

بررسی تاثیر سرعت سرد کردن، دمای پیشگرم و تغییر ترکیب شیمیایی بر روی ریز ساختار و خواص مکانیکی فولاد میکروآلیاژ وانادیوم دار متوسط کربن

بهنام یوسفیان^۱، کامران امینی*^۲، مسعود کثیری^۳

۱- کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، واحد تیران، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران

*kamran_amini1978@hotmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۱/۰۷/۲۰، تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۲۰)

چکیده

پیشرفت تکنولوژی و نیاز روز افزون به فولادهایی با استحکام بالا، قابلیت جوشکاری مناسب و هزینه‌های پایین منجر به استفاده از فولادهای میکرو آلیاژ شده است. فولادهای میکرو آلیاژ فولادهایی هستند که در صد عناصر میکرو آلیاژ در آن‌ها بسیار کم و در حد چند دهم درصد است. در این تحقیق به بررسی تاثیر سرعت سرد کردن، دمای پیشگرم و تغییر ترکیب شیمیایی بر روی ریز ساختار و خواص مکانیکی فولاد میکرو آلیاژ وانادیوم دار متوسط کربن پرداخته شده است. دو فولاد میکرو آلیاژ وانادیوم دار متوسط کربن حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱۵ درصد وانادیوم بعد از ریخته گری در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد با کرنش ثابت ۲۰ درصد فورج شدند. برای عملیات پیشگرم دو دمای ۹۵۰ و ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد انتخاب شد و در نهایت نمونه‌ها با سرعت‌های مختلف در هوا و باد سرد شدند. ریز ساختار نمونه‌ها شامل فریت و پرلیت می‌باشد. نتایج نشان داد با افزایش سرعت سرد کردن، درصد پرلیت افزایش یافته است که علت آن انجام استحاله در دمای پایین تر و کم شدن نفوذ بوده است. همچنین با افزایش سرعت سرد کردن، استحکام و سختی افزایش ولی درصد ازدیاد طول و انرژی ضربه کاهش یافته است. با افزایش دمای پیشگرم درصد پرلیت افزایش و اندازه کلنی‌های پرلیت نیز بیشتر شده است. علاوه بر آن با افزایش دمای پیشگرم، استحکام و سختی کاهش یافته که علت آن غلبه فاکتور اندازه دانه بر درصد فاز پرلیت بوده است. نتایج همچنین نشان داد با افزایش عنصر میکرو آلیاژ وانادیوم، استحکام و سختی افزایش و درصد ازدیاد طول و انرژی ضربه کاهش یافته است.

کلمات کلیدی:

فولاد میکروآلیاژ، وانادیوم، ریز ساختار، استحکام، سختی، فریت، پرلیت.

۱- مقدمه

است. این عناصر اثر قابل ملاحظه‌ای بر یک یا چند خاصیت فولاد دارند. مقدار کل عناصر میکرو آلیاژی افزوده شده، در حدود چند دهم درصد و یا کمتر است. تعریفی که توسط موسسه آهن و فولاد آمریکا برای فولادهای میکروآلیاژی ارائه

فولاد میکروآلیاژی، فولادی است که ترکیب شیمیایی پایه آن شبیه ترکیب شیمیایی یک فولاد ساختمانی معمولی یا در اکثر موارد شبیه فولاد کم کربن منگنردار و یا حتی کم آلیاژ است، که مقادیر جزئی از عناصر میکرو آلیاژی به آن اضافه شده

پیشگرم و تغییر ترکیب شیمیایی بر روی دو فولاد میکرو آلیاژ و انادیوم دار متوسط کربن پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

