



ایجاد پوشش‌های کامپوزیتی Al/Al_3Ti بر سطح زیرلایه تیتانیوم با استفاده از فرایند TIG

سجاد ارجمند¹، مجید طاووسی²

¹. موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو اصفهان (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، گرایش جوشکاری)

². دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان (استادیار دانشکده مهندسی مواد)

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، ایجاد پوشش‌های مستحکم کامپوزیتی Al/Al_3Ti بر سطح زیرلایه تیتانیوم به منظور ارتقای خواص سطحی آن می‌باشد. در این ارتباط پوشش‌دهی با استفاده از فرایند تیگ در شرایط مختلف و با بهره‌گیری از سیم جوش آلومینیوم 1100 بر روی تیتانیوم خالص انجام شد. بررسی‌های ساختاری و فازی نمونه‌های حاصل توسط پراش سنج پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام شد. نتایج حاصل حاکی از امکان ایجاد موفق پوشش‌های کامپوزیتی Al/Al_3Ti بر سطح زیرلایه تیتانیوم دارد. بالاترین مقدار اختلاط آلومینیوم و تیتانیوم در سطح و ایجاد درصد بالاتر فازهای بین‌فلزی در پایین‌ترین نرخ حرارت‌دهی قابل حصول است. افزایش حرارت ورودی باعث گسترش پهنای جوش شده و باعث خروج تیتانیوم از حوضچه و تجمع آن در گرده‌ی جوش می‌شود که این امر کاهش درصد فازهای حاصل را به همراه دارد.

واژه‌های کلیدی: پوشش کامپوزیتی؛ تیتانیوم؛ فرایند تیگ؛ سیم جوش آلومینیوم؛ فازهای بین‌فلزی.

¹. Sajad1992arjomand@gmail.com

مقدمه

تیتانیوم و آلیاژهای آن به دلیل دارا بودن خواصی همچون نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت به خوردگی خوب و چگالی نسبتاً پایین از اهمیت زیادی در صنایع مختلف از جمله هوافضا، شیمیایی، خودروسازی و پزشکی برخوردارند [1 و 2]. با این وجود تیتانیوم دارای خواص تریبولوژی و سطحی نامطلوب می‌باشد. به ویژه مقاومت به سایش پایین آلیاژهای تیتانیوم در کاربردهای پزشکی باعث شده که در دهه اخیر به طور وسیع و گسترده‌ای در اصلاح سطح این آلیاژها مطالعات زیادی به عمل آید [3]. از آنجایی که پدیده سایش تیتانیوم اساساً موجب نقایص سطحی می‌گردد، با اصلاحاتی در ریزساختار یا ترکیب شیمیایی لایه‌های سطحی، امکان مقاوم نمودن نسبت به پدیده مذکور امکان پذیر است. بدین لحاظ استفاده از مهندسی سطح جهت ایجاد لایه‌های محافظ بر روی سطح تیتانیوم مورد توجه محققین قرار گرفته است [4].

از بین موادی که در پوشش دهی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ترکیبات بین فلزی به دلیل داشتن خصوصیات هم-چون مقاومت سایشی، اکسیداسیون، خوردگی، خستگی، خزشی، نقطه ذوب بالا، چگالی نسبتاً کم، پایداری استحکام در دمای بالا و استحکام ویژه مناسب در دمای محیط مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند. در این رابطه انعطاف پذیری و چقرمگی پایین یکی از معایب اصلی آن‌ها به شمار می‌آید [5]. روش‌های مختلفی برای اعمال پوشش‌هایی از جنس ترکیبات بین فلزی بر روی سطح توسعه یافته که از این میان می‌توان به روش‌های کاشت یون، رسوب‌نشینی شیمیایی حالت بخار، رسوب‌نشینی فیزیکی حالت بخار، پاشش حرارتی و سخت کاری سطحی توسط جوشکاری اشاره نمود. با توجه به هزینه‌ی پایین فرایندهای جوشکاری در سخت کاری سطحی، امروزه این فرایندها مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند. هدف عمده در این روش‌ها آلیاژسازی سطح با عناصر مناسب جهت شکل‌گیری ترکیبات بین فلزی می‌باشد.

