



بررسی اثر شرایط سطحی بر رفتار سایش آلیاژ Al-Si یوتکتیک LM13 (آلیاژ پیستون)

یزدان شجری^۱، وحید ابویی مهریزی^۲، محمد تلافی نوغانی^۳

^۱. دانشجوی کارشناسی ارشد شناسایی و انتخاب مواد مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

^۲. استادیار گروه مهندسی مواد دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

^۳- استادیار گروه مهندسی مواد دانشگاه بین المللی امام خمینی

چکیده

در این تحقیق برای بررسی اثر ذرات سایشی و تاثیر زدودن آنها بر نرخ سایش از دستگاه pin-on-disk با سرعت لغزشی 0.17 m/s و تحت بار نرمال 3kg بدون حضور روان ساز (سایش خشک) استفاده شده است. سطوح سایشی آلیاژ یوتکتیک آلومنیوم سیلیسیم LM13 و فولاد ابزار به ترتیب برای پین و دیسک انتخاب شده بودند. برای این کار سه آزمایش بدون توقف، با توقف و توزین ذرات بدون شستوشو و با شستوشو با امواج التراسونیک انجام شد. نتایج حاکی از آن بود که تشکیل و حذف لایه تریبولوژیکی نرخ سایش را کنترل می کند. بررسی و تحلیل نتایج نشان داد که وجود ذرات نرخ سایش را کمتر می کند و حذف ذرات باعث شدید شدن رژیم سایشی در اثر تماس مستقیم و چسبنده فلز با فلز می شود و نرخ سایش را به میزان 35.72% در مقایسه با حالت بدون توقف افزایش می دهد و در حالت با توقف نرخ سایش به میزان 5.36% در مقایسه با حالت بدون توقف کاهش می یابد.

واژه‌های کلیدی: Pin-on-disk، التراسونیک، لایه تریبولوژیکی، ذرات سایشی، آلیاژ lm13، نرخ سایش

^۱. Yazdan.shajari@yahoo.com

مقدمه

یکی از اصلی ترین رژیم های سایشی در آلیاژهای Al-Si در معرض سایش خشک، رژیم سایشی ملایم است که آن را به اکسیداسیون سطحی و حضور لایه اختلاط مکانیکی نسبت می دهند [۱ و ۲]. تشکیل لایه اختلاط مکانیکی (لایه تریبولوژیکی) به جهت حفاظت از تخریب ناگهانی مطلوب کاربر است. در تحقیقات گزارش شده از سایش ملایم آلیاژهای Al-Si به عنوان بریدن یا سایش فلزی، خراشیدگی و قبل شدن دانه ها یاد می شود [۶-۲].

سایش شدید با توجه به سطح درخشان و تغییر شکل شدید در سطح توصیف می شود. خراشیده شدن یک سطح با افزایش زیاد نرخ سایش در یک بار بحرانی مرتبط است که با سطحی ناشی از جوش خوردن ذرات سایشی به آن همراه است [۷]. راینویچ^۱ [۸] تخریب ناگهانی را به تخریب ناشی از اصطکاک و پدیده گالینگ تقسیم بندی کرد. تخریب اول زمانی رخ می دهد که نیروی اصطکاک بیشتر از نیروی محرکه باشد و باعث توقف لرزش گردد، در این مورد آسیب جدی روی سطح دیده نمی شود. اما تخریب ناشی از پدیده گالینگ به دلیل افزایش شدید نرخ سایش است که آن را با یک افزایش ناچیز در متغیرهای خارجی مرتبط می دانند و از علایم آن آسیب گسترده سطحی است.

شواهد زیادی مبنی بر اینکه نرخ سایش آلیاژهای صنعتی به ذرات سایشی وابسته است وجود دارد [۲]. تشکیل شدن، آگلومره شدن و فشردن شدن این ذرات سایشی از مراحل اصلی تشکیل لایه تریبولوژیکی است [۲ و ۹]. بیشترین بررسی سایش خشک آلیاژهای آلومینیوم به وسیله تجزیه و تحلیل اثر عناصر مختلف مور تحقیق قرار گرفته است، لذا تمرکزی بر روی تمیز کردن دوره ای این ذرات توسط امواج التراسونیک بر رفتار سایشی آلیاژهای Al-Si وجود نداشته است. این مقاله با هدف مطالعه تفاوت رفتار سایشی در اثر تمیز کردن ذرات به وسیله امواج التراسونیک ارایه شده است.