جهت بررسی خواص مکانیکی و ریز ساختار فولاد میکروآلیاژ و انادیوم دار متوسط کربن، دو بلوک فولاد میکروآلیاژ حاوی ۰/۰۵ درصد و ۰/۱۵ درصد و انادیوم با ابعاد ۱۵×۱۵×۳۲ سانتی متر با استفاده از کوره القایی در قالب‌های فلزی پیش گرم شده ریخته گری شد. ترکیب شیمیایی دو فولاد میکروآلیاژی در جدول ۱ آورده شده است. پس از ریخته گری، بلوک‌ها تحت عملیات فورج در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد با کرنش ثابت ۲۰ درصد قرار گرفتند و ابعاد آن‌ها به ۱۸×۱۸×۱۹/۲ سانتی متر تغییر پیدا کرد. در ادامه نمونه‌های کشش طبق استاندارد DIN 50125 و نمونه‌های ضربه طبق استاندارد sharpy با ابعاد ۱۰×۱۰×۵۵ میلی متر ساخته شد. جهت عملیات پیشگرم دو دمای ۹۵۰ و ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد انتخاب گردید. نمونه‌ها در دو دمای ذکر شده به مدت ۴۰ دقیقه در کوره الکتریکی تحت گاز محافظ آرگون قرار گرفتند و در نهایت با سرعت‌های متفاوت در هوای آزاد (۱/۴-۱/۵۴ درجه سانتیگراد بر ثانیه) و باد (۳/۵-۳/۷ درجه سانتیگراد بر ثانیه) سرد شدند. در ادامه عملیات متالوگرافی شامل سنباده زنی، پولیش با پودر اکسید آلومینا با سایز ۰/۳ میکرون و اچ بر روی نمونه‌ها انجام شد. جهت عملیات اچ از محلول مارشال استفاده گردید. زمان عملیات اچ ۲-۴ ثانیه طول کشید. در نهایت ریز ساختار نمونه‌ها به کمک میکروسکوپ نوری مدل CK40M با بزرگنمایی ۳۰۰ برابر مشاهده شدند. همچنین برای مشاهده رسوبات از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مدل LEO435V استفاده گردید. برای مشاهده دانه‌های آستنیت، دو نمونه مجدداً در دو دمای ۹۵۰ و ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۰ دقیقه درون کوره قرار گرفتند و در نهایت در آب سرد شدند. به کمک محلول پیکرال مرزهای آستنیت مشاهده گردید و با توجه به استاندارد متالوگرافی MICROE 407-70 عدد اندازه دانه تعیین

شده است به جای تاکید بر روی ترکیب شیمیایی معمولاً بر روی کسب خواص مکانیکی بالاتر تاکید می‌کند و به فولادهایی اطلاق می‌شود که استحکام تسلیمی حدود ۳۵۰-۷۵۰ مگا پاسگال داشته باشند [۱]. مهم‌ترین عناصر میکرو آلیاژ عبارت‌اند از و انادیوم، تیتانیوم و نیوبیم. یکی از مکانیسم‌های استحکام بخشی که در افزایش استحکام و سختی موثر است، مکانیسم استحکام بخشی رسوبی است. در این مکانیسم بعضی اجزاء و عناصر موجود در آلیاژ با یکدیگر ترکیب شده و رسوب‌های ریزی در داخل آلیاژ ایجاد می‌کنند. این رسوب‌ها با ممانعت از حرکت نابجایی‌ها که عوامل تغییر شکل در فلزات هستند، سبب افزایش مقاومت به تغییر شکل پلاستیک می‌شوند و بدین ترتیب سختی و استحکام را افزایش می‌دهند. تحقیقات نشان داده که با افزودن مقادیر بسیار کم در حدود ۰/۰۱٪ عناصر میکرو آلیاژ به فولاد با مقادیر کربن متوسط، ترکیبات ریزکاری، نیتريد یا کربونیتريد در داخل فاز فریت رسوب کرده و سبب افزایش سختی و استحکام کششی می‌شوند. از مهمترین مزایای استفاده از فولادهای میکرو آلیاژی به جای فولادهای عملیات حرارتی‌پذیر می‌توان به کاهش هزینه‌های ماشین‌کاری، بهبود خواص خستگی، حذف ترک‌های ناشی از مرحله سخت‌کاری و بهبود خواص جوشکاری اشاره کرد [۱]. گاندوس و همکارانش [۲] با مطالعه بر روی فولاد میکرو آلیاژ و انادیوم دار حاوی ۰/۱ درصد و انادیوم نشان دادند، با افزایش سرعت سرد کردن، اندازه رسوبات ریزتر شده که این امر منجر به افزایش سختی شده است. همچنین باباخانی و همکارانش [۱] با مطالعه بر روی فولاد میکرو آلیاژ حاوی ۰/۱۱ درصد و انادیوم نشان دادند با افزایش دمای پیشگرم، اندازه دانه‌های آستنیت افزایش یافته و عدد اندازه دانه کاهش یافته است. مطالعات انجام شده قبلی توسط محققین بر روی فولادهای میکرو آلیاژی، بیشتر معطوف به بررسی سرعت سرد کردن و دمای پیشگرم بوده است و کمتر تغییر ترکیب شیمیایی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، به بررسی سرعت سرد کردن، دمای

روش ویکرز استفاده شد. در این روش فرورونده الماس هرمی با زاویه ۱۳۶ درجه و بار اعمالی ۱۰ کیلوگرم بود. با توجه به تعداد زیاد متغیرها از نمادهایی که در جدول ۲ آورده شده است، برای نشان دادن نمونه‌ها استفاده شده است.