در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی بر روی سیستم‌هایی مثل Ti-Al، Ti-Fe، Ti-Cu، Ti-Ni انجام شده و با اضافه نمودن ذرات تقویت کننده هم‌چون TiC به صورت درجا اقدام به ساخت کامپوزیت‌های بسیار سخت و مقاوم به سایش گردیده است [6]. در این میان ترکیبات بین فلزی آلومینیوم-تیتانیوم شامل TiAl، TiAl₃ و Ti₃Al به دلیل رفتار مطلوب از قبیل استحکام مکانیکی عالی، سختی مناسب، نقطه ذوب بالا، مقاومت به اکسیداسیون، سایش و خوردگی مناسب کاربردهای گوناگونی پیدا کرده است. استفاده از این ترکیبات در کاربردهای مهندسی سطح باعث بهبود خواص سطحی مواد می‌شود [7]. در ادامه به مرور پژوهش‌هایی در زمینه بهبود خواص سطحی تیتانیوم و آلیاژهای آن با استفاده از ذرات و مواد مقاوم پرداخته خواهد شد.

ریچارد¹ و همکاران [8]، جهت بهبود مقاومت به سایش تیتانیوم خالص تجاری، پوشش نانو سرامیک Al₂O₃-TiO₂ 13% را با روش پلاسما اسپری بر روی سطح تیتانیوم اعمال نمودند. میزان سختی پوشش نانو سرامیکی ایجاد شده بر روی زیرلایه تیتانیوم به میزان 920 ویکرز رسید، در حالی که میزان سختی تیتانیوم خالص

¹. Richard

تجاری 280 ویکرز بود. میکلازوسکی¹ و همکاران [9]، نانوذرات کامپوزیتی Ti-B را بر روی زیر لایه آلفا-تیتانیوم جهت بهبود خواص آلیاژ برای کاربردهای پزشکی با فرایند جوشکاری قوسی پلاسما² رسوبدهی نمودند. این کار منجر به افزایش سختی سطح از 280 ویکرز در زیر لایه تیتانیوم به 900 ویکرز بعد از پوششدهی توسط نانوذرات کامپوزیتی شد. بایلی³ و همکاران [10]، به منظور بهبود خواص تریبولوژیکی تیتانیوم خالص تجاری، این فلز را در یک جعبه فولادی کربن‌دهی نمودند. مشاهده شد لایه اکسیدی TiO_2 و کاربید تیتانیوم TiC که در حین کربن‌دهی بر روی سطح تشکیل شدند، موجب افزایش سختی سطح تیتانیوم از 280 ویکرز به بیش از 1000 ویکرز شدند. لنیوتسوا⁴ و همکاران [11]، ساختار و خواص سطحی تیتانیوم را برای افزایش سختی و مقاومت به سایش بعد از آلیاژسازی با فرایند جوشکاری پرتو الکترونی⁵ و کربن بررسی نمودند. کربن در سطح تیتانیوم منجر به شکل‌گیری کاربیدهای سخت TiC گردید. این کاربیدهای سخت بهبود مقاومت به سایش تیتانیوم و افزایش سختی سطح را به دنبال داشت، به طوری که سختی را در سطح تیتانیوم از 280 ویکرز به 800 ویکرز رسانید.

با وجود مطالعات گسترده‌ی موجود در زمینه‌ی بهبود خواص سطحی تیتانیوم، کمتر تحقیقی به بررسی دقیق پارامترهای فرایند تیگ در ایجاد پوشش‌های کامپوزیتی شامل ترکیبات بین‌فلزی بر سطح تیتانیوم پرداخته است. در این رابطه هدف از این تحقیق استفاده از فرایند جوشکاری تیگ به منظور ایجاد پوشش‌های کامپوزیتی Al/Al_3Ti بر سطح زیر لایه تیتانیوم می‌باشد.

