



بررسی خواص ریزساختاری و سایش لایه آلیاژی تیتانیوم با نیکل به وسیله فرآیند قوس تنگستن در فضای آرگون

حسین عباسزاده امیری^۱، علی حبیب‌اله زاده^۲، محمود حیدرزاده سهی^۳

^۱. دانشگاه سمنان (دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد)

^۲. دانشگاه سمنان (دانشیار دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی مواد)

^۳. دانشگاه تهران (استاد دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد)

چکیده

در این پژوهش لایه‌های آلیاژی با افزودن پودر نیکل به عنوان عنصر آلیاژی بر زیرلایه تیتانیوم خالص تجاری با به کارگیری روش قوس تنگستن در فضای آرگون ایجاد گردید. بدین منظور ابتدا پودر نیکل با پلی‌وینیل الکل (PVA) به صورت پیش‌نشست روی سطح زیرلایه قرار گرفت و سپس عملیات ذوب سطحی در اتمسفر محافظ گاز آرگون به روش قوس تنگستن انجام شد. هدف از انجام آزمایش در اتمسفر آرگون جلوگیری از تشکیل فازهای اکسیدی و نیتریدی مزاحم و دلیل استفاده از عنصر آلیاژی نیکل، تشکیل فازهای بین‌فلزی تیتانیوم و نیکل برای افزایش سختی و مقاومت به سایش بود. عملیات آلیاژسازی سطحی روی زیرلایه تیتانیومی با ولتاژ ثابت ۱۵ ولت، سرعت ثابت 100 mm.min^{-1} در جریان ورودی ۹۰ آمپر انجام گرفت. نتیجه انجام تحقیقات، نشان دهنده افزایش سختی سطح قطعات تا حداکثر ۷۴۰ ویکرز و افزایش مقاومت به سایش تا حدود ۵/۵ برابر گردید.

واژه‌های کلیدی: تیتانیوم خالص تجاری؛ فرآیند قوس تنگستن؛ نیکل؛ سختی؛ سایش؛ میکروسکوپ الکترونی روبشی.

^۱. Hossein.abbaszade@yahoo.com

مقدمه

تیتانیم و آلیاژهای آن دارای خواص کم‌نظیری هم‌چون نسبت استحکام به وزن بالا، چگالی پایین، مقاومت به خزش و مقاومت به خوردگی مناسبی می‌باشند. چگالی پایین این آلیاژها مهم‌ترین عامل انتخاب آن‌ها در صنایع هوافضا می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های این آلیاژها می‌توان به زیست‌سازگاری و انطباق آن‌ها با شرایط درونی بدن انسان اشاره کرد. در حال حاضر برای ساختن پایه‌های دندان و ساخت پروتزهای داخل بدن از تیتانیم و آلیاژهای آن استفاده می‌شود [۲۱].

اما مشکل اصلی آلیاژهای تیتانیم، خواص سایشی ضعیف آن‌ها بوده که باعث محدودیت استفاده از آن‌ها در برخی از صنایع شده است. بنابراین بهبود رفتار تریبولوژیکی، یکی از مهم‌ترین اهداف تحقیقات در حال انجام روی تیتانیم و آلیاژهای آن است. [۳۲].

