

## بررسی امکان تولید کامپوزیت به روش ریخته گری فومی

علیرضا وحید گلپایگانی - مهدی دیواندری  
دانشگاه علم و صنعت ایران

### An Investigation on the Production of Casting Composite Via Lost Foam Process

A. V. Golpayegani- M.Divandari  
Iran University of Science and Technology

#### چکیده

روش ریخته گری فومی یکی از روش های ریخته گری است که حدوداً از سال ۱۹۵۰ برای تولید قطعات بزرگ صنعتی و یا تولید انبوه قطعات کوچک و متوسط به کار گرفته شده است. یکی از ویژگی های این روش، امکان قرار دادن الیاف یا ذره در داخل فوم یا در واقع مغزه گذاری (Coring) و سپس انجام عملیات ریخته گری است. به این ترتیب امکان تولید قطعات کامپوزیتی با خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب وجود داشته و باعث گسترده شدن دایره کاربرد این روش می شود. در این تحقیق سیم مسی با قطر ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ میلیمتر در داخل مدل فومی جاگذاری شده و پس از ریخته گری آلیاژ آلومینیم ۳۵۶، تغییرات ایجاد شده در ساختار، فازها و ترکیبات بین فلزی ایجاد شده در آن و نحوه انحلال سیم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که این روش در حالیکه می تواند به عنوان یک روش تولید کامپوزیت مطرح باشد قابلیت آنرا نیز دارد که برای ایجاد و مطالعه گروهی از ساختارهای فازی در محدوده آلیاژی دوتایی آلومینیم - مس مورد استفاده قرار گیرد. تنوع ساختاری حاصله در اطراف سیم جاگذاری شده با استفاده از میکروسکوپ نوری و الکترونی قابل مطالعه و آنالیز کمی و کیفی است.

#### ABSTRACT

Lost foam casting has been used as a production process for more than 50 years since 1950. The process has the capability to put different types of fiber inside the polystyrene pattern before starting to cast which may lead to the production of composite castings. In this work Cu wire with different diameter sizes, namely 0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 were put inside the polystyrene pattern. The specimens taken from these samples showed complete solubility to partial and non-solubility as the diameter of Cu wire increased. The interface and the adjacent area showed some interesting features.

مس یکی از عناصر مهم آلیاژی در آلومینیم است. این عنصر در درجه حرارت  $548^{\circ}\text{C}$  به مقدار نسبتاً قابل توجهی (۵/۶۵٪) در آلومینیم جامد حل می شود. بسته به شرایط دمایی و ترکیب شیمیایی، ترکیبات بین فلزی و فازهای مختلفی بین آلومینیم و مس تشکیل می شوند که به طور مختصر در جدول (۱) ارائه شده است [۱۰].

جدول ۱- ترکیبات بین فلزی آلومینیم و مس و محدوده ترکیب شیمیایی آنها.

Table 1- Intermetallics which may form in Al-Cu alloys and their composition.

فاز	ترکیب شیمیایی (wt% Cu)	فاز	ترکیب شیمیایی (wt% Cu)
(Al)	0 - 5.65	$\delta$	77.4 - 78.3
$\theta$	52.5 - 53.7	$\gamma_0$	77.8 - 84
$\eta_1$	70 - 72.2	$\gamma_1$	79.7 - 84
$\eta_2$	70 - 72.1	$\beta_0$	83.1 - 84.7
$\xi_1$	74.4 - 77.8	$\beta$	85 - 91.5
$\xi_2$	74.4 - 75.2	$\alpha_2$	88.5 - 89
$\varepsilon_1$	77.5 - 79.4	(Cu)	90.6 - 100
$\varepsilon_2$	72.2 - 78.7		

با تغییر مقدار مس در آلیاژهای Al-Cu، خواص فیزیکی، مکانیکی و ساختار میکروسکوپی آلیاژ نیز تغییر می کند [۱۱ و ۱۲].

اسکین (D. Eskin) و همکارانش در سال ۲۰۰۵، گزارش داده‌اند که با افزایش مقدار مس در آلیاژ Al-Cu، اندازه دانه‌ها و فاصله بازوهای دندردیتی، کاهش می یابد [۱۳].

تساو (L. C. Tsao, 2002) و همکارانش نشان داده‌اند که افزودن ۳۰-۱۰ درصد وزنی مس به آلیاژ Al-Si علاوه بر اینکه باعث می شود تا درجه حرارت سالیدوس حدود  $60^{\circ}\text{C}$  کاهش یابد، موجب تشکیل یوتکتیک‌های Al-Si، Al-Cu، Al-Si-Cu، ترکیب بین فلزی  $\theta$  ( $\text{CuAl}_2$ )، محلول جامد  $\alpha$ -Al و ذرات سیلیسیم نیز می شود [۱۴].

