



بررسی خواص مکانیکی و ساختار پوشش کاربید تنگستن-کبالت اعمال شده روی فولاد St37 به روش رسوب‌دهی جرقه الکتریکی (ESD)

سید جابر رضوی¹، حسین آقاجانی²، عباد راستکردار³

¹ گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (دانشجوی کارشناسی ارشد)

² گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (استادیار)

³ گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (دانشجوی دکتری)

چکیده

در این پژوهش پوشش کاربید تنگستن-کبالت (WC-Co) بر روی فولاد St37 با استفاده از روش رسوب دهی جرقه الکتریکی (ESD) اعمال شد. پوشش در 9 حالت، با حده بالای جریان‌ها و فرکانس‌های مختلف روی زیرلایه اعمال شد. آزمایش میکروسختی‌سنجی از پوشش‌ها، افزایش چشم‌گیر سختی را نشان داد. در بهترین شرایط، سختی نمونه در حدود سه برابر سختی نمونه شاهد می‌باشد به طوری که میکروسختی اندازه‌گیری شده از 187/4 به 523/6 کیلوگرم بر میلی‌متر مربع افزایش یافت. در حالت کلی روند صعودی سختی با افزایش فرکانس و حده بالای جریان مشاهده شد. ریزساختار ایجاد شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز EDS برای ارزیابی ترکیب شیمیایی زیر لایه و پوشش انجام گردید. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان پوشش ایجاد شده دارای مورفولوژی نامنظم است، پوشش عاری از ترک بوده و ضخامت پوشش در حدود 5 میکرومتر است. در لایه اول پوشش مقدار قابل ملاحظه آهن مشاهده شد اما در لایه دوم این مقدار کاهش یافت و ترکیب پوشش مشابه الکتروود مورد استفاده ارزیابی شد. امتزاج زیر لایه و الکتروود نشان داد باند ایجاد شده متالورژیکی است.

واژه‌های کلیدی: رسوب گذاری جرقه الکتریکی، پوشش دهی، باند متالورژیکی، میکروسختی‌سنجی.

¹ s.jaberr@gmail.com

مقدمه

فرآیند رسوب‌دهی جرقه‌ای برای اعمال پوشش‌های مورد استفاده در شرایط کاری که اکثر پوشش‌ها در این شرایط قابل استفاده نیستند توسعه پیدا کرده است [1]. جوشکاری رسوب‌دهی جرقه‌ای، یک روش میکرو جوشکاری با حرارت ورودی کم و چگالی بالای انرژی است. در طی این فرآیند رسوبی یک قوس الکتریکی بین الکتروود چرخان با ترکیب مطلوب (آند) و قطعه‌ی کار (کاتد) برقرار می‌شود. این قوس شامل ذوب و تبخیر موضعی هم بر روی الکتروود چرخان و هم ماده قطعه کار است. مواد الکتروود به سمت قطعه کار شتاب گرفته و باعث ایجاد رسوب با الگوی شتک می‌شود. چرخش الکتروود برای جلوگیری از چسبیدن سطح الکتروود و قطعه کار به هم و نیز مخلوط کردن هر دو جزء مایع لازم است. در انجماد، ماده رسوب داده شده شامل اجزای آلیاژی از هر دوی الکتروود و قطعه کار است. به دلیل حجم کم مذاب تشکیل شده و زمان کوتاه ضربان، نرخ سرمایش بسیار سریع می‌تواند ایجاد شود، که باعث تشکیل ساختار نانو کامپوزیت‌ها و آمورف‌ها می‌شود. به علاوه کم بودن حرارت ورودی در این روش باعث کاهش منطقه متأثر از حرارت می‌شود [2]. رسوب‌دهی جرقه‌ای انتقال ماده در حین ذوب و انجماد دوباره حجم‌های مواد است این حجم‌ها لزوماً کوچک هستند و باعث ایجاد ضخامت بین 1 تا 5 میکرومتر می‌شوند [3]. تجهیزات رسوب‌دهی جرقه‌ای شامل دو بخش عمده شامل منبع انرژی و نگه‌دارنده الکتروود هستند. معمول‌ترین منبع انرژی در رسوب‌دهی الکتریکی شامل یکسوکننده جریان و مدار تخلیه می‌باشد [4]. هدف این یکسو ساز تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم است که برای شارژ سری خازنی استفاده می‌شود [5]. در فرآیند ESD انرژی ذخیره شده در بانک خازنی طی مراحل متوالی و جرقه‌های کوتاه با ولتاژ کم و شدت جریان بالا تخلیه می‌شود [6]. اساساً فرآیند ESD می‌تواند به عنوان یک روش میکرو جوشکاری ضربانی تعریف شود که مواد الکتروود روی یک قطعه فلزی رسوب داده می‌شود [7]. رسوب‌دهی جرقه‌ای یک فرآیند میکرو جوشکاری است که قادر به رسوب‌دهی پوشش‌های مقاوم به سایش و خوردگی به منظور تعمیر، بهبود و گسترش عمر کاری اجزاء و ابزارآلات، می‌باشد [8]. فرآیند ESD به عنوان یک عملیات سطحی تضمینی برای اعمال پوشش‌های مقاوم به سایش بر روی مواد مهندسی گوناگون استفاده می‌شود. اساساً، فرآیند ESD به عنوان یک فرآیند میکرو جوشکاری پالسی تعریف می‌شود که با اعمال جریان بالا همراه با ولتاژ پایین در بازه زمانی کوتاه، مواد الکتروود را روی یک زیرلایه فلزی رسوب می‌دهد. بر جسته‌ترین مزیت فرآیند ESD توانایی رسوب مواد با نقطه ذوب بالا روی زیر لایه‌های فلزی با ایجاد پیوند متالورژیکی و حرارت ورودی پایین می‌باشد. به تبع آن، در فرآیند ESD تنش‌های حرارتی پایین است و تعداد ترک‌های تولید شده طی این فرآیند اندک است [9-12].

