

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان
مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



بررسی مقاومت به کاویتاسیون پوشش پاشش پلاسمایی Al_2O_3 -13% TiO_2

بابک قويدل^۱، کوروش جعفرزاده^۲، ضيا والفي^۳

در اين تحقيق مقاومت به کاویتاسیون پوشش کامپوزيتی Al_2O_3 -13% TiO_2 مورد بررسی قرار گرفته است. پوشش مذکور به روش پاشش پلاسمایی بر روی فولاد ساده کربنی ايجاد و ريزساختار پوشش و مورفولوژی سطح سايش يافته توسط تفرق اشعه X (XRD)، میکروسکوپ نوری (OM) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مطالعه شد. تست کاویتاسیون با استفاده از تجهيزات ارتعاش فراصوتي و منطبق بر استاندارد ASTM G32 انجام و مشاهده گردید که اتلاف وزن پوشش از اطراف و لبه های تخلخل ها و نیز فصل مشترک ذرات ذوب نشده یا نیمه ذوب شده با زمینه شروع می شود. نمودارهای عمق متوسط سايش پوشش ها برحسب زمان، بیانگر میزان مقاومت آنها در برابر کاویتاسیون می باشد.

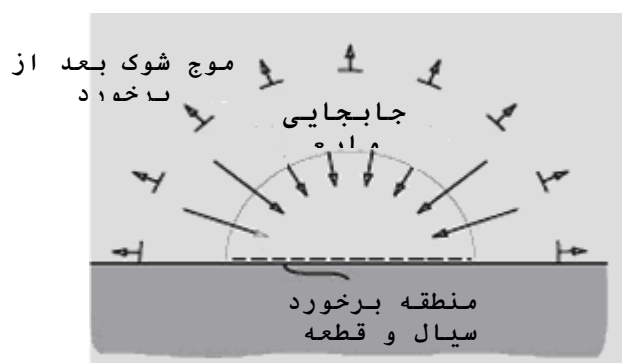
کلیدواژه ها: کاویتاسیون، آلومینا- تیتانیا، پاشش پلاسمایی

مقدمه

برخی از بحرانی ترین شرایط کاربرد مواد در محیط های حاوی یک سیال روی می دهد. به عنوان مثال می توان به پروانه ها، شیرها، درزبندها، سطوح یاتاقانها و پره هایی اشاره نمود که در محیطهای آبی و تحت شرایط کاویتاسیون استفاده می شوند. کاویتاسیون شکل خاصی از خوردگی سايشی است که در اثر تشکیل حبابهای بخار و هوا در مایع و ترکیدن آنها روی سطح فلز بوجود می آید. خسارت حبابی در پروانه کشتی ها و سطوح دیگر فلزی که در تماس با مایعات متحرک قرار دارند و در آنها بر اثر سرعت زیاد سیال تغییرات فشار وجود دارد، مشاهده می شود (شکل ۱و۲) [۱]. کاویتاسیون ناشی از تأثیر همزمان خوردگی و تنش های مکانیکی است؛ به این ترتیب که در اثر ترکیدن حبابهای بخار، پوسته های سطحی محافظ از بین می روند. مراحل انجام این مکانیزم به صورت زیر است [۲]:

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران
۲- استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر
۳- دانشجوی دکترای دانشگاه تهران

الف) روی پوسته محافظ یک حباب تشکیل می شود.
 ب) حباب ترکیده و پوسته را از بین می برد.
 ج) سطح جدید فلز در معرض محیط خورنده قرار می گیرد و پوسته محافظ مجدداً تشکیل می گردد. تکرار این عمل منجر به ایجاد حفره های عمیق می شود و خوردگی افزایش می یابد.
 به مجرد اینکه سطح خشن گردید، برای ایجاد این نوع خسارت مستعدتر می گردد. در عمل خسارت حبابی نتیجه عوامل شیمیایی و مکانیکی است.