استفاده از فرآیند ریخته گری توپر (ریخته گری فومی) سابقه‌ای حدوداً ۵۰ ساله دارد. در ابتدا از این روش تنها برای تولید قطعات ریختگی محدود استفاده می شد. در سال های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، این فرآیند به وسیله صنایع اتومبیل سازی و برای تولید قطعات تکی بزرگ، مانند قالب و پایه‌های پرس مورد استفاده قرار گرفت، تا اینکه در سال ۱۹۸۱ به اوج خود رسید. با ورود این روش به عرصه تولید انبوه قطعات خودرو زمینه های توسعه این روش به عنوان یک روش تولید زیست سازگار و کاملاً اقتصادی در شرایط رقابتی با سایر روشهای ریخته گری مطرح می باشد. گزارش‌های منتشره در مورد آخرین وضعیت فرآیند ریخته گری فومی گویای این موضوع است که فعالیت‌ها و تحقیقات، به خصوص در زمینه نحوه حرکت سیال، اثرات کاربرد پوشش، دقت ابعادی قطعات پیچیده، مشکلات این فرآیند و نیز رفع موانع و محدودیت‌های آن، ادامه دارد [۱-۴].

افزایش دقت ابعادی، حذف خط جدایش و ماهیچه، آزادی عمل بیشتر در طراحی قطعات، قابلیت سوار کردن و چسباندن مدل‌ها به یکدیگر و در نتیجه امکان تولید قطعات پیچیده، قابلیت قرار دادن قطعات در داخل فوم و انجام عملیات ریخته گری و در نتیجه امکان تولید دو فلزی‌ها (Bimetal) از طریق ریخته گری، از جمله مزایای روش ریخته گری توپر بوده که باعث گسترش روز افزون این روش شده است [۴-۷].

در فرآیند ریخته گری توپر پس از تهیه مدل فومی می توان قطعات مورد نیاز را در داخل آن قرار داده و پس از اتصال آنها به سیستم راهگامی و مدفون کردن در ماسه عملیات ریخته گری را انجام داد. با ورود مذاب به داخل قالب و سوختن فوم، مذاب اطراف قطعه جا گذاری شده را گرفته و پس از انجماد، کاملاً به آن متصل می شود.

میزان و نحوه اتصال زمینه و قطعه از اهمیت خاصی برخوردار بوده و به میزان ترشوندگی قطعه به وسیله مذاب، بر هم کنش آنها با یکدیگر، نوع و میزان ترکیبات بین فلزی و شرایط فصل مشترک بستگی دارد. به همین دلیل مطالعه و بررسی فصل مشترک زمینه و قطعه جاگذاری شده در آن، می تواند در بهبود شرایط و کیفیت قطعه نهایی تولید شده مؤثر باشد [۸ و ۹].

ساز با استفاده از چسب سیلیکات سدیم و دمش گاز CO<sub>2</sub> انجام شد.

### تهیه ذوب و بارریزی

برای تهیه ذوب از آلیاژ آلومینیم ۳۵۶ و کوره مقاومتی استفاده گردید. ترکیب شیمیایی شمش مورد نظر در جدول (۲) ارائه شده است. پس از تهیه مذاب و تعیین دقیق درجه حرارت آن به وسیله ترموکوپل HANYOUNG مدل D55، بارریزی در درجه حرارت ۷۲۴°C انجام شد.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی شمش آلیاژ آلومینیم ۳۵۶.  
Table 2- Chemical composition of 356 Al alloy used in this work.

Al	Si	Cr	Cu
۹۲/۰۸	۶/۹۷	۰/۰۲	۰/۲۹
Fe	Mg	Mn	Ni
۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۰۲
Sr	Ti	Oth.	
ناچیز	ناچیز	۰/۰۶	

محققین بسیاری ذکر کرده‌اند که افزودن مس به آلیاژهای Al-Si، به علت رسوب ترکیب بین فلزی CuAl<sub>2</sub> ( $\theta'$ )، باعث افزایش استحکام تسلیم می شود.

این افزایش استحکام به دو عامل اندازه و مقدار رسوب بستگی دارد. هرچه مقدار مس در آلیاژ افزایش یابد اندازه این ترکیب بین فلزی نیز افزایش می یابد [۱۶و۱۵].