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش صفحات فولادی St 37 با ضخامت 3 میلی‌متر و به ابعاد 1/5 در 1/5 سانتی‌متر مربع به عنوان زیر لایه برای انجام فرآیند پوشش‌دهی مورد استفاده قرار گرفت. برش صفحات توسط گیوتن برقی انجام شد.

عملیات قبل از پوشش دهی به این صورت بود که صفحات فولادی تا سنباده 2000 سمباده زنی شده و عملیات چربی گیری با استفاده از یک چربی زدایی صنعتی ساخت شرکت سپهر افروز با نام تجاری چری گیر گرم آهن P150 به مدت 15 دقیقه در دمای 70 درجه سانتی گراد صورت گرفت. بعد از شستشوی نمونه ها با آب مقطر، برای جلوگیری از تشکیل لایه اکسیدی، بلافاصله عملیات خشک کردن با استفاده از یک دستمال تمیز انجام شد. به تعداد 10 عدد نمونه تهیه شد. 9 سری از این نمونه ها با دستگاه ESD موجود در آزمایشگاه مواد پیشرفته، آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز و با الکتروود کاربید تنگستن- کبالت پوشش دهی گردید و یک سری نمونه بدون پوشش به عنوان نمونه شاهد باقی ماند. اعمال پوشش روی هر نمونه بصورت طولی و عرضی انجام گرفت. برای هر نمونه مقادیر مختلفی از فرکانس و حد بالای جریان در چرخه کاری ثابت و برابر با 50 درصد در نظر گرفته شد که مقادیر آنها در جدول (1) مشاهده می شود. سرعت دوران الکتروود برای تمامی نمونه ها در حالت ثابت نگه داشته شد. دستگاه SCTMC micro Vickers hardness tester model HV-1000z تحت بار 10 نیوتن و به مدت زمان 15 ثانیه برای اندازه گیری میکرو سختی سنجی ویکرز سطح نمونه ها مورد استفاده قرار گرفت. از هر نمونه سه مرتبه سختی سنجی به عمل آمد. فاصله متوسط محل اثر نیرو نیم سانتی متر در نظر گرفته شد. آزمایش ماکرو سختی سنجی ویکرز با دستگاه Koopa universal hardness tester model uv1 تحت نیروی 30 کیلوگرم انجام شد. برای کاهش اثر زیر لایه دستگاه روی کمترین نیرو یعنی 30 کیلوگرم با مدت زمان 10 ثانیه برای اعمال بار روی سطح پوشش تنظیم گردید. از هر نمونه سه مرتبه سختی سنجی به عمل آمد. فاصله متوسط محل اثر نیرو نیم سانتی متر در نظر گرفته شد. به منظور ارزیابی ترکیب پوشش ایجاد شده و زیر لایه آنالیز EDS مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی مورفولوژی پوشش از میکروسکوپ الکترونی روبشی FE-SEM, Mira3 Tescan استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از آزمایش ماکروسختی سنجی نشان داد که تغییر خاصی در سختی سطح پوشش ها بوجود نیامده است. جدول (2) میانگین سختی بدست آمده از سطح نمونه ها را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود تغییر چندانی در سختی مشاهده نمی شود. علت این امر نازک بودن پوشش (5 میکرومتر) است چرا که عمق فرورونده سختی سنج در بازه 95-99 میکرومتر ارزیابی گردید که تصدیقی بر اثر شدید زیر لایه بر سختی اندازه گیری شده است. اعداد متفاوت سختی بدست آمده می تواند به دلیل خطای دستگاه سختی سنج و مورفولوژی نامنظم پوشش باشد. بر خلاف نتایج ماکروسختی نتایج میکروسختی افزایش قابل توجه سختی را نشان داد به طوری که در بهترین حالت سختی اندازه گیری شده سه برابر سختی نمونه شاهد ارزیابی گردید. شکل (1) مربوط به میکروسختی سنجی اندازه گیری شده در فرکانس ها و حده بالای جریان های مختلف است. نتایج میکروسختی بدست آمده نشان داد با افزایش حد بالای جریان در فرکانس ثابت در حالت کلی سختی روند صعودی دارد. به همین ترتیب مشاهده می شود با افزایش فرکانس در حد بالای جریان ثابت نیز

