

بررسی ریزساختار و مقاومت به سایش لایه رویه سخت پایه Fe-C-Nb بر روی فولاد ساده کربنی

حامد ثابت^۱، سید رضا امیرآبادی زاده^۲، محمد صادقی^۳ و نوید میرزا محمد^۴

- ۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
- ۲- عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی مواد، شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران (مپنا بویلر)
- ۴- کارشناس مهندسی مواد، گروه پژوهشی مهندسی جوش

h-sabet@kia.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر صفحاتی از فولاد ST37-2 تهیه شد و بعد از آماده‌سازی اولیه با مخلوط پودر گرافیت (مقدار ثابت) و فرونیوم (مقدار متغیر) پوشش داده شدند. عملیات جوشکاری با روش GTAW طی ۲ پاس (رفت و برگشت) با حرارت ورودی و میزان رقت ثابت به صورت رویه انجام شد، نتایج آزمایش آنالیز شیمیایی مشخص نمود که می‌توان لایه‌هایی با مقادیر متفاوت نیویوم (از ۰/۱۶ تا ۱/۳۴ درصد) و مقدار کربن ثابت (به‌طور متوسط ۱/۲ درصد) ایجاد نمود، نتایج آزمایش‌های سختی‌سنجی مشخص نمودند که با افزایش نیویوم سختی سطح افزایش می‌یابد به نحوی که بالاترین سختی مربوط به نمونه حاوی $Nb = 1/34\%$ می‌باشد، نتایج آزمون‌های متالوگرافی نشان دادند که با افزایش نیویوم از مقدار فاز مارتنزیت کاسته و به مقدار فاز آستنیت افزوده می‌شود، همچنین با افزایش نیویوم مقدار کاربید NbC در زمینه افزایش و شکل کاربیدها از حالت میله‌ای در نمونه حاوی $Nb = 0/16\%$ به حالت مستقل در نمونه حاوی $Nb = 1/34\%$ تغییر می‌کند، همچنین نتایج آزمون سایش مشخص نمودند که بالاترین مقاومت به سایش مربوط به نمونه حاوی $Nb = 1/34\%$ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

ریزساختار، مقاومت به سایش، فولاد ساده کربنی، Fe-C-Nb.

۱- مقدمه

ارجحیت دارند [۲ و ۳]. خواص لایه‌های سخت تابعی از ترکیب شیمیایی، شرایط انجماد، سرعت سرد شدن (بعد از انجماد)، ریزساختار، نوع، شکل و توزیع فازهاست [۴]. بر همین اساس لایه‌های سخت پایه آهنی بر اساس نوع سیستم آلیاژی به کار برده شده و یا ریزساختار میکروسکوپی تقسیم‌بندی می‌شوند [۵].

سایش یکی از مهمترین عوامل تخریب قطعات مهندسی در صنعت است [۱]. عملیات جوشکاری به‌علت صرفه اقتصادی و ایجاد لایه‌های نسبتاً ضخیم و مقاوم نسبت به عملیات حرارتی، آبکاری و پوشش دادن در شرایط سایش خراشان و ضربه

جدول (۱): ترکیب شیمیایی فلز پایه، پودرها و نسبت وزنی پودرها.

| ترکیب شیمیایی | ماده | C | Si | Mn | P | S | Nb | Fe | توضیحات |
|----------------------------------|---------|-------|---------|------|-------|---------|----|---------|-----------------------------|
| | ST37-2 | ۰/۰۸۱ | ۰/۱۸ | ۰/۳۳ | ۰/۰۰۸ | ۰/۰۱۲ | - | بقیه | - |
| | Fe-Nb | ۰/۰۵ | ۰/۲۱ | - | - | - | ۶۵ | بقیه | با اندازه متوسط ذرات ۱۰۰ μm |
| | گرافیت | ۹۸/۷۹ | ۰/۰۳ | ۰/۰۳ | ۰/۰۶ | ۰/۰۹ | - | - | با اندازه متوسط ذرات ۱۰۰ μm |
| نسبت وزنی فرونیوبیم به گرافیت | نمونه ۱ | | نمونه ۲ | | | نمونه ۳ | | نمونه ۴ | |
| | ۲/۵ | | ۵ | | | ۱۰ | | ۲۰ | |

