

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



Improve the surface properties of Ti-6Al-4V alloy by using GTAW and arrangement the shielding gas

Abstract

In this article Nitrogen gas in various percent added to Argon gas and in Various current, surface melting occurred by using of GTAW on Ti-6Al-4V surface with 4 mm in diameter. Shielding gas of Argon and Nitrogen directed to welding pool, in high temperature of Arc produced a suitable situation for forming Nitride compound in welding pool and protect unused Tungsten electrode and welding pool from contact the surrounding air. the resulting structure is a dendritic structure that for reason of solving Nitrogen through surface melting and forming of TiN in suitable place. the result of surface melting represents increasing of hardness in surface melting zone than the base metal. by increasing Nitrogen in constant current, weld width and weld deep will increase and in constant amount of Nitrogen by increasing current, the amount of D/W will increase.

keywords: Gas tungsten-arc welding, Ti-6Al-4V, Argon and Nitrogen, Nitride compounds, Increased hardness, increased penetration depth.

بهبود خصوصیات سطح آلیاژ Ti-6Al-4V با استفاده از جوشکاری قوسی تنگستن-گاز و تنظیم ترکیب گاز محافظ

چکیده

در تحقیق حاضر گاز نیتروژن در درصدهای مختلف به گاز آرگون اضافه شده و در شدت جریان‌های متفاوت، عملیات ذوب سطحی با استفاده از جوشکاری قوسی تنگستن-گاز روی سطح ورق‌های Ti-6Al-4V به ضخامت ۴ میلی‌متر صورت گرفته است. گاز محافظ آرگون و نیتروژن به سمت حوضچه‌ی جوش هدایت شده، در دمای بالای قوس یک بستر مناسب را جهت تشکیل ترکیبات نیتریدی در حوضچه‌ی مذاب ایجاد کرده و الکتروود مصرف نشدنی تنگستن و فلز جوش را از تماس با هوای اطراف محافظت می‌نماید. ساختار حاصل یک ساختار دندریتی است که به دلیل حل شدن نیتروژن در حین عملیات ذوب سطحی و تشکیل جوانه‌های نیتريد تیتانیوم در مکان‌های مناسب جوانه‌زنی است. نتایج حاصل از عملیات ذوب سطحی نشان دهنده‌ی افزایش سختی در منطقه‌ی ذوب سطحی نسبت به فلز پایه می‌باشد. با افزایش نیتروژن در جریان ثابت، پهنای جوش و عمق جوش افزایش و در میزان نیتروژن ثابت با افزایش جریان، میزان D/W افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: جوشکاری قوسی تنگستن-گاز، Ti-6Al-4V، گاز آرگون و نیتروژن، ترکیبات نیتریدی، افزایش سختی، افزایش عمق نفوذ.

مقدمه

تیتانیوم و آلیاژهای آن به خاطر دارا بودن استحکام به وزن بالا، مقاومت به خوردگی مناسب و پایداری خواص در دمای بالا، کاربردهای زیادی در صنایع مختلف پیدا کرده‌اند. محدودیت اصلی این آلیاژها خواص سایشی ضعیف آن‌ها و به خصوص در تماس با سطوح متحرک است [۱-۴]. در این راستا مهندسی سطح یکی از موثرترین راهکارها جهت رفع این محدودیت می‌باشد [۵-۷]. دو آلیاژ Ti-6Al-4V و Ti-5Al-205Sn از اوایل سال ۱۹۵۰ میلادی توسعه یافته‌اند و هنوز نیز به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند به صورتی که بیش از نیمی از بازار تیتانیوم در آمریکا مرتبط با آلیاژ Ti-6Al-4V می‌باشد [۸]. در بین آلیاژهای تیتانیوم، آلیاژ Ti-6Al-4V به علت داشتن مقاومت به خوردگی بالا و خواص کششی مطلوب بیش از ۵۰ درصد کاربردهای آلیاژهای تیتانیوم را به خود اختصاص داده است. یکی از مهم‌ترین مراحل ساخت برخی از قطعات صنعتی و بیومواد فرآیند جوشکاری است که بهینه سازی آن می‌تواند باعث استفاده بهتر و کاهش شدید هزینه‌ها در مورد آلیاژهای تیتانیوم شود [۹]. رشد سریع تیتانیوم در صنعت به دو دلیل استحکام بالا و مقاومت به خوردگی عالی است. آلیاژهای تیتانیوم با چگالی حدوداً ۵۵ درصد فولاد به صورت گسترده‌ایی در صنایع هوافضا به کار گرفته شده‌اند که یکی از کاربردهای آن مربوط به بدنه و قطعات موتور جت می‌باشد [۱۰].

