

Vplyv hlavných legujúcich prvkov na veľkosť vzdialeností sekundárnych ramien dendritov v Al-Si-Cu zliatinách v liatom stave

¹⁾ M. B. Djurdjevič a ²⁾ M. A. Grzinčič

¹⁾ Nemak Linz GmbH, Vývojové centrum, Zeppelinstrasse 24, 4030 Linz, Rakúsko, mile.djurdjevic@nemak.com

²⁾ Nemak Slovakia s.r.o., Oddelenie procesného inžinieringu, Ladomerská Vieska 394, 965 01 Žiar nad Hronom, Slovensko, marko.grzincic@nemak.com

Abstrakt:

Komplexné pochopenie kvality taveniny má zásadný význam pre kontrolu, riadenie a predikciu vlastností odliatku. Medzi dominantné faktory, ktoré ovplyvňujú štruktúru a tým aj mechanické vlastnosti patria: chemické zloženie, spracovanie/úprava tekutého kovu, rýchlosť chladnutia a teplotný gradient. Pričom rýchlosť chladnutia a zloženie zliatiny patria medzi najdôležitejšie. Táto práca skúma vplyv niektorých hlavných legujúcich prvkov (kremíka a medi) zliatiny typu Al-Si-Cu na veľkosť vzdialenosti sekundárnych ramien dendritov. Bolo preukázané, že oba uvedené legujúce prvky majú vplyv na štruktúrne parametre.

Kľúčové slová: vzdialenosť sekundárnych osí dendritov, zliatina AlSiCu, hliníkový odliatok, tuhnutie, DAS index

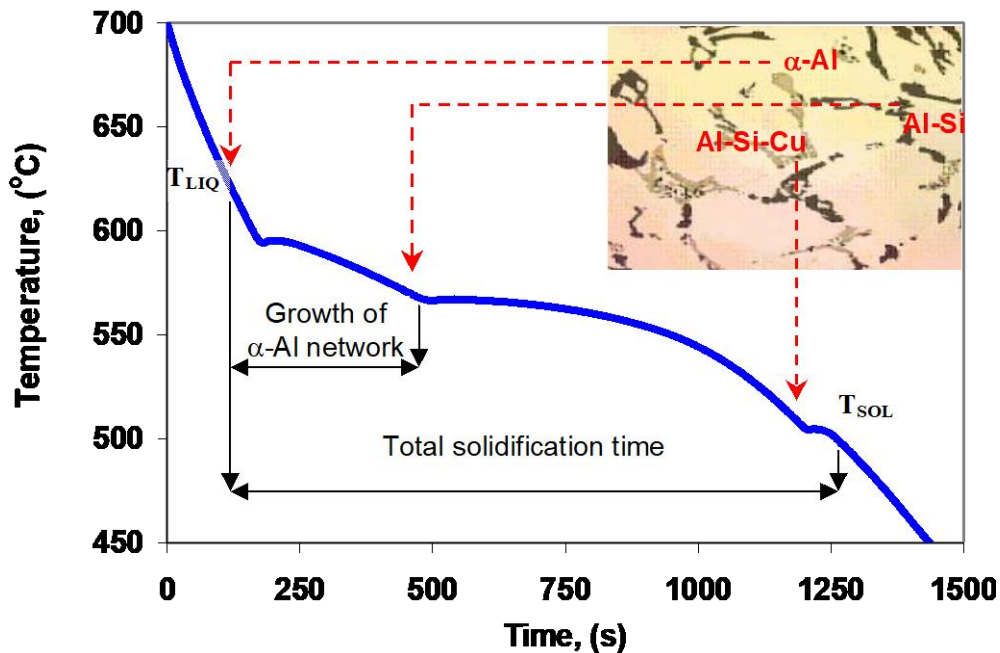
ÚVOD

Odlievania je proces tavenia kovov a ich liatia napr. do kokily, s cieľom dosiahnutia požadovaného tvaru produktu v stuhnutom stave. Je to ten najjednoduchší a najhospodárnejší proces, niekedy jediný technicky uskutočniteľný spôsob dosiahnutia požadovaného tvaru v tuhom stave. Tento proces sa aplikuje pre rozličné materiály, ako sú kovy, keramické materiály, plasty a sklo. Medzi kovmi sú to hliníkové zliatiny na báze Al-Si, ktorých použitie sa rozšírilo v automobilovom priemysle vzhľadom na ich dobré zlievarenské a mechanické vlastnosti. Je to hlavne kvôli vynikajúcemu vplyvu kremíka a medi. Kým Si výrazne zlepšuje zlievarenské vlastnosti, Cu efektívne zvyšuje pevnostné vlastnosti.

Pri navrhovaní/projektovaní odliatkov automobilových dielcov je dôležité, popri chemickom zložení, mať poznatky o procese kryštalizácie v rôznych miestach prierezu daných odliatkov. Rozdielne štruktúrne parametre v dôsledku heterogénnych procesov kryštalizácie majú za následok i rozdielnosť v mechanických vlastnostiach. Uvedené poznatky umožňujú konštruktérovi navrhnúť optimálne parametre zaručujúce, že daný odliatok bude dosahovať požadované vlastnosti pre jeho zamýšľané použitie. Z mnohých parametrov, ktoré ovplyvňujú štruktúru a následne aj mechanické vlastnosti je potrebné uviesť: chemické zloženie, spracovanie/úprava tekutého kovu, rýchlosť chladnutia a teplotný gradient. Z nich rýchlosť chladnutia zohráva najdôležitejšiu úlohu. Vplyv rýchlosti chladnutia na štruktúrne parametre zlievarenských hliníkových zliatin, ako sú veľkosť zrna, vzdialenosť sekundárnych osí dendritov (SDAS), morfológia eutektického kremíka i fázy na báze Al(Fe,Mn,Si) skúmali mnohí autori [1 až 10]. Vo všeobecnosti sa tieto práce zhodli na tom, že zvyšovanie rýchlosti chladnutia „vylepšuje“ veľkosť zrna, ovplyvňuje morfológiu kremíka a znižuje vzdialenosť sekundárnych osí dendritov SDAS.

