



بهمنماه ۱۳۹۴

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

حسین عباس زاده امیری ، علی حبیب اله زاده ، محمود حید رزاده سهی

<sup>۱</sup>. 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)

چکیدہ

در این پژوهش لایههای آلیاژی با افزودن پودر نیکل به عنوان عنصر آلیاژی بر زیرلایه تیتانیم خالص تجاری با به کارگیری روش قوس تنگستن در فضای آرگون ایجاد گردید. بدین منظور ابتدا پودر نیکل با پلیونیل الکل (PVA) به صورت پیش نشست 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 بین فلزی تیتانیم و نیکل برای افزایش سختی و مقاومت به سایش بود. عملیات آلیاژسازی سطحی روی زیرلایه تیتانیمی با ولتاژ ثابت ۱۵ ولت، سرعت ثابت <sup>1</sup>-۰۰mm.min 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.

**واژدهای کلیدی:** تیتانیم خالص تجاری؛ فر آیند قوس تنگستن؛ نیکل؛ سختی؛ سایش؛ میکروسکوپ الکترونی روبشی.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>. Hossein.abbaszade@yahoo.com

بررسی خواص ریزساختاری و سایش .....

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 مهم ترین عامل انتخاب آنها در صنایع هوافضا میباشد. از دیگر ویژگیهای این آلیاژها میتوان به زیستسازگاری وانطباق 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 [۱و۲].

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 مهم ترین اهداف تحقیقات در حال انجام روی تیتانیم و آلیاژهای آن است. [۲و۳].

مهندسی سطح از جمله مهم ترین 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 می شوند، استفاده می شود. در طی چند سال گذشته تلاش های زیادی توسط محققان انجام گرفته است تا با ایجاد پوشش -های سخت روی سطح از طریق روش های نیتروژن دهی پلاسمایی، رسوب نشانی شیمیایی و فیزیکی و کاشت یون، خواص تریبولوژیکی این دسته از آلیاژها ارتقاء یابد. روش هایی که اشاره شد علاوه بر هزینه بالای تولید و زمان بر بودن، در پاره ای از موارد به ایجاد لایه هایی با ضخامت منجر می شوند که در این حالت بارپذیری قطعه حین کار تضعیف می شود. بدین منظور از روش های دوب سطحی توسط پر توهای پر انرژی از قبیل پر تو الکترونی، قوسی و به ویژه پر تو لیزر و قوس تنگستن در محیط گاز خنثی 'TIG برای ایجاد لایه هایی با ضخامت مناسب، بارپذیری بیشتر و خواص تریبولوژیکی مناسب تر استفاده می شود. در این راستا با استفاده از مناسب، بارپذیری بیشتر و خواص تریبولوژیکی مناسب تر استفاده می شود. در این راستا با سنفاده از منابع متمر کز انرژی اشاره شده، می توان باعث تولید لایه های ذوب سطحی، آلیاژسازی سطحی و لایه هایی با ضخامت مناسب، بارپذیری بیشتر و خواص تریبولوژیکی مناسب تر استفاده می شود. در این راستا با استفاده از منابع متمر کز انرژی اشاره شده، می توان باعث تولید لایه های ذوب سطحی، آلیاژسازی سطحی و لایه های کامپوزیتی سطحی شد. برخی از لایه های کامپوزیتی از واکنش میان عناصری از قبیل N، B، ی و حتی O در اتمسفر کنترل شده با

زمینه تولید می شوند که موجب ایجاد یک فاز تقویت کننده سخت مثل TiN ، TiC و TiB شود [۴-۶]. Pinzon و همکاران برای بهبود خواص سطحی آلیاژ تیتانیم از ایجاد لایه سطحی شامل ترکیبات بین فلزی تیتانیم و نیکل از طریق پیش نشست پودر نیکل خالص بر روی تیتانیم و ذوب سطحی توسط فرآیند لیزر بررسی و مشاهده کردند که ترکیبات بین فلزی تیتانیم با نیکل از قبیل TiN، TiNi و دوب سطحی توسط فرآیند لیزر بررسی و بین تیتانیم و نیکل تشکیل و باعث بهبود خواص تریبولوژیکی آلیاژ Vi Ti-6Al-4V از توجه به دیاگرام تعادلی در تحقیق حاضر بهبود خواص سطحی تیتانیم خالص تجاری به کمک آلیاژ سطحی سطحی تیتانیم با پودر پیش-نشست نیکل خالص به وسیله فرآیند قوس تنگستن بررسی شد.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Tungsten Inert Gas