مشکل اصلی آلیاژهای تیتانیوم خواص سایشی آن است که برای رفع این شکل از روش‌هایی نظیر کاشت یون، رسوب لایه‌ها و پوشش‌های نازک تبخیری روی سطح و نیتراسیون پلاسمایی از جمله روش‌هایی بوده که به این منظور استفاده شده است [۱۱ و ۱۲]. که در تمامی روش‌ها از عناصر کربن، اکسیژن و نیتروژن برای افزایش سختی استفاده می‌شود و از آن جایی که عنصر تیتانیوم نسبت به جذب نیتروژن تمایل بالایی بسیار بالایی دارد، از نیتروژن برای افزایش سختی استفاده می‌کنند. عملیات سطحی آلیاژهای تیتانیوم به دلیل لایه چگال نیتريد تیتانیوم (TiN) بر روی سطح، مقاومت به خوردگی را افزایش داده و باعث افزایش سختی می‌شود [۱۲]. به تازگی اصلاح سطح با استفاده از یک منبع حرارت متمرکز مانند اشعه لیزر و پرتو الکترونی، این فرصت را برای نیتروژن فراهم می‌کند که در منطقه‌ی ذوب سطحی با تیتانیوم وارد واکنش شده و یک لایه‌ی سخت و مقاوم به سایش نیتريد تیتانیوم (TiN) را تولید می‌کند [۱۳]. زمان فرآیند عملیات سطحی با استفاده از لیزر و پرتو الکترونی بسیار کوتاه است، با این حال توسط عوامل مختلف از جمله نیاز به محفظه خلا، روش ساخت پرهزینه و سرمایه گذاری اولیه گران محدود شده‌اند. علاوه بر این تعدادی ترک سطحی در لایه‌ی نیتريدی توسط لیزر گزارش شده است [۱۴]. منبع حرارتی جایگزین که می‌تواند ذوب شدن را فراهم آورد، استفاده از جوشکاری قوسی تنگستن-گاز می‌باشد. بر روی فلز پایه، یک لایه‌ی پوششی توسط این روش ایجاد می‌گردد. عملیات ذوب سطحی با استفاده از جوشکاری قوسی تنگستن-گاز یک روش نسبتاً ارزان است، بهره وری آن نسبت به عملیات ذوب سطحی توسط لیزر و پرتو الکترونی بیش تر است. استفاده از گاز نیتروژن به همراه جوشکاری قوسی تنگستن-گاز بر روی ورق‌های Ti-6Al-4V باعث ایجاد نیتريد تیتانیوم (TiN) در لایه‌ی پوششی می‌گردد و بر روی ریز ساختار، خواص مکانیکی و رفتار سایشی Ti-6Al-4V تأثیر می‌گذارد [۱۵]. جوشکاری قوسی تنگستن-گاز یکی از روش‌های مناسب برای آلیاژسازی سطح و اصلاح سطح می‌باشد. جوشکاری قوسی تنگستن-گاز می‌تواند به سرعت لایه‌ی پوششی ضخیمی را روی فلز پایه ایجاد و پیوند متالورژیکی مناسب بین زیرلایه و لایه‌ی پوششی ایجاد می‌کند [۱۶ و ۱۷ و ۱۸]. نیتريد‌های تیتانیوم در تیتانیوم و آلیاژهای آن باعث تقویت موثر آن‌ها می‌شود [۱۹]. خواص مطلوب ترکیبات نیتريدی افزایش سختی و مقاومت به سایش عالی است و حضور دندريت‌های نیتريد تیتانیوم باعث بهبود خواص تیتانیوم و آلیاژهای آن خواهد شد [۲۰ و ۲۱].