مواد و روش تحقیق

در این تحقیق، از ورق تیتانیوم خالص تجاری (جدول 1) با ضخامت 2 میلی‌متر به عنوان زیر لایه و از آلومینیوم خالص 1100 (جدول 2) به عنوان سیم جوش با قطر 0/2 میلی‌متر بهره گرفته شد. به منظور انجام فرایند پوشش‌دهی، نمونه‌هایی با ابعاد 3×3 سانتی‌متر و ضخامت 0/2 سانتی‌متر از ورق تیتانیوم توسط گیوتین بریده و برای انجام فرایند آماده‌سازی گردید. قبل از انجام فرایند جوشکاری، زیر لایه تیتانیوم و سیم جوش آلومینیوم توسط متیل‌اتیل‌کتون تمیزکاری چربی‌زدایی شدند. جهت انجام فرایند پوشش‌دهی از روش جوشکاری تیگ پالسی استفاده شد. در تمامی جوشکاری‌ها، ولتاژ قوس 10 ولت، سرعت جوشکاری 0/2-0/15 سانتی‌متر بر ثانیه و زمان پالس 0/3 ثانیه ثابت در نظر گرفته شد و جوشکاری در شدت جریان‌های حداقل و حداکثر مختلف صورت گرفت. در این رابطه شرایط مختلف جوشکاری در جدول 3 آورده شده است. شایان ذکر است که در تمامی آزمون‌ها جهت حفاظت مناسب حوضچه مذاب از محیط اطراف، از گاز آرگون با خلوص 99/99 درصد استفاده گردید.

¹. Miklaszewski

². Plasma Arc Welding

³. Bailey

⁴. Lenivtseva

⁵. Electron Beam Welding

آزمون‌های پراش سنجی پرتوی ایکس با استفاده از دستگاه مدل X'Pert Pro MPD، ساخت شرکت Panalytical هلند انجام شد. تیوب پرتو ایکس مورد استفاده از نوع مسی با طول موج $1/542 \text{ \AA}$ ، ولتاژ کاری 40 kV، جریان 25 mA و اندازه گام 0,03 درجه انتخاب شد. بررسی‌های ساختاری نمونه‌های حاصل از جوشکاری، توسط میکروسکپ الکترونی روبشی گسیل میدانی مدل Mira 3-XMU موجود در مرکز پژوهش متالورژی رازی کرج انجام شد. به منظور بررسی ماکروسختی در منطقه جوش، متاثر از حرارت جوش و فلز پایه از دستگاه سختی‌سنجی مدل ASTM E384-HV، با بار اعمالی 10 Kgf، زمان بارگذاری 10 ثانیه و بزرگنمایی 50 برابر استفاده گردید.

نتایج و بحث

پارامترهای مختلف فرایند جوشکاری تیگ پالسی شامل سرعت جوشکاری، ولتاژ جوشکاری، دمای پیش گرم نمونه، اتمسفر محافظ و شدت جریان‌های حداقل و حداکثر مورد استفاده در جوشکاری بر خواص ساختاری و فازی پوشش‌های حاصل از این فرایند موثر است. در این تحقیق به منظور امکان انجام مقایسه، تمامی پارامترهای فرایند تیگ ثابت در نظر گرفته شده و تلاش شد تا با تغییر شدت جریان حداقل و حداکثر، بهینه شرایط جوشکاری برای حصول بالاترین میزان اختلاط آلومینیوم در تیتانیوم و به دنبال آن بالاترین درصد ترکیبات بین‌فلزی در سطح حاصل آید. در این ارتباط فرایند جوشکاری سطحی در شرایط ذکر شده در جدول 3 انجام و نمونه‌های حاصل پس از حذف گرده‌ی جوش مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

شکل 1 تصاویر میکروسکپی الکترونی روبشی از سطح نمونه‌های حاصل از فرایند جوشکاری در شرایط مختلف را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، ساختار تمامی نمونه‌ها شامل رسوباتی از فازهای با رنگ روشن می‌باشد که در زمینه‌ای از فاز تیره رنگ توزیع شده است. با توجه به این تصاویر، شکل رسوبات نمونه‌ی 3 با سه نمونه‌ی دیگر متفاوت است. به منظور تعیین نوع فازهای موجود تلاش شد تا از آنالیز عنصری EDS و آنالیز پراش پرتو ایکس بهره گرفته شود. نتایج آنالیز عنصری مربوط به زمینه و رسوبات مورد نظر در تمامی نمونه‌ها نشان از آن داشت که زمینه‌ی تیره رنگ در این تصاویر مربوط به آلومینیوم بوده و رسوبات روشن موجود در ساختار، مربوط به ترکیب بین فلزی Al₃Ti می‌باشد. به عنوان نمونه در شکل 2، آنالیز عنصری به همراه جدول درصد اتمی عناصر مربوط به زمینه و رسوبات (جدول 4) در مورد نمونه‌ی شماره 1 آورده شده است که در تایید این مطلب می‌باشد.

