

# سنتز پوشش کامپوزیتی Fe-TiC بر روی سطح فولاد ساده‌ی کربنی به‌منظور افزایش سختی سطح با به‌کارگیری فرایند آلیاژسازی لیزری

آرمان خلیلی<sup>۱</sup>، مسعود گودرزی<sup>۲</sup>، محمدجواد ترکمنی<sup>۳</sup>، علی چهرقانی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران، Arman.khalili99@gmail.com

۲- دانشیار دانشکده مهندسی مواد دانشگاه علم و صنعت ایران، mgoodarzi@iust.ac.ir

۳- کارشناس ارشد فیزیک، مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، mjtorkamany@yahoo.com

۴- کارشناس ارشد فیزیک، مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، a\_chehrghani@yahoo.com

## Synthesis of Fe-TiC composite coating on plain carbon steel surface to hardness increasing by using laser alloying process

A. khalili<sup>1</sup>, M. goodarzi<sup>2</sup>, M. j. torkamany<sup>3</sup>, A. chehrghani<sup>4</sup>

1- master student of materials engineering, Iran university of science and technology, E-Mail: Arman.khalili99@gmail.com

2- Associate Professor, school of materials engineering, Iran university of science and technology, E-Mail: mgoodarzi@iust.ac.ir

3- MSc in Physics, Iranian national center for laser science and technology, E-Mail: mjtorkamany@yahoo.com

4- MSc in Physics, Iranian national center for laser science and technology, E-Mail: a\_chehrghani@yahoo.com

### چکیده

در این تحقیق سنتز و ایجاد پوشش کامپوزیتی Fe-TiC با استفاده از کنستانتتره ایلمنایت و فرایند پوشش دهی لیزری بر روی سطح فولاد ساده‌ی کربنی بررسی شد. دو ترکیب با نسبت مولی گرافیت به ایلمنایت ۴:۱ و ۶:۱ مول بر مبنای با نسبت مولی ۶ به مدت ۱۰۰ ساعت آسیا کاری شد. مخلوط پودری با مقداری چسب مخلوط شده و به ضخامت ۵۰۰ میکرون بر روی سطح فولاد AISI 1018 پیش نشانی شد. در ادامه عملیات لیزری بر روی سطح لایه‌ی پیش نشانی شده به‌منظور سنتز و ایجاد پوشش صورت گرفت. به‌منظور بررسی‌های ریزساختاری و فازی پوشش تشکیل شده از میکروسکوپ نوری (OM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، آنالیز توزیع انرژی (EDS) و پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد. همچنین به‌منظور تعیین سختی پوشش ایجاد شده از آزمون میکرو سختی ویکرز استفاده شد. نتایج نشان داد، که در نمونه‌ی با نسبت مولی استوکیومتری و بدون فعال‌سازی ایلمنایت به TiC انجام نشد. در نمونه با نسبت مولی گرافیت به ایلمنایت ۶ و ۱۰۰ ساعت فعال‌سازی ایلمنایت به‌وسیله‌ی گرافیت صورت گرفته و ذرات سخت TiC در اثر واکنش درجا ایلمنایت و گرافیت ایجاد می‌شوند. بررسی‌های ریزساختاری نشان داد، که ذرات TiC به‌صورت کروی در ساختار تشکیل می‌شوند. پوشش ایجاد شده سختی بالایی را نسبت به زیرلایه از خود نشان داد، به‌طوری که سختی سطح تا ۱۱۰۰ ویکرز افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: پوشش، ایلمنایت، لیزر، TiC

### Abstract

In this research synthesis and creating of Fe-TiC coating on plain carbon steel using ilmenite and laser alloying process was investigated. Two composition with the molar ratio of graphite to ilmenite 4:1 and 6:1 was investigated. The sample with molar ratio 6:1, were activated for 100h. Blended powder were mixed with amount of glue and pasted on AISI 1018 surface. Then laser surface alloying was done. The Result showed in un-milled sample ilmenite not reduction to TiC but in activated sample ilmenite reduction to Fe and TiC. The results showed that TiC were formed via in situ reaction between ilmenite and graphite in the molten pool during laser alloying process. The morphologies of TiC were of spherical shape; and the titanium carbides were distributed uniformly in the composite coating. Compared to the substrate, the hardness of the coatings reinforced by TiC particles were significantly enhanced.

**Keywords:** coating, TiC, laser, ilmenite.

(کد: ۹۱۱۰۶۲)

جدول ۱- ترکیب شیمیایی ایلمنایت

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	ترکیب شیمیایی
۰/۵۳	۰/۳۷	۴۳/۸۵	۰/۴۲	۰/۰۲	۰/۳۱	۰/۱۰	۵۳/۶۵	درصد وزنی

## مقدمه

بالاتری نسبت به روش از پیش آماده (exsitu) برخوردار می‌باشند. از آنجایی که در این دو روش برای تولید کامپوزیت Fe-TiC به ترتیب از TiC خالص و Ti خالص استفاده می‌شود، هزینه مواد اولیه بالا بوده و همچنین در دسترس بودن این مواد با مشکل مواجه است. در این تحقیق از ایلمنایت برای ایجاد این پوشش بر روی سطح استفاده شده است. ایلمنایت یک ماده معدنی و ارزان قیمت است، که از نظر اقتصادی به دلیل نقش آن در تولید روتایل بسیار مهم می‌باشد. این ماده معدنی از رایج‌ترین کانی‌های تیتانیوم می‌باشد، و به‌عنوان منبعی از تیتانیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. و طی چندین مرحله پردازش به روتایل و تیتانیوم تبدیل می‌شود (Welham 1998, Calka, Oleszak et al. 2008).

بنابراین هدف از این تحقیق بررسی امکان ایجاد پوشش Fe-TiC بر روی سطح فولاد ساده کربنی به‌وسیله پودر ایلمنایت و فرایند پوشش دهی لیزری می‌باشد.

## مواد و روش تحقیق

در جدول ۱ ترکیب شیمیایی ایلمنایت مورد استفاده نشان داده شده است. اندازه ذرات اولیه ایلمنایت به‌طور متوسط ۱۵۰ میکرومتر بود. به‌علاوه پودر گرافیت با اندازه دانه‌ی کمتر از ۵۰ میکرون استفاده شد. در این تحقیق دو نمونه مورد بررسی قرار گرفت. در نمونه اول نسبت مولی گرافیت به ایلمنایت طبق حالت استوکیومتری واکنش ۴ به ۱ بود. در نمونه دوم نسبت مولی گرافیت به ایلمنایت به ۶ مول افزایش یافت. بر روی ترکیب پودری نمونه‌ی اول عملیات آسیا کاری انجام نشد. در نمونه‌ی دوم پودرها بعد از مخلوط شدن طبق نسبت مولی ذکر شده به مدت ۱۰۰ ساعت آسیا کاری شدند. نسبت گلوله به پودر ۱۵ به ۱ و همچنین سرعت چرخش دستگاه ۱۶۰ دور بر دقیقه انتخاب شد.

فولاد AISI 1018 به‌عنوان زیر لایه انتخاب شد. جدول ۲ ترکیب شیمیایی زیر لایه را نشان می‌دهد. زیر لایه مورد استفاده برای پوشش دهی در ابعاد ۷۰×۶۰×۵ mm آماده سازی شد. سپس به‌وسیله‌ی مخلوط استون چربی زدایی شد. مخلوط پودری با مقداری چسب مخلوط شد، تا یک سوسپانسیون یکنواخت آماده گردید. سپس به ضخامت ۵۰۰ میکرون بر روی سطح قطعه کار پیش‌نشانی شد. به‌منظور خشک شدن لایه‌ی پیش‌نشانی شده و کاهش رطوبت موجود در آن، نمونه به مدت یک ساعت در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. در ادامه بعد از خشک شدن

سطح فلزات همیشه در تماس با محیط اطرافشان می‌باشند، که این نیز منجر به تخریب آن‌ها در اثر عواملی چون سایش، فرسایش و خوردگی می‌شود. روش‌های بهبود سطح (اصلاح سطح) به کاهش این تخریب‌ها کمک می‌کند. یکی از روش‌های بهبود سطح ایجاد پوشش بر روی سطح می‌باشد (Burakowski and Wier- zchon 1998, Asthana, Kumar et al. 2006). برای ایجاد پوشش‌های سخت و مقاوم به سایش بر روی سطح فلزات اغلب از پوشش‌های کامپوزیتی زمینه فلزی حاوی ذرات سخت سرامیکی با دمای ذوب بالا مانند WC، TiC، TiB<sub>2</sub>، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، B<sub>4</sub>C و .. نیز استفاده می‌شود (Das, Bandyopadhyay et al. 2002). از روش‌های مختلفی مانند پاشش حرارتی، رسوب فیزیکی بخار (PVD)، رسوب شیمیایی فاز بخار (CVD)، روش‌های جوشکاری، فرایند پوشش دهی لیزری و .. برای تولید این پوشش‌های کامپوزیتی استفاده می‌شود. فرایند پوشش دهی لیزری سطوح به دلیل داشتن خصوصیات از قبیل تمیز بودن فرایند، کنترل عمق نفوذ حرارت و بنابراین کنترل اعوجاج، ناحیه‌ی تحت تأثیر حرارت کوچک، قابلیت ماشین‌کاری شدن بالا و عدم نیاز به ماشین‌کاری، در سال‌های اخیر توجهات و تحقیقات زیادی را به خود اختصاص داده است (William 1991) فرایند پوشش دهی لیزری با روش پیش‌نشانی یکی از روش‌های ایجاد پوشش بر روی سطح به‌وسیله‌ی لیزر است. در این روش لایه‌ای از ترکیبات مورد نظر بر روی سطح پیش‌نشانی می‌شود. بعد از برخورد پرتو لیزر به سطح، حوضچه‌ی مذاب بر روی سطح لایه‌ی پیش‌نشانی شده ایجاد می‌شود. با حرکت حوضچه‌ی مذاب به سمت فلز پایه، فلز پایه ذوب شده و پیوندی قوی بین پوشش و زمینه ایجاد می‌شود (Toyserkani, Khajepour et al. 2004).

برای تقویت Fe و آلیاژهای پایه Fe، کاربرد تیتانیوم به دلیل سختی بالا (۲۰۰۰ویکرز)، چگالی پایین، خیس‌کنندگی خوب و پایداری شیمیایی با زمینه آهن مناسب‌ترین گزینه می‌باشد (Das, Bandyopadhyay et al. 2002). در روش‌های معمول ایجاد پوشش حاوی TiC از مخلوط پودری حاوی (روش exsitu) (Ariely, Shen et al. 1991, Xiaolei Wu 2001, Jiang and Kovacevic 2007) یا مخلوط پودری حاوی تیتانیوم و گرافیت (روش insitu) (Wu 1999, Yang, Zhong et al. 2003, Emamian, Corbin et al. 2011) استفاده می‌شود. به‌طور کلی تحقیقات نشان می‌دهد که پوشش‌های ایجاد شده به‌وسیله‌ی روش درجا از سختی و مقاومت به سایش

جدول ۲- ترکیب شیمیایی زیر لایه

عنصر	کربن	منگنز	فسفر	گوگرد	کروم	آهن
درصد وزنی	۰/۱۸	۰/۵۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۷	۰/۱	معادل

جدول ۳- پارامترهای لیزر مورد استفاده برای پوشش دهی

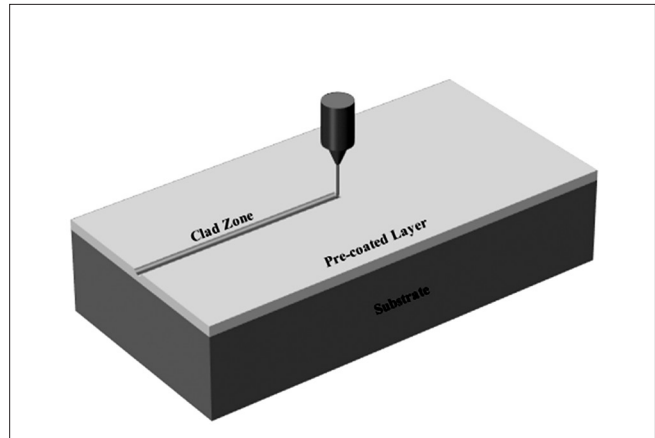
پارامترهای لیزر	توان	فرکانس	سرعت	طول پالس
	۲۲۵ W	۱۵ Hz	۲ mm/s	۱۰ ms

است آنالیز XRD پودر ۱۰۰ ساعت آسیا شده نشان می‌دهد، پیک در زاویه ۴۴ درجه ظاهر شده است. این احتمال وجود دارد، که این پیک در اثر احیای ایلمنیت رخ داده باشد. از آنجایی که محفظه‌ی ظرف آسیا از جنس فولاد مقاوم به سایش بود، این احتمال نیز وجود دارد، که این پیک در اثر ناخالصی‌های حاصل از ساییده شدن ظرف در حین آسیا کاری باشد. ولهم و همکارانش (Welham and Willis 1998) در بررسی فعال‌سازی ایلمنیت و گرافیت به مدت ۴۰۰ ساعت نشان دادند، که پیک که در ۴۴ درجه ظاهر می‌شود، در اثر ناخالصی‌های Fe می‌باشد، که در حین فعال‌سازی وارد پودر شده است، و واکنش خاصی در حین فعال‌سازی رخ نمی‌دهد. بنابراین این پیک مربوط به ناخالصی‌های آهن بوده و در حین فعال‌سازی احیایی رخ نداده است. به‌طور کلی آنالیز XRD نشان می‌دهد، که پیک جدیدی در آنالیز بعد از ۱۰۰ ساعت آسیا کاری ظاهر نشده است. بنابراین واکنشی در حین آسیا کاری صورت نگرفته است. معادله ۱ معادله‌ی انرژی آزاد واکنش ایلمنیت و گرافیت را نشان می‌دهد. این معادله نشان می‌دهد، که شروع واکنش از ۱۳۸۵ کلوین می‌باشد. از آنجایی که در حین عملیات آسیا کاری افزایش دما قابل ملاحظه نیست، می‌توان گفت که تشکیل TiC در حین فعال‌سازی امکان پذیر نمی‌باشد. پروفیل XRD مربوط به مخلوط پودری ۱۰۰ ساعت آسیا شده بیانگر این موضوع می‌باشد. برای اندازه‌گیری اندازه‌ی دانه‌ها قبل و بعد از آسیا کاری از رابطه‌ی ویلیامسون- هال استفاده شد. در فرمول ۲ این رابطه نشان داده شده است. نتایج در جدول ۴ نشان می‌دهد، که با افزایش زمان آسیا کاری اندازه‌ی دانه‌های ایلمنیت کاهش می‌یابد. به‌طور کلی عملیات فعال‌سازی بر روی پودر سبب مخلوط شدن بهتر ایلمنیت و گرافیت شده همچنین سبب ریز شدن ذرات، افزایش مساحت تماسی بین ایلمنیت و گرافیت آسیا شده و افزایش انرژی کرنشی ذرات می‌شود. که این موارد سبب می‌شود واکنش ایلمنیت با گرافیت با سرعت بیشتری انجام شود (Chen, Hwang et al. 1997).

$$\Delta G^{\circ} = 158,368.3 - 114.4T \text{ (Cal)} \quad \text{FeTiO}_3(s) + 4C(s) \rightarrow \text{Fe}(s) + \text{TiC}(s) + 3\text{CO}(g) \quad (1)$$

$$b \cos \theta = \frac{0.9\lambda}{d} + 2\eta \sin \theta \quad (2)$$

شکل ۳ آنالیز XRD از پوشش ایجاد شده مربوط به نمونه‌ی



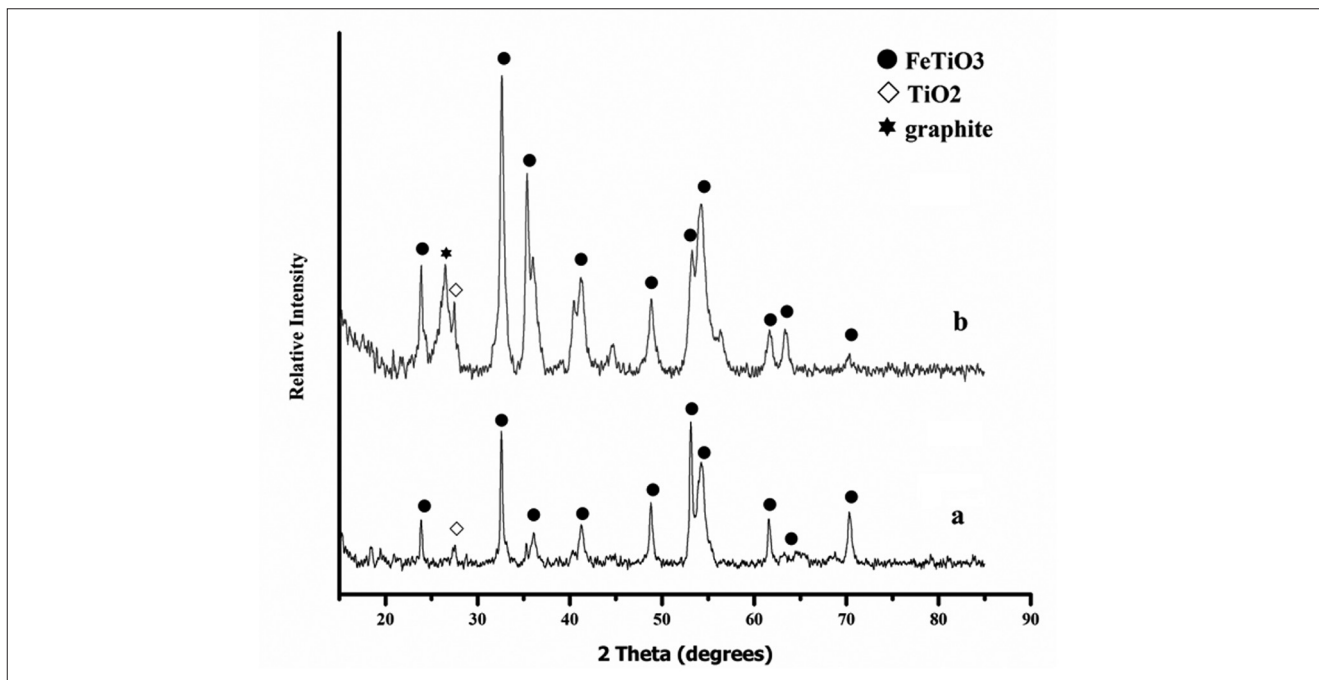
شکل ۱- شماتیکی از فرایند

لایه‌ی پیش نشانی شده، عملیات لیزری به‌منظور ایجاد پوشش بر روی سطح انجام گرفت. شکل ۱ شماتیکی از انجام فرایند را نشان می‌دهد. لیزر پالسی Nd:YAG مدل IQL-10 با توان متوسط ۴۰۰ W به‌منظور عملیات پوشش دهی بر روی سطح استفاده گردید. پارامترهای لیزر برای پوشش دهی در جدول ۳ نشان داده شده است.

بعد از انجام عملیات پوشش دهی، نمونه‌ها در مقاطع عرضی به‌منظور بررسی‌های ریزساختاری مقطع زده شدند. سپس از سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ مش برای سنباده‌زنی استفاده شد. در ادامه از آلومینای یک میکرون برای پولیش کردن نمونه‌ها استفاده شد. و در انتها نمونه‌ها در نایتال ۲٪ اچ شدند. از میکروسکوپ نوری برای بررسی نمونه‌ها و گرفتن تصاویر در بزرگنمایی‌های پایین استفاده شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی با ولتاژ ۳۰ KV مجهز به EDS برای بررسی‌های ریزساختاری به کار گرفته شد. به‌منظور تحلیل فازی پوشش ایجاد شده از آزمون پراش پرتو ایکس استفاده شد. برای این منظور از دستگاه پراش پرتو اشعه ایکس از نوع Philips X'Pert Pro با ولتاژ ۴۰KV و  $K\alpha = \text{Cu}$  استفاده شد. آزمون میکرو سختی ویکرز از پوشش و زیر لایه با بار ۱۰۰g به عمل آمد.

## نتایج و بحث

پروفیل XRD مربوط به ایلمنیت خالص و مخلوط پودری ایلمنیت و گرافیت ۱۰۰ ساعت آسیا شده در شکل ۲ نشان داده



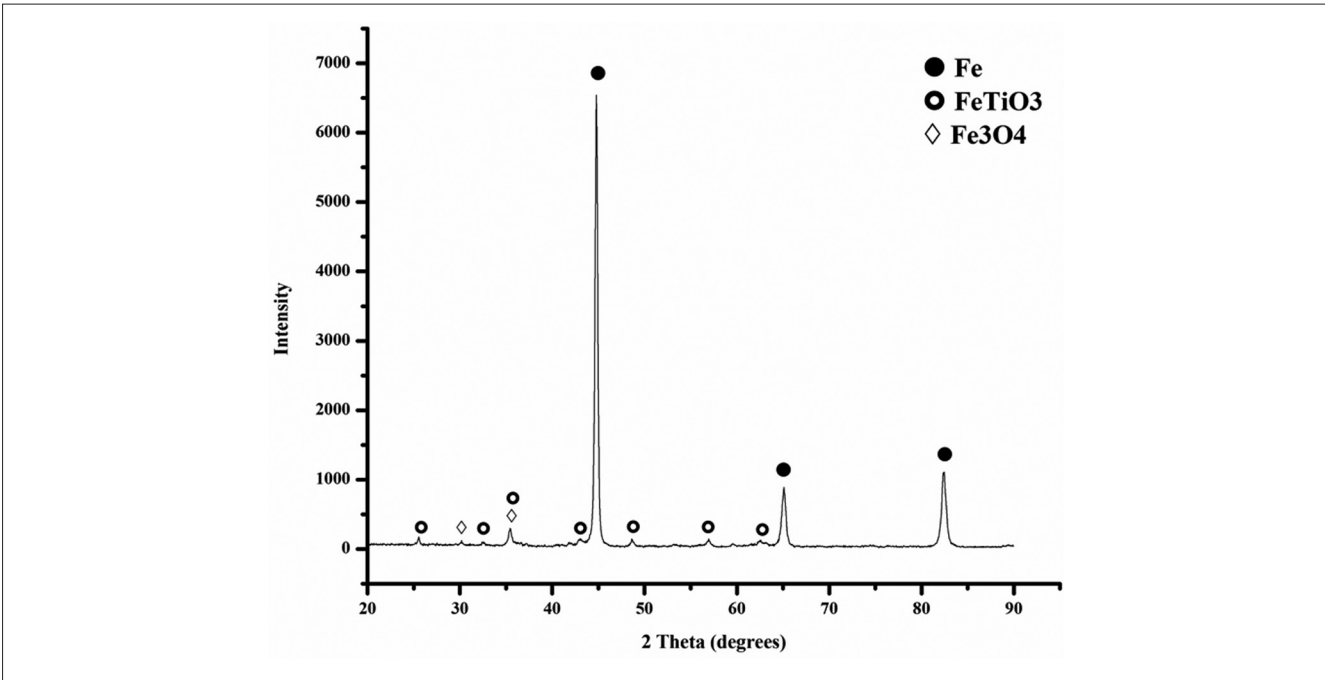
شکل ۲- (a) آنالیز XRD پودر ایلمنایت خالص (b) آنالیز XRD از مخلوط ایلمنایت و گرافیت بعد از ۱۰۰ ساعت آسیا کاری

جدول ۴- اندازه دانه‌های ایلمنایت بدون آسیا کاری و بعد از آسیا کاری

نمونه‌ها	بدون آسیا کاری	۱۰۰ ساعت آسیا کاری
اندازه دانه‌های ایلمنایت (نانومتر)	۴۵	۲۵

به پوشش دیده می‌شود، که این پیکها مربوط به فاز  $Ti_2O_3$  می‌باشد. وجود این فاز بیانگر این موضوع می‌باشد که ایلمنایت به‌طور کامل احیا نشده است. به‌طور کلی ایلمنایت شامل  $TiO_2$  و  $FeO$  می‌باشد. تحقیقات نشان می‌دهد که در احیای تعادلی ایلمنایت به‌وسیله‌ی گرافیت، فاز  $FeO$  در دماهای پایین به  $Fe$  و  $CO$  احیا می‌شود. همچنین فاز  $TiO_2$  ابتدا به  $Ti_3O_5$  تبدیل شده و سپس در اثر احیای بیشتر به  $Ti_2O_3$  و در نهایت به  $TiC$  تبدیل می‌شود (Dewan, Zhang et al. 2010). بنابراین وجود فاز  $Ti_2O_3$  در ساختار پوشش بیانگر این موضوع می‌باشد، که احیای ایلمنایت به  $TiC$  کامل انجام نگرفته است. که این موضوع را می‌توان به‌سرعت بالای فرایند و همچنین میزان کم گرافیت در ترکیب اولیه مربوط دانست. با مقایسه بین اجزای پوشش ایجاد شده در نمونه‌ی بدون کار مکانیکی و پوشش ایجاد در نمونه‌ی کار شده می‌توان گفت، که کار مکانیکی بر روی پودر، تأثیر به‌سزایی در ایجاد پوشش داشته است. همان‌طور که بیان شد، با افزایش کار مکانیکی اندازه دانه‌ها کاهش و انرژی درونی ذرات افزایش می‌یابد. از آنجایی که در سیستم تمایل به کاهش انرژی می‌باشد، ذرات به‌منظور کاهش انرژی سریع‌تر باهم

با نسبت مولی گرافیت به ایلمنایت برابر با ۴ را نشان می‌دهد. این آنالیز نشان می‌دهد، که ترکیب پوشش شامل فازهای  $Fe_3O_4$  و  $Fe$ ،  $FeTiO_3$  می‌باشد. وجود فاز ایلمنایت در ساختار پوشش نشان می‌دهد، که ایلمنایت در حین فرایند احیا نشده و در ساختار باقی مانده است. فاز اکسید آهن به مقدار خیلی کم در ساختار بیانگر این موضوع می‌باشد که آهن اکسید شده است. از آنجایی که حوضچه‌ی مذاب تحت محافظت گاز آرگون می‌باشد، می‌توان گفت که این اکسیژن از رطوبت موجود در چسب وارد حوضچه‌ی مذاب شده است، و عامل اکسید شدن می‌باشد. آنالیز XRD مربوط به پوشش ایجاد شده بر روی سطح (شکل ۴) در نمونه‌ی با نسبت مولی ۶ و ۱۰۰ ساعت فعال شده در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌گونه که از شکل مشاهده می‌شود فاز  $TiC$  در ساختار پوشش وجود دارد. بنابراین می‌توان گفت فاز کاربید تیتانیم در اثر واکنش ایلمنایت و گرافیت در حوضچه‌ی مذاب ایجاد شده است. شکل پوشش ایجاد شده بر روی سطح را نشان می‌دهد. در کنار فاز  $TiC$ ، فاز  $Fe$  (مارتنزیت) در کنار آستنیت باقی‌مانده در ساختار پوشش تشکیل شده است. پیک‌های دیگری در پروفیل XRD مربوط



شکل ۳- آنالیز XRD از پوشش ایجاد شده در نمونه‌ی بدون کار مکانیکی

اندازه‌ی ذرات کاربید تیتانیم به‌طور کلی کمتر از  $1 \mu\text{m}$  می‌باشند. این موضوع را می‌توان به‌سرعت بالای انتقال حرارت در فرایند مربوط دانست. به دلیل سرعت سرد شدن بالا ذرات فرصت برای به هم پیوستن را نداشته و بنابراین به‌صورت ذرات کروی ریز در زمینه رسوب می‌کنند. تصاویر نشان می‌دهند که بعضی از ذرات TiC سیاه رنگ‌تر از بقیه‌ی ذرات می‌باشند که این نیز ناشی از میزان تیتانیم بالاتر در این ذرات نسبت به ذرات کم رنگ‌تر می‌باشد.

تحقیقات نشان می‌دهد که با برخورد پرتو لیزر به سطح حوضچه‌ی مذاب دمای سطح تا  $3500$  درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (Chehrghani, Torkamany et al. 2012). بنابراین به‌محض برخورد پرتو به سطح، لایه‌ی پیش‌نشانی شده و همچنین مقداری از زیر لایه ذوب می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که حوضچه‌ی مذاب ایجاد شده مخلوطی از آهن مذاب، ایلمنایت مذاب و ذرات گرافیت می‌باشد. معادله‌ی انرژی آزاد واکنش ایلمنایت و گرافیت نشان می‌دهد که این واکنش در دماهای بالای  $1500$  کلوین شروع به انجام شدن می‌کند. از آنجایی که دمای حوضچه‌ی مذاب در فرایند پوشش دهی لیزری بالای  $1500$  کلوین می‌باشد، ذرات TiC از واکنش ایلمنایت و گرافیت در حوضچه‌ی مذاب رسوب می‌کنند. نمودار سه جزئی آهن، تیتانیم و کربن در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دماهای بالا TiC اولین فازی است که تشکیل می‌شود. با کاهش دما به مقدار TiC افزایش یافته و با کاهش تیتانیم مذاب، غلظت Fe مذاب افزایش می‌یابد، تا ترکیب مذاب به نقطه‌ی سه‌تایی تعادل  $\alpha\text{-}\gamma\text{-TiC}$  برسد. در این نقطه ترکیب



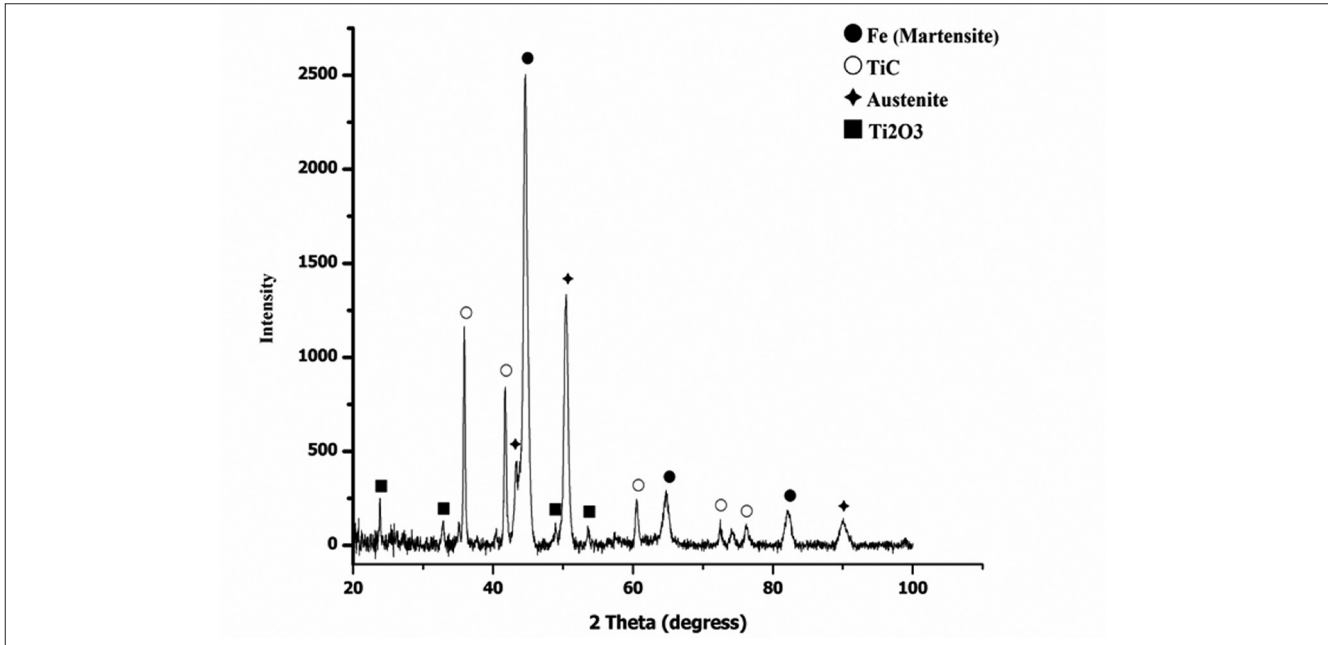
شکل ۴- تصویر میکروسکوپ نوری از پوشش تشکیل شده بر روی سطح

واکنش می‌کنند. همچنین با افزایش کار مکانیکی سطح تماسی ذرات باهم افزایش یافته که این نیز منجر به واکنش سریع‌تر ذرات می‌شود.

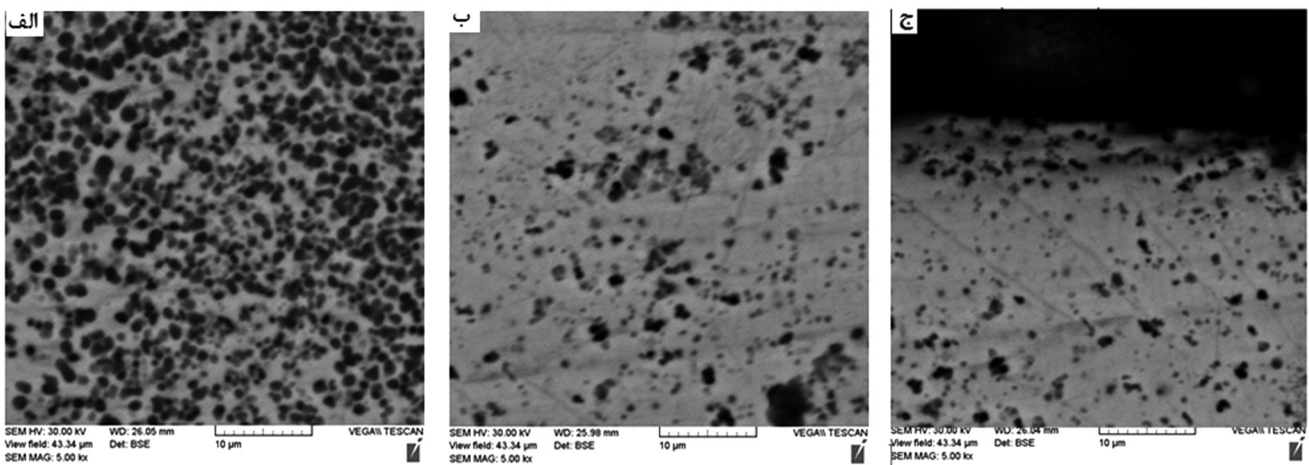
### نتایج ریزساختاری

مورفولوژی ذرات TiC در پایین پوشش، میانه‌ی پوشش و بالای پوشش در شکل ۶ نشان داده شده است. آنالیز EDS از ذرات موجود در ساختار نشان می‌دهد که درصد اتمی تیتانیم در این ذرات  $50\%$  می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این ذرات به‌صورت کروی در ساختار توزیع شده‌اند. تصاویر SEM نشان می‌دهد که