گردید. همچنین برای بررسی خواص مکانیکی، نمونه‌ها تحت آزمون کشش، ضربه و سختی قرار گرفتند. دستگاه کشش مدل instron از نوع اونیورسال می‌باشد. سرعت کرنش در آزمون کشش ۱۰ میلی متر بر دقیقه بود. برای بررسی سختی نمونه‌ها از

جدول (۱): ترکیب شیمیایی دو فولاد میکرو آلیاژ

درصد وزنی نوع فولاد	C	Si	Mn	V	P	S	Al
ST-1	۰/۳۴	۰/۴	۱/۲۹	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۹
ST-2	۰/۳۴	۰/۴	۱/۳۱	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۹

نمونه‌ها با بزرگ نمایی ۳۰۰ توسط میکروسکوپ نوری مشاهده شد. شکل ۱ ریزساختار نمونه‌های A و B را به ترتیب در حالت سرد شده در هوای آزاد و باد نشان داده است. همچنین درصد فاز پرلیت و اندازه کلنی‌های پرلیت در جدول ۳ آورده شده است. با توجه به شکل ۱ و با توجه به جدول ۳ با افزایش سرعت سرد کردن، درصد فاز پرلیت افزایش یافته است. همچنین با افزایش سرعت سرد کردن، اندازه کلنی‌های پرلیت کمتر شده و ساختار ریزدانه‌تر شده است. با افزایش سرعت سرد کردن در دمای پایین‌تری با دماغه منحنی CCT برخورد کرده و در نتیجه استحاله در دمای پایین‌تری اتفاق افتاده است [۳] و [۴]. از طرفی سریع سرد کردن موجب شده پدیده نفوذ که احتیاج به زمان دارد کمتر رخ داده و از رشد دانه‌ها جلوگیری کرده است [۵]. به علت انجام استحاله در دمای پایین‌تر و کاهش نفوذ، درصد پرلیت در ساختار افزایش یافته است. با افزایش سرعت سرد کردن و کم شدن نفوذ، کربن می‌تواند از زمینه آستنیت خارج شود و در نتیجه مقدار فریت تولید شده کمتر شده است. در حقیقت افزایش سرعت سرد کردن باعث ریز شدن اندازه دانه‌های فریت می‌شود و کسر حجمی فریت را کاهش می‌دهد. در سرعت‌های سرعت کردن پایین، تبلور مجدد و رشد دانه قبل از استحاله آستنیت به فریت انجام شده و در این حالت فریت پرویوتکتوئید در مرز دانه‌های آستنیت جوانه زنی

جدول (۲): نماد نمونه‌ها در شرایط اعمال شده

A	فولاد حاوی ۰/۰۵ درصد وانادیوم پیشگرم شده در دمای ۹۵۰ و سرد شده در هوای آزاد
B	فولاد حاوی ۰/۰۵ درصد وانادیوم پیشگرم شده در دمای ۹۵۰ و سرد شده در باد
C	فولاد ۰/۰۵ درصد وانادیوم پیشگرم شده در دمای ۱۰۵۰ و سرد شده در هوای آزاد
D	فولاد ۰/۰۵ درصد وانادیوم پیشگرم شده در دمای ۱۰۵۰ و سرد شده در باد
E	فولاد ۰/۱۵ درصد وانادیوم پیشگرم شده در دمای ۹۵۰ و سرد شده در هوای آزاد
F	فولاد ۰/۱۵ درصد وانادیوم پیشگرم شده در دمای ۹۵۰ و سرد شده در باد
G	فولاد حاوی ۰/۱۵ درصد وانادیوم پیشگرم شده در دمای ۱۰۵۰ و سرد شده در هوای آزاد
H	فولاد حاوی ۰/۱۵ درصد وانادیوم پیشگرم شده در دمای ۱۰۵۰ و سرد شده در باد

