

بررسی و مقایسه ریزساختار، سختی و مقاومت به سایش لایه‌های سخت کامپوزیتی ایجاد شده به روش جوشکاری FCAW حاوی ذرات TiC و TiCN بر روی فولاد ساده کربنی

مهدی محمدی خواه^۱، حامد ثابت^{۲*}، علی شکوه فر^۳، سعید محرابیان^۴ و اکبر هادی زاده^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۳- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۱ و ۴ و ۵- شرکت کاوش جوش

*h-sabet@kiau.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۸/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۱/۲۲)

چکیده

در این تحقیق با استفاده از یک نوع سیم جوش توپودری حاوی مواد فروآلیاژی عملیات روکش کاری سخت توسط فرآیند FCAW با گازهای محافظ مختلف آرگون و نیتروژن بر روی فولاد ساده کربنی انجام گردید. آزمایش آنالیز شیمیایی حکایت از جذب نیتروژن در نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن دارد. نتایج آزمایش‌های پراش پرتو X (XRD)، متالوگرافی SEM و آنالیز نقطه‌ای EDX بیانگر حضور رسوبات کربونیتريد تیتانیم (TiCN) در فلز جوش نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن و همچنین رسوبات کاربید تیتانیم (TiC) در نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون در زمینه فریتی می‌باشند. نتایج سختی سنجی بیانگر بالاتر بودن سختی نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن در مقایسه با نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون می‌باشد. همچنین آزمون سایش انجام گرفته (ASTM G65) نشان می‌دهد که نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن مقاومت به سایش بالاتری نسبت به نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون دارد، بررسی SEM سطوح ساییده شده مشخص نمود که مکانیزم سایش نمونه‌های جوشکاری شده با گاز محافظ نیتروژن و با گاز محافظ آرگون شخم‌زنی بوده است ولی خطوط شیار در سطح نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن از عمق کمتری نسبت به نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون برخوردار هستند که این امر مربوط به مقدار و توزیع فازهای TiC و TiCN در نمونه‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

FCAW، ریزساختار، سختی، مقاومت به سایش، TiC، TiCN، فولاد ساده کربنی.

۱- مقدمه

مولفه‌های سطحی یک مجموعه (تریبوسیستم) دارد. پدیده مذکور موجب اختلال در کارایی قطعات شده و ممکن است منجر به شکست فاجعه‌آمیز آنها گردد [۱].

سایش عبارت است از کاهش تدریجی ماده از سطح جسمی که در مقابل سطح جسم دیگر حرکت نسبی دارد. سایش بر خلاف مدول الاستیسیته و سختی، خاصیت ذاتی ماده نیست و بستگی به

۵-ب- سایش رفتگی
 روش‌هایی که برای کاهش نرخ سایش حاصل از مکانیزم‌های بالا و حفاظت سطح به کار می‌روند، عبارتند از [۳ و ۵]:

- ۱- استفاده از روانکارهای مناسب
- ۲- سخت کردن سطحی (عملیات حرارتی ترموشیمیایی- عملیات حرارتی سطحی)
- ۳- آبرکاری الکتریکی (کروم سخت و ...)
- ۴- کاشت یونی
- ۵- ایجاد لایه‌های مقاوم به سایش به روش جوشکاری

یک روش متداول جهت افزایش عمر قطعات در معرض سایش، استفاده از عملیات سخت کاری (ایجاد لایه‌های سخت) توسط جوشکاری برای محافظت از سطح می‌باشد [۵]. سخت کاری یا روکش کاری سخت توسط جوشکاری در ابزارآلات کشاورزی، حفاری، صنایع نیشکر، معادن و دیگر صنایع برای افزایش سختی و مقاومت به سایش خراشان توأم با ضربه اجزاء استفاده می‌گردد. آلیاژهای مورد استفاده جهت ایجاد لایه مقاوم به سایش بر روی فلزات پایه آهنی (فولاد کربنی و کم‌آلیاژ) به دو دسته عمده آلیاژهای آهنی و آلیاژهای غیر آهنی تقسیم‌بندی می‌شوند. آلیاژهای آهنی به کار رفته برای این منظور در دو دسته عمده زیر قرار دارند [۶ و ۷]:

- ۱- آلیاژهای پایه Fe-Cr-C
- ۲- آلیاژهای پایه Fe-C-X (x عنصر کاربیدزا)

آلیاژهای غیر آهنی مورد استفاده نیز دو دسته‌اند که عبارتند از:

- ۱- آلیاژهای پایه کبالت
- ۲- آلیاژهای پایه نیکل

آلیاژهای پایه آهنی به علت قیمت مناسب و مقاومت به سایش بالاتر نسبت به آلیاژهای پایه غیر آهنی بیشتر مورد توجه مهندسی و صنعتگران بوده‌اند [۷]. این آلیاژها بر اساس ساختار میکروسکوپی به دسته‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارتند از [۸ و ۹]:

- ۱- ساختار فریتی- بینیتی
- ۲- ساختار آستنیت- کاربید ماقبل یوتکتیک

میزان سایش مواد تابعی از شرایط سایش، نیروهای اعمالی، جنس و اندازه ذرات ساینده موجود در مجموعه و همچنین پارامترهای متالورژیکی ماده تحت سایش همچون ساختار میکروسکوپی، فازها و دانه‌بندی دارد [۱ و ۲]. انتخاب مواد مقاوم به سایش می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای در کاهش هزینه‌ها و افزایش عمرکاری قطعات مؤثر باشد. برای این منظور شناسایی مکانیزم‌های سایش و روش‌های محافظت از سطح تحت سایش برای یک انتخاب صحیح بسیار پراهمیت می‌باشد [۳].