شکل ۱- نمایش شماتیکی پدیده کاویتاسیون [۱]



شکل ۲- نمایی از پروانه تخریب شده با کاویتاسیون [۱]

ماده سرامیکی آلومینا- تیتانیا به دلیل دارا بودن خواص مناسبی همچون مقاومت مطلوب در برابر فرسایش، سختی بالا، مقاومت شیمیایی مطلوب، نقطه ذوب حدود ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد، مقاومت سایشی مناسب، پتانسیل بالایی برای بسیاری از کاربردها در دمای محیط و درجه حرارتهای بالا دارد. حضور تیتانیا سبب بهبود خواص مکانیکی پوشش می شود [۳]. پوشش مذکور از کاربردهای فراوانی در

صنایع دریایی به منظور محافظت تجهیزات آبی برخوردارست به گونه ای که یکی از پوشش های کاربردی نیروی دریایی آمریکا به حساب می آید [۴].

در زمینه پوشش های سرامیکی فرآیند پاشش پلاسمایی از متداولترین روشها محسوب می شود. ساختار پوشش هایی که توسط این فرآیند تولید می گردد، یک ساختار حفره دار و لایه ای است که حاوی ذرات پودر نیمه مذاب و ذوب نشده است. این روش، حفاظت از تخریب آهن و فولاد را به طور مؤثری در دامنه وسیعی از محیط های مخرب فراهم کرده است. چنین حفاظت هایی در زمانهای طولانی در دو حالت مختلف کاری از قبیل غوطه وری و اتمسفری، در بسیاری از کاربردهای صنعتی و دریایی مورد استفاده قرار گرفته است [۵].

مواد و روش تحقیق

به منظور پوشش دهی پوششهای پاشش پلاسمایی آلومینا- تیتانیا از زیرلایه از جنس فولاد ساده کربنی با ترکیب شیمیایی ارایه شده مطابق جدول ۱ استفاده گردید. نمونه ها استوانه ای به قطر ۲۲ و ارتفاع ۲۵ میلیمتر انتخاب شدند. عملیات سندبلاست نمونه های فولادی به منظور زبرسازی سطح آنها با استفاده از ذرات آلومینای (Al_2O_3) خشن و تحت زاویه ۹۰ درجه صورت پذیرفت. سپس نمونه ها شستشو شده و سطح آنها با استون تمیز گردید.

ماده مورد مصرف جهت انجام فرآیند پاشش، پودر کامپوزیتی آلومینا- تیتانیا با ۱۳ درصد وزنی تیتانیا می باشد. این پودر با نام Blue Corundum Blend، پودری رایج بوده که در آن ذرات آلومینای گداخته با تیتانیا درهم شده است (شکل ۱ و جدول ۲).

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد زیرلایه

عنصر	درصد وزنی
C	۰/۱۸
Mn	۰/۵۸
Si	۰/۱۸
S	۰/۰۰۴
P	۰/۰۰۸

جدول ۲- مشخصات پودر مصرفی

اندازه (میکرو متر)	روش تولید	ترکیب شیمیایی	نام تجاری	نوع پوشش
۴۵ - ۲۰	Fused and Crushed	Al_2O_3 -13% wt TiO_2	Blue Corundum	آلومینا- تیتانیا

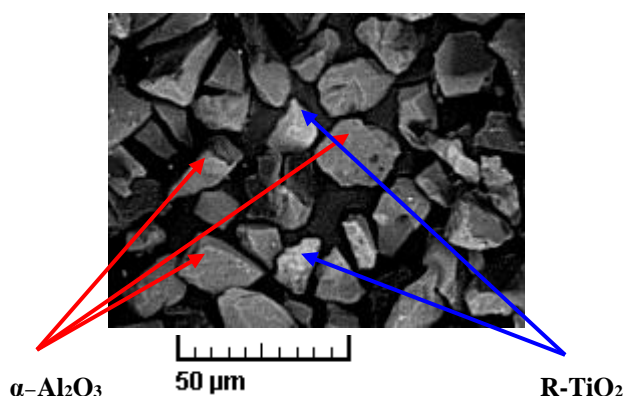
به منظور ایجاد پوشش از دستگاه پاشش پلاسمایی با تفنگ پاشش F4 و با سطوح توان تا ۵۵ kW استفاده گردیده که فاصله پاشش ۱۲۰ mm می باشد. تولید جت پلاسما به کمک مخلوطی از گازهای آرگون و هیدروژن صورت گرفته است. مشخصات و پارامترهای فرآیند پوشش دهی در جدول ۳ آورده شده است. با تغییر پارامتر نرخ تغذیه پودر در سه مقدار متفاوت تاثیر آن بر مقاومت به کاویتاسیون پوشش بررسی گردید.