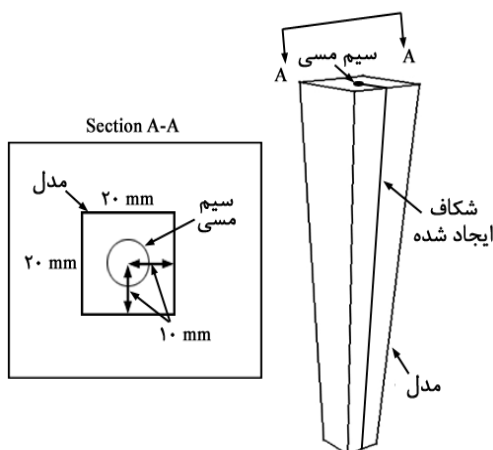
ترکیبات بین فلزی آلومینیم و مس، علاوه بر اینکه باعث تغییر خواص مکانیکی و ساختار میکروسکوپی آلیاژها می شوند، بر خواص الکتریکی دو فلزی‌های آلومینیم - مس نیز مؤثرند. آزمایشات مختلف نشان داده است که رسوب این فازها، به علت هدایت الکتریکی کمی که دارند، باعث می شوند که خواص الکتریکی دو فلزی‌ها کاهش یافته و از این نظر نامطلوب باشند [۱۷و۱۸].

اثر مطلوب و مفید مس در آلیاژهای آلومینیم به طور کامل شناخته نشده ولی احتمال می رود که اتم‌های مس محلول، ترکیبات بین فلزی و رسوب‌های پراکنده و به خصوص رسوب‌های منسجم از حرکت نابجایی‌ها جلوگیری کرده و در نتیجه باعث افزایش خواص مکانیکی آلیاژها می شود [۱۹].

بررسی‌های آراویند (M. Aravind, 2004) و همکارانش نشان داده است که میکروسختی آلیاژهای هاپیریوتکتیک، به علت وجود ترکیبات بین فلزی آلومینیم و مس، نسبت به هیپو یوتکتیک و یوتکتیک Al-Cu بیشتر است [۲۰].

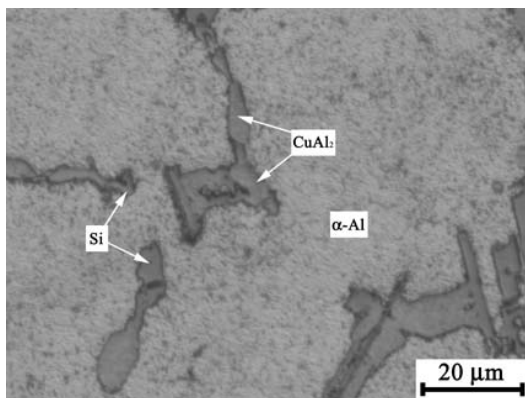
### روش انجام آزمایشات قالبگیری و مغزه گذاری

سیم‌های مسی مورد استفاده در این آزمایش از نوع الکتریکی با قطرهای مختلف ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ میلیمتر تهیه و به روش نمایش داده شده در شکل ۱ در داخل فوم مغزه گذاری شد. لازم به یادآوری است که کلیه سیمها پس از شستشو و چربی زدایی سطحی، به وسیله الکل و خشک شدن در جریان هوا، در اندازه‌هایی به طول ۱۱-۱۲ cm بریده شده و سپس به روش پیش گفته مورد استفاده قرار گرفتند. مدل‌های مورد نیاز از جنس فوم پلی استیرن با چگالی ۰/۱ g/cm<sup>3</sup> تهیه گردید. شکل (۲) نمونه مدل مورد استفاده را که در آن ۴ مدل شیب دار حول یک راهگاه اصلی نصب شده است را نشان می دهد. عملیات قالبگیری جهت داشتن سرعت عمل مطلوب و حذف عوامل مشکل



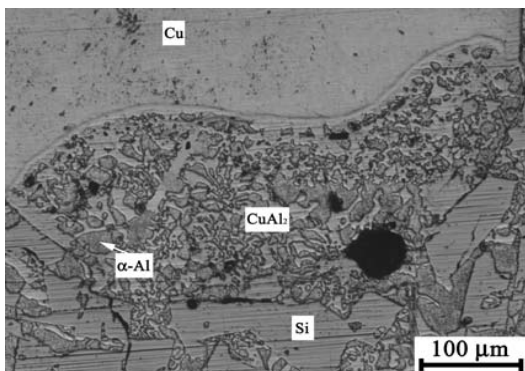
شکل ۱- محل قرار دادن سیم مسی در داخل مدل فومی.  
Fig 1- Schematic view showing the position of Cu wire inside the polystyrene pattern.

شکل‌های ۴، ۵ و ۶ به ترتیب ریز ساختار نمونه‌های دارای مغزه مسی با قطر ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ میلی‌متر را نشان می‌دهد. در تهیه این تصاویر از میکروسکوپ نوری استفاده شده است



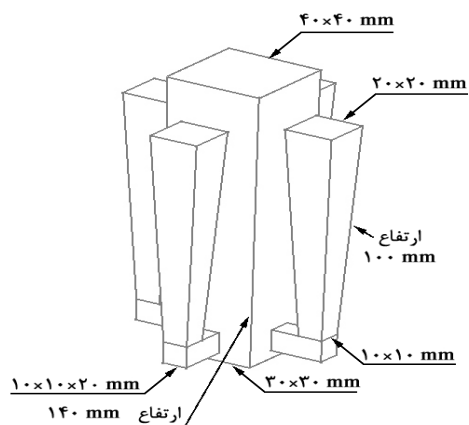
شکل ۴- تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار نمونه با سیم مسی به قطر ۰/۴ mm. حکاکی با محلول ۱۰٪ وزنی NaOH

Fig 4- Optical microstructure of the specimen with a 0.4 mm diameter size Cu wire. NaOH etched.



