



## پژوهش‌نامه ریخته‌گری

### مقاله پژوهشی:

## اثر نوع بوته در کوره VIM بر رسوبات $\gamma'$ و خواص تنش گسیختگی سوپرآلیاژ پایه نیکل Rene 80

معصومه سیفاللهی<sup>۱\*</sup>، سعید کوهی فایق دهکردی<sup>۲</sup>، سید مهدی عباسی<sup>۳</sup>، سید مهدی قاضی میرسعید<sup>۴</sup>

- ۱- استادیار، پژوهشکده مواد، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوریهای ساخت - دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر.
- ۲- کارشناس ارشد متالورژی، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوریهای ساخت - دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر.
- ۳- استاد، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوریهای ساخت - دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر.
- ۴- کارشناس ارشد متالورژی، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوریهای ساخت - دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر.

\* نویسنده مکاتبه کننده: تلفن: ۰۲۹۴۵۱۴۱ ۲۱ ۹۸+، Email: m\_seifollahi@mut.ac.ir

### چکیده:

سوپرآلیاژ پایه نیکل Rene80 یکی از پرکاربردترین آلیاژها در تولید پره‌ی توربین است که به دلیل حضور عناصر گسترده در ترکیب شیمیایی، به روش ریخته‌گری القایی تحت خلأ تولید می‌گردد. در این پژوهش تاثیر نوع بوته در آلیاژسازی سوپرآلیاژ پایه نیکل Rene80 مورد بررسی قرار گرفته‌است. آلیاژسازی و ذوب مجدد در بوته‌های آلومینایی و زیرکونیایی انجام شد. پس از ذوب، آنالیز ترکیب شیمیایی، آنالیز گاز اکسیژن و نیتروژن انجام و ریزساختار با میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. عمر تنش-گسیختگی در دمای ۹۸۰ درجه سانتی‌گراد و تنش ۱۹۱ مگاپاسکال نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که نوع بوته بر اندازه‌ی رسوبات  $\gamma'$  و مورفولوژی آن بی‌تاثیر است ولی کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  پس از پیرسازی نهایی در شمش تولید شده در بوته زیرکونیایی نسبت به بوته آلومینایی به میزان ۳ درصد افزایش داشته‌است که نشان‌دهنده‌ی پایداری بیشتر بوته‌ی آلومینایی است. عمر گسیختگی آلیاژ ذوب شده در بوته‌ی زیرکونیایی نسبت به بوته‌ی آلومینایی بالاتر است که به مقدار زیادی ناشی از افزایش کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  در ریزساختار آلیاژ است.

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۱

### واژه‌های کلیدی:

سوپرآلیاژ Rene80، کوره VIM، بوته، رسوبات  $\gamma'$ ، تنش-گسیختگی

### ارجاع به این مقاله:

معصومه سیفاللهی، سعید کوهی فایق دهکردی، سیدمهدی عباسی، سیدمهدی قاضی میرسعید، اثر نوع بوته در کوره VIM بر رسوبات  $\gamma'$  و خواص تنش گسیختگی سوپرآلیاژ پایه نیکل Rene80، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، بهار و تابستان ۱۴۰۱، جلد ۶، شماره ۱، صفحات ۸-۳.  
شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2022.342625.1156

### ۱- مقدمه

خواص مکانیکی می‌شود. عناصر مضر مانند اکسیژن، نیتروژن، گوگرد و فسفر وجود دارند که باید به حداقل (در حد چند ppm) برسند [۳]. آلیاژسازی و ذوب مجدد این آلیاژ در کوره‌های تحت اتمسفر خلاء نظیر کوره القایی تحت خلاء (VIM) انجام می‌شود. واکنش نسوزهای مورد استفاده جهت ریخته‌گری سوپرآلیاژها تا حدی باعث آلودگی مذاب می‌شود. همچنین بوته باعث ایجاد درصد بالایی از آخال غیرفلزی در سوپرآلیاژهای پایه نیکل می‌شوند. اکسیژن می‌تواند از طریق بوته و در اثر تجزیه آن به مذاب وارد شود. این اکسیژن آزاد شده با عناصر فعال مذاب مانند Al واکنش داده و ایجاد آخال  $Al_2O_3$  می‌کند [۴-۷]. انحلال و