کروم) بر ریزساختار و مقاومت به سایش لایه رویه سخت حاصل بر روی فولاد ساده کربنی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

جهت انجام آزمون‌ها از ورق‌های فولادی کم کربن ST37-2 به ابعاد ۱۰×۱۲×۲۰ میلی‌متر استفاده شد. برای این منظور ابتدا لایه‌های اکسیدی موجود در سطح ورق‌ها با کمک فرز دستی به ضخامت یک میلی‌متر سنگ‌زنی شد و بعد از شستشو با آب‌گرم، تحت چربی‌زدایی با استن قرار گرفتند. جهت انجام آزمون‌ها ۴ نمونه مخلوط پودر با مقدار گرافیت ثابت و مقادیر متفاوتی از فرونیوبیم تهیه شدند. جدول (۱) ترکیب شیمیایی فلز پایه، پودرها و نسبت وزنی پودرها را نشان می‌دهد.

در مرحله بعد مخلوط هر یک از پودرها تحت عملیات همگن‌سازی و آلیاژسازی اولیه مکانیکی به کمک آسیاب گلوله‌ای تحت پوشش گاز آرگون به مدت یک ساعت قرار گرفتند، سپس با ۲۰٪ وزنی چسب سیلیکات سدیم مخلوط و به صورت خمیر^۱ بر روی سطح ورق‌ها به ضخامت یک میلی‌متر پوشش داده شدند و در کوره عملیات حرارتی در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت خشک شدند. در مرحله بعد نمونه‌های خشک شده تحت عملیات جوشکاری به روش GTAW طی ۲ پاس (رفت و برگشت) با حرارت ورودی و میزان رقت ثابت به صورت رویه^۲ قرار گرفتند. جدول (۲) شرایط جوشکاری نمونه‌ها را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در این

بر اساس نوع سیستم آلیاژی، لایه‌های سخت به دو دسته حاوی Fe-C-Cr و Fe-C-X تقسیم‌بندی می‌شوند [۶]. لایه‌های سخت Fe-C-X در شرایط سایش خراشان و توأم با ضربه مورد استفاده وسیعی دارند. برای مثال می‌توان به قطعات مورد مصرف در صنایع سیمان، معدن و راه‌سازی اشاره نمود [۶ و ۷]. نوع و مقدار عناصر آلیاژی در لایه‌های سخت Fe-C-X بر حسب مکانیزم سایش و عملکرد لایه سخت انتخاب می‌شود [۸ و ۹]. برای مثال افزودن Mn و B به منظور بهبود مقاومت به رفتگی مورد توجه بوده است [۱۰ و ۱۱]. عناصری مانند V - Mo [۱۲] و Ti [۱۳]، عمدتاً برای بهبود مقاومت به سایش خراشان به سیستم آلیاژی Fe-C-X افزوده می‌شوند. از بین عناصر آلیاژی منتخب عنصر نیوبیم با انرژی آزاد تشکیل کاربید ۷۸ KJ/mol جزء عناصر کاربیدزای قوی در سیستم آهن-کربن محسوب شده و توانایی تشکیل کاربیدهای NbC را در سیستم آلیاژی دارد [۱۴]. نیوبیم عمدتاً در سیستم‌های آلیاژی Fe-C-Cr به کار برده شده است و به عنوان عنصری جهت جایگزینی تیتانیم و وانادیم مطرح بوده است. نیوبیم در این سیستم‌های آلیاژی تا سقف ۴ درصد (در حضور ۲۰ درصد کروم) مورد استفاده قرار گرفته و باعث تشکیل و توزیع یکنواخت‌تر کاربیدهای کمپلکس گردیده است [۱۵]. از آنجایی که عمده تحقیقات [۱۴ و ۱۵] بر روی عنصر نیوبیم در سیستم‌های آلیاژی لایه سخت در حضور سایر عناصر آلیاژی بوده است، لذا در این تحقیق اثر افزودن عنصر نیوبیم در مقادیر متفاوت بدون حضور عناصر اضافی (مانند

منظور حداقل سه نقطه از هر نمونه تحت آزمون قرار گرفت که متوسط نتایج آنها به عنوان معیار ترکیب شیمیایی لایه رویه سخت در نظر گرفته شد. متالوگرافی نوری به کمک یک دستگاه میکروسکوپ نوری Olympus BX51M مجهز به سیستم Image Analysis در حالت بعد از اچ (با محلول اچ ۷۵٪ HCl + ۲۴٪ HNO₃ + ۱٪ HF) بر روی نمونه‌ها انجام گردید، همچنین آزمایش پراش سنجی پرتو X جهت شناسایی فازها توسط دستگاه STAPI MP مجهز به نرم افزار X' High Score انجام گردید.

جهت تعیین ترکیب شیمیایی فازها و تهیه نقشه توزیع عناصر آلیاژی^۳ از یک میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل VEGA/TESCAN استفاده شد. آزمایش سختی سنجی با کمک دستگاه سختی سنجی مدل Struers-Duramin به روش میکرو ویکرز تحت بار ۵۰۰ گرم نیرو در فاصله یک میلی متری از سطح و سختی سنجی ماکرو ویکرز به کمک دستگاه سختی سنجی Wolpert مدل Universal 722 تحت بار ۳۰۰۰۰ گرم نیرو انجام شد. آزمون سایش نیز بر اساس استاندارد ASTM G65 (آزمون سایش ماسه خشک و چرخ لاستیکی) تحت نیروی ۱۳۰ نیوتن انجام گردید و از آنجایی که الکتروود استالایت ۱۲ با ترکیب شیمیایی رسوب C ۱/۵٪ و Cr ۲۹٪ و W ۸/۵٪ و الباقی کبالت یکی از متداولترین آلیاژهای سخت کاری سطحی فولادهای ساده کربنی می باشد، لذا نتایج آزمون سایش نمونه‌ها با فولاد ST37 (بدون روکش) و فولاد ST37 روکش کاری شده با الکتروود استالایت ۱۲ مقایسه گردید.

۳- نتایج و مباحث

جدول (۳) ترکیب شیمیایی لایه‌های سخت را نشان می دهد همانگونه که مشخص است مقدار نیویم لایه‌های سخت با یکدیگر متفاوت می باشد ولی مقدار کربن لایه‌ها تقریباً یکسان است به نحوی که کمترین مقدار نیویم مربوط به نمونه ۱ با ۰/۱۶ درصد نیویم و بیشترین مقدار نیویم مربوط به نمونه ۴ با ۱/۳۴ درصد نیویم می باشد.

جدول (۲): شرایط جوشکاری نمونه‌ها.

| | |
|-----------------------------|---------------|
| نوع فرآیند | GTAW اتوماتیک |
| قطبیت | DCEN |
| شدت جریان | ۹۸ A |
| ولتاژ | ۱۴ V |
| طول قوس | ۳ mm |
| قطر الکتروود | ۲/۴ mm |
| سرعت جوشکاری | ۱۰ cm/min |
| زاویه رأس الکتروود | ۶۰° |
| دبی گاز | ۸ lit/min |
| نوع گاز محافظ | آرگون خالص |
| تعداد پاس‌های روی هر خط جوش | ۲ |
| حرارت ورودی هر پاس | ۰/۵ KJ/mm |
| میزان رقت پاس‌ها | ۱۰٪ |

جدول (۳): ترکیب شیمیایی لایه‌های سخت.

