

---

# Vplyv Sr, Zr a Mo na vybrané vlastnosti AlSi5Cu2Mg zliatiny

---

## Martina Sýkorová, Ing.\*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: [martina.sykorova@fstroj.uniza.sk](mailto:martina.sykorova@fstroj.uniza.sk), Tel.: + 421 41 513 2771

## Dana Bolibruchová, prof. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: [danka.bolibruchova@fstroj.uniza.sk](mailto:danka.bolibruchova@fstroj.uniza.sk), Tel.: + 421 41 513 2772

## Lukáš Širanec, Ing.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.  
E-mail: [lukas.siranec@fstroj.uniza.sk](mailto:lukas.siranec@fstroj.uniza.sk), Tel.: + 421 41 513 2771

## Effect of Sr, Zr, and Mo addition on selected properties of AlSi5Cu2Mg alloy

**Abstract:** Hypoeutectic *AlSi5Cu2Mg* alloy is a relatively new alloy that finds application in the production of high-stress cylinder head castings. This work focuses on the investigation of the solubility of the additive elements *Sr*, *Zr*, and *Mo* in *AlSi5Cu2Mg* alloy. The main objective of the work was to characterize the influence of the additive elements on selected properties of the experimental alloy *AlSi5Cu2Mg* with respect to the melting method of the additive elements. The additive elements *Sr*, *Zr*, and *Mo* were introduced into the melt in the form of *AlSr10*, *AlZr20*, and *AlMo10* master alloys were melted in 2 ways in an electric resistance furnace and an electric induction furnace. Depending on the melting method, the experimental alloys were designated *Sr-Z*, *Zr-Z*, *Mo-Z* (electric resistance furnace), and *Sr-I*, *Zr-I*, and *Mo-I* (electric induction furnace). The results showed that the presence of *Sr*, *Zr*, and *Mo* in the *AlSi5Cu2Mg* alloy led to a negative increase in the area fraction of porosity and a decrease in the physical properties, regardless of the melting method of the master alloys. Based on the summarized results, it was shown that the experimental alloys *Sr-I*, and *Sr-Z* did not show a significant increase in mechanical properties. A negative effect on the selected mechanical properties was noted by the experimental alloy *Zr-Z*. The most favourable combination of mechanical properties was obtained by the experimental alloys *Mo-I* and *Zr-I*.

**Keywords:** *AlSi5Cu2Mg*, solubility, zirconium, strontium, molybdenum.

---

## ÚVOD

Al-Si-Cu-Mg zliatiny tvoria takmer 90 % z celkového množstva odliatkov používaných v automobilovom priemysle. Špecifická pevnosť, dobré zlievarenské vlastnosti a výhodná kombinácia mechanických a fyzikálnych vlastností umožňujú ich rozsiahle použitie v automobilovom priemysle. Významné uplatnenie nachádzajú v oblasti v produkcie odliatkov hláv valcov. Hliníkové zliatiny na báze *Al-Si-Cu-Mg*, ktoré sú konvenčne používané pre výrobu vysokonamáhaných odliatkov pre automobilový priemysel sú však výrazne limitované prevádzkovou teplotou 200 °C. Vo všeobecnosti sú mechanické a fyzikálne vlastnosti *Al-Si-Cu-Mg* zliatin limitované tepelnou stabilitou fáz bohatých na *Cu* a *Mg*. [1-2]

Nenormalizovaná *AlSi5Cu2Mg* zliatina nachádza významné uplatnenie v oblasti produkcie odliatkov hláv valcov. Zliatina *AlSi5Cu2Mg* je pomerne nová zliatina, ktorá sa vo výrobe uplatnenie relatívne krátky čas. V porovnaní s konvenčne používanými zliatinami *Al-Si-Cu-Mg* na odliatky hláv valcov je *AlSi5Cu2Mg* významná nízkym hm. % *Si* a *Ti*. Pre efektívne očkovanie podeutektických hliníkových zliatin je nutné pridať 0,04 až 0,1 hm. % *Ti*. V dôsledku limitovaného obsah *Ti* (max. 0.03 hm. % *Ti*) nedochádza k dostatočnému očkovaciemu účinku. [3] Cieľom výskumu bolo analyzovať rozpustnosť prísadových prvkov *Sr*, *Zr* a *Mo* na plošný podiel pórovitosti, mikroštruktúru, mechanické a fyzikálne vlastností podeutektickej zliatiny *AlSi5Cu2Mg*.