سوپرآلیاژ Rene80، یک آلیاژ پایه Ni-Cr-Co ریخته‌گری است که به علت وجود عناصر Al و Ti در آن شاهد تشکیل فاز  $\gamma'$  به عنوان فاز رسوب سخت کننده است. عناصر آلیاژی Al و Ti که جمعا در حدود ۸ درصد وزنی و زنی آلیاژ را تشکیل می‌دهند، منجر به تشکیل در حدود ۴۸ درصد حجمی رسوبات  $\gamma'$  در آلیاژ می‌گردند [۱]. افزایش خواص استحکام دما بالا توسط عناصر آلومینیم و تیتانیوم در آلیاژ ایجاد شده است. در این آلیاژ با حضور عنصر کروم، خواص مقاومت به اکسیداسیون حاصل شده و همچنین باعث ایجاد کاربیدهای  $M_{23}C_6$  می‌شود [۲]. همچنین عناصر کاربیدساز تنگستن، تیتانیوم، مولیبدن و کروم باعث بهبود

بوته آلومینایی و زیرکونیایی انجام شد. آنالیز ترکیب شیمیایی پس از آماده‌سازی سطحی، توسط دستگاه آنالیز کوانتومتری ARL3460 بررسی شد. سپس عملیات حرارتی انحلال و پیرسازی (کلاس A) بر روی شمش‌ها طبق سیکل استاندارد جنرال الکتریک [۱۳] صورت گرفت. بررسی‌های ساختاری پس از پیرسازی اولیه و ثانویه با میکروسکوپ نوری مدل OiympusBX51 و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Vega3//Tescan ساخت کشور چک مجهز به آنالیزگر EDS مدل Rontec انجام شد. ارزیابی‌های کمی ریزساختاری، توسط نرم‌افزار ImageJ و بر اساس اندازه‌گیری‌های سطحی، یعنی نسبت سطح اشغال شده فاز به سطح کل، انجام شد. محلول اچ جهت بررسی‌های ساختاری ماربل مطابق با استاندارد [۱۴] ASTM E407-99 مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های تنش گسیختگی بر طبق استاندارد [۱۵] ASTM E21 تهیه شدند. قبل از انجام آزمون تنش-گسیختگی، نمونه‌ها توسط دستگاه اشعه ایکس از لحاظ آخال اکسیدی و عیوب ریخته‌گری کنترل شدند. استخراج فازی مطابق با استاندارد [۱۶] ASTM E963-95 با چگالی جریان ۰/۱ آمپر بر سانتی‌متر مربع و محلول ۱۰٪ متانول - هیدروکلریک انجام شد و نوع و مقدار فازهای استخراج شده به روش آنالیز XRD توسط دستگاه مدل Equinox 6000 با آند مسی و ولتاژ ۴۰ Kv در محدوده زوایای ۵-۹۰ درجه انجام شد.

### ۳- نتایج و بحث

در جدول (۱) نتایج آنالیز ترکیب شیمیایی به روش کوانتومتری آورده شده است. نتایج آنالیز کوانتومتری نشان می‌دهد که میزان درصد کربن باقی‌مانده در آلیاژ ذوب مجدد شده در بوته زیرکونیایی به ۰/۱۷۸ درصد کاهش یافته است در حالی که شمش آلیاژسازی شده دارای ۰/۱۹۱ درصد کربن بوده است. دلیل کاهش میزان کربن، واکنش بین مذاب و بوته است که در نتیجه آن حباب‌های گاز  $\text{CO}_{(g)}$  تشکیل می‌شوند. این حباب‌ها خود را به سطح مذاب رسانده و با توجه به وجود خلاء در محفظه ذوب، از مذاب خارج می‌شود.

