اصلاح ریز ساختار آلیاژ Al A۳۵۶ با استفاده از ریخته گری روی سطح شیبدار

حسین حامدی[۱]، ایمان رئوفیان[۱]، محسن حداد سبزوار[۲]

چکیده

یکی از روشهای جدید و ساده برای اصلاح ریزساختار فلزات، ریخته گری روی سطح شیبدار در حالت نیمه جامد می‌باشد که به منظور ازبین بردن ساختار دندریتی و تبدیل آن به ساختاری با ذرات کروی صورت می‌گیرد. این ساختار خواص مکانیکی مطلوب‌تری را دارا می‌باشد. در این تحقیق، ریخته گری آلیاژ Al A۳۵۶ روی سطح شیبدار با تغییر پارامترهای زاویه‌ی سطح شیبدار، قدرت تبریدی سطح و دمای بارریزی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بررسیها نشان می‌دهد، بهینه‌ترین ریز ساختار برای این آلیاژ از نظر کرویت ذرات و توزیع فاز یوتکتیک بر روی سطح شیبدار مسی با سیستم آبگرد و در دمای بارریزی $۶۲۰^{\circ}c$، با زاویه سطح شیبدار ۶۰° حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: ریخته‌گری نیمه جامد، سطح شیبدار، سیستم آبگرد

۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه

فرایند ریخته‌گری نیمه جامد(SSM)، روش نسبتاً جدیدی در زمینه ی شکل دهی فلزات می‌باشد که با فرایندهای مرسوم شکل‌دهی در حالت جامد و یا ریخته گری در حالت مذاب متفاوت است.در فرایندSSM از مواد خمیری که در آن ذرات جامد غیردندریتی در زمینه ای از مذاب پخش شده‌اند استفاده می‌شود[۱]. بررسیها بر روی این نوع فرایند از اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ در دانشگاه MIT آغاز شد. اساس این فرایند بر پایه‌ی کشفی است که در حین تحقیق بر روی ترک داغ حاصل شد[۲]. محققان متوجه شدند که چنانچه مواد تیکسوتراپیک در حین سرد شدن از حالت مایع به خمیری تحت تنشهای برشی قرار میگیرند ویسکوزیته ای بسیار پایینتر نسبت به حالتی که تنش برشی اعمال نشود،خواهند داشت.اینگونه رفتار در اثر شکسته شدن ذرات دندریتی و کروی شدن آنها حاصل می‌شود.

این فرایند دارای دو مزیت مهم است؛ اول اینکه میتوان از آلیاژهای با نقطه ذوب بالا در این فرایند استفاده کرد(به علت کاهش انتالپی ذوب)،دوم اینکه مکهای انقباضی به علت وجود ذرات جامد در مذاب نیمه جامد و نتیجتا کاهش انقباض ناشی از انجماد، کاهش می‌یابد[۳].

هنگامیکه رشد دندریتی در حجم زیادی از ماده به طور مداوم انجام شود،ساختار بدست آمده به شدت چندسویه شده و این امر میتواند بر خواص مکانیکی تاثیری کاملا زیان آور داشته باشد.به این علت معمولا سعی میشود جوانه های بسیار زیادی در مذاب تولید گردد تا بدین ترتیب ساختار دارای حداکثر همسویی شود[۴].

ریخته گری بر روی سطح شیبدار یکی از روشهایی است که در فرایندهای نیمه جامد مورد استفاده قرار می‌گیرد.دراین روش مذاب از روی یک سطح شیبدار به داخل قالب هدایت می‌شود و در اثر اعمال نیروهای برشی در اثر غلتش مذاب و انتقال حرارت از سطح، ذرات جامد بوجود آمده در مذاب بصورت شبه کروی در می‌آیند. در این تحقیق سعی شده تا با کنترل چند پارامتر متغیر در بین پارامترهای متعدد موجود، بهترین ریز ساختار از لحاظ کرویت و همسانگردی در آلیاژ آلومینیم A۳۵۶ حاصل شود.