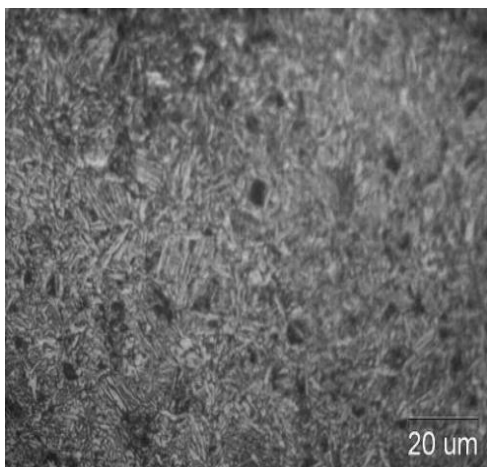
۳- نتایج و بحث

۳-۱- ریز ساختار

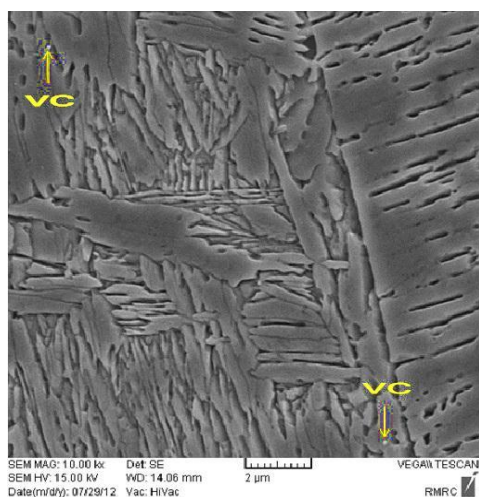
۳-۱-۱- بررسی سرعت سرد کردن بر روی ریز ساختار

نمونه‌های متالوگرافی بعد از عملیات پیشگرم در دو دمای ۹۵۰ و ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد در هوای آزاد و باد با سرعت‌های متفاوت سرد گردیدند. پس از عملیات متالوگرافی، ریز ساختار

می‌گردد [۴]. شکل ۲ ریز ساختار نمونه F و شکل ۳ ریز ساختار نمونه H را به وسیله میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی نشان می‌دهد. همچنین شکل ۴ نمودار EDX دو نمونه F و H را نشان می‌دهد. همان‌طور که از تصاویر SEM نمونه‌های F و H مشاهده شده است، در دمای پیشگرم ۹۵۰ درجه سانتیگراد به علت وجود کاربید وانادیوم ساختار ریزدانه‌تر می‌باشد این در حالی است که در دمای پیشگرم ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد به علت حل شدن رسوبات، ساختار درشت‌دانه شده است. باباخانی در مطالعاتش [۱] اشاره دارد رسوبات کاربید وانادیوم در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد شروع به تشکیل شدن می‌کنند.



(۱)

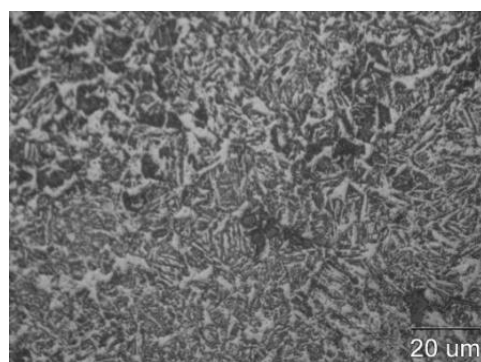


(۲)

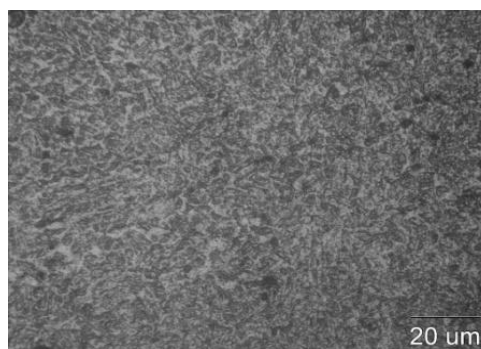
شکل (۲): ریز ساختار نمونه F: (۱): میکروسکوپ نوری، (۲): میکروسکوپ

الکترونی روبشی SEM

می‌کند و در نتیجه ساختار شامل فریت‌های درشت به همراه پرلیت است. در سرعت‌های سرد کردن بالاتر تنها دانه‌های تبلور مجدد یافته می‌توانند رشد کنند و در نتیجه ریز ساختار شامل شبکه فریت ریز به همراه پرلیت است. همچنین با افزایش سرعت سرد کردن، در حین واکنش یوتکتوئید میزان بیشتری آستنیت برای استحاله به پرلیت وجود دارد که این امر منجر به افزایش کسر حجمی پرلیت در سرعت‌های بالاتر شده است [۶].