مهندسی سطح از جمله مهم‌ترین راهکارها جهت بهبود خواص تریبولوژیکی و مقاوم سازی قطعات در مقابل پدیده‌هایی همچون سایش، خوردگی و اکسیداسیون است. امروزه برای توسعه حوزه کاری تیتانیم و آلیاژهای آن در صنایع گوناگون، از فرآیندهای مختلف مهندسی سطح که بهینه سازی لایه‌های سطحی را منجر می‌شوند، استفاده می‌شود. در طی چند سال گذشته تلاش‌های زیادی توسط محققان انجام گرفته است تا با ایجاد پوشش‌های سخت روی سطح از طریق روش‌های نیتروژن‌دهی پلاسمایی، رسوب‌نشانی شیمیایی و فیزیکی و کاشت یون، خواص تریبولوژیکی این دسته از آلیاژها ارتقاء یابد. روش‌هایی که اشاره شد علاوه بر هزینه بالای تولید و زمان بردن، در پاره‌ای از موارد به ایجاد لایه‌هایی با ضخامت منجر می‌شوند که در این حالت بارپذیری قطعه حین کار تضعیف می‌شود. بدین منظور از روش‌های ذوب سطحی توسط پرتوهای پرنانرژی از قبیل پرتو الکترونی، قوسی و به ویژه پرتو لیزر و قوس تنگستن در محیط گاز خنثی^۱ TIG برای ایجاد لایه‌هایی با ضخامت مناسب، بارپذیری بیشتر و خواص تریبولوژیکی مناسب‌تر استفاده می‌شود. در این راستا با استفاده از منابع متمرکز انرژی اشاره شده، می‌توان باعث تولید لایه‌های ذوب سطحی، آلیاژسازی سطحی و لایه‌های کامپوزیتی سطحی شد. برخی از لایه‌های کامپوزیتی از واکنش میان عناصری از قبیل C، B، N و حتی O در اتمسفر کنترل شده با زمینه تولید می‌شوند که موجب ایجاد یک فاز تقویت کننده سخت مثل TiC، TiN و TiB₂ شود [۴-۶].

Pinzon و همکاران برای بهبود خواص سطحی آلیاژ تیتانیم از ایجاد لایه سطحی شامل ترکیبات بین‌فلزی تیتانیم و نیکل از طریق پیش‌نشست پودر نیکل خالص بر روی تیتانیم و ذوب سطحی توسط فرآیند لیزر بررسی و مشاهده کردند که ترکیبات بین‌فلزی تیتانیم با نیکل از قبیل TiNi، Ti₂Ni و TiNi₃ با توجه به دیاگرام تعادلی بین تیتانیم و نیکل تشکیل و باعث بهبود خواص تریبولوژیکی آلیاژ Ti-6Al-4V شد [۷].

در تحقیق حاضر بهبود خواص سطحی تیتانیم خالص تجاری به کمک آلیاژسازی سطحی تیتانیم با پودر پیش‌نشست نیکل خالص به وسیله فرآیند قوس تنگستن بررسی شد.

^۱ Tungsten Inert Gas

مواد و روش تحقیق

از تیتانیوم خالص تجاری (CP-Titanium) با ابعاد $50 \times 50 \times 8 \text{ mm}^3$ به عنوان زیرلایه برای انجام عملیات آلیاژسازی سطحی استفاده شد. قبل از اینکه نمونه‌ها تحت عملیات قوس تنگستن قرار بگیرند، اکسیدها و آلودگی‌های سطحی از روی سطح نمونه‌ها با کاغذ سنباده و استن کاملاً تمیز شدند. در این آزمایش برای آلیاژسازی سطحی از پودر نیکل خالص با اندازه کوچک‌تر از $70 \mu\text{m}$ استفاده شد. به منظور چسباندن پودر مذکور روی نمونه‌ها، از چسب پلی‌وینیل‌الکل (PVA) استفاده شد و سپس با استفاده از خط‌کش و کولیس ضخامت لایه مورد نظر روی سطح، 0.5 mm در نظر گرفته شد. جهت انجام عملیات قوس تنگستن، یک میز x-y که قابلیت تنظیم سرعت‌های مختلف را داشت به کار گرفته شد. برای تامین انرژی مورد نیاز فرآیند از یک دستگاه TIG مدل Merkle TIG 200 AC/DC استفاده شد. از گاز آرگون با خلوص 99.99% و فشار 1 lit/min به عنوان گاز خنثی محافظ استفاده شد. الکتروود به کار رفته از نوع غیرمصرفی و از جنس تنگستن با دو درصد توریم به قطر 2.4 mm با نوک تیز و طول موثر حدوداً 6 mm بود. همچنین نوع جریان مورد استفاده DCEN و ولتاژ اعمالی در همه نمونه‌ها برابر با 15 V و ولت بود. به منظور بررسی تاثیر شدت جریان، آزمایش در آمپرهای مختلفی انجام شد (جدول ۱). برای اندازه‌گیری گرمای ورودی از رابطه ۱ استفاده شد؛ که در آن V ولتاژ، I جریان و S سرعت روبش سطح توسط قوس تنگستن است. در فرآیند TIG مقدار η (ضریب بازده قوس) بین $50\% - 35\%$ متغیر بوده و معمولاً 48% در نظر گرفته می‌شود [۸].