مقدار سختی بدست آمده افزایش می یابد. پوشش ایجاد شده با این روش دارای سختی بالا است و در بهترین حالت (فرکانس 10 کیلو هرتز و حده بالای جریان 50 آمپر) سختی زیر لایه بدون پوشش که 187/4 کیلو گرم بر میلی متر مربع لاندازه گیری شده است، با اعمال پوشش به 523/6 کیلو گرم بر میلی متر مربع افزایش یافت. شکل (2) نمودار مربوط به طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس زیر لایه می باشد. پیک بزرگ نمایش داده شده در شکل (2) مربوط به پوشش طلای روی نمونه است و مربوط به زیر لایه نمی باشد. این پوشش جهت آماده سازی نمونه برای میکروسکوپ الکترونی روبشی اعمال شد. مشاهده می شود جز اصلی ترکیب شیمیایی زیر لایه آهن می باشد و مقدار کمی کربن، سیلیسیم و آلومینیوم در ترکیب آن مشاهده گردید. شکل (3) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع پوشش را نمایش می دهد. شکل (4) تصاویر سطح پوشش را نشان می دهد. ضخامت پوشش حدود 5 میکرومتر است. با توجه به تصاویر مورفولوژی پوشش نامنظم و پوشش عاری از ترک است. فلش موجود در شکل (4-b) نشان دهنده لایه اول پوشش است و نمودار طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس این نقطه در شکل (5) نمایش داده شد. فلش موجود در شکل (4-d) نشان دهنده لایه دوم پوشش است و نمودار طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس آن در شکل (6) نمایش داده شد. آنالیز طیف سنجی پراش اشعه ایکس انجام شده نشان داد لایه اول پوشش دارای مقدار بیش تری آهن نسبت به لایه دوم پوشش دارد. وجود آهن در پوشش نشان داد که در اثر اعمال انرژی جرقه ای سطح زیر لایه ذوب سطحی شده است و امتزاج بین الکتروود و زیر لایه اتفاق افتاده است و پیوند ایجاد شده از نوع متالورژیکی است. در صد آهن موجود در لایه دوم پوشش کاهش یافته است که این امر کاملاً منطقی است چرا که لایه اول از گسترش آهن در در لایه دوم جلوگیری می کند.

