sina-pub.ir

# بررسی رفتار فولادهای نیمه ساخته و وانادیم ریز آلیاژی به وسیله آزمایش آهنگری گرم


## چکیده

از دو درجه فولاد نیمه ساخته ( متوسط کربن ) در تحقیق حاضر استفاده شد. یکی از آنها فولاد ریز آلیاژ شده با وانادیم بود. هر دو درجه فولاد ابتدا در معرض پتک کاری ضربه ای بسته کنترل شده قرار گرفته و سپس در محیط های ماسه ، هوا ایا خاک سرد شدند. میکرو ساختارهای نهایی و خواص مکانیکی با میکروسکوپی اپتیکی ، ریزبین الکترونی لایه نگار ، آزمایشات سختی و کششی بررسی شدند. نتایج تحقیق ثابت میکنند که ریز ساختارهای تمام پتک کاری های بسته ضربه ای و شرایط سرمایشی بر مروفولوژی های مختلف بازهای فریت و پرلیت و اندازه ها ی دانه مطابق با ترکیبات شیمیایی و مقدار سرما فائق می آید . آبدهی و سرمادهی روغن منجر به تشکیل پرلیت و فریت نسبتاً ریز در فولاد نیمه ساخته یا متوسط کربن ( MC) یا مارتنزیت در فولاد میکرو آلیاژی متوسط کربن ( MC-MA) می شود. هر چند فریت نسبتاً ریز ، پرلیت و مارتنزیت مقاومت را افزایش می دهد اما شکل پذیری آن را کاهش می دهد. مقدار سرمایش اثر بارزی بر میکرو سازه و خواص مکانیکی در دمای اتاق دارد.


## 1-مقدمه

فولاد نیمه ساخته ( MC,AISI 1040) و فولاد نیمه ساخته میکرو آلیاژی ( MA-MA,38MnV56) بسیار در قطعات ساختمان ماشین آلات استفاده شده اند. بالاخص ، فولادهای MC-MA پس از تبدیل به قطعات به علت دستیابی مستقیم به خواص مکانیکی در پایان پروسه ، نیازی به عملیات حرارتی ندارند ، و در نتیجه به راحتی و سادگی می توان به صرفه جویی انرژی و هزینه ها با کاهش تعداد عملیات دست یافت . همچنین ، این فولادها مشخصات بسیار خوب چقرمگی و جوش پذیری را نشان میدهند. این خواص سودمند با کنترل دقیق ترکیبات شیمیایی و اتخاذ پروسه های مناسب کنترل شده حرارتی –مکانیکی بدست آمده است .توسعه ریز ساختار

sina-pub.ir

در طی گرمکاری فولاد معمولی کربن به اندازه  فولادهای میکرو آلیاژی حاوی مقادیر اندکی از Ti,NbM,AI  یا V تنها یا ترکیبی از V بارز نیست .

در سالهای اخیر ، بسیار ی مقالات ثابت کردند که فولادهای میکرو آلیاژی حاوی c  0.30-0.50wt% میتوانند با موفقیت جایگزین فولادهای مرسوم سرما داده و فولادهای آبداده شوند. نیروی محرک ماوراء توسعه فولادهای میکرو آلیاژی نیاز به کاهش هزینه های تولید بوده است . فولادهای بسیار مقاوم با توالی و زنجیره های از عملیات حرارتی به مقاومت و چقرمگی مطلوب مثل سرمادهی و آبدهی پس از تغییر زیاد  دما دست می یابند. در عوض ، فولادهای MC-MA  قادر به دستیابی به خواص زیاد مکانیکی مبتنی بر سرمایش کنترل شده  پس از دگر شکلی گرما هستند که فولادها حصول به این مرحله را مرهون  عملیات ساده گرما –مکانیکی هستند. در نتیجه ، خواص مورد نظر بدون تفکیک عملیات سرمادهی و آبدهی مورد نیاز فولادهای مرسوم کربن حاصل می شود. کاهش هزینه های پروسه تولید و افزایش خواص و عملکرد با فولادهای میکرو آلیاژی دست یافتنی است و در نتیجه منجر به افزایش مصرف و کاربرد آنها می شود.