شکل ۵- تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار نمونه با سیم مسی به قطر ۰/۶ mm. حکاکی با محلول ۱۰٪ وزنی NaOH

Fig 5- Optical microstructure of the specimen with a 0.6 mm diameter size Cu wire. NaOH etched.



شکل ۲- اندازه مدل و سیستم راهگامی و نحوه اتصال آنها به یکدیگر.

Fig 2- Schematic view showing the complete polystyrene pattern.

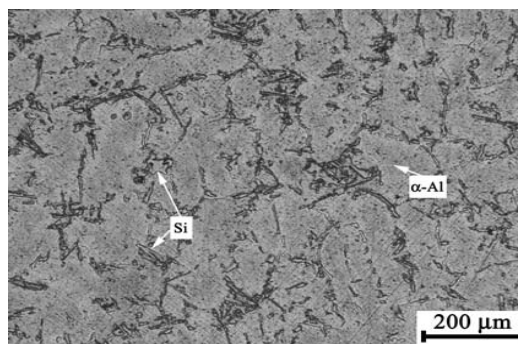
### متالوگرافی نمونه‌ها

نمونه‌ها پس از خروج از قالب به چهار قسمت مساوی در طول ارتفاع بریده شدند. برای آماده سازی سطح، از سمباده‌های ۸۰ تا ۳۰۰۰ و پولیش با خمیر الماسه ۱  $\mu\text{m}$  استفاده شد. حکاکی (اچ) نمونه‌ها نیز با محلول ۱۰٪ وزنی NaOH صورت گرفت.

برای مشاهده ریز ساختار نمونه‌ها از میکروسکوپ نوری Olympus و دوربین دیجیتال Carl Zeiss E300 و نیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Cam Scan MV2300 TE استفاده شد.

### نتایج

شکل (۳) ریز ساختار نمونه‌ای که در آن سیم مسی با قطر ۰/۲ mm به کار رفته است را نشان می‌دهد.

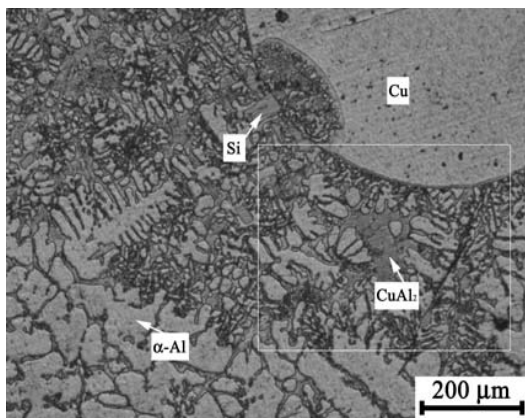


شکل ۳- تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار نمونه با مغزه مسی به قطر ۰/۲ mm. حکاکی با محلول ۱۰٪ وزنی NaOH

Fig 3- Optical microstructure of the specimen having a 0.2 mm diameter size Cu wire showing no visible trace of intermetallics.

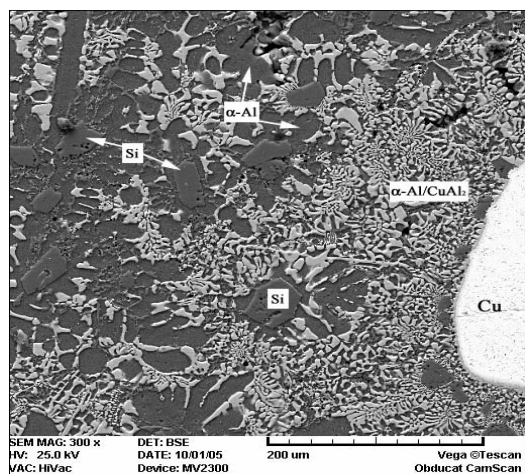
به منظور دستیابی به ماهیت فازهای موجود در فصل مشترک مس و آلیاژ پایه از متالوگرافی با میکروسکوپ الکترونی و آنالیز فازی استفاده گردید. جزئیات مربوط به آنالیز فازهای تشکیل شده در مقاله ای دیگر ارائه شده است.

شکل (۹) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نمونه با سیم مسی به قطر ۰/۸ mm را نشان می دهد. ترکیب بین فلزی  $\text{CuAl}_2$  و یوتکتیک  $\alpha\text{-Al}$  به خوبی در ساختار مشاهده می شود.



