

# MODIFIKACE SLITINY AISi7Mg0,3 STRONCIEM

Jaromír CAIS<sup>A</sup>, Jaroslava SVOBODOVÁ<sup>C</sup>, Nataša NÁPRSTKOVÁ<sup>B</sup>

<sup>A</sup>Fakulta výrobních technologií a managementu, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Pasteurova 1, 400 96, Ústí nad Labem, CZ, e-mail: [cais@fvtm.ujep.cz](mailto:cais@fvtm.ujep.cz), [svobodova@fvtm.ujep.cz](mailto:svobodova@fvtm.ujep.cz), [naprstkova@fvtm.ujep.cz](mailto:naprstkova@fvtm.ujep.cz)

## Abstrakt

*Modifikování slitin je obvyklou praxí pro vylepšování struktury materiálu. Článek se zabývá experimentem, který byl realizován na Fakultě výrobních technologií a managementu Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem. Jednalo se o modifikaci slitiny AISi7Mg0,3 stronciem. Byl vyhodnocován výsledek modifikace stronciem na struktuře slitiny. Provedený experiment a měření jsou součástí rozsáhlejších výzkumů prováděných na FVTM UJEP.*

**Klíčová slova:** slitina, modifikace, silumin, stroncium

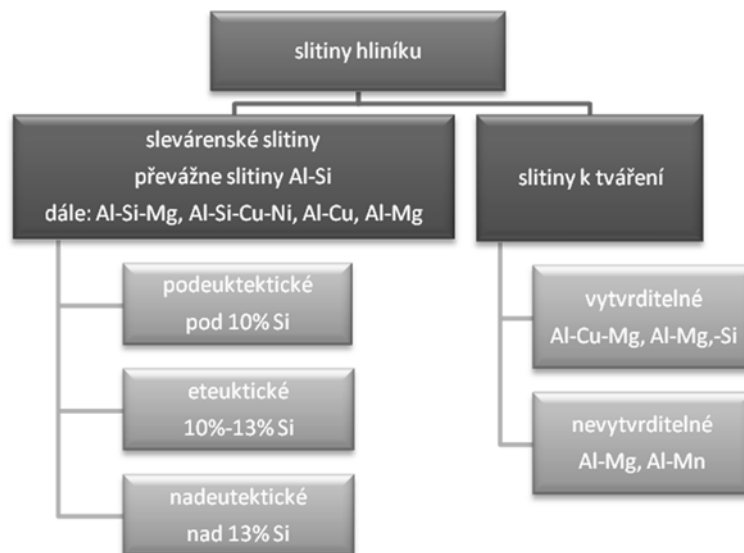
## Úvod

Čistý hliník díky svým vlastnostem v současné průmyslové výrobě není často využíván. Avšak kombinací hliníku s jinými prvky vznikají slitiny, jejichž vlastnosti jsou pro výrobu zajímavé a žádoucí. Právě kvůli zlepšení mechanických a slévárenských vlastností se hliník značně využívá v kombinaci s dalšími prvky, čímž vznikají slitiny typu Al-Si, Al-Cu, Al-Mg, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg, obr.1.

Ve slévárenství se velmi často používají slitiny typu siluminy, které patří k nejpoužívanějším slitinám určených pro odlévání. Kvůli zvýšení mechanických vlastností jsou tyto slitiny často legovány dalšími prvky, v převážné míře je to Cu a Mg, dále pak Ni, Mn. Siluminy je tak možné rozdělit na binární siluminy, které obsahují pouze složky Al-Si a siluminy, které jsou specializované a které obsahují základní slitinu Al-Si + jeden či více legujících prvků.

Jako další možnost zlepšení užitečných vlastností siluminů je přidání očkovačů (Ti, B, TiB) nebo jejich modifikace (Na, Sr). Význam modifikace hliníkových slitin v současnosti roste, protože modifikované slitiny dosahují změny struktury v požadovaném směru, což se pozitivně projevuje nejen na změně mechanických, ale i technologických vlastností slitin, zejména obrobitelnosti vybraných druhů slitin.

Modifikace hliníkových slitin má v současné výrobě velký význam, protože využití hliníkových slitin neustále roste a modifikace zlepšuje jejich užitečné vlastnosti.



**Obr. 1: Rozdělení slitin hliníku [2]**

Předložený experiment byl realizován na slitině AlSi7Mg0,3. Tato slitina se často používá v automobilovém průmyslu a to pro odlitky kol u osobních automobilů nebo pro části motorových dílů. Další oblast, kde je možné se s touto slitinou setkat, je letecký průmysl. V důsledku přítomnosti Si, konkrétně jde o fázi Mg<sub>2</sub>Si, se jedná o slitinu vhodnou k vytvrzování a je to slitina, která má dobré mechanické a slévárenské vlastnosti, dobrou odolnost vůči korozi a kterou lze pomocí modifikování a očkování v požadovaném směru ještě vylepšit.[4] [5]

Mechanické vlastnosti slitiny AlSi7Mg0,3 jsou také určeny použitou formou pro odlévání (tab. 1). Uvedená slitina se řadí k podeutektickým siluminům, pro něž platí, že obsahují více než 5 % Si, nejčastěji 7 a 10 % Si. [4]. Tyto siluminy se používají na středně namáhané odlitky. Kvůli své nižší zabíhavosti je jejich použití omezeno obvykle na tvarově jednoduché odlitky odlévané do pískových forem.