افزودن عناصر آلیاژی روش مهم سودمندی هزینه را به منظور دستیابی به ترکیب خوبی از چقرمگی عالی و مقاومت از طریق کنترل  اندازه ها و سختی رسوب ارایه می دهد. افزایش مقاومت فولادهای میکرو آلیاژی با افزایش کسر و جزء حجم پرلیت یا با پالایش و آماده سازی دانه و مقاومت رسوب گذاری ماتریس فریت حاصل می شود که با افزودن میکرو آلیاژی ها ( مثل Ti,Nb یا A1 کنترل اندازه ذره و V مقاومت رسوب ) کنترل میشود .  دگر شکلی گرما پارامترمهمی در پالایش دانه  های ریز  میکرو آلیاژی است . دگر شکلی های خشن و زبر در منطقه تبلو ر مجدد اونسینت ،دانه های درشت اونسینت را با پروسه تبلور مجد د و دگر شکلی تکراری پالایش می کند. البته دگر شکلی در منقطه غیر متبلور مجدد مکان های هسته زایی فریت را به وسیله کلوچه سازی ساختار دانه های اونسینت و ساخت نوارهای دگر شکلی افزایش می دهد. بدین طریق ، ساختار دانه های ریز فریت پس از انتقال و تبدیل تولید می شوند. زمانی این پیشرفت ها حفظ میشوند که از مقدار سرما بیشتری استفاده شود .پتک کاری از بین پروسه های دگرشکل گرمایی تبدیل به تکنیک رقابتی پردازش و آمایش فولادها شده است .

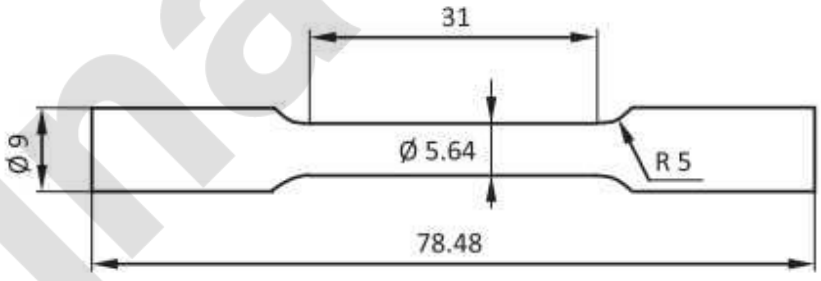
sina-pub.ir

مقدار سرما حاصل شده پس از مرحله دگر شکل تکمیل شده بر خواص مکانیکی با ایجاد و پدید آیی انواع اجزا ء تشکیل دهنده زیر ساختار که خواص مکانیکی را تغییر معناداری می دهد ، اثر زیادی دارد . مقادیر بالاتر سرما به علت مهار و کنترل پراکنش اتمی منجر به کاهش اندازه دانه فریت و مقاومت بیشتر ، سختی ، و چگالی نابجائی و فاز های ریز می شود. در مقابل مقادیر پایین تر سرما منجر به انتقال دانه ها به فاز های کم نابجایی تر ، نرم و زبر مثل فریت چند ضعلی می شود.

اندازه و درصد فریت و پرلیت در زیر ساختار نقش مهمی را در خواص نهایی مکانیکی ایفا میکند . هر یک از متغیرهای زیر ساختار بسیار متاثر از ترکیب فولادهای ریز آلیاژی ، پارامترهای آهنگری و پتک کاری مورد استفاده و مقدار سرما پس از پتک کاری میشود. تغییرات مقدار حجمی تغییر شکل ، دما های کار و مقادیر پس سرمایش میتواند انواع زیر ساختار ها را پدید آورد . هدف تحقیق حاضر بررسی اثر مقدار سرما پس از کنترل آهنگری و پتک کاری گرم بر خواص مکانیکی فولادهای MC-MA و MC است . این مقاله نیز خواستار دستیابی به اثر غلظت های وانادیم بر میکرو ساختار ها و خواص مکانیکی فولاد MC-MA آهنگری شده و خنک شده در دما های مختلف سرمایشی است.