به منظور درک صحیح‌تر این موضوع و تعیین دقیق نوع فازهای حاصل، آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه‌های جوشکاری شده تحت شرایط مختلف در شکل 3 آورده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که ساختار پوشش‌های حاصل، شامل پیک‌هایی از آلومینیوم به همراه پیک‌های ظریفی از تیتانیوم و ترکیب بین فلزی Al₃Ti می‌باشد. اگرچه نوع رسوبات موجود در ساختار نمونه‌های مورد بررسی یکسان است، شدت پیک‌های حاصل متفاوت بوده و نشان از تفاوت درصد رسوبات موجود در ساختار دارد. در هر حال، تصاویر و

مطالب ارائه شده نشان می‌دهد که ساختار کامپوزیتی مورد نظر به خوبی در سطح تشکیل شده است که این موضوع نوید بخش بهبود شرایط سطحی تیتانیوم زمینه می‌باشد.

همانگونه که اشاره شد، ساختار تمامی پوشش‌های کامپوزیتی مشابه بوده و شامل رسوباتی از فازهای مختلف می‌باشد. در راستای تحلیل چگونگی تغییر ریزساختار با تغییر پارامترهای جوشکاری می‌توان به مقایسه‌ی نمونه‌های مختلف پرداخت. همانطور که در تصاویر میکروساختاری و الگوهای پراش مشاهده می‌شود، تغییرات نمونه‌های اول و دوم تنها در چگالی جریان حداکثر با یکدیگر متفاوت هستند. همانطور که مشاهده می‌شود، کاهش شدت جریان حداکثر در این نمونه‌ها تاثیری بر شکل رسوبات نداشته و تمامی رسوبات با جوانه‌زنی مرکزی و رشد در چهار جهت عمود بر هم شکل گرفته‌اند. این درحالی است که با افزایش چگالی جریان حداقل در مورد نمونه‌ی شماره 3 (از 35 به 40 آمپر) مورفولوژی ترکیب بین‌فلزی تغییر نموده است. در واقع در این حالت حرارت بالاتری در نمونه وارد شده و امکان رشد بیشتر فازها را فراهم آورده است. البته لازم به توجه است که در مورد نمونه‌ی 4 که در مقایسه‌ی نمونه‌ی 3 دارای جریان حداکثر بالاتری است، مجدداً رسوبات به صورت رشد ایجاد شده در نمونه‌های 1 و 2، رشد نموده‌اند. در راستای درک صحیح این موضوع و امکان مقایسه‌ی درصد رسوبات نمونه‌های 1، 2 و 4، تصاویر میکروسکوپی مربوط به این سه نمونه در شکل 4 قابل توجه است. همانطور که مشاهده می‌شود بالاترین درصد رسوبات در نمونه‌ی شماره 2 یعنی نمونه‌ای با حداقل حرارت ورودی شکل گرفته است. در واقع دلیل اصلی درصد کمتر رسوبات در نمونه‌ای با حرارت ورودی بالاتر را می‌توان به خروج تیتانیوم موجود از حوضچه و وارد شدن آن به گرده‌ی جوش نسبت داد. در حقیقت این موضوع درصد تیتانیوم موجود در حوضچه‌ی اصلی را کاهش داده و کاهش درصد رسوبات را به همراه دارد. این موضوع به خوبی با مقایسه‌ی الگوهای پراش موجود در شکل 3 نیز قابل اثبات است.

در راستای اثبات این ادعا، تلاش شد تا تغییرات سختی در مقطع عرضی جوش مورد ارزیابی قرار گیرد. در شکل 5 مقادیر سختی در مقطع عرضی جوش در مورد نمونه‌های مختلف ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، بالاترین مقدار سختی مربوط به نمونه‌ی 2 با کمترین حرارت ورودی و پایین‌ترین مقدار سختی مربوط به نمونه‌ی 4 با بالاترین مقدار حرارت ورودی می‌باشد. در واقع این موضوع نیز تاییدی بر این ادعاست که حرارت ورودی بالاتر برای سخت‌کاری سطحی تیتانیوم توسط سیم جوش آلومینیوم مناسب نبوده و ورود تیتانیوم به حوضچه و حذف آن را به همراه دارد.

نتیجه گیری

1- با استفاده از فرایند جوشکاری تیگ سیم جوش آلومینیوم بر سطح تیتانیوم، امکان ایجاد ساختار کامپوزیتی Al/Al_3Ti بر سطح وجود دارد.