به طور کلی نحوه جابجایی مواد و ویژگی‌های سطوح ساییده شده، نوع سایش را تعیین می‌کند، لذا می‌توان انواع سایش را به دو روش عمده طبقه‌بندی نمود [۳ و ۴]:

الف- بر اساس مکانیزم سایش

ب- بر اساس محیط و نوع حرکت

در دسته‌بندی اول طبق استاندارد DIN 50320 مکانیزم‌های سایش به چهار گروه کلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

- ۱- الف- چسبان
- ۲- الف- خراشان
- ۳- الف- خستگی
- ۴- الف- خوردگی

سایش خراشان متداول‌ترین مکانیزم سایش قطعات و ماشین‌آلات صنعتی است و موقعی رخ می‌دهد که سطح سخت و زبر در مقابل یک سطح نرم‌تر حرکت لغزشی داشته و در آن فرو رفته و یک سری شیارهایی را به وجود آورد. به عبارت دقیق‌تر جابجایی مواد به وسیله ذرات یا دندان‌های سخت را سایش خراشان می‌گویند. این مکانیزم به دو گروه سایش خراشان دو جسمه و سه جسمه تقسیم می‌شوند. در سایش دو جسمه، دندان‌های سخت و در سایش سه جسمه ذرات سخت باعث سایش سطوح می‌شوند.

روش دوم از دسته‌بندی سایش بر اساس محیط و نوع حرکت و یا به عبارتی بر اساس نوع تماس سطوح سایش یافته است که به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود [۴]:

- ۱- ب- سایش لغزشی
- ۲- ب- سایش غلطشی
- ۳- ب- سایش ضربه‌ای
- ۴- ب- سایش نوسانی

می‌نمایند که برای کاربردهای مقاومت به سایش همراه با ضربه توصیه شده است [۱۵].

تحقیقاتی در مورد بکارگیری گاز ۱۰۰٪ نیتروژن به عنوان گاز محافظ در آلیاژسازی سطحی به همراه تیتانیم توسط فرآیند جوشکاری لیزر برای ایجاد پوشش‌های سخت به کار گرفته شده است. گزارش شده است که این ذرات ریز نیتریدی (TiN) به عنوان مانعی در سر راه ذرات ساینده قرار گرفته و با ایجاد یک ساختار کامپوزیتی باعث افزایش مقاومت به سایش خراشان شده‌اند [۱۵ و ۱۶]. عملیات سخت کاری به همراه گاز نیتروژن خالص توسط دیگر فرآیندها توصیه نمی‌شود زیرا، مثلاً در مورد فرآیند TIG با استفاده از گاز محافظ ۱۰۰٪ نیتروژن تخریب شدید الکتروود تنگستنی رخ می‌دهد. علت این امر ایجاد حرارت بسیار بالا در قوس حاصل از محافظت گاز نیتروژن بوده که باعث ذوب و اکسید شدن الکتروود تنگستنی می‌گردد [۱۷].

تحقیقات در مورد استفاده از گاز نیتروژن در جوشکاری قوسی نشان می‌دهد [۱۸] که غلظت بالایی از عنصر نیتروژن در حوضچه جوش حل شده و حفراتی در منطقه جوش تشکیل نمی‌گردد. زیرا نیتروژن می‌تواند با عناصر فعال موجود در حوضچه جوش واکنش داده و به صورت ترکیبات پایه نیتریدی در ساختار ظاهر گردد، بنابراین امکان بهبود خواص سطحی از طریق آلیاژسازی به همراه گاز نیتروژن در جوشکاری قوسی نیز وجود دارد.

هدف از انجام این تحقیق بررسی بکارگیری گاز نیتروژن در جوشکاری سیم توپودری حاوی عنصر تیتانیم و بررسی و مقایسه ریزساختارهای حاصله با نمونه‌های جوشکاری شده تحت پوشش گاز آرگون بوده و در آن به بررسی مقاومت به سایش نمونه‌های جوشکاری شده مختلف پرداخته می‌شود.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق فولاد ساده کربنی (ST52) با ابعاد $400 \times 200 \times 12$ میلی‌متر به عنوان فلز پایه استفاده گردید. همچنین از سیم جوش

۳- ساختار مارتنزیتی

۴- ساختار کاربید اولیه به همراه یوتکتیک آستنیت - کاربید

۵- ساختار آستنیتی

۶- ساختار آستنیتی - مارتنزیتی

۷- ساختار یوتکتیک آستنیت - کاربید

ساختارهای حاوی آستنیت و یا فریت برای کاربردهای مقاومت به سایش خراشان توأم با ضربه بالا و مقاومت به سایش خراشان تحت نیروهای کم مناسب می‌باشند، ساختارهای حاوی مارتنزیت برای کاربردهای مقاومت به سایش خراشان تحت نیروهای کم و مقاومت به سایش چسبان فلز با فلز مناسب می‌باشند و ساختارهای حاوی کاربید برای کاربردهای مقاومت به سایش خراشان بسیار شدید، مقاومت به سایش در دماهای بالا و مقاومت به سایش توأم با خوردگی کم مناسب می‌باشند [۹].

در سیستم‌های آلیاژی حاوی کاربید حضور کربن و عناصر کاربیدزا الزامی می‌باشد. در این نوع سیستم‌های آلیاژی مورفولوژی، ترکیب و چسبندگی کاربید با زمینه و توزیع کاربیدها نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای بر خواص سایشی آلیاژ دارد [۱۰]. یکی از اهداف محققین جهت بهبود عملکرد سایشی سیستم‌های آلیاژی حاوی کاربید توزیع مناسب‌تر و کاهش اندازه‌های کاربیدها بوده است [۱۰ و ۱۱]. بدین منظور در سیستم‌های آلیاژی Fe-Cr-C استفاده از عناصر کاربیدزای قوی مانند Ti یا Nb جهت توزیع مناسب‌تر و کاهش اندازه‌های کاربید توصیه شده است [۱۱]. بررسی‌ها نشان داده است که نیتریدها، کربونیتریدها، کربوبرایدها و براید‌ها را می‌توان جایگزین کاربیدها در شرایط سایشی متفاوت نمود [۱۲].

در همین خصوص استفاده از بور به همراه کربن به منظور تشکیل کربوبراید و همچنین استفاده از تیتانیم به همراه کربن و گاز نیتروژن جهت تشکیل کربونیترید تیتانیم در لایه سخت بیشتر مورد توجه بوده است [۱۳ و ۱۴]. استفاده از کربن، نیتروژن و تیتانیم به دلیل ایجاد ذرات کربونیترید تیتانیم کوچک و ریز در زمینه چقرمگی خوب و مقاومت به سایش مناسبی را هم فراهم

جدول (۲): پارامترهای جوشکاری نمونه‌ها.