جدول 1: ترکیب شیمایی فولادهای تحت بررسی ( wt%)

| فولاد ها | C | Si | Mn | P | S | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AISI 1040(MC) | 0,41 | 0.17 | 0.68 | 0.001 | 0.010 | - |
| 38MnV56(MC-MA) | 0.37 | 0.27 | 1.44 | 0.001 | 0.039 | 0.09 |




شکل 1: ابعاد نمونه تست کششی

sina-pub.ir

## 2-مصالح تحقیق و روش آزمایشی

فولاد تجاری MC . MC-MA(38MnV56) مصالح مورد استفاده در این تحقیق بودند. ترکیبات شیمیایی این فولاد ها در جدول 1 آمده است . قطر میله گرد فولادها 50 میلیمتر و طول آنها 1000 میلیمتر بود. فولادهای به طول های 200 میلمتر بریده شدند و 16 نمونه از فولادهای AISI 1040 و 38MnVS6 بدست آورده شدند. به نمونه های آزمایش غیر از نمونه های موجود در شرایط دریافت شده به مدت 30 دقیقه و در دما 1250درجه سانتیگراد در کوره القایی محلول زده شد . دما نمونه ها قبل و بعداز پروسه آهنگری با استفاده از ابزار سنج دما لیزری فروسرخ اندازه گیری شد. آزمایشات با 3.5 تن پرس مکانیکی انجام شدند. پتک کاری و آهنگری قابل مسدود تا کاهش قطر 24 درصد کرنش القایی ( محاسبه شده از قطر اولیه 50 میلیمتری) در دما بین 1250 تا 960درجه سانتی گراد انجام شد. سپس نمونه های فولاد آهنگری شد ، در ماسه ، هوا یا روغن سرد شدند.مقاومت کششی دما اتاق طبق استادارد TS EN ISO 6892-1 ماشین تست کششی Schimadzu با سرعت سربار 2 دقیقه / دقیقه اندازه گیری شد . نمونه های تست کششی طبق استاندارد TS EN ISO 6892-1 ساخته شدند( شکل 1). اندازه گیری سختی نیز بااستفاده از تست سختی ویکرس با یک کیلوگرم بار و هرم مربع شکل الماس انجام شد که از نظر هندسی دارای اثر مشابهی بود. حداقل ده نوع اندازه گیری سختی در هر نمونه جهت دستیابی به اعتبار معناد دار آماری انجام شد.

آزمایش میکرو ساختاریها فلادی و سطوح شکسته نمونه های به ترتیب با استفاده از میکروسکوپ اپتیکی و الکترونی لایه نگار ( SEM) انجام شد . نمونه ها طبق روشهای استاندارد فلز شناسی مطالعات ریز نگاری اپتیکی جلا داده شدند. آزمایش اپتیکی نمونه ها با استفاده از میکروسکوپ ECLIPSE L150 قادر به بزرگنمایی اشیاء از 50× تا 1000× انجام شد . اندازه ذره فریت ،مقدار حجم فریت ، و پرلیت با استفاده از روشهای میانگین برخوردگاه یا محل تقاطع خطی و شمارش نقطه ای نمونه های حکاکی شده متالوگرافی با بزرگ نمایی های مناسب محاسبه شدند. میکروسوپی الکترون لایه نگاری ( JEOL 840AJXA) نیز جهت بررسی شکست کششی نمونه های دارای شرایط مختلف آزمایشی استفاده شدند.