2- ساختار پوشش‌های کامپوزیتی حاصل شامل رسوباتی از فازهای Al_3Ti و تیتانیوم در زمینه‌ی آلومینیوم می‌باشد.

3- رسوبات تیتانیوم در مرزدهانه های آلومینیوم رسوب نموده و رسوبات ترکیب بین فلزی در ساختار توزیع می شوند.

4- شکل رسوبات تحت تاثیر پارامترهای جوشکاری قرار دارد.

5- با افزایش حرارت ورودی در حین اتصال، از درصد ترکیبات بین فلزی در سطح کاسته و سختی پایین تری حاصل می شود. در این مورد لازم است تا جوشکاری با حداقل حرارت ورودی دنبال شود.

مراجع

1. ا، ویلیام، ساختار، خواص و کاربرد آلیاژهای مهندسی، 1378، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
2. ج، لوترینگ، آلیاژهای تیتانیوم، 1393، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
3. C. Chu, "Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for bio-medical applications", *Materials Science Engineering: R: Reports*, 47, 2004, 49-121.
4. J. Mao, "Microstructure and mechanical properties of GTA weldments of titanium matrix composites prepared with or without current pulsing" *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24, 2014, 1393-1399.
5. A. Zhecheva, "Enhancing the microstructure and properties of titanium alloys through nitridig and other surface engineering methods", *Surface and Coatings Technology*, 200, 2005, 2192-2207.
6. G. Sauthoff, "Multiphase intermetallic alloys for structural applications *Intermetallics*", 8, 2000, 1101-1109.
7. M. Hoseini, , "Tribological investigation of coatings for artificial joints", *Wear*, 264, 2008, 958-966.
8. C. Richard, "Corrosion and wear behavior of thermally sprayed nano ceramic coatings on commercially pure Titanium and Ti-13Nb-13Zr substrate", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 28, 2009, 115-123.
9. A. Miklaszewski, "Plasma surface modification of titanium by TiB precipitation for bio-medical applications", *Surface and Coatings Technology*, 206, 2011, 330-337.
10. R. Bailey, "Pack carburisation of commercially pure titanium with limited oxygen diffusion for improved tribological properties", *Surface and Coatings Technology*, 261, 2014, 28-34.
11. O.G. Lenivtseva, "Structure and properties of titanium surface layers after electron beam alloying with powder mixtures containing carbon", *Applied Surface Science*, 355, 2015, 320-326.

جدول 1: ترکیب شیمیایی تیتانیوم خالص تجاری مورد استفاده.

عنصر	تیتانیوم	نیتروژن	اکسیژن	آهن	هیدروژن	کربن	بقیه
درصد وزنی	98/65	0/05	0/4	0/5	0/015	0/08	0/3

جدول 2: ترکیب شیمیایی سیم جوش آلومینیوم خالص تجاری 1100 مورد استفاده.

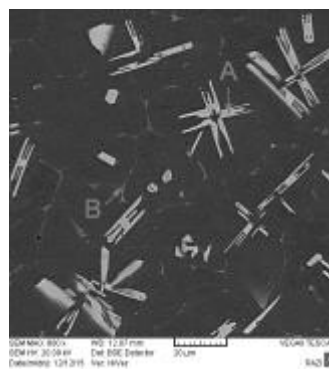
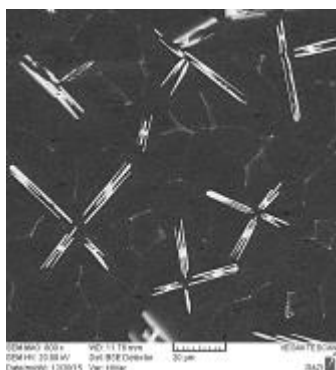
عنصر	آلومینیوم	آهن	سیلیسیم	مس	روی	سرب	وانادیوم	منیزیم	بقیه
درصد وزنی	99/70	0/13	0/07	0/04	0/02	0/02	0/008	0/005	0/07