نتیجه گیری

1) نتایج میکرو سختی از سطح پوشش ها در حالت کلی روند صعودی سختی با افزایش فرکانس و شدت جریان را نشان داد. پوشش ایجاد شده با این روش دارای سختی بالا است و در بهترین شرایط (فرکانس 10 کیلو هرتز و حده بالای جریان 50 آمپر) حدود سه برابر سختی زیر لایه را دارا می باشد به طوری که سختی زیر لایه بدون پوشش 187/4 کیلو گرم بر میلی متر مربع لاندازه گیری شد و با اعمال پوشش به 523/6 کیلو گرم بر میلی متر مربع افزایش یافت.

2) آنالیز EDS نشان داد پوشش ایجاد شده حاصل از امتزاج زیر لایه و الکتروود می باشد. لذا پیوند ایجاد شده بین زیر لایه و الکتروود از نوع متالورژیکی بوده و در حین فرآیند زیر لایه ذوب سطحی شده است.

3) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد پوشش ایجاد شده دارای مورفولوژی نامنظم است، پوشش عاری از ترک بوده و ضخامت پوشش در حدود 5 میکرومتر است.

مراجع

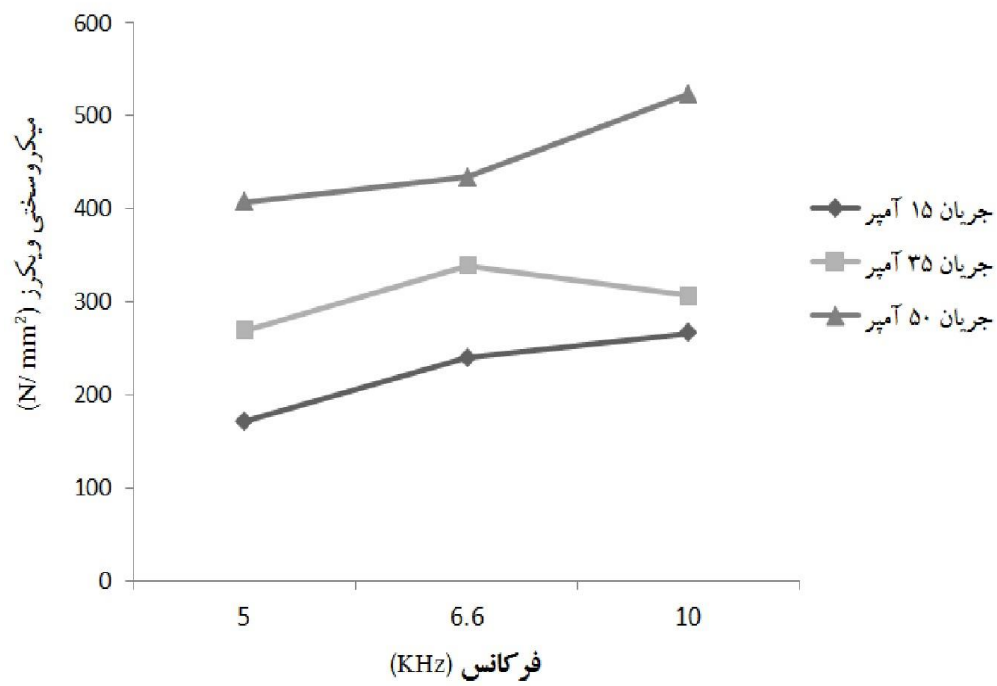
1. Roger N. Johnson, "Electro-Spark Deposition Technology", Battelle Pacific Northwest National Laboratory, 1999, 15-19.
2. J. Milligan, D.W. Heard, and M. Brochu, "Formation of Nanostructured Weldments in the Al-Si System Using Electrospark Welding", Applied Surface Science 256, 2010, 4009-4016.
3. J. Gould, "Application of Electro-Spark Deposition as a Joining Technology", Welding Journal, 90, 2011, 191-197.
4. Welding Handbook, Vol. 3, 9th ed., American Welding Society, Miami FL, 2007, 598-602.
5. Siu Kei Tang, Master of Applied Science, University of Waterloo, 2009.
6. S. Frangini and A. Masci, "A Study on the Effect of a Dynamic Contact Force Control for improving Electrospark Coating Properties", Surface & Coatings Technology 204, 2010, 2613-2623.
7. R.J. Wang, Y.Y. Qian, and J. Liu, "Structural and interfacial analysis of WC92-Co8 coating deposited on titanium alloy by electrospark deposition", Applied Surface Science 228, 2004, 405-409.
8. S. K. Tang, T. C. Nguyen, and Y. Zhou, "Materials Transfer in Electro-Spark Deposition of TiCp/Ni Metal-Matrix Composite Coating on Cu Substrate", Welding Journal, 89, 2010, 172-180.
9. S. Frangini, A. Masci, A.D. Bartolomeo, "Cr7C3-based cermet coating deposition on stainless steel by electrospark process: structural characteristics and corrosion behavior", Surf. Coat. Technol. 149, 2002, 279-286.
10. A. Agarwal, N.B. Dahotre, "Synthesis on boride coating on steel using high energy density process: comparative study of evolution of microstructure", Mater. Charact, 44, 1999, 31-44.
11. A. Lesiñjak, J. Tusí'ek, "Process and properties of deposits in electrospark deposition", Sci. Technol. Welding Joining 7, 2002, 391-396.
12. A. Agarwal, N.B. Dahotre, "Pulse electrode deposition of superhard boride coatings on ferrous alloy", Surf. Coat. Technol, 106, 1998, 242-250.

