



نشریه علمی

پژوهش‌نامه ریخته‌گری

انجمن علمی ریخته‌گری ایران

مقاله پژوهشی:

اثر کربن بر ریزساختار و خواص مکانیکی سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes

محمدرضا زمانی^۱، معصومه سیفاللهی^{۲*}، سیدمهدی عباسی^۳، آدلی آخوندزاده^۴

۱- کارشناسی ارشد متالورژی، پژوهشکده مواد، دانشگاه صنعتی مالکاشتر، تهران، ایران

۲- استادیار، پژوهشکده مواد، دانشگاه صنعتی مالکاشتر، تهران، ایران

۳- استاد، پژوهشکده مواد - دانشگاه صنعتی مالکاشتر، تهران، ایران

۴- کارشناس ارشد متالورژی، پژوهشکده مواد، دانشگاه صنعتی مالکاشتر، تهران، ایران

* نویسنده مکاتبه کننده: m_seifollahi@mut.ac.ir

چکیده:

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۴

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۴

در این پژوهش اثر میزان ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد وزنی کربن بر ریزساختار و خواص مکانیکی سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes در حالت آنیل بررسی شده است. آلیاژها به روش ذوب القایی تحت خلأ ریخته‌گری، در کوره‌ی ذوب مجدد تحت سرباره‌ی الکتریکی تصفیه و سپس در دمای 1200°C به مدت ۳۰ دقیقه، آنیل انحلالی شدند. نتایج نشان داد که کاربید نوع M_6C (غنی از تنگستن) در آلیاژهای حاوی کربن در ساختار رشد و با افزایش کربن، میزان آنها افزایش یافت. با افزایش کربن از ۰/۰۵ به ۰/۱۵ درصدوزنی، اندازه دانه از ۴۴ به ۳۵ میکرومتر کاهش پیدا کرده؛ زیرا کاربیدها مانع از رشد شده و مکان‌های مستعد جوانه‌زنی دانه‌های جدید را نیز فراهم آورده‌اند. با افزایش میزان کربن به موجب ریزدانه‌گی و افزایش کسر حجمی کاربیدها، سختی از ۲۵۵ به ۲۹۰ ویکرز، استحکام تسلیم از ۴۵۰ به ۵۰۱ MPa و استحکام کششی نهایی از ۹۴۶ به ۱۰۸۸ MPa افزایش یافته و در مقابل میزان انعطاف‌پذیری کاهش اندکی یافت.

واژه‌های کلیدی:

سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes

کربن،

ریزساختار،

سختی،

خواص کششی.

ارجاع به این مقاله:

محمدرضا زمانی، معصومه سیفاللهی، سیدمهدی عباسی، آدلی آخوندزاده، اثر کربن بر ریزساختار و خواص مکانیکی سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، پاییز ۱۳۹۹، جلد ۴، شماره ۳، صفحات ۱۳۷-۱۴۳.
شناسه دیجیتال: (DOI): 10.22034/fitj.2020.245305.1126

۱- مقدمه

کاربیدها و محلول جامد استحکام‌دهی می‌شود [۳]. رسوبات کاربیدی عموماً باعث افزایش سختی، مقاومت سایشی و استحکام خزشی در دماهای بالا می‌شوند. از طرف دیگر، افزایش کاربیدها انعطاف‌پذیری را تا حد بسیار زیادی کاهش می‌دهند، بنابراین سوپرآلیاژهای پایه کبالتی که به صورت صفحه یا لوله‌های شکل‌پذیر مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ نباید دارای مقادیر بیش از ۰/۱۵ درصد وزنی کربن باشند [۸-۶]. در سوپرآلیاژهای پایه کبالت بسته به ترکیب و تاریخچه حرارتی آن، انواع مختلف کاربید تشکیل می‌شود [۷]. برای سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes که حاوی میزان قابل توجهی کروم و تنگستن است، انتظار می‌رود با چرخه‌های مختلف عملیات حرارتی کاربیدهای نوع M_6C و M_{23}C_6 در زمینه رسوب کنند. M در کاربیدهای یاد شده معمولاً متشکل از چند عنصر فلزی است. عناصری مانند تنگستن، کروم،

سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes، آلیاژ کارشده پایه کبالت و حاوی عناصر کروم، نیکل و تنگستن است که تلفیقی از خواص استحکام دما بالا و مقاومت به خوردگی داغ تا 1095°C را برای مدت زمان طولانی سرویس دارا است. این آلیاژ از طریق کارگرم تولید می‌شود و قابلیت شکل‌پذیری و جوشکاری مناسبی دارد [۳-۱]. به دلیل انعطاف‌پذیری نسبتاً مناسب، در مواردی نیز از طریق کارسرد تولید شده است. در هر دو شرایط کارگرم و کارسرد نمونه باید تحت عملیات آنیل انحلالی قرار گرفته و سپس به سرعت سرد شود [۴، ۵].

سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes به میزان قابل توجهی حاوی نیکل بوده که پایدار کننده ساختار FCC زمینه است. این آلیاژ از طریق

سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes به طور دقیق مشخص نشده و صرفاً در استاندارد محدوددهی مناسب کربن معرفی شده است؛ لذا در پژوهش حاضر، هدف بررسی و مقایسه ریزساختار و خواص مکانیکی سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes با ترکیب شیمیایی استاندارد و مقادیر مختلف کربن است تا میزان بهینه کربن برای رسیدن به خواص مطلوب مشخص شود.

۲- روش تحقیق

سوپرآلیاژ ۲۵ Haynes با مقادیر کربن ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ درصدوزنی، در کوره القایی تحت خلأ^۱ (VIM) ذوب و سپس شمش‌ریزی شدند. تصفیه شمش‌ها، تحت فرآیند ذوب مجدد سرباره الکتريکی^۲ (ESR) قرار گرفتند. شمش‌ها در ابعاد ۱۵۰×۷۵×۶۰ میلی‌متر با وزن حدودی ۱۰ کیلوگرم تولید شدند. یک مرحله همگن‌سازی جهت برطرف کردن جدایش‌های انجمادی و یکنواختی ساختار در دمای ۱۲۰۰ °C به مدت ۳ ساعت و سرمایش در آب انجام شد. نورد گرم در دمای ۱۲۰۰ °C و با کاهش ضخامت ۷۰٪ اعمال شد. ترکیب شیمیایی آلیاژهای مورد بررسی در پژوهش به روش اسپکترومتری نشری (کوانتومتری) بررسی و نتایج آن در مقایسه با استاندارد AMS 5759 [۱۸] در جدول (۱) ارائه شده است.

عملیات آنیل انحلالی توسط کوره مقاومتی مدل AZAR F2L در دمای ۱۲۰۰ °C به مدت ۳۰ دقیقه و سرمایش در آب انجام شد. پس از عملیات آنیل انحلالی، آماده سازی نمونه‌ها جهت متالوگرافی از طریق سنباده‌زنی تا مش ۲۰۰۰ و حکاکی در محلول شیمیایی با ترکیب ۱ ml H₂O₂ + ۱۰۰ ml HCl انجام شد. ریزساختار آلیاژها از طریق میکروسکوپ نوری مدل Olympus BX51 و میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل TeScan VEGA3 بررسی شد. همچنین کاربیدها از طریق آنالیز EDS شناسایی شدند.

متوسط اندازه دانه بر اساس استاندارد ASTM E112 و با استفاده از نرم افزار Imag Analyzer اندازه گیری شد. آزمایش کشش دما محیط و نرخ کرنش ۱۰^{-۱} s^{-۱} توسط دستگاه Instron 8502 مطابق استاندارد ASTM E8 [۱۹] و آزمایش سختی سنجی ویکرز با نیروی ۳۰ کیلوگرم توسط دستگاه ESE way hardness test مطابق استاندارد ASTM E92 [۲۰] انجام شد.

نایوبیوم و کبالت می‌توانند اجزای تشکیل دهنده M باشند. کاربیدهای M₆C غنی از تنگستن و محل رسوب آن غالباً درون دانه و M₂₃C₆ غنی از کروم و محل رسوب آن غالباً مرز دانه است. فازهای مذکور در صورت رسوب با توزیع مناسب در زمینه و مرز دانه، بهبود خواص مکانیکی آلیاژ را در پی دارند [۱۰-۸].

کربن علاوه بر کاربیدزایی، پایدار کننده فاز FCC نیز است. بنابراین افزایش میزان کربن می‌تواند افزایش پایداری فاز FCC و هم‌چنین افزایش استحکام از طریق افزایش میزان کاربیدها را در پی داشته باشد. از طرفی اگر میزان کربن از یک میزان مشخص بیشتر شود، کاربیدها به صورت فیلم‌های پیوسته در مرز دانه‌ها رسوب می‌کنند که این حالت سبب ترد شدن ماده و کاهش خواص مکانیکی می‌شود [۱۴-۱۱].

در پژوهشی توسط لی [۱۵] مشخص شد که افزودن کربن به آلیاژ Co-29Cr-5Mo تأثیر چندانی روی استحکام نداشت؛ اما افزایش کربن از ۰/۰۲ به ۰/۰۹ درصد وزنی سبب بهبود ازدیاد طول آلیاژ شد. بنابراین افزایش کاربیدها تا میزان مشخصی سبب بهبود ازدیاد طول شد و پس از آن افت داکتیلیته را در پی داشت. در پژوهش دیگر توسط یاماناکا و همکارانش [۱۶] گزارش شد که در حالت ریختگی، خواص کششی آلیاژ پایه کبالت با ۰/۰۶ درصد وزنی کربن، کمتر از آلیاژ با ۰/۰۳ است که علت آن به جدایش و ناهمگنی بیشتر در این آلیاژ مربوط می‌شود. عملیات حرارتی همگن‌سازی سبب بهبود خواص کششی آلیاژ ۰/۰۶ درصد وزنی کربن از طریق کاهش جدایش شد. عملیات نورد گرم نیز از طریق ریزدانه‌سازی و کاهش بیشتر ناهمگنی‌های ساختاری سبب بهبود خواص کششی شد. همچنین یاماناکا و همکاران [۲۱] در تحقیقی روی آلیاژهای Co-28Cr-9W-1Si-C با ۰/۰۳ و ۰/۰۶ درصد وزنی کربن، نیز گزارش کردند که اندازه دانه پس از نورد با تغییر مقدار کربن تغییرات زیادی ندارد.