شناسایی فازهای موجود در پوشش های ایجاد شده و در پودر اولیه با استفاده از دستگاه تفرق پرتو ایکس

SEIFERT ساخت کشور آلمان صورت گرفت. در این پژوهش از آند مسی ($\lambda=1.54^{\circ}A$) در ولتاژ ۴۰ کیلوولت و جریان ۳۰ MA استفاده گردید.

برای مطالعه مورفولوژی سطح پوشش و نیز بررسی سطوح سایش یافته نمونه های پوششی از میکروسکوپ نوری و الکترونی روبشی استفاده شد.

تست کاویتاسیون پوشش ها با استفاده از تجهیزات ارتعاش فراصوتی منطبق بر استاندارد ASTM G32-98 انجام شده است. دامنه و فرکانس ارتعاش به ترتیب ۱۰۰ μm و ۲۰ kHz می باشد. سیالی که در



شکل ۱- تصویر SEM از پودر مصرفی

جدول ۳- پارامترهای پاشش پلاسمایی

جریان قوس	۵۳۰ A
ولتاژ	۷۲ V
گاز پلاسما	آرگون+ هیدروژن
نرخ جریان گاز اولیه	۴۰ l/min
نرخ جریان گاز ثانویه	۱۴ l/min
گاز حامل پودر	آرگون
نرخ تغذیه پودر	۲۰-۲۵-۳۰ g/min
مسافت پاشش	۱۲۰ mm
تفنگ پاشش	F4-55 kW

این تست مورد استفاده قرار می گیرد آب مقطر در دمای ۲۳ درجه سانتیگراد است [۶-۷]. نمونه ها به طور منظم در فواصل زمانی معین، با استفاده از وزن سنج الکترونیکی (با دقت ۰/۱ mg) توزین شده و میزان اتلاف وزن مورد ارزیابی قرار می گیرد.

به منظور تحلیل و گزارش نتایج آزمایش بهتر است که به جای منحنی اتلاف جرم برحسب زمان از منحنی عمق متوسط سایش^۱ (MDE) برحسب زمان استفاده شود. فرمول محاسبه MDE بدین صورت است:

$$MDE (\mu m) = \frac{\Delta m}{\rho A} \quad (1)$$

که در آن داریم:

Δm میزان اتلاف وزن برحسب میلی گرم، A مساحت ناحیه ای از نمونه برحسب cm^2 که در معرض کاویتاسیون قرار می گیرد و ρ چگالی نمونه برحسب گرم بر cm^3 .

در این پژوهش جهت تخلخل سنجی پوشش ها از پردازشگر آنالیز تصویری^۲ استفاده گردیده و تست استحکام چسبندگی بکار رفته منطبق بر استاندارد ASTM C633 می باشد. آزمایش اخیر به منظور تعیین قدرت چسبندگی (استحکام اتصال) پوشش به زیرلایه یا استحکام چسبندگی خود پوشش در یک تنش سطحی نرمال مورد استفاده قرار می گیرد. این تست که جزء آزمایشهای کندن (کشیدن به

1- Mean Depth Erosion
1- Image Analyser Process

طرف بالا) محسوب می گردد، متد تست استاندارد برای استحکام چسبندگی پوشش های پاشش
حرارتی میباشد [۹].