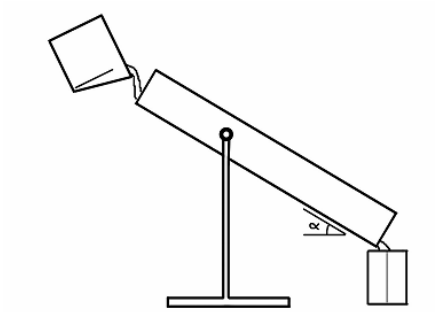
در این تحقیق سه پارامتر جنس سطح شیبدار(تاثیرگذار بر میزان تبرید)، زاویه‌ی سطح شیبدار و دمای بارریزی مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش انجام آزمایش

آلیاژ A۳۵۶ به علت دارا بودن سیلیسیم بالا، جزء بهترین آلیاژهای ریختگی به حساب می آید. سیالیت بالای این آلیاژ به علت وجود حجم بسیار بالایی از یوتکتیک Al-Si می‌باشد.حضور فاز سیلیسیم در آلیاژ باعث کاهش انقباض در حین انجماد و ضریب انبساط حرارتی محصول ریختگی می‌شود.
ترکیب شیمیایی این آلیاژ در جدول ذیل آورده شده است.

A356	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
٪شیمیایی	۶،۵–۷،۵	۰،۲	۰،۲	۰،۱	۰،۲–۰،۴	۰،۱	۰،۲

میکروگراف این آلیاژ شامل زمینه‌ای از دندریتهای محلول جامد آلومینیوم به همراه مخلوط یوتکتیکی است که فضای بین دندریتی را پر می‌کند.فاز ثانویه ای که در مخلوط یوتکتیک وجود دارد بسته به ترکیب شیمیایی، می‌تواند از یک عنصر آلیاژی (مانند سیلیسیم) و یا یک ترکیب بین فلزی باشد.
فازهای ثانویه ی محتمل در این آلیاژ شامل $Fe_2Si_2Al_9$ ، Mg_2Si و Si می‌باشد[۲]. یکی از عملیات مهمی که در مرحله ی ریخته گری حائز اهمیت است اصلاح اندازه و شکل کریستال های سیلیسیم می-باشد.در اثر اصلاح ساختار بهبود زیادی در داکتیلیتی همراه با افزایش همزمان استحکام بوجود می آید که نتیجتا باعث بهبود کلی در تافنس می‌شود.
بصورت متداول،بهبود ساختار با اضافه کردن مقادیر مشخص سدیم(ویا اخیرا استرانسیوم) در مذاب انجام میگیرد.اما در ریخته گری بر روی سطح شیبدار این عمل بدون استفاده از عنصر کمکی و بوسیله ی نیروهای برشی بوجود آمده در اثر غلتش مذاب،انجام می‌پذیرد.در شکل ۱ مقایسه ای بین اصلاح ساختار بوسیله ی افزودن سدیم و ریخته گری بر روی سطح شیبدار آورده شده‌است.[۵]
برای مقایسه ای بین نتایج حاصله از تغییر دادن پارامترهای سطح شیبدار،زاویه ی سطح شیبدار و دمای فوق ذوب،تعداد ۵۰ نمونه ریخته‌گری شد. طول سطح شیبدار ثابت و برابر ۴۵ سانتیمتر بود.
برای تهیه نمونه از یک قالب استوانه ای فولادی با محفظه ای به طول ۷ سانتیمتر و قطر ۲،۵ سانتیمتر استفاده شد. مذاب پس از جاری شدن برروی سطح شیبدار مستقیما وارد قالب میشد.
دماهای بارریزی ^{o}C ۶۷۰، ۶۵۰، ۶۴۰، ۶۳۰، ۶۲۵، ۶۲۰ و ۶۱۵ در نظر گرفته شد و زوایای ^{o} ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰ بر روی سطح شیبدار اعمال گردید. شماتیکی از سطح شیبدار در شکل زیرآورده شده است.



حداکثر خطای موجود در اندازه گیری دما ۲ درجه ی سیلسیوس تخمین زده شد.مذاب به سرعت برروی سطح شیبدار ریخته میشد و نهایتاً نمونه ی انجماد یافته در هوای ساکن خنک میگردید.
پس از آماده سازی نمونه ها، برای متالوگرافی از محلول HF ۰/۵٪ به عنوان محلول حکاکی استفاده شد.