(۱)



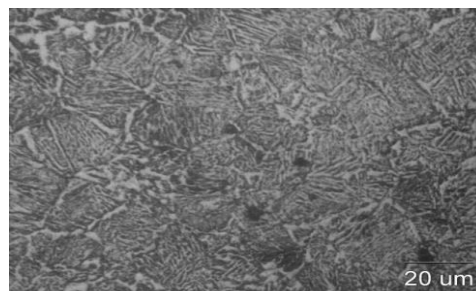
(۲)

شکل (۱): ریز ساختار نمونه‌های (۱): A، (۲): B

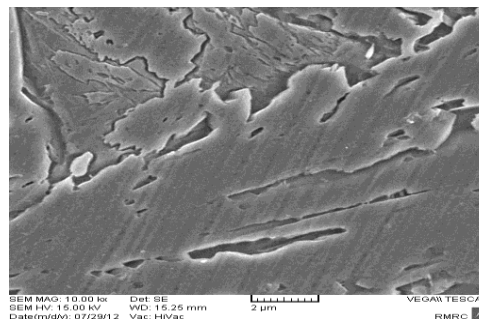
۳-۱-۲- بررسی دمای پیشگرم بر روی ریز ساختار

برای بررسی تاثیر دمای پیشگرم، نمونه‌ها در دمای ۹۵۰ و ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد پیشگرم شده و در نهایت در هوا و باد سرد شدند. نتایج جدول ۳ نشان داد با افزایش دمای پیشگرم، درصد پرلیت و اندازه کلنی‌های پرلیت افزایش یافته است که علت آن را می‌توان کاهش مراکز جوانه زنی فریت در دمای پیشگرم ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد دانست. کاهش دمای استحاله به علت کاهش نفوذ در دمای پایین منجر به کاهش فاصله بین لایه‌ای

برای مشاهده دانه‌های آستنیت و محاسبه عدد اندازه دانه مجدداً نمونه‌ها در دمای ۹۵۰ و ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد پیشگرم و در نهایت در آب سرد شدند. شکل ۵ دانه‌های آستنیت را در دو دمای ۹۵۰ و ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد. در ادامه عدد اندازه دانه محاسبه گردید. نتایج نشان داد با افزایش دمای پیشگرم، اندازه دانه‌های آستنیت افزایش یافته این در حالی است که عدد اندازه دانه از ۱۰ به ۹ کاهش یافته است. در حقیقت با افزایش دما، تحرک حرارتی مرز دانه بیشتر شده که منجر به بزرگ شدن دانه‌ها شده است. نتایج به دست آمده با مطالعات باباخانی [۱] مطابقت کامل دارد.



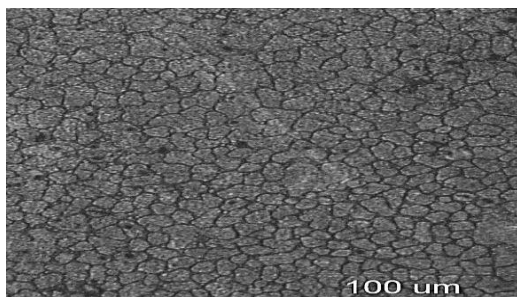
(۱)



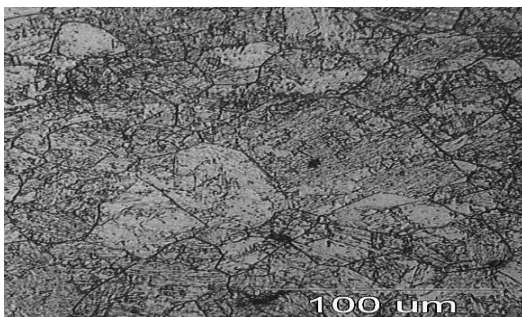
(۲)

شکل (۳): ریز ساختار نمونه H: (۱); L: میکروسکوپ نوری، (۲):

میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM



(۱)



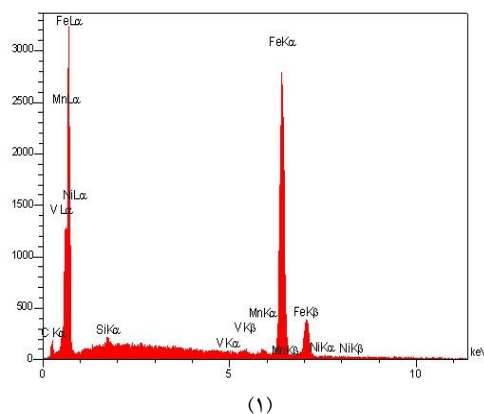
(۲)