یافته های تحقیق

نتایج XRD پودر مصرفی و همچنین پوشش در شکل ۲ آورده شده است. همانطور که شکل مذکور
نشان می دهد پودر از فازهای $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (کوراندوم^۱) و TiO_2 (روتایل^۲) تشکیل شده است. این در
حالیست که در پوشش علاوه بر فازهای فوق، فاز نیمه پایدار $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ نیز که یکی دیگر از
آلوتروپیهای آلومینا می باشد وجود دارد.

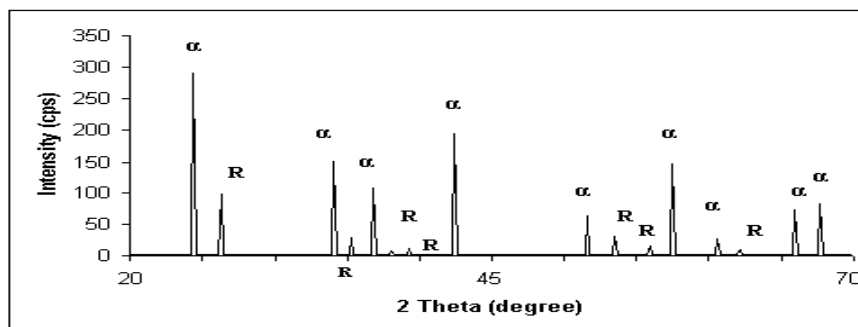
از نظر ساختاری، فاز آلفا به صورت رمبوهدرال بوده و ابعاد شبکه ای آن عبارت است از [۸]:

$$a = 4/749 \text{ \AA}^\circ \quad \text{و} \quad c = 12/965 \text{ \AA}^\circ$$

در حالیکه فاز گاما به صورت تتراهدرال بوده و ابعاد آن عبارت است از:

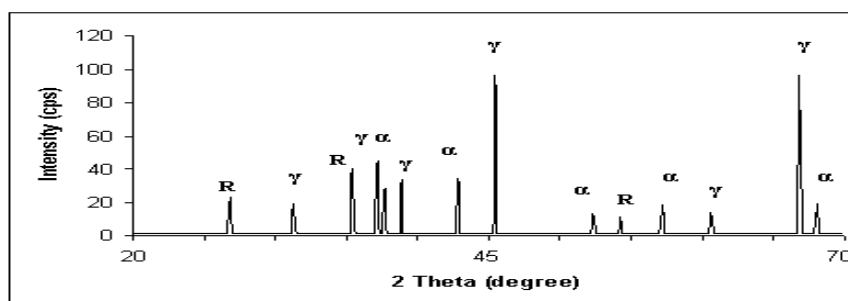
$$a = 7/943 \text{ \AA}^\circ \quad \text{و} \quad c = 23/5 \text{ \AA}^\circ$$

فاز آلفا فازی پایدار می باشد. فاز گاما فاز نیمه پایداری بوده و به علت آنکه فقط در هنگام ذوب پودر و
پاشش آنها بر روی سطح زیرلایه و نیز انجماد سریع آنها بوجود می آید در پور مصرفی یافت نمی شود.
از مقایسه ابعاد شبکه ای این دو فاز نتیجه می شود که فاز آلفا در صورت استحاله به فاز گاما با
افزایش حجم همراه است که ممکن است پوشش دچار ترک خوردگی شود زیرا پوشش های سرامیکی
فاقد انعطاف پذیری لازم هستند. همچنین به علت برقراری پدیده انجماد سریع، این استحاله
خیلی ناگهانی بوقوع می پیوندد و به احتمال فراوان، تنشهای حرارتی ایجاد شده که در اثر آن
ترکهای ریز میکروسکوپی بوجود می آیند.