**Tab. 1: Vliv druhu formy na mechanické vlastnosti slitiny**

Použitá forma	Rp0,2 [MPa]	Rm [MPa]	As [%]	HB min
písková forma	80	160	2	50
kovová forma	90	180	4	60

Chemické složení slitiny určuje norma ČSN EN 1706 a její chemické složení dle této normy jen uvedeno v tab. 2.

**Tab. 2: Chemické vlastnosti slitiny AlSi7Mg0,3 [12]**

Prvek	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Zn [%]	Ti [%]	Al [%]
Množství	6,5-7,5	0,19	0,05	0,10	0,25	0,07	0,08-0,25	Zbytek do 100

Jak již bylo výše zmíněno, pro vylepšení svých vlastností je možné tuto slitinu očkovat, či modifikovat (případně obojí). Experiment na FVTM probíhal s modifikací této slitiny.

Výše zmíněná slitina patří ke slévárenským slitinám, jejichž struktura je tvořena α fází a obsahuje velký podíl eutektika. Činitelé, kteří mají vliv na mechanické vlastnosti odlitku jsou vlastnosti α fáze a její množství, morfologie a velikost a rozložení eutektického křemíku. Proces modifikování se zde využívá pro dosažení optimálního tvaru eutektika.

Modifikování je metalurgická operace, při které dochází ke změně morfologie eutektického křemíku. Ovlivňuje způsob růstu krystalizačních zárodků. Tvar eutektického křemíku v nemodifikovaném eutektiku slitin Al-Si výrazně snižuje mechanické vlastnosti výsledného odlitku, protože tento křemík má tvar hexagonálních desek, které se v rovině výbrusu projevují jako jehlice s ostrým

zakořením. Modifikováním je možné tento nevýhodný tvar upravit a získat eutektický křemík, který se vyloučí ve formě tyčinek až vláken, které se pak v rovině výbrusu jeví jako oblá zrna. Tím se zvýší mechanické vlastnosti v porovnání se slitinou nemodifikovanou. Zvýší se tím mez pevnosti v tahu  $R_m$ , plastické vlastnosti jako jsou A5 a Z a také houževnatost.

Modifikační účinek má více prvků, např. sodík, stroncium, lithium, draslík, antimon nebo vápník. K nejvíce rozšířeným patří sodík a stroncium, pravděpodobně proto, že tyto dva prvky mají největší modifikační efekt.

Na FVTM probíhal experiment s modifikováním výše zmíněné slitiny stronciem (Sr). Pro modifikační aplikace se stroncium využívá ve formě předslitin s hliníkem, kde se obsah stroncia pohybuje mezi 3.5-10%. Při srovnání se sodíkem je modifikační účinek Sr pomalejší. Modifikační efekt můžeme uspišit pokud docílíme pohybu-proudění taveniny, např. v indukční peci. Pokud pec nedisponuje potřebným vybavením, je nutné taveninu občas manuálně zamíchat, což byl také případ uvedeného experimentu.

### Experiment

Pro experiment s vlivem modifikace byla zvolena, jak již bylo řečeno výše, předslitina AlSi7Mg0,3 a modifikace byla realizována s pomocí Sr (stroncium). Pro daný experiment bylo vyrobeno celkem 6 kusů odlitků za slitiny AlSi7Mg0.3. Tři z nich byly nemodifikované a tři byly modifikovány stronciem. Na základě doporučení bylo hmotnostní množství Sr určeno na 0.04% v odlitku. Odlitý vzorek měl délku 280 mm a průměr 69 mm.

Všechny odlitky byly vyrobeny standardním postupem. Pro výrobu odlitků byl použit grafitový kelímek, tavby byly realizovány v elektrické peci (obr.2), formy byly předehřívány, forma pro odlévání byla kovová, jak již bylo výše řečeno, 3 odlitky byly ponechány bez modifikace, 3 byly modifikovány pomocí předslitiny AlSr10.

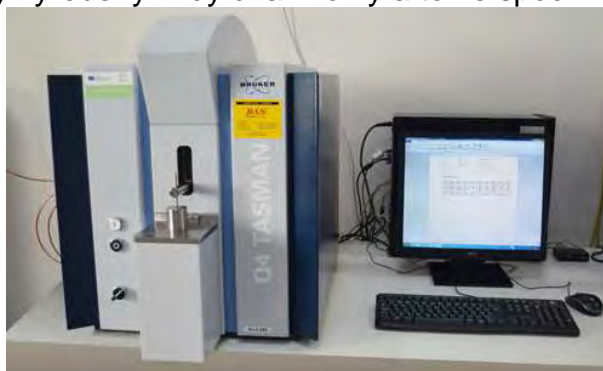


**Obr. 2:** Elektrická pec pro výrobu taveniny

Vyrobené vzorky byly poté podrobeny spektrometrické a mikroskopické analýze, aby byl zkontrolován proces odlévání a posouzen očekávaný vliv modifikace na strukturu slitiny.

### Spektrometrická analýza

Pro analýzu chemického složení odlitků byla provedena spektrometrická analýza a pro tento účel byl použit přístroj *Spektrometr Q4 Tasman* (obr. 3). Z každého odlitku byly vyrobeny vždy dva vzorky a to ze spodní a horní části odlitků.



**Obr. 3:** Spektrometr Q4 Tasman

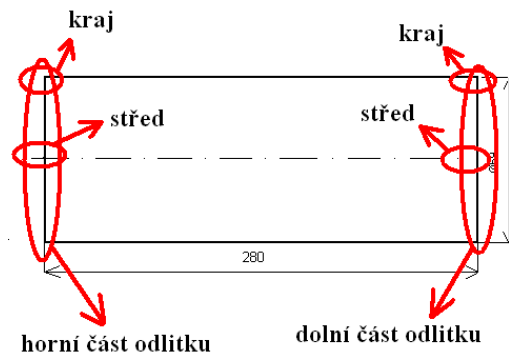
Z této analýzy (tab. 3) vyplynulo, že chemické složení vyrobených odlitků z části neodpovídalo hodnotám předepsaných normou. Tuto skutečnost je možné připisat použité předslitině, která patrně neobsahovala odpovídající množství některých prvků (zejména křemíku). Dalším faktorem zjištěným při spektrometrické analýze bylo menší množství stroncia (u modifikovaných slitin, 0,04 hm. % Sr) než bylo předpokládáno a požadováno. Hodnoty stroncia se pohybovaly v intervalu od 0,02 až 0,03% Sr, což bylo pravděpodobně způsobeno stěrem při tavení.

**Tab. 3:** Výsledky spektrometrické analýzy pro základní prvky slitiny

Vzorek	Modifikace	Pozice	Chemické složení (%)					
			Al	Si	Mg	Fe	Ti	Sr
1	Ne	1V	93,21	6,301	0,231	0,061	0,123	0,0085
		1S	93,08	6,351	0,297	0,097	0,102	0,0088
2V		93,25	6,364	0,114	0,092	0,110	0,001	
2S		93,19	6,434	0,109	0,098	0,101	0,001	
3		3V	93,3	6,110	0,270	0,105	0,135	0,0052
		3S	92,88	6,595	0,236	0,092	0,117	0,0053
4	Ano	4V	93,14	6,300	0,159	0,181	0,122	0,029
		4S	93,06	6,269	0,202	0,237	0,115	0,028
5		5V	93,47	6,019	0,179	0,096	0,136	0,017
		5S	93,22	6,305	0,163	0,093	0,110	0,018
6		6V	93,43	5,859	0,265	0,198	0,143	0,026
		6S	92,67	6,540	0,295	0,269	0,113	0,022

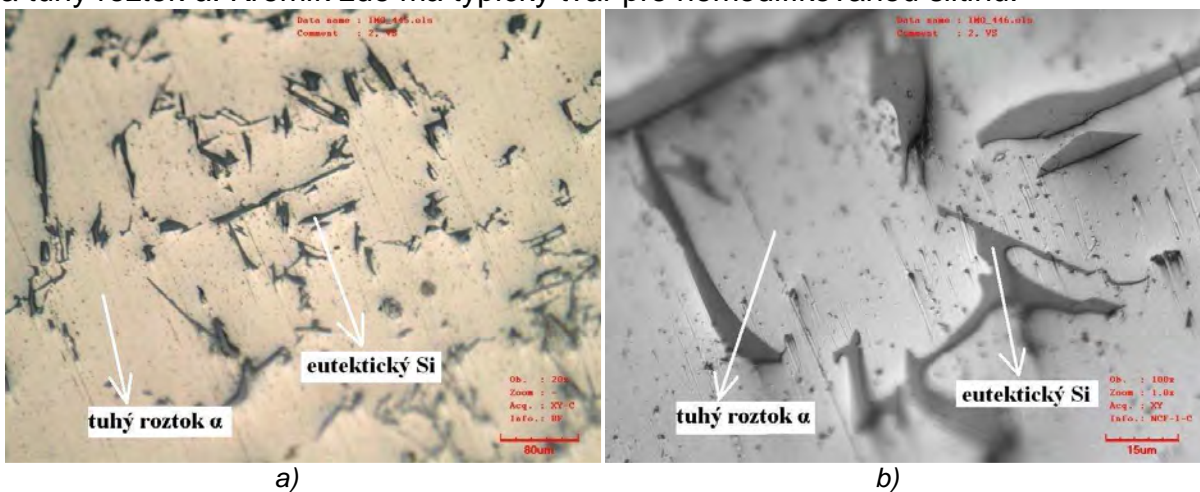
### Mikroskopická analýza

Vzorky pro mikroskopickou analýzu byly připraveny obvyklým způsobem, vzorky byly leptány 10 % kyselinou fosforečnou. Jednotlivé vzorky byly odebrány vždy ze spodní a horní části a vždy ze středu a okraje odlitku (obr. 5), tedy z každého odlitku byly zpracovány 4 vzorky. Struktura výsledných odlitků byla hodnocena na konfokálním laserovém mikroskopu LEXT OLS 3100 a byla hodnocena horní a dolní část odlitku vždy střed a okraj. Na obr. 6 až 15 jsou ukázky výsledků nemodifikované a modifikované slitiny.



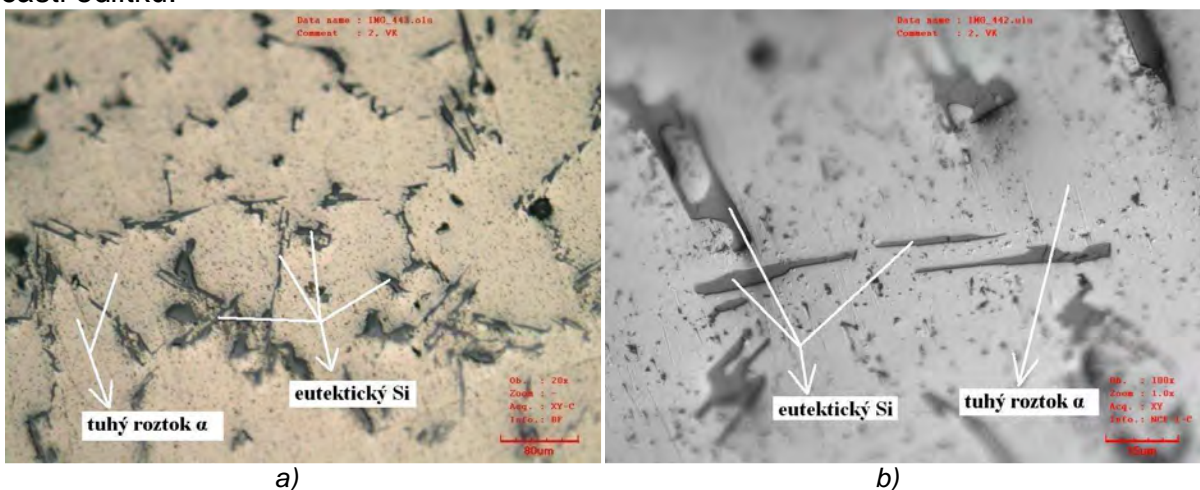
**Obr. 5:** Místo odběru vzorků pro mikroskopickou analýzu

Na obr. 6. je nemodifikovaná struktura z horní části odlitku a to při 200 násobném a 1000 násobném zvětšení. Jsou zde patrné deskovité útvary křemíku a tuhý roztok  $\alpha$ . Křemík zde má typický tvar pro nemodifikovanou slitinu.



**Obr. 6:** Struktura nemodifikovaného vzorku ve vrchní části odlitku – střed, a) zv. 200x, b) zv. 1000x

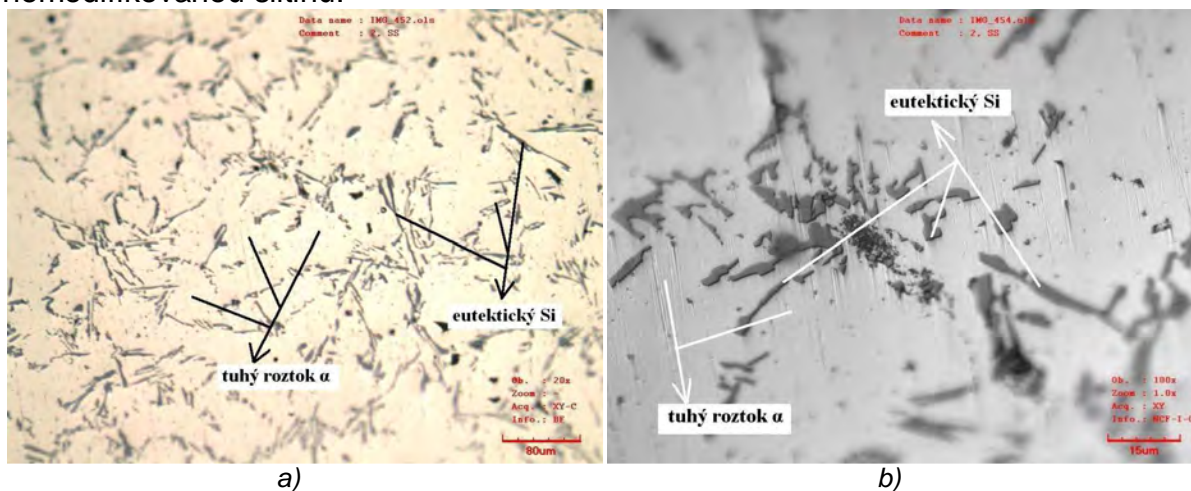
To samé je patrné i na obr. 7, zde vzorek pochází také z horní části odlitku, tentokrát z jeho okraje. Není zde patrný rozdíl ve struktuře okraje a středu vrchní části odlitku.



