti 84,02 HBW bola nameraná po tepelnom spracovaní vzorky pri teplote kovovej formy 370°C.

Naopak najmenšia priemerná hodnota tvrdosti HBW 77,8 bola zistená pred tepelným spracovaním na vzorke, ktorá bola odlíata pri teplote kovovej formy 250°C.



Obr. 3. Graf vyhodnotenia tvrdosti experimentálnej zliatiny *AlSi5Cu2Mg*

3.3 Štruktúrna analýza

Teplota formy je dôležitý faktor, ktorý ovplyvňuje výslednú štruktúru odliatkov. V experimente bolo aplikované voľné ochladzovanie odliatkov na vzduchu, čiže tuhnutie bolo ovplyvnené predovšetkým teplotou odlievacej formy. S klesajúcou teplotou formy prebieha tuhnutie tekutého kovu rýchlejšie, odliatok nadobúda jemnejšiu štruktúru, ako aj výhodnejšie vlastnosti.

Základná štruktúra východiskového experimentálneho materiálu *AlSi5Cu2Mg* je tvorená dendritmi primárnej fázy α (svetlé miesta), eutektikom E a intermetalickými fázami. Štruktúra skúmaných vzoriek pri rôznych teplotách je zobrazená na obr. 4 a obr. 5.



Obr. 4. Mikroštruktúra zliatiny *AlSi5Cu2Mg* pri teplote kovovej formy 370°C, leptaná 0,5% HF

Z fotodokumentácie možno vidieť že, štruktúra je pri všetkých troch teplotách kovovej formy rovnaká, je tvorená dendritmi primárnej fázy α a eutektikom E, intermetalické fázy nie sú viditeľné [11]. Na každej vzorke sú prítomné póry, ktoré sa považujú za chyby odliatkov. Identifikovať ich možno vo forme väčších, nepravidelných útvarov čiernej farby. Zo zistených údajov vyplýva, že nedochádza k štruktúrnym zmenám experimentálnej zliatiny *AlSi5Cu2Mg*. Na

obr. 6 je viditeľné, že po tepelnom spracovaní došlo k zjemneniu štruktúry, čo by sa malo odzrkadliť na mechanických vlastnostiach v pozitívnom smere.



Obr. 5. Mikroštruktúra zliatiny $AlSi_5Cu_2Mg$ pri teplote kovovej formy $250^{\circ}C$, leptané 0,5% HF



Obr. 6. Mikroštruktúra zliatiny $AlSi_5Cu_2Mg$ po tepelnom spracovaní, leptané 0,5% HF

ZÁVER

Z vykonaných experimentov sa dá usúdiť, že teória zjemňujúcej sa štruktúry pri klesajúcej teplote formy sa nepotvrdila. Teplota formy v tomto prípade nemá výrazný vplyv na štruktúralne zmeny danej zliatiny. Pri každej zo skúmaných vzoriek bola štruktúra identická, tvorená dendritmi primárnej fázy α a eutektikom E . Typické intermetalické fázy neboli viditeľné. Táto skutočnosť mohla byť spôsobená najmä veľkosťou odliatku. Po tepelnom spracovaní nastalo zjemnenie štruktúry, čo sa následne prejavilo na vykonaných skúškach tvrdosti podľa *Brinella*. Priemerná tvrdosť po cykle umelého starnutia stúpla pri každej vzorke, pričom najvyššia priemerná hodnota tvrdosti HBW 84,02 bola nameraná pri teplote kovovej formy $370^{\circ}C$.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 003ŽU-4/2024 Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky.

LITERATÚRA

- [1] BOLIBRUCHOVÁ, D. et al. (2004): *Zlievarenská metalurgia a technológia-návody na cvičenia*. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline. ISBN 80-8070-263-2.
- [2] BOLIBRUCHOVÁ, D. - PASTIRČÁK, R. (2018): *Zlievarenská metalurgia neželezných kovov*. Žilina : EDIS-vydavateľské centrum ŽU. ISBN 978-80-554-1463-8.
- [3] SKOČOVSKÝ P. - BOKŮVKA O. - KONEČNÁ R. - TILLOVÁ E., (2014): *Náuka o materiáli*. Žilina: EDIS. ISBN: 978-80-554-0871-2.
- [4] ROUČKA, J. (2004). *Metalurgie neželezných slitin*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o.
- [5] TOTTEN, G.E. - MACKENZIE, D.S. (2003): *Handbook of aluminium*. s. 1. : CRC Press. ISBN 0-8247-0494-0.
- [6] GIORDANO, G. (2019): [Online]: <https://www.publiteonline.it/ael/aluminiums-leading-role-in-space-exploration/>.
- [7] MARTINEC, L. - ŠIMKOVIČ, M. (1997): *Náuka o materiáloch*. Bratislava, Vazovova 5 : Vydavateľstvo STU. ISBN 80-227-1008-3.
- [8] MICHNA,Š - LUKÁČ,I. - OČENÁŠEK, V. - KORENÝ, R. a kol. (2005): *Encyklopedie hliníku*. Prešov : Adin, s. r. o., ISBN 80-89041-88-4.
- [9] ŠVEC, J. (2010): *Konštrukčné materiály*. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, ISBN 978-80-227-3386-1.
- [10] MIKLOS, T. - IMRE, C. (2018): *ScienceDirect*. [Online] [Dátum: 17. September 2018.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2588840418300301>.
- [11] VOJTĚCH, D. (2006). *Kovové materiály*. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, ISBN 80-7090-600-1.