Obrázok 1 ukazuje na skutočnosť, že tuhnutie odliatku vyrobeného zo zliatiny typu Al-Si-Cu sa začína pri teplote likvidu s precipitáciou primárnej alfa fázy z likvidu. Primárna α -hliníková sieť dendritov sa tvorí v rozmedzí teplôt 610 až 580°C. Presná teplota závisí hlavne od množstva kremíka a medi v zliatine. Primárna fáza narastá, keďže pevné kryštály majú tvar dendritov. To vedie k nárastu koncentrácie kremíka a medi vo zvyšnom tekutom kove. V teplotnom rozmedzí 570 až 555°C možno rozoznať prvé teplotné plató na krivke chladnutia (eutektická teplota hliník-kremík). Dosiahnutím eutektickej teploty hliník-kremík pokračuje tuhnutie pri konštantnej teplote tvorbou eutektickej tuhej fázy v priestore, ktorá zostala medzi osami dendritov. Fáza obohatená med'ou zastúpená druhým plató

sa začne vylučovať, či precipitovať (v rozmedzí teplôt 525 až 507°C) z poslednej časti taveniny v blízkosti teploty solidu.

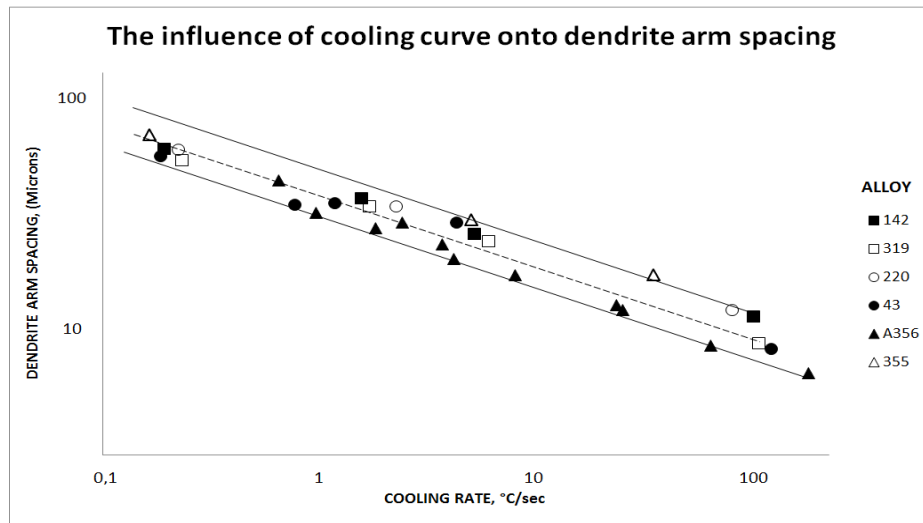


Obrázok 1: Krivka ochladzovania zliatiny AlSiCu so schematicky určenými priestormi typicky vylúčenými intermetalickými fázami. Mikroštruktúra vzorky zliatiny typu AlSiCu zobrazuje priestor matrice α -Al, veľké ihlice vytvorené z Al-Si eutektika (tmavé) a AlCu₂ eutektika vylúčených častíc (ružovej farby). Čiary so šípkami označujú približné teploty, pri ktorých sa tieto fázy začínajú vylučovať. Taktiež je popísaný celkový čas tuhnutia generickej AlSiCu zliatiny.

Ako je možné vidieť na Obrázku 1, tak tuhnutie akejkoľvek zliatiny sa začína pri teplote likvidu s podchladením súvisiacim s vytváraním mnohých malých kryštálov – zárodokov v tavenine. K ďalšiemu ochladzovaniu taveniny dochádza s vylučovaním (precipitáciou) primárnej siete dendritov α -Al kryštálu. Dendrit má charakteristickú trojitú/stromčekovitú štruktúru kryštálu rastúceho ako „zmrazený“ roztavený kov. Dendrity obyčajne rastú z jedného jadra tak dopredu (primárne) ako aj do strán (sekundárne), ktoré môžu mať v priemere iba niekoľko mikrónov. Na začiatku rameno dendritu v primárnej osi rastie dovtedy, pokiaľ sa pri danej teplote (teplota koherencie/súdržnosti dendritov) a pevných časticiach (častica súdržnosti dendritu) nezačnú navzájom dotýkať. Ďalší vývoj α -hliníkovej štruktúry dendritov je charakterizovaný nárastom sekundárnych alebo dokonca aj terciárnych vetiev, ktoré sa rozrastajú v preferovanom kryštalografickom smere.