V práci bola skúmaná rozpustnosť prísadových prvkov *Sr*, *Zr* a *Mo* v zliatine *AlSi5Cu2Mg* vzhľadom na vopred zvolený spôsob tavenia. Experimentálna práca bola uskutočnená s cieľom rozšíriť poznatky o zliatine *AlSi5Cu2Mg*, ktorá sa vo výrobe uplatňuje relatívne krátky čas a dostupné informácie o nej sú len minimálne.

## 1 METODIKA A REALIZÁCIA EXPERIMENTOV

Pre experimentálnu prácu bola zvolená podeutektická hliníková zliatina *AlSi5Cu2Mg*, ktorá nachádza uplatnenie v oblasti produkcie vysoko namáhaných odliatkov hláv valcov. Chemické zloženie experimentálnej zliatiny *AlSi5Cu2Mg* je uvedené v Tab.1. Na základe chemického zloženia zliatiny *AlSi5Cu2Mg* možno deklarovať, že zliatina bola výrobcom dodávaná v predmodifikovanom stave, o čom svedčí prítomnosť *Sr*.

Tab. 1. Chemické zloženie experimentálnej zliatiny *AlSi5Cu2Mg*

Chemické zloženie [hm. %]		
<i>Si</i>	<i>Cu</i>	<i>Mg</i>
5,400	1,850	0,290
<i>Mn</i>	<i>Sr</i>	<i>Mo</i>
0,030	0,008	0,0006
<i>Ti</i>	<i>Mn/Fe</i>	<i>Al</i>
0,010	0,090	zvyšok

Zliatina *AlSi5Cu2Mg* bola roztavená v elektrickej odporovej peci. Experimentálne zliatiny boli získané legovaním 0,12 hm. % *Sr*, 0,20 hm. % *Zr* a 0,15 hm. % *Mo*. Prísadové prvky *Sr*, *Zr* a *Mo* boli vnášané do taveniny pri teplote 770 °C ± 5 °C vo forme predzliatin *AlSr10*, *AlZr20* a *AlMo10*. Predzliatiny *AlSr10*, *AlZr20* a *AlMo10* boli tavené 2 rôznymi spôsobmi. Prvý spôsob spočíval v pridaní predzliatiny do taveniny roztavenej v elektrickej odporovej peci pri teplote tavenia. Experimentálne zliatiny boli v tomto prípade označené nasledovne *Sr-Z*, *Zr-Z* a *Mo-Z*. Druhý spôsob pozostával z roztavenia predzliatiny v elektrickej indukčnej peci a následnom

vnášaní roztavenej predzliatiny do taveniny. V druhom prípade boli experimentálne zliatiny označené *Sr-I*, *Zr-I* a *Mo-I*. Chemické zloženie experimentálnych zliatin je uvedené v tab. 2. Experimentálne vzorky boli odlievané technológiou gravitačného odlievania do kovovej formy. Teplota odlievania bola stanovená na 740 °C ± 5 °C. Experimentálna zliatina nebola v procese prípravy ďalej modifikovaná a odplynená.

Experimentálne vzorky boli podrobené hodnoteniu plošného podielu pórovitosti. Plošný podiel pórovitosti bol hodnotený grafickým softvérom *Quick Photo Industrial 3.1*. Na každej experimentálnej vzorke bolo hodnotených 5 náhodných miest.

Metodika stanovenia tepelnej vodivosti experimentálnych vzoriek bola založená na hodnotení konduktivity experimentálnych zliatin prostredníctvom meracieho zariadenia *Sigma Check 2*. Výpočet tepelnej vodivosti ( $\lambda$ ) experimentálnych vzoriek bol uskutočnený dosadením hodnôt elektrickej vodivosti ( $\sigma$ ) do empirického vzorca (1):

$$\lambda = 4,29 \cdot \sigma - 13,321 \left[ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \right]. \quad (1)$$

Mechanické vlastnosti experimentálnych zliatin boli stanovené statickou skúškou ťahom. Skúška ťahom bola uskutočnená univerzálnym trhacím zariadením Inspekt desk 50 kN podľa normy *EN ISO 6892-1*. Pre každý experimentálny variant bola vyhotovená sada 5 skúšobných kruhových tyčí s priemerom drieku 8 mm.