$$E = (\eta \times V \times I) / S \quad (1)$$

برای بررسی ریزساختار لایه سطحی، پس از به کارگیری روش متالوگرافی استاندارد، نمونه‌ها به مدت $10-12$ ثانیه در محلول Kroll ($100 \text{ mm H}_2\text{O}$ ، 3 mm HF و 6 mm HNO_3) حکاکی شده و با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی Philips XL30 مجهز به دستگاه سنجش شدت انرژی پرتو ایکس (EDS) مورد بررسی قرار گرفتند. جهت شناسایی و بررسی فازهای تشکیل شده از پراش پرتو ایکس استفاده شد. این آزمایش به وسیله دستگاه Bruker مدل D8DVABCE تحت ولتاژ 40 kV و شدت جریان 30 mA با استفاده از اشعه تکفام $\text{CuK}\alpha$ (با طول موج 1.54 \AA آنگستروم) و با اندازه گام 0.06 درجه انجام گرفت.

به منظور اندازه‌گیری سختی لایه‌های آلیاژی ایجاد شده، از یک دستگاه سختی سنجی میکروسکوپی مدل Leitz با فرو رونده نوع ویکرز استفاده شد. بار اعمالی در این آزمایش 300 گرم نیرو بود. رفتار سایشی نمونه‌ها با استفاده از آزمایش سایش پین روی دیسک در بار 10 نیوتون و مسافت سایش 1000 متر و با سرعت 0.14 متر بر ثانیه، بررسی شد. در این آزمایش نمونه‌های سایشی، پین‌هایی با قطر 5 میلی‌متر و ارتفاع 8 میلی‌متر بودند. از دیسک‌های فولادی D-2 با قطر 41 میلی‌متر و ارتفاع 8 میلی‌متر با سختی 870 ویکرز به عنوان جسم ساینده استفاده شد.

نتایج و بحث

الگوی پراش پرتو ایکس فازهای موجود در لایه ذوب سطحی شده نمونه S3 (جدول ۱) در شکل ۱ نشان داده شده است که حضور تیتانیم (زمینه) و ترکیب Ti_2Ni را تایید می کند.

تصویر میکروسکوپ الکترونی از مقطع نمونه S3 (جدول ۱) در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است در حرارت ورودی نسبتاً زیاد (90A)، منطقه آلیاژی تقریباً یکنواخت می باشد. همچنین، با سرعت های بالا و افزایش سرعت انجماد، حفرات گازی در لایه سطحی ایجاد می شود. وجود حفرات گازی در منطقه آلیاژی به دلیل رطوبت اندک همراه چسب و همچنین زمان بسیار کوتاه واکنش است که اجازه خروج به حفرات گازی را نمی دهد. وجود حفرات در حرارت های ورودی پایین را می توان به تشکیل ناقص قوس بین زیرلایه و الکتروود نسبت داد [۷].

نتایج حاصل از سنجش شدت انرژی طیف پرتو ایکس (EDS) از مناطق مختلف تشکیل شده از مقطع عرضی نمونه آلیاژسازی سطحی شده با جریان ۹۰ A و سرعت ۱۰۰ mm/min در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج حاکی از وجود دو عنصر نیکل و تیتانیم در مناطق سفید و وجود تیتانیم در زمینه سیاه رنگ است.

شکل ۴ نشان می دهد که نیکل ذوب شده توسط قوس تنگستن با تیتانیم مذاب زیرلایه واکنش داده و Ti_2Ni تشکیل شده است. دمای حوضچه مذاب تحت قوس TIG به طور لحظه ای به مقدار نسبتاً بالایی می رسد. لایه سطحی تشکیل شده (شکل ۴) حاکی از چهار منطقه متفاوت است. منطقه ۱ ساختار ستونی Ti_2Ni را نشان می دهد. منطقه ۲ شامل ساختار ستونی و نزدیک به هم محور Ti_2Ni است. منطقه ۳ (نزدیک به زیرلایه) شامل ساختارهای نزدیک به هم محور Ti_2Ni است که به دلیل سرعت سرد شدن بالا است. منطقه ۴ که ناحیه متأثر از حرارت را نشان می دهد ساختار سوزنی دارد که دارای فاز مارتنزیتی است و در بررسی های صورت گرفته توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است [۷ و ۹].

میانگین نتایج میکروسختی ۳ نمونه آزمایش (جدول ۱) در جدول ۲ نشان داده شده است. در نمونه S3، تشکیل Ti_2Ni حاصل از واکنش نیکل با تیتانیم باعث افزایش سختی سطحی و افزایش حدود ۴ برابری سختی سطحی نسبت به آلیاژ پایه شده است. در نواحی میانی لایه آلیاژی، سختی پایین تر است. دلیل این امر حضور ساختار سلولی و منطقه نزدیک به هم محور Ti_2Ni است.

نتایج تست سایش در دمای $25^{\circ}C$ ، بار ۱۰ نیوتن و مسافت ۱۰۰۰ متر برای دو نمونه S1 و S3 (جدول ۱) در جدول ۳ و شکل ۵ حاکی از افزایش مقاومت به سایش حدوداً ۵/۵ برابری نمونه آلیاژسازی شده نسبت به نمونه خام است. در شکل ۵-الف برای نمونه S1، وجود کندگی ها، شکل شیارها و فرورفتگی ها نشان دهنده مکانیزم سایش چسبنده است. در شکل ۵-ب برای نمونه S3 کندگی های شدید وجود ندارد و می توان مکانیزم سایش را خراشان در نظر گرفت.

نتیجه گیری

در این تحقیق، تاثیر حرارت ورودی بر ریزساختار، سختی و مقاومت به سایش عملیات سطحی آلیاژ CP-Titanium همراه با پودر نیکل پیش‌نشست به روش TIG با گاز محافظ آرگون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده به شرح زیر است:

(۱) ریزساختار لایه سطحی شامل Ti_2Ni و تیتانیم خالص می‌باشد. نواحی حاوی دندریت‌های Ti_2Ni توسط زمینه تیتانیمی احاطه شده‌اند.

(۲) با افزایش حرارت ورودی و افزایش سرعت انجام، سختی لایه سطحی افزایش یافت. بیشترین سختی برای نمونه S3 به دست آمد.

(۳) در اثر انجام عملیات ذوب سطحی، سختی از $160 HV_{0.3}$ برای نمونه S1 تا بیشینه $458 HV_{0.3}$ برای نمونه S2 و بیشینه $786 HV_{0.3}$ برای لایه سطحی تحت عملیات آلیاژسازی سطحی نمونه S3 افزایش یافت.

(۴) مقامت به سایش نمونه تحت عملیات آلیاژسازی سطحی نسبت به نمونه خام حدود ۵/۵ برابر بهبود یافت. علت این موضوع را می‌توان انجام عملیات ذوب سطحی و تشکیل Ti_2Ni دانست.

(۵) دلیل تشکیل حفرات و تخلخل ایجاد شده در ساختار را می‌توان به سرعت بالای فرآیند انجام که به حفرات گازی اجازه خروج از ساختار را نمی‌دهد و تشکیل نشدن قوس یا تشکیل قوس ناقص نسبت داد.

تشکر و قدردانی

در پایان لازم می‌دانم تا از اساتید محترم جناب آقای دکتر حبیب‌اله‌زاده و آقای دکتر حیدرزاده سهی که بنده را در راستای این تحقیق یاری رساندند و هم‌چنین از مادر و پدرم تشکر نمایم.