Najdôležitejším praktickým aspektom štruktúry dendritov je vzdialenosť sekundárnych osí dendritov (SDAS), ktorá predstavuje vzdialenosť medzi sekundárnymi dendritmi v tuhnucej štruktúre liatych kovov a zliatin. Toto množstvo je významné, pretože sa preukázalo, že mnohé mechanické vlastnosti s ním môžu súvisieť [1až 4, 8, 11, 14, 15], pričom tie najlepšie vlastnosti sa vždy spájajú s najmenšími vzdialenosťami sekundárnych osí dendritov SDAS. V mnohých ohľadoch je SDAS iba miera celkovej jemnosti mikroštruktúry daného odliatku. Nízka hodnota SDAS znamená, že štruktúra je v poriadku, so všetkými súvisiacimi prínosmi, vrátane menších zŕn, jemnejšej intermetallickej štruktúry, lepšej mikrohomogenity a menšej ako aj lepšie rozloženej pórovitosti. Všetky tieto požadované vlastnosti štruktúry odliatku sú zodpovedné za dobré mechanické vlastnosti spojené s malými vzdialenosťami sekundárnych osí dendritov SDAS. Ako je možné vidieť na Obrázku 2, tak existuje inverzný vzťah medzi rýchlosťou chladnutia a vzdialenosťou sekundárnych osí dendritov

SDAS (napr. čím vyššia je rýchlosť chladnutia, tým nižšia je vzdialenosť sekundárnych osí dendritov SDAS) [1].



Obrázok 2. Závislosť vplyvu priemernej rýchlosti chladnutia od veľkosti vzdialenosti osí dendritov pre šesť hliníkových zliatin [1].

Autor Spear a kolektív [1] v ich článku prediskutovali spôsoby merania mikroštruktúry dendritov a vplyvu rýchlosti tuhnutia a zloženia zliatiny na veľkosť bunky. Podľa nich existujú najmenej tri rôzne merania, ktoré možno použiť na popisovanie zjemnenia dendritov a to sú: meranie vzdialeností osí dendritov, veľkosti bunky dendritu a meranie intervalu buniek dendritov. Vzdialenosť osí dendritov je vzdialenosť medzi osami rozvinutých sekundárnych ramien; interval buniek dendritov je vzdialenosť medzi stredovými osami buniek susedných dendritov a veľkosť bunky dendritu je šírka jednotlivých buniek. Vynikajúca diskusia o najlepšom spôsobe merania veľkosti dendritu je obsiahnutá v článku [1] medzi referenčnou literatúrou. Vzťah medzi rýchlosťou chladnutia a veľkosťou dendritov preskúmavali u šiestich hliníkových zliatin pri rozličných rýchlostiach. Obrázok č. 2 ukazuje na výsledky ich výskumu. Ako je možné vidieť, tak veľkosť dendritov je silno ovplyvnená rýchlosťou chladnutia. Avšak chemické zloženie zliatin má taktiež vplyv na túto štruktúrnú charakteristiku. Tento vplyv sa však nerozpoznáva veľmi ľahko kvôli tomu, že vedúci vplyv má práve spomínaná rýchlosť chladnutia.

Žiaľ, vplyv chemického zloženia na vzdialenosť sekundárnych osí dendritov SDAS nie je v odbornej literatúre rozsiahlejšie prebádaný. V poslednej dobe však autor Zhang a kolektív [4] študovali vplyv procesných parametrov ako sú: chemické zloženie, rýchlosť chladnutia, teplota taveniny a teplota liatia na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS odlievajúcich hliníkových odliatkov hláv valcov motorov. Vplyv chemického zloženia analyzovali použitím troch hliníkových zliatin $AlSi7Mg0,3$; $AlSi9Cu1Mg0,3$ a $AlSi7Cu3Mg0,3$. Zistili, že rôzny obsah kremíka a medi má významný vplyv na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS aj pri vysokej rýchlosti chladnutia.

Avšak obidva články nepokrývali v plnom rozsahu otázku obsahov kremíka a medi, čo by mohlo byť zaujímavé pre výrobcov odlievajúcich automobilových dielcov. Preto sme sa v tejto predloženej práci zamerali na posúdenie vplyvu hlavných legujúcich prvkov ako sú kremík a meď na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov (SDAS) série Al-Si-Cu zliatin vyrábaných za podobných podmienok a preštudovali sme ich identickými metódami. Na dosiahnutie tohto cieľa sa menil obsah kremíka od 1 do 10 hm. %, pričom obsah medi bol v rozsahu od 0 do 5 hm. %.

EXPERIMENTÁLNY POSTUP

Materiály

Jedenásť syntetických zliatin typu Al-Si bolo vyrobených na oddelení výskumu a vývoja odlievania v spoločnosti NEMAK. Tieto experimenty sa realizovali použitím zliatiny AlSi11 s prídavkom Cu, Mg a iných prvkov (pre bližšie detaily si pozrite v Tabuľke 1), ktorú sme zriedili pridaním určitého množstva čistého hliníka, aby sme dosiahli navrhnutý obsah kremíka. Chemické zloženia výsledných zliatin, ako boli stanovené použitím optickej emisnej spektroskopie (OES) sú uvedené v Tabuľke 1.

Tabuľka 1: Chemické zloženia preskúvaných Al-Si zliatin s rozdielnym obsahom kremíka (uvedené sú hlavné legujúce prvky, ktorých obsah je uvedený v hmotnostných percentách)

Zliatina	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
1	10,99	0,09	0,002	0,04	0,32	0,007
2	9,71	0,08	0,001	0,03	0,24	0,006
3	8,59	0,10	0,001	0,03	0,24	0,006
4	7,57	0,10	0,002	0,03	0,22	0,006
5	6,97	0,10	0,002	0,03	0,22	0,007
6	6,05	0,11	0,002	0,02	0,21	0,007
7	4,70	0,11	0,002	0,02	0,21	0,007
8	3,72	0,12	0,002	0,02	0,19	0,009
9	2,75	0,12	0,002	0,02	0,18	0,009
10	2,06	0,13	0,002	0,02	0,17	0,008
11	1,30	0,13	0,002	0,02	0,17	0,009

Pre účely analýzy vplyvu rôznych obsahov medi na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS bolo vyrobených deväť syntetických Al-Si-Cu zliatin roztavením jednej vsádzky Al Si6Cu0,02 základnej zliatiny (ako počiatočná zliatina sa použila zliatina 6 z Tabuľky 1). Pre dosiahnutie cieľového obsahu medi sme do taveniny pridávali rôzne množstvá čistej medi a hlavnú zliatinu Al-Si. Tabuľka 2 zobrazuje chemické zloženie výsledných zliatin.