## مواد و روش تحقيق

از تیتانیم خالص تجاری (CP-Titanium) با ابعاد ۵۰ x ۵۰x ۸ mm<sup>3</sup> به عنوان زیرلایه برای انجام عملیات آلیاژسازی سطحی استفاده شد. قبل از اینکه نمونه ها 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 کوچک تر از ۷۰ میکرومتر استفاده شد. به منظور چسباندن پودر مذکور روی نمونهها، از چسب پلیونیلالکل (PVA) استفاده شد و سپس با استفاده از خطکش و کولیس ضخامت لایه مورد نظر روی سطح، ۵/۰ میلیمتر 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 ۹۹/۹۹۹٪ و فشار lit/min ۸ به عنوان گاز خنثی محافظ استفاده شد. الکترود به کار رفته از نوع غیرمصرفی و از جنس تنگستن با دو درصد توريم به قطر ۲/۴ mm با نوک تيز و طول موثر حدوداً mm ۶ بود. همچنين نوع جريان مورد استفاده DCEN و ولتاژ اعمالی در همه نمونهها برابر با ۱۵ ولت بود. به منظور بررسی تاثیر شدت جریان، آزمایش در آمپرهای مختلفی انجام شد(جدول ۱). برای اندازه گیری 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 ./۵۰ ۳۵ متغیر بوده و معمولا ./۴۸ در نظر گرفته می شود [۸]. (1)

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

برای بررسی ریزساختار لایه سطحی، پس از به کارگیری روش متالوگرافی استاندارد، نمونهها به مدت ۱۲–۱۰ ثانیه در محلول Kroll (۶۰۰ mm HF) ۳ mm HF و ۳ mm HNO) 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 ۴۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰mA با استفاده از اشعه تکفام CuKα (با طول موج ۱/۵۴ آنگستروم) و با اندازه گام ۰/۰۶ درجه انجام گرفت.

به منظور اندازه گیری سختی لایه های آلیاژی ایجاد شده، از یک دستگاه سختی سنجی میکروسکوپی مدل Leitz با فرو رونده نوع ویکرز استفاده شد. بار اعمالی در این آزمایش ۳۰۰ گرم نیرو بود. رفتار سایشی نمونهها با استفاده از آزمایش سایش پین روی دیسک در بار ۱۰ نیوتون و مسافت سایش ۱۰۰۰ متر و با سرعت ۱/۱۴ متر بر ثانیه، بررسی شد. در این آزمایش نمونه های سایشی، پین هایی با قطر ۵ میلی متر و ارتفاع ۸ میلی متر بودند. از دیسکهای فولادی D-2 با قطر ۴۱ میلی متر و ارتفاع ۸ میلی متر با سختی ۸۷۰ ویکرز به عنوان جسم ساينده استفاده شد.

بررسی خواص ریز ساختاری و سایش .....

نتايج 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<sub>2</sub>Ni 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 نسبتا زیاد (90A)، منطقه آلیاژی تقریبا یکنواخت میباشد. همچنین، با سرعت های بالا و افزایش سرعت انجماد، حفرات گازی در لایه سطحی ایجاد میشود. 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 نمیدهد. وجود حفرات در حرارتهای ورودی پایین را می توان به تشکیل ناقص قوس بین زیرلایه و الکترود 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 سیاهرنگ است.