فرآیند	دستی FCAW
دستگاه جوشکاری	GAAM ELECTRIC/ PARS MIG602
قطر سیم (mm)	۱/۶
طول قوس (mm)	۴-۵
ولتاژ (V)	۲۸-۳۰
شدت جریان (A)	۲۹۰-۳۰۰
تعداد پاس‌ها	۵
نوع گاز	نیتروژن خالص - آرگون خالص
دبی گاز (L/min)	۱۲: برای گاز آرگون ۱۵: برای گاز نیتروژن
دمای بین پاسی (°C)	۲۰۰-۲۲۰
قطبیت	DCEP
سرعت ورود سیم (cm/min)	۷۰۰
سرعت جوشکاری (cm/min)	۲۴-۲۵
حرارت ورودی هر پاس (kJ/cm)	۱۷-۱۸

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل EGA/TESCAN استفاده شد. همچنین آنالیز نقطه‌ای (EDX) و نقشه توزیع عناصر^۳ در زمینه و رسوبات جهت تشخیص بهتر ریزساختار انجام گردید. جهت شناسایی فازها آزمون پراش پرتو X (XRD) انجام شد. برای این منظور از دیفراکتومتر مدل Philips مجهز به نرم‌افزار X^{PERT} High Score استفاده گردید. سختی‌سنجی سطح نمونه‌ها نیز با دستگاه HVS-1000 در مقیاس راکولسی و با وزن ۱۰۰ کیلوگرم انجام شد. برای این منظور حداقل سختی ۳ نقطه مختلف تعیین گردید که متوسط نتایج آنها به عنوان معیار سختی‌سنجی در نظر گرفته شد.

آزمون سایش مطابق استاندارد ASTM G65 (ماسه خشک و چرخ لاستیکی) با نیروی اعمالی ۱۳۰ نیوتن بر روی نمونه‌های تهیه شده صورت پذیرفت. برای این منظور ذرات کروی کوارتز با اندازه دانه AFS 50/70 با دبی ثابت (۳۵۰ گرم در دقیقه) به

جدول (۱): ترکیب شیمیایی فلز پایه (درصد وزنی).

Fe	C	Mn	Si	S	P
باقی‌مانده	۰/۲۲	۱/۶۰	۰/۵۵	۰/۰۴	۰/۰۴

KJF-610F به عنوان سیم جوش مصرفی حاوی ترکیبات تیتانیوم‌دار استفاده شد. جدول (۱) ترکیب شیمیایی فلز پایه را نشان می‌دهد.

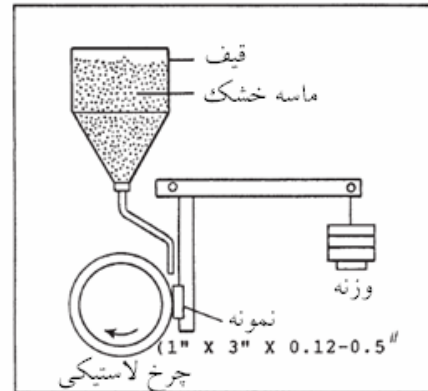
قبل از جوشکاری اکسیدهای سطحی فلز پایه (ST52) به کمک سنباده‌زنی زدوده شدند و سپس توسط استون چربی‌زدایی گردیدند. روکش کاری سطح به روش عملیات جوشکاری مطابق با پارامترهای ارائه شده در جدول (۲) انجام شد. برای این منظور ۲ سری نمونه با شرایط یکسان ولی با تغییر در نوع گاز محافظ تولید شدند. یکی از نمونه‌ها با گاز آرگون و دیگری با گاز نیتروژن تحت عملیات روکش‌دهی سخت قرار گرفتند. بعد از عملیات جوشکاری نمونه‌هایی از کلیه قطعات جوشکاری شده تهیه شدند. برای این منظور ۳ سری نمونه تهیه گردید، نمونه‌های سری اول دارای ابعاد ۱۰×۱۰×۴ میلی‌متر جهت آزمایش XRD در نظر گرفته شدند. نمونه‌های سری دوم در ابعاد ۱۰×۲۰×۴۰ میلی‌متر تهیه و جهت آزمون‌های ترکیب شیمیایی، متالوگرافی و سختی‌سنجی مورد استفاده قرار گرفتند و نمونه‌های سری سوم با ابعاد ۱۰×۲۵×۷۵ میلی‌متر تهیه شدند که جهت آزمون سایش مورد استفاده قرار گرفتند.

آزمون ترکیب شیمیایی به روش اسپکترومتری نشر نوری^۲ با دستگاه مدل Master در ۳ نقطه از سطح نمونه‌های تهیه شده انجام گردید تا مقادیر حداکثر و حداقل عناصر موجود (محدوده ترکیب شیمیایی) در فلز جوش تعیین گردد. همچنین با استفاده از دستگاه سنجش نیتروژن مدل Leco-EF-400 میزان نیتروژن موجود در قطعه جوشکاری شده تحت گاز نیتروژن تعیین گردید.

جهت بررسی ریزساختار، نمونه‌ها، پس از سنباده‌زنی و پولیش، توسط محلول نایتال ۳ درصد اچ گردیدند و بررسی متالوگرافی بر روی آنها انجام شد. برای این منظور از یک دستگاه

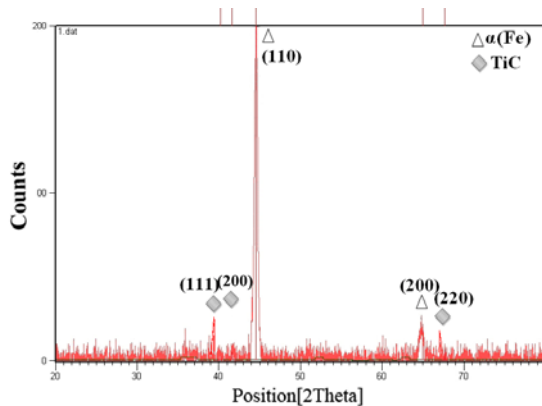
جدول (۳): ترکیب شیمیایی لایه‌های سخت.