جدول 1: مقادیر فرکانس و حده بالای جریان مورد استفاده برای پوشش دهی نمونه ها.

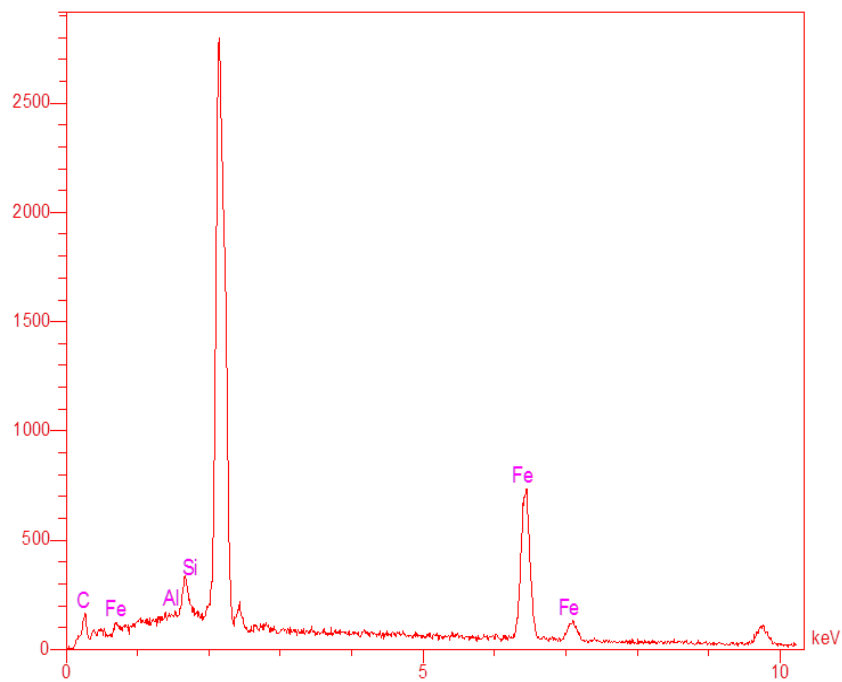
شماره نمونه	فرکانس (kHz)	حده بالا جریان (A)
1	5	15
2	6.66	15
3	10	15
4	5	35
5	6.66	35
6	10	35
7	5	50
8	6.66	50
9	10	50

جدول 2: میانگین مقادیر ماکروسختی سنجی شده از سطح نمونه ها.