در شکل (۱) تغییرات درصد کربن در دو بوته آلومینایی و زیرکونیایی با زمان نگهداری مذاب در بوته به مدت ۳ دقیقه نشان داده شده است. در این شکل، کاهش بیشتر کربن در شمش ذوب شده در بوته آلومینایی نسبت به زیرکونیایی با زمان ثابت نگهداری مذاب در بوته مشاهده شده است. دلیل آن پایداری شیمیایی بالاتر بوته زیرکونیایی نسبت به بوته آلومینایی است.

فرسایش دو عامل مهم در واکنش مذاب و بوته است که با افزایش دما و زمان افزایش خواهند یافت [۸]. فرمول شیمیایی آلومینا  $\text{Al}_2\text{O}_3$  است. این بوته به علت قیمت پایین و در دسترس بودن کاربرد گسترده‌ای در صنایع دارد. حداکثر دمای ذوب در این بوته  $1900^\circ\text{C}$  و چگالی آلومینا  $3/7\text{gr/cm}^3$  است. فشار بخار جزئی مونوکسید کربن برای احیای آلومینا  $533/2\text{Pa}$  می‌باشد. بوته زیرکونیایی تا دمای  $1900^\circ\text{C}$  و بعد از آن ذوب‌های تمیزی می‌دهد. حداکثر دمای ذوب در این بوته‌ها  $2300^\circ\text{C}$  و فشار بخار جزئی مونوکسید کربن لازم برای احیای زیرکونیا  $133/3\text{Pa}$  می‌باشد. پایدار کننده‌های معمول زیرکونیا برای بوته‌ها، ۴ درصد وزنی  $\text{CaO}$  یا  $\text{MgO}$  است ولی با این حال یک ترکیب حاوی ۳/۵ درصد وزنی  $\text{CaO}$  و ۰/۵ درصد وزنی  $\text{MgO}$  نیز گزارش شده است. گرما دادن طولانی  $\text{ZrO}_2$  پایدار شده با  $\text{MgO}$ ، باعث عدم پایداری و بازگشت به شکل کریستالی اولیه می‌شود [۹،۱۰].

زو و همکارانش [۱۱] واکنش مذاب سوپرآلیاژ پایه نیکل حاوی هافنیوم و بوته آلومینایی و منیزیایی را مورد بررسی قرار دادند. اثر ترکیب شیمیایی بوته نیز روی آخال ایجاد شده در کوره‌های VAR و ESR توسط براون و همکارانش [۱۲] ارزیابی شد. همچنین گوشینگ [۷]، واکنش بین زیرکونیایی و آلومینایی و مذاب آلیاژ پایه نیکل با مقادیر مختلف کربن، آلومینیوم و هافنیوم مورد بررسی قرار داده است. پایداری بوته زیرکونیایی از نظر انرژی آزاد گیبس بالاست، ولی علاوه بر انرژی آزاد، پارامترهای دیگری نظیر ترشوندگی و تخلخل موجود در بوته نیز موثر هستند [۱۳]. عواملی همچون میزان خلأ، زمان نگهداری مذاب در بوته، دمای ذوب، هم‌زدن مذاب و ترکیب شیمیایی روی واکنش شیمیایی مذاب و بوته تأثیرگذار است. در تحقیقات قبلی، اثر نوع بوته بر ریزساختار و خواص مکانیکی سوپرآلیاژ Rene80 بررسی نشده است. با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این پژوهش، ارزیابی تأثیر واکنش‌های مذاب-بوته بر ریزساختار و خواص گسیختگی تنشی Rene80 است. به این منظور شمش Rene80 تولید شده در کوره VIM، مجدد در این کوره و در دو بوته آلومینایی و زیرکونیایی ذوب شد و ریزساختار و خواص گسیختگی شمش‌های حاصل ارزیابی شد.

### ۲- مواد و روش تحقیق

آلیاژسازی مطابق با ترکیب شیمیایی ذکر شده در جدول (۲)، در کوره VIM و در بوته آلومینایی انجام شد. پس از برش ۲ سانتی‌متری ابتدا و انتهای شمش، شمش حاصله به قسمت ۴ کیلوگرمی تقسیم شد. ذوب مجدد شمش‌ها در کوره VIM با دمای ذوب ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و خلاء ۰/۰۸ میلی‌بار در

جدول ۲- ترکیب شیمیایی استاندارد سوپرآلیاژ Rene80 و نتایج آنالیز کوانتومتری شمش‌های تولید شده (درصد وزنی).