Tvrdosť experimentálnych zliatin bola stanovená skúškou tvrdosti podľa Brinella podľa normy *STN EN ISO 6506-1*. Tvrdosť bola meraná tvrdomerom *Brinell Innovatest Nexus 3000* podľa predpisu *HBW 5/250/10* (vtlačacie teliesko - guľôčka z tvrdokovu o priemere 5 mm/veľkosť zaťaženia 250 kp/doba zaťaženia 10 s). Pre každý experimentálny variant bolo vykonaných 5 meraní.

Mikroštruktúra experimentálnych zliatin bola hodnotená optickým mikroskopom *Neophot 32*. Experimentálne vzorky boli pripravené ručným brúsením za mokra, leštením na leštiacich kotúčoch napustených diamantovou pastou a zvlhčovaných liehom a následne doleštené prostredníctvom plno

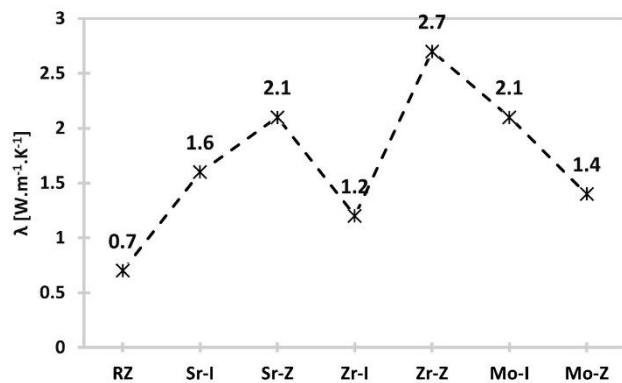
Tab. 2. Chemické zloženie experimentálnych zliatin

Exp. variant [hm.%]	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Cu</i>	<i>Sr</i>	<i>Zr</i>	<i>Mo</i>	<i>Ti</i>	<i>Al</i>
<i>Sr-I</i>	5,74	0,11	1,89	0,13	0,0006	0,0006	0,01	zvyšok
<i>Zr-I</i>	5,59	0,12	1,89	0,008	0,18	0,0006	0,01	zvyšok
<i>Mo-I</i>	5,73	0,13	1,90	0,008	0,0006	0,12	0,01	zvyšok
<i>Sr-Z</i>	5,76	0,11	1,89	0,13	0,0006	0,0006	0,01	zvyšok
<i>Zr-Z</i>	5,43	0,13	1,88	0,009	0,19	0,0007	0,01	zvyšok
<i>Mo-Z</i>	5,70	0,12	1,99	0,007	0,0006	0,12	0,01	zvyšok

automatického leštiaceho zariadenia. Experimentálne vzorky určené na pozorovanie optickým mikroskopom boli leptané 0,5 % HF.

## 2 PLOŠNÝ PODIEL PÓROVISTI

Vplyv prísadových prvkov *Sr*, *Zr* a *Mo* na pórovitosť experimentálnej zliatiny *AlSi5Cu2Mg* bol definovaný plošným podielom pórovitosti. Plošný podiel pórovitosti experimentálnych zliatin bol vyhodnotený softvérom *Quick Photo Industrial 3.1*. Hodnoty plošnej pórovitosti experimentálnych zliatin v závislosti od prísadového prvku a spôsobu tavenia a vnášania prísadových prvkov do taveniny sú spracované do grafickej závislosti obr. 1. Hodnoty plošnej pórovitosti experimentálnych zliatin predstavujú priemer z 5 meraní uskutočnených v rôznych miestach metalografického výbrusu vzorky.



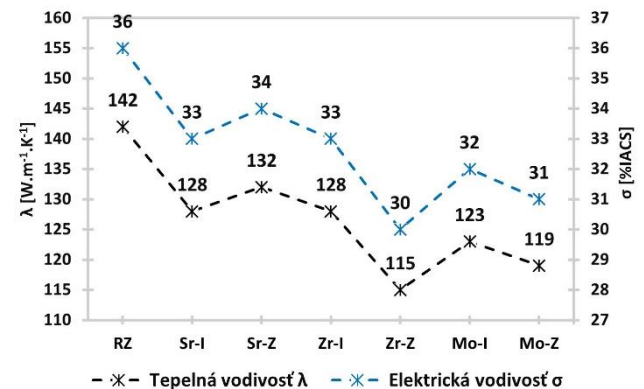
Obr. 1. Plošný podiel pórovitosti experimentálnych zliatin