Tabuľka 2: Chemické zloženia skúmaných Al-Si zliatin s rozdielnym obsahom medi (uvedené sú hlavné legujúce prvky, ktorých obsah je uvedený v hmotnostných percentách)

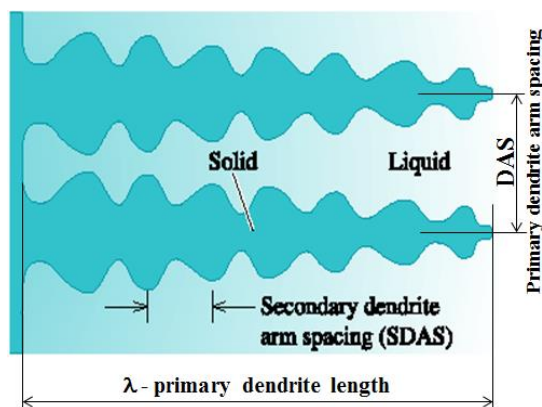
Zliatina	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
1	6,02	0,08	0,37	0,002	0,21	0,005
2	6,09	0,08	0,76	0,002	0,30	0,005
3	6,19	0,07	1,42	0,002	0,27	0,005
4	6,25	0,08	1,76	0,002	0,28	0,004
5	6,15	0,07	2,13	0,002	0,25	0,005
6	6,07	0,07	2,23	0,002	0,26	0,005
7	6,10	0,07	2,60	0,002	0,26	0,005
8	6,21	0,07	3,20	0,002	0,27	0,005
9	6,17	0,08	4,71	0,002	0,25	0,004

Pracovný postup pri tavení

Predtým pripravené vzorky pre každé cieľové zliatiny sa najprv naplnili do keramických téglikov, vložili sa do elektrickej odporovej pece a roztavili sa. Počas všetkých experimentov sa udržiavala konštantná teplota taveniny ($700^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$). Po ich roztavení sa všetky vzorky s približnou hmotnosťou $80\text{g} \pm 2\text{g}$ nechali stuhnúť za rovnakých podmienok. Do testovanej vzorky sa vložil termočlánok (zliatina 1 z Tabuľky 1) aby sa určila rýchlosť chladnutia. Na výpočet rýchlosti tuhnutia sa použil teplotný rozsah medzi teplotou likvidu a solidu vydelený celkovým časom tuhnutia (pozrite si Obrázok 1). Rýchlosť chladnutia pre všetky vzorky bola $0,15^{\circ}\text{C}$ za sekundu.

Metalografia

Stuhnuté valcovité vzorky sa vertikálne rozrezali. Jedna polovica vzorky sa použila na chemickú analýzu, zatiaľ čo druhá polovica sa použila na kvantitatívne merania vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS. Metalografické vzorky sa pripravovali štandardným brúsením a bežnými leštiacimi postupmi. Pri tejto práci sme na zmeranie vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS použili svetelný optický mikroskop značky Zeiss AxioTech. Obrázok 3 popisuje rozdiel medzi vzdialenosťami osí primárnych (DAS) a sekundárnych (SDAS) dendritov.



Obrázok 3. Schematické znázornenie dendritov zobrazujúce rozdiel medzi vzdialenosťou osí primárnych dendritov (DAS) a vzdialenosťou osí sekundárnych dendritov (SDAS)

Vzdialenosť sekundárnych osí dendritov SDAS je dĺžkový rozmer dvoch susedných sekundárnych dendritov SDAS a ich veľkosť je zvyčajne menšia ako vzdialenosť primárnych osí. V tejto práci sme využili na zmeranie vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS metódu priesečníkov. Pritom sa použilo 25 násobné zväčšenie. Veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS sme získali ako priemernú hodnotu z 10 meraní.