sina-pub.ir

## 3- نتایج و بحث ها

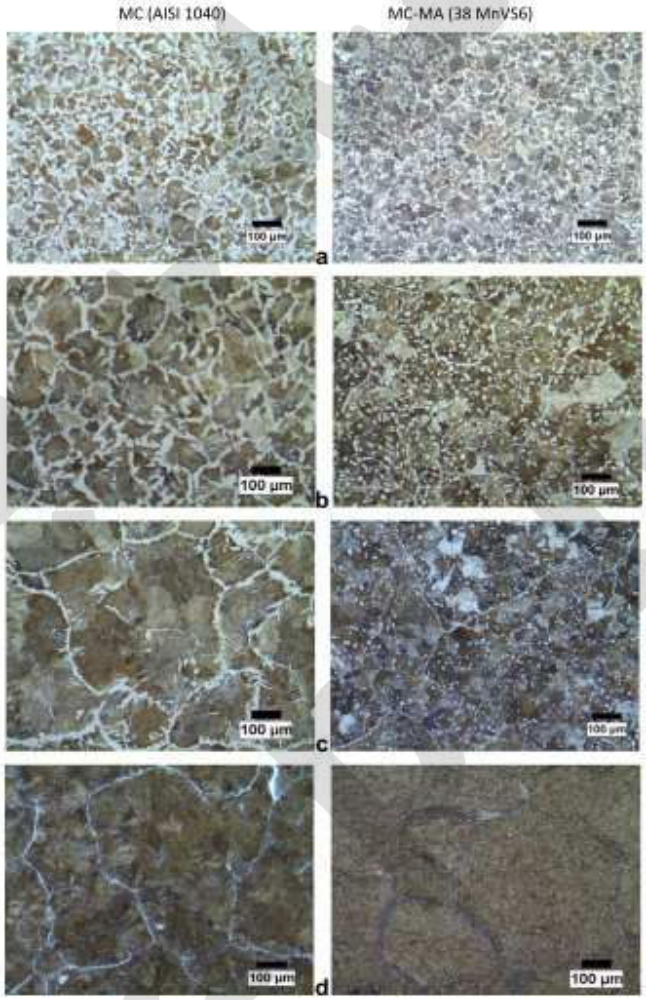
### 3.1 ریز ساختار

تغییر خواص مکانیکی فولادهای MC و MC-MA میتوانند از نظر میکرو ساختار بدست آمده در زمان مقدار مختلف سرما توضیح داده شود. شکل 2 ارزیابی میکرو ساختار فولادهای MC و MC-MA را تحت شرایط مختلف سرما نشان میدهد. جدول 2 جزء و کسر حجم فریت و پرلیت و میانگین محل تقاطع خطی اندازه ذره را در نمونه های دریافتی ، ماسه ، هوا و روغن سرد شده نشان می هد. در هر دو فولاد مشاهده می شود که فریت پرویتوکوئید به صورت یک شبکه نازک ، پیوسته در داننه های قبلی اوستنیت ظاهر می شود و مقدار حجم فریت با افزایش مقدار سرما کاهش می یابد ( جدول 2) . این ثرات معمولاً توام با اثر مقدار سرما بر به هم پیوستگی و افرایش مقدار فریت ها است . همچنین افزایش مقدار سرما پس از پتک کاری نهایی در دما 950درجه سانتی گراد منجر به تولید دانه های ریز تر فریت می شود. افزایش مقدار سرما دما انتقال را کاهش می دهد و فریت –پرلیت در دما پایین تری تولید میشود که منجر به تولید دانه های ریز تر فریت و پرلیت می شوند.

در زمان استفاده از مقادر کمتر سرما ( سرمایش ماسه ای ) تبلور مجدد و حتی رشد دانه قبل از انتقال $\alpha$ و $\gamma$ روی می دهد. ساختار هسته های پرو ایتوکوئید فریت روی مرز های دانه اوستنیت و میکرو ساختار دما اتاق از شبکه ای از فریت درشت بعلاوه پرلیت ( شکل 2) تشکیل می شود. میکرو ساختار نمونه های هوایی اصولاً در هر دو فولادها ی MC و MC-MA از فریت و پرلیت ریز تری ساخته شده است . مقدار اندکی از فریت Widmanstteh با مقادیر سرمایشی سریع از فریت چند ضلعی تولید می شوند دامنه دما آنها زیر دما فریت های هم محور هستند . سرمادهی روغن منجر به تشکیل فریت و پرلیت نسبتاً ریز در فولاد MC یا مارتزنیت در فولاد های MC-MA می شود . 0.99درصد V در فولاد MC-MA نمودارهای CCT و TTT را به زمان های طولانی تری تغییر می دهد ، و منجر به دستیابی به ساختار تمام مارتزنیت ها می شود. مارتزنیت به علت اثر زیان بار آن بر چفرمگی مطلوب نیست.

sina-pub.ir

در وانادیوم حاوی فولادی MC-MA ، پروایتوکوئید به صورت یک شبکه ناپیوسته مشاهده میشود و به طور یک دست و مساوی درمیکرو ساختار به نمونه های همانطور –دریافت شده ، ماسه ای و هوا دیده توزیع شد . ثابت شد که افزایش حجم پروایتوید فریت در فولاد های MC-MA توام با وجود وانادیوم بوده است . رسوبات V(CN) اندازه قبلی ذره اوستنیت را کاهش و حجم پرو یوتکتوید را افزایش می دهد زیرا مرزهای دانه ها مکان های هسته سازی پرویوتئوید را نشان می دهد.