مواد و روش تحقیق

در این تحقیق از روش Pin-On-Disk برای تست سایش استفاده شده است. نمونه سایشی این آزمایش از جنس آلیاژ یونکتیک Al-Si در ابعاد (5mm×5mm×10mm) به عنوان Pin و فولاد ابزار سخت شده به طول 60mm و ضخامت 10mm به عنوان دیسک انتخاب شدند. در تحقیق حاضر آزمون تحت بار نرمال 3Kg با سرعت ثابت 0.17m/s در زمان یک ساعت انجام شد.

به جهت بررسی اثر تمیز کاری به وسیله التراسونیک بر رفتار سایشی، سه نوع آزمایش انجام شد. در آزمایش اول، آزمون سایش به صورت مداوم و بدون تمیز کاری به عنوان نمونه A1 انجام شد. نمونه A2 در دوره زمانی پانزده دقیقه ای متوقف و بعد از توزین بدون تمیز کاری توسط التراسونیک تحت آزمون سایش قرار داده شد. در آخر نمونه A3، این نمونه قبل از شروع تست به جهت حذف آلاینده ها توسط حمام التراسونیک مورد تمیز

کاری قرار گرفت، پس از آن بعد از هر پانزده دقیقه تست متوقف شده و با طی کردن مراحل توزین و تمیزکاری توسط حمام التراسونیک مجدداً مورد تست قرار گرفته است. دلیل این کار ایجاد شرایط مشابه برای نمونه های A2 و A3 به جهت بررسی اثر حمام التراسونیک در شرایط مشابه بود. این آزمایشات در اتمسفر هوا با رطوبت نسبی $40 \pm 2\%$ و در دمای اتاق انجام شد. در این پژوهش برای بررسی های مورفولوژیکی سطوح فرسوده و ذرات سایشی باقی مانده در طول سایش و همچنین مشخصه یابی های لازم برای ترکیبات از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به طیف سنجی انرژی اشعه ایکس (EDS) استفاده شده است.

نتایج و بحث

بدیهی است که در بحث سایش وزن یا حجم از دست رفته با مسافت طی شده متناسب است [۱۰]. در شکل ۱ یک مقایسه بین وزن از دست رفته در حات های A1، A2 و A3 نشان داده شده است. میتوان مشاهده کرد که بیشترین وزن از دست رفته مربوط به حالت A3 است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که تمیز کردن ذرات سایشی از روی سطح یک اثر مضر بر رفتار سایشی آلیاژها دارد. شکل ۲ نرخ های متفاوت سایش را در حالت های A1، A2 و A3 به عنوان تابعی از مسافت تحت بار نرمال ثابت و سرعت ثابت نمایش می دهد. از آغاز تست تا طی کردن مسافت 153m، نرخ سایش حالت A3 بالاتر از نرخ سایش حالت A2 است که این دلیلی جز تمیزکاری التراسونیک ندارد. این موضوع نشان دهنده اثر تمیز کردن بر کاهش زبری سطح است [۱۱]. نکته قابل ذکر دیگر در شکل ۲ ایجاد یک منطقه پایدار در حالت A2 پس از طی کردن یک دوره خاص است، با وجود عدم مشاهده این پایداری در حالت A3 یک روند انتقال با سرعت کم از نرخ سایش ملایم به شدید دیده می شود. وجود این حالت پایدار به حضور لایه تریبولوژیکی نسبت داده می شود. هنگامی که این حالت پایدار بعد از یک مسافت یا زمان خاص مشخص ایجاد می شود که نرخ تشکیل و از بین رفتن این لایه برابر باشد. در نتیجه ضخامت لایه اختلاط مکانیکی مستقل از زمان و مسافت لغزش خواهد بود [۹].