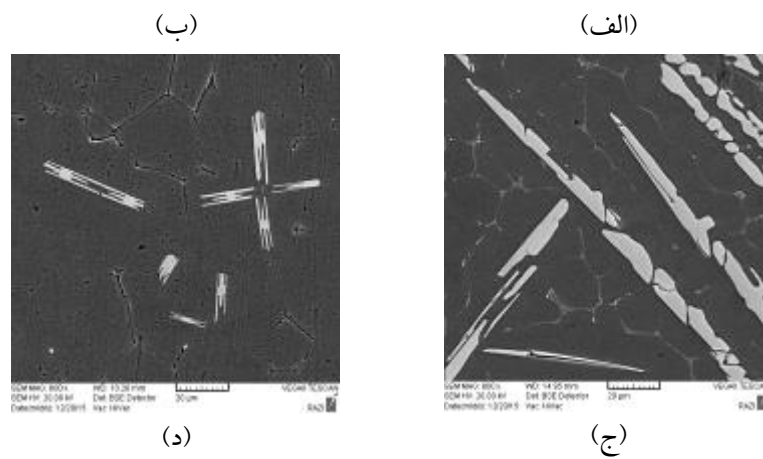
جدول 3: تغییرات شدت جریان جوشکاری حداکثر و حداقل مورد استفاده در این تحقیق.

شماره نمونه	شدت جریان حداکثر و حداقل (آمپر)
1	80 35
2	70 35
3	80 40
4	85 40

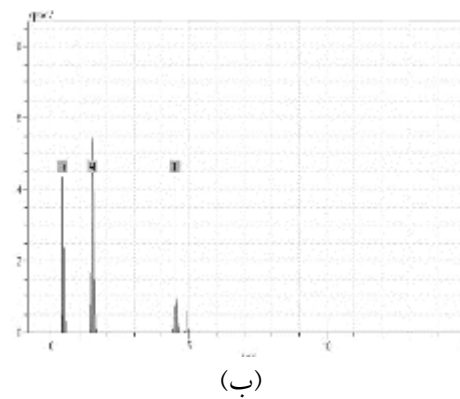
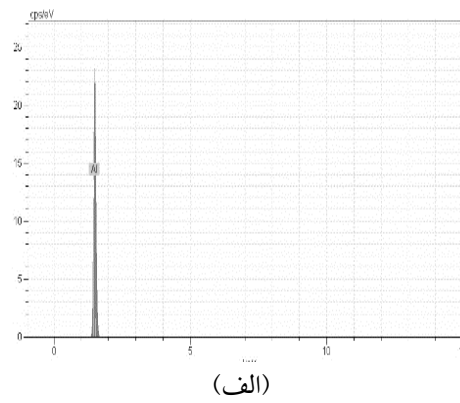
جدول 4: درصد اتمی عناصر مربوط به زمینه و رسوبات در مورد نمونه‌ی شماره 1.

درصد اتمی	پیکان‌های نشان داده شده در شکل (1)، نمونه 1
Al 76/95% Ti 23/05%	A
Al %100	B



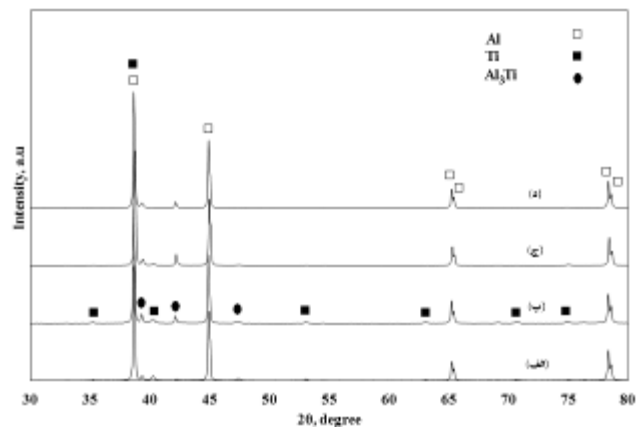


شکل 1: تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطح نمونه های جوشکاری شده در شرایط مختلف مندرج در جدول 3، الف) نمونه شماره 1، ب) نمونه شماره 2، ج) نمونه شماره 3، د) نمونه شماره 4.

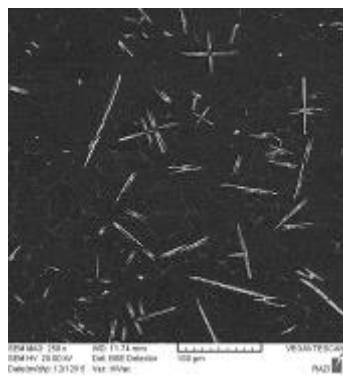


شکل 2: نتایج آنالیز عنصری فازهای الف) زمینه و ب) رسوبات روشن حاصل در نمونه ی شماره 1.