آلیاژهای مرسوم پایه کبالت (آلیاژهای مستحکم شده از طریق محلول جامد و کاربیدها) به طور معمول حاوی مقادیر مختلفی کربن از ۰/۰۲ تا ۱ درصد وزنی هستند. کمبود و ازدیاد کربن در شبکه کریستالی آلیاژها می‌تواند منجر به افت خواص شود [۱۷]، بنابراین تعیین میزان بهینه عنصر یاد شده اهمیت ویژه‌ای دارد. تغییرات میزان کربن، سبب تغییر میزان کسر حجمی کاربیدها و همچنین اندازه دانه خواهد شد. به تبع با تغییر میزان کاربیدها و کسر حجمی رسوبات خواص مکانیکی نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت.

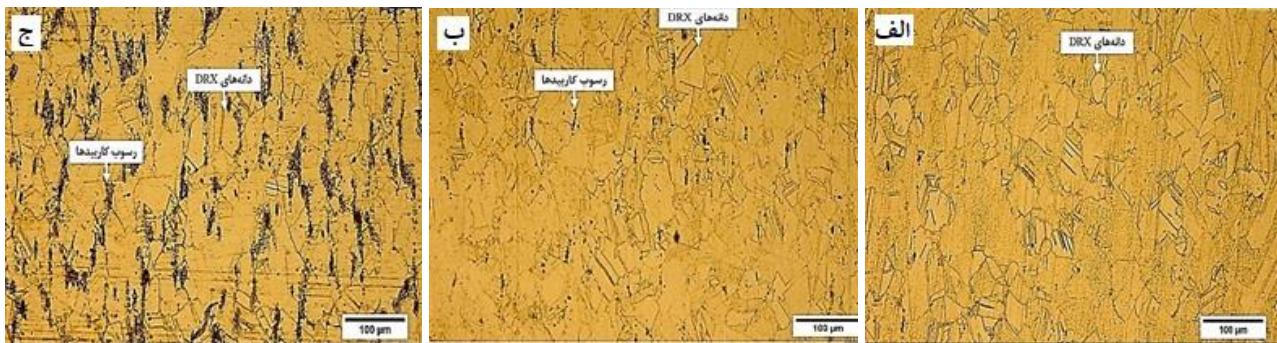
با توجه به تأثیر مثبت کربن در مقدار بهینه در بهبود خواص کششی سوپرآلیاژهای پایه کبالت و اینکه اثر مقدار کربن در

² Electro Slag Remelting

¹ Vacuum Induction Melting

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژهای مورد استفاده در پژوهش و مقایسه آن با استاندارد (درصد وزنی).

نمونه	Co	Cr	W	Ni	Fe	Mn	Si	C	S	P
AMS 5759	بقیه	19-21	14-16	9-11	<3	1-2	<0.4	0.05-0.15	<0.03	<0.04
1	بقیه	19.30	14.02	10.21	1.02	1.06	0.19	0.05	0.002	0.004
2	بقیه	19.30	14.01	10.35	1.06	1.00	0.17	0.11	0.001	0.005
3	بقیه	19.70	14.00	10.04	1.11	1.04	0.18	0.14	0.003	0.004

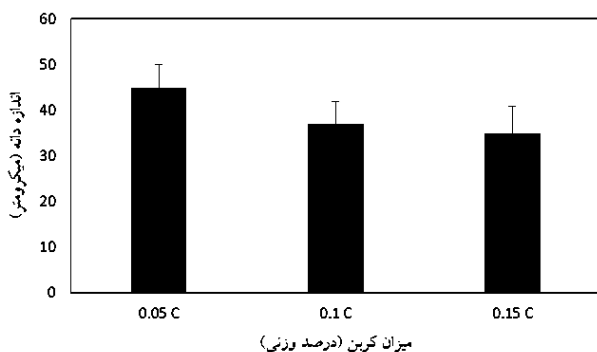


شکل ۱- ریزساختار نوری سوپر آلیاژها پس از نورد گرم حاوی الف) ۰/۰۵ (ب) ۰/۱ و ج) ۰/۱۵ درصد وزنی کربن.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ریزساختار