| عنصر نمونه | C | Si | Mn | P | S | Nb | Fe |
|---------------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| ۱ | ۱/۲۲ | ۰/۹۴ | ۰/۲۳ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۱۶ | بقیه |
| ۲ | ۱/۲۰ | ۰/۹۶ | ۰/۲۴ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۳۴ | بقیه |
| ۳ | ۱/۱۸ | ۰/۹۸ | ۰/۲۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۶۳ | بقیه |
| ۴ | ۱/۲۴ | ۰/۹۴ | ۰/۲۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | ۱/۳۴ | بقیه |

جدول مقدار حرارت ورودی هر پاس به روش محاسباتی و از فرمول زیر محاسبه شده است:

$$(1) \quad 0.58 \times (V) \times (A) \times \text{شدت جریان} \times 1000 \times \text{سرعت جوشکاری (mm/s)}$$

همچنین میزان رقت به روش تصویربرداری ماکروسکوپی و از فرمول زیر محاسبه شده است:

$$(2) \quad \frac{\text{سطح مقطع رسوب جوش (mm}^2\text{)}}{\text{سطح مقطع کل (mm}^2\text{)}}$$

در مرحله بعد قطعاتی جهت بررسی و تعیین ترکیب شیمیایی، متالوگرافی نوری و SEM، XRD، سختی سنجی و سایش از نمونه‌ها تهیه شدند. آنالیز شیمیایی به روش اسپکترومتری نشری (ES) در فاصله یک میلی متری از زیر سطح انجام شد، برای این

جدول (۴): نتایج آزمون سختی سنجی.

| شماره نمونه | ریزسختی سنجی (میکرو) | سختی سنجی (ماکرو) |
|----------------------|-------------------------|----------------------|
| | سختی مقطع عمود HV500 | سختی رویه HV30000 |
| ۱ | ۷۱۰ | ۴۹۵ |
| ۲ | ۷۹۵ | ۵۳۳ |
| ۳ | ۸۶۰ | ۵۸۶ |
| ۴ | ۹۱۲ | ۶۱۴ |
| ST37 | - | ۱۳۹ |
| ST37+ استالایت ۱۲ | ۶۴۱ | ۴۵۱ |

ضریب ۷۵- می باشد که عنصر مؤثری حتی با مقادیر کم در تشکیل آستنیت باقی مانده می باشد. با افزایش عناصر آلیاژی در سیستم آهن- کربن دمای شروع استحاله مارتنزیت (MS) کاهش می یابد، لذا در شرایط یکسان سرعت سرد شدن میزان فاز مارتنزیت با افزایش مقدار عناصر آلیاژی (از جمله نیویم) کاهش و مقدار فاز آستنیت افزایش می یابد [۱۶ و ۱۷]. از طرفی بررسی جدول (۵) مشخص می نماید که با افزایش نیویم، مقدار کاربیدهای نیویم در ریزساختار افزایش می یابد. علت این امر نیز ناشی از تمایل بیشتر نیویم نسبت به آهن به تشکیل کاربید می باشد [۱۷].

شکل (۲) آنالیز EDX از کاربیدهای موجود در نمونه شماره ۴ ($Nb = 1/34$) را نشان می دهد. همانگونه که مشخص است کاربیدها غنی از نیویم بوده و حاوی مقادیر جزئی آهن (قابل اغماض) می باشند، نقشه توزیع عناصر کربن، آهن و نیویم در شکل (۳) بیانگر توزیع یکنواخت کربن در زمینه و کاربیدها، توزیع آهن در زمینه و توزیع نیویم در کاربیدها می باشد.

از طرفی بررسی های متالوگرافی (جدول ۵) مشخص می نمایند که با افزایش نیویم توزیع و شکل کاربیدهای نیویم در زمینه تغییر می کند به نحوی که در نمونه ۱ ($Nb = 0/16$) کاربیدهای نیویم از نوع میله ای و پراکنده در بین تیغه های مارتنزیتی بوده ولی در نمونه ۴ ($Nb = 1/34$) کاربیدها به شکل مستقل^۴ با توزیع یکنواخت در زمینه پراکنده شده اند. علت تغییر در مورفولوژی کاربیدها ناشی از اثر نیویم بر ایجاد شیب غلظتی در مذاب و تأثیر بر مکانیزم رشد کاربیدها می باشد [۱۸].

شکل (۴) تصویر متالوگرافی نمونه های ۱ و ۴ را به صورت مقایسه ای نشان می دهد.

شکل (۵) نتایج آزمون سایش نمونه ها را بر اساس استاندارد ASTM G65 نشان می دهد. همانگونه که مشخص است مقاومت به سایش نمونه های لایه سخت حاوی نیویم بالاتر از فولاد ST37 و فولاد ST37 روکش کاری شده با الکتروود استالایت ۱۲ است، همچنین در نمونه های لایه سخت با افزایش نیویم مقاومت به سایش نمونه ها افزایش می یابد، با مقایسه نتایج آزمایش سایش

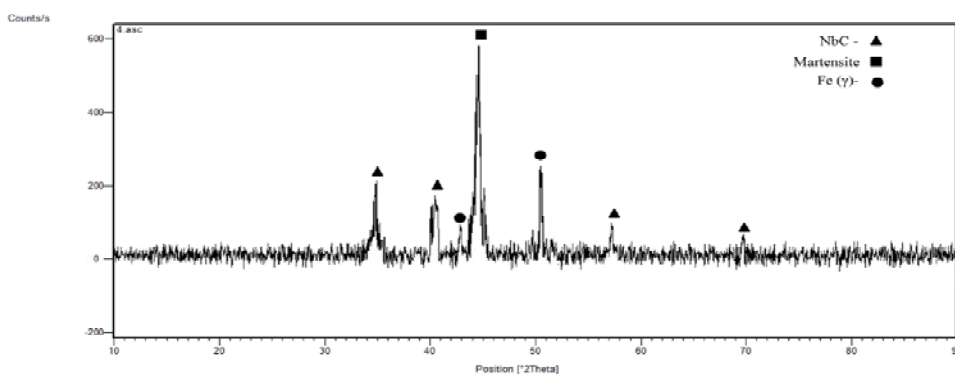
جدول (۴) نتایج آزمایش سختی سنجی لایه های سخت را نشان می دهد. همانگونه که مشخص است سختی نمونه های لایه سخت حاوی نیویم از سختی فولاد پایه ST37 و فولاد ST37 روکش کاری شده با الکتروود استالایت ۱۲ بالاتر است. علاوه بر این در نمونه های لایه سخت حاوی نیویم با افزایش نیویم سختی لایه ها افزایش می یابد به نحوی که بیشترین سختی مربوط به نمونه ۴ ($Nb = 1/34$) می باشد.

از آنجایی که سختی تابعی از ریزساختار میکروسکوپی می باشد لذا آزمون XRD جهت شناسایی فازها بر روی تمامی نمونه ها انجام شد، الگوی پراش پرتو اشعه X نمونه شماره ۳ در شکل (۱) ارائه شده است. همانگونه که مشخص است فازهای NbC، آستنیت و مارتنزیت در این نمونه مشاهده می گردد.