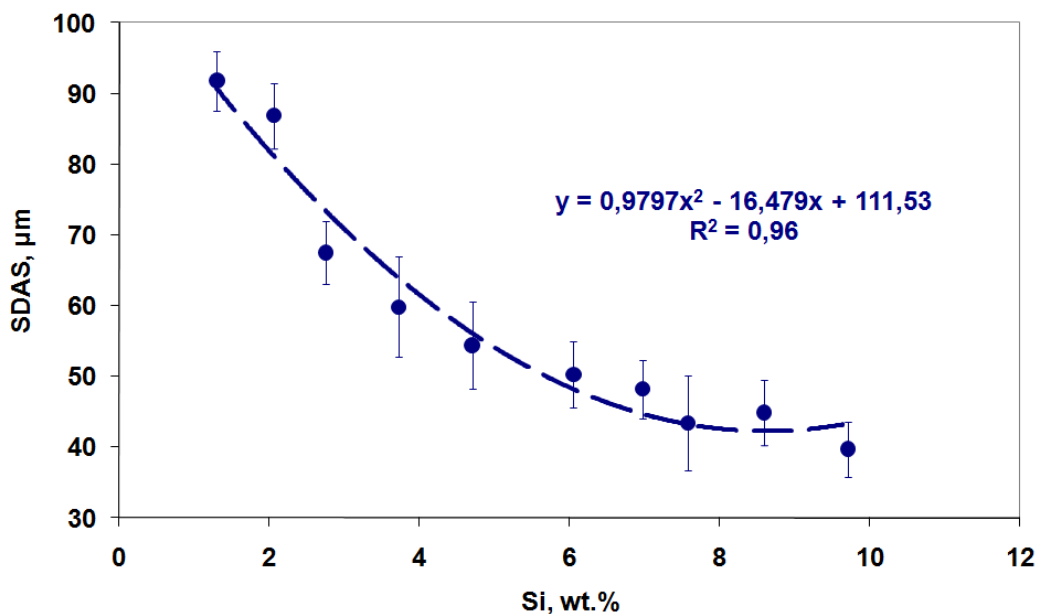
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Zliatiny typu AlSiCu tvoria jednu z komerčne najdôležitejších skupín Al zliatin. Tieto zliatiny sa rozsiahlo používajú vo výrobe veľmi zložitých a komplikovaných automobilových dielcov, akými sú bloky motorov a hlavy valcov. Toto použitie si veľmi často vyžaduje vynikajúce mechanické vlastnosti týchto zliatin. Pre dosiahnutie toho je nutné úzkostlivo kontrolovať štruktúru odlievaných dielcov s veľmi rôznorodými prierezmi. Dobré vieme, že rôzne rýchlosti chladnutí počas tuhnutia môžu viesť k odchýlkam v množstve a tvare rozličných morfológických charakteristík v štruktúrach odliatkov, čo môže viesť zase k rozličným mechanickým vlastnostiam. Dobré známy vplyv meniacich sa rýchlostí chladnutia od veľkosti vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS bol využitý v literatúre [1 až 4, 11 až 14, 17 až 19]. Okrem toho nebol ani dostatočne rozsiahlo prebádaný vplyv legujúcich prvkov na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS u Al-Si. Len málo

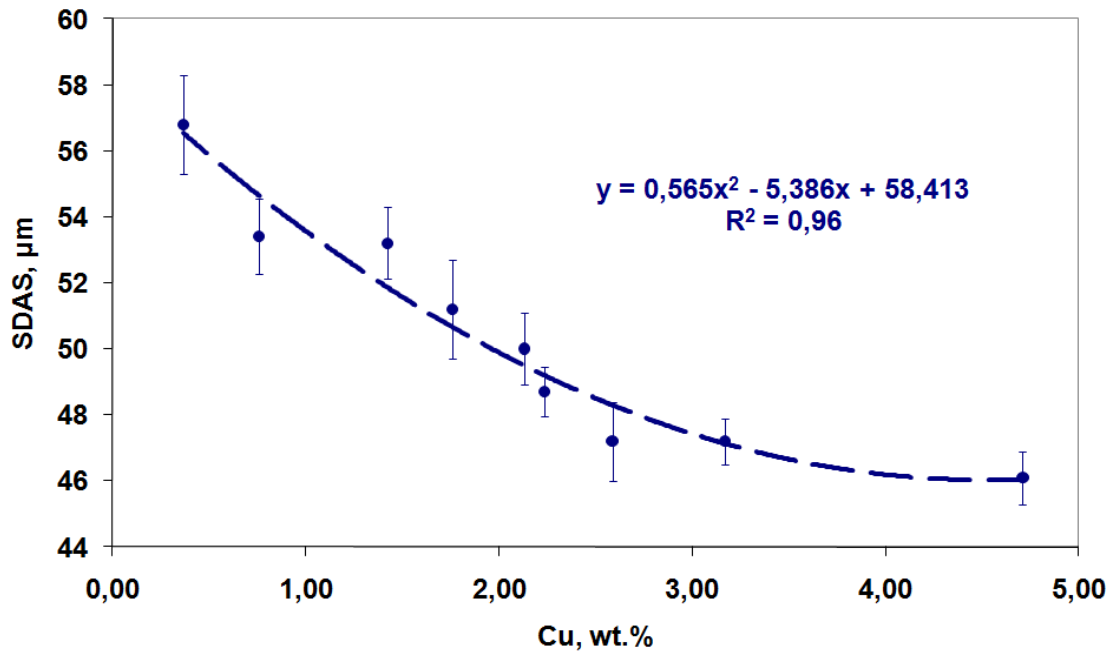
výskumníkov [1, 4] preskúmavalo vplyv rozdielov v zložení zliatiny na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS. Vo všeobecnosti sme zistili, že rôzny obsah kremíka a medi má určitý vplyv na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS, hoci tento vplyv je zvyčajne malý v porovnaní s tým, ktorý sme získali zmenou rôznych rýchlostí ochladzovania. Prezentovaná práca študuje vplyv hlavných legujúcich prvkov, kremíka a medi na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS v zliatinách Al-Si-Cu.

Vplyv kremíka a medi na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS

Štruktúra dendritov hliníkových zliatin je jedna kľúčová mikroštruktúrna vlastnosť, charakterizovaná väčšinou vzdialenosťou primárnych a sekundárnych osí, ako sme to jasne schematicky znázornili na Obrázku 3. Čo sa týka podmienok pri samotnom liatí alebo tepelnom spracovaní, tak sa pripúšťa, že jemnozrnnejšie štruktúry prispievajú k lepším mechanickým vlastnostiam viac, ako tie hrubozrnnejšie [1 až 4, 8, 15, 16]. Vplyv rôznych obsahov kremíka a medi na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS je prezentovaný na Obrázkoch 4 a 5. Každý bod na Obrázkoch 4 a 5 zodpovedá priemernej hodnote vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS vychádzajúcej z desiatich meraní. Zvislé čiary predstavujú štandardné odchýlky každej série meraní. Vyššie obsahy kremíka a medi zmenšili veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS. Závislosť medzi vzdialenosťou sekundárnych osí dendritov SDAS a obsahom kremíka či medi sa mohla vyjadriť polynómickými rovnicami druhého rádu s vysokým korelačným koeficientom.