(الف)

شکل ۲- الگوی پراش اشعه X مربوط به الف) پودر مصرفی و ب) پوشش



(ب)

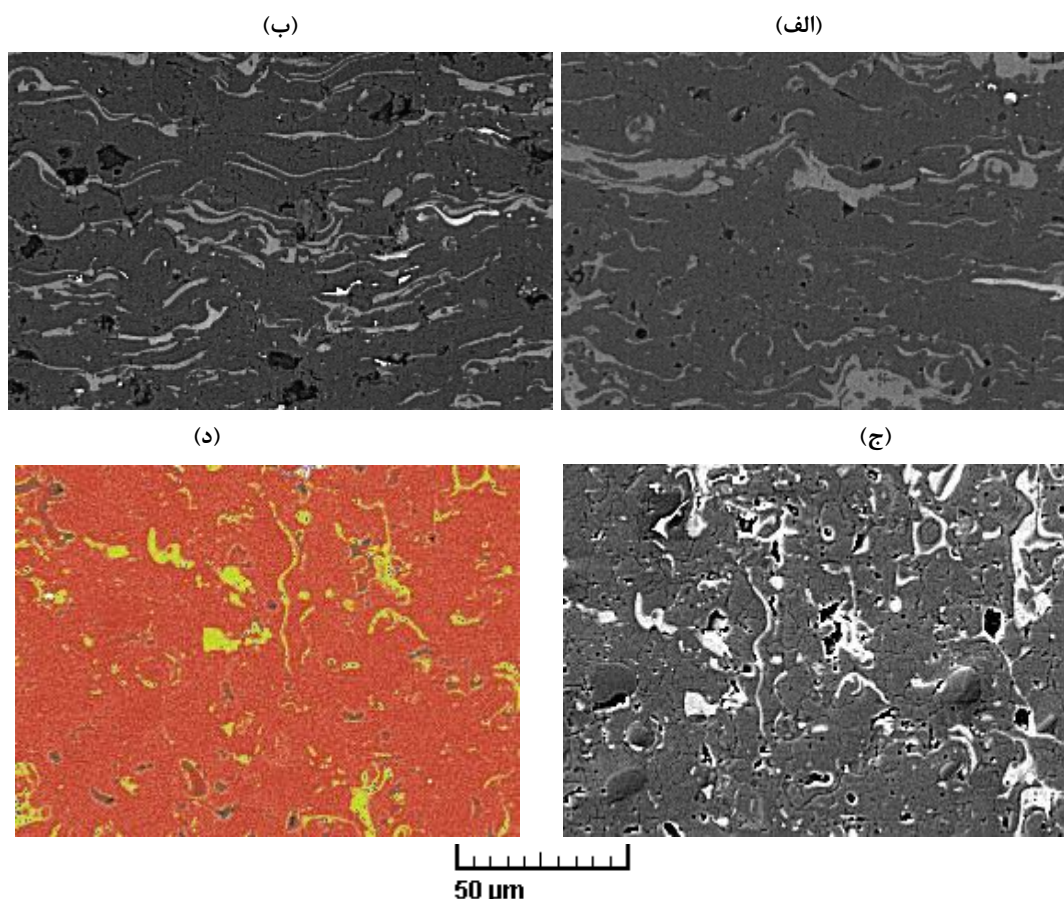
ادامه شکل ۲

با توجه به نقطه ذوب و سختی بالاتر فاز آلومینا نسبت به تیتانیا، وجود ذرات ذوب نشده یا نیمه ذوب شده آلومینا در پوشش سبب افزایش سختی آن می شود. ساختار کلیه پوشش ها لایه ای بوده و دارای عیوب ریزساختاری همچون حفره ها و تخلخل، میکروتکرک و ذرات ذوب نشده یا نیمه ذوب شده (ذرات کروی) می باشد. در شکل ۳ تصویر ساختار میکروسکوپی پوشش ها آورده شده است. شکل ۳- الف) و ب) به ترتیب ریزساختار مقطع عرضی (فصل مشترک) پوشش $Al_2O_3-13\% TiO_2$ را برای نرخ تغذیه ۲۰ و ۳۰ گرم بر دقیقه نشان می دهد) AT30 و AT20. در شکل ۳- ج) ذرات ذوب نشده یا نیمه ذوب شده آلومینا را بوضوح می توان مشاهده نمود. شکل ۳- د) تصویر میکروسکوپ نوری از مقطع پوشش $Al_2O_3-13\% TiO_2$ را برای نرخ تغذیه ۲۵ گرم بر دقیقه (AT25) که فازهای آن به کمک پردازشگر آنالیز تصویری رنگی شده است نمایش می دهد. نواحی زرد رنگ تصویر مربوط به فاز غنی از TiO_2 و نواحی قرمز رنگ مربوط به فاز غنی از Al_2O_3 می باشد.