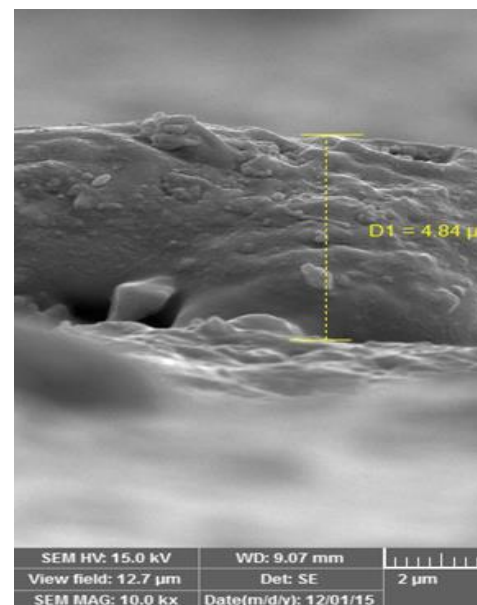
شماره نمونه	میانگین سختی
شاهد	119
1	120
2	124
3	121
4	123
5	118
6	126.7
7	119.4
8	124.4
9	122



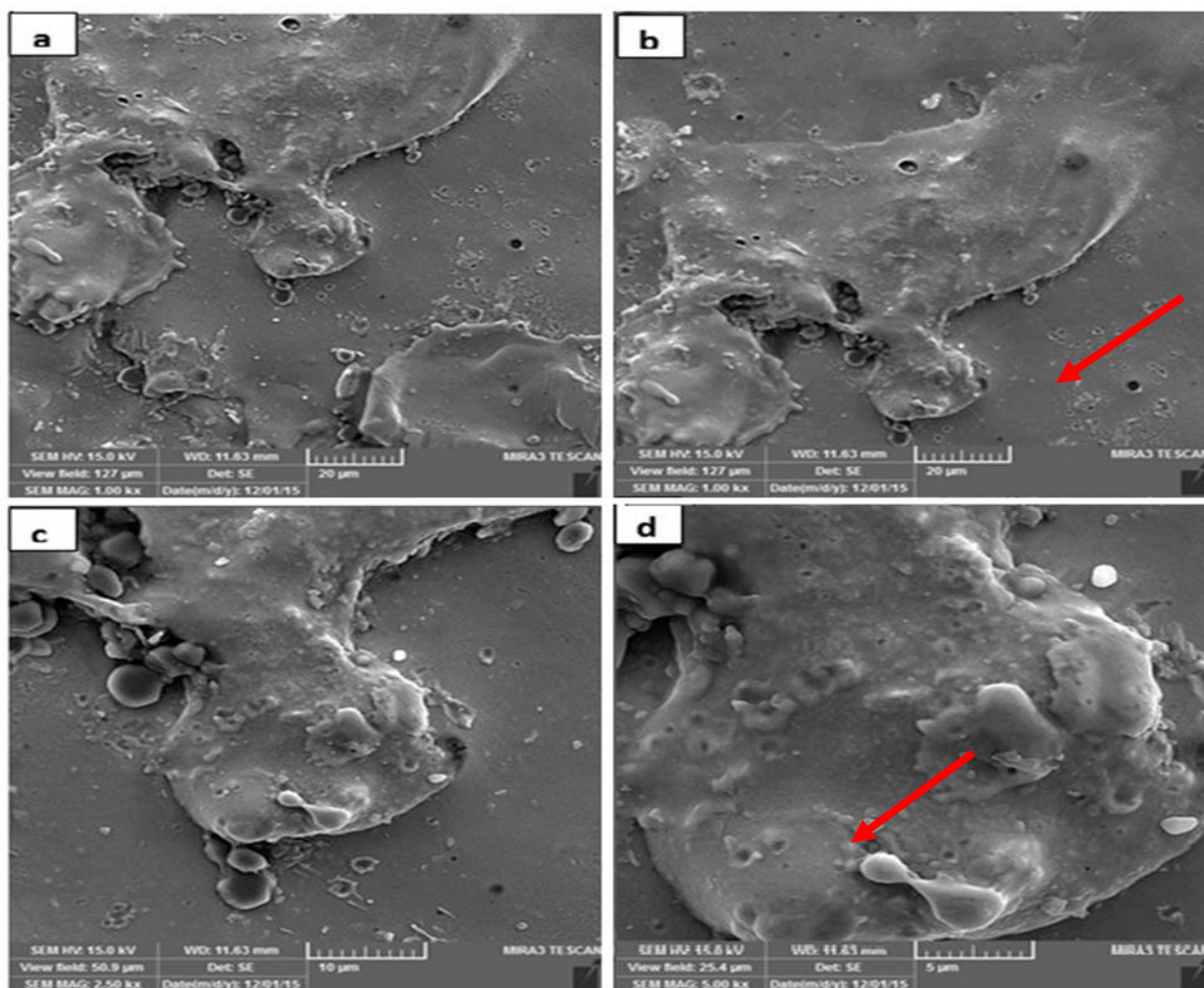
شکل 1: نتایج میکرو سختی سنجی در فرکانس ها و جریان های مختلف.