مراجع

- 1- V. Arun Joshi, "Titanium Alloys, an atlas of structure and fracture features", CRC, Taylor & Francis group, 2006.
- 2- I. J. Polmear, "Light Alloys From Traditional Alloys to Nanocrystals", Fourth edition 2006, Typeset by Integra Software Services Pvt. Ltd.
- 3- Y.S. Tian, C.Z. Chen, L.X. Chen, Q.H. Huo, "Microstructures and wear properties of composite coatings produced by laser alloying of Ti-6Al-4V with graphite and silicon mixed powders", Materials Letters 60 (2006) 109 – 113.
- 4- J.D. Ayers and et al., "Laser processing technique for improving the wear resistance of metals", J. Met., 1981, Vol.33, pp.19-31
- 5- A. Layland, A. Mathews, "Comparative study of the influence of plasma treatments, PVD coatings and ino implantation on the Tribological performance of Ti-6Al-4V", Surface and Coating Technology, 1999, Vol.114, pp.70-80.
- 6- K. G. Anthymidis and et al., "Boride coatings on non-ferrous materials in a fluidized bed reactor and their properties", Science and Technology of Advanced Materials, 2002, Vol.3, pp.303-311.

- 7- C. Blanco-Pinzon, Z. Liu, K. Voisey, F.A. Bonilla, P. Skeldon, G.E. Thompson, J. Piekoszewski, A.G. Chmielewski, "Excimer laser surface alloying of titanium with nickel and palladium for increased corrosion resistance", Corrosion Science, Volume 47, Issue 5, May 2005, Pages 1251–1269.
- 8- K.E. Easterling, "Introduction to the physical metallurgy of welding", 2th edition, 1983, Sweden, Butterworth & Co.
- 9- F. Adib Hajbagheri, S.F. Kashani Bozorg, A.A. Amadeh, "Microstructure and wear assessment of TIG surface alloying of CP-titanium with silicon", Article, Journal of Materials Science, September 2008, Volume 43, Issue 17, pp 5720-5727.

جدول ۱: پارمترهای عملیات ذوب سطحی در فرآیند قوس تنگستن

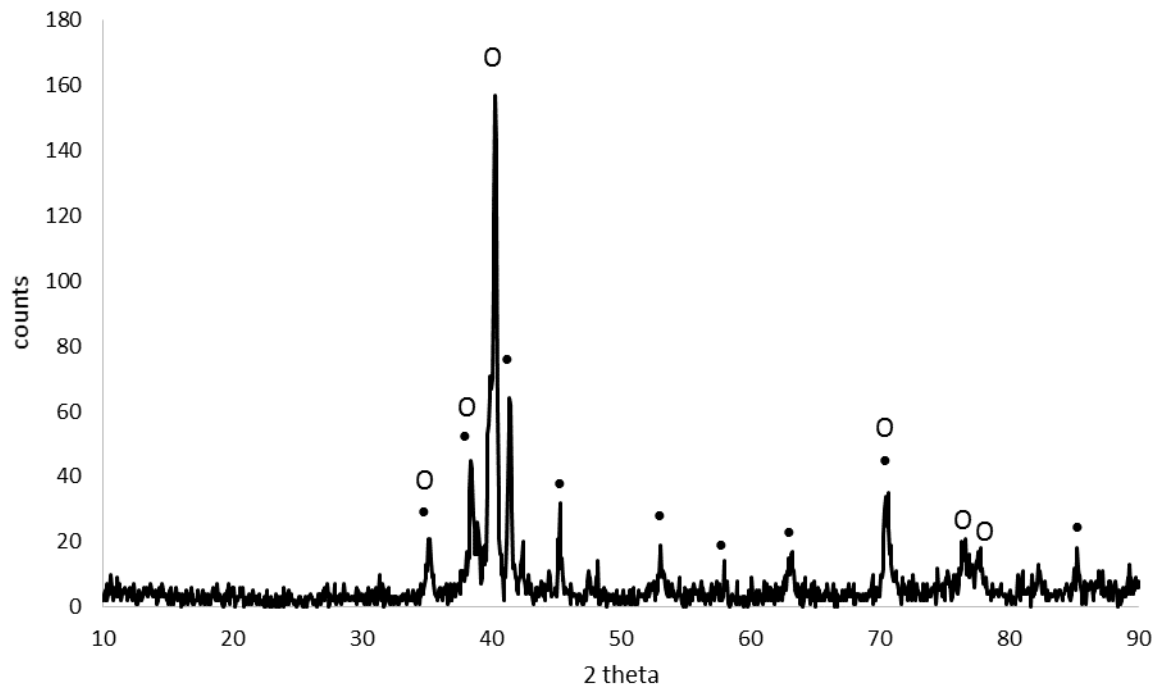
کد نمونه	عملیات	جریان (آمپر)	سرعت (mm/min)	حرارت ورودی (kj/cm)
S1	-	-	-	-
S2	ذوب سطحی نمونه خام	۹۰	۱۰۰	۶/۴۸
S3	آلیاژسازی سطحی با نیکل	۹۰	۱۰۰	۶/۴۸

جدول ۲: میانگین سختی نمونه‌ها بر حسب سختی ویکرز

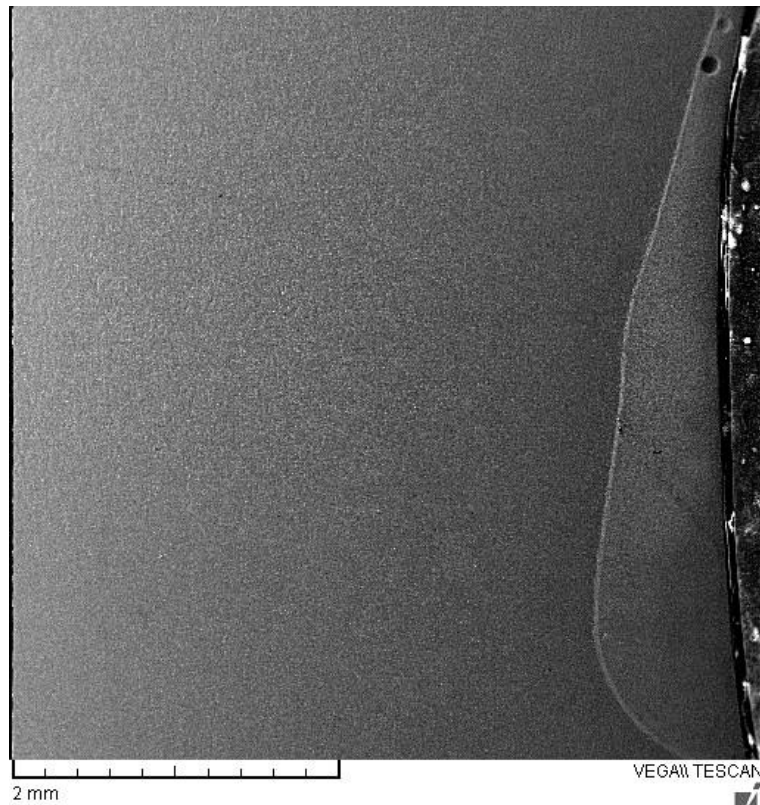
کد نمونه	S1	S2	S3
سختی (HV _{0.3})	۱۶۰	۳۹۵	۶۹۰

جدول ۳: مقدار کاهش وزن نمونه‌ها در اثر آزمون ساییش در دمای ۲۵⁰C، بار ۱۰ نیوتن و مسافت ۱۰۰۰ متر