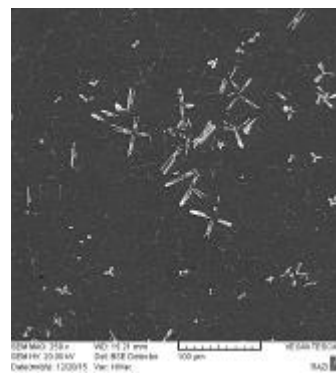
شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح



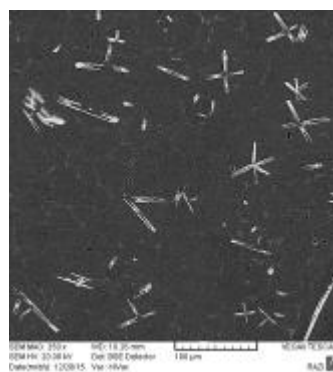
شکل 3: الگوهای پراش پرتو ایکس شدت بر حسب 2θ ، مربوط به سطح نمونه‌های جوشکاری شده در شرایط مختلف.



(ب)

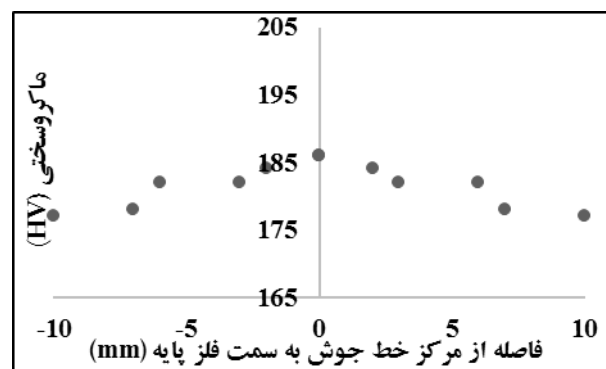


(الف)

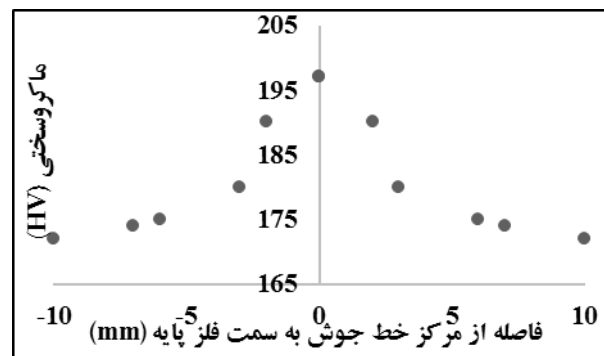


(ج)

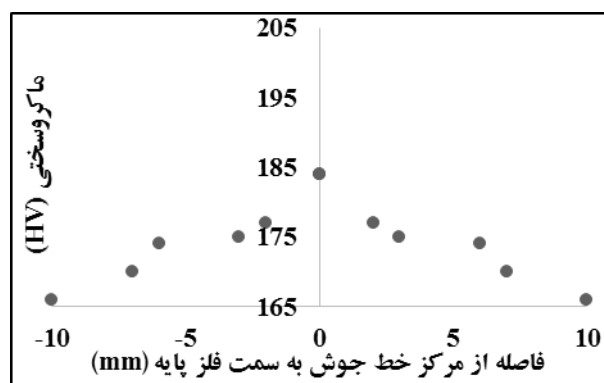
شکل 4: تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از نمونه‌های الف (1، ب) 2 و ج (4).



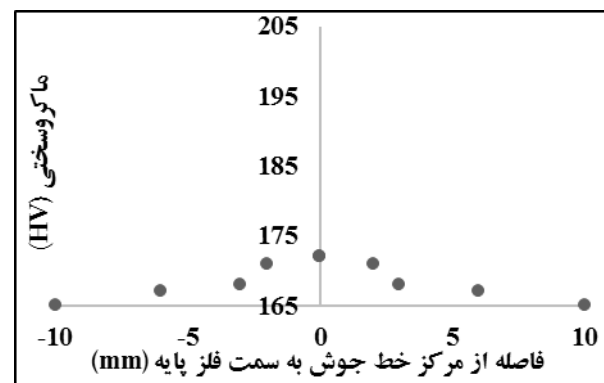
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل 5: تغییرات ماکروسختی (HV) از مرکز خط جوش به سمت فلز پایه (mm) مربوط به نمونه های الف) 1، ب) 2، ج) 3 و د) 4.