Archive of SID

بررسی تاثیر نوع جوانه‌زا بر ریزدانگی و پارامترهای انجماد آلیاژ A356 به کمک آنالیز حرارتی منحنی‌های سرد شدن

نجم الدین عرب[۱]، صفدر حبیبی[۲]، مهدی سودمند[۳]، احمد شریفی[۱]
۱- کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه
۲-استادیار، دانشگاه بوعلی سینا همدان
۳-استادیار، دانشگاه پیام نور ارومیه
Najmeddin Arab@yahoo.com

چکیده

ریزدانه کردن آلیاژهای آلومینیم از متداول‌ترین عملیات در صنایع شمش‌ریزی و ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم است. این کار به‌طور معمول با اضافه کردن جوانه‌زا به مذاب صورت می‌گیرد. لذا استفاده از جوانه‌زای مناسب جهت ریزدانگی آلیاژهای آلومینیومی می‌تواند تاثیر زیادی بر کیفیت این گونه قطعات داشته‌باشد. پژوهش حاضر به بررسی تاثیر نوع جوانه‌زا بر ریزشدن دانه‌ها و پارامترهای انجماد آلیاژهای آلومینیوم به کمک آنالیز حرارتی منحنی‌های سرد شدن می‌پردازد. به این منظور نمونه‌هایی از آلیاژ A356 را بدون افزودن جوانه‌زا به مذاب و سایر نمونه‌ها را با افزودن انواع مواد جوانه‌زا به مذاب تحت عملیات جوانه‌زایی قرار داده و پس از ذوب‌ریزی به‌داخل قالب، منحنی‌های سرد شدن آنها ترسیم گردید. با محاسبه و رسم منحنی مشتق اول و منحنی صفر، پارامترهای انجماد در قطعات بررسی شد. بررسی‌های صورت گرفته نشان داد که جوانه‌زنی و نوع جوانه‌زا تاثیر چندانی بر درجه حرارت شروع و پایان انجماد و میزان گرمای نهان انجماد ندارد. همچنین بررسی‌های متالوگرافی و آنالیز حرارتی نشان داد که در نمونه‌های جوانه‌زنی شده بیشترین ریزدانگی در فراسردی ۴°c به‌دست می‌آید.

واژه‌های کلیدی:
ریخته‌گری، جوانه‌زائی، آنالیز حرارتی، A356.

۱- مقدمه

اغلب فلزات و آلیاژها در شرایط متداول ریخته‌گری و انجماد دارای دانه‌هایی ستونی می‌باشند مگر آنکه فرآیند انجماد با دقت کنترل گردد. رسیدن به ساختار دانه‌ای ریز در ساختار بعد از ریخته‌گری با افزایش تعداد موقعیت‌های جوانه‌زنی و یا به‌وسیله تکثیر دانه امکان‌پذیر است. Mc Cartney ریزدانگی را به‌عنوان جلوگیری سنجیده و عمدی از رشد دانه‌های ستونی در شمش‌ها و قطعات ریختگی و شکل‌گیری ساختار انجماد محوری ریز در میان ماده تعریف کرده‌است[۱].

www.SID.ir

Archive of SID

توجه به ریزدانه کردن آلومینیوم به سال ۱۹۳۰ برمی‌گردد و به تحقیق Rosenhain که نشان داد که اضافه کردن تیتانیم به مذاب آلومینیوم قبل از ریخته‌گری باعث ایجاد ساختار دانه‌ای هم‌محور بعد از انجماد می‌گردد و سایز دانه‌ها را کاهش می‌دهد[۲]. Sicha و Boehm اولین کسانی بودند که نشان دادند ریزدانه کردن تحت تاثیر اضافه کردن تیتانیم می‌باشد و به‌طور مشخص باعث بهبود استحکام کششی و ازدیاد طول در آلیاژ ریختگی Al-4.5Cu می‌شود[۳].

اما به هر حال این Cibula بود که به‌دلیل کار برنامه‌ریزی شده و هدفمند برروی ریزدانه کردن آلیاژهای آلومینیم به کمک عناصری نظیرTa, Ce, Ti, B, Zr, Nb, V, W و تکنیک‌های دیگر جوانه‌زنی، به‌عنوان پیشگام در این زمینه شناخته می‌شود[۴ و ۵].

یکی از راه‌های بررسی ریزدانگی در آلیاژهای آلومینیوم استفاده از تکنیک آنالیز حرارتی منحنی‌های سرد شدن می‌باشد. آنالیز حرارتی بر مبنای توزیع سطوح حرارتی در سرد شدن یا گرم شدن قطعات صورت می‌گیرد که مستقیما به دگرگونی‌های فازی که در نمونه اتفاق می‌افتد مربوط می‌شود.

بسته به نوع آنالیز، اطلاعات متفاوتی نظیر گرمای نهان انجماد، کسر حجمی جامد و مقدار و نوع فازهایی که در حین انجماد به‌وجود می‌آیند را می‌توان به‌دست آورد[۶ و ۷].

