

Metalografické aspekty použití nanočástic při mimopecním zpracování siluminů

Bc. Michaela Brathová

Vedoucí práce: Ing. Petr Zikmund

Abstrakt

Cílem experimentu bylo zjistit přesné účinky nanoprášku MC-M a určit jeho vhodné dávkování. Pro tento účel byly odlity vzorky s různě velkým množstvím nanoprášku. Jeho účinky se vyhodnocovaly podle metalografického výbrusu.

Podle informací výrobce byl očekávaným výsledkem vznik jemnější krystalické struktury a snížení porezity odlitku. Tento účinek se však při experimentu neprokázal.

1. Úvod

Metalurgické úpravy hliníku a jeho slitin jsou důležitou součástí jeho zpracování. Mají vliv na výslednou krystalickou strukturu odlitku, vady odlitku, a tím na jeho mechanické vlastnosti. Používanými úpravami jsou očkování, modifikace a tepelné zpracování.

Firma Compachem, výrobce nanoprášku MC-M, označuje jeho účinky jako modifikační (z angl. modifiers). Tento překlad však není přesný, protože může znamenat jak modifikátor, tak očkovač. Proto bylo důležité zjistit, jaké jsou jeho účinky.

1.1 Použitá slitina

Při tomto experimentu byla použita slitina AlSi12Cu (ověřeno pomocí spektrální analýzy). Obsah křemíku se v této slitině pohybuje mezi 10,5-16,5 %, jedná se tedy o slitinu eutektickou, která má skoro nulové dvoufázové pásmo. [1] [2]

Obsah křemíku v této slitině zvyšuje zabíhavost, zmenšuje stahování a lineární smršťování a zhoršuje obrobitelnost. Je zde též přítomen Mn, který kompenzuje nepříznivé účinky železa obsaženého ve fázích Al-Fe a mění je na fáze Al-Si-Fe-Mn, čímž zmenšuje riziko snížení tažnosti. [1]

Úprava struktury očkováním se u eutektických slitin nepoužívá.

1.1 Nanoprášek MC-M

Jak je uvedeno výše, nanoprášek MC-M by měl být podle výrobce modifikátorem, popřípadě očkovačem, avšak proces úpravy taveniny jeho pomocí není příliš jasný, proto bude dále v textu nazýván činidlem nebo nanopráškem. Deklarovaným účinkem je tvorba rovnoměrné krystalizace v celém objemu odlitku, aktivní podílení na nukleačním procesu a ovlivnění orientace růstu krystalů v požadovaném směru. Podle složení (viz tabulka 1) je vidět, že prášek obsahuje očkovací prvky, ale i jiné prvky, které mají příznivý, ale i nepříznivý vliv na strukturu. Struktura upravená tímto nanopráškem, by měla zvýšit integritu a hustotu materiálu, snížit počet pórů, trhlin a dutin, zvýšit 2-5 x odolnost proti otěru a také zvýšit těsnost. [3]

Optimální dávkování MC-M je přibližně 0,1 % hm. do proudu taveniny. Aplikace se odvíjí od množství taveniny. Pro běžné množství je doporučený postup takový: do zvonu umístíme odměřenou dávku nanoprášku a spustíme jej do kelímku s taveninou o teplotě minimálně 720 °C. Zvon umístíme ke dnu a pomalu jím taveninu promícháváme. Při tom sledujeme hladinu, která by měla mírně probublávat po dobu cca 5-10 min (v závislosti na

objemu taveniny). Poté zvon vyjmeme a kelímek s taveninou necháme 10-15 min stát při lici teplotě a odlijeme. [3]

Při zacházení s nanopráškem je důležité dbát na bezpečnost práce. Prášek sice není hořlavý ani třaskavý, ale obsahuje sloučeniny, které nejsou zdraví prospěšné a vzhledem k drobným částicím je velice snadné je vdechnout. Proto je při zacházení s ním nutné použít respirátor, brýle a jiné ochranné pomůcky. Navíc by v místnosti měla být udržována nízká hodnota vlhkosti a také by v ní měla být zapnuta ventilace. [3]

Tabulka 1. Sloučeniny nanoprášku identifikované pomocí chemické analýzy a prvky identifikované pomocí fázové analýzy

SLOUČENINY	PRVKY	% hm.		PRVKY	% hm.	
titan oxid sodný	Zr	25,83	očkavadlo	Ca	2,24	Modifikátor
oxid titanu	Ti	24,12	očkavadlo	Si	0,725	
oxid vápenatý zirkoničitý	Al	19,18	nosič	S	0,388	
hydroxid vápenatý	Na	17,76	modifikátor	Mg	0,162	(Mg ₂ Si) vytvrzovací fáze
oxid hlinitý zirkoničitý	K	9,2	modifikátor	P*, Cl, V, Fe, Cu, Ga, Rb, Y, Nb, Mo	<0,01	

*očkuje Si, ale ruší modifikaci [1] [4] [6]

1.2 Použité metody

SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA

Spektrální analýza je nedestruktivní metodou fungující na bázi metody XRF neboli rentgenové fluorescenční spektrometrie. Tuto metodu je možné použít pro analýzu pevných kovových materiálů. Jedná se o metodu rychlou a spolehlivou.