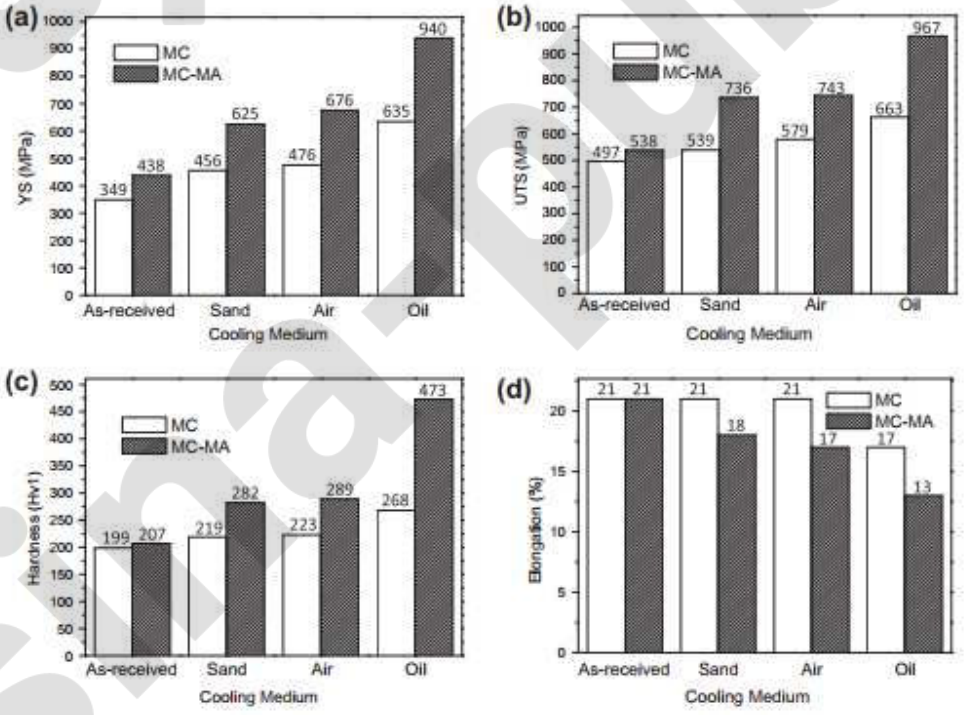



شکل 2: زیر ساختار های فولادهای MC-MA تحت شرایط ( a) همانطور که دریافت شد ، ( b) ماسه ای ( c) هوا و ( d) روغن دیده

sina-pub.ir

جدول 2: کسر حجم فریت و پارلیت و میانگین برخوردگاه خطی اندازه دانه نمونه های مشاهده شده ، ماسه ، هوا و روغن دیده

| فولاد | فریت (٪) | پرلیت (٪) | اندازه دانه فریت (μm) |
|---|---|---|---|
| MCas-rec | 3535 | 6565 | 1513 |
| MC ماسه دیده | 1535 | 6565 | 1515 |
| MC هوا دیده | 1717 | 8383 | 1212 |
| MC روغن دیده | 88 | 9292 | 77 |
| MC-MA as-rec | 3838 | 6262 | 1010 |
| MC-MA ماسه دیده | 2727 | 7373 | 1111 |
| MC-MA هوا دیده | 15 | 85 | 8 |
| MC-MA روغن دیده | – | – | – |