بحث و بررسی

برای بحث و بررسی دقیقتر و مشاهده ی روند تغییرات ساختاری برای هر سطح شیبدار، ریزساختارهای حاصله با یکدیگر مقایسه گردید. برای مقایسه ریزساختارهای بدست آمده از ریخته گری بر روی سطح شیبدار و بدون استفاده از سطح شیبدار،ریز ساختار نمونه ی مرجع با بزرگنمایی‌های متفاوت در شکل ۲ نشان داده شده است.
در شکل ۳ ریزساختارهای بدست آمده در دما و زوایای ذکر شده برروی سطح شیبدار فولادی نشان داده شده است. برای مقایسه ای بهتر ساختارهای بدست آمده در یک زاویه ی ثابت همراه با تغییرات دما مورد مطالعه قرار گرفته شد.در تصاویر مربوط به هر سه نوع سطح شیبدار یک روند کلی در تغییرات ساختار مشهود است که شدت آن بسته به نوع سطح شیبداروزاویه، متغیر است.
در زاویه ای ثابت از بالاترین دمای بارریزی تا پایین‌ترین دمای بارریزی(تا حد خمیری) در نظر گرفته شده،تغییرات ریزساختار روند کلی زیر را دنبال میکند:
۱-خرد شدن دندریتها و ایجاد فاز یوتکتیکی ظریف و پیوسته همراه با تیغچه های کوچکی از فاز ثانویه؛این فاز بصورت مرزهای کاملا مشخص و پیوسته اطراف دندریتها ایجاد می‌شود.
۲-تیغچه ای شدن فاز ثانویه و از دست دادن ظرافت فاز یوتکتیک؛ با کاهش دما تیغچه ها بزرگتر و مرزهای یوتکتیکی ناپیوسته تر می‌شود.
۳-بازیابی فاز یوتکتیکی ظریف که حالت بهینه ای از لحاظ ساختاری دارد.
۴-بزرگ شدن ذرات تشکیل دهنده ی فاز یوتکتیک و نامشخص تر شدن مرزها.

در سطح شیبدار فولادی،در دمای ^{o}C ۶۲۰ با افزایش زاویه‌ی سطح شیبدار فاز یوتکتیک ظریف تر و پیوسته‌تر میشود و دندریتها به سمت کروی شدن میل می‌کنند.

بهینه‌ترین ساختار بدست آمده از سطح شیبدار فولادی،در دمای ^{o}C ۶۲۰ و زاویه ی ^{o} ۶۰ حاصل شد.

در بررسی سطح شیبدار مسی بدون آبگرد، در دمای ^{o}C ۶۳۰ با زوایای متغیر، مشخص شد که در دو زاویه تیغچه های سیلیسی بوجود آمده است. در صورتیکه در یک زاویه ی ثابت و با تغییر دما فقط یک مرحله تیغچه ای شدن مشاهده شد.

بهترین ساختار بدست آمده با استفاده از سطح شیبدار مسی در شرایط دمایی و زاویه ای ^{o} ۶۰ و ^{o}C ۶۵۰ و ^{o} ۶۰ و ^{o}C ۶۲۵ حاصل شد،که نمونه در شرایط ^{o} ۶۰ و ^{o}C ۶۲۵ حالت بازیابی شده دارد.

اختلاف ساختار بین دو حالت ذکر شده در تصاویر ریزساختاری کاملاً مشهود است. نمونه در حالت بازیابی شده (زاویه ^{o} ۶۰ و دمای ^{o}C ۶۲۵) دارای فاز یوتکتیک خشن تری نسبت به نمونه در شرایط (زاویه ^{o} ۶۰ و دمای ^{o}C ۶۵۰) می‌باشد،اما عاری از تیغه های سوزنی،بلند و نوک تیز سیلیسی است.

نمونه در شرایط دمایی و زاویه ای (^{o} ۶۰ و ^{o}C ۶۲۵) از لحاظ ساختاری از دیگر نمونه های ریخته گری شده بر روی سطح شیبدار مسی بهتر می‌باشد (از لحاظ توزیع و اندازه ی فاز یوتکتیک و میزان کرویت دندریتهای محلول جامد) (شکل ۵).