Principem metody je ozáření vzorku primárním svazkem rentgenových paprsků. Část dopadajících paprsků je absorbována, a tím se z látky emitují fotoelektrony tzv. fotoelektrický jev. Protože každý prvek potřebuje pro vymrštění elektronu specifickou vlnovou délku záření, tak i vlnová délka odražených paprsků je různá. Její hodnota se zachytí na detektoru a její intenzita je porovnávána s tabulkovými hodnotami. Při shodě s tabulkami je určen prvek obsažený v materiálu. Použitý přenosný spektrometr DELTA PROFESSIONAL od firmy BAS Rudice s.r.o. využívá SDD detektor, který má výjimečné detekční limity a citlivost i pro prvky Mg, Al, Si, P, S a další, které se vyskytují v malých procentuálních množstvích. [8]

CHEMICKÁ ANALÝZA

Pro chemickou analýzu bylo použito také metody fluorescenční spektrometrie. Použit byl stolní rentgenový fluorescenční spektrometr.

FÁZOVÁ ANALÝZA

Fázová analýza určuje, z jakých fází je materiál složen a jaké je poměrné zastoupení jednotlivých fází v materiálu. Pro určení fází nanoprášku byla použita difrakční metoda fázové analýzy. Výsledkem analýzy je difraktogram charakteristický pro každou fázi. Je-li látka tvořena směsí fází, vytvoří se difraktogram, který je lineární superpozicí difraktogramů

jejích jednotlivých komponent (polohy difrakce nejsou ovlivněny jinou složkou směsi). Intenzita difrakce je lineárně úměrná objemovému podílu příslušné fáze. [9]

2. Popis experimentu

Při experimentu byly zkoumány modifikační účinky MC-M a jeho vliv na mikrostrukturu a porezitu vzorku. Vzorkem (viz obr. 1.) byl váleček o průměru 35 mm a délce 60 mm. Pro každé jednotlivé množství činidla byly v 1. a 2. pokusu odlity 3 vzorky, ve 3. pokusu 2 vzorky.



Obr. 1. Vzorky pro zkoumání

Tabulka 2.-Pomůcky a podmínky použité při experimentech

1. POKUS/ 2. POKUS/ 3. POKUS			
pec na tavení	odporová kelímková	slitina	AlSi12Cu
žíhací pec	odporová		
udržovací pec	indukční		
kelímk	0,5 l	teplota taveniny	750°C
pánev	2 l	teplota v žíhací peci	750°C
kleště		teplota na hale	20°C
písková forma	bentonit 8%, voda 6 %		
váha 1 pánve	0,5 kg	čas míchání prášku	3 min/5 min/5min
míchátko	grafitová tyč/ocel/grafitová tyč	čas v žíhací peci	15 min

1. POKUS

Do 3 ze 4 předehřátých kelímků se nasypaly 0,2, 0,4 a 0,6 % hmotnostních nanoprášku a 1 kelímk se nechal prázdný. Poté se do nich postupně vlila tavenina a za pomoci grafitové tyče se obsah kelímků s nanopráškem 3 minuty promíchával. Při promíchávání povrch taveniny mírně probublával, což bylo znakem rozpouštění nanoprášku. Kelímk s metalurgicky neovlivněnou taveninou i kelímky s metalurgicky ovlivněnou taveninou byly umístěny na 15 minut do žíhací pece. Poté se odlily vždy 3 vzorky z každého kelímku do pískové formy. Vzorky se po 20 minutách vyklepaly z formy a zchladily ve vodě. Po odlití zbyl na dně kelímků, kde měla být metalurgicky ovlivněná tavenina, nerozpuštěný nanoprášek

(viz obr.2.). Z tohoto důvodu musel být vymyšlen jiný způsob vmíchávání nanoprášku a pokus se musel opakovat.



Obr. 2. Zbytek nanoprášku na dně kelímků

2. POKUS

Do pánve bylo nabráno 0,5 kg taveniny a byla ponechána v prostoru kelímkové pece, kdy bylo využito taveniny v peci pro udržení teploty taveniny v pánvi. Po té se do pánve nasypala 0,2 %hm. nanoprášku (10g) a byl vmíchán do taveniny za pomoci míchátka. Metalurgicky ovlivněná slitina se přelila do přehřátého kelímku, který byl na 15 min. umístěn do žíhací pece. Po vyjmutí kelímku z pece byly odlity 3 vzorky. Stejným způsobem se pokus opakoval pro 0,4% hm. činidla a 0,6 % hm. činidla. Vzorky byly po ztuhnutí vyklepány z formy a zchlazeny do vody.

Míchátko bylo vyrobeno pro účinné vmíchání nanoprášku do taveniny. Materiálem pro jeho výrobu byl ocelový drát (viz obr. 3.). Protože před jeho použitím nebylo natřeno žáruvzdorným nátěrem, mohl být pokus znehodnocen. Neboť při styku taveniny Al s Fe dochází k ovlivnění výsledné struktury.



Obr. 3. Ocelové míchátko použité při 2.pokusu.

3. POKUS

Při 3. pokusu nebylo použito náradí ani pomůcky (v přímém styku s taveninou), které by byly vyrobeny z oceli nebo litiny.

Tavenina byla připravena z rozřezaných housek vložených do grafitového kelímku a roztavených v žíhací peci. Po roztavení byl kelímek vložen do indukční pece a přisypána 0,2 % hm. činidla zabalená v tenkém papíru. Činidlo bylo vmícháno pomocí grafitové tyče po dobu 5 min. Poté byla metalurgicky ovlivněná tavenina umístěna na 15 min do žíhací pece a následně se odlily 2 vzorky. Stejným postupem byly vytvořeny i vzorky s 0,4% hm. a 0,6 % hm. činidla. Odlité vzorky byly ponechány na vychladnutí ve formě do druhého dne.

3. Popis výsledné struktury

Použitá slitina AlSi12Cu nejspíš obsahovala příměs Fe, neboť byly jeho intermetalické fáze nalezeny na všech snímcích mikrostruktury. Pravděpodobně se jedná o slitinu určenou pro tlakové lití, kde je 1% příměs Fe žádoucí, aby se odlitky nelepily k formě.

Všechny vzorky bez ohledu na množství použitého činidla (popř. nepoužitého) vykazují strukturu obsahující primární tuhý roztok α , zrnité nemodifikované eutektikum, primární krystaly Si, intermetalické fáze Fe a porezitu. [5]

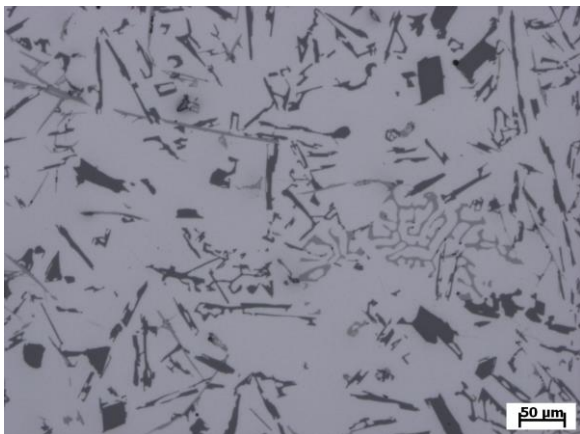


Obr. 4. Mikrostruktura neupraveného vzorku při zvětšení 25x

3.1 Popis mikrostruktury vzorků z 1. pokusu

Na obrázku 4 si můžeme prohlédnout metalurgicky neovlivněnou strukturu AlSi12Cu s velkým podílem eutektika (to je složeno ze dvou fází a to tuhého roztoku α a krystalů křemíku) a dendrity Al. Eutektický křemík se vyloučil ve formě polyedrických zrn a hrubých lamel, které tvoří zrnité eutektikum. To je ve struktuře nežádoucí, protože takto vyloučený křemík zhoršuje mechanické vlastnosti slitiny. Polyedrická zrna vznikají za přítomnosti P a to již při množství 5-10 ppm, ten se do taveniny dostal pravděpodobně ze vsázky, nebo při malém přechlazení pod rovnovážnou eutektickou teplotu (cca 1-2 K). U některých z těchto polyedrických zrn se bude jednat o primární křemík. Tato struktura je typická pro zvolenou technologii lití do písku, neboť zde dochází k pomalému tuhnutí a malému přechlazení. Je zde také vidět poměrně velké množství porů. To může být zapříčiněno přítomností vodíku. [1] [5]

Při zvětšení 100x (viz obr.4.) je již dobře vidět intermetalickou fázi obsahující Fe (světle šedá). Tou může být Al_5FeSi a $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$. Fáze ve tvaru tzv. čínského písma je ovlivněna manganem a jedná se tedy o fázi $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$. Tento tvar má příznivější vliv na mechanické vlastnosti a to především na tažnost. Drobné černé tečky vyloučené po hranicích intermetalické fáze železa by mohlo být intermetalické fáze hořčíku. [1] [5]



Obr. 5. Mikrostruktura neupraveného vzorku při zvětšení 100x

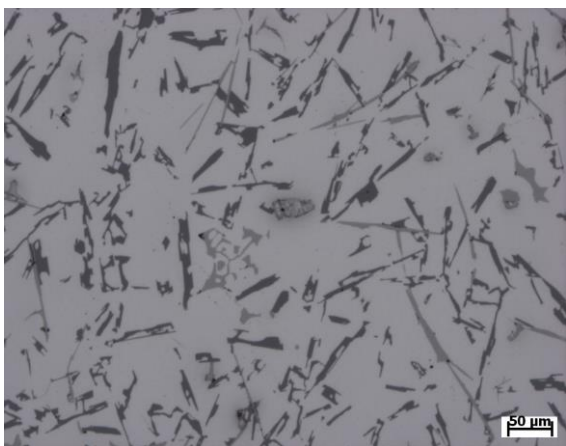


Obr. 6. Mikrostruktura vzorku (0,2 % hm.) z 1. pokusu při zvětšení 25x

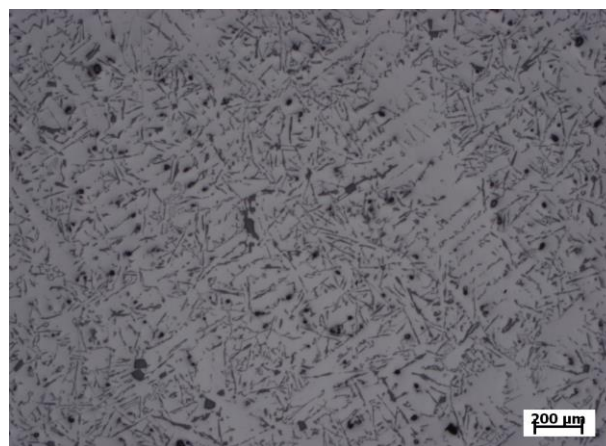
Na obrázku 6 vidíme strukturu vzorku z 1. pokusu upraveného 0,2 % nanoprášku MC-M. Při tomto pokusu nedošlo k úplnému rozpuštění nanoprášku.

Na snímku struktury při zvětšení 25x nejsou vidět žádné rozdíly oproti metalurgicky neovlivněnému stavu. Nanoprášek neměl od pohledu vliv ani na množství vyskytující se pomezity. Ani při zvětšení 100x (viz obr. 7) není vidět rozdíly oproti metalurgicky neovlivněnému stavu.

Při úpravě 0,4% hm. činidla se drobné změny projeví i přes to, že nedošlo k úplnému rozpuštění prášku. Došlo k částečnému snížení počtu polyedrických zrn křemíku. U pomezity nedošlo k žádné viditelné změně, spíše se podle obr. 8. zdá, že počet pórů vzrostl. To může být dáno místem, na kterém byl snímek vyfocen.



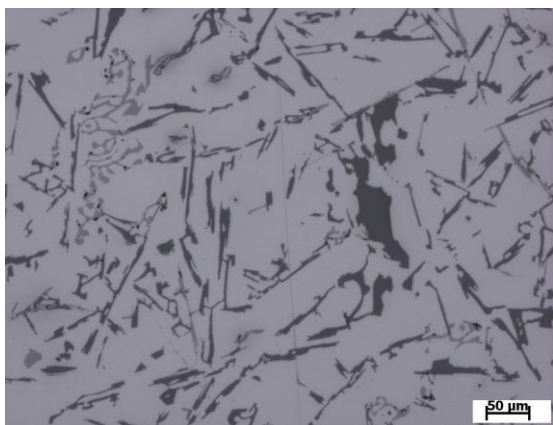
Obr. 7. Mikrostruktura vzorku (0,2 % hm.) z 1. pokusu při zvětšení 100x



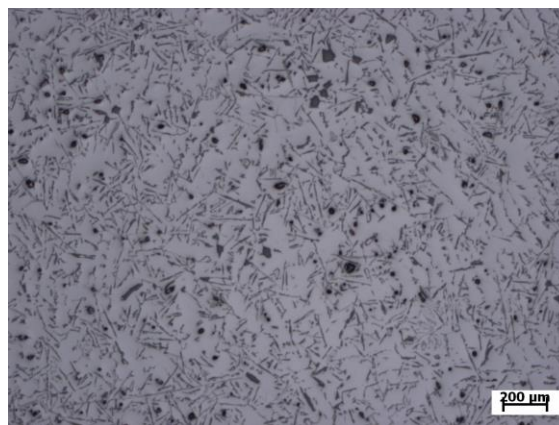
Obr. 8. Mikrostruktura vzorku (0,4% hm.) z 1. pokusu při zvětšení 25x

Při zvětšení 100x byla struktura stejná, jako u metalurgicky neovlivněného vzorku a vzorku ovlivněného 0,2 % hm. nanoprášku viz obr.9.

Stejně jako u předchozích vzorků, se i u vzorku s 0,6 % hm. nanoprášku vyskytuje velký podíl zrnitého eutektika a dendrity Al. Ty ovšem v tomto případě mají méně viditelnou primární větev. Též je zde vidět velká pomezita. I u zvětšení 100x se neprojevily změny očekávané při použití činidla.



Obr. 9. Mikrostruktura vzorku (0,4% hm.) z 1. pokusu při zvětšení 100x



Obr. 10. Mikrostruktura vzorku (0,6 % hm.) z 1. pokusu při zvětšení 25x



Obr. 11. Mikrostruktura vzorku (0,6 % hm.) z 1. pokusu při zvětšení 100x

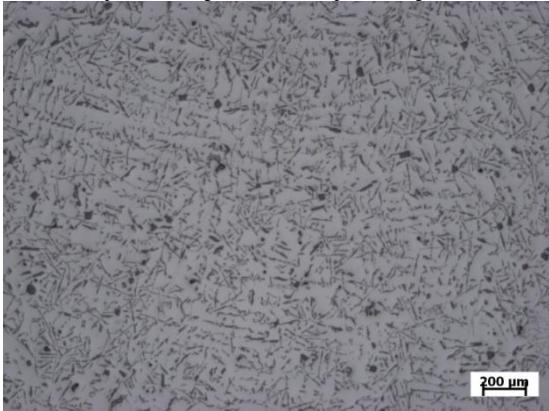
3.2 Popis mikrostruktury vzorků z 2. pokusu

Při druhém pokusu se všechen nanoprášek v tavenině rozpustil. Díky použití míchátko vyrobeného z ocelového drátu a nenatřeného žáruvzdorným nátěrem stouplu množství rozpuštěného železa v tavenině. To negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti odlitku. Především fáze Al_5FeSi tvořící hrubé jehlice zmenšuje tažnost a zhoršuje dynamické vlastnosti slitiny. Železo též zhoršuje obrobiteľnosť a odolnosť proti korozi. Fáze $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$ má na mechanické vlastnosti mnohem méně negativní účinek. Fáze s obsahem železa vznikají při lití do písku snadněji než při použití jiné slévárenské technologie, protože zde dochází k pomalému chladnutí. [1] [5] [6]

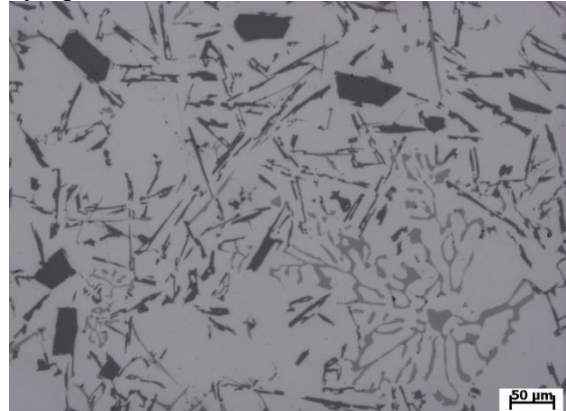
Na obr. 12. je vidět strukturu vzorku upraveného 0,2 % hm. nanoprášku MC-M. Oproti metalurgicky neovlivněnému stavu došlo ke snížení počtu polyedrických zrn a zrn primárního Si a k jejich mírnému zmenšení. Tato změna má pozitivní vliv na mechanické vlastnosti (oproti neovlivněnému stavu). Jsou zde též méně viditelná dendritická zrna α fáze a její primární větve jsou často přerušeny lamelami křemíku. Při zvětšení 100x (viz obr.13.) je vidět velké množství fází s Fe. Především velký útvar tzv. čínského písma v pravé dolní čtvrtině. Tento jev je spíše pozitivní, ale k celkovému zlepšení struktury nedošlo, protože podíl jehlic fází s Fe je velmi vysoký. [1] [5]

Po úpravě 0,4% hm. činidla došlo k viditelnému zlepšení mikrostruktury oproti neupravenému stavu. Co se týče srovnání s metalurgickou úpravou 0,2 % hm. není rozdíl příliš znatelný. Velikost polyedrických zrn eutektika a primárního křemíku a jejich podíl oproti lamelám Si je s 0,2% úpravou srovnatelný. Od pohledu nedošlo ani ke snížení porozity

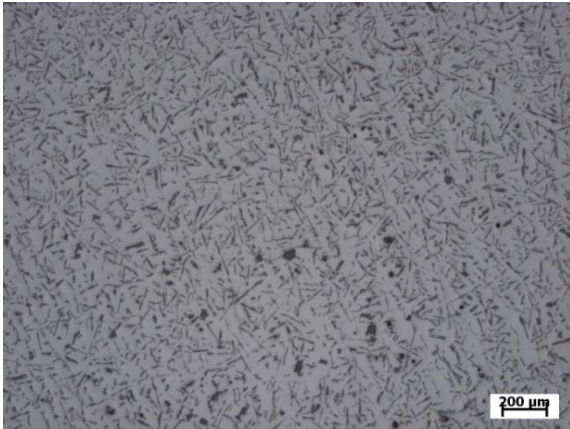
oproti 0,2 % úpravě čínidlem. Při srovnání s metalurgicky neovlivněným stavem je výskyt porezity již při makropohledu výrazně nižší (porezita je na výbrusu pouhým okem špatně viditelná). Při zvětšení 100x také není vidět zlepšení struktury oproti úpravě 0,2 %. Též je zde ve větší míře znatelné shlukování fáze s železem do tzv. čínského písma, než u neupravené struktury, tento jev není výraznější než u struktury upravené 0,2 % hm. čínidla.



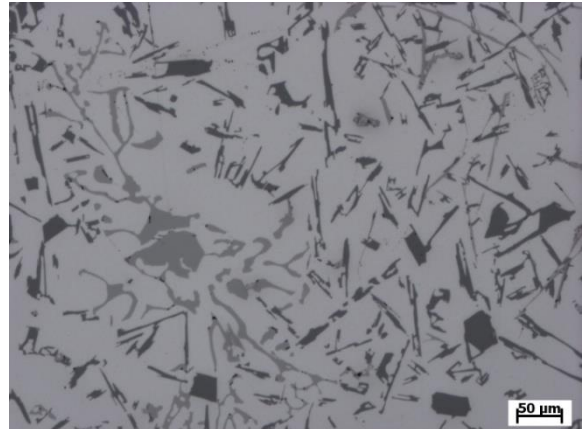
Obr. 12. Mikrostruktura vzorku (0,2 % hm.) z 2. pokusu při zvětšení 25x