شکل (۵): دانه‌های آستنیت در دمای پیشگرم (۱): ۹۵۰ درجه سانتی گراد،

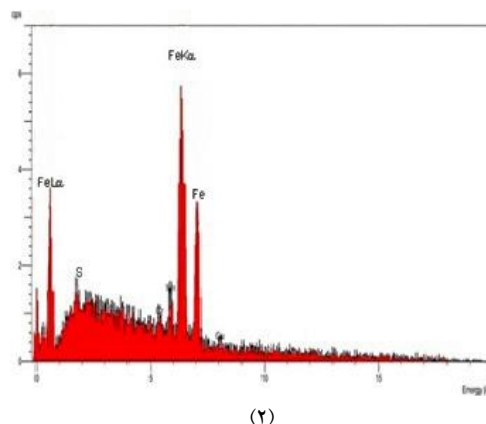
(۲): ۱۰۵۰ درجه سانتی گراد

۳-۱-۳- بررسی تغییر ترکیب شیمیایی بر روی ریز ساختار

برای بررسی تغییر ترکیب شیمیایی دو فولاد میکروآلیاژ حاوی ۰/۰۵ و ۰/۱۵ درصد وانادیوم در دو دمای ۹۵۰ و ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد پیشگرم و در نهایت در هوای آزاد و باد سرد شدند.

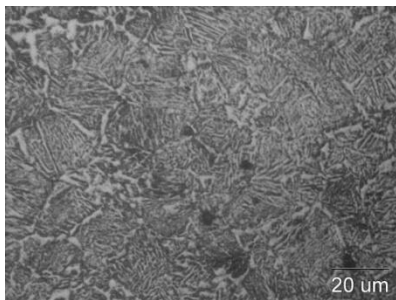


(۱)



(۲)

شکل (۴): نمودار EDX نمونه‌های (۱): F, (۲): H



(۴)

شکل(۶): ریز ساختار نمونه‌های (۱): A، (۲): E، (۳): D، (۴): H

۲-۳-۲- خواص مکانیکی

۳-۲-۱- بررسی سرعت سرد کردن بر روی خواص مکانیکی

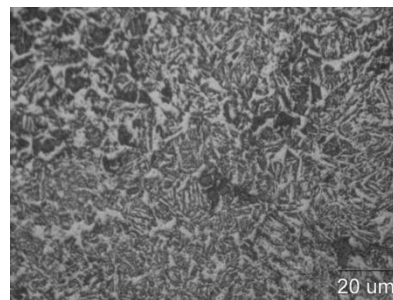
جهت بررسی خواص مکانیکی، نمونه‌های کشش و ضربه تحت آزمون کشش، ضربه و سختی قرار گرفتند. نتایج استحکام کششی، درصد ازدیاد طول، سختی و انرژی ضربه در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که از جدول ۳ مشاهده می‌شود با افزایش سرعت سرد کردن، استحکام کششی و سختی افزایش ولی درصد ازدیاد طول و انرژی ضربه کاهش یافته است. استحکام کششی، سختی و انرژی ضربه در فولادهای میکرو آلیاژی از فاکتورهای مختلفی از جمله مقادیر درصد پرلیت، اندازه دانه‌های فریت و کلنی‌های پرلیت، فواصل بین لایه‌ای پرلیت و رسوبات کاربیدی متاثر است. گاندوس و همکارانش [۲] نشان دادند با افزایش سرعت سرد کردن، رسوبات ریزتر شده و این امر منجر به افزایش سختی گردیده است.

کویاسو [۷] و هرتربرگ [۸] اشاره کردند، افزایش درصد پرلیت فاکتوری مهمی است که انرژی ضربه را کاهش داده است. نتایج به دست آمده با تحقیقات گاندوس [۲] و کویاسو [۷] و هرتربرگ [۸] مطابقت دارد.