در سطح شیبدار با سیستم آبگرد،شرایط دمایی و زاویه‌ای (^{o} ۶۰ و ^{o}C ۶۲۰) و (^{o} ۳۰ و ^{o}C ۶۲۵) ساختارهای بسیار مشابهی را ایجاد می‌کنند.(شکل ۴)

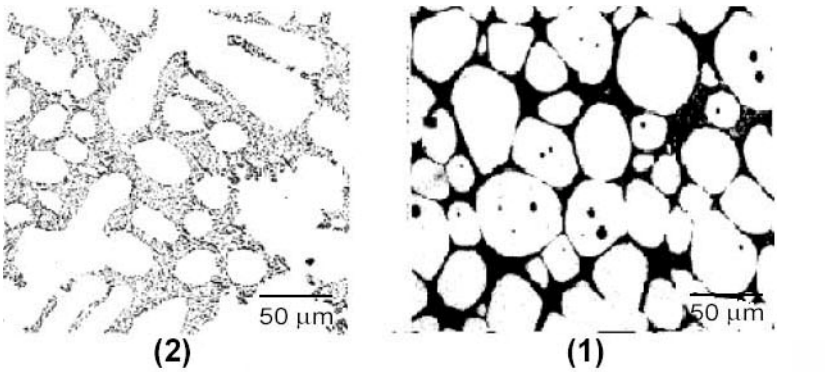
این ساختارها از لحاظ توزیع وظرافت فاز یوتکتیک و میزان کرویت در بین ساختارهای بدست آمده ازسطح شیبدار مسی با سیستم آبگرد در شرایط بهتری قرار دارند.

بهینه ترین ساختارهای حاصل ریخته گری برروی سطح شیبدار از لحاظ اصلاح و بهبود ساختار به ترتیب در شکل ۵ آورده شده است.

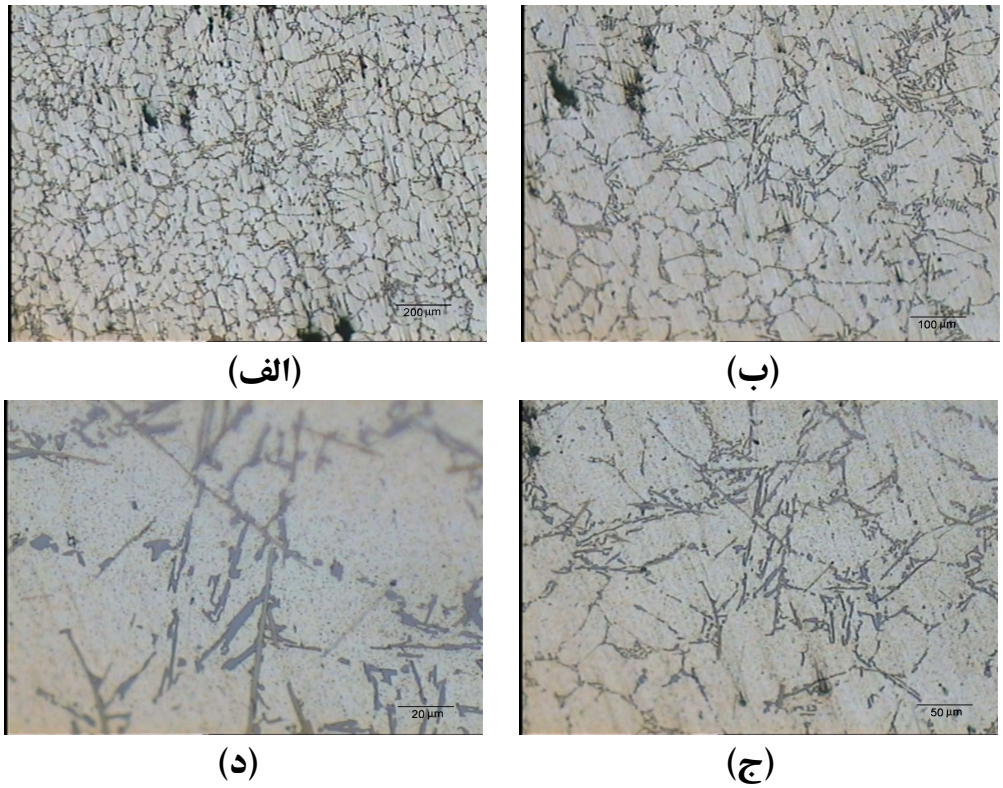
علت توزیع مناسب فاز یوتکتیک وکروی شدن دندریت ها با استفاده از سطح شیبدار مسی آبگرد، اعمال شیب شدید (برای ایجاد تنشهای برشی بالا) و قدرت تبریدی بالای این سطح می‌باشد.