Cr	Co	Ti	Al	Mo	W	C	B	Fe	Mg	Zr	شمش	
											عصر	محدوده مجاز بر اساس استاندارد AMS
۱۴/۳۰	۱۰/۰۰	۵/۲۰	۳/۲۰	۴/۳۰	۴/۳۰	۰/۱۹	۰/۱	۰/۳۵	۰/۰۱۵	۰/۱	Max	محدوده مجاز بر اساس استاندارد AMS
۱۳/۷۰	۹/۰۰	۴/۸۰	۲/۸۰	۳/۷۰	۳/۷۰	۰/۱۵	۰/۰۲	-	-	۰/۰۲	Min	
۱۳/۹۷	۹/۳۱	۵/۰۵	۲/۹۴	۳/۷۸	۳/۹۴	۰/۱۹۱	۰/۰۱۱	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۴	شمش اصلی ریختگی	
۱۳/۹۷	۹/۳۱	۵/۰۵	۲/۹۲	۳/۷۸	۳/۹۴	۰/۱۵۷	۰/۰۱۱	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۴	شمش ریختگی در بوته آلومینایی	
۱۳/۹۸	۹/۳۱	۵/۰۵	۲/۹۱	۳/۷۸	۳/۹۴	۰/۱۷۸	۰/۰۱۱	۰/۰۵	۰/۰۰۸	۰/۰۲۶	شمش ریختگی در بوته زیرکونیایی	

شرایط خلاء، مقداری از آلومینیم از مذاب به صورت بخار خارج می‌شود. مشاهده می‌شود که درصد کاهش عنصر آلومینیم در ترکیب شیمیایی در بوته آلومینایی نسبت به بوته زیرکونیایی کمتر است. دلیل این امر اضافه شدن مقداری آلومینیم به مذاب از طریق واکنش احیای بوته آلومینایی به وسیله کربن است. در شکل‌های (۲) و (۳) تصاویر الکترون ثانویه در میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از رسوبات  $\gamma'$  با بزرگنمایی ۱۵۰۰۰ در شرایط پیرسازی اولیه در دمای  $1093^{\circ}\text{C}$  و پیرسازی نهایی در دمای  $873^{\circ}\text{C}$  نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های (۲) و (۳)، مشاهده می‌شود که مورفولوژی رسوبات  $\gamma'$  در شمش‌های IN-Al-3M و IN-Zr-3M به صورت مکعبی بوده و تغییری در مورفولوژی این رسوبات ایجاد نشده است. با توجه به تغییرات ناچیز در ترکیب شیمیایی آلیاژ و همچنین ثابت بودن پارامترهای عملیات حرارتی، مقدار تغییر عدم انطباق شبکه بسیار اندک بوده و مورفولوژی رسوبات  $\gamma'$  در هر دو شمش به شکل مکعبی می‌باشد. متوسط اندازه رسوبات  $\gamma'$  در شمش‌های IN-Al-3M و IN-Zr-3M در شرایط پیرسازی اولیه و پیرسازی نهایی مطابق با جدول (۲) است. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده برای رسوبات  $\gamma'$  تفاوت چندانی در متوسط اندازه رسوبات در شمش‌های IN-Al-3M و IN-Zr-3M نیست. بنابراین تغییر نوع بوته تأثیری در متوسط رسوبات  $\gamma'$  در حالت‌های پیرسازی اولیه و پیرسازی نهایی ندارد.

در هر دو شمش IN-Al-3M و IN-Zr-3M، اندازه رسوبات  $\gamma'$  با انجام عملیات پیرسازی نهایی نسبت به پیرسازی اولیه افزایش یافته است. دلیل افزایش اندازه متوسط رسوبات  $\gamma'$  بر اساس تئوری LSW پیروی از قانون مکعب می‌باشد که بر پایه قوانین نفوذ اتفاق می‌افتد. بر اساس این تئوری، با توجه به دما و زمان انجام عملیات پیرسازی، رشد به صورت رقابتی بوده و رسوبات درشت در ازای انحلال رسوبات کوچکتر، درشت‌تر می‌شوند.