نمونه	ترکیب شیمیایی (درصدوزنی)	
	جوشکاری شده با گاز آرگون	جوشکاری شده با گاز نیتروژن
Fe	باقی مانده	باقی مانده
Ti	۸/۵۲ - ۸/۸۵	۸/۲۱ - ۸/۴۴
Al	۰/۲۲ - ۰/۳۱	۰/۱۵ - ۰/۱۸
C	۰/۸۲ - ۱/۱۲	۰/۶۸ - ۰/۷۴
V	۰/۴۶ - ۰/۵۴	۰/۲۸ - ۰/۳۵
Mo	۰/۴۵ - ۰/۶۶	۰/۳۲ - ۰/۴۱
Mn	۰/۴۲ - ۰/۷۵	۰/۳۲ - ۰/۴۳
Cr	۰/۱۴ - ۰/۲۳	۰/۱۱ - ۰/۱۳
Si	۰/۱۲ - ۰/۳۷	۰/۱۲ - ۰/۱۵
N	-	۰/۱۴ - ۰/۱۷



شکل (۱): شماتیک آزمون سایش مطابق با استاندارد ASTM G65.

عنوان ذرات ساییده استفاده شدند. علاوه بر این سرعت چرخش صفحه دوار ۲۰۰ دور در دقیقه و مسافت طی شده ۴۳۰۹ متر در نظر گرفته شد (درجه A استاندارد). شکل (۱) شماتیک فرآیند آزمون سایش را نشان می‌دهد.



شکل (۲): الگوی پراش پرتو X نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون.

می‌دهد همانگونه که مشخص است فازهای تشکیل شده در این نمونه شامل فازهای فریت (α) و کاربید TiC می‌باشد. علت تشکیل TiC ناشی از تمایل بیشتر این عنصر به تشکیل کاربید می‌باشد.

شکل (۳) منحنی انرژی آزاد تشکیل کاربیدها را نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است در دمای ۲۰۰۰ درجه کلین (دمای مذاب) انرژی آزاد تشکیل کاربید تیتانیم به صورت TiC به مراتب کمتر از سایر عناصر دیگر می‌باشد، لذا در شرایط یکسان

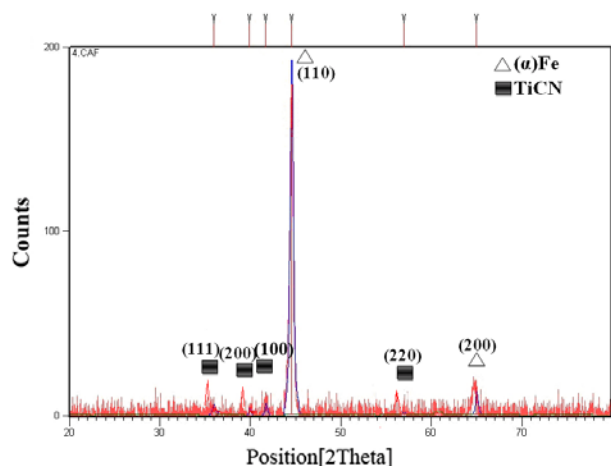
۳- نتایج و مباحث

الف- ترکیب شیمیایی و فازهای تشکیل شده

جدول (۳) نتایج ترکیب شیمیایی نمونه‌های جوشکاری شده با گاز آرگون و نیتروژن را نشان می‌دهد.

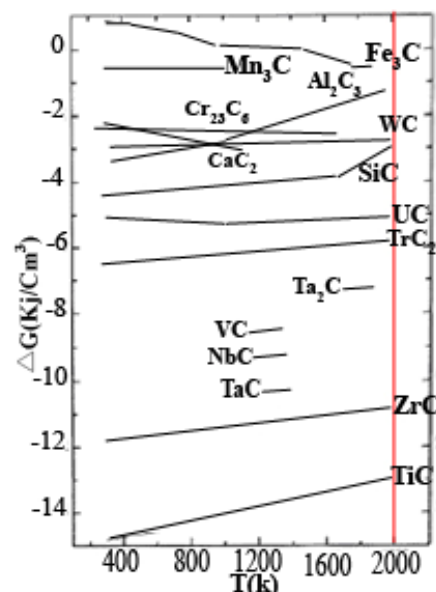
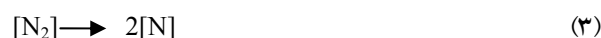
همانگونه که از جدول (۳) ملاحظه می‌گردد، در نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن مقدار تیتانیم و سایر عناصر (مانند کربن - آلومینیوم - وانادیم - مولیبدن و منگنز) کمتر از نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون می‌باشد. علت آن استفاده از گاز نیتروژن می‌باشد، از آنجایی که نیتروژن باعث افزایش دمای ستون قوس می‌گردد [۱۸]، لذا مقدار سوختن عناصر در ستون قوس بیشتر از نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون بوده است.

همچنین بررسی جدول (۳) مشخص می‌کند که میزان نیتروژن موجود در نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن بین ۰/۱۴ - ۰/۱۷ درصد می‌باشد که نشان از جذب نیتروژن توسط نمونه جوشکاری شده تحت گاز نیتروژن دارد. شکل (۲) الگوی پراش پرتو X نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون را نشان



شکل (۴): الگوی پراش پرتو X نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن.

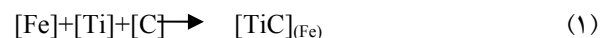
همانگونه که مشخص است فازهای تشکیل شده در این نمونه حاوی فاز فریت (α) و کربونیتريد تیتانيم (TiCN) می باشد. علت تشکیل فریت در زمینه می تواند مشابه با نمونه جوشکاری شده تحت پوشش گاز آرگون باشد. از آنجایی که کربونیتريد تیتانيم در دمایی بالاتر از نیتريد تیتانيم تشکیل می گردد، لذا تشکیل این ترکیب باعث می شود که مذاب باقی مانده فقیر از کربن گردد [۲۱] که در مراحل بعدی انجماد و سرد شدن باعث تشکیل فاز فریت گردیده است. از طرفی بررسی انرژی آزاد تشکیل نیتريد تیتانيم (شکل ۵) نشان می دهد که در حضور نیتروژن، تیتانيم دارای انرژی آزاد کمتری برای واکنش با نیتروژن و تشکیل نیتريد تیتانيم نسبت به سایر عناصر موجود در حوضچه مذاب می باشد، لذا در حضور نیتروژن، تیتانيم موجود در مذاب اجازه تشکیل سایر نیتريدها مانند نیتريد کروم، نیتريد وانادیم و نیتريد مولیبدن را نداده، در نتیجه تشکیل سایر نیتريدها عملاً میسر نبوده و در حضور کربن فقط کربونیتريد تیتانيم تشکیل گردیده است. مکانيزم تشکیل کربونیتريد تیتانيم را می توان مطابق با معادله (۲) تا (۷) در نظر گرفت [۲۰ و ۲۱]:



شکل (۳): انرژی آزاد تشکیل کاربیدها [۱۹].