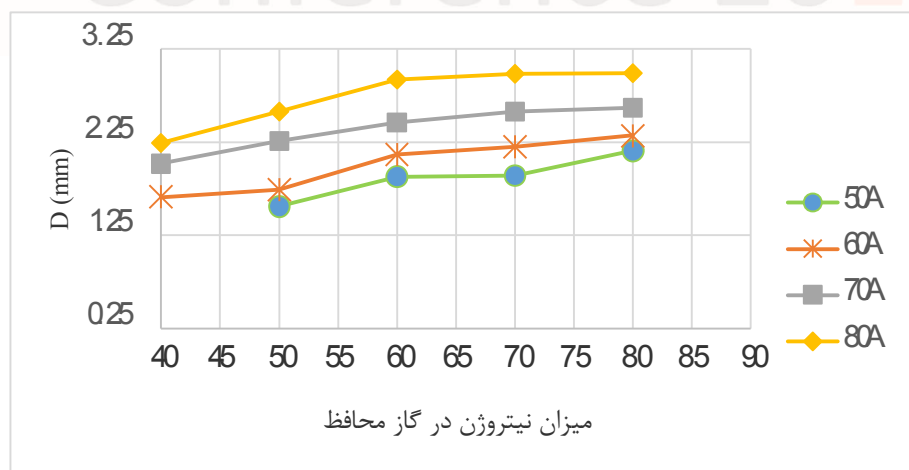
روش تحقیق

در ابتدا ورق‌های Ti-6Al-4V به اندازه‌ی $۷/۸ \times ۱/۳ \times ۰/۴$ سانتی‌متر برش داده شده و قبل از عملیات ذوب سطحی به‌وسیله‌ی الکل و پنبه تمیز شده و بایستی پس از استفاده از الکل قطعه کار کاملاً خشک شده و عاری از هرگونه آلودگی از جمله روغن و گریس بوده و ذرات پنبه که جهت تمیز کردن مورد استفاده قرار گرفته روی سطح کار باقی نمانده باشد، بلافاصله بعد از تمیز کردن نمونه‌ها و اطمینان از خشک شدن الکل بر روی سطح نمونه‌ها، عملیات ذوب سطحی آغاز می‌گردد. ترکیب شیمیایی ورق‌های مورد استفاده که با استفاده از اسپکترومتری نشری انجام شده، در جدول ۱ آورده شده است. عملیات ذوب سطحی توسط جوشکاری قوسی تنگستن-گاز با شدت جریان DC مختلف و الکتروود تنگستن-توریم (حاوی ۱ تا ۲ درصد اکسید توریا و توریم) EWTH-2 با قطر $۲/۴$ میلی‌متر و زاویه‌ی رأس الکتروود ۴۵ درجه به همراه ترکیب گاز محافظ آرگون و نیتروژن (۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد نیتروژن) انجام پذیرفت. با استفاده از اهر قطعات ناشی از عملیات ذوب سطحی برش داده شده و در ادامه نمونه‌ها مانع شده و بررسی عمق نفوذ، ریزسختی سنجی، شناسایی فازهای تشکیل شده توسط پراش پرتو ایکس، بررسی ریزساختاری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و بررسی ساختار نواحی مختلف جوش توسط میکروسکوپ نوری پرداخته شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی ورق Ti-6Al-4V

Al	V	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Nb	Sn	Ni	Si
۶/۳۲	۴/۲۵	Trace	۰/۰۰۴	۰/۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۲
Zr	Pd	Ru	C	W	Ti					
۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۱	base					

در اثر عملیات سطحی با شدت جریان ثابت، با افزایش میزان گاز نیتروژن به گاز آرگون، میزان عمق نفوذ افزایش یافته و پهنای جوش نیز افزایش می‌یابد. شکل ۱ تغییرات عمق جوش و شکل ۲ تغییرات پهنای جوش، در اثر افزایش نیتروژن نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شدت جریان ثابت، با افزایش میزان نیتروژن در ترکیب گاز محافظ، عمق نفوذ و پهنای جوش افزایش یافته است.

