



نشریه علمی

## پژوهش نامه ریخته‌گری

انجمن علمی ریخته‌گری ایران

مقاله پژوهشی:

### ارزیابی تاثیر عملیات پیرسازی بر ریزساختار و سختی سوپرآلیاژ بر پایه ترکیب Co-Al-W-Ti-Ta

مصطفی اطمینان<sup>۱</sup>، مریم مرکباتی<sup>۲\*</sup>، سید مهدی قاضی میرسعید<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های‌ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۲- استادیار مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های‌ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

۳- محقق کارشناس ارشد، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های‌ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

\* نویسنده مکاتبه کننده: m\_morakabati@mut.ac.ir

#### چکیده:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۷

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۳

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی تاثیر دما و زمان عملیات پیرسازی بر ریزساختار و سختی سوپرآلیاژ پایه کبالت نسل جدید با ترکیب Co-7Al-7W-4Ti-2Ta است. به این منظور شمش سوپرآلیاژ پایه کبالت نسل جدید با ترکیب مذکور به کمک کوره VAR و VIM ریخته‌گری شد. پس از آن، عملیات پیرسازی روی نمونه‌ها در دماهای ۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد طی زمان‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت انجام و سپس سرمایش در هوا صورت گرفت. در ادامه، نمونه‌ها تحت بررسی‌های ریزساختاری بوسیله میکروسکوپ نوری و الکترونی و سختی سنجی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با پیرسازی آلیاژ مورد مطالعه رسوب‌های  $\gamma'$  جوانه‌زنی و رشد کرده که با زیاد شدن دمای پیرسازی از ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد، کسر و اندازه این رسوب‌ها نیز افزایش یافت. لذا حداکثر سختی برای نمونه پیرسازی شده در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت بدست آمد. با افزایش دمای پیرسازی تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد، سختی کاهش یافت که علت آن افزایش رسوب‌گذاری فاز مضر  $\beta$  حاوی Al-Co-Ti و مصرف عناصر تشکیل‌دهنده فاز  $\gamma'$  و در نتیجه کاهش کسر سطحی این فاز مفید است.

#### واژه‌های کلیدی:

سوپرآلیاژ پایه کبالت نسل جدید، عملیات حرارتی پیرسازی، ریزساختار، سختی

#### ارجاع به این مقاله:

مصطفی اطمینان، مریم مرکباتی، سید مهدی قاضی میرسعید، ارزیابی تاثیر عملیات پیرسازی بر ریزساختار و سختی سوپرآلیاژ بر پایه ترکیب Co-Al-W-Ti-Ta، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، تابستان ۱۳۹۹، جلد ۴، شماره ۲، صفحات ۸۹-۹۸.  
شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/FRJ.2020.232939.1119

#### ۱- مقدمه

استحکام بخش  $\gamma'$  انجام می‌شود. بنابراین باید حد بهینه پیرسازی نیز لحاظ شود تا مناسب‌ترین خواص خزشی حاصل شود [۹-۵]. با تغییر زمان و دمای پیرسازی، کسر حجمی و مورفولوژی رسوبات  $\gamma'$  تغییر می‌کند. در حالت ایده‌آل با اعمال شرایط خزش، ناپجایی‌های متحرک توسط رسوبات  $\gamma'$  مهار می‌شوند [۱۳-۱۰]. اما مطابق با مطالعات [۱۴]، کسر حجمی بهینه برای اثر بخشی حدوداً ۷۰٪ است. اگر کسر حجمی کمتر از این مقدار باشد بیشترین میزان تغییر شکل در داخل فاز زمینه محدود می‌شود و اگر کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  بیش از ۷۰٪ باشد، اثر فصل مشترک رسوب زمینه در مقاومت به خزش کاهش پیدا می‌کند. به این ترتیب ترکیب شیمیایی، شکل، اندازه و کسر حجمی

تلاش برای دستیابی به ساختار دوفازی  $\gamma/\gamma'$  در سوپرآلیاژهای پایه کبالت مشابه با سوپرآلیاژهای پایه نیکل سبب شد تا در پژوهش روی سیستم سه‌گانه Co-Al-W، فاز  $\gamma'$  با ترکیب  $\text{Co}_3(\text{Al}, \text{W})$  به دست آید [۲۰، ۱]. این رسوب‌ها با نظم بلوری  $L1_2$  در برابر افزایش دما دست‌خوش افزایش استحکام می‌شوند که به رفتار تنشی غیرطبیعی موسوم است. لذا سوپرآلیاژهای پایه کبالت حاوی رسوب‌های  $\gamma'$ ، سوپرآلیاژهای پایه کبالت نسل جدید اطلاق شدند [۴، ۳]. عملیات حرارتی همگن‌سازی و پیرسازی در این سوپرآلیاژها به جهت کنترل کسر حجمی، اندازه و مورفولوژی فازهای مضر مانند  $\mu$  ( $\text{Co}_3\text{W}$ )،  $\beta$  (CoAl) و  $\chi$  ( $\text{Co}_7\text{W}_6$ ) و همچنین رسوب‌های

۷۰۰، ۸۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد و مدت زمان‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت تحت اتمسفر هوا انجام پذیرفت. پس از پیرسازی نمونه‌ها در شرایط متفاوت، سطح نمونه‌ها سنباده‌زنی و پولیش شد. نمونه‌ها داخل محلول اچ با ترکیب  $100 \text{ ml HNO}_3 + 100 \text{ ml H}_2\text{O}_2 + 100 \text{ ml HCL}$  به مدت ۲ تا ۲۰ دقیقه قرار گرفتند و سطح آن‌ها به کمک میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های ریزساختاری به کمک میکروسکوپ نوری Olympus DP25 انجام شد. به منظور تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM، ساخت شرکت Zeiss و مدل DSM-960A استفاده شد. در پژوهش حاضر، از نرم‌افزار ImageJ برای تعیین درصد فازها مطابق با استاندارد ASTM E 1245 استفاده شد. همچنین با استفاده از دستگاه سختی‌سنج مدل Easy way سختی نمونه‌ها در مقیاس میکرو و ماکرو و برای هر نمونه ۳ مرتبه اندازه‌گیری شد. بار اعمالی جهت انجام آزمایش سختی سنجی ماکرو برابر با ۳۰ کیلوگرم و در آزمایش سختی سنجی میکرو برابر با ۳۰۰ گرم انتخاب شد و در هر دو حالت سختی سنجی ماکرو و میکرو نیز زمان اعمال بار ۳ ثانیه اتخاذ شد.