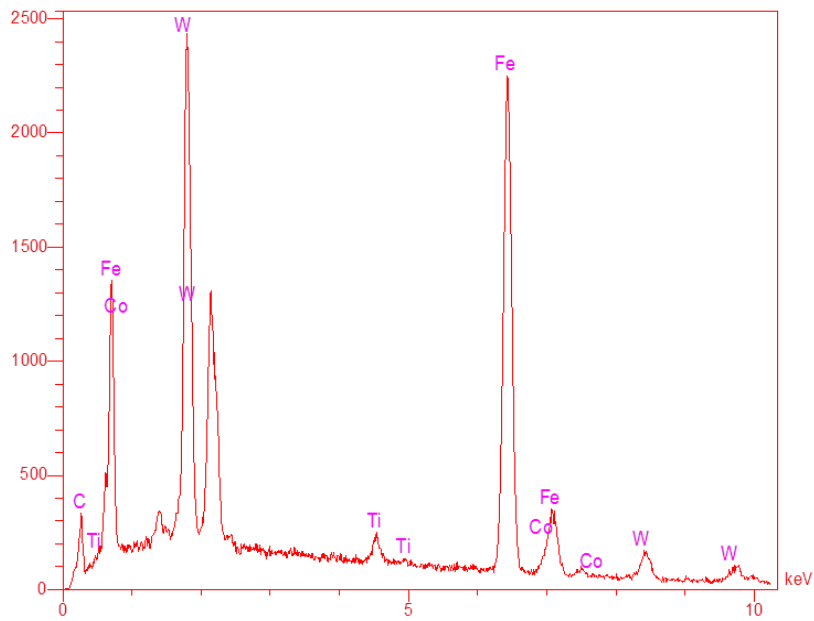
شکل 2: نمودار طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس زیر لایه (فولاد St37).



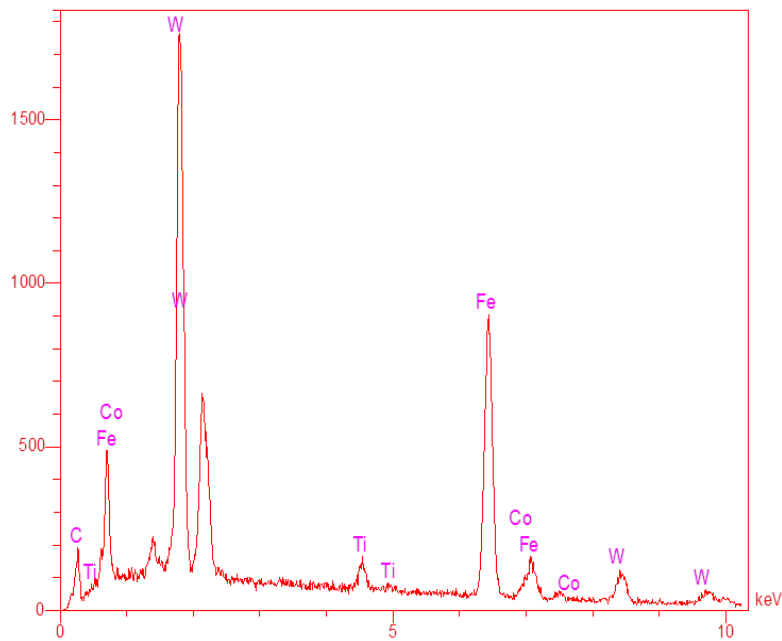
شکل 3: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع پوشش کاربید تنگستن-کبالت بر روی فولاد St37.



شکل 4: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح پوشش کاربید تنگستن-کبالت بر روی فولاد St37 با بزرگ‌نمایی‌های مختلف.



شکل 5: نمودار طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس نقطه مشخص شده روی شکل (4)-b.



شکل 6: نمودار طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس نقطه مشخص شده روی شکل (4)-d.



انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران