

## نقش ذرات کاربید تیتانیم بر ریز ساختار، سختی و مقاومت سایشی روکش Stellite6

### ایجاد شده بر فولاد زنگ نزن ۳۱۶ به روش جوشکاری TIG

رضازند، بهنام لطفی و رضا دهملایی

دانشکده مواد، دانشگاه شهید چمران اهواز

(دریافت مقاله: ۹۳/۰۳/۰۵ - پذیرش مقاله: ۹۳/۱۱/۱۲)

#### چکیده

در این تحقیق روکش استلایت ۶ حاوی درصد های وزنی مختلف ذرات تقویت کننده TiC (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰) بر سطح فولاد زنگ نزن ۳۱۶ به روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (TIG) اعمال گردید. ریز ساختار روکش توسط میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و فاز شناسی توسط پراش پرتو ایکس (XRD) مورد بررسی قرار گرفت. به کمک آزمون ریز سختی سنجی ویکرز پروفیل سختی نمونه‌ها تهیه شد و آزمون سایش پین روی دیسک به منظور بررسی خواص سایشی نمونه‌های روکش کاری شده انجام گرفت و جهت بررسی مکانیزم‌های سایش، سطوح سایش توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شد. ریزساختار روکش حاصل شامل زمینه محلول جامد دندریتی کبالت و ساختار لایه‌ای بین دندریتی از محلول جامد کبالت، TiC و همچنین مقادیر جزئی  $Co_3Ti$ ،  $CrFe_7C_{0.45}$ ،  $CoC_x$  است، بیشترین مقاومت سایشی در حضور ۲۰ درصد وزنی TiC در روکش کامپوزیتی استلایت ۶ بدست آمد. مقادیر کمتر و بیشتر ذرات تقویت کننده منجر به درشت شدن دندریت‌های محلول جامد کبالت و سختی کمتر گردید. مکانیزم های سایشی غالب روکش‌های اعمالی از نوع چسبان و خراشان تشخیص داده شد. **واژه‌های کلیدی:** استلایت ۶، روکش کاری قوسی تنگستن-گاز، کاربید تیتانیم، مقاومت سایشی.

## Effect of TiC particles on the microstructure, hardness and wear resistance of Stellite 6 clad layer fabricated on stainless steel 316 by TIG process

R. Zand, B. Lotfi, R. Dehmlaei

Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

(Received 26 May 2014, accepted 1 February 2015)

#### Abstract

Stellite 6 clad layer containing different contents of TiC particles (0, 10, 20 and 30) was cladded on stainless steel 316 by Gas-Tungsten arc welding (TIG) with DCEN current. Microstructure of clad layers was studied using optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM). X-ray diffractometry (XRD) was applied to study the phase evolution and structure of clad layers. Hardness profiles were obtained by microhardness testing. Wear testing was performed by pin on disk method to evaluate the wear resistance of cladded samples, and wear mechanism was investigated by scanning electron microscopy (SEM). According to the results microstructure of clad layers included dendritic cobalt solid solution together with a layer structure containing cobalt solid solution, TiC and small quantities of  $Co_3Ti$ ,  $CrFe_7C_{0.45}$ ,  $CoC_x$ . Stellite- 20wt.% TiC clad layer showed the maximum wear resistance and hardness among different compositions. Higher and lower amounts of reinforcing particles resulted in the coarsening of cobalt solid solution dendrites and lower hardness values. The dominant wear mechanisms on the surface of clad layers were determined to be abrasive and adhesive mechanisms.

**Key words:** Stellite 6, TIG Cladding, titanium carbide, wear resistance.

**Corresponding author's E-mail:** behnaml@scu.ac.ir.

## مقدمه

آلیاژهای استلایت نوعی از سوپر آلیاژهای پایه کبالتی است که در اوایل قرن بیستم توسط الوود هاینس<sup>۱</sup> توسعه داده شده و به عنوان ماده مورد استفاده در ابزار برش در آن زمان مطرح شد [۱]. این آلیاژها از طریق استحکام دهی محلول جامد و رسوب دهی کاربیدها استحکام می یابد. استحکام دهی محلول جامد از طریق افزودن عناصری نظیر کروم، مولیبدن، نیکل، تنگستن و استحکام دهی از طریق کاربیدها عموماً در اثر افزودن عنصر کروم و تشکیل کاربیدهای مختلف این عنصر حاصل می شود [۲]. از مهمترین خواص آلیاژهای پایه کبالت مقاومت در برابر شرایط سایشی نسبتاً شدید، حفظ استحکام مکانیکی در دمای نسبتاً بالا، مقاومت در برابر عوامل مخربی چون اکسیداسیون، خوردگی در دمای بالا، خستگی حرارتی و خزش [۳] و مقاومت در برابر ترک های انجمادی در منطقه ذوب هستند [۴]. سختی این آلیاژها در محدوده ۳۷۰-۴۷۵ VHN است [۵]. بنابر خواص ذکر شده آلیاژهای پایه کبالت به عنوان روکش در صنایع شیمیایی، صنایع نفت و گاز و غیره از جمله شیرهای سیت و گیت و پره های توربین بخار به طور گسترده کاربرد دارند [۶]. به منظور افزایش سختی و مقاومت سایشی و بهبود کارایی این آلیاژها تقویت کننده هایی متعددی نظیر WC، Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، VC و SiC جهت استحکام بخشی به روکش استلایت مورد بررسی قرار گرفته اند، به عنوان مثال در حین فرآیند جوشکاری TIG<sup>۲</sup> با افزودن ۴۰ درصد کاربید تنگستن موجب افزایش مقدار فاز هیپوئوتکتیک و در نتیجه افزایش سختی و مقاومت سایشی روکش استلایت شده است [۷]. در پژوهش دیگری روکش کاری استلایت ۶ به همراه کاربید سیلیسیم توسط روش لیزر روکش کاری شده و سختی و مقاومت سایشی با افزودن ذرات کاربید سیلیسیم بهبود یافته بیشترین مقدار سختی در حضور ۱۹ درصد

وزنی کاربید سیلیسیم بدست آمده است [۸]. در کار دیگری روکش کاری کامپوزیتی استلایت در حضور ذرات تقویت کننده کاربید وانادیم با دو روش روکش کاری چند لایه با ترکیب شیمیایی ثابت (CCCMLC)<sup>۳</sup> و روکش کاری چند لایه به صورت تابعی شیب دار از ماده (FGMMLC)<sup>۴</sup>، توسط لیزر انجام شد و نتایج بدست آمده حاکی از آن است که استفاده از روش FGMMLC سبب کاهش حساسیت به ترک خوردگی لایه های روکش می گردد [۹]. یکی از مواردی را که میتوان بعنوان تقویت کننده انتخاب نمود کاربید تیتانیم است. کاربید تیتانیم به دلیل داشتن خواصی از قبیل دمای ذوب بالا (۳۰۱۷°C)، سختی حدود ۳۲۰۰ ویکرز و دانسیته پایین ۴/۹۲ g/cm<sup>3</sup> می تواند در شرایط کاری استلایت به خوبی نقش حفاظتی خود را ایفا نماید [۱۰]. در راستای ایجاد روکش کامپوزیتی زمینه استلایت با ذرات تقویت کننده کاربید تیتانیم توسط فرآیند TIG تحقیقی مشاهده نشده اما در این رابطه روکش کامپوزیتی Co-TiC به صورت پودری توسط فرآیند جوشکاری لیزر اعمال شده و در بررسی های ریز ساختاری روکش، ذرات تقویت کننده به دو صورت ذوب و حل شده و ذوب نشده مشاهده گردید [۱۱]. در پژوهش دیگری روکش Stellite/TiC به روش جوشکاری پرتو الکترونی (EBW) بر روی فولاد کم آلیاژ اعمال شده و تنش های پسماند حرارتی و مدل سازی آن مد نظر قرار گرفته و اشاره ای به سختی یا رفتار سایشی نشده است [۱۲]. در این تحقیق هدف تولید روکش کامپوزیتی Stellite6-TiC به روش جوشکاری TIG بوده است و در این راستا نقش افزودن تقویت کننده کاربید تیتانیم در درصد های مختلف بر ریز ساختار، سختی و مقاومت سایشی روکش استلایت ۶ مورد بررسی قرار گرفته است.

3- Constant chemical composition multi-layer cladding  
4- Functionally gradient material multi-layer cladding

1- Elwood Hynes  
2- Tungsten Inert Gas

### مواد و روش تحقیق

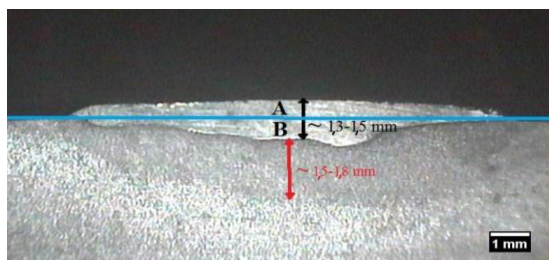
از فولاد زنگ نزن آستینیتی AISI316 با ابعاد  $mm^3$   $10 \times 20 \times 30$  و ضخامت به عنوان زیرلایه جهت انجام عملیات سطحی استفاده شد. به منظور تهیه خمیر پیش نشست از مخلوط پودری استلایت ۶ حاوی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی کاربید تیتانیم به همراه محلول آبی حاوی ۲۰ درصد وزنی چسب سیلیکات سدیم استفاده گردید. خمیر آماده شده با ضخامت حدود  $1/5 mm$  توسط کاردک بر روی سطح نمونه‌ها اعمال شده و قبل از عملیات ذوب سطحی در کوره خشک شدند. جهت انجام عملیات ذوب سطحی از یک دستگاه جوش تنگستن اتوماتیک ساخت شرکت گام الکتریک مدل PSQ400 استفاده شد. الکتروود مورد استفاده از جنس تنگستن - ۲٪ توریم با نشانه قرمز رنگ، گاز مصرفی آرگون با خلوص ۹۹/۹٪ با فلوی  $10 ml/min$  و جریان از نوع مستقیم با الکتروود منفی (DCEN)<sup>۱</sup> است. پارامترهای فرآیند جوشکاری TIG در جدول ۱ ارائه شده است. سطح نمونه‌های روکش کاری شده، پس از عملیات متالوگرافی با استفاده از محلول ماربل در مدت زمان ۱۴ ثانیه حکاکی سطحی شده و با استفاده از میکروسکوپ نوری مدل Meiji و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Leo1455 VP مورد بررسی ریزساختاری قرار گرفت. میزان رقت روکش‌های حاصله با توجه به جدول ۲ و تصویر میکروسکپ نوری شکل ۱ و با استفاده از نرم افزار Celemex حدود ۴۸ درصد محاسبه گردید. جهت شناسایی فازها در لایه‌های سطحی ایجاد شده، از دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) مدل X'Pert متشکل از هدف مسی با ولتاژ شتاب دهنده ۴۰ KV استفاده شد. برای تعیین سختی قسمت‌های مختلف روکش از دستگاه ریزسختی سنجی با فرورونده هرم مربع القاعده الماسی با زاویه سطح جانبی  $136^\circ$  و بار اعمالی  $100 gf$  در زمان ۱۰ ثانیه استفاده شد. به منظور تعیین مقاومت سایشی

جدول ۱. پارامترهای فرآیند جوشکاری سطحی به روش TIG.

پارامتر	مقدار
ولتاژ (V)	۱۰
نوع جریان	DCEN
جریان (A)	۸۵
طول قوس (mm)	۲/۵
زاویه تورچ (درجه)	۱۵
فشار گاز (L/min)	۱۰
سرعت (mm/s)	۲/۶
قطر الکتروود تنگستن (mm)	۲/۴

جدول ۲. پارامترهای محاسبه رقت روکش Stellite 6-20%TiC.

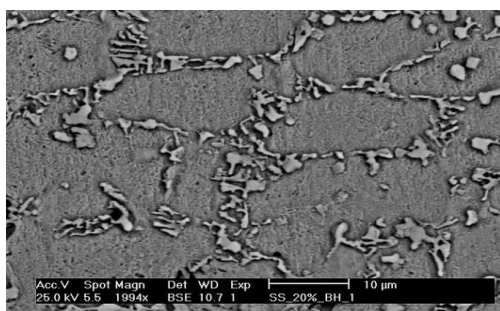
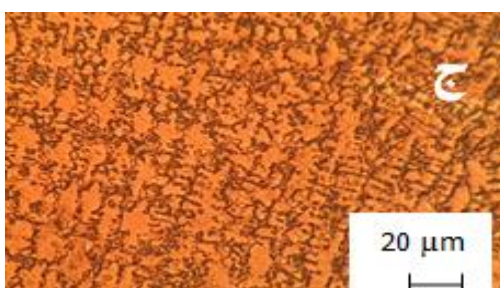
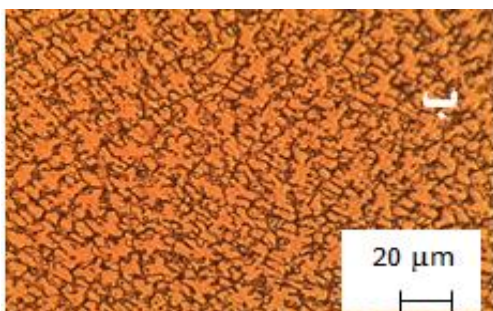
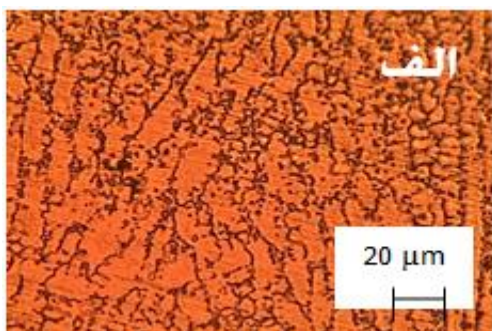
پارامتر	مقدار
B: مساحت زیر لایه ذوب شده در مقطع عرضی ( $\mu m^2$ )	۴۲/۵۴۸
A: مساحت روکش ذوب شده در مقطع عرضی ( $\mu m^2$ )	۴۴/۵۰۴
Dilution% = $(B/A+B) \times 100$	٪۴۸



شکل ۱. ضخامت روکش Stellite 6-20%TiC.

۱- Direct-Current Electrode-Negative

حاصل از جوشکاری روکش Stellite 6-TiC فولاد زنگ نزن، شامل محلول جامد دندریتی کبالت و محصولات استحاله یوتکتیکی در مرزهای بین دندریت‌ها است.



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپ نوری در بزرگنمایی ۵۰۰ برابر در روکش کامپوزیتی استلایت حاوی (الف) ۱۰ درصد وزنی TiC (ب) ۲۰ درصد وزنی TiC (ج) ۳۰ درصد وزنی TiC (د) تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) نمونه ۲۰ درصد وزنی TiC در بزرگنمایی ۲۰۰۰.

روکش‌های اعمال شده از آزمون پین روی دیسک تحت شرایط خشک در دمای اتاق استفاده شد. جنس دیسک مطابق با استاندارد G.99 ASTM از فولاد کربنی کربوره با سختی HRC ۶۰، قطر ۱۰۰ mm و ضخامت ۱۰ mm انتخاب شد. پین‌های روکش کاری شده، در دمای محیط، تحت بار ۳۰ نیوتن، سرعت چرخش ۵۰ rpm که معادل سرعت خطی ۰/۲۱ m/s تا مسافت لغزشی ۵۰۰m قرار گرفتند. نمونه‌های سایشی پین شکل دارای قطر ۴mm و طول ۱۰ mm بوده و توسط برش سیم<sup>۱</sup> از نمونه‌های روکش‌کاری شده تهیه گردید. شرایط آزمون سایش در جدول ۳ ارایه شده است.

جدول ۳. شرایط آزمون سایش.

پارامتر	مقدار
نیروی عمودی	۳۰ نیوتن
سرعت چرخش دیسک	۵۰ دور در دقیقه
سرعت خطی	۰/۲۱ متر بر ثانیه
دمای نمونه در حین آزمون	۲۵ درجه سانتی‌گراد
ساینده	فولاد کربنی کربوره
مسافت لغزش	۵۰۰ متر
روانکار	استفاده نشد

## نتایج و بحث

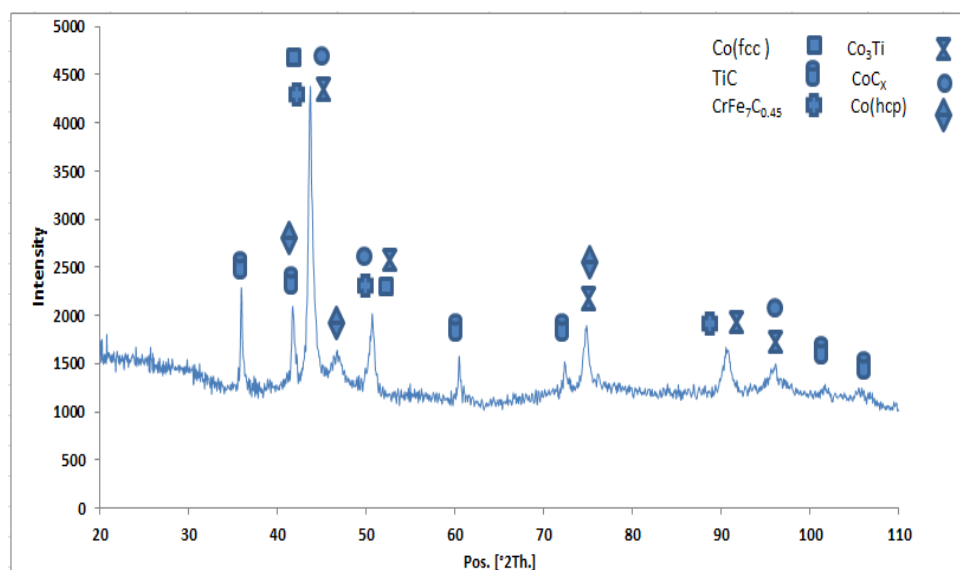
شکل ۲ تصاویر میکروسکوپ نوری از سطح نمونه‌های روکش استلایت ۶ حاوی ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود و با توجه به تحقیقات پیشین در مورد ریز ساختار روکش کامپوزیتی استلایت حاوی کاربیدهای مختلف [۷، ۸، ۹]، ریزساختار

1- wire cutting

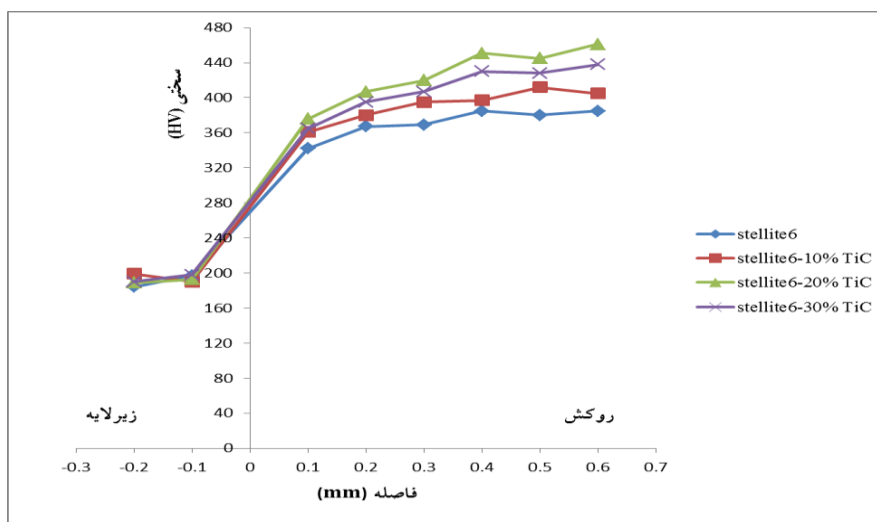
روکش باقی بماند که این امر موجب نفوذ بیشتر عناصر نامطلوب عمدتاً Fe از زیرلایه به روکش خواهد شد. [۱۵].

علاوه بر این افزایش مقدار ذرات کاربید تیتانیم به میزان ۳۰ درصد وزنی سبب تجمع ترکیبات یوتکتیکی حاصله و عدم توزیع مناسب این ترکیبات در فواصل بین دندریتهای محلول جامد کبالت می‌گردد. ضمن اینکه این مساله همانطور که در شکل ۲-ج مشهود است موجب درشت شدن دندریتهای در ریزساختار خواهد شد. شکل ۴ پروفیل سختی روکش استلایت ۶ خالص و روکش کامپوزیتی Stellite 6-TiC در حضور مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی کاربید تیتانیم نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود روکش حاوی ۲۰ درصد وزنی کاربید تیتانیم نسبت به سایر روکش‌ها از سختی بالاتری برخوردار است که علت این امر را می‌توان در ساختار دندریتی ظریف‌تر و توزیع یکنواخت‌تر ترکیبات ثانویه یوتکتیکی سخت دانست [۱۶].

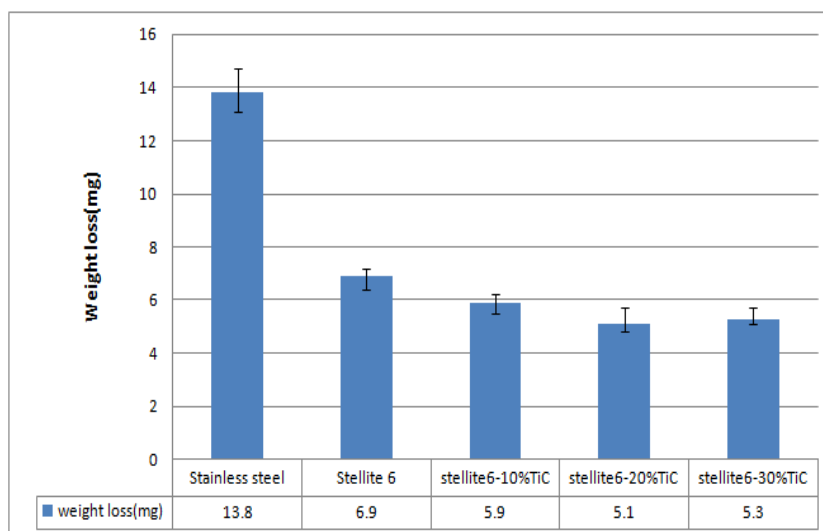
با انجام واکنش یوتکتیک و با توجه به الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) ارایه شده در شکل ۳ ساختار لایه‌ای بین دندریتی از محلول جامد کبالت و ذرات TiC و همچنین مقادیر جزئی  $Co_3Ti$ ،  $Co(FCC)$ ،  $CoC_x$  و  $CrFe_7C_{0.45}$  تشکیل می‌گردند. توجهی که در این رابطه می‌توان ارائه کرد این است که با افزایش کاربید تیتانیم تا مقدار ۲۰ درصد وزنی پس زده شدن عناصر آلیاژی به درون مذاب تشدید شده و مذاب بین دندریتی در زمان کوتاه‌تر و با حجم بیشتر به ترکیب شیمیایی نقطه یوتکتیک رسیده و مانع از رشد شاخه‌های دندریتی محلول جامد می‌شود که این مساله سبب ظریف‌تر شدن ساختار دندریتی و توزیع یکنواخت‌تر ترکیبات یوتکتیکی می‌گردد [۷]. با افزودن بیشتر کاربید تیتانیم به مقدار ۳۰ درصد وزنی، به دلیل هدایت حرارتی پایین کاربید تیتانیم (۲۱ W/mK) [۱۳] نسبت به زمینه استلایت ۶ (۳۰-۴۵ W/mK) [۱۴]، در حین انجماد روکش، انتظار می‌رود انتقال حرارت از روکش به زیر لایه و همچنین محیط اطراف به تعویق افتاده و میزان حرارت بیشتر، در بازه زمانی طولانی‌تر در



شکل ۳. الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) روکش کامپوزیتی Stellite 6- 20%TiC.



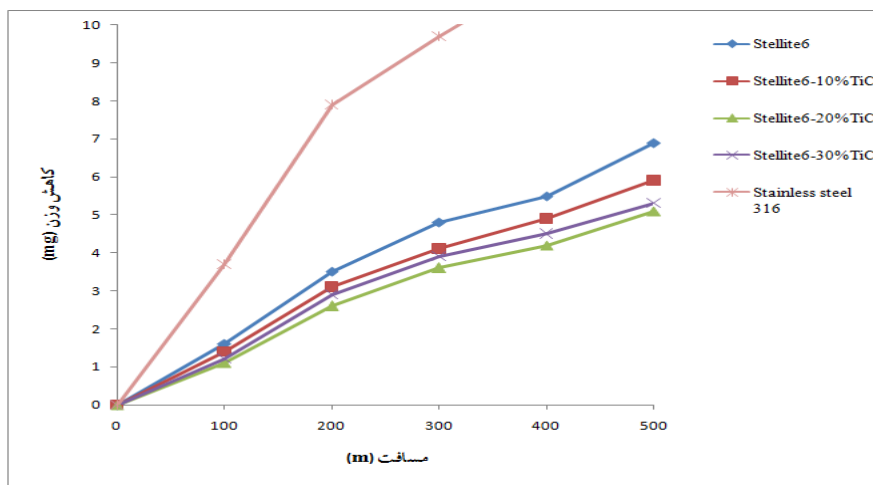
شکل ۴. پروفیل سختی روکش استلایت خالص و روکش های کامپوزیتی Stellite 6-TiC حاوی درصد های مختلف TiC.



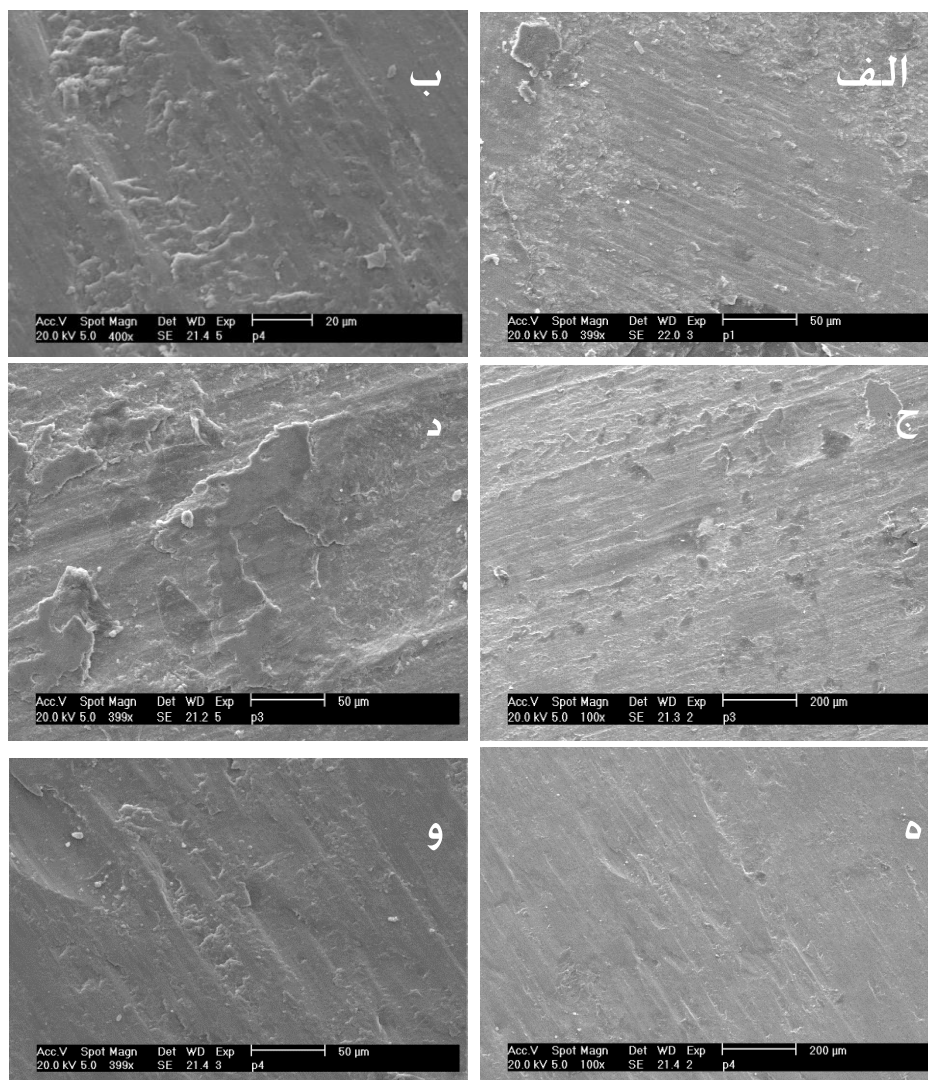
شکل ۵. کاهش وزن پس از مسافت لغزشی ۵۰۰ m برای زیر لایه و روکش های مختلف ایجاد شده بر فولاد زنگ نزن ۳۱۶.

به نمونه حاوی ۲۰٪ کاهش وزن بیشتری داشته است. تغییرات مقاومت سایشی نمونه های ذکر شده را می توان ناشی از تفاوت در سختی سطوح و بنابراین تفاوت در میزان تغییر شکل پلاستیک رخ داده در سطح سایش دانست. در این حالت سطوح با سختی کمتر دچار تغییر شکل پلاستیک شدیدتری شده و در نتیجه مواجه با میزان سایشی بالاتری خواهند بود.

شکل ۵ و ۶ کاهش وزن نمونه های پین شکل استخراج شده از روکش های کامپوزیتی Stellite 6-TiC و زیرلایه فولاد زنگ نزن ۳۱۶ را پس از طی مسافت لغزشی ۵۰۰ متر و همچنین در هر ۱۰۰ متر از مسافت لغزشی ۵۰۰ متری نشان می دهند همان طور که مشاهده می شود، میزان کاهش وزن روکش های اعمالی از زیرلایه بسیار کمتر بوده و روکش های کامپوزیتی Stellite 6-TiC با افزایش TiC تا مقدار ۲۰ درصد وزنی کاهش از خود نشان داده است. ولی نمونه روکش حاوی ۳۰٪ وزنی کاربید تیتانیم نسبت



شکل ۶. نمودار کاهش وزن بر حسب مسافت برای زیرلایه و روکش های مختلف ایجاد شده بر فولاد زنگ نزن ۳۱۶.



شکل ۷. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطوح سایش روکش های الف) Stellite 6 (ب) Stellite6-10%TiC (ج) و د) Stellite6-20%TiC (ه) و و) Stellite6-30%TiC.

در شکل ۷-الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه روکش داده شده با **Stellite 6** خالص نشان داده شده است آثار ایجاد لبه و ورقه‌ها در سطح سایش را می‌توان به علت حضور برخی آلودگی‌های سطحی مانند اکسیدهای سطحی دیسک ساییده که به صورت لایه‌های انتقالی در سطح دیده می‌شود دانست. همچنین سطح خیش خورده نمونه با تغییرات پلاستیکی برآمده اطراف هر خیش نشان دهنده سایش خراشان از نوع ریز خیش<sup>۱</sup> است. دلیل این پدیده را می‌توان حضور ترکیبات یوتکتیکی و افزایش سختی سطح روکش در اثر اضافه کردن کاربید تیتانیم به مخلوط پودری پیش نشست دانست. همچنین به دلیل بهبود سختی مکانیزم سایش چسبان کاهش یافته و میزان تغییر شکل پلاستیک کمتر شده و در نتیجه ناهمواری‌های سطحی که دچار سایش چسبان می‌شوند از عمق کمتر ماده دچار گسیختگی می‌گردند. شکل ۷-ب) سطح ساییده شده نمونه **Stellite 6-10%TiC** را نمایش می‌دهد که بیشتر شامل مناطق خیش خورده ناشی از سایش خراشان است البته تغییر شکل پلاستیک و لهیدگی ناهمواری‌های سطحی ناشی از سایش چسبان نیز تا حدی قابل مشاهده است. در مقایسه با نمونه استلایت خالص عمق خیش‌ها و تغییر شکل پلاستیک اطراف هر خیش کاهش یافته بنحوی که می‌توان گفت که سایش خراشان از مکانیزم خیش ریز<sup>۲</sup> کمی به سمت مکانیزم برش ریز<sup>۳</sup> میل کرده است [۱۷]. سطح ساییده شده نمونه **Stellite 6-20%TiC** در شکل ۷-ج) و د) شامل مناطق خیش خورده ناشی از سایش خراشان و تشکیل فیلم‌های انتقالی است [۱۸]. ذرات کاربیدی در سطح تمایل به ایفای نقش ذرات ساییده را داشته و موجب سایش در دیسک مقابل می‌گردند. در این حالت ذرات ناشی از ساییده شدن دیسک بین سطوح سایش قرار گرفته و در ناهمواری‌های سطح روکش تجمع کرده و در

مسافت‌های لغزشی بالا به هنگام تغییر شکل پلاستیک زمینه، این ذرات ناخالصی با ناهمواری‌های سطحی مخلوط شده و تشکیل فیلم‌های انتقالی را می‌دهند [۱۹]. در شکل ۷-و) و ه) سطح ساییده شده نمونه **Stellite 6-30%TiC** نشان داده شده است که شامل مناطق خیش خورده ناشی از سایش خراشان است که با توجه به تغییر شکل پلاستیک محدود اطراف شیارها و همچنین وجود آثار لبه و ورقه در محل‌های کندگی اطراف شیارها، سایش خراشان از مکانیزم خیش ریز به مکانیزم‌های برش ریز و ترک ریز<sup>۴</sup> انتقال یافته است. با افزایش مقدار کاربید تیتانیم به مقدار ۳۰ درصد وزنی به دلیل ضریب انتقال حرارت پایین آن نسبت به زمینه استلایت ۶، میزان حرارت انتقال یافته از روکش به زیر لایه و محیط اطراف کاهش یافته و حرارت بیشتری در حوضچه جوش باقی مانده که سبب درشت شدن دندریت‌ها و همچنین افزایش رقت زیرلایه می‌شود. بنابراین با درشت شدن دندریت‌های محلول جامد کبالت و توزیع نامناسب ترکیبات سخت یوتکتیکی مقاومت سایشی نمونه ۳۰ درصد وزنی کاهش یافته و امکان سایش دیسک و تشکیل فیلم‌های انتقالی کمتر می‌گردد.

#### نتیجه‌گیری

۱. ریز ساختار روکش‌های کامپوزیتی **Stellite 6-TiC** شامل زمینه محلول جامد دندریتی کبالت و ساختار لایه‌ای بین دندریتی از محلول جامد کبالت، ذرات **TiC** و همچنین مقادیر جزئی **Co<sub>3</sub>Ti**، **Co(FCC)**، **CrFe<sub>7</sub>C<sub>0.45</sub>** و **CoC<sub>x</sub>** است.
۲. روکش **Stellite-20%TiC** دارای ساختار دندریتی ظریف‌تر با توزیع مناسب‌تر ترکیبات یوتکتیکی بین دندریتی نسبت به نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۳۰ درصد وزنی **TiC**، است که این

1- Microploughing  
2- Microploughing  
3- Microcutting

4- Microcracking



#### مراجع

1. Y. Ning, P. C. Patnaik, R. Liu, M. X. Yao, X. J. Wu, *Effects of fabrication process and coating of reinforcements on the microstructure and wear performance of Stellite alloy composites*, *Materials Science and Engineering*, 391 (2005) 313–324.
2. ASM Metals Handbook, *Weld Cladding and Dissimilar Joining*, 6(1993)789-794.
3. W. C. Lin, C. Chen, *characteristics of thin surface layers of cobalt-based alloys deposited by laser cladding*, *Surface and Coating Technology*, 200(2006)4557-4563.
4. S. J. Matthews, *Haynes international, INC, ASM Metals Handbook*, Vol. 6(1993)598-600.
5. C. R. Tottel, *An Encyclopdia of Metallurgy and Material British*, 1984. Library catalog in publication elata, 311.
6. U. Muluyoglu, A. Neville, H. Iovlock, *Assessing the Kinetics and Mechanisms of Corrosion of Cast and HIPed Stellite6 in Aqueous Saline Environments*, *Corrosion Science*, 47, 8( 2005)1911-1931.
۷. مددی فرهاد، شمعیان مرتضی، اشرفی‌زاده فخرالدین "روکش‌کاری کامپوزیتی استلایت به روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز"، سمپوزیوم فولاد، (۱۳۸۸) ۵۶۸-۵۶۱.
8. G. Abbas, D. R. F. West, *Laser surface cladding of stellite and stellite-SiC composite deposits for enhanced hardness and wear*, 143(1991)353-363.
9. G. H. Xu, M. Kutsuna, *Characteristics of multilayer laser cladding using powder mixture of Co based alloy and Vanadium carbide*, *Materials Science and Technology*, (2008)73-84.
10. S. Zhang, D. Sun, Y. Fu, H. Du, *Recent advances of superhard nanocomposite coatings: a review*, *Surface and Coatings Technology*, 167(2003)113–119.
11. W. Zhang, *Research on microstructure and property of TiC-Co Composite*

مساله سبب بیشینه بودن سختی این روکش به میزان HV ۴۶۰ گردید.

۳. مکانیزم‌های سایشی غالب روکش‌های اعمالی از نوع خراشان و چسبان شناسایی گردید. روکش Stellite-20%TiC نسبت به سایر روکش‌ها کمترین میزان کاهش وزن (mg) ۵/۱ را در آزمون سایش از خود نشان داد.

- material made by laser cladding physics procedia*, 25(2012)205-208.
12. D. Golanski, K. Terada, N. Kikuchi, *Macro and micro scale modeling of thermal residual stresses in metal matrix composite surface layers by the homogenization method*, computational mechanics 79(1997)188-202.
۱۳. عبادزاده تورج، ابراهیمی محمد ابراهیم، ذریه سیدی مجید، *کاربید ها*، چاپ اول، انتشارات دانش پویان جوان، (آذر ۱۳۸۵). ۱۶۹.
14. G. Xu, Z. Kutsuna, Z. Liu, L. Sun *Characteristic Behaviours of Clad Layer by a Multi Layer Laser Cladding with Powder Mixture of Stellite6 and Tungsten Carbide*, Surface and Coating Technology, 201(2006)3385-3392.
15. G. Xu, M. Katsuna, Z. J. Liu, L. Sun, *Comparison between diode laser and TIG cladding of Co-based alloys on the SUS403 stainless steel*, Surface & Coatings Technology, 201(2006)1138-1144.
۱۶. صالحی مهدی، اشرفی زاده فخرالدین، *متالورژی سطح و تریبولوژی*، انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران، اصفهان، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، جلد اول، ۱(۱۳۷۴).
17. F. Madadi, M. Shamanian, F. Ashrafizadeh, *Cladding of Stellite Composite on Carbon Steel by Gas Tungsten Arc Welding (TIG)*, International Journal of ISSI, 6 No.2 (2009)34-37.
18. G. W. Stachowick, A.W. Batchelor, *Engineering Tribology*, 3rd edition, Butterworth Eiemann, (2006).
19. A. W. Bastchelor, L. N. Lam, M. Chandrasekaran, *Lubrication of stellite at ambient and elevated temperatures by transfer films from a graphite slider* Wear, 198.issues1-2(1996)208-215.