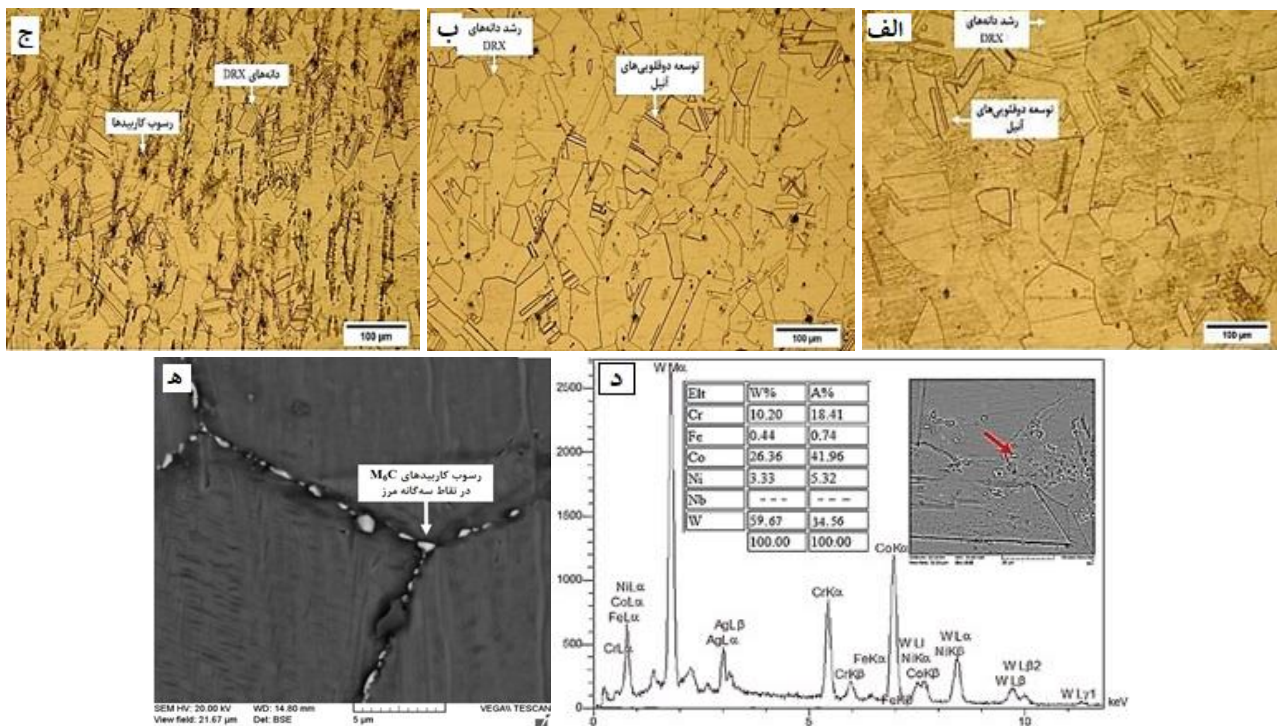
۳۰ دقیقه و سرمایش در آب را نشان می‌دهد. ریزساختار شامل زمینه ۷ و رسوب برخی از کاربیدها است. با افزایش میزان کربن، میزان کاربیدها افزایش می‌یابد. افزایش میزان کاربیدها در مقدار ۰/۱۵ درصد وزنی کربن بسیار مشهود است. بخشی از کربن به صورت محلول جامد در زمینه حضور دارد و در مکان‌های بین‌نشین ساختار قرار می‌گیرد. لذا تا مقدار ۰/۱ درصد وزنی کربن، افزایش کاربیدها زیاد نیست ولی پس از افزایش تا ۰/۱۵ درصد وزنی به دلیل اشباع زمینه از کربن، مابقی کربن به صورت کاربید رسوب می‌کند و افزایش قابل توجهی در میزان کاربیدها مشاهده می‌شود.



شکل ۲- تغییرات اندازه دانه در حالت نوردی برای سوپر آلیاژها با مقادیر مختلف کربن.

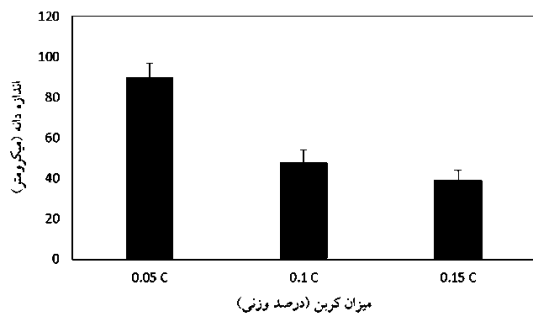
شکل (۱) ریزساختار آلیاژها را با مقادیر مختلف کربن، پس از نورد گرم در دمای 1200°C با کاهش ضخامت ۷۰٪ و سرمایش در آب نشان می‌دهد. ریزساختار شامل زمینه آستنیتی با شبکه کریستالی FCC همراه با رسوبات کاربیدی بوده که دانه‌های تبلور مجدد یافته، سراسر ساختار آن را فراگرفته است. همچنین آلیاژ حاوی ۰/۰۵ درصد وزنی کربن (شکل ۱-الف) نسبت به آلیاژهای دیگر میزان رسوبات کمتری را دارا بوده که علت آن میزان کمتر کربن در ساختار آن نسبت به دیگر آلیاژها است. شکل (۲) تغییرات اندازه دانه را برای آلیاژهای مختلف با تغییر میزان کربن نشان می‌دهد. با افزایش میزان کربن از ۰/۰۵ به ۰/۱۵ درصد وزنی اندازه دانه کاهش یافته است؛ چرا که کاربیدها سبب ممانعت رشد بیشتر دانه شده و در عین حال مکان‌های مستعد جوانه‌زنی دانه‌های جدید را نیز فراهم آورده‌اند. البته اختلاف اندازه دانه زیاد قابل ملاحظه نیست که علت آن افزایش همگنی در اثر نورد گرم است. همان‌طور که در مقدمه اشاره شد؛ تغییرات اندازه دانه در اثر تغییرات کربن در پژوهش حاضر، همخوانی نسبی با کار یاماناکا و همکاران [۲۱] دارد که در هر دو تحقیق تغییرات اندازه دانه کم است.