شکل ۱- اثر نوع بوته بر درصد وزنی کربن با زمان نگهداری مذاب در بوته به مدت ۳ دقیقه.

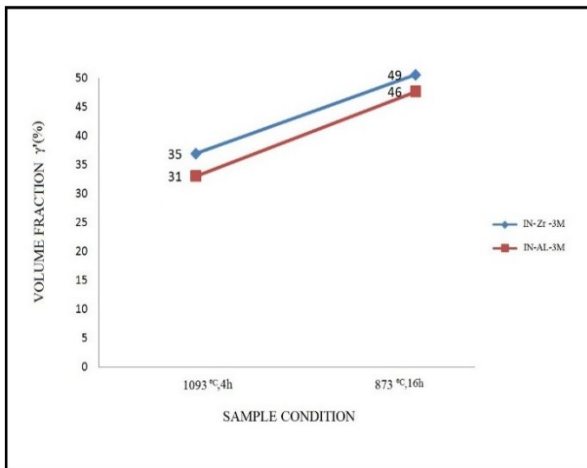
با توجه به انرژی آزاد گیبس، اکسید زیرکونیم در مقایسه با اکسید آلومینیم در دمای  $1500^{\circ}\text{C}$  پایدارتر است. به دلیل پایداری بیشتر بوته زیرکونیایی، مقدار واکنش کربن با نسوز بوته بر طبق واکنش (۱) و (۲) کاهش یافته و در نتیجه کربن کمتری به گاز  $\text{CO(g)}$  تبدیل می‌شود. بنابراین درصد وزنی کربن در شمش تولید شده در بوته زیرکونیایی نسبت به شمش تولید شده در بوته آلومینایی بالاتر است.



با توجه به جدول (۱)، درصد وزنی آلومینیم در بوته زیرکونیایی به میزان  $0/03$  درصد کاهش یافته است. دلیل کاهش درصد آلومینیم در بوته زیرکونیایی، تبخیر آلومینیم با توجه به فشار بخار بالای این عنصر ( $10\text{mmHg}$ ) در شرایط کاری دما و خلاء کوره می‌باشد. همچنین درصد کاهش آلومینیم در بوته آلومینایی  $0/02$  درصد بوده است. در بوته آلومینایی نیز با توجه به دما و

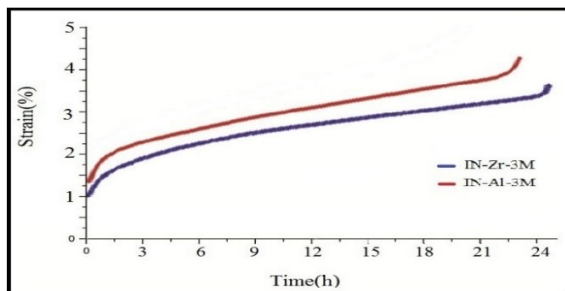
رسوبات  $\gamma'$  در شرایط پیرسازی اولیه و پیرسازی نهایی آورده شده است.

با توجه به شکل (۴)، مشاهده می‌شود که کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  در شمش IN-Zr-3M نسبت به شمش IN-Al-3M در شرایط پیرسازی اولیه و پیرسازی نهایی افزایش داشته است. نتایج آنالیز کوانتومتری نشان داد که درصد وزنی عنصر آلومینیم در بوته زیرکونیایی نسبت به بوته آلومینیایی کاهش کمتری داشته است. لذا کاهش درصد وزنی آلومینیم که ناشی از پایداری بیشتر بوته زیرکونیایی نسبت به بوته آلومینیایی می‌باشد، باعث افزایش کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  در شمش IN-Zr-3M می‌شود. همچنین افزایش کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  در حین پیرسازی نهایی در هر دو شمش به دلیل تبدیل بیشتر یوتکتیک‌های  $\gamma$ - $\gamma'$  به رسوبات  $\gamma'$  و تشکیل رسوبات  $\gamma'$  ثانویه در اثر انجام عملیات پیرسازی است.