نتیجه‌گیری

- بهترین نتایج برای اصلاح ریزساختار آلیاژ A۳۵۶ که شامل کروی کردن دندریتهای محلول جامد و توزیع فاز یوتکتیک و ریز کردن فازهای ثانویه میشود،از طریق ریخته گری بر روی سطح شیبدار مسی همراه با سیستم آبگرد و به ترتیب با فوق ذوب و زاویه ی سطح شیبدار برابر با $۶۲۰^{o}C$ و ۶۰^{o} حاصل می‌شود.
- اصلاح ساختار آلیاژهای آلومینیوم با سیلیسیم بالا از طریق افزودن سدیم یا استرانسیوم تنها باعث بهبود شکل فازهای ثانویه میشود اما درروش ریخته گری برروی سطح شیبدار توانایی ایجاد تاثیرات مثبت در مورفولوژی ماتریس نیز وجود دارد.



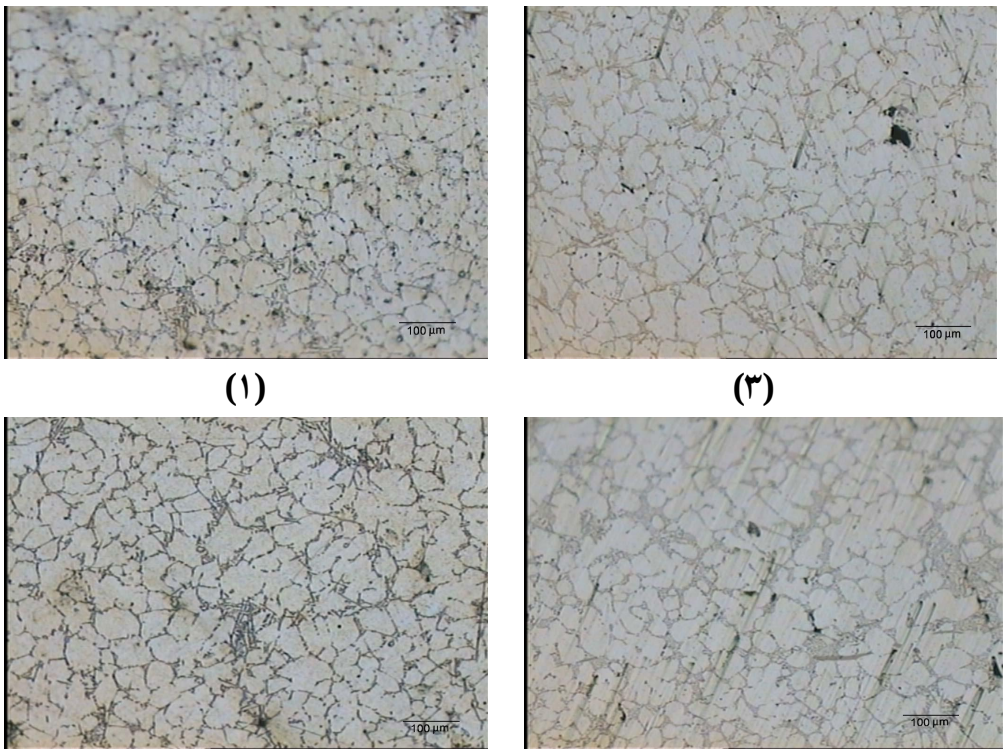
شکل ۱-(۱)اصلاح شده به طریق فرایند نیمه جامد (۲)اصلاح ساختار توسط سدیم



(الف) (ب)

(د) (ج)