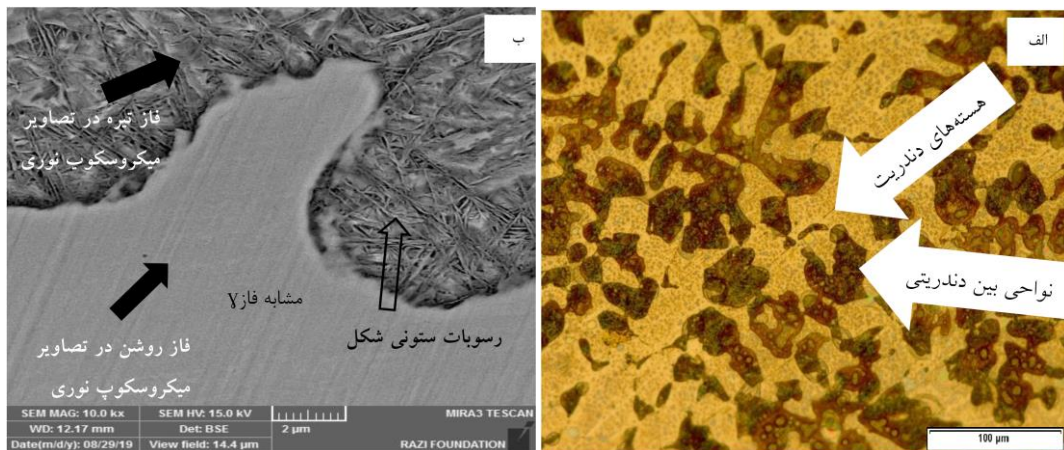
### ۳- نتایج و بحث

شکل (۱)، تصاویر میکروسکوپ نوری و الکترونی مربوط به نمونه‌ی ریختگی را نشان می‌دهد. فازهای روشن هسته‌های دندریت و فازهای تیره نواحی بین دندریتی را تشکیل می‌دهند. ۳۰٪ کسر سطحی را مناطق بین دندریتی و مابقی را هسته‌های دندریت تشکیل داده‌اند. پژوهشگران [۲۰-۱۶] گزارش کرده‌اند که فاز  $\gamma'$  در تصاویر SEM سوپرآلیاژهای پایه کبالت نسل جدید، بصورت رسوبات روشن داخل فاز تیره رنگ (زمینه) قرار دارد که پس از عملیات همگن‌سازی انحلال پیدا می‌کند.

رسوبات  $\gamma'$  روی عمر خزشی این دسته از مواد تاثیر می‌گذارد. همچنین اثبات شده است که در صورت بهینه‌سازی ترکیب و عملیات حرارتی خواص استحکام دما بالای این دسته از مواد حتی می‌تواند از برخی از سوپرآلیاژهای پایه نیکل نسل ۴ هم برتر باشد [۱۵، ۱۴، ۱۵]. باتوجه به این که از معرفی این دسته از آلیاژهای دما بالا زمان زیادی نمی‌گذرد، بیشتر تحقیقات روی تاثیر عناصر آلیاژی بر خواص این مواد معطوف شده است و تحقیقات کمی [۱۰، ۸، ۵، ۳، ۱] روی تاثیر عملیات حرارتی بر خواص آن‌ها منتشر شده است. مطالعات [۵، ۴، ۲] نشان می‌دهند با جایگزین کردن مقادیری تانتالیم به جای تنگستن، کسر حجمی، دمای انحلال و استحکام رسوبات  $\gamma'$  افزایش می‌یابد، لذا در پژوهش حاضر ترکیب مناسب جهت دستیابی به ساختار و خواص مکانیکی مناسب بصورت Co-7Al-7W-4Ti-2Ta انتخاب شد. بر این اساس، هدف از این پژوهش بررسی تاثیر عملیات پیرسازی بر ریزساختار و سختی سوپرآلیاژ پایه کبالت نسل جدید با ترکیب Co-7Al-7W-4Ti-2Ta است.

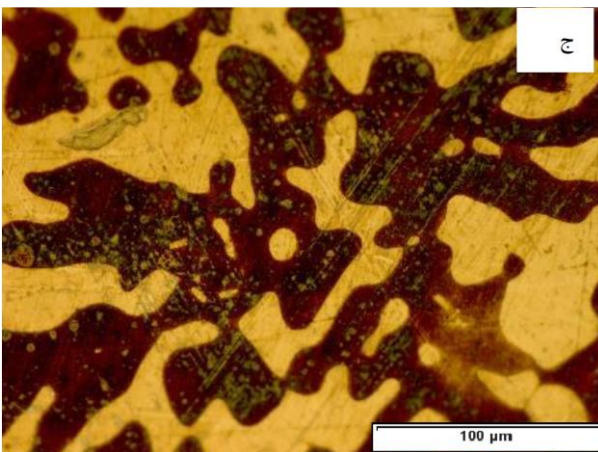
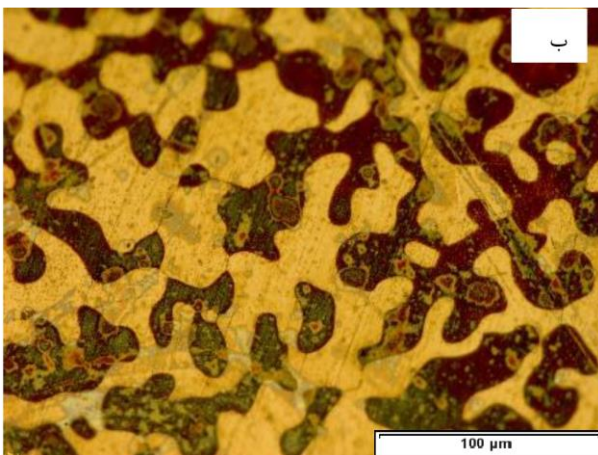
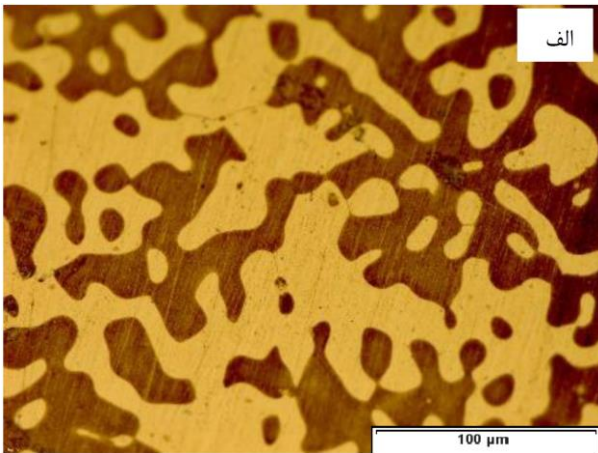
### ۲- مواد و روش پژوهش