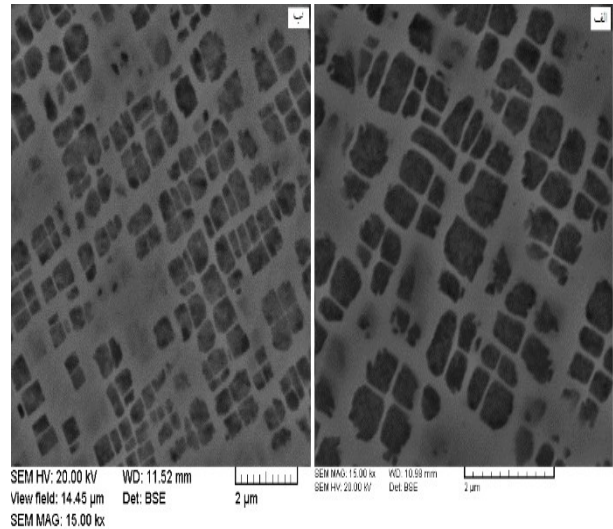


شکل ۴- کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  در شرایط پیرسازی اولیه و پیرسازی نهایی در شمش‌های IN-Zr-3M و IN-Al-3M

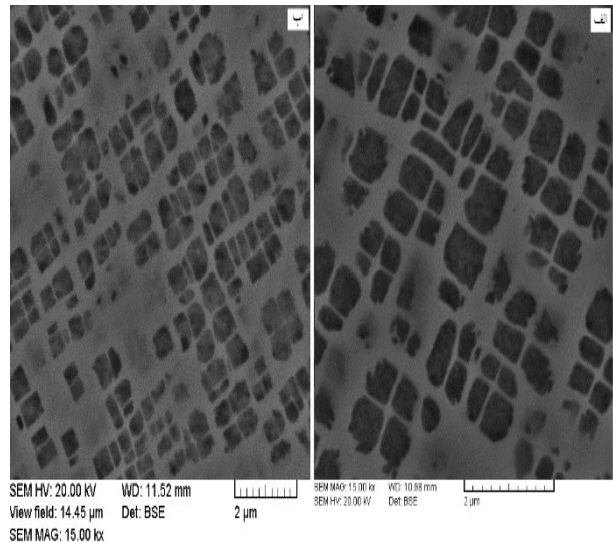
آزمون تنش- گسیختگی در شرایط  $980^{\circ}\text{C}$  و تنش  $191\text{MPa}$  بر روی آلیاژهای پیرسازی نهایی شده انجام گرفت. منحنی‌های کرنش بر حسب زمان حاصل از این آزمون در شکل (۵) نشان داده شده است. به منظور مقایسه بهتر، داده‌های به دست آمده از این منحنی‌ها در جدول (۳) آورده شده است.



شکل ۵- نمودار تنش- گسیختگی شمش‌های تولید شده در شرایط پیرسازی نهایی



شکل ۲- تصویر الکترون ثانویه میکروسکوپ الکترونی روبشی از رسوبات  $\gamma'$  با بزرگنمایی  $15000\times$  در شرایط پیرسازی اولیه در دمای  $1093^{\circ}\text{C}$  و زمان ۴ ساعت. (الف) شمش IN-Al-3M، (ب) شمش IN-Zr-3M



شکل ۳- تصویر الکترون ثانویه میکروسکوپ الکترونی روبشی از رسوبات  $\gamma'$  با بزرگنمایی  $15000\times$  در شرایط پیرسازی اولیه در دمای  $873^{\circ}\text{C}$  و زمان ۱۶ ساعت. (الف) شمش IN-Al-3M، (ب) شمش IN-Zr-3M

جدول ۲- اندازه متوسط رسوبات  $\gamma'$  در شمش‌های IN-Al-3M و IN-Zr-3M در شرایط پیرسازی اولیه و پیرسازی نهایی