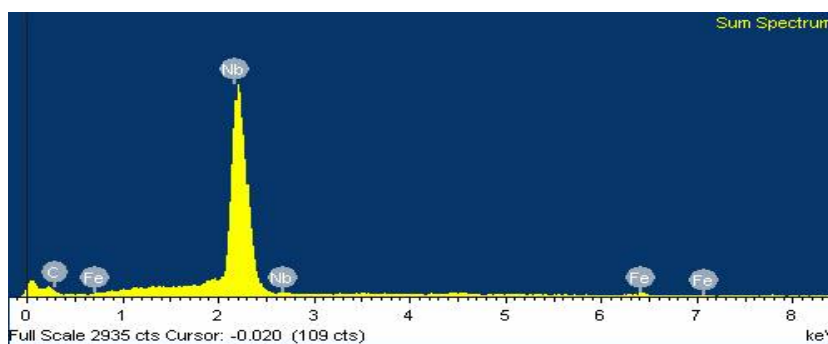
جدول (۵) نتایج آزمون XRD و متالوگرافی نوری کلیه نمونه ها را نشان می دهد. همانگونه که مشخص است ریزساختار تمامی لایه های سخت شامل مارتنزیت، آستنیت و کاربیدهای NbC می باشد ولی مقدار هر یک از فازها با افزایش نیویم تغییر می یابد. همانگونه که مشخص است با افزایش نیویم از میزان فاز مارتنزیت کاسته شده و به مقدار فاز آستنیت افزوده می شود. علت این امر ناشی از اثر عناصر آلیاژی بر روی دمای شروع استحاله مارتنزیتی می باشد [۱۶]. اثر نیویم بر کاهش دمای استحاله مارتنزیتی مطابق با رابطه Novikov موجود در مرجع ۱۷ دارای

جدول (۵): نتایج آزمون XRD و متالوگرافی نوری.

| نمونه | فازهای شناسایی شده توسط XRD | متالوگرافی نوری | | | نحوه توزیع کاربیدهای NbC |
|-------|-----------------------------|-----------------|----|------|--------------------------|
| | | %A | %M | %NbC | |
| ۱ | A+M+NbC | ۲۱ | ۶۵ | ۱۳ | میله‌ای |
| ۲ | A+M+NbC | ۲۸ | ۵۲ | ۲۰ | میله‌ای و گلوله‌ای |
| ۳ | A+M+NbC | ۳۱ | ۴۰ | ۲۹ | گلوله‌ای و مستقل |
| ۴ | A+M+NbC | ۳۸ | ۲۴ | ۳۸ | مستقل |



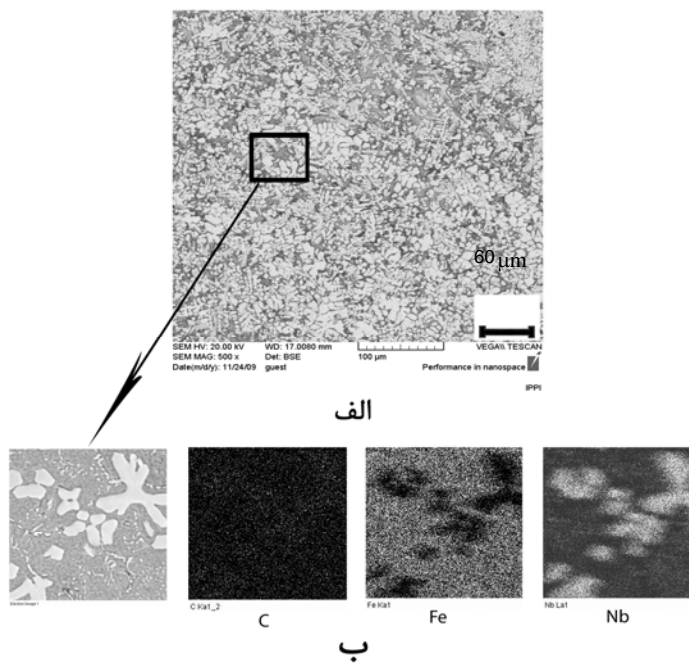
شکل (۱): الگوی پراش اشعه X لایه آلیاژی نمونه شماره ۳.