شکل (۳)، ریزساختار میکروسکوپ نوری سوپر آلیاژ 25 Haynes پس از عملیات آنیل انحلالی در دمای 1200°C به مدت



شکل ۳- ریزساختار نوری آلیاژ 25 Haynes پس از آنیل انحلالی در دمای 1200 °C به مدت 30 دقیقه و سرمایش در آب (الف) 0.05٪ و (ب) 0.1٪ و (ج) 0.15٪ درصد وزنی کربن (د) نتایج آنالیز نقطه‌ای EDS از رسوبات (ه) رسوبات کاربیدی در نمونه حاوی 0.1٪ درصد وزنی کربن.

کاهش یافته است. این امر به سبب وجود کاربیدها است که موانع رشد دانه بوده و افزایش آنها در ساختار از رشد دانه ممانعت می‌کند. ریزتر بودن کاربیدها در آلیاژ با 0.1٪ درصد وزنی کربن نسبت به آلیاژ 0.15٪، در کاهش قابل توجه اندازه دانه در آلیاژ 0.1٪ نسبت به 0.05٪ موثر است. علاوه بر این آلیاژ 0.05٪ تقریباً عاری از کاربید است که با رسوب کاربیدها در آلیاژ 0.1٪ تغییر اندازه دانه کاهش چشم‌گیری خواهد داشت. با مقایسه شکل‌های (۲) و (۴) مشاهده می‌شود که اندازه دانه آلیاژ حاوی 0.05٪ درصد وزنی کربن پس از آنیل انحلالی رشد قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت نوردی داشته است، به طوریکه پس از آنیل تحت شرایط مذکور اندازه دانه از 45 به 90 میکرومتر (تقریباً به دو برابر قبل از آنیل انحلالی) رسیده است.



شکل ۴- تغییرات اندازه دانه پس از آنیل انحلالی آلیاژهای H 25 با مقادیر مختلف کربن.

البته به علت درشت بودن کاربیدها در آلیاژ حاوی 0.1٪ نسبت به 0.15٪ درصد وزنی کربن، میزان کاربیدها در شکل (۳-ج) بسیار بیشتر از شکل (۳-ب) به نظر می‌رسد. از طرفی دانه‌ها نسبت به حالت نورد گرم رشد یافته‌اند.

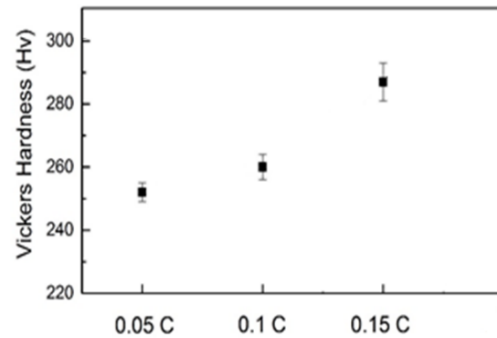
همانطور که مشاهده می‌شود، توزیع اندازه دانه نیز با افزایش مقدار کربن یکنواخت می‌شود. اما در ریزساختار مربوط به آلیاژ Haynes 25 با 0.05٪ درصد وزنی کربن دو نوع توزیع مشهودتر است. دسته‌ای از دانه‌ها با اندازه نزدیک به هم مربوط به رشد نرمال و دسته دیگر با اندازه درشت مربوط به رشد غیرنرمال آنها است. از طرفی، دوقلوبی‌ها نیز مانند دانه‌ها، در پی آنیل انحلالی پس از نورد گرم فرصت رشد یافته‌اند. به طوری که اندازه نسبی آنها در آلیاژ با 0.05٪ نسبت به مقادیر دیگر بزرگتر است که نشان از رشد قابل توجه آنها دارد. به طور کلی در آلیاژ Haynes 25، انتظار تشکیل سه نوع کاربید MC، M₂₃C₆ و M₆C وجود دارد. آنالیز EDS از کاربیدها نشان می‌دهد که به دلیل بالا بودن مقدار تنگستن در این فاز، کاربید نوع M₆C (غنی از تنگستن) با مورفولوژی چندوجهی و کروی و شبه کروی در آلیاژهای حاوی کربن در ساختار رشد یافته است. لازم به ذکر است با توجه به خطای آنالیز EDS در تشخیص عنصر کربن، پیک این فاز حذف شد. تصویر دیگری از رسوبات کاربیدی در مرزدانه در شکل (۳-ه) مورفولوژی این رسوبات را دقیق‌تر نشان می‌دهد.

شکل (۴)، اندازه دانه آلیاژها را پس از آنیل انحلالی نشان می‌دهد. با افزایش میزان کربن، میزان رشد دانه مانند حالت نورد گرم

۳-۲-۲- خواص کششی

آزمایش کشش دما محیط پس از عملیات آنیل انحلالی روی آلیاژهای مختلف انجام شد. شکل (۶)، نتایج خواص کششی برای آلیاژهای مذکور را ضمن مقایسه با حالت استاندارد آلیاژ Haynes 25 نشان می‌دهد. بررسی شکل (۶-الف)، نشان می‌دهد که تمام آلیاژهای مورد بررسی بجز آلیاژ با ۰/۰۵ درصد وزنی کربن از میزان خواص کششی بالاتری نسبت به حالت استاندارد برخوردار هستند. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش میزان کربن از ۰/۰۵ به ۰/۱ درصد وزنی، میزان افزایش استحکام اندک بوده است که این حالت با ریزساختار آلیاژها همخوانی خوبی دارد. برخی از مراجع نیز برای آلیاژهای پایه کبالت پزشکی نشان دادند که با افزایش میزان اندک کربن، افزایش استحکام قابل ملاحظه‌ای پدید نیامده است [۲۱، ۲۲، ۱۷]. همچنین با افزایش میزان کربن به ۰/۱۵ درصد وزنی استحکام از طریق رسوب کاربیدهای بیشتر و ریزدانگی به میزان بیشتری افزایش یافته به طوریکه تنش تسلیم حدود ۵۰ و تنش حداکثر ۱۴۲ MPa نسبت به آلیاژ حاوی ۰/۰۵ درصد وزنی کربن بیشتر شده است.

شکل (۶-ب) تغییرات ازدیاد طول آلیاژها را نشان می‌دهد. میزان داکتیلیته آلیاژها نیز به میزان زیادی تابع عناصر آلیاژی نظیر کربن است. افزایش میزان کربن تا ۰/۱٪ به دلیل ریزدانگی قابل توجه، سبب افزایش ازدیاد طول شده است؛ اما افزایش مجدد کربن، کاهش میزان پارامتر مذکور را در پی داشت. بنابراین افزایش کربن تا یک میزان بهینه، افزایش ازدیاد طول را به دنبال خواهد داشت که علت آن افزایش بیشتر کاربیدها در ساختار و پیوستن آنها به یکدیگر بوده است (شکل ۳). از طرفی نیز با بررسی ریزساختار آلیاژها با ۰/۰۵، ۰/۱۰ و ۰/۱۵ درصد وزنی کربن پس از آنیل انحلالی مشاهده می‌شود که ریزساختار از نظر توزیع رسوبات و اندازه دانه از شرایط همگن‌تری برخوردار است. با توجه به ریزساختار، افزایش کربن سبب افزایش درصد ازدیاد طول خواهد شد، به طوری که کاربیدها با مورفولوژی و توزیع نامناسب رسوب نکنند. در واقع علت افزایش درصد ازدیاد طول با افزایش کربن، پایدارسازی فاز آستنیت است. اما با افزودن بیشتر کربن به آلیاژ، کاربیدها به خصوص در مرزدانه‌ها شکل گرفته است که موجب کاهش داکتیلیته شده است. تحت این شرایط، با اثر استحکام زایی از طریق پخش ذرات یکنواخت مقابله خواهد شد. روند مشابهی برای میزان ازدیاد طول در برخی از آلیاژهای پزشکی پایه کبالت با افزایش میزان کربن گزارش شده است [۲۳-۲۵].

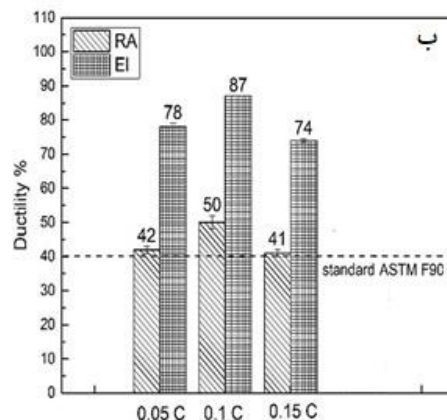
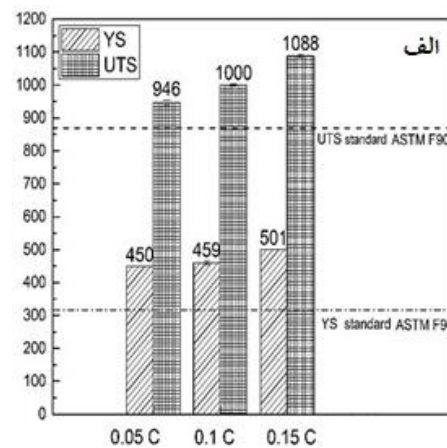


شکل ۵- تغییرات میزان سختی آلیاژها با تغییر میزان کربن.

۳-۲-۲- بررسی خواص مکانیکی

۳-۲-۱- سختی

شکل (۵)، تغییرات سختی با میزان کربن را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رفت با افزایش میزان کربن سختی افزایش یافته است، زیرا کاربیدها به دلیل ترکیب و شبکه کریستالی متفاوت از زمینه فازهای سختی هستند. بنابراین هرچه کاربیدها در ساختار بیشتر باشند، انتظار می‌رود سختی نیز افزایش یابد. آلیاژ حاوی ۰/۰۵ درصد وزنی کربن حاوی کاربیدهای کمی بوده که پس از آنیل انحلالی نیز کسر زیادی از آنها در زمینه حل شده است، بنابراین سختی اندکی از خود نشان داده است.



شکل ۶- بررسی خواص کششی آلیاژهای H 25 پس از آنیل انحلالی (الف) استحکام (ب) ازدیاد طول.

- Biomedical Application, Metallurgical and Materials Transactions A, 2016, 47, 2773-2782.
- [10] Inoue A., Masumoto T., Carbide reactions ($M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_{23}C_6 \rightarrow M_6C$) during tempering of rapidly solidified high carbon Cr-W and Cr-Mo steels, Metallurgical and Materials Transactions A, 1980, 11, 739-747.
- [11] Huron E.S., Leon H., Superalloy, John Wiley & Sons, 2012.
- [12] Yukawa N., Sato K., Correlation between microstructure and stress rupture properties of A Co--Cr--Ni--W (HS-25) alloy, 1968, Nagoya Univ., Japan.
- [13] Gui W., Zhang H., The investigation of carbides evolution in a cobalt-base superalloy at elevated temperature, Journal of Alloys and Compounds, 2017, 695, 1271-1278.
- [14] Sorensen D., Mokhoyan K.A., Investigation of secondary hardening in Co-35Ni-20Cr-10Mo alloy using analytical scanning transmission electron microscopy, Acta Materialia, 2014, 63, 63-72.
- [15] Lee S. H., Effect of carbon addition on microstructure and mechanical properties of a wrought Co-Cr-Mo implant alloy, Materials transactions, 2006, 47, 287-290.
- [16] Yamanaka K., Mori M., Development of new Co-Cr-W-based biomedical alloys: effects of microalloying and thermomechanical processing on microstructures and mechanical properties, Materials & Design, 2014, 55, 987-998.
- [17] Wu X., Liu R., Yao M., Influence of carbon content in cobalt based superalloys on mechanical and wear properties, Journal of Engineering Materials and Technology, 2004, 126, 204-212.
- [18] F90-01: Standard Specification for Wrought Cobalt-20Chromium-15Tungsten-10Nickel Alloy for Surgical Implant Applications (UNS R30605), ASTM International, West Conshohocken, 2005.
- [19] ASTM E 8M, Standard test methods of tension testing of metallic materials [metric], Annual Book of ASTM Standards Vol. 3, ed., 2003.
- [20] ASTM E 92, Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, Vol. 2, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2003.
- [21] Yamanaka K., Mori M., Chiba A., Influence of carbon addition on mechanical properties and microstructures of Ni-free Co-Cr-W alloys subjected to thermomechanical processing, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2014, 37, 274-285.
- [22] Mori M., Yammanaka K., Effect of carbon on the microstructure, mechanical properties and metal ion release of Ni-free Co-Cr-Mo alloys containing nitrogen, Materials Science and Engineering: C, 2015, 55, 145-154.
- [23] Yamanaka K., Chiba A., Effects of carbon concentration on microstructure and mechanical properties of as-cast nickel-free Co-28Cr-9W-based dental alloys, Materials Science and Engineering: C, 2014, 40, 127-134.
- [24] Teague J., Cerreta E., Tensile properties and microstructure of Haynes 25 alloy after aging at elevated temperatures for extended times, Metallurgical and Materials Transactions A, 2004, 35, 2767-2781.
- [25] Joseph C., Influence of heat treatment on the microstructure and tensile properties of Ni-base superalloy Haynes 282, Materials Science and Engineering: A, 2017, 679, 520-530.