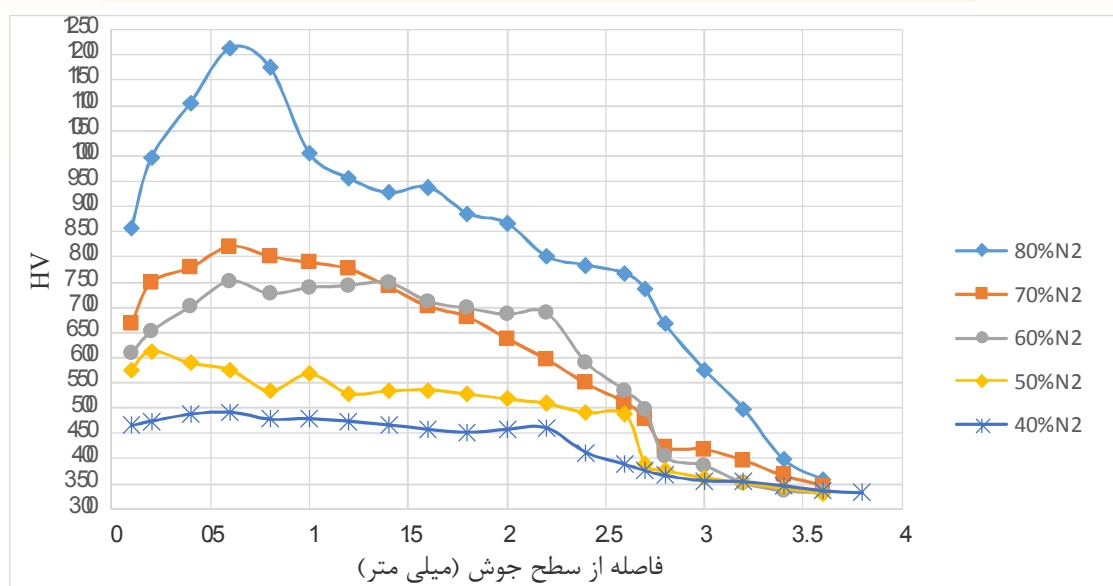


شکل ۱- تغییرات پهنای جوش در اثر افزایش میزان نیتروژن



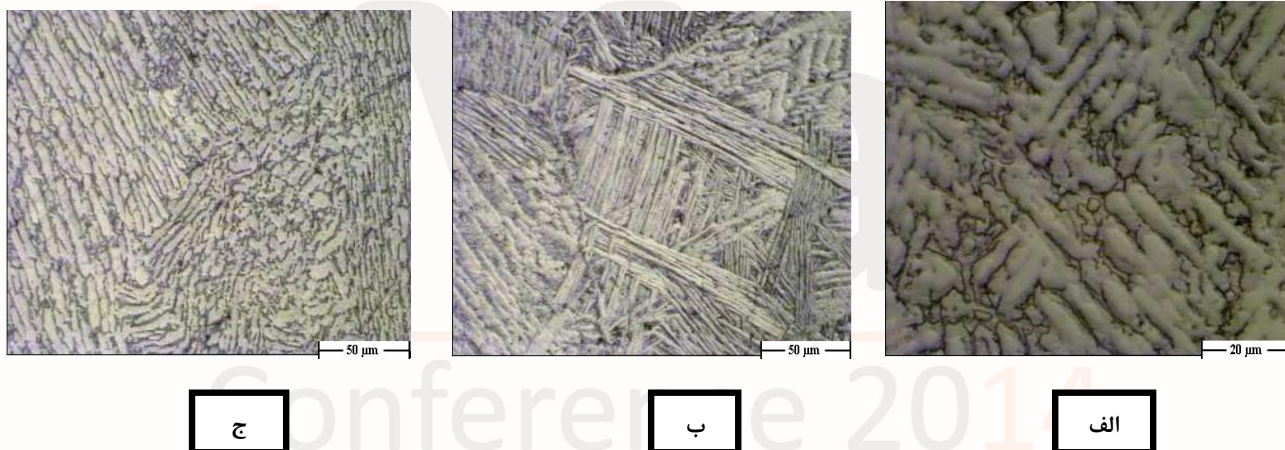
شکل ۲- تغییرات عمق جوش در اثر افزایش میزان نیتروژن

تغییرات سختی بر روی نمونه‌های حاصل از عملیات ذوب سطحی از فلز جوش تا فلز پایه در اثر تغییرات میزان نیتروژن در گاز محافظ در شکل ۳ ارائه شده است. افزایش سختی در منطقه‌ی لایه‌ی پوششی به دلیل وجود نیتريد تیتانیوم است که این تأثیر به میزان قابلیت میزان حل شدن نیتروژن در حوضچه‌ی جوش بستگی دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در میزان گاز نیتروژن ثابت با افزایش شدت جریان، میزان حرارت ورودی به قطعه افزایش یافته و حل شدن نیتروژن در حوضچه‌ی جوش افزایش یافته و با افزایش سختی مواجه هستیم، و در میزان ترکیب گاز محافظ یکسان با افزایش شدت جریان، منطقه‌ی لایه‌ی پوششی نیز افزایش یافته است.



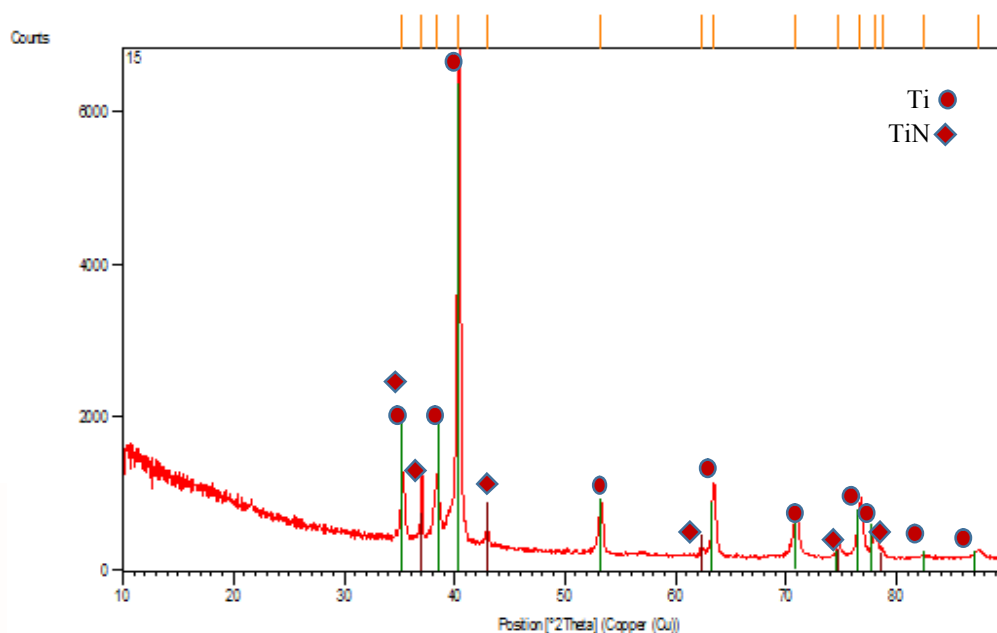
شکل ۳- پروفیل سختی حاصل از عملیات ذوب سطحی در حالت محافظت با گاز آرگون و درصد مختلف نیتروژن و شدت جریان ۸۰ آمپر

به منظور بررسی ریزساختاری در ابتدا عملیات سنباده زنی بر روی سطح نمونه‌ها به منظور رسیدن به سطح صاف صورت گرفت، در ادامه عملیات پولیش کردن انجام شد. به جهت مشخص شدن ساختار ناحیه‌ی جوش، عمل اچ کردن با محلول ظاهر کننده Kroll صورت گرفت و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی و نوری، ساختار مورد بررسی قرار رگفت. همان‌طور که مناطق مختلف ریزساختار حاصل از عملیات ذوب سطحی در شکل ۴ نشان داده شده است، ساختار حاصل از فرآیند ذوب سطحی یک ساختار دندریتی است. علت تشکیل ساختار دندریتی را می‌توان حل شدن نیتروژن در حین عملیات ذوب سطحی و تشکیل جوانه‌های نیتريد تیتانیوم در مکان‌های مناسب جوانه زنی دانست. این جوانه‌زنی باعث کاهش لیکوئیدوس و فوق تبریدی ترکیبی شده و رشد دندریتی را به همراه دارد. جوانه‌ها در منطقه‌ای که غلظت نیتروژن زیاد است، یعنی سطح شروع به تشکیل شدن کرده و عمود بر سطح به سمت منطقه‌ای که غلظت نیتروژن کم است، رشد می‌کنند تا جایی که انجماد مذاب جلوی رشد بیش‌تر را می‌گیرد. در سطح پائین‌تر ناحیه ذوب شده به علت انجماد سریع و غلظت کم‌تر نیتروژن در مذاب، قابلیت واکنش با تیتانیوم کم‌تر و ضمن کاهش تعداد جوانه‌ها، فرصت رشد آن‌ها، محدودتر می‌شود. لذا ضخامت دندریت‌ها کاهش یافته و جهت ترجیحی از بین رفته و ساختاری حاوی سوزن‌های درشت در منطقه متأثر از حرارت بدست می‌آید.