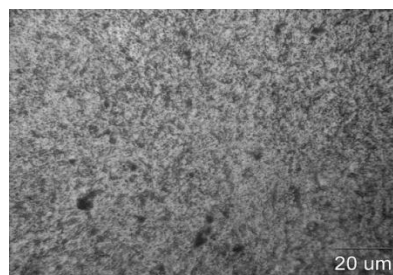
۳-۲-۲- بررسی دمای پیشگرم بر روی خواص مکانیکی

با توجه به جدول ۳ با افزایش دمای پیشگرم، استحکام کششی و سختی کاهش یافته است. دو فاکتور درصد فاز پرلیت و اندازه دانه رابطه استحکام و دمای پیشگرم را تعیین می‌کند. با افزایش

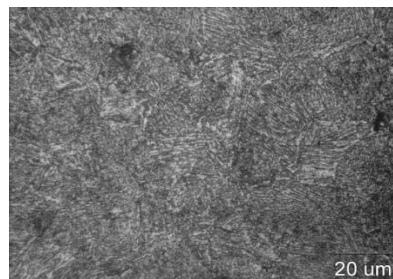
شکل ۶ ریز ساختار نمونه‌ها را با بزرگنمایی ۳۰۰ نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳ با افزایش مقدار وانادیوم از ۰/۰۵ به ۰/۱۵ درصد، فاز پرلیت افزایش یافته است. در دمای پیشگرم ۹۵۰ درجه سانتیگراد با افزایش وانادیوم، اندازه کلنی‌های پرلیت کاهش یافته (نمونه A و E) این در حالی است که در دمای ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد با افزایش مقدار عنصر وانادیوم، ساختار شامل کلنی‌های درشت پرلیت است (نمونه D و H). در حقیقت می‌توان گفت به علت وجود رسوبات بسیار ریز کاربید وانادیوم در دمای پیشگرم ۹۵۰ درجه سانتیگراد با افزایش عنصر میکرو آلیاژ وانادیوم ساختار ریزدانه‌تر شده این در حالی است که در دمای پیشگرم ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد به علت حل شدن رسوبات، با افزایش مقدار عنصر وانادیوم ساختار درشت دانه شده است.



(۱)



(۲)



(۳)

آستیت به فریت رسوب خواهند کرد. این رسوبات در دماهای کم حدود ۹۰۰ درجه سانتیگراد شکل می گیرند [۱] و بسیار ریز هستند و بنابراین به افزایش استحکام توسط سختی رسوبی می انجامند. این رسوبات با ممانعت از حرکت نابجایی‌ها باعث افزایش سختی و استحکام می‌شوند. وانادیوم با کربن و نیتروژن ترکیب شده و رسوبات ریز کاربید، نیتريد یا کربونیتريد وانادیوم را در فاز فریت ایجاد می‌کند که این امر باعث استحکام بخشی رسوبی در فولادها می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد با افزودن مقادیر بسیار کم وانادیوم به فولاد متوسط کربن، ترکیبات ریز کاربیدی و نیتريدی در فاز فریت رسوب کرده و سبب افزایش سختی، استحکام تسلیم و استحکام کششی می‌شوند. تمایل به تشکیل کاربید در فولادهای میکرو آلیاژ وانادیوم دار کمتر از فولادهای میکرو آلیاژ تیتانیوم و نیویوم دار است [۹]. درحقیقت عنصر وانادیوم بیشتر سبب افزایش استحکام می‌شود. این در حالی است که عناصر دیگر میکرو آلیاژ از جمله نیویوم به عنوان ریز کننده قوی با ایجاد دانه‌های ریز فریت سبب افزایش استحکام و چقرمگی به طور همزمان می‌گردد [۱۰].

دمای پیشگرم، درصد فاز پرلیت افزایش و از طرف دیگر اندازه کلنی‌های پرلیت نیز افزایش یافته است. لذا در مورد دمای پیشگرم می‌توان اظهار داشت فاکتور اندازه دانه بر فاکتور درصد فاز پرلیت غلبه کرده و منجر به کاهش استحکام کششی و سختی شده است. افزایش اندازه کلنی‌های پرلیت و افزایش درصد پرلیت دو فاکتوری هستند که همزمان انرژی ضربه و چقرمگی را کاهش داده اند [۸و۴].

۳-۲-۳- بررسی تغییر ترکیب شیمیایی بر روی خواص مکانیکی

با افزایش مقدار عنصر میکرو آلیاژ وانادیوم همان طور که از جدول ۳ مشاهده شده است، استحکام کششی و سختی افزایش یافته این در حالی است که انرژی ضربه و درصد ازدیاد طول کاهش داشته است. افزایش درصد پرلیت در نمونه‌هایی که حاوی ۰/۱۵ درصد وانادیوم هستند علت افزایش استحکام و کاهش چقرمگی بوده است. پیکرینگ و هرتزبرگ نیز در مطالعاتشان افزایش درصد پرلیت را موجب کاهش انرژی ضربه دانسته‌اند [۸و۴]. ترکیبات وانادیوم تنها در طی یا بعد از تحول