اولین بار محققین در سال ۱۹۵۰ روش آنالیز حرارتی را مورد استفاده قرار داده و نشان دادند که از منحنی سرد شدن می‌توان برای بررسی ریزدانگی و بهسازی ساختار یوتکتیک در آلیاژهای Al-Si استفاده کرد[۶]. در سال۱۹۷۰ میلادی Baekerud برای اولین بار از مشتق منحنی سرد شدن در فرآیند آنالیز حرارتی استفاده کردند[۷]. Apelian اولین کسی بود که کاربرد کامپیوتر در آنالیز منحنی‌های سرد شدن و محاسبات دیفرانسیلی آنرا به نام خود ثبت کرد[۸].

این بررسی‌ها نشان داد که استفاده از مشتق اول باعث افزایش دقت در ثبت پدیده‌هایی می‌شود که در منحنی سرد شدن اصلی دیده نمی‌شوند. محاسبه دقیق پارامترهای انجماد نظیر دمای شروع و پایان انجماد، گرمای نهان و کسر انجماد به شدت به محاسبه منحنی صفر (ZC)[1] وابسته است، لذا محاسبه منحنی صفر یکی از مراحل مهم و تاثیرگذار در نتایج آنالیز حرارتی و در نتیجه کنترل کیفیت مذاب می‌باشد.

محاسبه منحنی صفر (Zero Curve) یکی از کاربردهای جدید آنالیز منحنی‌های سرد شدن، محاسبه خواص ترموفیزیکی است. مهمترین مبحث در این کاربرد، محاسبه منحنی صفر (ZC) می‌باشد. منحنی صفر در واقع مشتق منحنی سرد شدن است، با این فرض که در آن تغییر فاز وجود نداشته است. بنابراین منحنی صفر یک منحنی فرضی است[۹].

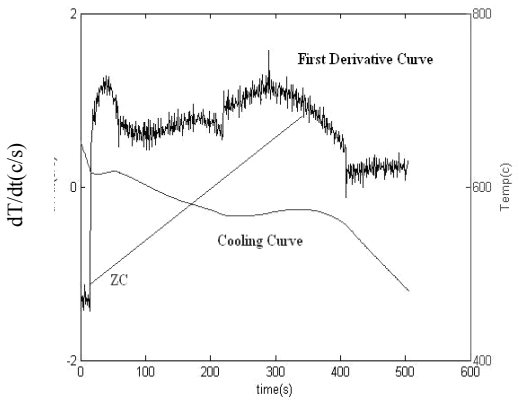
در سال ۱۹۸۹ میلادیUpadhya و همکارانش گرمای نهان و کسر حجمی جامد را به‌عنوان تابعی از دما و زمان محاسبه کردند. این روش عددی براساس آنالیز ریاضی انتقال حرارت در حین انجماد استوار است. آنها از روش آنالیز نیوتنی جهت بررسی نحوه سرد شدن نمونه‌ها استفاده کردند[۶]. در سال ۱۹۹۳ Fras روش جدیدی را براساس آنالیز حرارتی فوریر (fourier) به کار برد که در آن گرادیان حرارتی داخلی یک نمونه در حال انجماد محاسبه می‌شد[۱۰]. در سال ۱۹۹۷ Stefanescu و Barlow گرمای نهان انجماد و کسر حجمی جامد را از هر دو روش محاسبه کردند[۱۱].

- آنالیز نیوتنی

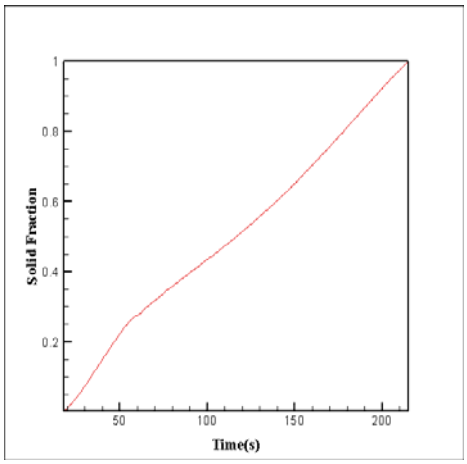
در این روش، چگونگی سرد شدن نمونه‌ها براساس الگوی انتقال حرارت نیوتنی محاسبه می‌گردد. در این روش فرض می‌شود که گرادیان حرارتی در طول نمونه برابر صفر است حال آنکه انتقال حرارت با جریان همرفت در قالب با دمای ثابت T_0 صورت می‌گیرد. بنابراین کاهش آنتالپی در فلز، با مقدار حرارت

www.SID.ir

Archive of SID



شکل(۱): منحنی سرد شدن نمونه ۱ به‌همراه منحنی‌های مشتق اول و صفر منحنی کسر انجماد در برابر زمان نمونه ۱



شکل(۲): منحنی کسر انجماد در برابر زمان نمونه ۱

انتقال یافته از قالب برابر است. معادلات ریاضی آنالیز حرارتی نیوتنی به‌صورت زیر است.

$$L\rho V\frac{dFs}{dt}-V\rho C_p\frac{dT}{dt}=hA(T-T_0) \qquad (۱)$$

و یا

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_{cc}=\frac{1}{V\rho C\rho}\left[LV\rho\frac{dF_s}{dt}-hA(T-T_0)\right] \qquad (۲)$$

که ρ دانسیته و V حجم نمونه و C_p ظرفیت گرمایی ویژه فلز است. اگر استحاله فازی رخ ندهد از معادله (۲) می‌توان به معادله منحنی صفر رسید.

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_{zc}=\frac{hA(T-T_0)}{V_\rho C_\rho} \qquad (۳)$$

با انتگرال‌گیری از این معادله خواهیم داشت:

$$\int_0^t\left[\left(\frac{dT}{dt}\right)_{cc}-\left(\frac{dT}{dt}\right)_{zc}\right]dt=\int_0^t\left(\frac{LdFs}{Cpdt}\right)dt=\frac{L}{Cp}\int_0^t dFs \qquad (۴)$$

با فرض عدم تغییر فاز در حین انجماد و ساده کردن معادله ۴ معادله ۵ به‌دست می‌آید:

$$L=Cp\int_0^t\left[\left(\frac{dT}{dt}\right)_{cc}-\left(\frac{dT}{dt}\right)_{zc}\right]dt \qquad (۵)$$

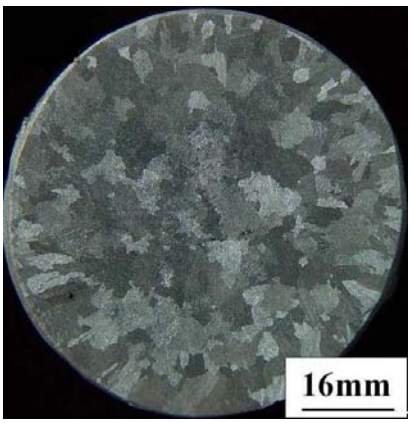
در این تحقیق برای رسم منحنی صفر از معادله ۵ استفاده شده‌است.

جوانه‌زنی و ریزکردن دانه‌ها، یکی از مراحل مهم در ریخته‌گری آلیاژهای آلومینیوم است. از مقدار جوانه‌زای اضافه شده به مذاب، قسمتی از آن به فازهای اکسیدی و بخشی دیگر به فازهای نیترایدی یا هیبریدی تبدیل شده و به سرباره می‌رود و فقط قسمتی از آن در مذاب باقی مانده و عمل جوانه‌زنی و ریزکردن دانه‌ها را انجام می‌دهد. کیفیت مذاب، نوع شارژ، روش ذوب و مواد کمک ذوب مصرفی، می‌توانند بر میزان ناخالصی‌های موجود در مذاب تاثیر گذارده و لذا بر نحوه عملکرد جوانه‌زا و موفقیت جوانه‌زنی تاثیر می‌گذارد.

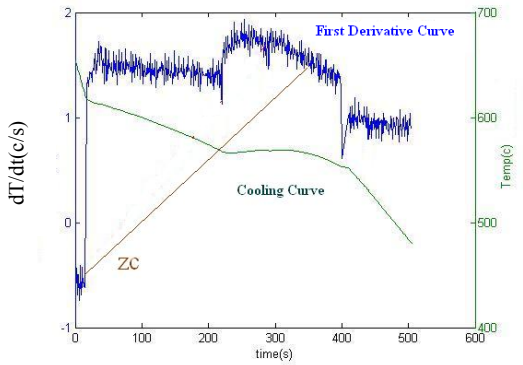
جوانه‌زاها بیشترین اثر را بر روی تحت انجماد یوتکتیک و همچنین دامنه انجماد می‌گذارند، لذا توجه به این دو پارامترها و دقت در محاسبه آنها می‌تواند ما را در تعیین جوانه‌زای مناسب برای آلیاژهای آلومینیوم یاری کند. در نمونه‌هایی که در آنها عملیات جوانه‌زایی به خوبی صورت نگیرد، مقدار تحت انجماد یوتکتیک بالا بوده و لذا ساختار به صورت ستونی و با دانه‌های درشت ظاهر می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۳): تصویر ساختار ماکروسکوپی نمونه ۱



شکل (۴): منحنی سرد شدن به همراه مشتق اول آن و منحنی صفر برای نمونه

در صورتی که با افزایش جوانه زا به مذاب، موقعیت‌های جوانه‌زنی افزایش یافته و با کاهش میزان تحت انجماد یوتکتیک موجب ریز شدن و هم‌محور شدن دانه‌ها می‌گردند این مکانیزم در مرجع ۱۵ توضیح داده‌شده‌است.

۲- روش تحقیق

آلیاژ A356 با ترکیب شیمیایی(Al-7%Si-0.3%Mg) به علت قابلیت ریخته‌گری بسیار عالی، خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب و همچنین اهمیت زیادی که در صنایع خودروسازی صنایع خودروسازی دارد، انتخاب گردید. این آلیاژ در یک کورهٔ سقفی شفتی با ظرفیت ذوب ۲ تن در ساعت و ظرفیت نگهداری ۶ تن ذوب گردید و درجه حرارت مذاب در 760^0C تنظیم شد. سپس مذاب در پاتیل با ظرفیت ۳۰۰ کیلوگرم که تا دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد پیشگرم شده‌بود، تخلیه گردید. پس از سرباره‌گیری، مذاب به‌مدت ۶ دقیقه تحت عملیات گاززدایی به‌روش گاززدایی چرخشی با استفاده از گاز خنثی ازت (N_2) قرار گرفت و مجددا سرباره‌گیری شد. قالب‌ها از جنس فولاد ساده کربنی و به ظرفیت حدود ۱۰۰ گرم ساخته شده بودند که سطح داخلی آنها توسط دایکوت و در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد پوشش داده شد.

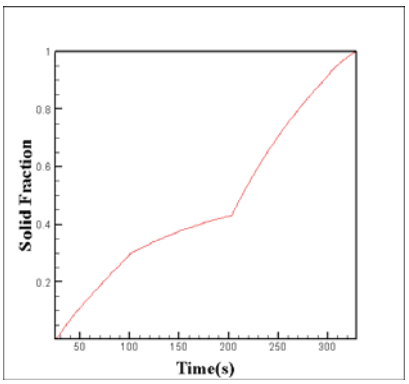
برای ثبت تغییرات دمایی در حین انجماد، در مرکز قالب ترموکوپل نوع K (Kromel–Alumel) قرار داده شد که این ترموکوپل توسط یک Thermo-Analyzer نوع MW 100 به کامپیوتر P5 متصل شد. برای رسم منحنی‌ها نیز از برنامه Tac Plote 10 استفاده گردید. برای ذوب ریزی به‌داخل قالب، از بوته با ظرفیت ۵ کیلوگرم و با دمای پیشگرم ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. نمونه اول بدون افزودن جوانه‌زا ذوب‌ریزی شد. در مورد جوانه‌زاهای فلزی، مقدار لازم از سه نوع جوانه‌زای موجود در کف پاتیل قرار داده شد و مذاب در دمای ۷۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌داخل قالب تخلیه گردید.

در جوانه‌زنی با قرص جوانه‌زا، مقدار لازم از جوانه‌زا توسط یک فروبرنده به مذاب افزوده شد. در هر آزمایش تعداد ۴ قالب و مجموعا ۲۰ قالب ذوب‌ریزی شد و منحنی‌های سرد شدن آنها ثبت گردید. تمام نمونه‌ها از یک موقعیت یکسان برش خورده و برای بررسی ریزدانگی متالوگرافی شدند. همچنین برای تعیین درصد تیتانیوم و بر باقیمانده در مذاب نمونه‌ها تحت آزمایش کوانتومتری قرار گرفتند.

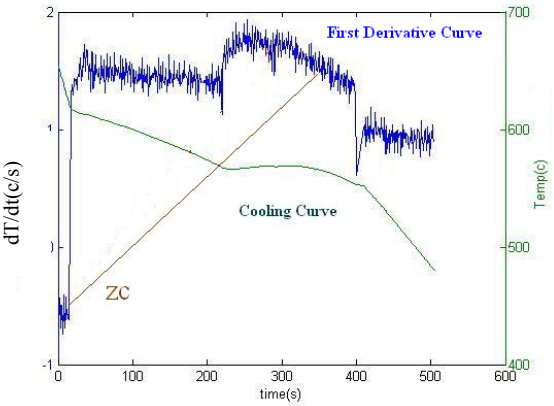
اطلاعات ثبت شده منحنی سرد شدن نمونه‌ها به‌وسیله یک برنامه کامپیوتری نوشته شده به زبان Turbo C + + مورد آنالیز قرار گرفتند. این برنامه وظیفه شناسایی نقاط شروع و پایان انجماد، محاسبه مشتق اول و دوم منحنی سرد شدن، محاسبه منحنی صفر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۵): منحنی کسر انجماد در برابر زمان نمونه ۲



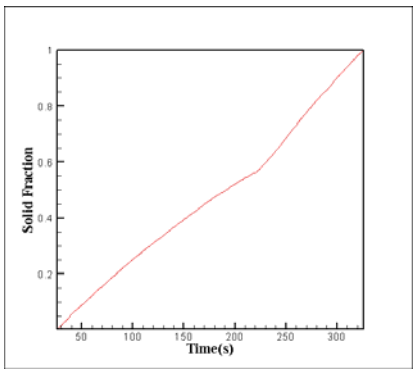
شکل(۶): منحنی سرد شدن به همراه مشتق اول آن و منحنی صفر برای نمونه۳

به‌روش آنالیز نیوتنی که به‌صورت یک تابع خطی است و همچنین محاسبه گرمای نهان انجماد و کسر انجماد به‌عنوان تابعی از دما و زمان و در نهایت تعیین میزان ریزدانگی را انجام می‌دهد برای بررسی ساختار ماکروسکوپی از محلول اچ با ترکیب (60%HCl, 30%HNO_3, 5%HF and 5%H_2O) استفاده شد.

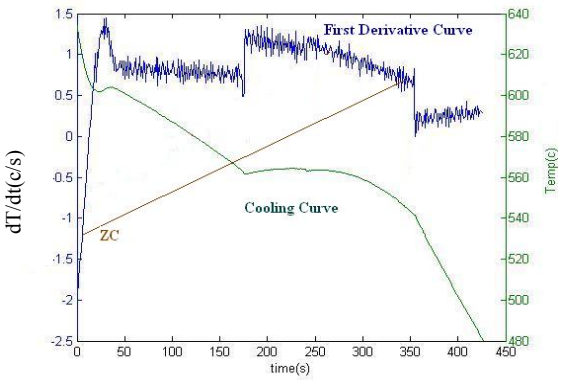
۳- نتایج و بحث

نمونه‌هایی که در این مقاله مورد بحث قرار می‌گیرد به‌صورت زیر است:

۱- نمونه شماره (۱): بر روی این نمونه از آلیاژ A356 هیچ گونه عملیات جوانه‌زایی و اصلاح انجام نگرفته است.



شکل(۷): منحنی کسر انجماد در برابر زمان نمونه۳



شکل(۸): منحنی سرد شدن به همراه مشتق اول آن و منحنی صفر برای نمونه۴

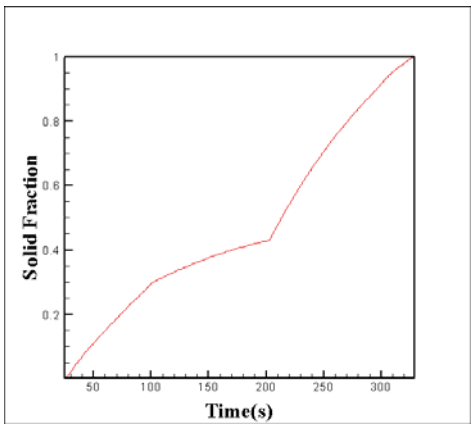
۲- نمونه‌های شماره (۲،۳،۴و۵): این نمونه‌ها به ترتیب با جوانه‌زاهای Al-5Ti-1B، قرص Nucleant2، TiBloy و Al-10Ti مورد جوانه‌زایی قرار گرفته و سپس به درون بوته منتقل شده و کار ثبت اطلاعات روی آنها انجام گردید.

الف- نمونه شماره ۱:

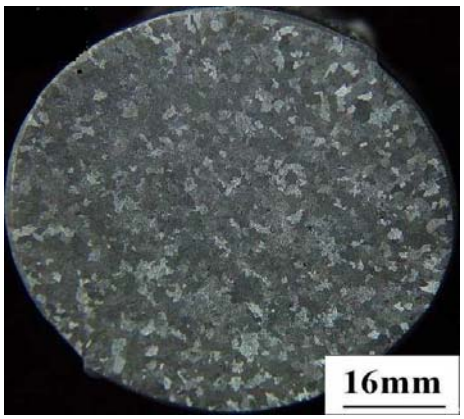
در این نمونه انجماد از دمای ^{o}C 615.7 در ثانیه 18 شروع می‌شود و در دمای °C 568.8 در ثانیه ۲۱۶ کلیه قسمت‌های نمونه منجمد می‌گردد. مقدار گرمای نهان این نمونه برابر 5J/gr می‌باشد که در مقایسه با سایر نمونه‌ها کمترین مقدار را دارد. همچنین فراسردی این نمونه مقدار °C 7.9 به‌دست آمد. این مقدار بسیار بالاست و نشان می‌دهد که نمونه جوانه‌زایی نگردیده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۹): منحنی کسر انجماد در برابر زمان نمونه ۴



شکل (۱۰): تصویر ماکروسکوپی نمونه ۴

شکل (۲) منحنی سرد شدن نمونه ۱ را به همراه منحنی مشتق اول و منحنی صفر آن و شکل (۳) منحنی کسر انجماد در برابر زمان را نشان می‌دهند.

بعد از انجام آنالیز حرارتی و بررسی نتایج به‌دست آمده از آن، لازم است تا نتایج حاصل از آنالیز حرارتی را با تصاویر متالوگرافی مقایسه شوند. در نمونه ۱ چون عملیات جوانه‌زنی و ریز شدن دانه‌ها انجام نشده، لذا ساختاری با دانه‌های درشت برای آن پیش‌بینی می‌گردد.این ساختار در شکل (۳) آورده شده‌است. همان‌طورکه از شکل(۳) مشخص است، نمونه ۱ دارای ساختاری با دانه‌بندی درشت و تا حدودی هم‌محور است که دلیل هم‌محوری آن سرعت سرد شدن بالا در قالب فلزی می‌باشد.

ب- نمونه شماره ۲:

این نمونه توسط آلیاژساز Al-5Ti-1B جوانه‌زایی گردید. به دلیل حضور ذرات TiAl3 و TiB2 و همچنین قطر کم این ذرات، عملیات جوانه‌زایی در این نمونه به خوبی صورت گرفت. در این نمونه دمای شروع انجماد 615.8°C و در ثانیه ۲۵ و همچنین دمای پایان انجماد 565.6°C و در ثانیه ۳۳۰ می‌باشند. همچنین دامنه انجماد که اختلاف دمای شروع و پایان انجماد می‌باشد در این نمونه برابر 50.2C بود.

در شکل (۴) منحنی سرد شدن نمونه ۲ به‌همراه منحنی مشتق اول و منحنی صفر نشان داده‌شده‌است.

مقدار گرمای نهان برای این نمونه 352 J/gr و میزان فراسردی یوتکتیک برابر 3.125C می‌باشد. به‌منظور تعیین کسر انجماد در هر لحظه از زمان، منحنی کسر انجماد بر حسب زمان رسم شده‌است. مطابق شکل (۵) نمونه در ابتدا با سرعت تقریبا ثابتی منجمد می‌شود ولی با شروع تشکیل فاز یوتکتیک و آزاد شدن گرمای نهان سرعت انجماد کاهش یافته و در نتیجه شیب منحنی نیز کاهش می‌یابد.

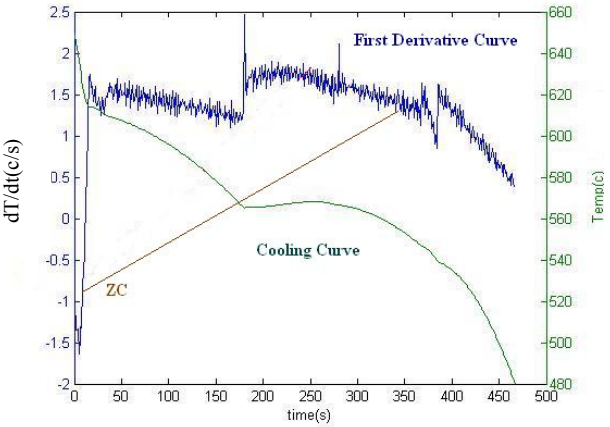
در این نمونه که تحت تبرید برابر3.125 C است انتظار می‌رود که جوانه‌زنی به خوبی صورت گرفته باشد. تصاویر متالوگرافی تهیه شده از این نمونه مؤید این نتیجه است.

ج- نمونه شماره ۳:

این نمونه توسط قرص جوانه‌زای Nucleant2 شرکت فوسیکو جوانه‌زایی گردید. نتایج حاصل از آنالیز حرارتی برای این نمونه نشان می‌دهد که دمای شروع انجماد برابر 614.8°C در ثانیه 26 بوده و پایان انجماد در ثانیه 327 و در دمای568.4°C رخ داده است. دامنه انجماد در این نمونه نیز برابر 46.2C به‌دست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل(۱۱): منحنی سرد شدن به همراه مشتق اول آن منحنی صفر برای نمونه۵

همچنین در این نمونه گرمای نهان انجماد برابر 387J/gr و مقدار فراسردی یوتکتیک برابر 2.69°C می‌باشد که در مقایسه با نمونه‌های دیگر کمترین مقدار را داراست.

لذا می‌توان به این نتیجه رسید که راندمان جوانه‌زنی در این نمونه به نسبت دیگر نمونه‌های جوانه‌زنی شده کمتر بوده‌است.

بررسی‌های متالوگرافی از نمونه‌های تهیه شده این نتیجه‌گیری را تائید می‌کند. شکل‌های (۶) و (۷) به‌ترتیب منحنی سردن و مشتق اول آن و منحنی کسر انجماد در برابر زمان را برای این نمونه نشان می‌دهند.

د– نمونه شماره۴:

در شکل (۸) منحنی سرد شدن نمونه ۴ به همراه منحنی مشتق اول و منحنی صفر نشان داده شده‌است. این نمونه توسط آلیاژساز TiBloy با ترکیب Al-1.6%Ti-1.4%B تحت عملیات جوانه‌زایی قرار گرفت. وجود مخلوط بورید ها $(Al,Ti)B_2$ در ترکیب این جوانه زا ، کارایی ریزدانگی را افزایش می دهد. دمای شروع انجماد 614°C و در ثانیه ۲۵ و همچنین دمای پایان انجماد569.5°C و در ثانیه ۳۳۸ می‌باشد. همچنین دامنه انجماد این نمونه 44.5C به‌دست آمد که نسبت به سایر نمونه‌ها کمترین مقدار را داشت. مقدار گرمای نهان انجماد برای این نمونه 350 J/gr و میزان فراسردی یوتکتیک برابر 3.3°C می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که بازدهی این جوانه‌زا نسبت به سایر جوانه‌زاها بیشتر بوده است. به‌منظور تعیین کسر انجماد در هر لحظه از زمان می‌توان از منحنی شکل (۹) استفاده کرد.

مطابق شکل (۹) نمونه در ابتدا با سرعت تقریباً ثابتی منجمد می‌شود ولی با شروع تشکیل فاز یوتکتیک سرعت انجماد کاهش یافته و در نتیجه شیب منحنی نیز کاهش می‌یابد. دلیل این موضوع می‌تواند آزاد شدن حجم زیادی از گرمای نهان باشد که دمای مذاب را افزایش می‌دهد. در اثر این اتفاق سرعت انجماد کاهش می‌یابد. در این نمونه فراسردی برابر با ۳/۳°C بوده لذا انتظار می‌رود که جوانه‌زنی به خوبی صورت گرفته باشد.

بررسی متالوگرافی از نمونه مؤید این موضوع است که دلالت بر ریز شدن دانه‌ها دارد. شکل (۱۰) تصویر متالوگرافی از نمونه را به نمایش می‌گذارد.

با مقایسه شکل (۱۰) با شکل (۳) مشخص می‌شود که دانه‌های ستونی در اثر اضافه کردن جوانه زا به دانه‌های هم‌محور تبدیل گردیده و در واقع عملیات جوانه‌زنی با موفقیت به انجام رسیده است، که این موضوع تاییدی بر نتایج حاصله از آنالیز حرارتی می‌باشد. در مقایسه با تصاویر ماکروسکوپی سایر نمونه‌ها، میزان ریز دانگی در این حالت بیشتر از سایر جوانه‌زاها است.