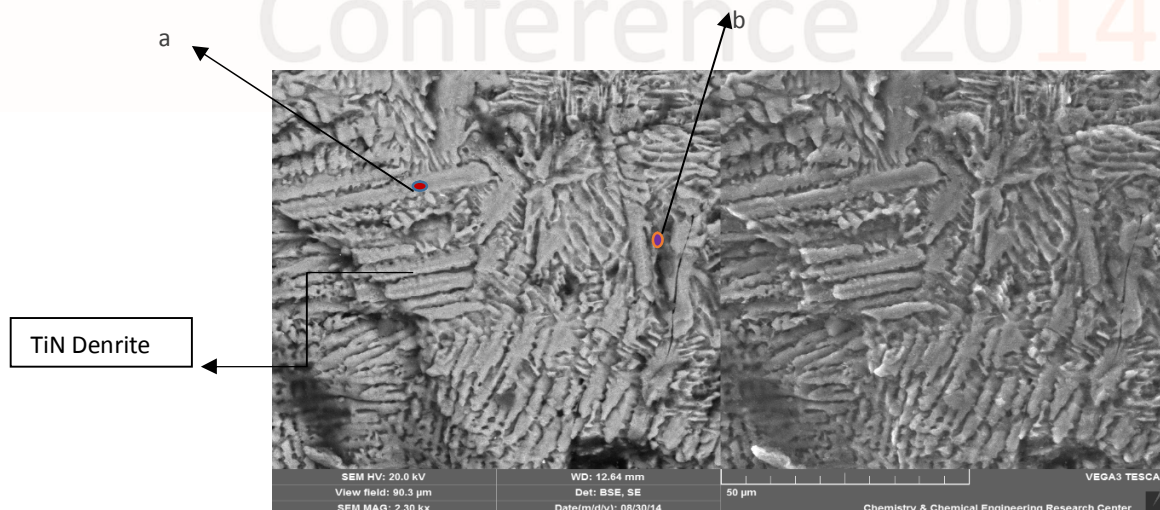


شکل ۴- ساختار الف) منطقه جوش ب) منطقه متأثر از حرارت ج) فلز پایه در محلول اچ Kroll

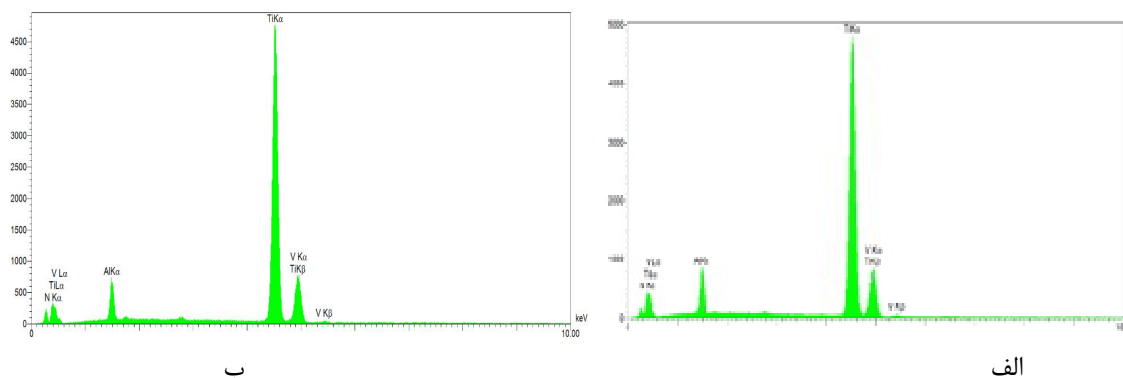
الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) برای شناسایی فازهای تشکیل شده در نمونه‌های ناشی از عملیات ذوب سطحی انجام گرفت، همان‌طور که نتایج مربوطه نشان می‌دهد با انجام عملیات ذوب سطحی با استفاده از جوشکاری قوس و از طریق ترکیب گاز محافظ بر روی ورق-های Ti-6Al-4V، ترکیب نیتريد تیتانیوم ایجاد می‌گردد. گاز نیتروژن پس از مخلوط شدن با گاز آرگون، در محیط قوس قرار گرفته و به سمت حوضچه‌ی مذاب هدایت شده، دما در حوضچه‌ی مذاب از دمای مذاب بیش‌تر بوده و در چنین دمایی واکنش بین نیتروژن و تیتانیوم را خواهیم داشت. نیتروژن در تیتانیوم حل شده و باعث ایجاد ترکیبات نیتريد تیتانیوم در حوضچه‌ی مذاب می‌گردد.