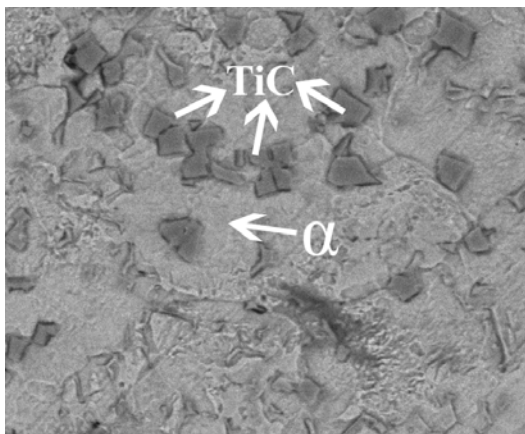
در حضور سایر عناصر کاربیدزا مانند کروم، مولیبدن و منگنز تمایل به تشکیل کاربید تیتانيم بیشتر است.

ضمن آنکه مطابق با نتایج جدول (۳) در منطقه جوش غلظت عنصر تیتانيم بیشتر از سایر عناصر می باشد که این عامل نیز در تشکیل کاربید تیتانيم مؤثر می باشد. لذا مکانيزم تشکیل کاربید تیتانيم را می توان مطابق با معادله (۱) در نظر گرفت [۲۰]:

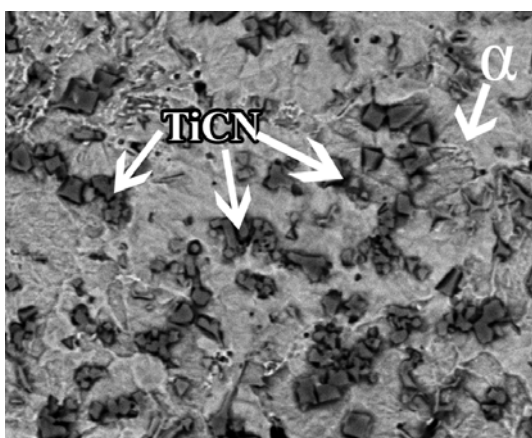


از طرفی علت تشکیل فاز فریت ناشی از کاهش غلظت کربن مذاب می باشد. از آنجایی که کاربید تیتانيم در دماهای بالاتر در مذاب تشکیل می گردد، لذا کربن موجود در مذاب را به خود جذب نموده و تشکیل کاربید تیتانيم می دهد [۲۰]، بنابراین مذاب باقی مانده فقیر از کربن شده که در مراحل بعدی انجماد و سرد شدن باعث تشکیل فاز فریت (زمینه) گردیده است. عامل دیگر در به وجود آمدن ساختار فریتی می تواند سرعت سرد شدن پایین (بعد از جوشکاری) در نتیجه استفاده از دمای بین پاسی ۲۲۰-۲۰۰ درجه سانتی گراد باشد.

شکل (۴) الگوی پراش پرتو X نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن را نشان می دهد.



(الف)

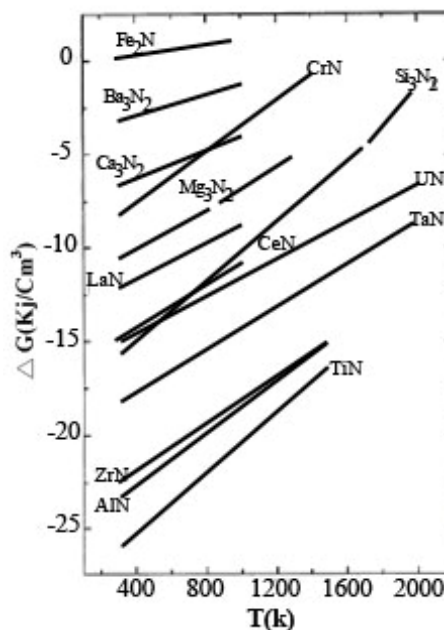
20 μm 

(ب)

20 μm

شکل (۶): تصویر SEM منطقه جوش، (الف) نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون و (ب) نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن.

رسوبی (شکل ۷-ب) نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون بیانگر وجود زمینه غنی از آهن (فاز α) (با مقادیر جزئی تیتانیم و کربن) و رسوبات غنی از عنصر تیتانیم و کربن (TiC) با مقداری آهن قابل اغماض می‌باشد. همچنین نقشه‌های توزیع عناصر (C, Ti, Fe) همین نمونه که در شکل (۸) نشان داده شده است حاکی از تراکم عنصر آهن در زمینه و عنصر تیتانیم در رسوبات TiC و عنصر کربن در زمینه و رسوبات به صورت همگن می‌باشد.



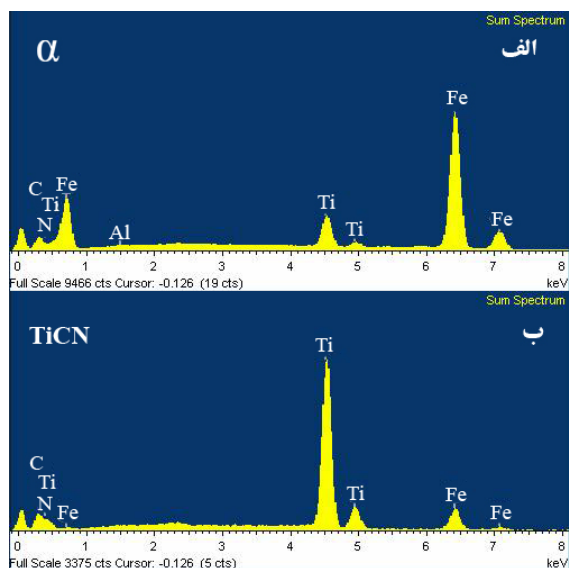
شکل (۵): انرژی آزاد تشکیل نیتrideها [۲۲].



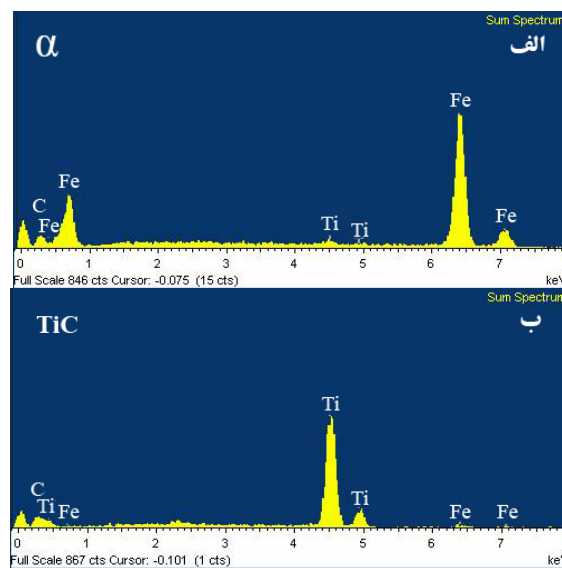
ب- ریزساختار میکروسکوپی

شکل (۶) تصاویر SEM مربوط به منطقه جوش نمونه‌های جوشکاری شده با گاز آرگون و نیتروژن را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۶-الف) مشخص است ساختار نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون از زمینه فریتی به همراه رسوبات ریز و پراکنده کاربیدی (TiC) که عمدتاً به شکل مکعبی و متقارن می‌باشند، تشکیل شده است. شکل (۶-ب) ساختار نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن را نشان می‌دهد، همانگونه که مشخص است ساختاری با زمینه فریتی به همراه رسوبات ریز و پراکنده کربونیتیدی (TiCN) با توزیع ذرات یکنواخت مشاهده می‌گردد.

مقایسه تصاویر SEM (شکل ۶) نمونه‌های جوشکاری شده با گاز آرگون و نیتروژن نشان می‌دهد که تجمع ذرات کربونیتريد تیتانیم بیشتر از ذرات کاربید تیتانیم می‌باشد. آنالیز نقطه‌ای (EDX) به عمل آمده از زمینه (شکل ۷-الف) و ذرات



شکل (۹): آنالیز نقطه‌ای (EDX) از نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن، (الف) زمینه و (ب) ذرات رسوبی (TiCN).



شکل (۷): آنالیز نقطه‌ای (EDX) از نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون، (الف) زمینه و (ب) ذرات رسوبی (TiC).

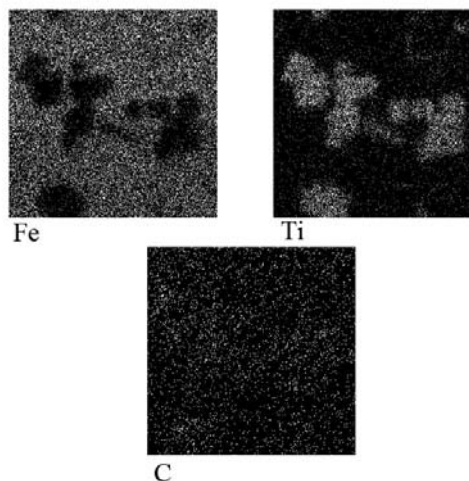
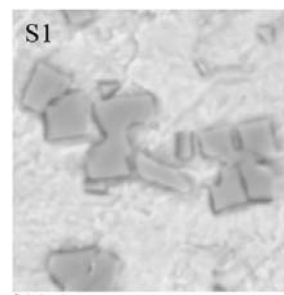
همچنین شکل (۹) آنالیز نقطه‌ای (EDX) از زمینه (۹-الف) و رسوبات (۹-ب) نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۹-الف) مشخص است زمینه این نمونه غنی از عنصر آهن (فاز α) (با مقادیر جزئی تیتانیم، نیتروژن و کربن) می‌باشد.

همچنین همانگونه که از شکل (۹-ب) مشخص است رسوبات غنی از تیتانیم، کربن و نیتروژن (TiCN) بوده و دارای مقادیر کمی آهن (قابل اغماض) می‌باشند.

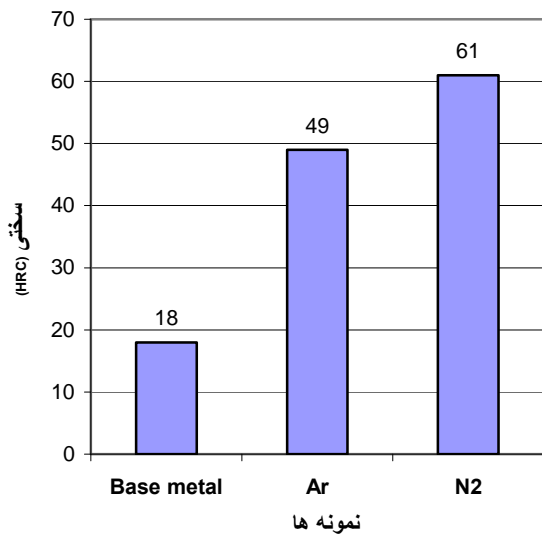
نقشه‌های توزیع عناصر (Fe, Ti, C, N) مربوط به نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن در شکل (۱۰) ارائه شده است. همانگونه که مشخص است تراکم عنصر آهن در زمینه، عنصر تیتانیم در رسوبات (TiCN) و عناصر کربن و نیتروژن نیز به طور یکنواخت در زمینه و رسوبات پراکنده می‌باشند.

ب- سختی سطح و مقاومت به سایش

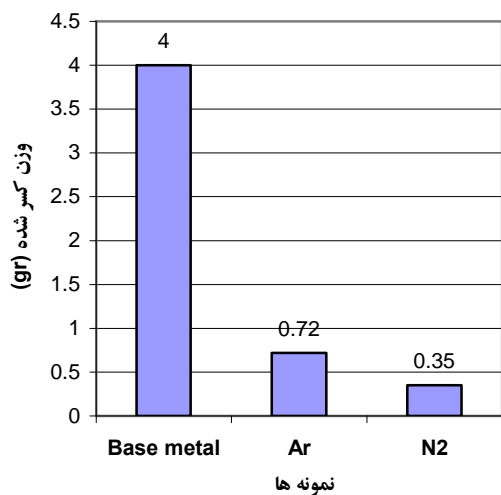
شکل (۱۱) نتایج آزمون سختی سنجی از سطح جوش‌ها را نشان می‌دهد، همانگونه که مشخص است سختی نمونه‌های جوشکاری شده با گاز نیتروژن بیشتر از نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون می‌باشد، علت این امر ناشی از حضور ترکیبات پایه



شکل (۸): نقشه‌های توزیع عناصر در نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون (نقاط سفید تمرکز عنصر را نشان می‌دهد).