در سطح تمام پین ها شیارهایی دیده می شود که ناشی از شخم زدگی توسط سیلیسیوم یوتکتیک است. علاوه بر این، مکانیزم های تخریبی دیگری از قبیل میکرو ترک ها و حفره ها روی سطح مشاهده می شوند. در شکل ۳ سطح پین از جنس آلیاژ Al-Si نشان داده شده است که شامل دو منطقه صاف (نشان داده شده در قسمت a) و حفره ای (نشان داده شده در قسمت c) می باشد. تنش های مماسی بالا ایجاد شده در سطوح لغزشی در حین لغزش جوانه زنی ترک و تغییر شکل زیر لایه را در پی دارد. تنش مشتق شده روی سطح در طول لغزش می تواند منجر به تضعیف لایه تریبولوژیکی، ورقه ورقه شدن و در نهایت شکستن لایه تریبولوژیکی و فیم اکسیدی گردد، که این سلسله تغییرات ورود به منطقه حفره ای را در پی دارد [۱۲].

در شکل ۳ قسمتهای a و c به خوبی قابل رویت است که ذرات هم محور عمده در مناطق حفره ای حضور دارند. نتایج بررسی های دقیق مناطق حفره ای توسط SEM و EDS نشان دادند که ذرات هم محور حالت

های A2 و A3 مشخصه مشابهی دارند. این موضوع نشان می دهد که تمیز کاری التراسونیک اثر چندانی بر مناطق حفره ای ندارد. در شکل ۳ نشان داده شده است که نقش تمیز کاری التراسونیک در از بین بردن ذرات سایشی منطقه صاف پر رنگ است. با این حال، برخی از ذرات سایشی در حالت A3 در شیار باقی می ماند. در شکل ۴a و ۴b نشان داده شده است که مناطق صاف پین در حالت های A1 و A2 عمدتاً توسط برخی از ذرات پوشش داده می شوند. در جدول ۳ نتایج EDS نشان می دهد که ذرات ساییده شده حاوی مقدار مشخصی آهن، آلومینیوم، سیلیسیم و اکسیژن هستند. ذرات سایشی نقش مهمتری نسبت به سطح در تشکیل ایه تریبولوژیکی دارند. به طور کلی در طول لغزش ذرات سایشی باقی مانده توسط حرکت نسبی تحت بار تولید می شوند. اگرچه برخی به علت ساییدگی از دست داده می شوند، برخی دیگر نگه داشته می شوند، این ذرات توسط تغییر فرم پلاستیک و شکستگی های مکرر حین لغزش و حرکت آزادانه سطوح نسبت به هم تولید می شوند. سایز این ذرات طی لغزش کاهش می یابد، این ذرات در مناطق خاصی آگلومره می شوند (به خصوص در شیارها)، با توجه به نیروی چسبندگی بین سطوح جامدات ناشی از انرژی سطحی و توسعه لایه فشرده شده در نهایت پس از تحم بار لایه تریبولوژیکی تشکیل می شود [۱۳].

با توجه به شکل ۴c در حالت A3 ذرات سایشی در مناطق صاف بسیار کمتر از حالت های A1 و A2 است. در حالت A3 ذرات سایشی به سطوح متصل نیستند و انتقال از سایش شدید به ملایم بر اساس شکل ۴c و شکل ۲ اتفاق نمی افتد. این موضوع نشان از اهمیت فرآیند اتصال ذرات سایشی در انتقال سایش شدید به ملایم دارد. مراحل این انتقال عبارتند از:

الف) تشکیل ذرات سایشی،

ب) اتصال این ذرات به سطح

ج) گسترده شدن این ذرات بر روی سطح سایش [۱۴].

بنابراین، ذرات سایشی کافی برای تشکیل لایه تریبولوژیکی وجود ندارد. در نتیجه به دلیل تماس مستقیم بین دیسک و پین میزان آسیب سایشی بالاتر است. این عمر هم قابل توجه است که توزیع ذرات سایشی و ضخامت لایه تریبولوژیکی در مناطق صاف به صورت یکنواخت رخ نمی دهد.

شکل ۵a و ۵b دو نوع مورفولوژی ذرات سایشی باقی مانده جمع آوری شده در حالت های A1 و A2 را نشان می دهد. الف) ذرات بسیار ریز هم محور که آگلومره شده اند، ب) ذرات صفحه ای شکل که از لایه لایه شدن لایه تریبولوژیکی در طول لغزش در حالت های A1 و A2 تولید شده اند. جدول ۴ ترکیب شیمیایی ذرات سایشی باقی مانده را نشان می دهد، نتایج بررسی ها نشان از آن دارد که ترکیب شیمیایی آنها به آنالیز شیمیایی سطوح فرسوده شرح داده شده در جدول ۳ نزدیک است.

در حالت A3 که در شکل ۵c مخلوطی از ذرات ریز هم محور و ذرات صفحه ای شکل به عنوان ذرات سایشی باقی مانده با مشخصه فلزی نشان داده شده است. جدول ۴ نشان می دهد ذرات صفحه ای شکل که در حالت A3 به صورت یکنواخت از سطح آلیاژ حذف شده اند و این موضوع به دلیل شباهت بین آنالیز عنصری پین و

ذرات باقی مانده است. به طور کلی، ذرات باقی مانده سایشی از لایه لایه شدن پلاستیک یا انتقال مواد تخریب شده شکل می گیرد [۱۵]. بسط و اتصال ترک در حین لغزش می تواند منجر به لایه لایه شدن ذرات سایشی فلزی از سطح گردد.

در شکل ۶a و ۶b تصویر ریز ساختاری زیر لایه در حالت A1 و A2 نشان داده شده است. در این مورد یک لایه سطحی با ریز ساختار متفاوت نسبت به زیر لایه تشکیل شده است که آن را لایه اختلاط مکانیکی می نامند. ضخامت لایه ها به دلیل ذرات باقی مانده سایشی نزدیک به هم است. ضمناً گسترش ترک در لایه ها و تغییر فرم پلاستیک در زیر لایه های فلزی به عنوان منطقه دوم مشاهده شد، منطقه سوم منطقه تغییر فرم نیاته است. شکل ۶ نشان می دهد که زیر لایه در حالت A3 شامل مناطق شکسته شده، تغییر فرم یافته و تغییر فرم نیافته است. بر اساس این تصاویر، می توان نتیجه گرفت که سایش با نرخ شدید در این حالت رخ داده است چرا که از بین رفتن ذرات سایشی باعث کاهش توانایی در تشکیل لایه تریبولوژیکی شده است. حضور شکسته های تغییر فرم یافته در زیر لایه در این تصویر ریز ساختاری می تواند اثبات این ادعا باشد. روشن است که رژیم سایشی شدید زمانی آغاز می شود که زیر لایه در آستانه تغییر فرم پلاستیک قرار گیرد [۱۶]. در این مورد، نرم شدن مواد نزدیک به سطح به خاطر تماس مستقیم بین فلزات و درجه حرارت بالا در فصل مشترک ها در گسترش منطقه پلاستیک مور است [۱۷]. معمولاً وقتی کل سطح ظاهری پوشیده می شود، میزان تغییر فرم تغییر میکند از زبری به سطح تماس ظاهری در نتیجه نرخ سایش شدید و تخریبی می شود [۱۸]. از طرفی دیگر دمای نزدیک به سطح ممکن است به اندازه کافی بالا رود و مقاومت برشی یک ناحیه از زیر سطح را کاهش می دهد که این امر گسترش برشی در صفحات موازی با سطح را در پی دارد؛ سپس در عمق معینی برش در ناحیه و سپس در ابعاد کلانی به منظور مقابله با تکه تکه شدن، سخت شدن یا ورقه ای شدن رخ می دهد [۱۶].