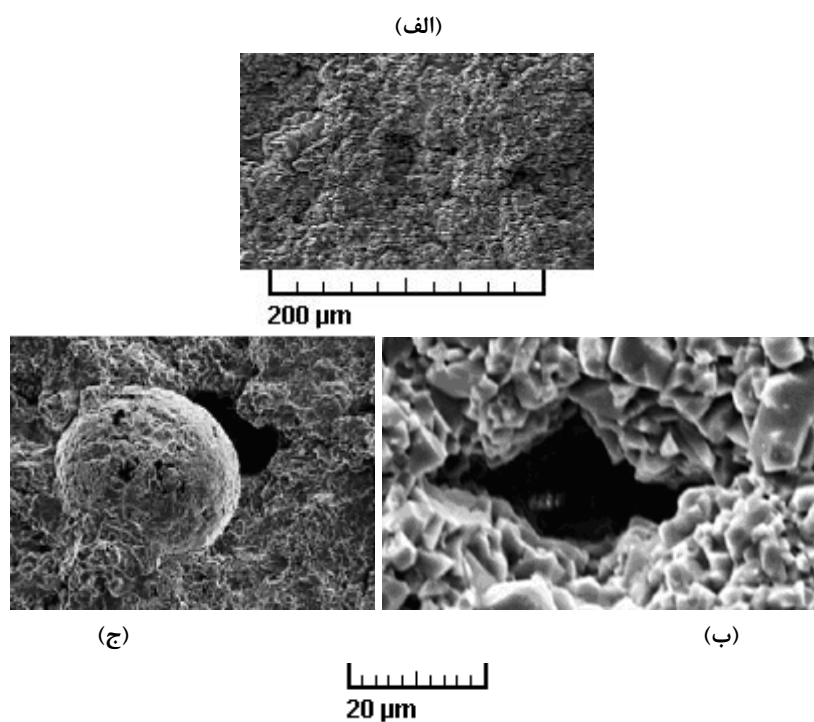
در جدول ۴ میزان سختی و استحکام چسبندگی پوشش ها نشان داده شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح سایش یافته پوشش AT25 در شکل ۴ آورده شده است. همچنین در شکل ۵ نمودارهای عمق متوسط سایش نمونه های پوشش داده شده برحسب زمان رسم گردیده است.