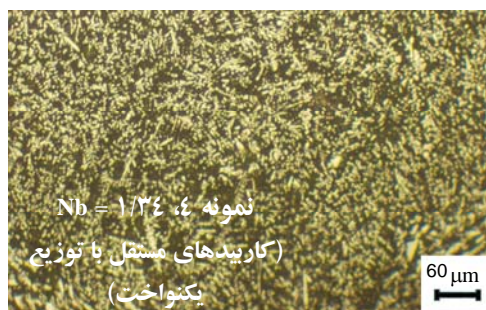
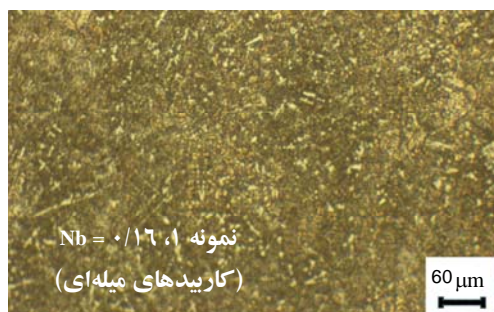
شکل (۲): آنالیز EDX از کاربیدهای موجود در نمونه شماره ۴ (Nb = ۱/۳۳).

آستنیت و کاهش مارتنزیت زمینه را باید ناشی از افزایش مقدار کاربیدهای نیوبیم به شکل مستقل با توزیع یکنواخت‌تر دانست [۱۸].

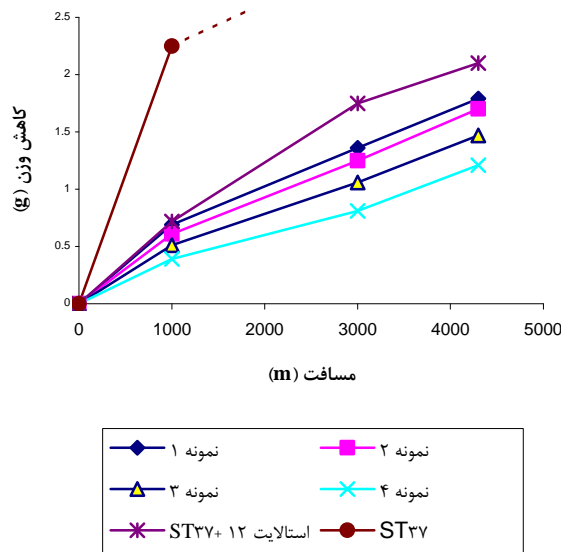
با نتایج جدول (۴) مشخص می‌گردد که مقاومت به سایش با سختی نمونه‌ها مرتبط است به نحوی که بالاترین مقاومت به سایش مربوط به نمونه شماره ۴ (Nb = ۱/۳۴) با سختی رویه ۶۱۴ ویکرز می‌باشد. علت افزایش سختی و مقاومت به سایش علیرغم افزایش



شکل (۳): الف) تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی لایه سخت شده نمونه شماره ۴ و ب) نقشه توزیع عناصر کربن، آهن و نیوبیم نمونه شماره ۴ (نقاط سفید محل تمرکز عنصر را نشان می‌دهد).



شکل (۴): تصویر متالوگرافی نوری در حالت بعد از اچ نمونه ۱ و ۴ به صورت مقایسه‌ای.



شکل (۵): نتایج آزمون سایش نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM G65.

۴- با افزایش نیویم مقاومت به سایش لایه‌های سخت افزایش می‌یابد.

۵- تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج انجام شده است که از مسئولین محترم تشکر می‌گردد. همچنین از همکاری مدیریت و کارشناسان واحد تحقیقات و کنترل کیفیت شرکت صنعتی آما به‌خاطر همکاری در انجام بخشی از آزمون‌ها قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

- [1] Metal's Handbook, Vol. 18, 9 th Edition, ASM, 1998.
- [2] J. Halling, "Introduction to Tribology", Wykeham Publisher, 1976.
- [3] E. N. Gregory, "Selection of Materials for Hardfacing", TWI, 1980.
- [4] S. G. Sapate and A. B. Ramarao, "Erosive Wear Behavior of Weld Hardfacing High Chromium Cast Irons", Tribology International, 39, pp. 206-212, 2006.
- [5] S. Buytoz, M. Ulutan and M. M. Yildirim, "Dry Sliding Wear Behavior of TIG Welding Clad Composite Coatings", Applied Surface Science, 252, pp. 1313-1323, 2005.