شکل ۵- الگوی پراش پرتو X ناشی از عملیات ذوب سطحی در حالت با محافظت گاز آرگون و ۸۰٪ نیتروژن و شدت جریان ۸۰ آمپر به منظور بررسی تغییرات ریزساختار در نمونه‌ها با کیفیت مطلوب، بزرگ نمایی مناسب و به جهت استفاده از تجزیه شیمیایی EDX از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده گردید. همان‌طور که در شکل ۶ تصویر SEM حوضچه‌ی جوش نمایش داده شده، منطقه‌ی جوش ساختار دندریتی دارد و ترکیبات نیتریدی در حوضچه‌ی مذاب به صورت دندریتی تشکیل شده است و EDX نیز حضور نیتروژن را تأیید می‌کند.



شکل ۶- تصویر SEM حوضچه‌ی جوش نمونه ذوب سطحی با ترکیب گاز محافظ آرگون و نیتروژن



شکل ۷- الف) طیف انرژی پرتو ایکس در نقطه a و ب) نقطه b

نتیجه گیری

عملیات ذوب سطحی در اثر حرارت ناشی از برقراری قوس بین الکترود مصرف نشدنی تنگستن و قطعه‌ای کار، صورت گرفته و گاز محافظ به صورت مستقیم به سمت حوضچه‌ی جوش هدایت شده و استفاده از گازهای آرگون و نیتروژن در دمای بالای قوس و پلاسمای ناشی از قوس الکتریکی، یک بستر مناسب جهت تشکیل ترکیبات نیتریدی را در حوضچه‌ی مذاب ایجاد می‌کند. با افزایش میزان نیتروژن در ترکیب گاز محافظ در حین انجام عملیات ذوب سطحی، ولتاژ قوس افزایش یافته و عمق نفوذ افزایش و پهنای جوش نیز تا حدی پهن تر می‌گردد.

انجام عملیات ذوب سطحی بر روی ورق‌های Ti-6Al-4V، باعث افزایش سختی گردید. به صورتی که از فلز پایه به سمت حوضچه‌ی جوش با افزایش سختی مواجه بودیم و این افزایش سختی به دلیل تشکیل ترکیبات نیتیدی حوضچه‌ی جوش می‌باشد. بیش‌ترین سختی در نمونه‌ی گاز محافظ آرگون و ۸۰٪ نیتروژن و شدت جریان ۸۰ آمپر حاصل شده، که سختی نسبت به فلز پایه حدوداً ۳/۵ برابر شده است.

ساختار حاصل از فرآیند عملیات ذوب سطحی یک ساختار دندریتی است. علت تشکیل ساختار دندریتی را می‌توان حل شدن نیتروژن در حین عملیات ذوب سطحی و تشکیل جوانه‌های نیتريد تیتانیوم در مکان‌های مناسب جوانه‌زنی دانست.

منابع

- [1] Danahy M.P.(2004).Controlled modification of titanium surface, Phd thesis, Princeton University, November.
- [2] Bemporad E., Sebastiani M.,Defelicio D., Carassiti F., Valle R., Casadei F.(2006). Production and characterization of duplex coatings (HVOF and PVD) on Ti-6Al-4V Substrate, Thin solid films, 515, pp.186-194.
- [3] Nolan D.,Huang S.W.,Leskovsek V.,Braun S.(2006). Sliding wear of titanium nitride thin films deposited on Ti-6Al-4V alloy by PVD, Surface and coatings technology, 200, pp.5698-5705.
- [4] Liu C.,Bi Q., Matthews A.(2003).Tribological and electrochemical performance of PVD TiN coatings on the femoral head of Ti-6Al-4V artificial hip joints, surface and coatings technology, 163-164, pp.597-604.