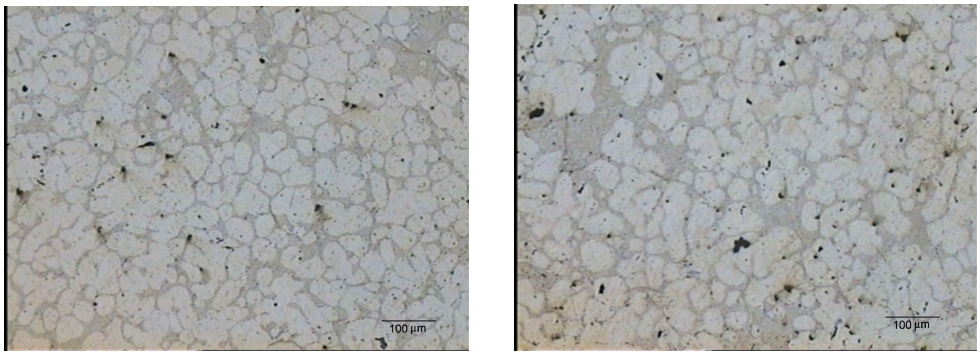
شکل ۲-نمونه‌ی مرجع با بزرگنماییهای متفاوت



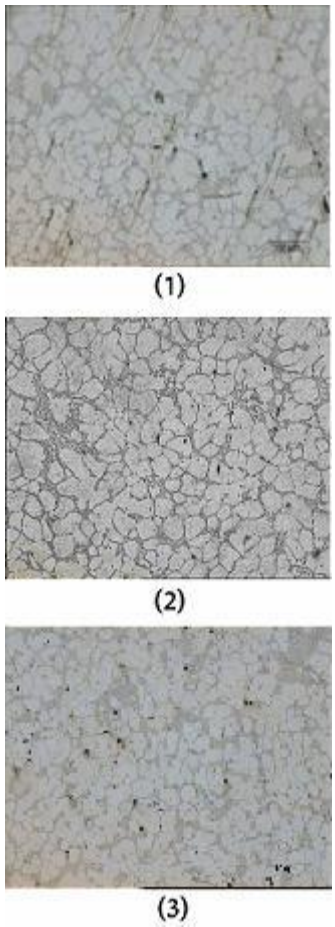
(۱) (۳)

(۲) (۴)

شکل۳- به ترتیب شماره بر روی سطح شیبدار فولادی در دمای۶۲۰°c در زوایای ۳۰-۴۰-۵۰-۶۰



شکل۴- شزایط مشابه در دوزاویه و دو دمای متفاوت بر روی سطح شیبدار مسی آبگرد



شکل ۵- روند بهبود ساختار با تغییر نوع سطح شیبدار۱-فولادی ۲-مسی ۳-مسی آبگرد.

تشکر و قدردانی

ازهمکاری مسئولین آزمایشگاه متالوگرافی وکارگاه ریخته‌گری دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد کمال تشکر و قدردانی را داریم .

مراجع

[۱]-Internatoinal Materials Reviews 2002 Vol.47 No.2

[۲]-ASM Handbook,Ninth Edition,Metal's Handbook,Volume 15

[۳]-ای-جی-پلمیر ترجمه محمدرضا ابوطالبی و ماندانا عادلی،آلیاژهای سبک،۱۳۷۹،مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت

[۴]-مجله ریخته گری، سال بیست و پنجم،شماره ۷۸،پاییز ۸۳

[۵]-ASM Handbook,Ninth Edition,Metal's Handbook,Volume 9

Microstructure modification of Al A356 alloy with the application of slope casting

H.Hamedi[1], I.Raoofian[1], M. Hadad Sabzevar[2]
E-mail: ho.hamedi@gmail.com , iman_raoof@yahoo.com

Abstract

One of the new and simple methods for modifying the microstructure of metals and alloys is slope casting under semisolid condition which results to conversion of the dendritic microstructure to a spherical one. This spherical microstructure possesses better mechanical properties. In this research, the effects of varying parameters such as angle of slope, surface cooling power, and pouring temperature are studied in slope casting of Al A356 alloy. Results show that the optimum microstructure having the most spherical particles and the best eutectic phase distribution in this alloy is obtained when the pouring temperature is 630°C, the angle is 55° and the casting is done on the water-cooled copper surface.

Keywords: Semi solid, Slope casting, Water-cooling system, Dendritic matrix

---

1- BS student in metallurgy department of Ferdowsi university of Mashhad
2- Assistant professor in metallurgy department of Ferdowsi university of Mashhad