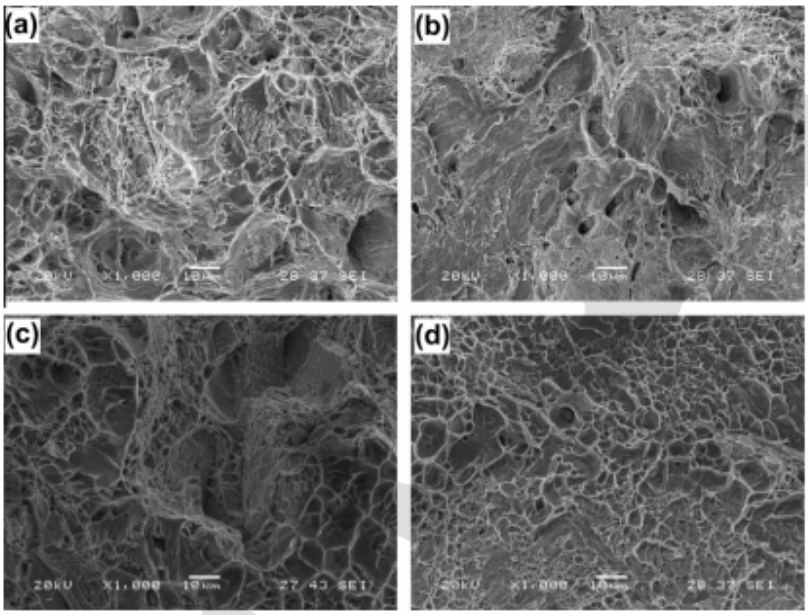


sina-pub.ir

شکل 3:مقایسه خواص مکانیکی محی طهیا مختلف سرمایشی پس از پتک کاری ( a) مقاومت تسلیم ، (b) مقاومت کششی ، ( C) سختی ، و ( d) درازش و ازدیاد طول %

وجود ذرات ریز VCN در فولادهای MC-MA در طی پتک کاری رشد دانه استنیک را تغییر میدهد و منجر به تولید زیر ساختار فریت – پارلیت ریز میشود. مشاهده شد که اندازه دانه فریت در فولاد MC تقریبات به ترتیب در شرایط هوا و ماسه دیده طبق روش میانگین برخورد خطی به ترتیب 12µm و 15µm بوده است . معهذا، اندازه دانه های ماسه و هوا دیده در فولاد MC-MA به ترتیب 8µm و 11µm بوده است . این احتمالاً ناشی از افزاش غلظت وانادیوم است زیر طح 0.09٪ وانادیوم منجر به هسته سازی ریز ذرات VCN می شود. وجود ذرات VCN رشد مرزهای دانه اوستنیت را در طی پتک کاری و درد دماهای 1250 تا 950درجه سانتی گراد کاهش می دهد . اندازه ریز دانه اوستنیت منجر به تولید دانه های ریز فریت در زمان سرما دهی در دما اتاق میشود. از آنجایی که وانادیوم ذرات موجود در فولادها را ته نشین میکند ، تبلور مجدد به تاخیر می افتاد و از آنجایی که این ذرات در دما 950درجه سانتی گراد یعنی در زمانی که دما اوستنیت سرد می شود ، تولید میشوند، میتوان نتیجه گرفت که دما تبلور مجدد بیشتر از دمای است که در آن رسوب گذاری شروع می شود. تبلور مجدد اوستنیت به علت اثر محلول و وانادیوم ته نشین شده ، میتواند تا اندازه به تعویق انداخته شود که عملاً زیر دما خاص ناپدید خواهد شد . رسوبات وانادیوم تولید شده رشد دانه اوسنتیتی و اندازه دنه اوسنتیتی دوباره متبلور شده را کنترل می کند . بدین ترتیب ، این ذرات ( وانادیوم کربن یترید ها و نیترید ها ) اندزه دانه فریت -پرلیت بدست آمده از تجزیه اوسنتیت در طی سرمایش در دما های نزدیک به دما هوا کاهش می دهند.

sina-pub.ir




شکل 4 سطوح شکست فولاد MC در محیط های مختلف (a) دریافت شده، (b) شن، (c) هوا و (d) نفت خنک شده

محلول پذیری VN طبق داده های تولید محلول پذیری ناریتا زیر 1000 درجه سانتی گرد حل می شوند . بنابراین اندازه دانه های فولاد MC-MA حاوی V به علت مشارکت VN در پروسه زیربندی کوچکتر از فولاد در شرایط هوا سرد است.