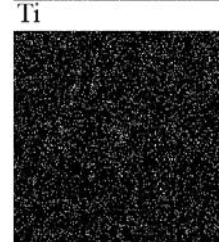
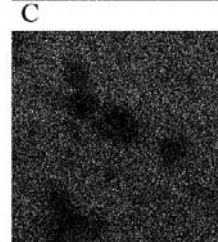
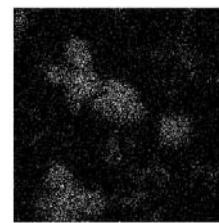
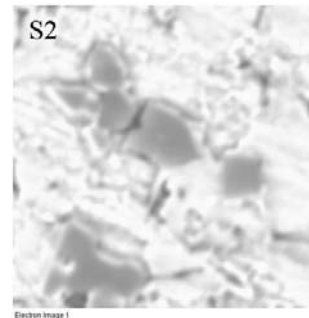


شکل (۱۱): سختی سطح جوش‌ها.



شکل (۱۲): مقایسه میزان سایش نمونه‌های جوشکاری شده با گاز آرگون و نیتروژن با فلز پایه.

علت بالاتر بودن مقاومت به سایش نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن ناشی از سختی بالاتر این نمونه نسبت به نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون می‌باشد. از طرفی بررسی سطوح ساییده شده توسط SEM مشخص می‌نماید که در سطح نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون



شکل (۱۰): نقشه‌های توزیع عناصر در نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن (نقاط سفید تمرکز عنصر را نشان می‌دهد).

کربونیتريدی (TiCN) با سختی بالاتر از (TiC) می‌باشد [۲۳]. علاوه بر این می‌توان بالا بودن سختی این نمونه را به جذب نیتروژن توسط زمینه (فریت) نیز مرتبط دانست.

شکل (۱۲) همچنین نتایج آزمون سایش نمونه‌های جوشکاری شده با گاز آرگون و نیتروژن را به صورت مقایسه‌ای با فلز پایه در مسافت ۴۳۰۹ متر نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است بالاترین مقاومت به سایش (کمترین میزان کاهش وزن) مربوط به نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن می‌باشد. از طرفی همانگونه که مشخص است مقاومت به سایش نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون از مقاومت به سایش فلز پایه بسیار بالاتر است ولی نسبت به نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن کمتر است.

در هنگام برخورد با ذرات ساینده مقاومت کمی از خود نشان داده‌اند، لذا ذرات ساینده به راحتی بر روی سطح نمونه شیار ایجاد نموده‌اند، از طرفی خطوط سایش عمیق به علت نرمی زمینه و سختی بالای ذرات ساینده بوده است. این موضوع مشخص می‌کند که ذرات کاربیدی از توزیع مناسبی در زمینه برخوردار نبوده‌اند، لذا ذرات ساینده عمدتاً با زمینه (نرم) در تماس بوده‌اند، ولی در نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن به علت استحکام بالاتر زمینه (به علت جذب نیتروژن) و حضور ذرات سخت با توزیع یکنواخت TiCN شاهد شیارهای کم عمق‌تری نسبت به نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون می‌باشیم. در واقع ذرات TiCN با توزیع مناسب‌تر به عنوان سدی در برابر ذرات ساینده عمل نموده و مانع از به وجود آمدن شیارهای عمیق بر روی سطح شده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ریزساختار، سختی و مقاومت به سایش نمونه‌های جوشکاری شده با گازهای نیتروژن و آرگون به کمک فرآیند جوشکاری قوسی با سیم جوش توپودری حاوی تیتانیم بررسی شد و نتایج ذیل حاصل گردید:

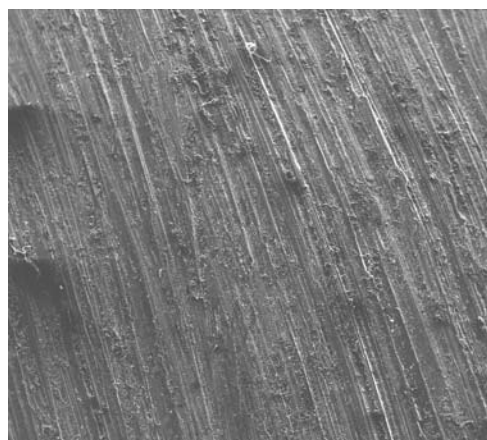
۱- با جوشکاری سیم جوش توپودری حاوی تیتانیم به کمک گاز آرگون ساختاری فریتی به همراه رسوبات کاربید تیتانیم (TiC) ایجاد می‌گردد.

۲- با جوشکاری سیم جوش توپودری حاوی تیتانیم به کمک گاز نیتروژن ساختاری فریتی به همراه رسوبات کربونیتريد تیتانیم (TiCN) ایجاد می‌گردد.

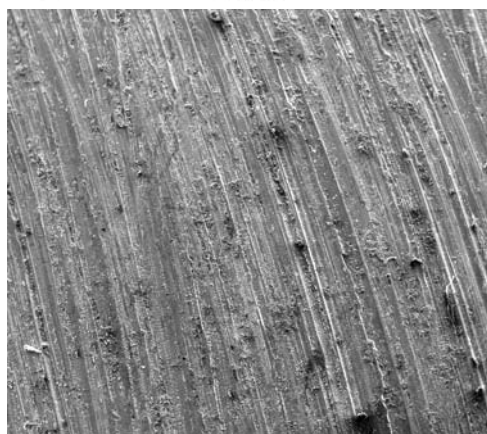
۳- سختی نمونه جوشکاری شده با گاز محافظ نیتروژن بالاتر از نمونه جوشکاری شده با گاز محافظ آرگون می‌باشد.

۴- نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن (حاوی کربونیتريد تیتانیم) مقاومت به سایش بالاتری نسبت به نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون (حاوی کاربید تیتانیم) از خود نشان داده است.