شمش مکعبی با وزن ۲ کیلوگرم از جنس سوپرآلیاژ پایه کبالت نسل جدید با ترکیب اسمی (Co-7Al-7W-4Ti-2Ta %wt) به وسیله کوره القایی تحت خلاء، VIM، با میزان خلاء  $10^{-2}$  میلی‌بار تولید شد. به منظور کاهش جدایش عناصر آلیاژی و ساختارهای دندریتی، عملیات ذوب مجدد نیز بوسیله کوره قوس الکتریکی ذوب مجدد تحت خلاء VAR با میزان خلاء  $10^{-2}$  میلی‌بار انجام شد. سپس جهت بررسی تاثیر دما و زمان عملیات حرارتی، عملیات پیرسازی روی شمش همگن‌سازی شده در دماهای



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ: الف) نوری و ب) الکترونی روبشی سوپر آلیاژ Co-7Al-7W-4Ti-2Ta در حالت ریختگی.

که ترکیب رسوب‌های ستونی شکل به ترکیب فاز  $\gamma'$  موجود در سوپرآلیاژ مورد بررسی در پژوهش حاضر بسیار نزدیک است. شکل (۵)، تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌های پیرسازی شده در دمای  $800^{\circ}\text{C}$  را نشان می‌دهد. در این دما با افزایش زمان عملیات پیرسازی رسوبات تیره رنگی در داخل فاز هسته‌های دندریتی جوانه‌زنی کرده‌اند و با گذشت زمان به کسر حجمی این رسوبات افزوده شده است. به طوری که پس از گذشت ۲۴ ساعت



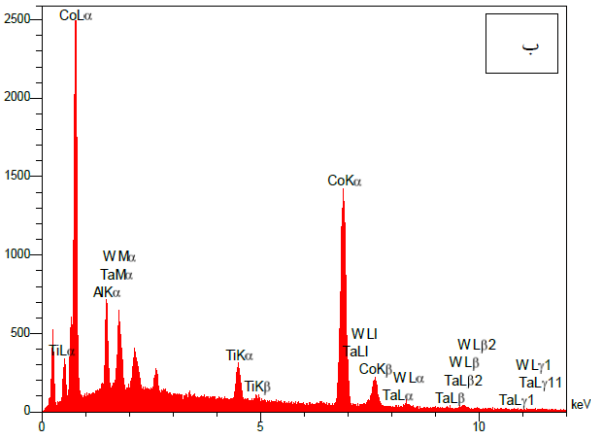
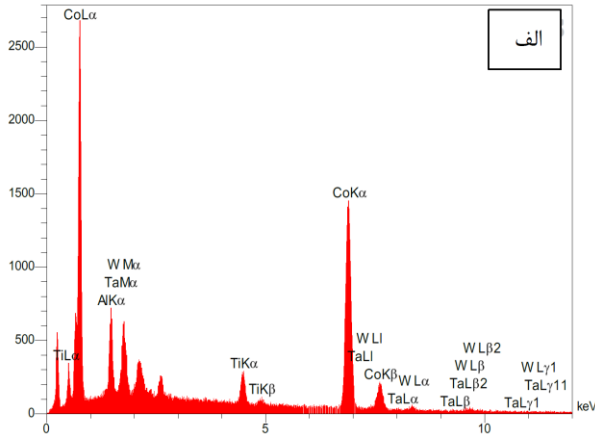
شکل ۲- ریزساختار آلیاژ مورد مطالعه پس از پیرسازی در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  و به مدت زمان‌های: الف- ۸، ب- ۱۶ و ج- ۲۴ ساعت و سرمایش در هوا.

تصویر شکل (۱-ب) نیز نشان می‌دهد که رسوبات ستونی شکل و روشن مشابهی داخل فاز بین‌دندریتی وجود دارند. در واقع مطابق با تحقیقات [۲] مناطق بین‌دندریتی تیره رنگ دارای ترکیبی نزدیک به ترکیب فازهای  $\gamma$ ،  $\gamma'$  و  $\beta$  است. شکل (۲) تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌های پیرسازی شده در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  به مدت زمان‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ ساعت را نشان می‌دهد. با نگاهی اجمالی، می‌توان دریافت که نسبت به نمونه ریخته‌گی، فاز بین‌دندریتی تیره افزایش پیدا کرده است. با پیرسازی در دمای  $700^{\circ}\text{C}$ ، با گذشت زمان، فاز بین‌دندریتی، تیره‌تر شده است. کسر سطحی فاز تیره حین پیرسازی در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  پس از ۲۴ ساعت به میزان ۳۵٪ افزایش پیدا کرده است. با توجه به شکل (۲) با اعمال عملیات پیرسازی در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  فاز روشن تغییری پیدا نکرده است.

جهت بررسی بهتر، در ادامه از میکروسکوپ الکترونی روبشی و سختی‌سنجی بهره گرفته شد. شکل (۳) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مربوط به نمونه پیرسازی شده در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت را نشان می‌دهد. در مورد پیرسازی در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  با توجه به تصاویر شکل (۳-الف) و (۳-ب)، می‌توان رسوب‌های کروی را مشاهده کرد که به صورت یکنواختی داخل فاز زمینه توزیع شده‌اند. میانگین اندازه این رسوب‌ها ۴۲۷ نانومتر است و نحوه قرارگیری آن‌ها در فاز زمینه بسیار شبیه به مورفولوژی ریزساختار دوفازی  $\gamma/\gamma'$  است. همچنین در این دما، رسوب‌های ستونی شکلی که در ساختار ریخته‌گی که در شکل (۱) حضور دارند نیز به صورت بسیار ظریف داخل فاز بین‌دندریتی مشاهده می‌شوند. مقدار بسیار کمی از رسوب‌های تیره رنگ و خطی شکل نیز داخل هسته‌های دندریتی رسوب‌گذاری کرده‌اند که با علامت ستاره داخل شکل (۳-الف) قابل مشاهده هستند. در ادامه از آنالیز نقطه‌ای جهت بررسی این فازها کمک گرفته شده است. شکل (۳-ج)، رسوب‌های ستونی شکل داخل فاز بین‌دندریتی را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز عنصری نقاط A و B در شکل (۴) و جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به نتایج بالا، رسوب‌های ستونی شکل روشن داخل فاز بین‌دندریتی که داخل شکل (۳-ج) و نقطه A مشخص هستند، نسبت به زمینه اطراف خود (نقطه B) غلظت بیشتری از عناصر آلومینیم، تنگستن، تیتانیم و مخصوصاً تانتالیم را در خود جای داده‌اند. در پژوهش‌های اخیر [۴، ۵، ۶، ۱۶] تاکید شده است که عناصر تنگستن، تانتالیم و تیتانیم میل شدیدی به جای‌گیری داخل فاز  $\gamma'$  دارند. در این پژوهش‌ها، ترکیب مشابهی برای آنالیز نقطه‌ای فاز  $\gamma'$  گزارش شده است. از این رو می‌توان نتیجه گرفت

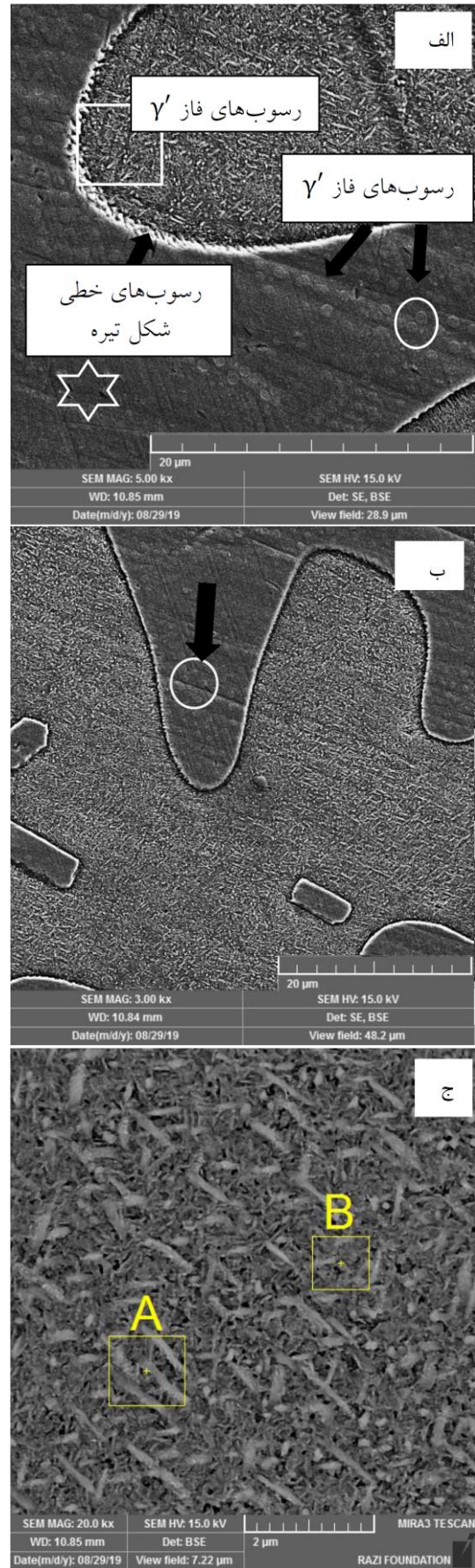
جدول ۱- نتیجه آنالیز EDS نقاط A و B مربوط به شکل ۳-ج (درصد اتمی).

درصد اتمی	کبالت	آلومینیوم	تنگستن	تیتانیوم	تانالتیم
A	۷۹/۱	۹/۵	۵/۵	۴/۹	۱
B	۸۲/۲	۸/۸	۴/۵	۴	۰/۵

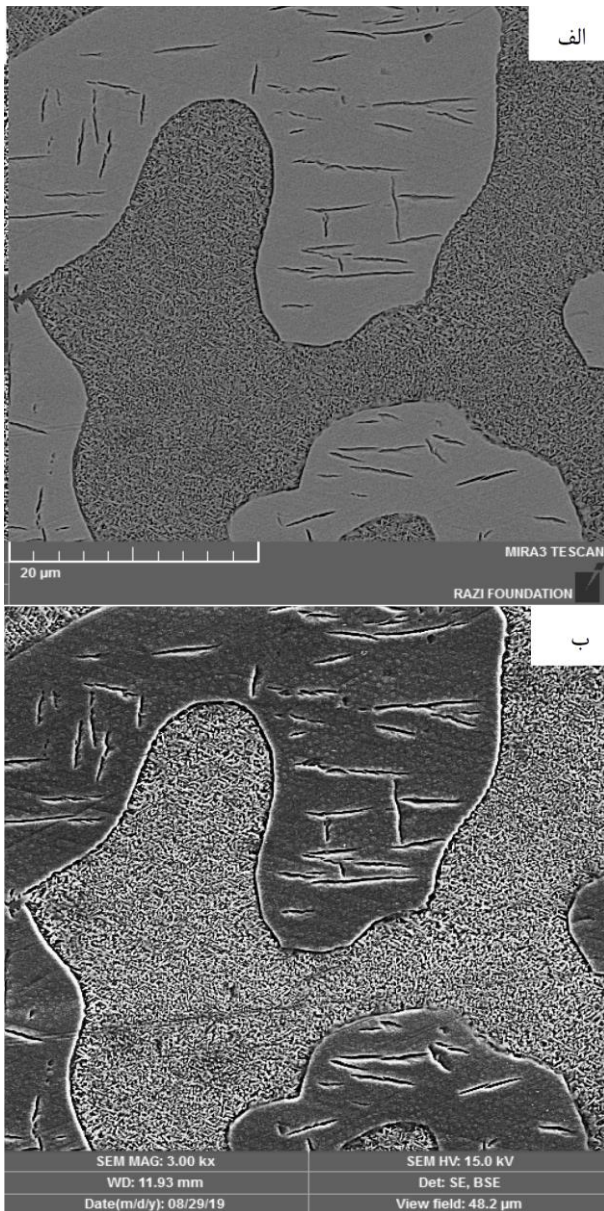


شکل ۴- نتایج حاصل از آنالیز EDS نقاط: الف: A و ب: B مربوط به شکل ۳-ج.

در دمای ۸۰۰°C هسته‌های دندریتی مملو از رسوبات تیره رنگ تیغه‌ای شکل شده است. همچنین با گذشت زمان فاز بین دندریتی روشن‌تر شده است که این رفتار بر خلاف نتایج پیرسازی در دمای ۷۰۰°C در شکل (۲) است. همچنین با بررسی روند تغییر فازها در شکل (۶) می‌توان مشاهده کرد که با پیرسازی در دمای ۸۰۰°C، با گذشت زمان کسر سطحی فاز بین دندریتی کاهش پیدا کرده است. کسر سطحی فاز بین دندریتی پس از گذشت ۲۴ ساعت پیرسازی در دمای ۸۰۰°C به ۲۳٪ رسیده است. در این دما نیز رسوبات خطی شکل تیره داخل فاز بین دندریتی جوانه‌زنی و رشد کرده‌اند و میانگین اندازه آن‌ها ۴۳۶ نانومتر است.

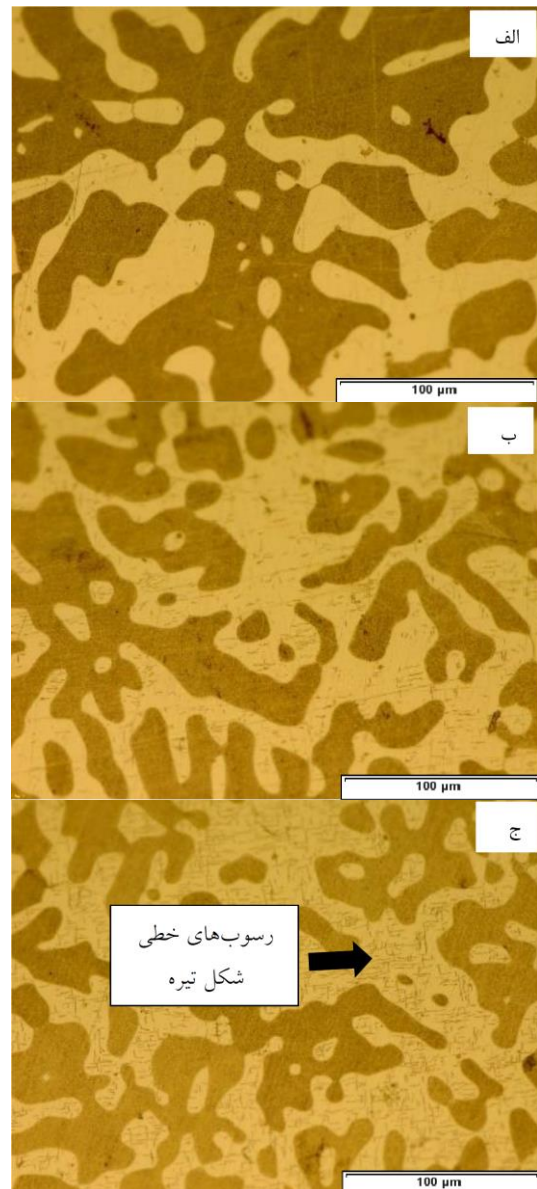


شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه پیرسازی شده در دمای ۷۰۰°C به مدت زمان ۲۴ ساعت- الف و ب: مناطق مختلف ساختار و ج: قسمت مشخص شده با مربع داخل قسمت الف است (نواحی A و B مربوط به آنالیز نقطه‌ای می‌باشند).



شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه پیرسازی شده در ۸۰۰°C به مدت ۲۴ ساعت الف: الکترون برگشتی و ب: الکترون ثانویه.

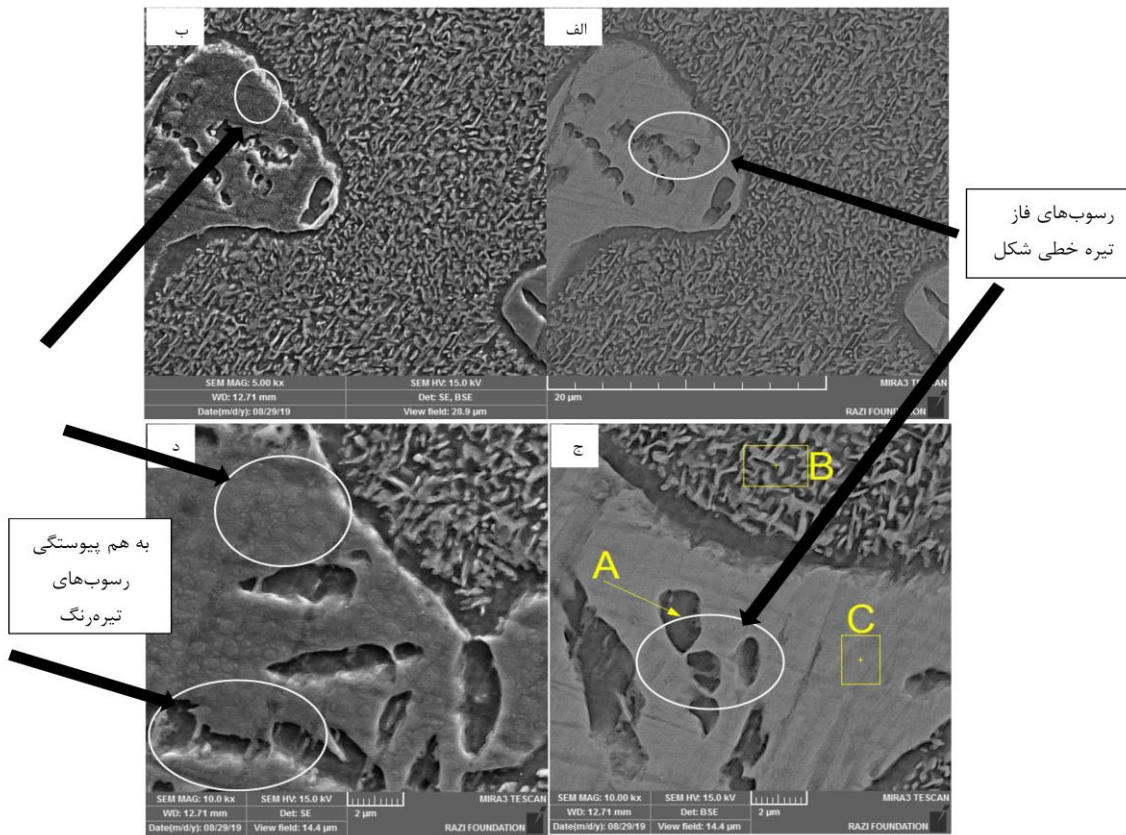
پیدا کرده است. و این فاز علاوه بر جوانه‌زنی در میان هسته‌های دندریتی، داخل فاز بین دندریتی نیز جوانه‌زنی و رشد کرده است. شکل (۷)، نشان می‌دهد که رشد این فاز به حدی بوده که ضخامت این فاز به ۲ میکرومتر نیز رسیده است. این درحالی است که بیشترین ضخامت این فاز در نمونه‌های پیرسازی شده در دماهای ۷۰۰°C و ۸۰۰ از ۵۰۰ نانومتر تجاوز نکرده است. نکته قابل توجه دیگر به‌هم پیوستگی رسوب‌های ستونی روشن داخل هسته‌های دندریت در دمای ۹۰۰°C است. مطابق با شکل (۷-ج)، در این دما رشد رسوب‌های ستونی شکل به حدی بوده که با افزایش ضخامت به یکدیگر پیوسته‌اند. شکل (۹) و جدول (۲)، نتایج حاصل از آنالیز EDS نقاط A، B و C مربوط به شکل (۸-ج) را نشان می‌دهد.



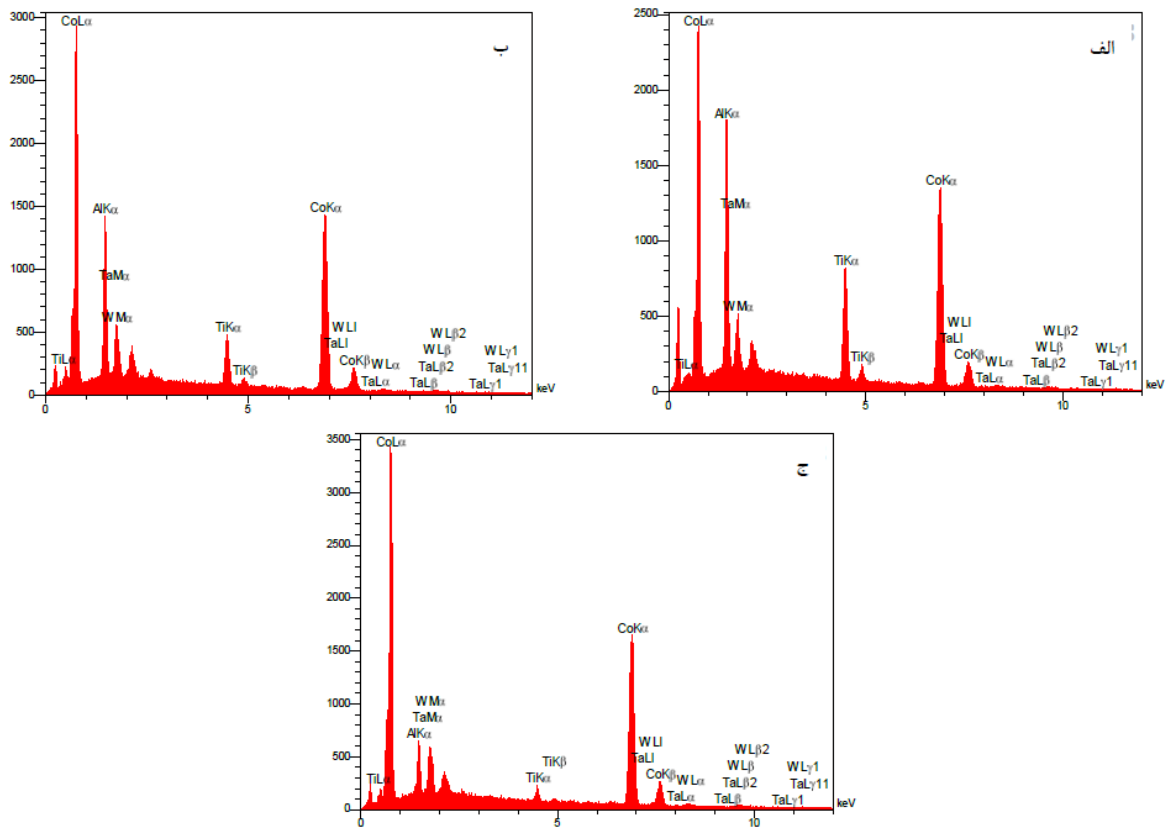
شکل ۵- ریزساختار آلیاژ ذوب مجدد و همگن‌سازی شده پس از پیرسازی در دمای ۸۰۰°C به مدت زمان‌های الف- ۸، ب- ۱۶ و ج- ۲۴ ساعت و سرمایش در هوا.

شکل (۷)، تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه‌های پیرسازی شده در دمای ۹۰۰°C را نشان می‌دهد. در این دما پایداری رسوبات تیره رنگ تیغه‌ای شکل به‌شدت افزایش پیدا کرده است. باتوجه به شکل (۷-الف) می‌توان مشاهده کرد که از همان ابتدای عملیات پیرسازی در دمای ۹۰۰°C، رسوب‌های تیره رنگ داخل فاز زمینه حضور دارند و با افزایش زمان پیرسازی تا ۲۴ ساعت کسر زیادی از فاز زمینه را اشغال کرده‌اند. کسر حجمی فاز بین دندریتی نیز با افزایش زمان پیرسازی کاهش پیدا کرده است. شکل (۸) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مربوط به نمونه پیرسازی شده در دمای ۹۰۰°C به مدت زمان ۲۴ ساعت را نشان می‌دهد. مطابق با شکل (۸) در دمای ۹۰۰°C، پایداری فاز خطی شکل تیره رنگ به شدت افزایش





شکل ۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه پیرسازی شده در  $900^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت در بزرگنمایی‌های متفاوت: الف و ج: الکترون برگشتی و ب و د: الکترون ثانویه. نواحی مربوط به فازهای مختلف داخل شکل با پیکان مشخص شده‌اند، نواحی A، B و C مربوط به آنالیز نقطه‌ای هستند.



شکل ۹- نتایج حاصل از آنالیز EDS نقاط: الف: A، ب: B و ج: C مربوط به شکل ۸-ج.

جدول ۲- ترکیب نقاط A، B و C مربوط به شکل ۸-ج (درصد اتمی).

نقطه	کبالت	آلومینیم	تنگستن	تیتانیوم	تانتالیوم
A	۶۱/۷	۲۲/۲	۲	۱۳/۵	۰/۶
B	۶۹/۵	۱۸/۵	۳/۸	۷/۷	۰/۵
C	۸۵	۷/۵	۴/۶	۲/۳	۰/۶

بیشتر و توزیع بهتر رسوبات  $\gamma'$  جبران شده است. بنابراین با توجه به تصاویر میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی و همچنین آزمایش سختی سنجی، دمای  $800^\circ\text{C}$  دمای بهینه پیرسازی آلیاژ مورد مطالعه بدست آمد.

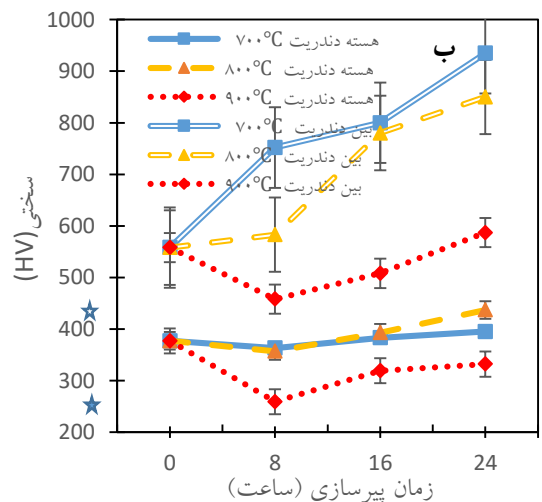
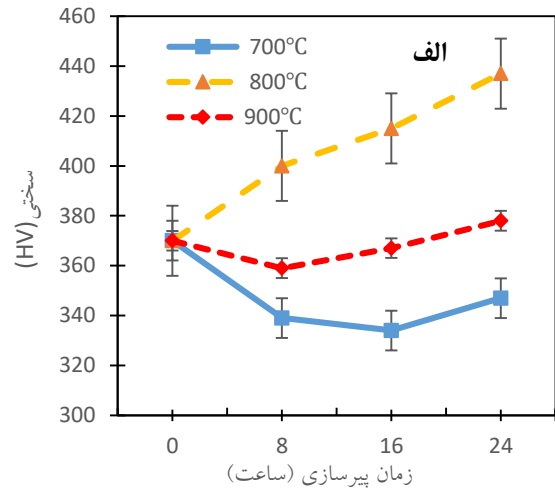
۴- نتیجه‌گیری

۱- با پیرسازی آلیاژ  $\text{Co-7Al-7W-4Ti-2Ta}$  در دمای  $700^\circ\text{C}$  ساختار دندریت‌ها تغییری نکرد، اما با پیرسازی این آلیاژ در دمای  $800^\circ\text{C}$  کسر سطحی فاز بین دندریتی کاهش نیافت و با افزایش زمان پیرسازی در این دما مناطق بین دندریتی کم‌رنگ‌تر شدند و در دمای  $900^\circ\text{C}$  نیز کسر سطحی ساختارهای دندریتی بیش از سایر دماها کاهش یافت.

۲- با پیرسازی آلیاژ  $\text{Co-7Al-7W-4Ti-2Ta}$  در دمای  $800^\circ\text{C}$  رسوب‌های خطی شکل و تیره رنگ فاز مضر  $\beta$  رسوب‌گذاری کردند که با افزایش دما تا  $900^\circ\text{C}$  کسر حجمی و ضخامت این فاز مضر بسیار افزایش یافت تا حدی که از حالت خطی شکل خارج شد؛ اما با پیرسازی در دمای  $700^\circ\text{C}$  رسوب فاز مضر  $\beta$  به میزان بسیار کمی ایجاد شد.

۳- با پیرسازی آلیاژ  $\text{Co-7Al-7W-4Ti-2Ta}$  در دمای  $700^\circ\text{C}$  رسوب‌های کروی فاز  $\gamma'$  داخل مناطق هسته‌های دندریتی رسوب‌گذاری کردند. کسر سطحی و اندازه این رسوب‌ها با افزایش زمان پیرسازی افزایش یافت. با افزایش دمای پیرسازی  $800^\circ\text{C}$  کسر سطحی و اندازه این رسوبات افزایش پیدا کرد؛ اما با پیرسازی در دمای  $900^\circ\text{C}$  کسر سطحی بیشتری از رسوب‌های  $\gamma'$  حاصل نشد و فقط اندازه رسوب‌ها افزایش یافت.

۴- از آنجائی که کسر سطحی رسوب‌های  $\gamma'$  در دمای  $700^\circ\text{C}$  کمتر از سایر دماها است، سختی نمونه‌های پیرسازی شده در این دما نیز کمتر از نمونه‌های پیرسازی شده در دماهای دیگر است. در دمای  $900^\circ\text{C}$  علی‌رغم این که رسوب‌های فاز  $\gamma'$  نیز رسوب‌گذاری کرده‌اند، رسوب‌گذاری شدید فاز مضر  $\beta$  و مصرف عناصر تشکیل دهنده فاز  $\gamma'$ ، منجر به کاهش کسر سطحی فاز  $\gamma'$  و در نتیجه کاهش سختی نمونه پیرسازی شده در دمای  $900^\circ\text{C}$  نسبت به نمونه پیرسازی شده در دمای  $800^\circ\text{C}$  شد.



شکل ۱۰- نمودار تغییرات سختی، الف: ماکرو و ب: میکرو نمونه‌های ریختگی، همگن‌سازی و پیرسازی شده بر حسب زمان در دماهای متفاوت (مقادیر سختی مربوط به نمونه ریختگی با علامت ستاره داخل شکل مشخص شده است).

گزارش شده است [۷] که رسوب‌گذاری فاز  $\beta$  حتی باعث کاهش کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  نیز می‌شود. بنابراین سختی میکرو نمونه‌ای که در  $900^\circ\text{C}$  پیرسازی شده است در هر دو فاز هسته‌های دندریت و مناطق بین دندریتی بسیار کمتر از سایر نمونه‌ها است.

با وجود این که در دمای  $800^\circ\text{C}$  مقادیری فاز  $\beta$  رسوب‌گذاری کرده است، اما کسر حجمی رسوبات  $\gamma'$  در این دما کمی بیشتر از دمای  $700^\circ\text{C}$  است و رسوب‌های  $\gamma'$  توزیع بهتری دارند. به بیان دیگر اثر مخرب فاز  $\beta$  در دمای  $800^\circ\text{C}$  به وسیله کسر حجمی



## مراجع

- MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 2014, 14, 15002.
- [16] Povstugar I., Choi P-Pa., Neumeier S., Bauer A., Zenk C.H., Göken M., Raabe D., Elemental Partitioning and Mechanical Properties of Ti-and Ta-containing Co-Al-W-base superalloys studied by atom probe tomography and nanoindentation, *Acta Materialia*, 2014, 78, 78-85.
- [17] Casas R., Gálvez F., Campos M., Microstructural development of powder metallurgy cobalt-based superalloys processed by field assisted sintering techniques (FAST), *Materials Science and Engineering*, 2018, 724, 461-468.
- [18] Zhou X., Fu H., Zhang Y., Xu H., Xie J., Effect of Ta and Ti on the Solidification Characteristics of Novel  $\gamma'$ -Strengthened Co-base Superalloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 2018, 768, 464-475.
- [19] Vorontsov V.A., Barnard J.S., Rahman K.M., Yan H-Y., Midgley P.A., Dye D., Coarsening behaviour and interfacial structure of  $\gamma'$  precipitates in Co-Al-W based superalloys, *Acta Materialia*, 2016, 120, 14-23.
- [20] Tomaszewska A., Mikuszewski T., Moskal G., Migas D., Primary microstructure, microsegregation and precipitates characterization of an as-cast new type  $\gamma$ - $\gamma'$  Co-Al-Mo-Nb cobalt-based superalloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 2018, 750, 741-749.
- [1] Gu Y., Harada H., Cui C., Ping D., Sato A., Fujioka J., New Ni-Co-base disk Superalloys with higher strength and creep resistance, *Scripta Materialia*, 2006, 9, 815-818.
- [2] Bocchini P.J., Microstructure and Mechanical Properties in Gamma (face-centered cubic)+Gamma Prime (L12) Precipitation-Strengthened Cobalt-based Superalloys. Ph.D. Thesis., Northwestern University, 2015.
- [3] Yan H.Y., Vorontsov V.A., Dye D., Alloying effects in Polycrystalline  $\gamma'$  Strengthened Co-Al-W base alloys. *Intermetallics*, 2014, 48, 44-53.
- [4] Bauer A., Neumeier S., Pyczak F., Göken M., Microstructure and Creep Strength of different  $\gamma/\gamma'$ -Strengthened Co-base Superalloy variants, *Scripta Materialia*, 2012, 63(12) 1197-1200.
- [5] A. Bauer, S. Neumeier, F. Pyczak, R.F. Singer, and M. Göken. Creep Properties of different  $\gamma'$ -Strengthened Co-base Superalloys, *Materials Science and Engineering*, 2012, 550, 333-341.
- [6] Zhu L., Wei C., Qi H., Jiang L., Jin Z., Zhao J.C., Experimental investigation of phase equilibria in the Co-rich part of the Co-Al-X (X= W, Mo, Nb, Ni, Ta) ternary systems using diffusion multiples, *Journal of Alloys and Compounds*, 2017, 691, 110-118.
- [7] Ding X.F., Mi T., Xue F., Zhou H.J., Wang M.L., Microstructure formation in  $\gamma$ - $\gamma'$  Co-Al-W-Ti alloys during directional solidification, *Journal of Alloys and Compounds*, 2014, 599, 159-163.
- [۸] اطمینان‌م، مرکباتی‌م، قاضی میرسعید.س.م، بررسی تاثیر عملیات همگن‌سازی بر ریزساختار و سختی سوپرآلیاژ بر پایه ترکیب Co-Al-W-Ti-Ta، نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته در مهندسی، ۱۳۹۹، ۳۹(۱) ۱۰۳-۱۱۹.
- [9] Aliakbari Sani S., Arabi H., Kheirandish S., Ebrahimi G., Investigation on the homogenization treatment and element segregation on the microstructure of a  $\gamma/\gamma'$ -cobalt-based superalloy, *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 2019, 26(2) 222-233.
- [10] McDevitt E.T., Feasibility of Cast and Wrought Co-Al-WX Gamma-prime Superalloys, *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications, 2014, 783, 1159-1164.
- [11] Sohrabi, M.J., Mirzadeh H., Estimation of homogenization time for superalloys based on a new diffusional model, *Materials Science and Technology*, 2020, 36(3) 380-384.
- [12] Zhuang X., Lu S., Li L., Feng Q., Microstructures and properties of a novel  $\gamma'$ -strengthened multi-component CoNi-based wrought superalloy designed by CALPHAD method. *Materials Science and Engineering*, 2020, 780(7) 139219.
- [13] Hausmann D., Solís C., Freund L.P., Volz N., Heinemann A., Göken M., Gilles R., Neumeier S., Enhancing the high-temperature strength of a co-base superalloy by optimizing the  $\gamma/\gamma'$  microstructure, *Metals*, 2020, 3, 321.
- [14] Mughrabi H., The importance of Sign and Magnitude of  $\gamma/\gamma'$  Lattice Misfit in Superalloys—with special reference to the new  $\gamma'$ -hardened Cobalt-base superalloys, *Acta Materialia*, 2014, 81, 21-29.
- [15] Xue F., Zhou H., Chen X., Shi Q., Chang H., Wang M., Ding, X. and Feng, Q., Creep Behavior of a Novel Co-Al-W-base Single Crystal alloy containing Ta and Ti at 982 °C.



IRANIAN FOUNDRYMEN'S  
SOCIETY

## Founding Research Journal

### Research Paper:

### Evolution of Aging Treatment Effect on the Microstructure and Hardness of a Co-Al-W-Ti-Ta Based Superalloy

Mostafa Etminan<sup>1</sup>, Maryam Morakabati<sup>\*2</sup>, Sayed Mahdi Qazi Mirsaeid<sup>3</sup>

1. M.Sc. Student, \*2. Assistant professor, 3. M.Sc., Researcher  
Faculty of Material and Manufacturing Technologies, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran  
\* Corresponding Author: m\_morakabati@mut.ac.ir

#### Paper history:

Received: 27 May 2020

Accepted: 13 September 2020

#### Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of temperature and time of aging on the microstructure and hardness of the novel Co-based superalloy with the composition of Co-7Al-7W-4Ti-2Ta. For this purpose, the new generation cobalt-based superalloy ingot cast by the VIM and VAR furnaces. Then aging treatment was performed at 700, 800 and 900°C for 8, 16 and 24 hours. Then, the specimens were cooled in air. Subsequently, the specimens were subjected to microstructural examinations by optical and electron microscopy and hardness test. The results showed that by increasing aging temperature from 700°C to 800°C, the  $\gamma'$  precipitation and its growth occurred and its volume fraction and size increased. Therefore, the maximum hardness obtained for the specimen aged at 800°C. By increasing the temperature of aging to 900°C, the hardness decreased which was attributed to the precipitation of harmful  $\beta$  phase containing Co-Al-Ti and consumption of  $\gamma'$  alloying elements results in reduction of the  $\gamma'$  volume fraction.

#### Keywords:

Novel Co-base superalloy,  
Aging heat treatment,  
Microstructure,  
Hardness.

#### Please cite this article using:

Mostafa Etminan, Maryam Morakabati, Sayed Mahdi Qazi Mirsaeid, Evolution of Aging Treatment Effect on the Microstructure and Hardness of a Co-Al-W-Ti-Ta Based Superalloy, in Persian, Founding Research Journal, 2020, 4(2) 89-98.  
DOI: 10.22034/FRJ.2020.232939.1119

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