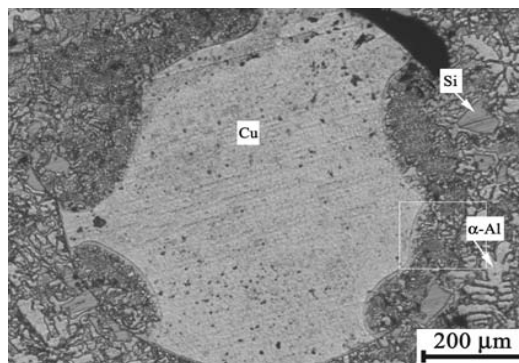
شکل ۸- تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار نمونه با مغزه مسی به قطر ۰/۸ mm. حکاکی با محلول ۱۰٪ وزنی NaOH

Fig 8- Optical microstructure of the specimen with a 0.8 mm diameter size Cu wire while showing partial solubility. Note the microstructure of the interface.



شکل ۹- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از ریز ساختار نمونه با سیم مسی به قطر ۰/۸ mm. حکاکی با محلول ۱۰٪ وزنی NaOH

Fig 9- SEM microstructure of the specimen with a 0.8 mm diameter size Cu wire. Note the microstructure of the interface.

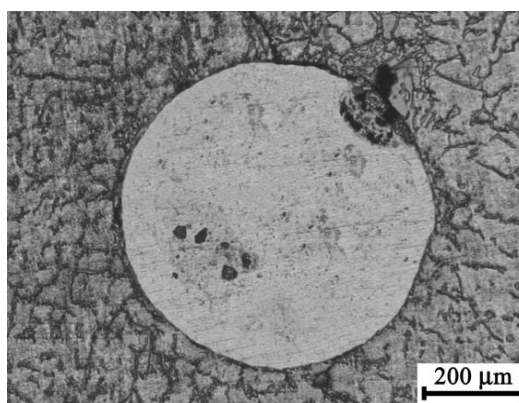


شکل ۶- تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار نمونه با سیم مسی به قطر ۰/۸ mm. حکاکی با محلول ۱۰٪ وزنی NaOH

Fig 6- Optical microstructure of the specimen with a 0.8 mm diameter size Cu wire. NaOH etched.

نکته جالب توجه در شکل (۶) واکنش های بین مغزه مسی و آلیاژ مورد استفاده در ریخته گری است. این واکنش ها از چند جهت شروع و به سمت مرکز سیم مسی میل دارند

شکل (۷) نیز نمونه ای از سیم مسی به قطر ۰/۶ میلی متر را در حالت عدم انحلال نشان می دهد. به نظر می رسد که سیم مسی دارای قطر دایره کامل نبوده و در ناحیه سمت راست و بالای تصویر واکنشی بین مذاب آلیاژ آلومینیم ۳۵۶ و سیم مسی صورت گرفته است.



شکل ۷- تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار نمونه با سیم مسی به قطر ۰/۶ mm در حالت عدم انحلال. حکاکی با محلول ۱۰٪ وزنی NaOH

Fig 7- Optical microstructure of the specimen with a 0.6 mm diameter size Cu wire while showing partial solubility. Note the microstructure of the interface.

شکل (۸) اختلاف اندازه دندریت ها در نواحی نزدیک و دور از سیم مسی در ریز ساختار نمونه ای با سیم مسی به قطر ۰/۸ میلی متر را نشان می دهد.

## سگاشی

همان طور که در شکل (۳) مشاهده می شود در نمونه-هایی که در آنها سیم مسی با قطر  $0/2$  میلیمتر به کار رفته است، به علت کوچک بودن قطر سیم و زیاد بودن مقدار (حجم) مذاب و در نتیجه تأمین مقدار گرمای لازم سیم مزبور کاملاً ذوب و حل شده است. به نظر می رسد که مقدار ترکیبات بین فلزی تشکیل شده بسیار کم و یا اندازه آنها بسیار کوچک باشد. به همین دلیل، با وجود بررسی های بسیار زیادی که بر روی سطح نمونه ها صورت گرفت، ترکیب بین فلزی حاوی مس و یا تغییر ساختار دیده نشد.

شکل (۴) نمایش دهنده تشکیل فاز  $CuAl_2$  است. البته مقدار و حجم (اندازه) فاز مزبور در این نمونه، یعنی نمونه حاوی سیم مسی با قطر  $0/4$  میلیمتر، نسبت به نمونه های بعدی بسیار کمتر است.