- [5] Yilbas B.S., Sahin A.Z., Ahmad Z., Abdulaleem B.J. (1995). A Study of the Corrosion Properties of TiN Coated and nitride Ti-6Al-4V, Corrosion science, 31, pp.1627-1636.
- [6] Thair L., Mudali U.K., Rajagopalan S., Asokamani R., Baldev R. (2003). Surface characterization of passive film formed on nitrogen ion implanted Ti-6Al-4V and Ti-6Al-7Nb alloys using SIMS, Corrosion Science, 45, pp.1957-1967.
- [7] Chang C.W., Liao J., Chen H., Chang C., Chiu S. (2006). Wear resistance and anticorrosive treatment for Ti-6Al-4V using metal vapor vacuum arc source in comparison, Thin solid films, 515, pp.122-128.
- [8] Titanium, The Industry, Its Future, Its Equities, F.S. Smithers and company, 1957, p 7, 33-67.
- [9] Balasubramanian, M., Jayabalan, V., Balasubramanian, V. (2007). "Effect of pulsed gas tungsten arc welding on corrosion behavior of Ti-6Al-4V titanium alloy", Materials and Design, in press.
- [10] H.B. Bomberger, F.H. Froes, and P.H. Morton. (1985). Titanium—A Historical Perspective, in Titanium Technology: Present Status and Future Trends, F.H. Froes, D. Eylon, and H.B. Bomberger, Ed., Titanium Development Association, p 3-17.
- [11] Torregrosu F., Barrallier L., Roux L., Roux L. (1995). phase analysis, microhardness and tribological behavior of Ti-6Al-4V after ion implantation of nitrogen in connection with its application for hip-joint prosthesis, Thin solid films, 266, pp.245-253.
- [12] Garcia I., Dedamborenea J.J. (1998). Corrosion properties of TiN prepared by Laser gas alloying of Ti and Ti-6Al-4V, corrosion science, 40, pp.1411-1419.
- [13] Katayama S., Matsunawa A., Morimoto A., Ishimoto S., Arata Y. (1983). Surface hardening of titanium by laser nitriding. Jom-J Mineral Met Mater Soc; 35:85.
- [14] Xin H., Mridha S., Baker T.N. (1996). The effect of laser surface nitriding with a spinning laser beam on the wear resistance of commercial purity titanium. J Mater Sci; 31:22-30.
- [15] Lin YC, Lin YC, Chen YC. (2012). Evolution of the microstructure and tribological performance of Ti-6Al-4V cladding with TiN powder. Mater Des; 36:584-9.
- [16] Arabi Jeshvaghani R., Shamanian M., Jaberzadeh M. (2011). Enhancement of wear resistance of ductile iron surface alloyed by stellite 6. Mater Des; 32:2028-3.
- [17] Lin YC, Wang SW, Wu KE. (2003). The wear behaviour of machine tool guideways clad with W-Ni, W-Co and W-Cu using gas tungsten arc welding. Surf Coat Technol; 172:158-65.
- [18] Lin Yuan Ching, Wang Shi Wei, Lin Yu Chang. (2005). Analysis of microstructure and wear performance of WC-Ti clad layers on steel, produced by gas tungsten arc welding. Surf Coat Technol; 200:2106-13.
- [19] Khan T.I., Fowles D. (1997). The surface modification of a Ti-6Al-4V alloy using a metal arc heat source. In: Sudershan TS, Khor KA, Jeandin M, editors. Surface modification technologies X. The Institute of Materials. p. 469-77.
- [20] Duverneix T, Puig T, Bataille F. ICALEO'90: Laser Materials Processing. In: Ream SL, Dausinger F, Fujioka T, editors. SPIE; 1991. p. 525.
- [21] Jiang P, He XL, Li XX, Yu LG, Wang HM. (2000). Wear resistance of a laser surface alloyed Ti-6Al-4V alloy. Surf Coat Technol; 130:24-8.