Plošný podiel pórovitosti experimentálnych zliatin s prídavkom *Sr*, *Zr* a *Mo* podstatne vzrástol v porovnaní s referenčnou zliatinou *AlSi5Cu2Mg*. Najväčší nárast plošnej pórovitosti 285 % bol v porovnaní s referenčnou zliatinou zaznamenaný zliatinou *Zr-Z*. Naopak najmenší nárast plošnej pórovitosti 71 % bol zaznamenaný zliatinou *Zr-I* v porovnaní s referenčnou zliatinou. Plošná pórovitosť experimentálnych zliatin sa významne líši aj vzhľadom na spôsob tavenia a vnášania prísadových prvkov do taveniny. Plošná pórovitosť *Sr-I* a *Zr-I* podstatne klesla v porovnaní s plošnou pórovitosťou *Sr-Z* o 24 % a s *Zr-Z* takmer o 56 %. Pri hodnotení experimentálnej zliatiny s prídavkom *Mo* bol zaznamenaný opačný jav. Plošná pórovitosť *Mo-I* stúpla v porovnaní s *Mo-Z* približne o 34 %. Zvýšená pórovitosť zliatin *Sr-Z*, *Zr-Z* s *Mo-I* mohla byť vo významnej miere ovplyvnená metalurgickým procesom prípravy taveniny. Teplota tavenia a doba výdrže na danej teplote bola mierne zvýšená s cieľom zabezpečiť úplne roztavenie predzliatiny *AlSr10* a *AlZr20*. V prípade experimentálnej zliatiny *Mo-I* bola zvýšená doba výdrže taveniny na danej teplote s cieľom zabezpečiť úplne rozpustenie predzliatiny *AlMo10* v indukčnej odporovej peci. Tieto faktory mohli významne ovplyvniť hodnoty plošnej

pórovitosti experimentálnych zliatin. Pórovitosť negatívne ovplyvňuje výsledné mechanické a fyzikálne vlastnosti *Al-Si-Cu-Mg* odliatkov. Prítomnosť pórov blokuje prenos elektrónov prostredím. V dôsledku toho dochádza k nepriaznivému poklesu fyzikálnych vlastností odliatku a tým spojeným poklesom výkonu vysoko-namáhaných odliatkov hláv valcov.

## 3 FYZIKÁLNE VLASTNOSTI

Elektrická a tepelná vodivosť experimentálnych zliatin bola spracovaná do grafickej závislosti obr. 2.



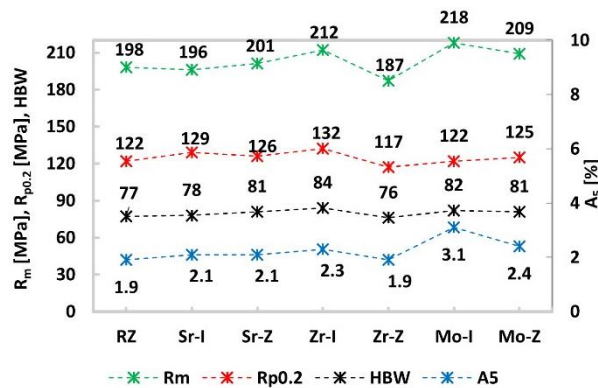
Obr. 2. Fyzikálne vlastnosti experimentálnych zliatin

Na základe zosumarizovaných výsledkov, možno preukázať, že vplyvom legujúcich prvkov *Sr*, *Zr* a *Mo* dochádza k poklesu fyzikálnych vlastností. Najväčší pokles fyzikálnych vlastností v priemere 18 % bol zaznamenaný *Zr-Z* v porovnaní s referenčnou zliatinou. Najmenší pokles približne 7 % v porovnaní s referenčnou zliatinou bol zaznamenaný *Sr-Z*. Elektrická a tepelná vodivosť experimentálnych zliatin s prídavkom *Sr* a *Mo* sa zásadne nemení v závislosti od spôsobu tavenia a vnášania prísadového prvku do taveniny. Naopak fyzikálne vlastnosti experimentálnej zliatiny *Zr-Z* klesli v porovnaní s *Zr-I* v priemere o 10 %.