**Obr. 7:** Struktura nemodifikovaného vzorku ve vrchní části odlitku – okraj, a) zv. 200x, b) zv. 1000x

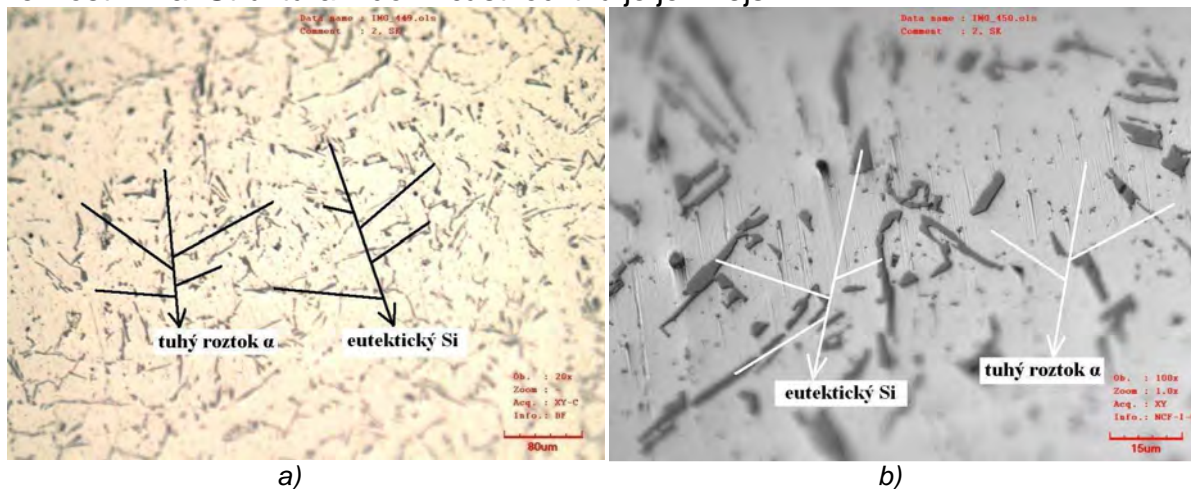


Na obr. 8 je nemodifikovaná struktura z dolní části odlitku, ze středu a opět při 200 násobném a 1000 násobném zvětšení. Také zde jsou patrné deskovité útvary křemíku a tuhý roztok  $\alpha$ . I zde má křemík zde typický tvar pro nemodifikovanou slitinu.