جدول ۴- سختی و استحکام چسبندگی پوشش ها

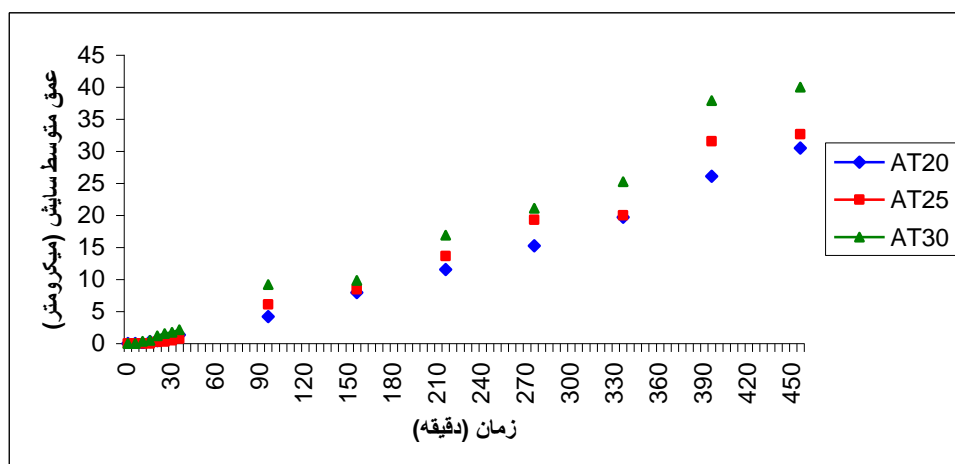
پوشش	میکرو سختی (HV ₃₀₀)	استحکام چسبندگی (MPa)
AT20	۱۰۵۰	۳۷/۴۱
AT25	۱۲۷۰	۳۴/۶۹
AT30	۸۹۰	۲۹/۲۴



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی الکترونی از ریزساختار (الف) مقطع عرضی پوشش AT20، (ب) مقطع عرضی پوشش AT30، (ج) ذرات ذوب نشده و نیمه ذوب شده آلومینا و تصویر نوری از مقطع پوشش AT25 (د)



شکل ۴- تصوير SEM از سطح پوشش AT25 (الف) بعد از ۲ ساعت، (ب) و (ج) بعد از ۶ ساعت



شکل ۵- نمودار عمق متوسط سایش نمونه های پوشش داده شده بر حسب زمان

تحليل يافته ها

همان طور كه شكل ۵ نشان مي دهد پوشش هاي AT20 و AT30 كمترين و بيشترين ميزان اتلاف جرم را دارا مي باشند كه به ترتيب متناظرند با كمترين و بيشترين مقدار نرخ تغذيه پودر. با افزايش نرخ تغذيه بر تعداد ذرات ذوب نشده و نيمه ذوب شده آلومينا در پوشش افزوده شده كه عدم پيوستگي لايه هاي پوشش و ايجاد حفره ها را در ريزساختار آن بدنبال دارد و سبب افت كيفيت خواص مكانيكي و مقاومت به كاويتاسيون پوشش مي گردد. در نتيجه اين عيوب ساختاري استحكام چسبندگي كاهش مي يابد. جدول ۴ مويد اين مطلب است؛ همان طور كه در اين جدول مشاهده مي گردد پوشش AT30 كمترين مقدار استحكام چسبندگي را داراست. علاوه بر اين با ازدياد ذرات ذوب نشده يا نيمه ذوب شده آلومينا و نيز حفره ها، زبري سطح بيشتر شده و پوشش در برابر كاويتاسيون آسيب پذيرتر مي گردد.

با توجه به شكل ۴- (ب و ج) مشاهده مي گردد كه مكانهاي مرجح براي حملات كاويتاسيون همين ذرات ذوب نشده و تخلخل ها هستند. در اين مكانها در نتيجه اضمحلال حباب و موج شوک توليدي، ميزان تمرکز تنش بالاست. با توجه به عدم انعطاف پذيري پوشش هاي سراميكي و در نتيجه اشاعه تركها در اين مكانها و رشد و پيشروي سريع آنها شكست بين دانه اي در ريزساختار را خواهيم داشت. با گذشت زمان، رفته رفته ذرات پوشش از سطح آن كنده شده و با اتلاف وزن مواجهه مي گرديم. با بررسي نمودارهاي سايش (شكل ۵) معلوم مي شود كه اتلاف جرم تمامي پوشش ها در مرحله اول كه به مدت زمان درنگ معروف است بسيار ناچيز است. در اين مرحله در نتيجه موج شوک و تنشهاي وارده سطح پوشش فقط با تغيير شكل پلاستيكي مواجهه مي گردد. در مرحله دوم با كنده شدن ذرات پوشش از سطح، نرخ اتلاف جرم افزايش يافته و زبري سطح بيشتر شده و سطح خشن ترمي گردد (شكل ۴- الف)).