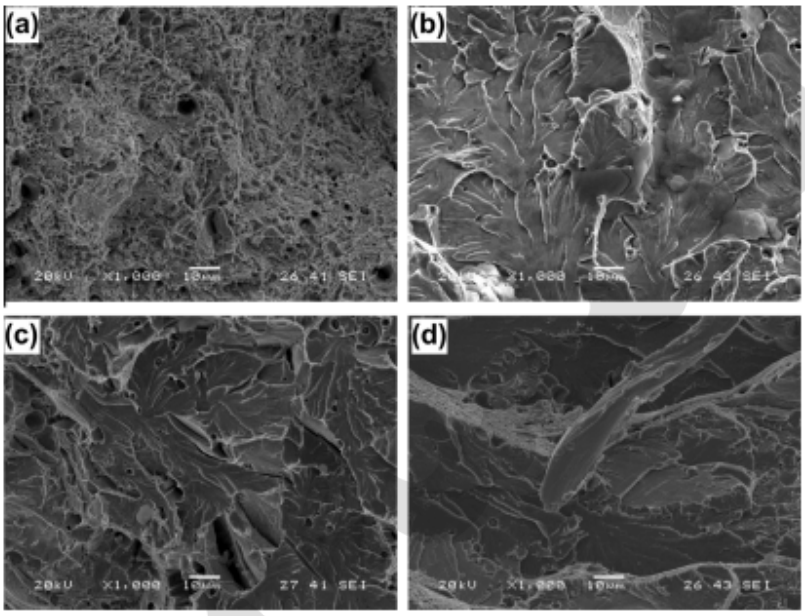
خواص مکانیکی شراط مختلف ترمو –دینامیکی در شکل 3 نشان داده شده است . از شکل 3 نتیجه گرفته میشود که مقاومت تسلیم ، مقاومت کششی و سختی فولادهای MC و MC-MA با افزایش مقدار سرما افزایش می یابند. ازدیاد طول و درازش در سرما کمتر مثل ماسه سرمایی یا هوا سرمایی افزایش می یابد البته افزایش مقدار سرما اثر منفی بر ازدیاد طول دارد . فولاد در شرایط سرمادهی روغن حداکثر UTS 663 MPa و 967MPa را در فولاد MC و MC-MA حفظ میکند. این در فولاد MC به تشکیل ریز ساختاری نسبت داد میشود که بر ساختار فریت و پرلیت نسبتاً کوچک تفوق دارد . البته این در فولاد MC-MA ناشی از سااختار سخت مارتنزیت است .قسمت اعظم مقاومت فولاد MC-MA از کربن محلول در مارتنزیت ناشی شده است . مقاومت کششی فولاد MC و MC-MA بدست آمده در شرایط هوا سرد و کاهش آن به 539و 736Mpa در ماسه سرمایی به ترتیب 579Mpa و743Mpa است . این کاهش مقاومت تسلیم ، مقاومت کششی یا سختی همراه با افزایش شکل

sina-pub.ir

پذیری نمونه های ماسه یا هوا سرمایی فولادهای MC وMC-MA ناشی از زیر ساختارهای آنها است که بر ساختار خشن فریت و پرلیت برتری دارد. بعلاوه ، تشکیل رسوبات درشت که در وقوع حرکت نابجایی کمتر موثر تر است ، یکی دیگر از پارامتری کاهش مقاومت فولاد MC-MA تلقی می شود. نتایج فوق همسویی خوبی با نتایج تحقیقات قبلی دارند.

با کاهش مقدار سرما در زمان واکنش شبه اتکتیک ، مسافت و فاصله پراکنش اتم ها افزایش می یابد. در نتیجه ، لایه ها و ورقه ها تولید شده در زمان واکنش درشت تر هستند وفضابندی آنها سست و شل تر است و. مقاومت آلیاژ با تولید فریت و پرلیت درشت و خشن کاهش می یابد. مقاومت کششی نیز نسبتاً به محتویات پارلیت که با وجود رابطه خطی بین سختی کار و محتویات پرلیت توضیح داده می شود نسبتاً حساس است که علت ایجاد آن این است که سختی کار پرلیت سریع تر از فریت صورت می کیرد. ریدلی و ه=مکاران در تحقیق مقاومت فولادهای شبه اتکتیک حاوی وانادیم ثابت کردند که افزایش مقاومت تولید شده با افزودن وانادیوم می توانند به دو مشخصه زیر نسبت داده شود. اولاً افزودن وانادیوم فضا بندی میان لایه ای پارلیت را کاهش می دهد. این اثر بدون شک ناشی از کاهش دما تبدیل اوستینت به پرلیت است . ثانیاً ، در تمامی فضا بندی های میان لایه ای پرلت ، تنش با افزاش محتویات وانادیوم افزایش یافته و توام با رسوبات و ته نشینی وانادیوم کربو-نیرید ریز در فریت پرلیت بوده است . بی پار نیز وجود ذرات بسیار ریز رسوبات را در فولاد تقریباً سرد کربن وانادیم ثابت کرد و اعلام نمود که هر چه سرما سریع تر صورت گیرد دما تبدیل کاهش بیشتری می یابد و رسوبات ایجاد شده در خوشه های ذرات ریز وانادیوم کربونیترید ها تصفیه می شوند.