**Obr. 8:** Struktura nemodifikovaného vzorku ve spodní části odlitku – střed, a) zv. 200x, b) zv. 1000x

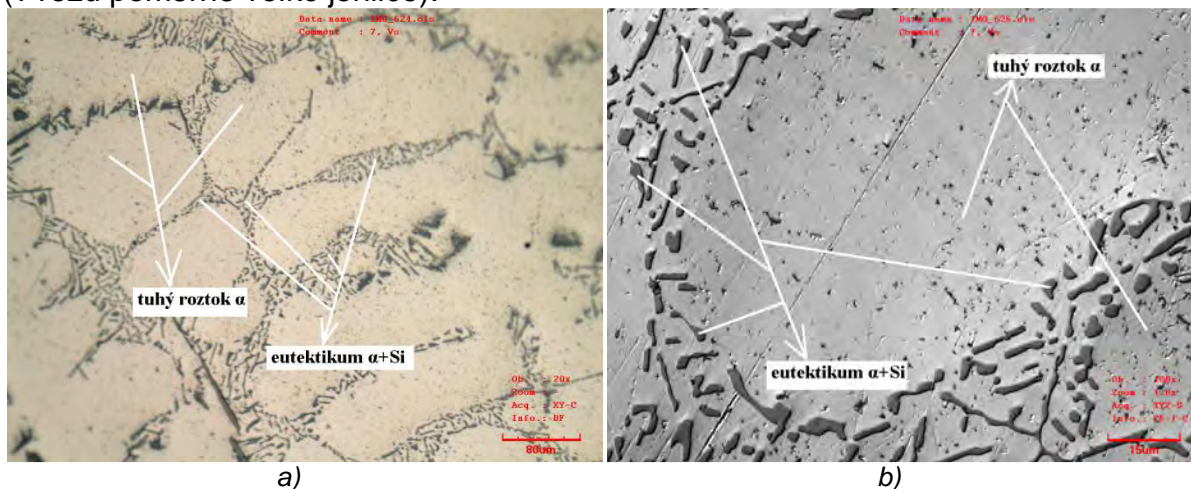
Na obr. 9 je struktura nemodifikované slitiny a to ze spodní části odlitku, z okraje, také při 200 násobném a 1000 násobném zvětšení. I zde jsou patrné jehlicovité útvary křemíku a tuhý roztok  $\alpha$  a křemík má typický tvar pro nemodifikovanou slitinu. Oproti obr. 6 a 7 je zde patrný rozdíl ve velikosti jak desek křemíku, tak velikosti zrna. Struktura v dolní části odlitku je jemnější.



**Obr. 9:** Struktura nemodifikovaného vzorku ve spodní části odlitku – okraj, a) zv. 200x, b) zv. 1000x

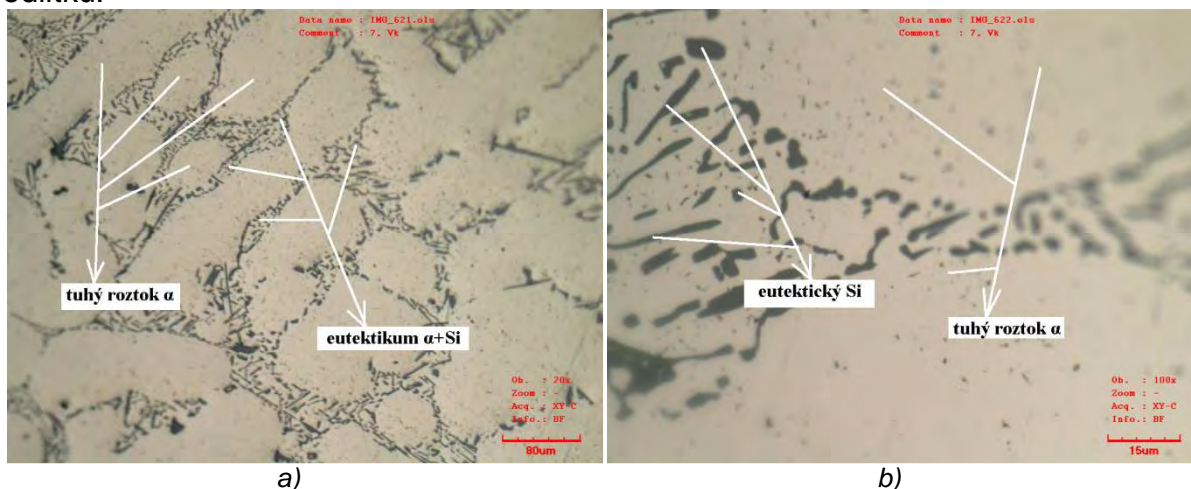
Lze tedy konstatovat, že struktura daného odlitku je má typický vzhled nemodifikované slitiny, což je patrné na tvaru eutektického křemíku, který je vyloučen ve formě destiček, které jsou na snímku viditelné jako "jehlice". Dále je patrné, že na prvních snímcích, pocházejících z horní části odlitku, jsou k vidění při stejném zvětšení extrémnější útvary (méně částí o větších rozměrech). Tato nestejnorodost je nejspíše zapříčiněna způsobem výroby experimentálních odlitků na FVTM.

Na obr. 10. je struktura odlitku z modifikované slitiny a to opět z horní části odlitku, ze středu a to při 200 násobném a 1000 násobném zvětšení. Je zde již patrný rozdíl mezi nemodifikovanou a modifikovanou slitinou, kdy zde je eutektický křemík vyloučen ve formě obléjších a jemnějších zrn, než u slitiny nemodifikované (v řezu poměrně velké jehlice).



**Obr. 10:** Struktura modifikovaného vzorku v horní části odlitku – střed, a) zv. 200x, b) zv. 1000x

Na obr. 11 je ta ten samý odlitek, vzorek byl tentokrát odebrán také z horní části odlitku ale z jeho okraje. Struktura je zde trochu hrubší, než struktura ze středu. Také eutektický křemík je trochu hrubší, než ve středové části vršku odlitku.

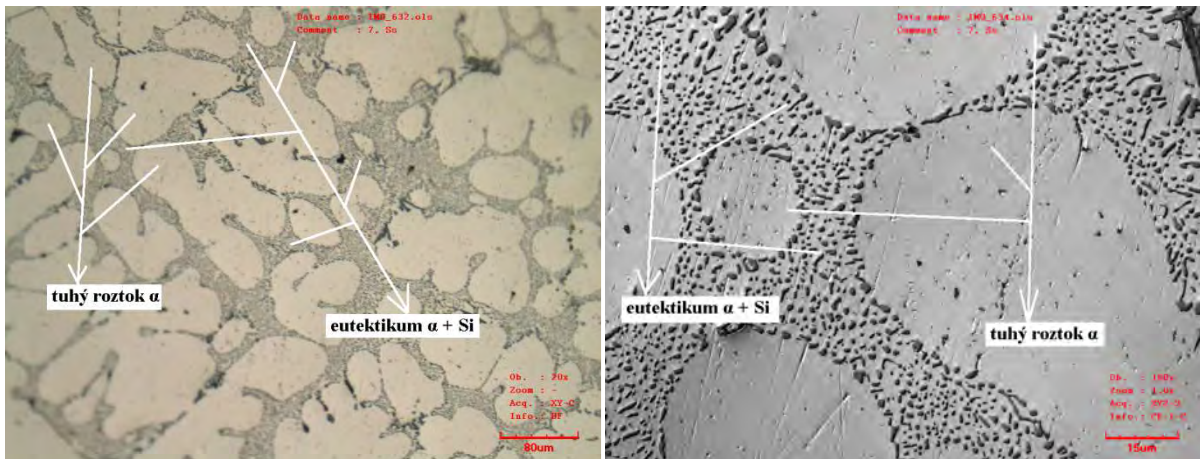


**Obr. 11:** Struktura modifikovaného vzorku v horní části odlitku – kraj, a) zv. 200x, b) zv 1000x

Na obr. 12 je opět struktura modifikované slitiny, ale ze spodní části odlitku, ze středu, také při 200násobném a 1000násobném zvětšení. Zde má slitina typickou modifikovanou strukturu, eutektický křemík se na řezu jeví jako drobná kulatá zrnka.

Na obr. 13 je také struktura dolní části odlitku modifikované slitiny a to z okraje odlitku. Struktura je také zobrazena při 200násobném a 1000násobném zvětšení. Rovněž zde má již křemík typický tvar pro modifikovanou strukturu. Mikroskopická analýza potvrzuje shodu s teoretickými předpoklady, kdy modifikování jistým množstvím Sr má za následek změnu morfologie eutektického křemíku. Dalším faktorem, který může ovlivnit proces modifikování, je způsob odlévání a tuhnutí odlitku.

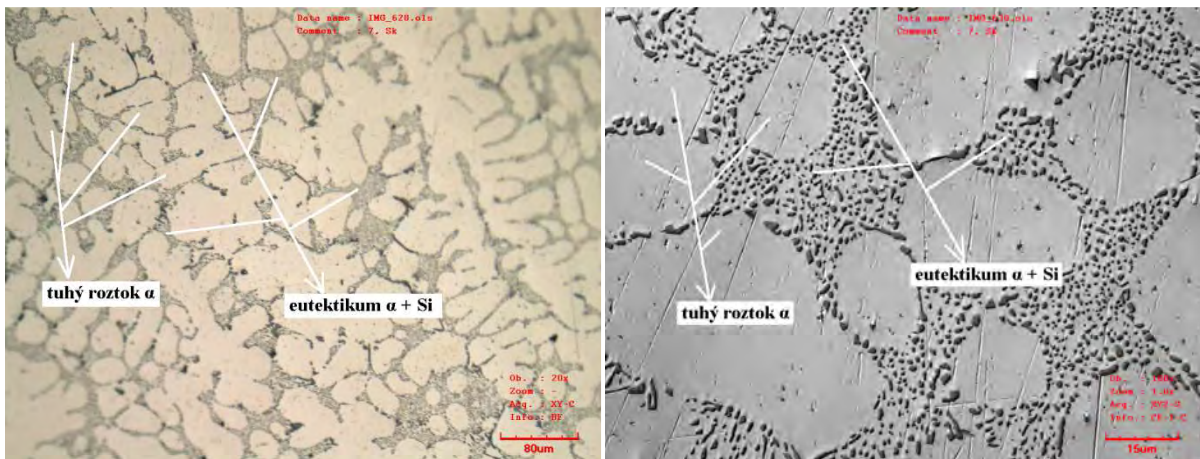




a)

b)

**Obr. 13:** Struktura modifikovaného vzorku ve spodní části odlitku – střed, a) zv. 200x, b) zv. 1000x



a)

b)