Obr. 13. Mikrostruktura vzorku (0,2 % hm.) z 2. pokusu při zvětšení 100x



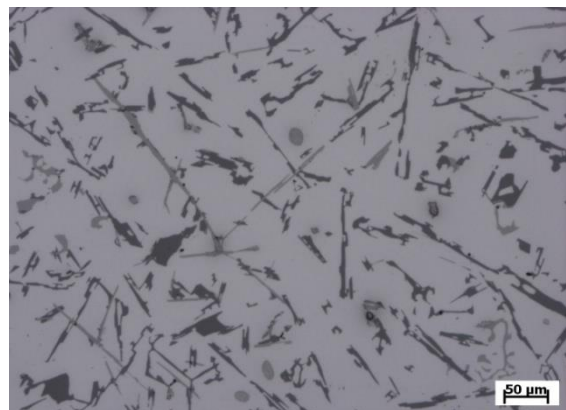
Obr. 14. Mikrostruktura vzorku (0,4 % hm.) z 2. pokusu při zvětšení 25x



Obr. 15. Mikrostruktura vzorku (0,4 % hm.) z 2. pokusu při zvětšení 100x



Obr. 16. Mikrostruktura vzorku (0,6 % hm.) z 2. pokusu při zvětšení 25x



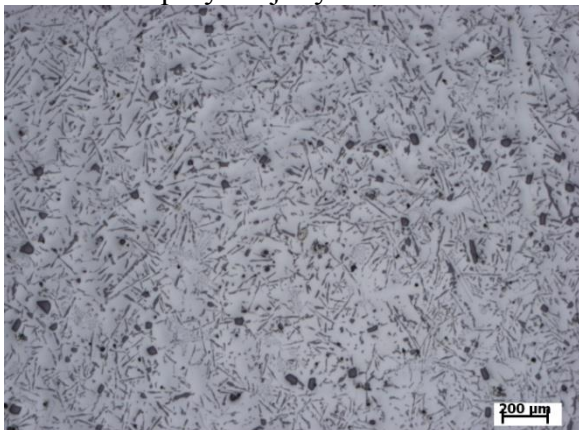
Obr. 17. Mikrostruktura vzorku (0,6 % hm.) z 2. pokusu při zvětšení 100x

Ani u 0,6% obsahu čínidla při zvětšení 25x nejsou vidět znatelné rozdíly jak ve struktuře, tak v množství porezity oproti vzorkům upraveným 0,2 a 0,4% hm, jak ukazuje obrázek 16. Při zvětšení 100x vidíme větší množství tzv. deček.

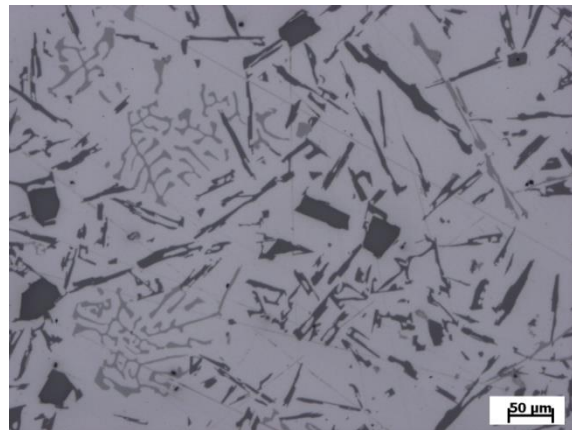
3.3 Popis mikrostruktury vzorků z 3. pokusu

Třetí pokus byl navrhnut tak, aby tavenina vůbec nepřišla do styku se železem. Houska AlSi12Cu byla nařezána a vložena do grafitového kelímku, ve kterém se natavila v odporové peci. Při tomto pokusu se vytvářely pouze metalurgicky upravené vzorky, stejně jako při druhém pokusu.

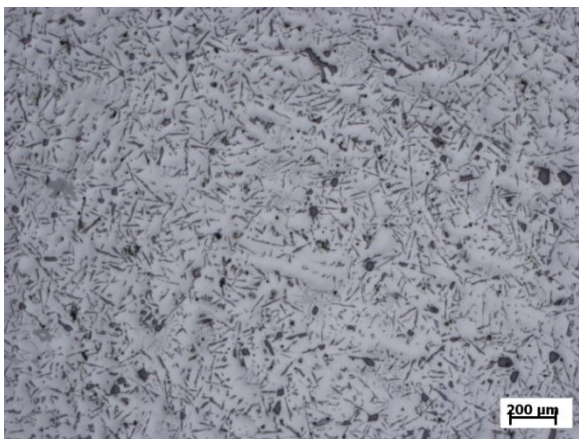
Na obrázku 18 je struktura upravená 0,2 % MC-M. Oproti 2. pokusu je zde vidět poměrně velký podíl polyedrických zrn eutektické fáze a primárních krystalů křemíku. Zrna α fáze nemají dendritický tvar jako u předchozích struktur. Již při zvětšení 25x je dobře vidět intermetalická fáze $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si_2$. Ve vzorku se vyskytuje i porezita, ale oproti neupravené struktuře se póry zdají být menší a také v menším množství.