نتیجه گیری

از بررسی های انجام شده در تحقیق حاضر نتیجه گیری های ذیل حاصل گردید:

- ۱- شستوشو در حمام اتراسونیک منجر به حذف مقادیر زیادی از ذرات سایشی در منطقه صاف می شود.
- ۲- حالت A3 به دلیل تماس مستقیم سطوح و عدم وجود ذرات سایشی بیشترین نرخ سایش را دارا می باشد.
- ۳- تمیزکاری توسط اتراسونیک باعث رژیم شدید سایشی و تخریب ناگهانی می شود.
- ۴- نرخ سایشی در حالات A1 و A2 با تشکیل و حذف مکرر لایه تریبولوژیکی کنترل می شود.
- ۵- در حالت A2 به دلیل برابری نرخ تشکیل و حذف لایه تریبولوژیکی شاهد یک حالت پایدار در لغزش هستیم.

- [1] Elmadagli M, Perry T, Alpas AT. A parametric study of the relationship between microstructure and wear resistance of Al-Si alloys. *Wear* 2007; 262: 79–80.
- [2] Clarke J, Sarkar AD. Wear characteristics of as-cast binary aluminium-silicon alloys. *Wear* 1979; 54: 7–16.
- [3] Shivanath R, Sengupta PK, Eyre TS. Wear of aluminium-silicon alloys. *The Br Found* 1977; 70: 349 –356.
- [4] Jaleel TK. A, Raman N, SK. Biswas , Murphy KSS. Effect of structural modification and load on the wear of a Hypereutectic Aluminum-Silicon Alloy. *Aluminium* 1984; 60: 787.
- [5] Rohatgi PK, Pai BC. Effect of microstructure and mechanical properties on the seizure resistance of cast aluminium alloys. *Wear* 1974; 28: 353-367.
- [6] Das S, Prasad SV . Ramachandran TR. Tribology of Al-Si alloy graphite composites: triboinduced graphite films and the role of silicon morphology. *Mater Sci Eng A* 1991; 138: 123-132.
- [7] Dyson A. scuffing-a review. *Ttibo Int* 1975; 8: 77-87.
- [8] Rabinowicz E. Friction seizure and galling seizure. *Wear* 1973; 25: 357-363.
- [9] Venkatraman B, Sundararajan G. Correlation between the characteristics of the mechanically mixed layer and wear behavior of aluminium Al-7075 alloy and Al-MMCs .*Wear* 2000;245: 22–38.
- [10] Kori SA, Chandrashekharaiiah TM. Studies on dry sliding wear behavior of hypoeutectic and eutectic Al-Si alloys. *Wear* 2007; 263: 745-755.
- [11] Gohar R, Rahnejat H. *Fundamental of Tribology* London: Imperical college Press; 2008.
- [12] Abouei V, Shabestari SG, Saghafian H. Effect of Fe-Rich Intermetallics on the Wear Beheaviour of Eutectic Al-Si Piston Alloy (LM13). *Mater Charact* 2010; 61: 1089-1096.
- [13] Stott FH. the role of oxidation on the wear of alloys. *Tribo Int* 1998; 31: 61-71.
- [14] K n'ichi H, K n'ichi M, Role of wear particles in sever-mild wear transition. *Wear* 2005; 259:467-476.
- [15] Deuis Rl, Subramanian C, Yellupb JM. Role of A193 fiber in eutectic Al-Si alloy. *Comp Sci and Technol* 1997; 57:415-435.

[16] Somi Reddy A, Pramila Bai BN, Murthy KSS, Biswas SK. Wear and seizure of binary Al-Si alloys. Wear 1994; 171: 122.

[17] Tsunamitsu N. A model of seizure based on Burwell and Strang's concept of wear mode transition. Life Cycle Tribology 2005; 880: 547-553.

[18] Burwell JT, Strang CD. On the Empirical Law of Adhesive Wear. J Appl. Phys 1952; 23: 18-28.

جداول و شکل ها

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ مورد استفاده در تحقیق (Wt.%).

عنصر	Si	Fe	Ni	Cu	Mg	Zn	Al
درصد وزنی	12.64	0.41	1.1	1.01	0.98	0.018	Base

جدول ۲- آنالیز شیمیایی منطقه حفره ای شده.