س– نمونه شماره ۵:

در این نمونه که توسط آلیاژساز Al-10Ti جوانه‌زایی شده‌بود، دمای شروع انجماد برابر 603°C و در ثانیه ۱۶ و همچنین پایان انجماد در دمای 548 °C در ثانیه ۳۳۷ محاسبه گردید. (شکل ۱۱). میزان برد انجماد در این نمونه 55°C محاسبه گردید. گرمای نهان و فراسردی محاسبه شده برای این نمونه به‌ترتیب 373 J/gr و 2.8°C به‌دست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۱): نتایج بدست آمده از آنالیز حرارتی

آلیاژ A356	پارامترهای آنالیز حرارتی									
	نوع جوانه زا	مقدار جوانه زای اضافه شده به مذاب	مقدار Tiو B باقیمانده در مذاب	دمای شروع انجماد °C	زمان شروع انجماد (Sec)	دمای پایان انجماد °C	زمان پایان انجماد (Sec)	فراسردی یوتکتیک °C	گرمای نهان انجماد (J/gr)	برد انجماد (°C)
نمونه ۱	-----	0	---	615.7	18	568.8	216	7.9	215	46.9
نمونه۲	Al-5Ti-1B	200 gr	0.2% Ti .038% B	615.8	25	565.6	330	3.125	352	50.2
نمونه۳	قرص جوانه زای شرکت فوسیکو Nucleant 2	20gr	0.15% Ti 0.035%B	614.8	26	568.4	327	2.69	387	46.4
نمونه۴	TiBloy	320 gr	0.1% Ti 0.08% B	614	17	569.5	338	3.3	350	44.5
نمونه۵	Al-10Ti	100 gr	0.18% Ti	603	16	548	337	2.8	373	55

مقدار فراسردی این نمونه از نمونه شماره ۳ بیشتر ولی نسبت به نمونه‌های ۲و ۴ کمتر می‌باشد لذا می‌توان انتظارداشت که عملیات جوانه‌زایی و ریزدانگی در این نمونه نسبت به نمونه ۳ بهتر ولی از نمونه‌های ۲ و۴ ضعیف‌تر بوده‌است. بررسی‌های متالوگرافی صحت این نتایج را تائید می‌کند.

در نمونه‌هایی که جوانه‌زنی نشده‌بودند، میزان فراسردی ماکزیمم بالاتر از ۷ درجه سانتی‌گراد است. حال آنکه در نمونه‌های جوانه‌زنی شده میزان این فراسردی کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد است. نکته جالب آنکه هر چه میزان این فراسردی در نمونه‌های جوانه‌زنی شده به ۴ درجه سانتی‌گراد نزدیک‌تر باشد تاثیر جوانه‌زائی بیشتر بوده و دانه‌ها ریزتر شده‌اند. برد انجماد در نمونه ۴ کمترین و در نمونه ۵ بیشترین مقدار را داشتند.

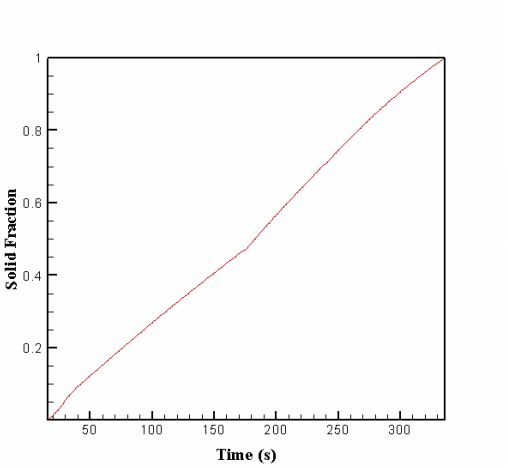
با توجه به نیاز علم و صنعت در کنترل تمامی پدیده‌های مرتبط با تحولات انتظار می‌رود که در آینده‌ای نزدیک شاهد معرفی جوانه‌زاهایی باشیم که تاثیر آنها بر پارامترهای انجماد تحت کنترل باشد.

از آنجایی که دامنه انجماد با میزان خلل و فرج نمونه‌ها نیز مرتبط است لذا می‌توان بیان کرد که از این حیث نیز جوانه زای TiBloy از دیگر جوانه‌زاها عملکرد بهتری را داشته‌است. بررسی تصاویر میکروسکوپی نشان می‌دهد که بیشترین ریزدانگی در مورد جوانه‌زای TiBloy با آنالیز (Al-1.6%Ti-1.4%B) صورت گرفته که میزان فراسردی یوتکتیک در آن حدود ۳/۳ درجه سانتی‌گراد است و سپس بیشترین ریز دانگی مربوط به جوانه‌زای Al-5%Ti-1%B با فراسردی ۳/۱ درجه سانتی‌گراد است.