شکل ۴ نشان میدهد که نیکل ذوب شده توسط قوس تنگستن با تیتانیم مذاب زیرلایه واکنش داده و Ti<sub>2</sub>Ni تشکیل شده است. دمای حوضچه مذاب تحت قوس TIG به طور لحظهای به مقدار نسبتاً بالایی میرسد. لایه سطحی تشکیل شده (شکل ۴) حاکی از چهار منطقه متفاوت است. منطقه۱ ساختار ستونی Ti<sub>2</sub>Ni را نشان می دهد. منطقه ۲ شامل ساختار ستونی و نزدیک به هم محور Ti<sub>2</sub>Ni است. منطقه ۳ (نزدیک به زیرلایه) شامل ساختارهای نزدیک به هم محور Ti<sub>2</sub>Ni است که به دلیل سرعت سرد شدن بالا است. منطقه ۴ که ناحیه متاثر از حرارت را نشان می دهد ساختار سوزی دارد که دارای فاز مارتنزیتی است و در بررسی های صورت گرفته توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است[۷].

میانگین نتایج میکروسختی ۳ نمونه آزمایش (جدول ۱) در جدول ۲ نشان داده شده است. در نمونه S3، تشکیل Ti2Ni 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 Ti2Ni است.

نتایج تست سایش در دمای ۲۵<sup>۰</sup>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 حدودا ۵/۵ برابری نمونه آلیاژسازی شده نسبت به نمونه خام است. در شکل۵–الف برای نمونه S1، وجود کندگیها، شکل شیارها و فرورفتگیها نشاندهنده مکانیزم سایش چسبنده است. در شکل ۵–ب برای نمونه S3 کندگیهای شدید وجود ندارد و می توان مکانیزم سایش را خراشان در نظر گرفت.

## نتيجه گيري

در این تحقیق، تاثیر حرارت ورودی بـر ریزسـاختار، سـختی و مقاومـت بـه سـایش عملیـات سـطحی آلیـاژ -CP Titanium همراه با پودر نیکل پیشنشست به روشTIG با گاز محافظ آرگون مورد بررسی قرار گرفت. نتـایج به دست آمده به شرح زیر است:

۱) ریزساختار لایه سطحی شامل Ti2Ni و تیتانیم خالص میباشد. نواحی حاوی دندریتهای Ti2Ni توسط زمینه تیتانیمی احاطه شدهاند.

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

۳) در اثر انجام عملیات ذوب سطحی، سختی از ۱۶۰ HV<sub>0.3</sub> برای نمونه S1 تا بیشینه ۴۵۸ HV<sub>0.3</sub> برای نمونه S2 و بیشینه ۷۸۶ HV<sub>0.3</sub> برای لایه سطحی تحت عملیات آلیاژسازی سطحی نمونه S3 افزایش یافت.

۴) مقامت به سایش نمونه تحت عملیات آلیاژسازی سطحی نسبت به نمونـه خـام حـدود ۵/۵ برابـر بهبـود یافت. علت این موضوع را می توان انجام عملیات ذوب سطحی و تشکیل Ti<sub>2</sub>Ni دانست.

۵) دلیل تشکیل حفرات و تخلخل ایجاد شده در ساختار را می توان به سرعت بالای فر آیند انجماد 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 بنـده 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", 2<sup>th</sup> 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.

حرارت ورودی(kj/cm)	سرعت(mm/min)	جريان (آمپر)	عمليات	كد نمونه
-	_	_	_	<b>S</b> 1
۶/۴۸	١	٩٠	ذوب سطحی نمونه خام	S2
۶/۴۸	١	٩٠	آلیاژسازی سطحی با نیکل	S3

جدول ۱: پارمترهای عملیات ذوب سطحی در فرآیند قوس تنگستن

جدول ۲: میانگین سختی نمونهها بر حسب سختی ویکرز

S3	S2	S1	كد نمونه
61.	۳۹۵	18.	سختی (HV <sub>0.3</sub> )

جدول ۳: مقدار کاهش وزن نمونهها در اثر آزمون سایش در دمای <sup>0</sup>C ۲۵ ، بار ۱۰ نیوتن و مسافت ۱۰۰۰ متر

S3	S2	S1	كد نمونه
•/••¥	•/••۶١	•/•*14	کاهش وزن پین(گرم)



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



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

بررسی خواص ریزساختاری و سایش .....



شکل۵: تصویر میکروسکوپی الکترون ثانویه از نمونه های سایشی. الف) نمونه S1، ب)نمونه S3.