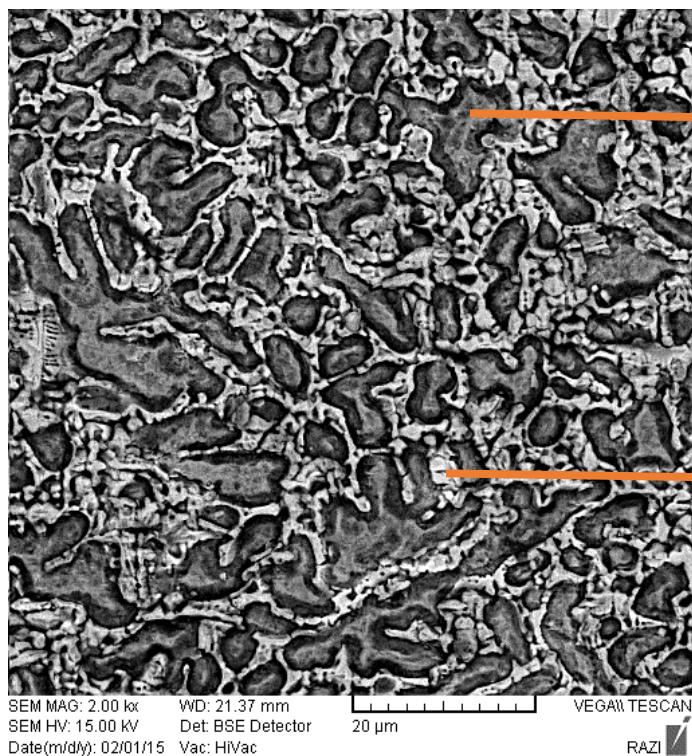
کد نمونه	S1	S2	S3
کاهش وزن پین (گرم)	۰/۰۲۱۴	۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۴



شکل ۱: پراش پرتو ایکس مربوط به نمونه S3



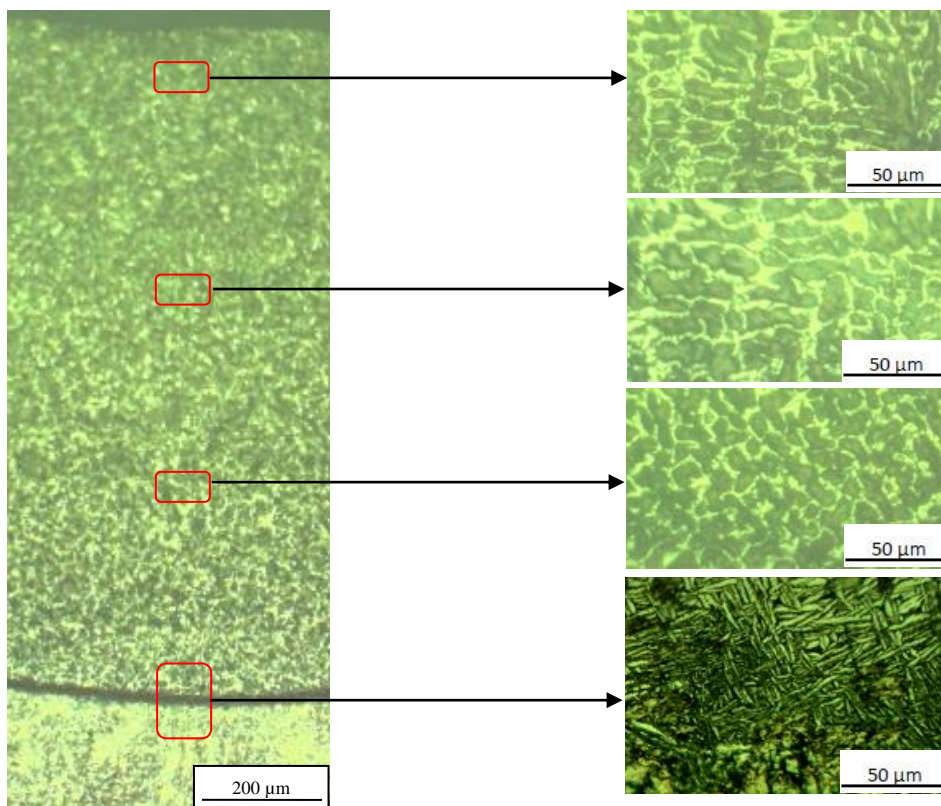
شکل ۲: مقطع عرضی نمونه S3 با منطقه آلیاژی تقریباً یکنواخت