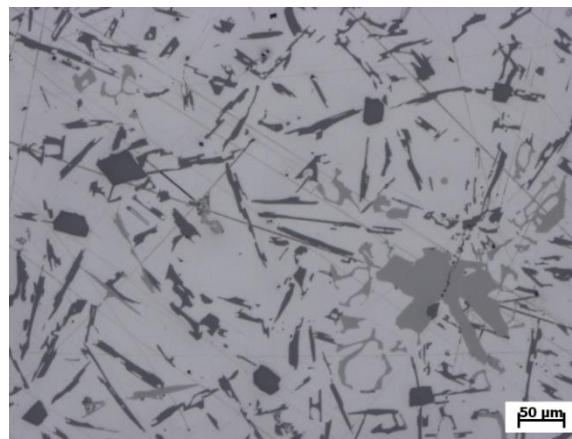
Obr.18. Mikrostruktura vzorku (0,2 % hm.) z 3. pokusu při zvětšení 25x



Obr.19. Mikrostruktura vzorku (0,2 % hm.) z 3. pokusu při zvětšení 100x



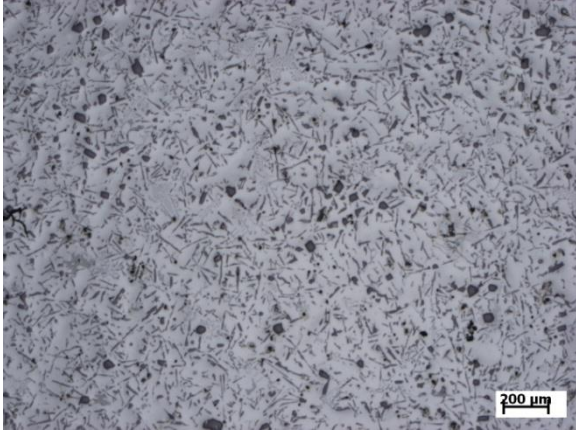
Obr.20. Mikrostruktura vzorku (0,4 % hm.) z 3. pokusu při zvětšení 25x



Obr.21. Mikrostruktura vzorku (0,4 % hm.) z 3. pokusu při zvětšení 100x

Při zvětšení 100x je vidět, že intermetalická fáze ve tvaru tzv. čínského písma jsou ve většině oproti fázi jehlicovitého tvaru. Také jsme si ověřili, že se železo musí nacházet ve vsázce, protože je velké množství jeho fází ve struktuře, která při zacházení s taveninou nepřišla do styku s ocelovým nářadím.

U úpravy 0,4% hm. je struktura mírně odlišná než u předchozích vzorků. Na obr. 20. je vidět polyedrická zrna Si i hrubé lamely Si, primární Si a také α fázi. Též se zde vyskytují jehlice fáze obsahující Fe a tzv. čínské písmo. Změnou oproti předchozím strukturám je výskyt kalových fází (viz levá horní čtvrtina obr.19.). Při zvětšení 100x jsou kalové fáze velmi dobře viditelné. Jejich velikost dosahuje 0,1 mm. Krystaly Si vypadají stejně jako v předchozích vzorcích.



Obr.22. Mikrostruktura vzorku (0,6 % hm.) z 3. pokusu při zvětšení 25x



Obr.23. Mikrostruktura vzorku (0,6 % hm.) z 3. pokusu při zvětšení 25x

U posledního vzorku (metalurgická úprava 0,6 % hm. činidla) se na snímcích při zvětšení 25x objevily 2 odlišné struktury. Co se týče eutektika, je jeho morfologie stejná jako u předchozích vzorků z 3. pokusu a to zrnitá, s obsahem lamelárního Si a polyedrických zrn Si, více podobná strukturám z 1. pokusu. Na obrázcích je také vidět primární Si. Rozdíl je vidět na obr. 22. a obr.23. Na obr. 22. je vyloučena Fe fáze ve větší míře jako tzv. čínské písmo a v menší jako jehlice. Kdežto na obr. 23. se objevilo velké množství kalových fází a je zde pouze malé množství intermetalických fází s Fe, která se vyloučila většinou ve formě tzv. čínského písma (obrazce nejsou tak rozsáhlé) a zbytek ve formě jehlic o velikosti do 50 μm .



Obr.24. Mikrostruktura vzorku (0,6 % hm.) z 3. pokusu při zvětšení 100x

Při zvětšení 100x je vidět kalovou fází a její okolí, ve kterém je minimální množství intermetalické fáze.