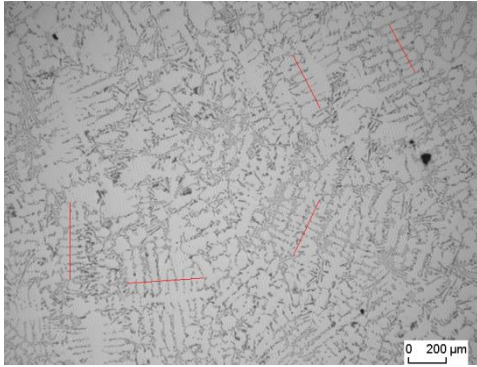


Obrázok 4. Vplyv rôznych obsahov kremíka na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS. Dochádzalo k podstatnému zjemňujúcemu vplyvu keď sa obsah kremíka pohyboval v rozmedzí 1 až 8 hmotnostných percent. Ak sa obsah kremíka zvýšil nad 8 hm.%, vplyv na zjemnenie bol už bezvýznamný.

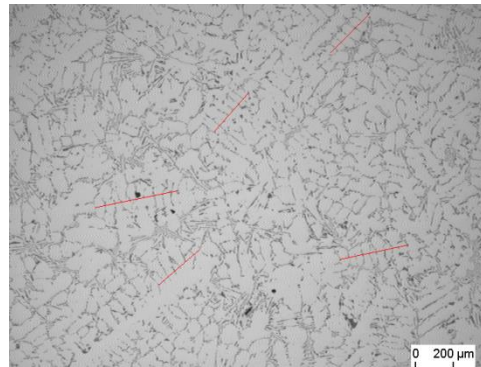


Obrázok 5. Vplyv rôznych obsahov medi na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS. Zvyšovanie obsahu medi od 0 do 3 hmotnostných percent významne zjemňuje veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS. Každé zvýšenie medi nad 3 hm.% zjemňuje dendrity len v malej miere.

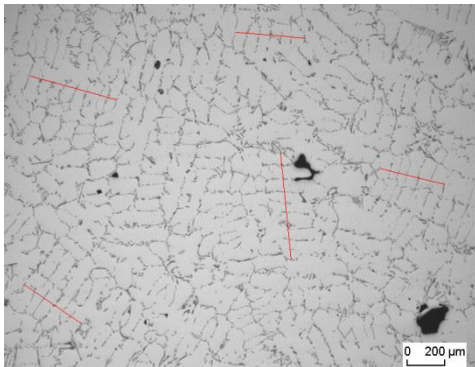
Zmeny mikroštruktúry, ktoré nastávajú so zvyšovaním obsahu kremíka sú znázornené na Obrázkoch 6 (a až e). Snímky znázorňujú vývoj menšej vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS so zvyšovaním obsahu kremíka.



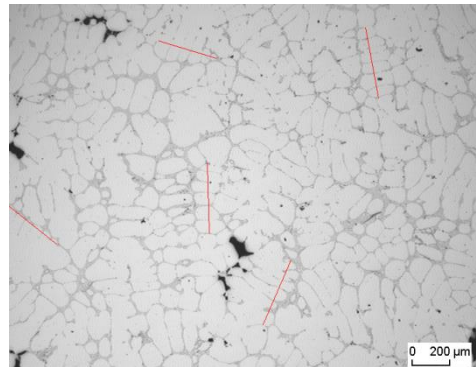
a) Al - 10 wt.% Si alloy



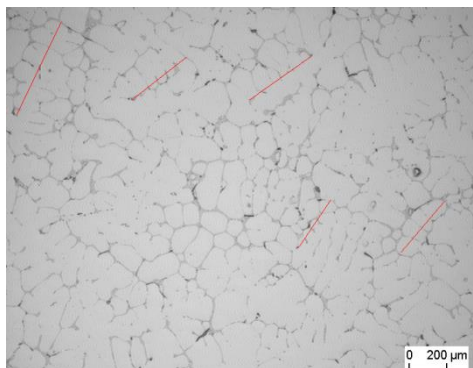
b) Al - 8 wt.% Si alloy



c) Al - 6 wt.% Si alloy

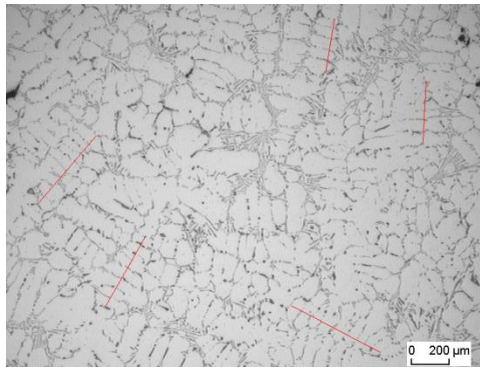


d) Al - 4 wt.% Si alloy

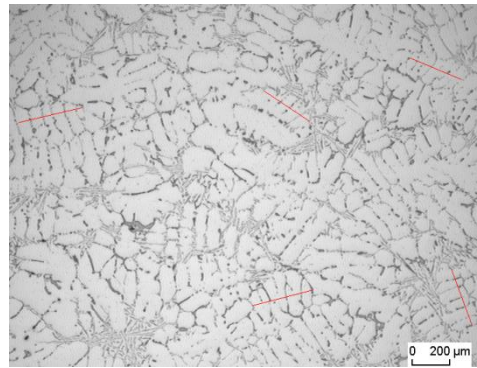


e) Al - 2 wt.% Si alloy

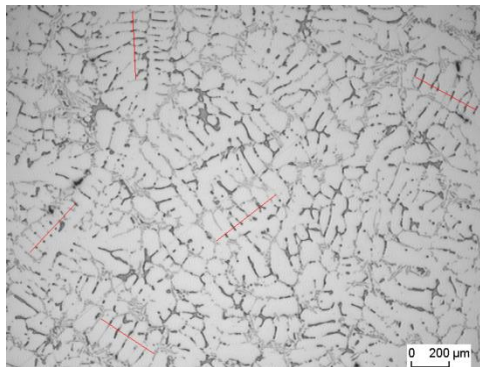
Obrázok 6. Snímky z optickej metalografie hliníkovo-kremíkových zliatin s odstupňovaným množstvom Si