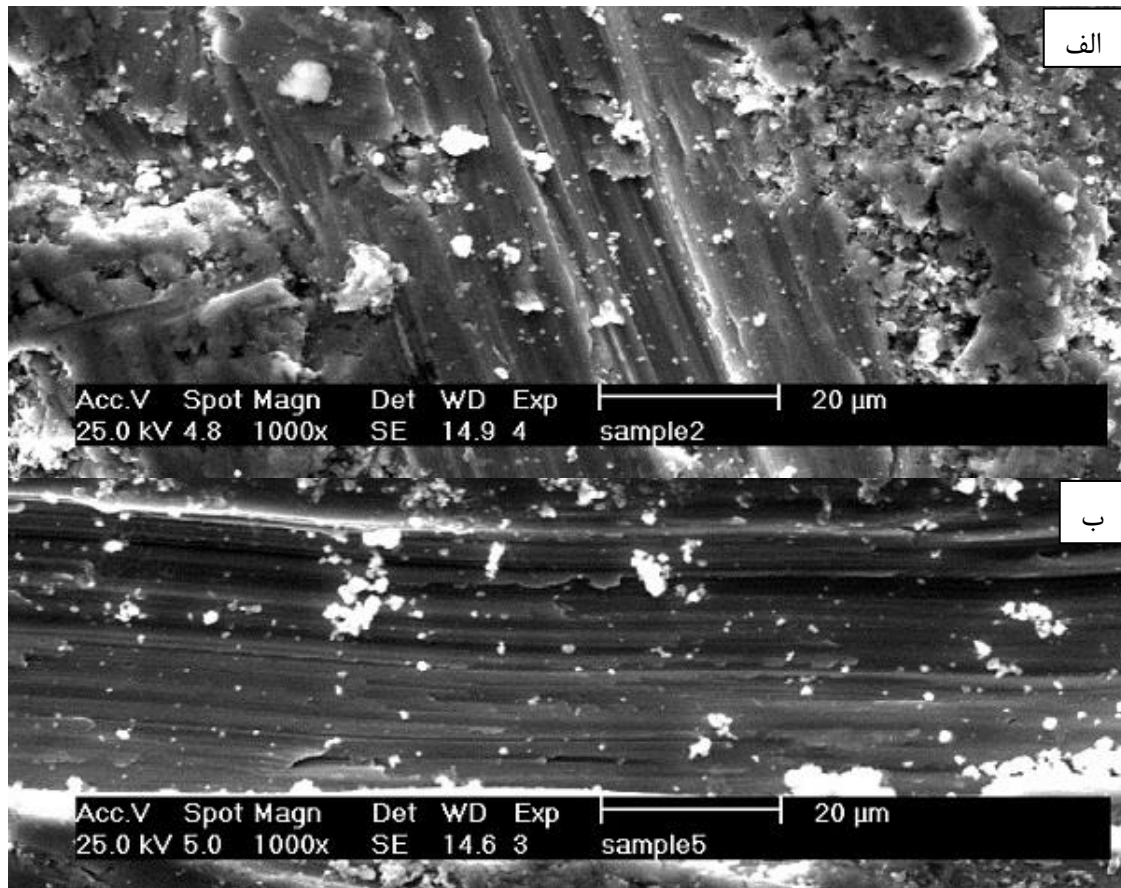
عنصر	درصد وزنی
تیتانیوم	۹۹/۰۳

نصر	درصد وزنی
تیتانیوم	۶۶/۵۴
نیکل	۳۳/۴۶

شکل ۳: سنجش شدت انرژی طیف پرتو ایکس (EDS) از مناطق مختلف تشکیل شده از مقطع عرضی نمونه S3



شکل ۴: تصویر میکروسکوپ نوری از مقطع عرضی نمونه S3 و نمایش ۴ منطقه تشکیل شده



شکل ۵: تصویر میکروسکوپی الکترون ثانویه از نمونه‌های سایشی. الف) نمونه S1، ب) نمونه S3.