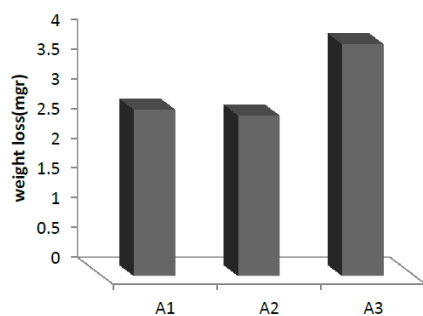
حالت تست	عنصر (at%)			
	Al	Si	O	Fe
A1	67.10	8.49	19.59	4.79
A2	64.74	7.18	12.59	14.22
A3	71.35	10.97	10.24	7.20

جدول ۳- آنالیز شیمیایی منطقه صاف.

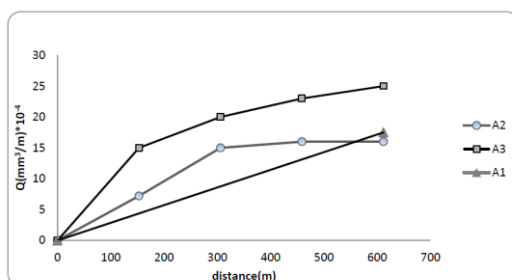
حالت تست	عنصر (at%)			
	Al	Si	O	Fe
A1	77.88	13.87	4.56	6.36
A2	71.74	11.90	4.33	12.44
A3	80.74	12.18	0.7	3.88

جدول ۴- ترکیب شیمیایی ذرات باقی مانده سایشی در حالت های A1، A2 و A3.

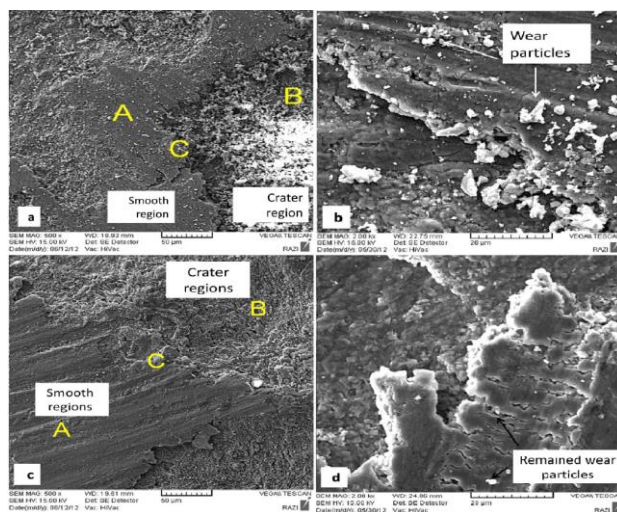
حالت تست	عنصر (at%)			
	Al	Si	O	Fe
A1	66.42	11.44	10.48	8.29
A2	70.29	8.54	7.08	9.44
A3	79.16	10.80	2.07	3.66



شکل ۱- مقایسه وزن از دست رفته در حالت های A1، A2 و A3.

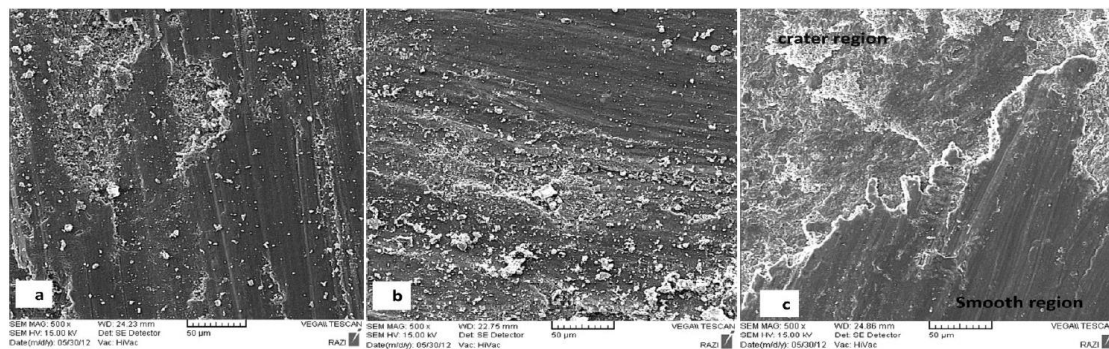


شکل ۲- نرخ های متفاوت سایش در فواصل گوناگون در حالت های A1، A2 و A3.