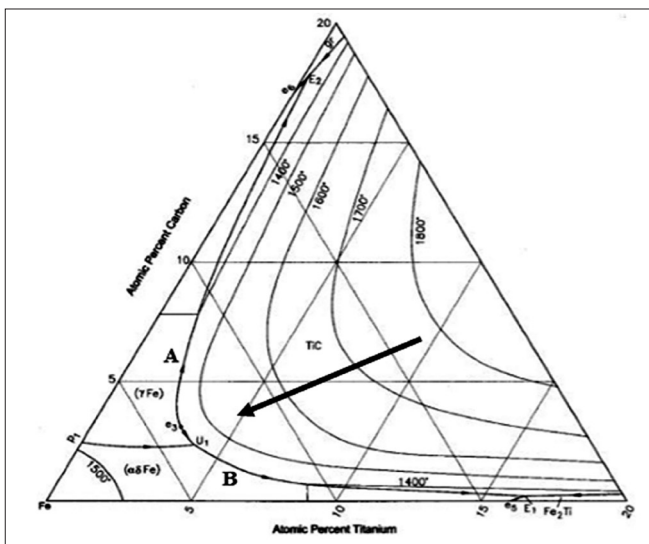




شکل ۵- تصویر XRD از پوشش تشکیل شده بر روی سطح در نمونه با نسبت مولی ۶ و ۱۰۰ ساعت فعال شده

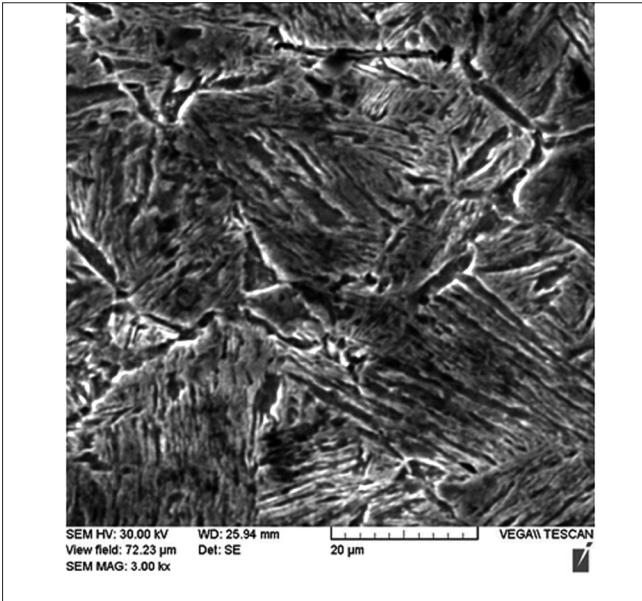


شکل ۶- مورفولوژی ذرات TiC در نقاط مختلف پوشش (الف) پایین پوشش (ب) میانه پوشش (ج) بالای پوشش

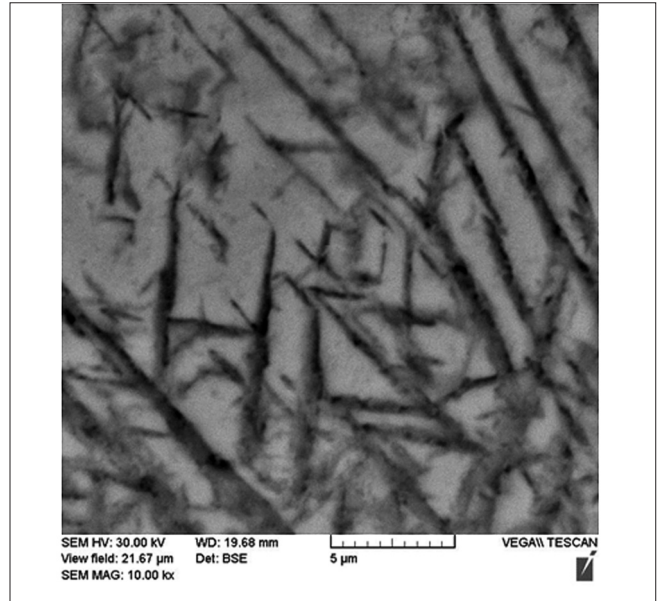


شکل ۷- نمودار سه تایی آهن، تیتانیوم، کربن (Raghavan 2003)

شامل، مذاب، TiC است. از آنجایی که ترکیب مذاب شامل Fe و گرافیت می‌باشد مذاب برای ادامه سرد شدن از مسیر A حرکت می‌کند. بنابراین ابتدا فاز Fe- $\gamma$  تشکیل می‌شود. از آنجایی که در فرایند پوشش دهی لیزری سرعت سرد شدن زیاد می‌باشد آستنیت در اثر سریع سرد شدن به مارتنزیت تبدیل می‌شود. همچنین به دلیل عدم تحت تبرید بالا مقداری از آستنیت به مارتنزیت تبدیل نشده و به صورت آستنیت باقی مانده در پوشش باقی می‌ماند. همان طور که نتایج XRD نشان می‌دهد ترکیب پوشش شامل فاز مارتنزیت، کاربید تیتانیوم، آستنیت باقی مانده و مقدار کمی فاز اکسید می‌باشد. وجود مقدار کم اکسید در پوشش بیانگر عدم وجود گرافیت کافی برای احیا می‌باشد. شکل ۸ تیغه‌های مارتنزیت و همچنین آستنیت باقی مانده را در ساختار پوشش نشان می‌دهد. ریزساختار ناحیه‌ی



شکل ۹- زیر ساختار ناحیه‌ی تحت تأثیر حرارت



شکل ۸- ریزساختار زمینه پوشش

۸۰۰ تا ۱۰۰۰ ویکرز متغیر می‌باشد. سختی بالاتر بعضی نقاط در مقایسه با نقاط دیگر را می‌توان به غلظت بالاتر تیتانیم در ذرات یا به عبارتی خلوص بالاتر TiC در آن ذرات مربوط دانست. همچنین نتایج میکرو سختی نشان می‌دهد، که سختی ناحیه‌ی تحت تأثیر حرارت بالاتر از سختی زیر لایه می‌باشد که این نیز در اثر ساختار مارتنزیتی ناحیه‌ی تحت تأثیر حرارت می‌باشد.

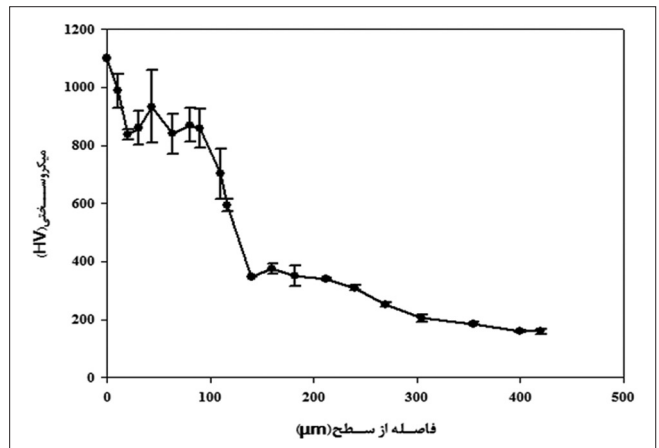
### نتیجه گیری

پوشش کامپوزیتی Fe-TiC در اثر واکنش درجای ایلمنایت و گرافیت در حوضچه‌ی مذاب بر روی سطح ایجاد شد. نتایج نشان داد:

- ۱- گرافیت با ایلمنایت واکنش می‌دهد و منجر به احیای ایلمنایت به TiC می‌شود.
- ۲- به دلیل سرعت بالای فرایند گرافیت فرصت برای احیای کامل ایلمنایت را نداشته و مقداری فاز Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در ساختار باقی می‌ماند.
- ۳- ذرات TiC ایجاد شده به شکل ذرات ریز و کروی به‌طور یکنواخت در زمینه‌ای از مارتنزیت و آستنیت باقی‌مانده مشاهده شدند.
- ۴- در اثر ایجاد این پوشش سختی سطح حداکثر تا ۱۱۰۰ ویکرز افزایش یافت.

### منابع و مراجع

1- Arieli, S., J. Shen, M. Bamberger, F. Dausiger and H. Hugel (1991). "Laser surface alloying of steel with TiC." Surface and Coatings Technology 45(1): 403-408.



شکل ۹- نمودار سختی بر حسب فاصله از سطح پوشش

تحت تأثیر حرارت در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ریزساختار این ناحیه مارتنزیت می‌باشد. وجود مارتنزیت نشان می‌دهد که دمای این ناحیه در حین عملیات پوشش دهی تا دمای پایداری آستنیت افزایش یافته و در حین سرد شدن به مارتنزیت تبدیل شده است.

اگر چه در توزیع ذرات TiC در پوشش، چگالی ذرات در بعضی نقاط بالاتر و در بعضی نقاط کمتر می‌باشد ولی به‌طور کلی می‌توان بیان کرد ذرات در پوشش از توزیع خوبی برخوردارند. این ذرات به میزان زیادی مقاومت به سایش سطح را افزایش می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت ذرات TiC در زمینه‌ای از مارتنزیت و آستنیت باقی‌مانده توزیع شده‌اند. نتایج میکرو سختی در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در اثر ایجاد پوشش سختی سطح تا حداکثر ۱۱۰۰ ویکرز افزایش یافته است. به‌طور کلی تصویر مربوطه نشان می‌دهد که سختی سطح از

- cladding.» *Surface and Coatings Technology* 206(1): 124-131.
- 10-Jiang, W. and R. Kovacevic (2007). «Laser deposited TiC/H13 tool steel composite coatings and their erosion resistance.» *Journal of materials processing technology* 186(1): 331-338.
- 11-Raghavan, V. (2003). «C-Fe-Ti (carbon-iron-titanium).» *Journal of phase equilibria* 24(1): 62-66.
- 12-Toyserkani, E., A. Khajepour and S. F. Corbin (2004). *Laser cladding*, CRC press.
- 13-Welham, N. (1998). «Mechanically induced reduction of ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ) and rutile ( $\text{TiO}_2$ ) by magnesium.» *Journal of alloys and compounds* 274(1): 260-265.
- 14-Welham, N. and P. Willis (1998). «Formation of TiN/TiC-Fe composites from ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ) concentrate.» *Metallurgical and Materials Transactions B* 29(5): 1077-1083.
- 15-William, M. S. (1991). *Laser material processing*, Springer-Verlag, Berlin.
- 16-Wu, X. (1999). «In situ formation by laser cladding of a TiC composite coating with a gradient distribution.» *Surface and Coatings Technology* 115(2): 111-115.
- 17-Xiaolei Wu, Y. H. (2001). «Microstructure and mechanical properties at TiCp/Ni-alloy interfaces in laser-synthesized coatings.»
- 18-Yang, S., M. Zhong and W. Liu (2003). «TiC particulate composite coating produced in situ by laser cladding.» *Materials Science and Engineering: A* 343(1): 57-62.
- 2-Asthana, R., A. Kumar and N. B. Dahotre (2006). *Materials processing and manufacturing science*, Butterworth-Heinemann.
- 3-Burakowski, T. and T. Wierzchon (1998). *Surface engineering of metals: principles, equipment, technologies*, CRC press.
- 4-Calka, A., D. Oleszak and N. Stanford (2008). «Rapid synthesis of TiC-Fe<sub>3</sub>C composite by electric discharge assisted mechanical milling of ilmenite ( $\text{FeTiO}_3$ ) with graphite.» *Journal of alloys and compounds* 459(1): 498-500.
- 5-Chehrghani, A., M. Torkamany, M. Hamedi and J. Sabbaghzadeh (2012). «Numerical modeling and experimental investigation of TiC formation on titanium surface pre-coated by graphite under pulsed laser irradiation.» *Applied Surface Science* 258(6): 2068-2076.
- 6-Chen, Y., T. Hwang, M. Marsh and J. Williams (1997). «Mechanically activated carbothermic reduction of ilmenite.» *Metallurgical and Materials Transactions A* 28(5): 1115-1121.
- 7-Das, K., T. Bandyopadhyay and S. Das (2002). «A review on the various synthesis routes of TiC reinforced ferrous based composites.» *Journal of materials science* 37(18): 3881-3892.
- 8-Dewan, M. A., G. Zhang and O. Ostrovski (2010). «Carbothermal reduction of a primary ilmenite افشردده in different gas atmospheres.» *Metallurgical and Materials Transactions B* 41(1): 182-192.
- 9-Emamian, A., S. F. Corbin and A. Khajepour (2011). «The influence of combined laser parameters on in-situ formed TiC morphology during laser