در نمونه هایی با سیم مسی به قطر  $0/6$  و  $0/8$  میلیمتر، به علت زیاد بودن مقدار مس نسبت به حجم مذاب و نیز کافی نبودن گرمای مذاب برای انحلال کامل مس، مقداری از سیم مسی باقی مانده و بقیه حل شده است. همچنانکه ملاحظه می شود ذوب از سطح سیم مسی آغاز و به طرف داخل پیش می رود. در این حالت ترکیب بین فلزی  $CuAl_2$ ، به مقدار قابل توجهی، در اطراف سیم تشکیل می گردد (شکل های ۵ و ۶).

شکل (۷) ریز ساختار نمونه ای با سیم مسی به قطر  $0/6$  میلیمتر را در حالتی که بین سیم و مذاب آلومینیم واکنشی صورت نگرفته است نشان می دهد. به نظر می رسد که گرمای مذاب برای ذوب سطحی و انحلال سیم کافی نبوده است. همچنانکه در این نمونه مشاهده می شود روش معرفی شده در این آزمایش امکان بررسی اثر مغزه گذاری مس در آلیاژهای آلومینیم را در بازه گسترده ای نشان می دهد. چنانچه سیم مسی حل نشود، کامپوزیتی از مس و آلومینیم تهیه می شود؛ و چنانچه مس در آلومینیم حل شود فازهای متفاوتی ایجاد می شود که در نتیجه امکان جالبی برای بررسی-های فازی فراهم می شود.

یکی از نکات جالب توجه که در ریز ساختار نمونه ها مشاهده شد، اختلاف اندازه دندریت ها (شکل ۸) و ترکیبات بین فلزی (شکل ۹) در نواحی نزدیک و دور از سیم مسی است. همان طور که در این شکل ها مشاهده می شود، در مجاورت سیم و یا نواحی نزدیک به آن، اندازه دندریت ها و ترکیبات بین فلزی بسیار ریز بوده و ساختار کاملاً ریز دانه است. اما با دور شدن از

سیم مسی اندازه دندریت ها و ترکیبات بین فلزی درشت شده و ساختار نمونه به ساختار نواحی کاملاً دور از سیم نزدیک می گردد. این پدیده را می توان با قابلیت انتقال حرارت بسیار زیاد مس مرتبط دانست. هنگامی که مذاب در اطراف سیم مسی قرار می گیرد، حرارت آن به سیم منتقل شده و سیم مسی نیز آن را به سرعت به خارج از قطعه منتقل می کند. در این حالت عملکرد سیم مسی مانند مبرد بوده و باعث انجماد سریع و در نتیجه ریز شدن ساختار می گردد. مشاهده می شود که با افزایش قطر سیم، محدوده تحت تأثیر قرار گرفته و ریز دانه نیز گسترده تر می گردد. به طوری که طول این محدوده در نمونه با سیم به قطر  $0/6$  mm در حدود  $200 \mu m$  و در نمونه با سیم به قطر  $0/8$  mm حدود  $300 \mu m$  اندازه گیری شده است.

بر اساس تحقیقات انجام شده [۱۳]، می توان گفت عامل دیگری که باعث ریز شدن ساختار گردیده است، افزایش مقدار مس موجود در آلیاژ آلومینیم، در محدوده اطراف سیم می باشد.

مورد دیگری که در ساختار اطراف سیم دیده می شود، این است که در برخی موارد با وجود حل شدن سیم و کاهش قطر آن، ذرات سیلیسیم اولیه (Primary Silicon) در محیط یک دایره، در اطراف سیم و در فاصله ای دور از آن پخش شده اند (شکل (۵) و (۶)). در این مورد می توان گفت، احتمال می رود که در لایه های پائینی یا بالایی این مقطع، سیم مسی کمتر حل شده و یا اصلاً حل نشده باشد، بنابراین خاصیت تبریدی آن باعث می شود که بر روی لایه بالایی یا پائینی (مقطع مورد نظر) تأثیر گذاشته و موجب جمع شدن و قرار گرفتن ذرات سیلیسیم اولیه در محیط یک دایره شود. شکل (۱۰) به طور شماتیک این فرضیه را نشان می دهد.

عدم حلالیت برخی مناطق و در نتیجه عدم تغییر ساختار آن نواحی (شکل (۷) و قسمت پائین شکل (۸))، می تواند به علت تشکیل فاصله هوایی (Air Gap) در اطراف سیم مسی باشد.

شده است. می توان گفت که در اثر حرکت مذاب، این فاز از لایه های پایین تر که سیم در آن حل شده حرکت کرده و وارد این ناحیه شده است. علاوه بر این ممکن است که به علت چگال تر بودن این فاز نسبت به مذاب آلومینیم، این فاز از لایه های بالایی به این مقطع آمده باشد.

ناهمواری های موجود در سطح سیم، علاوه بر تشکیل فاصله هوایی، ممکن است باعث به دام افتادن مذاب در داخل فرورفتگی ها شده و در اثر تمرکز گرما در منطقه- ای کوچک موجب انحلال موضعی سیم شود. وجود فصل مشترک مقعر بین سیم و زمینه آلومینیم، در شکل (۸)، می تواند ناشی از این امر باشد.