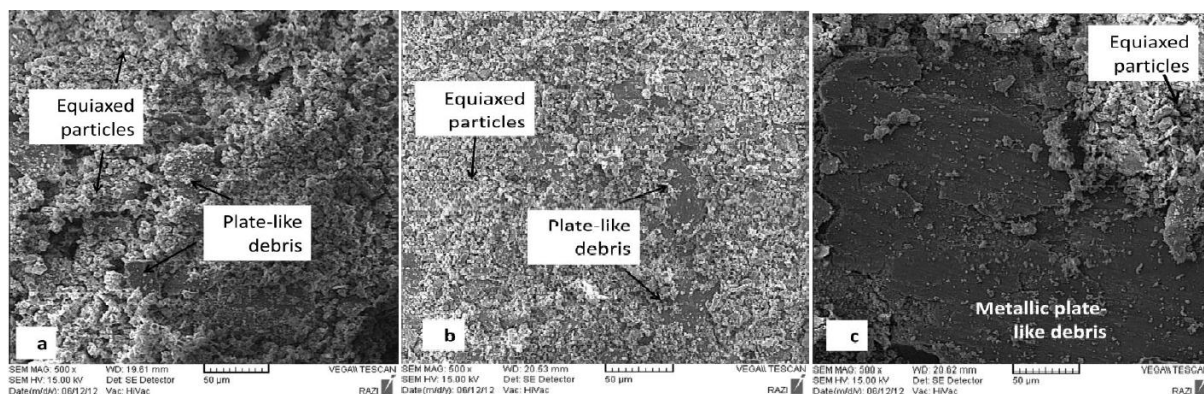


شکل ۳- تصویر میکروسکوپی SEM از سطح سایش یافته (a) حالت A2، (b) بزرگنمایی بزرگتر حالت a. (c) حالت A3، (d) بزرگنمایی بزرگتر حالت c.

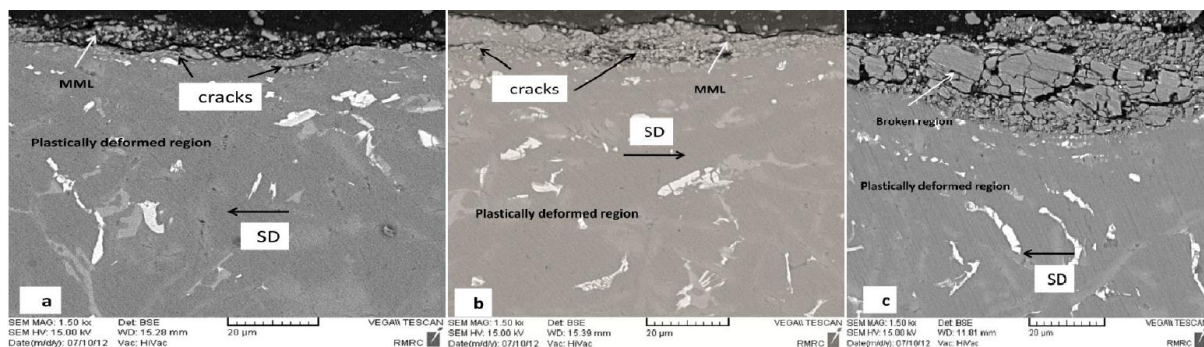
شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح



شکل ۴- توزیع ذرات سایشی در منطقه صاف؛ (a) حالت A1، (b) حالت A2 و (c) حالت A3.



شکل ۵- تصویر ریز ساختاری SEM ذرات سایشی باقی مانده؛ (a) حالت A1، (b) حالت A2 و (c) حالت A3.



شکل ۶- مقطع طولی از سطح ساییده شده در حضور لایه اختلاط مکانیکی و تیغیر فرم در (a) A1، (b) A2 و (c) A3.