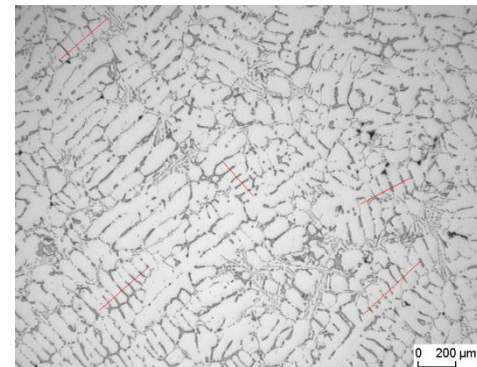
a) Al – Si 6 – Cu 0.76 alloy



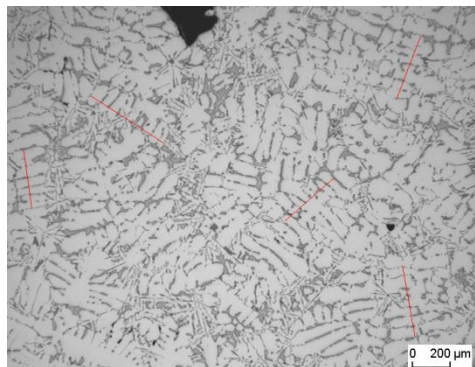
b) Al – Si 6 – Cu 1.76 alloy



c) Al – Si 6 – Cu 2.23 alloy



d)) Al – Si 6 – Cu 3.20 alloy



e) Al – Si 6 – Cu 4.71 alloy

Obrázok 7. Snímky z optickej metalografie zobrazujúce vplyv rôznych hm. obsahov medi v zliatinách Al-Si-Cu na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS.

Analýza štruktúry prezentovaná na Obrázkoch 6 a 7 ukazuje, že pridávanie kremíka a/alebo medi znižuje veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS. Merania vykonané obrazovou analýzou potvrdili, že priemerná veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov sa znižuje z 91,8 μm na 39,7 μm podľa prídavku kremíka od 1 do 10 hm.%. Tento vplyv je oveľa významnejší pokiaľ kremík nedosiahne obsah 8 hm. %. Ďalšie zvyšovanie obsahu kremíka nemá už takmer žiaden vplyv na veľkosť dendritov. Podobný, avšak oveľa menší vplyv možno zaregistrovať prídávaním medi do taveniny zliatin typu AlSiCu. Údaje prezentované na Obrázku 5 ukazujú, že veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS sa mierne znižuje z 56,8 μm na 46,1 μm pri zvýšení obsahu medi

v tavenine AlSiCu na približne 4,7hm. %. Tieto výsledky nie sú neočakávané. Je známe z literatúry [1, 19], že veľkosť dendritov je, popri rýchlosti chladnutia tuhnutia, závislá od úrovne legujúcich prvkov prítomných v tavenine. Počas primárneho tuhnutia hliníkových zliatin nie sú legujúce prvky rovnomerne rozložené medzi pevnými (tuhými) a tekutými fázami. Nadmerné množstvo rozpustenej látky sa vytláča von z rozhrania tuhnutia do taveniny, čo vedie k nárastu objemu rozpustenej látky vloženej medzi už vytvorené osi dendritov. Táto super saturácia, nadmerné nasýtenie (alebo súvisiace konštitučné podchladenie) predstavuje hnaciu silu pre rast dendritov. Priestor medzi α -hliníkovými osami dendritov sa musí zväčšiť, aby prijal zvýšené množstvo rozpustených prvkov. Vyššia koncentrácia legujúcich prvkov bude potom spôsobovať vylučovanie jemnejších dendritov a naopak, dendrity pri nižších koncentráciách majú viac guľovitý vzhľad, ako je zobrazené na Obrázkoch 6a, 6e, 7a a 7e. Očakávame taktiež, že prvky s vyššou rozpustnosťou v hliníkovej tavenine sú menej efektívne pri zmenšovaní veľkosti vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS. Preto je aj vplyv rovnakého množstva medi mierne menší ako je tomu v prípade rovnakého obsahu kremíka.

Porovnávaním výsledkov z Obrázku 2 s výsledkami prezentovanými na Obrázkoch 4 a 5 je evidentné, že rýchlosť chladnutia má oveľa významnejší vplyv na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS v porovnaní s chemickým zložením zliatiny. Takže, pri navrhovaní niektorých odliatkov/výrobných by sa mal najprv zväžiť vplyv rýchlosti chladnutia na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí SDAS. Súčasne nemožno zanedbať ani vplyv chemického zloženia. Obzvlášť v takom prípade, kedy chemické zloženie prvkov zadefinovaných zo strany zákazníka je uvedené v širokom rozsahu. Vybratie si menšieho (6,0 hm.%) alebo väčšieho (8,0 hm. %) obsahu kremíka z AlSi7Mg (356 zliatina podľa Americkej normy) špecifikácie zliatin, zreteľne zmení veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS v stuhnutej štruktúre odliatku približne o 7 μm . Preto vplyv chemického zloženia na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS musíme dobre pochopiť, porozumieť mu a správne ho aj využívať, aby sme dosahovali požadovanú kvalitu odlievaných výrobkov. Tento vplyv je oveľa dôležitejší ako sa približujeme u našich výrobkov ku strane náliatkov. Preto by sme mali vplyv chemického zloženia používať na jemné doladenie pre dosiahnutie želanej veľkosti vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS.

ZÁVER

Experimenty sme uskutočnili preto, aby sme zistili vplyv prídavkov kremíka v rozmedzí 1,3 až 9,7 hm. % a prídavkov medi v rozmedzí 0,37 až 4,7 hm.% na veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS v zliatinách Al-Si-Cu. Zistili sme, že pridávanie kremíka a medi mierne znižuje veľkosť vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS v porovnaní s vplyvom rýchlosti chladnutia, ale nie je to také zanedbateľné, aby sme ich vplyv mohli ignorovať. Zdá sa, že toto zmenšenie veľkosti vzdialenosti sekundárnych osí dendritov SDAS súvisí s vytváraním väčšieho objemu rozpustenej látky počas tuhnutia hliníkových zliatin s vyšším obsahom kremíka a medi. Získané výsledky sú v úplnej zhode s údajmi uvedenými v dostupnej literatúre.

Použitá literatúra

- [1] Spear R.E. and G. R. Gardner, Dendrite cell size, AFS Transactions 1963; 71: 209-215.
- [2] Rhadhakrishna K., S. Seshan and M.R.Seshadri, Dendrite arm spacing in aluminium alloy castings, AFS Transactions 1980; 88: 695-702.
- [3] Flemings M., T.Z. Kattamis, and B. P. Bardes, Dendrite Arm spacing in aluminium alloys, AFS Transactions 1991; 99: 501-506.
- [4] B. Zang, M. Garro and C. Tagliano, Dendrite arm spacing in aluminium alloy cylinder heads produced by gravity semi-permanent mold, Metallurgical Science and Technology, 2003; 21:3-9.
- [5] ASM Specialty Handbook, Aluminium and Aluminium Alloys; Edited by J. R. Davis, ASM International The Materials Information Society: 1994, p. 10-60.

- [6] ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagrams, The Materials Information Society, 1992, p. 1-40.
- [7] Ciach, R. and Podosek, M.: Solidification of Aluminum Alloys, Proceedings of the NATO Advanced Studies Institute on Advanced Light Alloys and Composites, Zakopane, Poland, September 5-15; 201-206; 1997.
- [8] Backerud, L.: Solidification Characteristics of Aluminium Alloys, Vol. 2, AFS, Skanaluminium, 1991, p. 1-75.
- [9] Bennon, W. D and Incropera F. P.: A Continuum Model for Momentum, Heat and Species Transport in Binary Solid-Liquid Phase Change Systems Int. J. Heat Mass Transfer, 1987;30: 2161-2187.
- [10] Caceres, C. H., Djurdjevic, M. B., Stockwell, T. J, and Sokolowski, J. H., The Effect of Cu Content on the Level of Microporosity in Al-Si-Cu-Mg Casting Alloys, Scripta Materialia, 1999; 40: 631-637.
- [11] J. E. Gruzleski and B. M. Closset, The treatment of liquid aluminium-silicon alloys American Foundryman's Society, Inc. Des Plaines, Illinois, USA, 1990, p. 1-35.
- [12] N. Tenekedjiev, H. Mulazimoglu, B. Closset and J. Gruzleski, Microstructures and Thermal Analysis of Strontium-Treated Aluminium-Silicon Alloys, American Foundryman's Society, Inc. Des Plaines, Illinois, USA, 1995, p 40-41.
- [13] H. Matuja, B. C. Giessen, and N. J. Grant, The effect of cooling rate on the dendrite spacing in splat-cooled aluminium alloys The Journals of the Institute of Metals 1968; 9: 30-32.
- [14] L. Ananthanarayanan, and J. E. Gruzleski, Thermal Analysis Studies on the Effect of Cooling Rate on the Microstructure of the 319 Aluminium Alloy AFS Transactions, 1992; 141: 383-391.
- [15] S. Gowri, Comparison of thermal analysis parameters of 356 and 359 alloys AFS Transactions 94-29, p. 503-508.
- [16] H. G. Kang, H. Miyahara, and K. Ogi, Influence of cooling rate and additions of Sr and Ti-B on solidification structures of AC4B type alloy, Proceedings of the 3rd Asian Foundry Congress, edited by Lee Z. H., Hong C. P., and Kim M.H., The Korean Foundrymen's Society, Kyongju, Korea, November 8-10; 1995, p. 108-115.
- [17] Y. F. Chen, S. H. Jong, and W. S. Hwang, The effect of cooling rate on the latent heat released mode for near pure aluminium and aluminium silicon alloy, Modelling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes VII Edition by M. Cross and J. Campbell; The Minerals, Metals and Materials Society 1995, p. 483-490.
- [18] A. M. Figueredo, Y. Sumartha and M. C. Flemings, Measurement and calculation of solid fraction in quenched semi-solid melts of rheocast aluminium alloy A357 Light Metals 1998 edited by Barry Welch, The Minerals, Metals and Materials Society, 1998, p. 1103-1106.
- [19] J. E. Gruzleski, Microstructure development during metal casting, AFS , Des Plaines Illionis; 2000 p. 99-116.