عنوان	متوسط اندازه رسوبات $\gamma'$ در پیرسازی اولیه بر حسب نانومتر	متوسط اندازه رسوبات $\gamma'$ در پیرسازی نهایی بر حسب نانومتر
شمش IN-Al-3M	۳۲۵	۴۶۱
شمش IN-Zr-3M	۳۴۰	۴۷۶

کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  در شمش‌های IN-Al-3M و IN-Zr-3M در شرایط پیرسازی اولیه در دمای  $1093^{\circ}\text{C}$  و پیرسازی نهایی در دمای  $873^{\circ}\text{C}$  اندازه‌گیری شد. در شکل (۴) کسر حجمی

[8] Kuang J.P., Harding R.A. and Campbell J., A study of refractories as crucible and mold materials for melting and casting  $\gamma$ -Ti Al alloys, *Materials Science and Technology*, 2000, 16, 1007-1016.

[9] www.zircoa.com, technical report, 2007.

[10] www.dayson.com, Technical report, 2009.

[11] Zou M.M., Soton J., Li B., Effect of melt overheating history on the microstructure of Ni base single crystal superalloy, *Advanced Materials Research*, 2011, 217, 692-696.

[12] Brown W.S., Gas phase embrittlement and time dependent cracking of nickel-based superalloys, *Institute of Materials and Mining*, 2006, 1, 59-79.

[13] Li J., Zhang H., Gao M., Li Q., Haichao L., Zhang H., Effect of vacuum level on the interfacial reactions between K417 superalloy and  $Y_2O_3$  crucibles, *Vacuum*, 2020, 182, 109701.

[14] Safari and Nategh S., On the heat treatment of Rene80 nickel base superalloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, 176, 240-250.

[15] ASTM E407-99, Standard practice for microteaching metals and alloys, ASTM International.

[16] ASTM E21, Standard test methods for tension testing metallic materials, ASTM International.

[17] ASTM E963-95, Standard practice for electrolytic extraction of phases from Ni and Ni-Fe base superalloys using a hydrochloric-methanol electrolyte, ASTM International.

[18] Zhao S., Xie X. and smith G., Gamma prime coarsening and age-hardening behaviors in a new nickel base superalloy, *Materials Letters*, 2004, 11, 1784-1787.

جدول ۳- داده‌های به دست آمده از منحنی‌های حاصل از آزمون تنش گسیختگی

آلیاژهای پیرسازی نهایی شده در شرایط  $980^\circ C$  و تنش  $191 MPa$

آلیاژ	زمان شکست (h)	کرنش شکست (%)	نرخ کرنش حالت پایا ( $s^{-1}$ )
IN-Zr-3M	۲۴/۷	۳/۲	$3/3 \times 10^{-5}$
IN-Al-3M	۲۲/۶	۳/۷	$2/4 \times 10^{-5}$

ارتباط بین افزایش زمان شکست به مقدار زیادی ناشی از افزایش کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  در ریزساختار آلیاژ می‌باشد. با افزایش کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$ ، موانع جلوی حرکت نابجایی‌ها بیشتر و فاصله بین موانع کاهش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$ ، عرض کانال‌های زمینه که همان شبکه‌های آستنیت می‌باشد، کاهش می‌یابد. در نتیجه چگالی نابجایی‌ها در حین خزش افزایش می‌یابد که باعث افزایش استحکام آلیاژ می‌شود.

### نتیجه‌گیری

- ۱- با توجه به ترکیب شیمیایی سوپرآلیاژ پایه نیکل Rene80، عناصر آلومینیوم و کربن بیشتر از دیگر عناصر تحت تأثیر واکنش مذاب-بوته قرار می‌گیرند.
- ۲- در اثر واکنش مذاب با بوته، میزان اکسیژن مذاب افزایش می‌یابد.
- ۳- شمش تولید شده در بوته زیرکونیا نسبت به شمش تولید شده در بوته آلومینا، به علت پایداری ترمودینامیکی بالاتر، پس از پیرسازی نهایی کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  بیشتری دارد.
- ۴- با کاهش کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$ ، عمر تنش-گسیختگی سوپرآلیاژ پایه نیکل Rene80 کاهش می‌یابد.