Vo všeobecnosti platí, že každý legujúci prvok pridaný do hliníkovej zliatiny nepriaznivo vplyva na výsledné fyzikálne vlastnosti. Legujúce prvky blokujú pohyb elektrónov čím dochádza k poklesu fyzikálnych a elektrických vlastností hliníkovej zliatiny. Fyzikálne vlastnosti experimentálnych zliatin boli taktiež významne ovplyvnené prítomnou pórovitosťou. Pórovitosť odliatku závisí ako od množstva prítomného vodíka v tavenine tak od metalurgického procesu prípravy taveniny. Pre úplné roztavenie predzliatin *AlSr10*, *AlZr20* a *AlMo10* bolo nevyhnutné zvýšiť teplotu tavenia a predĺžiť dobu výdrže na danej teplote. Vykonané zmeny metalurgického procesu viedli k zvýšeniu pórovitosti experimentálnych zliatin. Póry pôsobia ako nečistoty a zamedzujú voľnému prestupu elektrónov prostredím, čím dochádza k poklesu fyzikálnych vlastností [4].

## 4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Výsledné hodnoty mechanických vlastností sú znázornené na obr. 3 a predstavujú priemer z 5 meraní.



Obr. 3. Mechanické vlastnosti experimentálnych zliatin

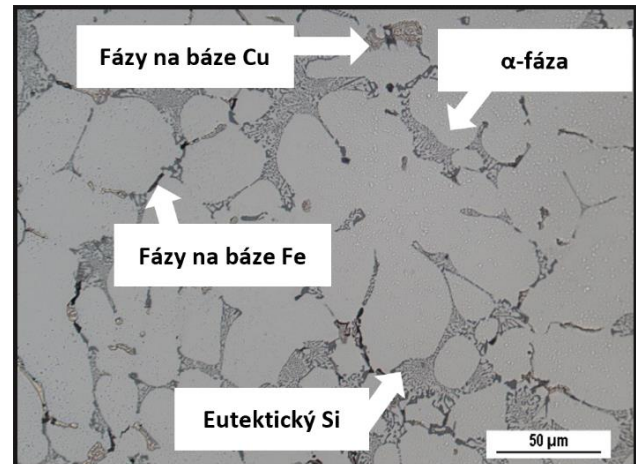
Hodnotenie mechanických vlastností bolo založené na porovnávaní mechanických vlastností experimentálnych zliatin *Sr-I*, *Sr-Z*, *Zr-I*, *Zr-Z*, *Mo-I* a *Mo-Z* s referenčnou zliatinou *AlSi5Cu2Mg*. Mechanické vlastnosti experimentálnych zliatin s prídavkom *Sr*, *Zr* a *Mo* boli taktiež hodnotené vzhľadom na spôsob tavenia a vnášania predzliatiny do taveniny.

Zliatiny s prídavkom *Sr* nevykazujú v porovnaní s referenčnou zliatinou významne zmeny mechanických vlastností. *Sr-I* vykazuje v porovnaní s *Sr-Z* zanedbateľný pokles  $R_m$  a  $HBW$ . Hodnota  $R_{p0.2}$  naopak mierne vzrástla v porovnaní so zliatinou *Sr-Z*. Ťažnosť experimentálnych zliatin s prídavkom *Sr* bola totožná. Prídavok *Zr* do referenčnej zliatiny *AlSi5Cu2Mg* mal významnejší vplyv na výsledné mechanické vlastnosti. Mechanické vlastnosti *Zr-I* mierne vzrástli v porovnaní s referenčnou zliatinou, *Sr-Z*, *Sr-I*. Zliatinou *Zr-I* boli dosiahnuté najvyššie hodnoty  $R_{p0.2}$  a  $HBW$ . V porovnaní s referenčnou zliatinou  $R_{p0.2}$  a  $HBW$  vzrástla približne o 9%. Mechanické vlastnosti *Zr-Z* naopak klesli v porovnaní s referenčnou zliatinou *AlSi5Cu2Mg*, *Sr-Z*, *Sr-I* a zároveň došlo k významnému poklesu v porovnaní s *Zr-I*. Zliatinou *Zr-Z* boli zaznamenané najnižšie hodnoty  $R_m$  a  $R_{p0.2}$ , ktoré v porovnaní so zliatinou *Zr-I* klesli približne o 12%. Pokles mechanických vlastností *Zr-Z* zliatiny mohol byť zapríčinený zvýšenou mierou pórovitosti. Zliatiny s prídavkom *Mo* dosahovali najlepšie mechanické vlastnosti. Najväčší nárast  $R_m$  a  $A_5$  bol v porovnaní s referenčnou zliatinou zaznamenaný *Mo-I*.