### نتیجه گیری

۱- حجم زیاد مذاب و گرمای ناشی از آن، نسبت به سیم های با قطر  $0.2 \text{ mm}$ ، باعث انحلال کامل سیم مسی در این حالت گردیده است. با افزایش قطر سیم مسی انحلال جزئی مس در آلومینیم مشاهده می شود که با افزایش قطر میزان انحلال همچنانکه انتظار می رود کاهش می یابد.

۲- افزایش قطر سیم مسی، در صورت انحلال، باعث افزایش غلظت مس در آلیاژ شده و به این ترتیب مقدار ترکیبات بین فلزی افزایش می یابد.

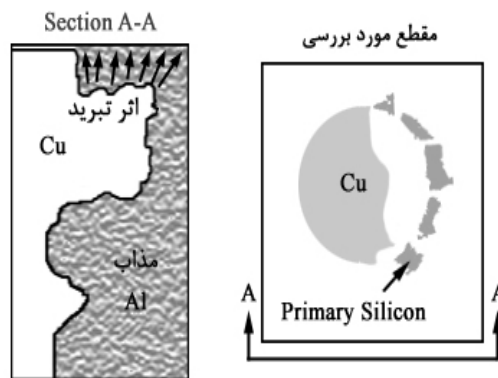
۳- وجود سیم مسی به علت خاصیت تبریدی و نیز انحلال مس در آلیاژ باعث ریز شدن دندریت ها، ترکیبات بین فلزی و ساختار آلیاژ می گردد.

۴- با افزایش قطر سیم مسی منطقه اطراف فصل مشترک تحت تأثیر قرار گرفته و در این ناحیه ریز دانگی مشاهده می شود.

۵- وجود سیم مسی باعث شدن ذرات سیلیسیم اولیه در اطراف سیم و در فاصله ای دور از آن می شود.

۶- فاصله هوایی ایجاد شده در اطراف سیم مسی موجب عدم حلالیت سیم و نیز عدم تغییر ساختار آن برخی نواحی می گردد. این فاصله هوایی در برخی موارد منجر به ایجاد گاز و در نتیجه تشکیل حفره در فصل مشترک سیم و مذاب می گردد.

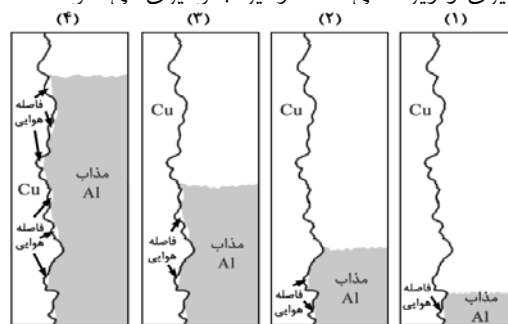
۷- وجود شکاف و عیوب در سطح سیم مسی که البته مقیاس آن میکرو است می تواند باعث تمرکز حرارت و در نتیجه غیر یکنواختی حلالیت سیم گردد.



شکل ۱۰- شماتیکی از نحوه اثر تبریدی سیم مسی بر لایه های بالایی و پایینی.

Fig10-Schematic view of the chill effect of Cu wire on the interface.

این فاصله هوایی مانند یک عایق عمل کرده و از تماس مذاب با سیم جلوگیری می نماید. به این ترتیب علاوه بر عدم حلالیت مس، از انتقال حرارت و در نتیجه تأثیر پذیری و ریز دانگی، ساختار نیز جلوگیری می شود.



شکل ۱۱- شماتیکی از نحوه حرکت مذاب در اطراف سیم مسی و ایجاد فاصله هوایی در اطراف آن.

Fig 11- Schematic view of molten metal flow around the Cu wire and the effect of micro roughness of wire on the pore formation.

این فاصله هوایی در برخی موارد بسیار نازک بوده (شکل (۸)) و در برخی موارد نیز مانند قسمت بالایی نشان داده شده در شکل (۶)، بزرگ می باشد.

احتمال می رود که مذاب هنگام ورود و برخورد با سطح سیم مسی، هوای موجود در سطح را کنار زده و خود جایگزین آن می شود. اما در برخی نواحی به علت وجود ناهمواری در سطح سیم، مقداری از هوای موجود در داخل مذاب به دام افتاده و باعث به وجود آمدن فاصله هوایی و در نتیجه عدم آغشته پذیری مس می گردد. شکل (۱۱) به طور شماتیک این مراحل را نشان می دهد.