sina-pub.ir




شکل 5: سطوح شکسته فولاد MC-MA پتک کاری شده و سرد شده در محیط های مختلف (a) دریافت شده ( b) ماسه ، ( c) هوا و ( d) روغن سرمایی

نتایج تست های سختی و کششی فولاد های بررسی شده نشان می دهد که مقاومت تسلیم ، مقاومت کششی و سختی فولاد MC-MAدر شرایط سرما بیشتر از فولاد MC است ( ماسه ، هوا و روغن سرمایی ) . زمانی خواص مکانیکی فولاد MC-MA بیشتر از فولاد MC است که غلظت های مشابه آناز افزایش محتویات وانادیم به 0. 09٪ ایجاد شده باشد. این همسو با نتایج تحقیق اولانیان و همکاران است که ثابت کردند افزایش محتویات وانادیم به 0.85٪ در فولاد نیمه ساخته میکروآلیاژی وانادیوم منجر به افزایش مقاومت عملکمرد ، مقاومت کششی و ساختی می شوند. همچنین ثابت شده است که افزایش مکانسیم مقاومت فولاد های کربن وانادیم متوسط میکرو آلیاژی با رسوبات وانادیم کربو –تیریت در فریت شبه اتکتیک و در لایه فریت ساختمان پرلیت ارتباط دارد . این می تواند به وقوع حرکت نابجایی ناشی تشکل ذرات ریز کاربرید ها ، نیترید ها یا کربونیترید ها ( مقاومت رسوب ) و یا با انحلال در ماتریس فریت ( مقاومت محلول جامد ) نسبت داده شود.

ریز نگاشت های SEM سطح شکست تنش فولادهای MC و MC-MA به ترتیب در شکلهای 4 و 5 نشان داده شده اند. طبق شکل 4 ، نمونها فولاد MC سرد شده در محیط های ماسه ، هوا یا روغن پس از پتک کاری قالب

sina-pub.ir

بسته با وجود همزمان مورفولوژی شکل پذیر و نرم و با فرور فتگی های خاص و مورفولوژی شکننده دارای مشخصات ظاهری و شکست شکافی مشخص می شود. البته سطوح شکست کششی نمونه های فولاد سرد شده در محیط های روغن ، ماسه و هوا و وجود مارتنزیت در نمونه ای سرما دیده ( شکل 5) مشخص می شود . کاهش این مشخصات در محیط های داری شکنندگی های به علت تاثیر متقابل و تعامل بین نابه جایی و ذرات رسوبی کاهش می یابد. این موروفولوژی همسو بانتایج تست های کششی شکل 3 است . فولادهای نیم ساخته ریز آلیاژی وانادیوم با میکرو ساختاری های فریت –پرلیت با مقاومت هم ارز پتک کاری شده یا غلتکی فولاد های آب بندی شده و هوا دیده تولید شده است ، اما چفرمگی آنها خوب نبوده است و. مقاومت فولادهای پرلیتیک با افزودن V افزایش یافته است ، اما چقرمگی ان افزایشی نداشت . روشهای مختلف زیر ساختاری چون پنک کاری شده و چون غلتکی به منظور افزایش چفرمگی آنان بررسی شده ند ، اما اصلاح و تصفیه دانه های اوستنیت و کاربرد سرما شتاب دار مناسب ترین روش بوده است.