3.4 Hodnocení struktur

Ve strukturách z prvního pokusu se ve větším množství objevují polyedrická zrna Si. Tato zrna jsou v menší míře eutektikum vyloučené v této podobě a ve větší míře se podle toho, že většinu těchto zrn obklopují do hvězdice uspořádaná zrna křemíku, bude jednat o primární křemík, jehož vznik je silně závislý na parametrech tuhnutí, jako jsou stupeň přechlazení, teplotní gradient a lokální nerovnovážnost tuhnutí, a na typu použité slitiny. U eutektických slitin je při vzniku lokální nerovnovážnosti největší předpoklad k jeho tvorbě. Na jeho vznik má také vliv obsah fosforu. Vysoké množství primárního křemíku je zapříčiněno zvolenou technologií - litím do písku, které díky malému přechlazení podporuje jeho vznik. Tento tvar Si zhoršuje mechanické vlastnosti odlitku, a to více než zrnité eutektikum. Také se ve vzorcích z prvního pokusu objevila intermetalická fáze s železem. Ta intermetalická fáze, která nebyla ovlivněna Mn a vyloučila se ve formě jehlic, také velice negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti, především tažnost a dynamické vlastnosti odlitku, ale na druhou stranu zvyšuje pevnost, a to především za vyšších teplot. Intermetalická fáze s Fe také negativně ovlivňuje tekutost taveniny a její dosazovací schopnost. Při vyloučení ve formě čínského písma nejsou její účinky na mechanické vlastnosti tak výrazné. [1] [4] [5] [6]

Při druhém pokusu došlo ke snížení počtu a velikosti primárního křemíku, což má pozitivní vliv na mechanické vlastnosti. Také intermetalické fáze se ve větším podílu vylučovaly ve formě „čínského písma“. Tato míra dle mého názoru není dostatečně vysoká, aby se mechanické vlastnosti takto vyrobeného odlitku daly považovat za využitelné.

U třetího pokusu došlo opět k navýšení množství primárního křemíku. U metalurgické úpravy 0,6 % hm. nanoprášku MC-M se dokonce objevily kalové fáze, jejichž složení je velmi těžké určit. Všeobecně se jedná o vysokotavitelné prvky (např. Cr, Mn), které se nerozpustí v tavenině a při delším stání klesají ke dnu a difuzními pochody se obohacují z taveniny. Kalové fáze ovlivňují negativně tekutost taveniny a opotřebení kovových forem. V odlitcích tvoří vměstky, které mají negativní vliv na mechanické vlastnosti odlitku a obrábělnost.

Žádná z výsledných struktur by se nedala považovat za modifikovanou a její mechanické vlastnosti nedosahují dostatečných kvalit pro použití na technické odlitky. Jediné zlepšení, ke kterému došlo, ale bylo hodnoceno pouze pohledem na výbrus, bylo snížení množství porezity. Ta se oproti metalurgicky neovlivněnému stavu a vzorkům z prvního pokusu snížila natolik, že byla na metalografickém výbrusu u vzorků z 2. a 3. pokusu velmi špatně viditelná pouhým okem. [1] [4] [5] [6]

4. Závěr

Výsledky experimentu nejsou takové, jaké byly očekávány, neboť se ani jedna ze struktur nedá považovat za modifikovanou ani jinak metalurgicky ovlivněnou nanopráškem MC-M. S největší pravděpodobností je postup experimentu nevhodný pro použití této úpravy taveniny a bude se muset navrhnout jiný. Největší vliv na výsledek má nespíš velká prodleva mezi modifikací a odlitím vzorků. Také by bylo vhodné vyzkoušet tento nanoprášek na podeutektických slitinách Al, aby se ověřil jeho očkovací účinek, popřípadě použít jinou technologii lití, například lití do kokil, při kterém se dosahuje vyšší rychlosti tuhnutí a tudíž se předchází vzniku primárního křemíku, který se ve vzorcích objevoval ve vysokém množství.

Z výsledků experimentu se nedá přesně určit, zda-li je nanoprášek MC-M očkovačem nebo modifikátorem. Jeho modifikační a očkovací účinky se předpokládají pouze podle jeho složení, získaného pomocí chemické a fázové analýzy.

Vzhledem k tomu, že se při experimentu neprokázala účinnost nanoprášku, není možné určit jeho optimální dávkování.

Seznam použité literatury

[1] NĚMEC, M.; BEDNÁŘ, B.; STUNOVÁ, B.: *Teorie slévání*. Vydavatelství ČVUT, Praha:2009

[2] Eigenschaften-Silafont-09. In: [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.zismann.de/images/zisman/Eigenschaften-Silafont-09.pdf>

[3] COMPACHEM. *Instrukce k použití univerzálního komplexního modifikátoru pro litinu, ocel a slitiny hliníku*. Tomsk, 2012.

[4] Hliník_slitiny. In: [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: http://www.benjamin.ic.cz/hlinik_slitiny.pdf

[5] ROUČKA, Jaromír. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.

[6] *Aluminum and aluminum alloys*. Materials Park, OH: ASM International, c1993. ISBN 08-717-0496-X.

[7] GRUZLESKI, J. E.; CLOSSET, B. M.: *The treatment of liquid Aluminum- Silicon Alloys*

[8] BRATHOVÁ, Michaela. Spektrální analýza mechanismu Staroměstského orloje k určení jeho přibližného stáří. In: [online]. Praha, 2013 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://stc.fs.cvut.cz/pdf13/2648.pdf>

[9] FIALA, J.; SMRČOK, Ľ.: Fázová analýza kvalitativní a kvantitativní. In: [online]. [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.xray.cz/xray/nazvoslovi/Kapitoly/Cast4.htm>