همچنين جدول ۴ مشخص مي كند كه به طور كلي با افزايش سختي پوشش آلومينا- تيتانيا، مقاومت در برابر كاويتاسيون زياد مي شود. از آنجا كه با كاهش نرخ تغذيه پودر ميزان ناپيوستگي ها و حفرات در ساختار پوشش تنزل مي يابد، به ناچار بر سختي آن افزوده مي گردد. افزايش سختي پوشش AT25 نسبت به AT20 احتمالاً به دليل حضور بيشتر ذرات ذوب نشده آلومينا ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) مي باشد. همانطور كه قبل از اين گفته شد سختي فاز $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ از فاز $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ بيشتر است.

نتايج

- ۱- با کاهش نرخ تغذيه پودر كه افت عيوب ريزساختاري را به همراه دارد، مقاومت به كاويتاسيون پوشش نيز بيشتر مي شود.
- ۲- با توجه به وجود تمرکز تنش پيرامون ذرات ذوب نشده و نيمه ذوب شده و نيز تخلخل ها، ميزان سايش در اين نواحی جدی تر است.
- ۳- بيشترين مقدار مقاومت به كاويتاسيون همواره در سختی بالا حاصل نمی گردد. اين امر نشان می دهد كه سختی تنها عامل تعيين كننده مقاومت به كاويتاسيون نيست.

مراجع

- ۱- H. Jeffrey, K. Ashok, M. Patrick, W. Paul and H. Herbert, 'Cavitation- and Erosion-Resistant Coating', US Army Corps of Engineers, 1997.
- ۲- احمد ساعتچی، مهندسی خوردگی، ۱۳۸۰، اصفهان، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۳- R. Yilmaz, A. Kurt, A. Demir and Z. Tatli, 'Effects of TiO₂ on the mechanical properties of the Al₂O₃-TiO₂ plasma sprayed coating', journal of the European ceramic society, 27, 2007, 1319-1323.
- ۴- AMPTIAC Quarterly, 'navy experts explain the newest material & structural technologies', 2003, vol. 7.
- ۵- J. Clare, et al, thermal spray coatings, 1982, ASM metals handbook, vol. 15, 9th edition.
- ۶- Standard Test Method for Cavitation Erosion Using Vibratory Apparatus, 1998, ASTM American Society for Testing and Materials.
- ۷- W.J. Tomlinson, N. Kalitsounakism and G. Vekinis, 'Cavitation erosion of Al₂O₃', ceramics international, 25, 1999, 331-338.
- ۸- B. Normand, V. Fervel, C. Coddet and V. Nikitine, 'Tribological properties of plasma sprayed alumina-titania coatings', Surface and Coatings Technology, 123, 2000, 278-287.
- ۹- D. Matejka and B. Benko, Plasma Spraying of Metallic and Ceramic Materials, 1989, UK, Wiley.

Investigation of Cavitation Erosion of Plasma Sprayed Al₂O₃-13% TiO₂ Coating

B. Ghavidel¹: ghavidel.61@gmail.com

K. Jafarzadeh²

Z. Valefi³

Cavitation erosion of Alumina/ Titania composite coating has been investigated in this study. This coating was prepared by plasma spray on the surface of low carbon steel. Microstructure and morphology of the eroded coating were investigated by X-ray diffraction, optical microscopy and scanning electron microscopy. The cavitation test was carried out using an ultrasonic vibratory facility conforming to ASTM Standard G32. It was found that the mass loss began at the edges of the pores or the interface between un-melted or half-melted particles and the matrix in the coating. Mean Depth Erosion diagrams of coatings (in terms of time) indicate their cavitation erosion resistance.

Keywords: cavitation erosion, Alumina/ Titania, plasma spray

1- Student of M.S. of Malek Ashtar Industrial University –Tehran

2- Ph.D. of Malek Ashtar Industrial University

3- Student of Ph.D. of Tehran University