۵- مکانیزم سایش در نمونه‌های جوشکاری شده با گاز آرگون و گاز نیتروژن شخم‌زنی تعیین گردید. همچنین خطوط شیار در



الف
1mm



ب
1mm

شکل (۱۳): تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM سطح ساییده شده نمونه‌های مختلف، الف) نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون و ب) نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن.

(شکل ۱۳- الف) فقط شیارهایی دیده می‌شود و کندگی و ترکی در سطح مشاهده نمی‌شود، لذا مکانیزم سایش نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون شخم‌زنی بوده همچنین بررسی سطح نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن (شکل ۱۳- ب) مشخص می‌نماید که مشابه با نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون شیارهایی در سطح ولی با عمق کمتر وجود دارد، لذا مکانیزم سایش نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن نیز شخم‌زنی می‌باشد. علت تفاوت در عمق شیارها ناشی از نوع، سختی و توزیع ذرات ایجاد شده در نمونه‌های مختلف می‌باشد، به نحوی که در نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون ذرات TiC

- [12] S. Mirdha, H. S. Ong, L. S. Poh, "Intermetallic Coating Produced by Tig Surface Melting", *Journal of Materials Processing Technology*, 113, pp. 516-520, 2007.
- [13] M. J. Chao, X. Niu, B. Yuan, E. J. Liang, D. S. Wang, "Preparation and Characterization of InSitu Synthesized B4C Particulate Reinforced Composite Coating by Laser Cladding", *Surface & Coating Technology*, 201, pp. 1102-1108, 2006.
- [14] V. Ocelik, D. Matthews, J. Th. M. De Hosson, "Sliding Wear Resistance of Metal Matrix Composite Layers Prepared by High Power Laser", *Surface & Coating Technology*, 197, pp. 303-315, 2005.
- [15] L. Jianglong, L. Qiquan, Z. Zhirong, "Laser Gas Alloying of Titanium Alloy with Nitrogen", *Surface & Coating Technology*, 57, pp. 191-195, 1993.
- [16] A. I. P. Nwobu, R. D. Rawlings, D. R. F. West, "Nitride Formation in Titanium Based Substrates During Laser Surface Melting in Nitrogen-Argon Atmospheres", *Acta Mater.* Vol. 47, No. 2, pp. 631-643, 1999.
- [17] S. Lu, W. Dong, D. Li, Y. Li, "Numerical Study and Comparisons of Gas Tungsten Arc Properties Between Argon and Nitrogen", *Computational Materials Science*, 3, pp. 111-118, 2008.
- [18] H. Kokawa, "Nitrogen Absorption and Desorption by Steels During Arc and Laser Welding", *Welding International* 18 (4), pp. 277-287, 2004.
- [19] P. Perrot, "Iron-Carbon-Titanium", *Landolt-Bornstein New Series IV/11D4*, p. 287, Springer 2008.
- [20] X. H. Wang, M. Zhang, Z. D. Zou, S. L. Song, F. Han, S. Y. Qu, "In Situ Production of Fe-TiC Surface Composite Coatings by Tungsten-Inert Gas Heat Source", *Surface & Coatings Technology*, 200, pp. 6117-6122, 2006.
- [21] S. Mridha, "Titanium Nitride Layer Formation by TIG Surface Melting in a Reactive Environment", *Journal of Materials Processing Technology* 168, pp. 471-477, 2005.
- [22] V. Raghavan, "Fe-Ti-N (Iron-Nitrogen-Titanium)", *Journal of Phase Equilibria*, Vol. 24, No. 1, pp. 1-6, 2003.
- [23] Ke. Yang, Shengfu. Yu, Yingbin. Li, Chenglin. Li, "Effect of Carbonitride Precipitates on the Abrasive Wear Behaviour of Hrdfacing Alloy", *Surface Science* 254, pp. 5023-5027, 2008.

۷- پی‌نوشت

- 1- Tribosystem
- 2- Optical Emission Spectrometry
- 3- Mapping Element

سطح نمونه جوشکاری شده با گاز نیتروژن از عمق کمتری نسبت به نمونه جوشکاری شده با گاز آرگون برخوردار بود.

۵- تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت‌های مالی شرکت کاوش جوش انجام شده است. بدین‌وسیله از مدیریت و کارشناسان واحد تحقیقات و کنترل کیفیت شرکت کاوش جوش به خاطر همکاری در انجام این پروژه قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

- [۱] ح. ثابت، ش. میردامادی، ش. خیراندیش و م. گودرزی، "مروری بر فرآیندهای سخت‌کاری سطحی از طریق جوشکاری"، *جوشکاری*، شماره ۵۱، ص. ۷۷-۷۱، پاییز ۱۳۸۷.
- [2] IWE-Welding Information-Introduction to Wear-2-17, P10, S2A, 2001.
- [3] The Practical Reference Guide for Hardfacing- P23, AWS, 2003.
- [4] G. Kravss, "Advance Surface Modification of Steels", *Journal of Heat Treating* 9-2-81-85, 1992.
- [5] IWE-Welding Information- Protective Layer -2-18, P12-SZA 2001.
- [6] J. R. Davis, "Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance", p. 530, ASM, 2001.
- [7] A. D. Surker, "Wear of Metals", 2ed Edition, p. 133, Pergamon Press, 1993.
- [8] X. H. Wang, M. Zhang, X. M. Liu, S. Y. Qu, Z. D. Zou, "Microstructure and Wear Properties Surface Composite Coating Prepared by Laser Cladding", *Surface & Coating Technology*, 202, pp. 3600-3606, 2008.
- [9] J. Cheng, B. Xu, X. Liang, Y. Wu, Z. Liu, "Effect of Microstructure and Wear Behavior of Iron-Based Composite Coating", *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 15, 4, pp. 451-458, 2008.
- [10] A. S. C. M. D'Oliviera, J. J. Tigrinho, R. R. Takeyama, "Coatings Enrichment by Carbide Dissolution", *Surface and Coating Technology*, 202, pp. 4660-4665, 2008.
- [11] W. Zmudzinski and M. Ezekiel, "Coating and Overlays for Critical Valve Applications", *Materials Forum*, 30, pp. 333-338, 2006.