### مراجع

[1] Pridgeon J.W., In superalloys source book, American Society for Metals, 1984, 201-217.

[2] Dekar R.F., Strengthening mechanisms in nickel base superalloys, *Symposium Steel Strengthening Mechanisms*, 1970, 147-170.

[3] Donachie M.J. and Donachie S.J., *Superalloys a technical guide*, ASM International, Second Edition, 2002.

[4] Yang C., Xu Y., Nie H., Effects of heat treatments on the microstructure and mechanical properties of rene80, *Materials and Design*, 2013, 43, 66-73.

[5] Shamblen C.E., Chang D.R. and Corrado J.A., *Superalloy melting and cleanliness evaluation*, General Electric Company, 1984, 509-520.

[6] Wang J., Wang L., Lia J., Chen C., Yang S., Li X., Effects of aluminum and titanium additions on the formation of nonmetallic inclusions in nickel-based superalloys, *Journal of Alloys and Compound*, 2022, 906, 164281.

[7] Gusching D., *Inclusions in vacuum induction melted nickel base alloys*, Department of Metallurgical Engineering, Ph.D. Thesis, University of Arizona, 1981.

IRANIAN FOUNDRYMEN'S  
SOCIETY

## Founding Research Journal

### Research Paper:

### Effect of Crucible Type on $\gamma'$ Precipitates and Stress Rupture Properties of Rene80 Superalloy

Masumeh Seifollahi<sup>1\*</sup>, Saeed Kouhi Faeigh Dehkordi<sup>2</sup>, Seyed Mahdi Abbasi<sup>3</sup>, Seyed Mahdi Ghazi Mirsaeed<sup>4</sup>

1. Assistant Professor, Materials Department, Malek Ashtar University of Technology.

2. M.Sc., Materials Department, Malek Ashtar University of Technology.

3. Professor, Materials Department, Malek Ashtar University of Technology.

4. M.Sc., Materials Department, Malek Ashtar University of Technology.

\* Corresponding author, P.O. Box 15875-1774, Lavizan, Tehran, Iran. Tel/Fax: +98 21 22945141. E-mail: m\_seifollahi@mut.ac.ir

#### Paper history:

Receive Date: 16 May 2022

Accept Date: 23 July 2022

#### Keywords:

Crucible type,  
VIM furnaces,  
 $\gamma'$  precipitates,  
Stress rupture properties,  
Rene 80 superalloy.

#### Abstract:

Rene80 is a cast alloy which widely used in turbine blade industry. The purpose of this investigation is to study the effect of crucible type (Zirconia and Alumina) in vacuum induction melting furnace (VIM) with alumina crucible on the amount of gases,  $\gamma'$  precipitates and stress rupture properties of Rene80 superalloy. For this purpose, the amount of O, N gasses and chemical composition were analyzed. The microstructure was assessed by scanning electron microscopy (SEM) and stress rupture properties was performed at 980°C. The results showed that Crucible type has no considerable effect on the  $\gamma'$  size and morphology but  $\gamma'$  volume fraction increased about 3% in the alloy melts in Zirconia crucible in comparison to Alumina one. The result of mechanical test showed that the stress-rupture life of sample melts in Alumina and Zirconia crucibles are 22.6 and 24.7 respectively because of reducing  $\gamma'$  volume fraction in the alloy melt in Alumina crucible.

#### Please cite this article using:

Masumeh Seifollahi, Saeed Kouhi Faeigh Dehkordi, Seyed Mahdi Abbasi, Seyed Mahdi Ghazi Mirsaeed, Effect of Crucible Type on  $\gamma'$  Precipitates and Stress Rupture Properties of Rene 80 Superalloy, in Persian, Founding Research Journal, 2022, 6(1) 3-8.

DOI: 10.22034/FRJ.2022.342625.1156

Journal homepage: [www.foundingjournal.ir](http://www.foundingjournal.ir)