**Obr. 14:** Struktura modifikovaného vzorku ve spodní části odlitku – kraj, a) zv. 200x, b) zv. 1000x

## Závěr

Cílem experimentu bylo analyzovat vliv modifikace stronciem na výslednou strukturu odlitku. Na základě zkoumání mikrostruktur modifikované a nemodifikované slitiny  $AlSi7Mg0,3$ , kdy pro modifikaci bylo použito 0,04 hmotnostního % Sr ve vztahu k hmotnosti použitého materiálu, lze konstatovat, že modifikace je výraznější ve spodní části odlitku a směrem k vrcholu se trochu snižuje. Tento jev lze interpretovat jako důsledek vícero faktorů, které ovlivnily průběh modifikace. Mezi tyto faktory bezesporu patří druh použitého tavicího zařízení, druh použité předslitiny, druh a způsob přehřátí formy, doby modifikačního účinku stroncia a chladnutí odlitku. V uvedené slitině je důležité v případě dalších experimentů se zaměřit zejména na kontrolu chemického složení předslitiny, ta určuje chemické složení výsledné slitiny. Slitina svým chemickým složením v průběhu tuhnutí po aplikaci modifikátoru ovlivňuje modifikační účinek a tím výslednou morfologii eutektického křemíku.

Jak je patrné z výsledků mikroskopické analýzy, v experimentálních podmínkách je potřebné ve větší míře kontrolovat jednotlivé kroky při výrobě vybrané slitiny (způsob tavení, chemické složení předslitiny, průběh krystalizace taveniny), protože v případě nepříznivých okolností se může projevit synergický



efekt, který může negativním způsobem ovlivnit průběh krystalizace a modifikace slitiny. Proto je důležité pomocí experimentů optimalizovat průběh modifikování slitiny, aby při dodržení postupu výsledkem byla odpovídající mikrostruktura a tím i očekávané vlastnosti.

*Příspěvek byl realizován díky podpoře grantu IRP 2013 UJEP*

## LITERATURA

- [1] BOLIBRUCHOVÁ, D., TILLOVÁ, E. Zlievarenské zliatiny Al-Si. ŽU, Žilina: EDIS – vydavateľstvo ŽU (2005) ISBN 80-8070-485-6
- [2] MICHNA, Štefan, LUKÁČ, Ivan, OČENÁČEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPALA, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A. a kol. Encyklopedie hliníku. Adin, Prešov (2005) ISBN 80-89041-88-4.
- [3] Michna, Š., Kuśmierczak, S. Technologie a zpracování hliníkových materiálů. UJEP. Ústí nad Labem, 152 s. (2008)
- [4] MICHNA, Š., NOVÁ, I. Technologie a zpracování kovových materiálů. Adin, Prešov (2008) ISBN 978-80-89244-38-6
- [5] MICHNA, Š. NAPRSTKOVÁ, N. The Mechanical Properties Optimizing of of Al - Si Alloys Precipitation Hardening and the Effect on the Character of the Chip, Acta Metallurgica Slovaca, No.3 (2011) ISSN-1335-1532
- [6] Tillova, E., Farkašova, M., Chalupova, M. The Role of Antimony in Modifying of Al-Si-Cu Cast Alloy, Manufacturing Technology, Vol.13, No.1, s. 109-114 (2013) ISSN 1213-2489
- [7] Tillova, E., Chalupova, M., Hurtalova, L., Ďurinikova, E. Quality control of microstructure in recycled Al-Si cast alloys, Manufacturing Technology, Vol.11, No.11, s. 70-76, (2011) ISSN 1213-2489
- [8] ČSN EN 1796 - Hliník a slitiny hliníku - Odlitky - Chemické složení a mechanické vlastnosti
- [9] Kalincová, D. Skúšanie mechanických vlastností materiálov - prehľad meracích metód a zariadení. In proceedings Zvyšovanie efektívnosti vzdelávacieho procesu prostredníctvom inovačných prostriedkov, KEGA 3/6370/08., TU vo Zvolene, Zvolen, s. 13-26 (2010)
- [10] Lipinski T. Microstructure and Mechanical Properties of the AlSi13Mg1CuNi Alloy with Ecological Modifier. Manufacturing Technology. Vol. 11, s. 40-44. (2011)
- [11] Tillova E., Chalupova M., Hurtalova L., Durinikova, E. Quality Control of Microstructure in Recycled Al-Si Cast Alloys. Manufacturing Technology, Vol.11, No.11, s. 70-76. (2011) ISBN 1213-2489
- [12] Lipiński T. Microstructure and Mechanical Properties of the AlSi13Mg1CuNi Alloy With Ecological Modifier, Manufacturing Technology, Vol.11, No.11, s.40-44 (2011) ISBN 1213-2489
- [13] Michalčova, A., Vojtěch, D. Structure of rapidly solidified aluminium alloys. *Manufacturing Technology*, Vol.12, No.13, s. 166-16, (2012) ISSN1213-24891