با وجود عدم حلالیت سیم مسی، مانند قسمت پایین شکل (۸)، ترکیب بین فلزی  $\text{CuAl}_2$  در این ناحیه دیده

## منابع و مراجع

- ۱- بهزاد موثقیان، مصطفی تفضلی یزدی، « تأثیر پوشان‌ها بر روی میزان سیالیت مذاب در روش ریخته‌گری توپر »، مجله ریخته‌گری، سال ۱۸، شماره ۳، پائیز ۱۳۷۶.
- ۲- ابوالقاسم دهقان، کمال جانقربان، عبدالمجید خادم، « بررسی تأثیر عوامل مختلف روی فرآیند ریخته‌گری با مدل تبخیری (ریخته‌گری توپر) »، مجله ریخته‌گری، تابستان ۱۳۷۴.
- ۳- حاج کریم خرازی، یوسف، « تولید قطعات سری از طریق فرآیند توپر با مدل‌های فومی »، مجله ریخته‌گری، بهار و تابستان ۱۳۷۰.
- 4- ASM Metals Handbook, Vol. 15, " Costing ", 1992.
- 5- R. A. Bambauer, T. Lee, T. Delong, " Effect of Continous Mixing on Viscosity and Permeability of an Iron Lost Foam Casting : A Joint Study " AFS Transaction, Vol 104, pp 329 - 333 ( 1996 ).
- 6- S. Saghi, M. Divandari, Y. H. K. Kharrazi, " Flow Behavior of Molten Metal in Aluminum LFC Process ", Iranian Journal of Materials Science and Engineering, Vol. 1, No. 2, pp 31-38, 2004.
- 7- J. Bast, M. Aitsuradse, T. Hahn, "Advantages of the Low Pressune Lost Foam Casting Process ", AFS Transaction, Vol. 101 , pp 1-13, 2004.
- 8- F. Delannay, L. Froyen, A. Deruyttere, " Review: The Wetting of Solids by Molten Metals and its Relation to the Preparation of Metal – Matrix Composites ", J. Mat. Sci. 22 ( 1987 ), pp 1-16.
- 9- S. T. Mileiko, "Metal and Ceramic Based Composites ", Elsevier Science B. V., Amsterdam, 1997.
- 10- ASM Metals Handbook, Vol. 3, " Alloy Phase Diagram ", 1992.
- 11- Federico M. Mazzolani, "Aluminum Alloy Structures ", Second Edition, E & FN Spon, London, 1995.
- ۱۲- جلال حجازی، « ریخته‌گری فلزات غیر آهنی »، جامعه ریخته‌گران ایران، ۱۳۸۲.
- 13- D. Eskin, Q. Du, D. Ruvalcaba, L. Katgerman, " Experimental Study of Structure Formation in Binary Al–Cu Alloys at Different Cooling Rates ", Materials Science and Engineering, A 405 (2005), pp. 1-10.
- 14- L.C. Tsao, M.J. Chiang, W.H. Lin, M.D. Cheng, T.H. Chuang, " Effects of Zinc Additions on the Microstructure and Melting Temperatures of Al–Si–Cu Filler Metals ", Materials Characterization, 48 (2002), pp. 341– 346.
- 15- Z. Guoa, W. Sha, "Quantification of Precipitate Fraction in Al–Si–Cu Alloys ", Materials Science and Engineering, A 392 (2005), Pp. 449–452.
- 16- J.A. Garcia-Hinojosa, C.R. Gonzalez, G.M. Gonzalez, Y. Houbaert, " Structure and Properties of Al–7Si–Ni and Al–7Si–Cu Cast Alloys Nonmodified and Modified With Sr ", Journal of Materials Processing Technology, 143–144 (2003), pp. 306–310.
- 17- M. Abbasi , A. Karimi Taheri , M.T. Salehi, " Growth Rate of Intermetallic Compounds in Al/Cu Bimetal Produced by Cold Roll Welding Process ", Journal of Alloys and Compounds, 319 (2001), pp. 233–241.
- 18- Won-Bae Lee, Kuek-Saeng Bang, Seung-Boo Jung, " Effects of Intermetallic Compound on the Electrical and Mechanical Properties of Friction Welded Cu/Al Bimetallic Joints During Annealing ", Journal of Alloys and Compounds, 390 (2005), pp. 212–219.
- 19- J. P. Lokker, A. J. Bo Ttger, W. G. Sloof, F. D. Tichelaar, G. C. A. M. Janssen, S. Radelaar, " Phase Transformations in Al–Cu Thin Films: Precipitation and Copper Redistribution ", Acta mater., 49 (2001), pp. 1339–1349.
- 20- M. Aravind, P. Yu, M.Y. Yau, Dickon H.L. Ng, " Formation of Al<sub>2</sub>Cu and AlCu Intermetallics in Al(Cu) Alloy Matrix Composites By Reaction Sintering ", Materials Science and Engineering, A 380 (2004), pp. 384–393.