در نتیجه سختی و مقاومت به سایش لایه‌های سخت را می‌توان تابعی از مقدار، شکل و توزیع کاربیدهای نیویم دانست. به‌نحوی که بالاترین مقاومت به سایش مربوط به نمونه شماره ۴ (Nb = ۱/۳۴) با سختی بالاتر با مقدار کاربیدهای نیویم بیشتر و یکنواخت‌تر به‌شکل مستقل می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ریزساختار، سختی و مقاومت به سایش لایه‌های رویه سخت Fe-C-Nb بر روی فولاد ساده کربنی ایجاد شده توسط فرآیند جوشکاری GTAW بررسی شد و نتایج ذیل حاصل گردید:

- ۱- با افزایش نیویم در سیستم آلیاژی Fe-C-Nb از مقدار فاز مارتزیت کاسته و به‌مقدار آستنیت زمینه افزوده می‌شود.
- ۲- با افزایش نیویم در سیستم آلیاژی Fe-C-Nb مقدار کاربیدهای NbC در زمینه افزایش و شکل کاربیدها از حالت میله‌ای به‌حالت مستقل تغییر می‌یابد.
- ۳- با افزایش نیویم سختی میکروسکوپی و ماکروسکوپی لایه‌های سخت افزایش می‌یابد.

- [14] J. Haochen, P. H. Hua, P. Nungchen, C. M. Chang and W. Wu, "Characteristic of Multi Element Alloy Cladding Produced by TIG Process", *Materials Letters*, 62, pp. 2490-2492, 2005.
- [15] L. Zhang, D. Sun and H. Yu, "Effect of Nb on the Microstructure and Wear Resistance of Iron Based Alloy Coating Produced by Plasma Cladding", *Materials Science and Engineering A*, 49, pp. 57-61, 2008.
- [16] B. W. K. Honeycomb, "Steels Microstructure and Properties", Edward Arnold, 1981.
- [17] W. Zmudzinsking and M. Ezekiel, "Coating and Overlays for Critical Value Applications", *Materials Forum*, 30, pp. 333-338, 2006.
- [18] Carbera, "Niobium Carbide in Hardfacing Weld Deposit", University of Cambridge, PhD Thesis, 2008.
- [6] M. F. Buchely, J. C. Gutierrez, L. M. Leon and A. Toro, "The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys", *Wear*, 259, pp. 52-61, 2005.
- [7] C. Fan, M. Chen, C. M. Chang and W. Wu, "Microstructure Change Caused by (Cr, Fe)₂₃C₆ Carbides in High Chromium Fe-Cr-C Hardfacing Alloys", *Surface and Coating Technology*, 21, pp. 908-912, 2006.
- [8] D. K. Dwivedi, "Microstructure and Abrasive Wear Behavior of Iron Base Hardfacing", *Materials Science and Technology*, 10, pp. 10-20, 2004.
- [9] J. R. Davis, "Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance", ASM, 2001.
- [10] T. Hejwowski, "Erosive and Abrasive Wear Resistance of Overlay Coating", *Vacuum*, 30, pp. 1-5, 2008.
- [11] S. Kumar, K. P. Mondal and A. K. Jha, "Effect of Microstructure and Chemical Composition of Hardfacing Alloy on Abrasive Wear Behavior", *Materials Science and Technology*, 8, pp. 10-20, 2000.
- [12] J. N. Aoh, Y. R. Jeng, E. L. Chu and L. T. Wu, "On the Wear Behavior of Surface Clad Layers Under High Temperature", *Wear*, 225, pp. 1114-1122, 1999.
- [13] X. H. Wang, M. Zhng, Z. D. Zou, S. L. Song, F. Han and S. Y. Qu, "In Situ Production of Fe-Tic Composite Coating by TIG", *Surface and Coating Technology*, 200, pp. 6117-6122, 2006.

۷- پی نوشت

- 1- Paste
- 2- Bead on Plate
- 3- Mapping Element
- 4- Equiaxed