جدول (۳): استحکام کششی، درصد ازدیاد طول، سختی، انرژی ضربه، درصد فاز پرلیت و اندازه کلنی‌های پرلیت

نام نمونه	استحکام کششی (Mpa)	درصد ازدیاد طول	سختی ویکرز	انرژی ضربه (J)	درصد فاز پرلیت	اندازه کلنی پرلیت (um)
A	۹۷۰	۱۵	۳۰۸	۲۰	۵۴	۹
B	۱۴۰۰	۱۲	۳۲۳	۱۸	۵۸	۲
C	۹۲۰	۱۴	۲۹۰	۱۸	۵۷	۱۲
D	۱۳۰۰	۱۱	۳۱۰	۱۷	۶۲	۸
E	۱۰۳۴	۱۳	۳۱۵	۱۹	۶۰	۴
F	۱۵۰۰	۱۱	۳۴۲	۱۵	۶۵	۳
G	۹۶۶	۱۲	۳۱۰	۱۷	۶۲	۱۵
H	۱۴۰۰	۱۰	۳۳۸	۱۴	۶۸	۱۲

۴- نتیجه گیری

بتابراین افزایش سرعت سرد کردن، استحکام کششی و سختی را افزایش و درصد ازدیاد طول و انرژی ضربه را کاهش داد.

۱- با افزایش سرعت سرد کردن، درصد فاز پرلیت افزایش یافت که علت آن پایین بودن دمای استحال و عدم نفوذ می‌باشد.

- [4] F. B. Pickering, "Physical metallurgi design of steels", Department of Metallurgy, Sheffield city, England, PP. 275, 1978.
- [5] A. M. Elwazri, T. P. Wanjara & S. Yue, "Measurement of pearlite interlamellar spacing in hypereutectoid steels", Materials Characterization, Vol. 54, pp. 473-478, 2005.
- [۶] م. عابد، ا. ضابط و ح. الداغی، "تاثیر سرعت سرد کردن و دمای آستنینه بر ریز ساختار فولاد میکرو آلیاژ 30msv6"، سمپوزیوم فولاد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۶.
- [7] Y. Koyasu, "High strength and toughness microalloyed forging steels for fabrication of automobile underbody parts without subsequent heat treatment", Nippon Steel Technical Report, Vol. 47, PP. 37-45, 1990.
- [۸] ر. هرترزبرگ، مترجم ع. اکرامی، "تغییر شکل و مکانیزم شکست در مواد و آلیاژی های مهندسی"، تهران، موسسه انتشارات علمی دانشگاه شریف.
- [9] D. K. Matlock, G. Krauss & J. G. Speer, "Microstructures and properties of direct cooled microalloy forging steels", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 117, pp. 324-330, 2001.
- [10] P. C. M. Rodrigues, E. V. Pereloma & D. B. Santos, "Mechanical properties of on HSLA bainitic steel subject to controlled rolling with accel rated cooling", Materials Science and Engineering, Vol. 283, PP. 136-143, 2000.
- ۲- با افزایش دمای پیشگرم درصد پرلیت افزایش یافته و از طرفی اندازه کلنی های پرلیت نیز افزایش یافته است، در نتیجه می توان گفت اثر فاکتور درصد پرلیت بر اندازه دانه غلبه کرده است که این امر منجر به کاهش استحکام کششی و سختی شده است.
- ۳- با افزایش مقدار عنصر میکرو آلیاژ وانادیوم از ۰/۰۵ به ۰/۱۵ درصد استحکام کششی و سختی افزایش و درصد ازدیاد طول و انرژی ضربه کاهش یافت که علت آن افزایش درصد فاز پرلیت در نمونه های حاوی ۰/۱۵ درصد وانادیوم بوده است.

۵- مراجع

- [1] Babakhani, S. M. Ziaei & R. Kiani, "Investigation on the effects of hot forging parameters on the austenite grain size of vanadium microalloyed forging steel (30MSV6)", Journal of Alloys and Compounds, pp. 572-575, 2010.
- [2] S. Gu`ndu`z & R. C. Cochrane, "Influence of cooling rate and tempering on precipitation and hardness of vanadium microalloyed steel", Materials and Design, Vol. 26, pp. 486-492, 2005.
- [3] P. Zhao & J. D. Boyd, "Microstructural evolution during thermomechanical processing of microalloyed medium carbon steels", Material Science and Technology, Vol. 11, PP. 242-254, 2003.