## 5 MIKROŠTRUKTÚRNA ANALÝZA

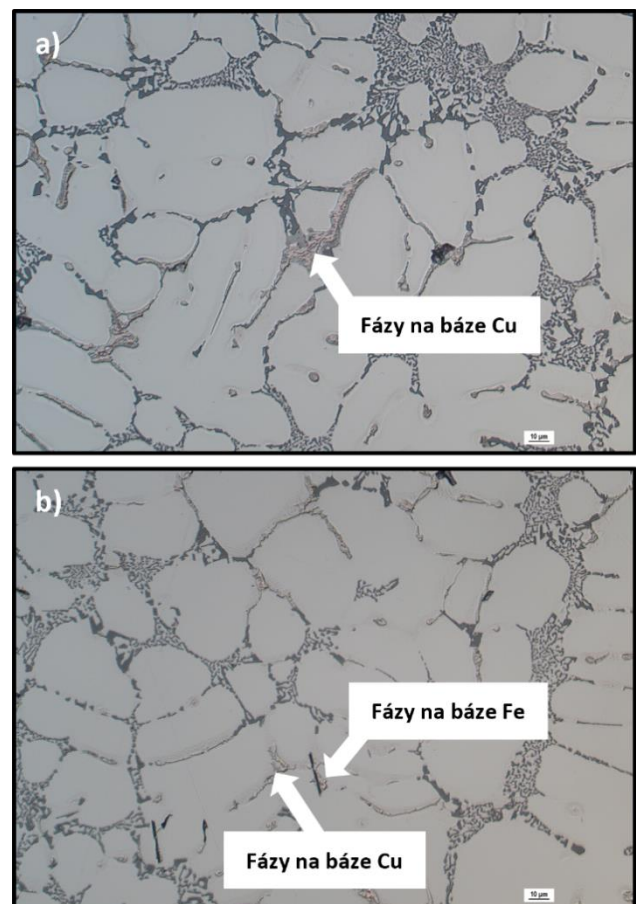
Mikroštruktúrna analýza vzoriek bola hodnotená prostredníctvom metódy optickej mikroskopie. Mikroštruktúra *AlSi5Cu2Mg* zliatiny je v liatom stave tvorená  $\alpha$ -fázou, eutektickým *Si* a intermetalickými fázami na báze *Cu* a *Fe* ako možno vidieť na obr. 4.

V rovine metalografického výbrusu možno eutektický *Si* pozorovať vo forme nedokonale oblých zrn. Morfológia eutektického *Si* v liatom stave nemá v tomto prípade typický doskovitý tvar v dôsledku toho, že zliatina bola dodávaná v predmodifikovanom stave. Železité fázy boli vylúčené vo forme šedých dosiek s rozštiepeným zakončením. Intermetalické fázy bohaté na *Cu* boli v rovine metalografického výbrusu pozorované vo forme ternárneho eutektika kompaktnej morfológie [5, 6].



Obr. 4. Mikroštruktúra *AlSi5Cu2Mg* zliatiny v liatom stave

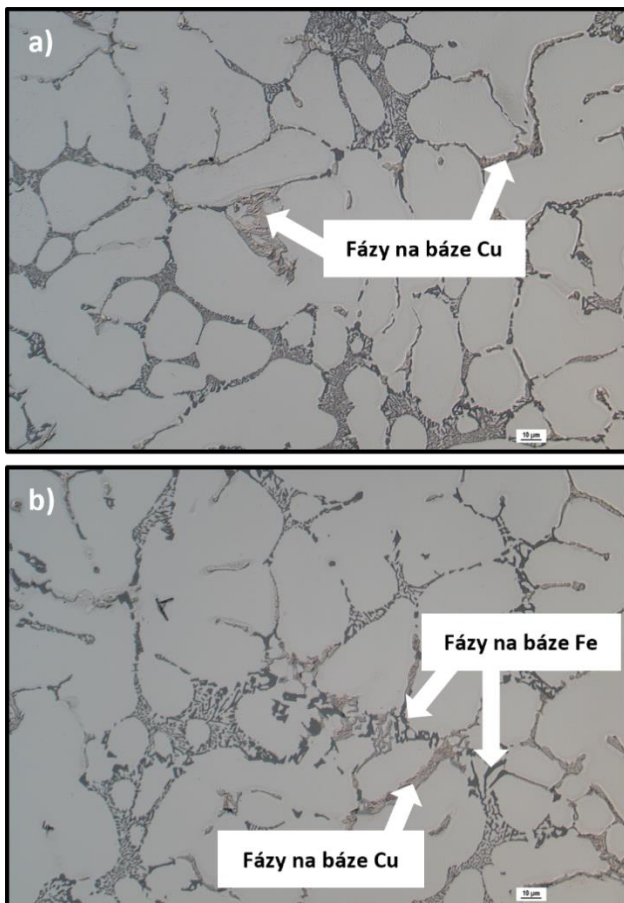
Mikroštruktúry experimentálnych zliatin *Sr-I* a *Sr-Z* v liatom stave možno vidieť na obr. 5.