در آزمایشات صورت گرفته کمترین ریز دانگی به جوانه‌زای غیرفلزی Nucleant 2 با میزان فراسردی یوتکتیک ۲/۷ درجه سانتی‌گراد مربوط می‌شود که نتایج آزمایشات متالوگرافی بر صحت این یافته‌ها دلالت دارد. بررسی مقالات سایر محققان نیز بر صحت این یافته دلالت دارد هرچند که اعداد داده شده در منحنی‌های سرد شدن آنان اختلاف بسیار جزئی (کمتر از ۰/۵ درجه سانتی‌گراد) با یافته‌های این تحقیق داشته که ممکن است به نوع قالب، نوع جوانه‌زای مصرفی، شرایط آماده‌سازی مذاب یا

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۱۲): منحنی کسر انجماد در برابر زمان نمونه۵

شرایط ذوب ریزی مرتبط باشد که در هر حال قابل صرف نظر کردن است.[۱۲ و ۱۳] در جدول (۱) اطلاعات مربوط به جوانه‌زای مصرفی و پارامترهای انجماد هر آزمایش آورده شده‌است.

در پژوهش صورت گرفته توسط Ihsan و همکارانش[۹]، مقدار گرمای نهان محاسبه شده به روش آنالیز نیوتنی برای نمونه‌ای که جوانه‌زایی نشده‌بود برابر با 230 J/gr گزارش شده در حالی که میزان ذکر شده در سایر منابع 245 J/grبوده‌است[۱۰ و ۱۴] این مقدار تقریبا با گرمای نهان محاسبه شده برای نمونه ۱ در این تحقیق همخوانی دارد. همچنین برای نمونه‌های جوانه‌زایی شده مقدار گرمای نهان محاسبه شده با روش آنالیز نیوتنی در منابع برابر 403 J/grگزارش شده‌است که با تقریب نسبتاً خوبی با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج آنالیز حرارتی و متالوگرافی نمونه ها نشان داد که هرگاه میزان تحت انجماد یوتکتیک کمتر از ۴°C گردد جوانه زنی به خوبی صورت گرفته است . حال هر کدام از جوانه زاها که تحت انجماد یوتکتیک را به ۴°C نزدیک کنند، عملکرد بهتری دارند. از این نظر جوانه‌زای TiBloy بهترین بازدهی و بعد از آن به ترتیب جوانه‌زاهای AL-5Ti-1B ، Al-10Ti و قرص جوانه زای Ncleant2 در رده های بعدی قرار می گیرند.

در مجموع آلیاژساز TiBloy را به جهت ایجاد کمترین دامنه انجماد ودر نتیجه آن کاهش خلل و فرج در قطعات و همچنین تحت انجماد یوتکتیک حدود ۴°C می‌توان به عنوان مناسب‌ترین جوانه زا جهت ریزدانگی آلیاژ A356 معرفی کرد.

برنامه کامپیوتری تهیه شده در این تحقیق می‌تواند با دقت بالایی جهت بررسی ریزدانگی، محاسبه کسر انجماد، دما و زمان شروع و پایان انجماد و محاسبه گرمای نهان انجماد در ریخته‌گری آلیاژهای گروه‌های 3XX آلومینیوم مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که عمل جوانه‌زنی و ریز کردن دانه‌ها تاثیرمشخصی بر پارامترهای زمان و درجه حرارت شروع و پایان انجماد و میزان گرمای نهان انجماد نداشته و نوع ماده جوانه زا نیز تاثیر مشخصی بر این پارامترها ندارد.

۵- مراجع

[1] D. G. Mc Crtney: Int. Mater. Rev., 1989, 34, 247–260

[2] W. Rosenhain, J. D. Grogan, and T. H. Schofield: J. Inst.Met., 1930, 44, 305–318.

[3] W. E. Sicha and R. C. Boehm: AFS Trans., 1948, 56, 398–409.

[4] A. Cibula: J. Inst. Met., 1949–1950, 76, 321–360.

[5] A. Cibula: J. Inst. Met., 1951–1952, 80, 1–16.

[6] K. G. Upadhya, D. M. Stefanescu, K. Lieu and D. P. Yeager, AFS Trans., 97 (1989)

[7] S.L.Backerud and G.K.Sigworth ,AFSTrans.97,459(1989)

[8] D.Apllian and K.R.Whaler ,AFSTrans.92.297(1984)

[9] Ihsan.ul.haq , JeSikShin, and Zin.Hyoung Lee,METALS AND MATERIALS International. Vol.10,NO.1(2004)

[10] E.Fras and H.F.Lopez,AFS Trans,101,505(1993)

[11] J.O.Barlow and D.M.Stefanescu, AFSTrans.105,349(1997)

[12] X. Chen, H. Geng, Y. Li , Material Science and Engineering. A 419. 283-289 . (2006)

www.SID.ir

Archive of SID

[13] D. Dunkelman, BCIRA Int. Conf., Uni. Of Warwick, Coventry, England. (1995)

[14] D.Emadi, L.V.Whiting ,S.Nafisi and R.Ghomashchi,Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,Vol.81,235-242 (2005)

[15] N. Arab, N. Varahram, P. Davami, "Competitive Nucleation in Gray Cast Iron", Indian Foundry Journal, May 1992.

۶- پی‌نوشت

1- Zero Curve

www.SID.ir