۴- نتیجه گیری

- ۱- کاربید نوع M_6C (غنی از تنگستن) در آلیاژهای حاوی کربن در ساختار رشد یافته است و با افزایش کربن، میزان کاربیدها افزایش می یابد.
- ۲- با افزایش میزان کربن از ۰/۰۵ به ۰/۱۵ درصد وزنی، اندازه دانه از ۴۴ به ۳۵ میکرومتر کاهش یافته است چرا که کاربیدها سبب ممانعت رشد بیشتر دانه شده و در عین حال مکان های مستعد جوانه زنی دانه های جدید را نیز فراهم آورده اند.
- ۳- با افزایش میزان کربن از ۰/۰۵ به ۰/۱۵ درصد وزنی، به موجب ریزدانه گی و افزایش کسر حجمی کاربیدها، سختی از ۲۵۵ به ۲۹۰ ویکرز، افزایش یافته است.
- ۴- با افزایش میزان کربن از ۰/۰۵ به ۰/۱۵ درصد وزنی، استحکام تسلیم از ۴۵۰ به ۵۰۱ MPa و استحکام کششی نهایی از ۹۴۶ به ۱۰۸۸ MPa افزایش یافته است.
- ۵- افزایش کربن تا یک میزان بهینه (۰/۱ درصد وزنی)، افزایش ازدیاد طول را به دنبال خواهد داشت که علت آن افزایش بیشتر کاربیدها در ساختار و پیوستن آنها به یکدیگر است.

مراجع

- [1] Donachie M.J., Donachie S.J., Superalloys: a technical guide: ASM international, 2002.
- [2] Lee S., Liaw P.K., High-temperature tensile-hold crack-growth behavior of Hastelloy X alloy compared to Haynes 188 and Haynes 230 alloys, Mechanics of Time-Dependent Materials, 2008, 12, 31-44.
- [3] Favre J., Koizumi Y., Deformation behavior and dynamic recrystallization of biomedical Co-Cr-W-Ni (L-605) alloy, Metallurgical and Materials Transactions A, 2013, 44, 2819-2830.
- [4] Mori M., Effect of cold rolling on phase decomposition in biomedical Co-29Cr-6Mo-0.2 N alloy during isothermal heat treatment at 1073 K, Journal of Alloys and Compounds, 2014, 612, 273-279.
- [5] Klarstrom D., Wrought cobalt-base superalloys, Journal of Materials Engineering and Performance, 1993, 2, 523-530.
- [6] Tawancy H., Ishwar V.R., Lewis B.E., On the fcc \rightarrow hcp transformation in a cobalt-base superalloy (Haynes alloy No. 25), Journal of Materials Science Letters, 1986, 5, 337-341.
- [7] Jiang W., Guan H.R., Secondary carbide precipitation in a directionally solidified cobalt-base superalloy, Metallurgical and Materials Transactions, 1999, 30, 513-520.
- [8] Pu S., Zhang J., Recrystallization in a directionally solidified cobalt-base superalloy, Materials Science and Engineering: A, 2008, 480, 428-433.
- [9] Ueki K., Ueda K., Microstructure and Mechanical Properties of Heat-Treated Co-20Cr-15W-10Ni Alloy for



IRANIAN FOUNDRYMEN'S
SOCIETY

Founding Research Journal

Research Paper:

Effect of Carbon Content on the Microstructure and Mechanical Properties of Hyness 25 Superalloy

Mohammad Reza Zamani¹, Masumeh Seifollahi^{2*}, Seyed Mahdi Abbasi³, Adli Akhondzadeh⁴

1. M.Sc., Materials Department, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, IRAN.
2. Assistant Professor, Materials Department, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, IRAN.
3. Professor, Materials Department, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, IRAN.
4. M.Sc., Materials Department, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, IRAN.

* Corresponding Author: m_seifollahi@mut.ac.ir

Paper history:

Received: 25 August 2020
Accepted: 25 September 2020

Keywords:

Haynes 25 Superalloy,
Carbon,
Microstructure,
Hardness,
Tensile Properties.

Abstract:

The effects of 0.05, 0.1 and 0.15 wt% C on the microstructure, hardness and tensile properties of annealed Haynes 25 were investigated. The alloys were melted in a vacuum induction melting furnace and purified through electro slag remelting process then solution annealed at 1200°C for 30 min. The results indicated that W-riched M₆C carbides developed in the microstructure and its amount increase with increase of carbon. By increase of Carbon from 0.05 to 0.15wt%, grain size decrease from 44 to 35 μm. The carbides act as nucleator and also retard grain growth that cause to reduce grain size. Mechanical properties investigation shows that with increasing carbon, as a result of grain refinement and the proper size and morphology of carbides, hardness increases from 255 to 290 Hv, yield strength from 450 to 510 MPa and ultimate tensile strength from 946 to 1088 MPa but ductility decreases slightly.

[Please cite this article using:](#)

Mohammad Reza Zamani, Masumeh Seifollahi, Seyed Mahdi Abbasi, Adli Akhondzadeh, Effect of Carbon Content on the Microstructure and Mechanical Properties of Hyness 25 Superalloy, in Persian, Founding Research Journal, 2020, 4(3) 137-143. DOI: 10.22034/frj.2020.245305.1126

Journal homepage: www.foundingjournal.ir