Obr. 5. Mikroštruktúra experimentálnych zliatin: a) *Sr-I*, b) *Sr-Z*, lept. 0,5 % HF

V rovine metalografického výbrusu experimentálnych zliatin *Sr-Z* a *Sr-I* možno pozorovať zvýšenú koncentráciu intermetalických fáz bohatých na *Cu*. Eutektický *Si* je vylúčený vo forme takmer dokonale oblých zŕn v dôsledku modifikačného účinku *Sr*. V rovine metalografického výbrusu oboch experimentálnych zliatin boli prítomné intermetalické fázy na báze *Fe*.

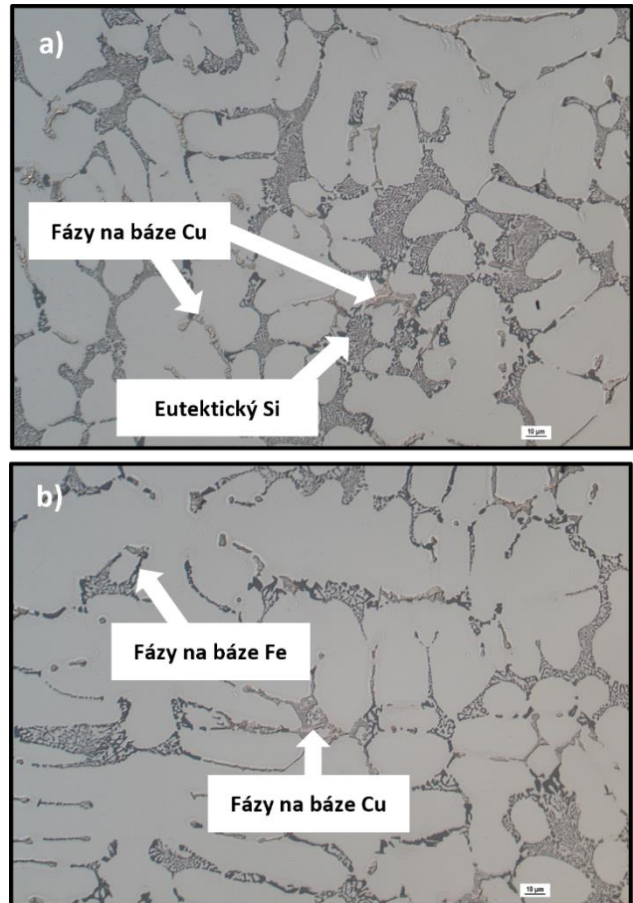
Mikroštruktúra experimentálnych zliatin *Zr-I* a *Zr-Z* je v liatom stave tvorená  $\alpha$ -fázou, eutektickým *Si* a intermetalickými fázami bohatými na *Cu* a *Fe* ako možno vidieť na obr. 6. V rovine metalografického výbrusu experimentálnej zliatin *Zr-I* bola zaznamenaná zvýšená koncentrácia *Cu*. Naopak v rovine metalografického výbrusu *Zr-Z* zliatin prevládala prítomnosť tvrdých a krehkých intermetalických fáz na báze *Fe*. Intermetalické fázy na báze *Fe* je možné v rovine metalografického výbrusu pozorovať vo forme hrubých šedých dosiek. Zvýšená koncentrácia *Fe* mohla viesť k poklesu mechanických vlastností experimentálnej zliatin *Zr-Z*. Intermetalické fázy na báze *Zr* neboli prítomné v rovine metalografického výbrusu [7].



Obr. 6. Mikroštruktúra experimentálnych zliatin: a) *Zr-I*, b) *Zr-Z*, lept. 0,5 % HF

Mikroštruktúry experimentálnych zliatin *Mo-I* a *Mo-Z* v liatom stave sú zobrazené na obr. 7. V rovine metalografického výbrusu možno pozorovať intermetalické fázy na báze *Fe* a *Cu*. Experimentálna

zliatina *Mo-I* sa vyznačuje lokálnym zhrubnutím eutektického *Si*.



Obr. 7. Mikroštruktúra experimentálnych zliatin: a) *Mo-I*, b) *Mo-Z*, lept. 0,5 % HF

## ZÁVER

Cieľom práce bolo rozšíriť poznatky o nenormalizovanej *AlSi5Cu2Mg* zliatinu, ktoré sa v oblasti produkcie vysokonamáhaných automobilových komponentov používa relatívne krátky čas. Na základe nadobudnutých výsledkov možno konštatovať, že:

- pórovitosť experimentálnych zliatin *Sr-I*, *Sr-Z*, *Zr-I*, *Zr-Z*, *Mo-I* a *Mo-Z* v porovnaní s referenčnou zliatinou *AlSi5Cu2Mg* podstatne vzrástla v dôsledku zmeny metalurgického procesu prípravy taveniny s cieľom zabezpečiť úplne rozpustenie predzliatin *AlSr10*, *AlZr20* a *AlMo10*,
- fyzikálne vlastnosti experimentálnych zliatin klesajú v dôsledku prítomnosti prísadových prvkov *Sr*, *Zr* a *Mo*, taktiež mohli byť fyzikálne vlastnosti významne ovplyvnené zvýšenou pórovitosťou. Priaznivejšie fyzikálne vlastnosti boli dosiahnuté experimentálnymi variantmi *Sr-I* a *Zr-I*,
- výhodnejšia kombinácia mechanických vlastností bola dosiahnutá experimentálnymi variantmi *Sr-I*, *Zr-I* a *Mo-I*,

- mikroštruktúra experimentálnych zliatin v liatom stave bola tvorená  $\alpha$ -fázou, eutektickým Si a intermetalickými fázami na báze Cu a Fe. Mikroštruktúrna analýza experimentálnych zliatin nepreukázala významne štruktúrne zmeny v závislosti od spôsobu tavenia predzliatin AlSr10, AlZr20 a AlMo10.

## Pod'akovanie

Článok bol vytvorený v rámci projektu grantovej spoločnosti VEGA 1/0160/22. Autori ďakujú agentúre za podporu.

## LITERATÚRA

- [1] JESIK, S. - TAEHYEONG, K. - DONGEUNG, K. - KITAE, K. (2017): *Castability and mechanical properties of new 7xxx aluminum alloys for automotive chassis/body applications*. In: Journal of Alloys and Compounds, Vol. 698, pp. 577-590, ISSN 0925-8388.
- [2] CZERWINSKI, F. (2020): *Thermal Stability of Aluminum Alloy*. In: Materials, 13(15), DOI: 10.3390/ma1315344.
- [3] BEROUAL, S. - BOUMERZOUG, Z. - PAILLARD, P. - BORJON-PIRON, Y. (2019):

*Effects of Heat treatment and Addition of Small Amounts of Cu and Mg on the Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si-Cu and Al-Si-Mg Cast Alloys*. In: Journal of Alloys and Compounds, Vol. 784, pp. 1026-1035, ISSN 0925-8388.

[4] VANDERSLUIJ, E. - EMADI, P. - ANDILAB, B. - RAVINDRAN, C. (2020): *The Role of Silicon Morphology in the Electrical Conductivity and Mechanical Properties of As-Cast B319 Aluminum Alloy*. In: Metallurgical and Materials Transactions, 51, pp. 1874-1886, DOI: 10.1007/s11661-020-05650-2.

[5] TILLOVÁ, E. - CHALUPOVÁ, M. (2009): *Štruktúrna analýza zliatin Al-Si*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, ISBN 978-80-554-0088-4.

[6] BOLIBRUCHOVÁ, D. - PASTIRČÁK, R. (2018): *Zlievarenská metalurgia neželezných kovov*. Žilina: EDIS – vydavateľské centrum ŽU, ISBN 978-80-554-1463-8.

[7] MOROZOVA, A. - MOGUCHEVA, A. - BUKIN, D. - LUKIANOVA, O. - KOROTKOVA, N. - BELOV, N. - KAIBYSHEV, R. (2017): *Effect of Si and Zr on Microstructure and Properties of Al-Fe-Si-Zr Alloys*. In: Metals, 7(11), DOI: 10.3390/met7110495.