

تأثیر شرایط به هم زدن حمام الکترولس روی کیفیت پوشش های ضد اصطکاک کامپوزیتی نیکل، فسفر، سولفور مولیبدن

محمود منیر واقفی*، احمد ساعتچی** و جلال حجازی***

دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۷۴/۲/۶ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۷۵/۳/۲۰)

چکیده - به دلیل خواص مناسب سولفور مولیبدن از نظر قابلیت خود روغنکاری و پایداری در دماهای نسبتاً بالا، این ماده جانشین مناسبی برای ایجاد کامپوزیت نیکل فسفر با ذرات مختلف مثل گرافیت، تفلون، برای کاربردهای ضد اصطکاک است [۱]. از آنجاییکه شناور کردن ذرات سولفور مولیبدن (MoS_2) در حمام الکترولس برای نشان دادن ذرات روی زمینه ضروری است لذا این مقاله در برگیرنده تأثیر عوامل مختلف به هم زدن روی کیفیت پوشش کامپوزیتی نیکل، فسفر، سولفور مولیبدن ($Ni-P-MoS_2$) است. این بررسیها عمدتاً بر پایه اندازه گیری سرعت رسوب آنالیز نیکل، فسفر، سولفور مولیبدن، آزمایشهای سختی، متالوگرافی و توپوگرافی سطح توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بوده است. برای به هم زدن حمام از روشهای مغناطیسی و دمش گاز (هوا، اکسیژن، ازت) استفاده شد.

نتایج نشان می دهد گرچه به هم زدن حمام برای شناور کردن ذرات سولفور مولیبدن ضروری است. اما با افزایش سرعت به هم زدن، سرعت رسوب کاهش و در نتیجه زمان لازم برای اجرای فرآیند به طور فزاینده ای افزایش می یابد. از طرفی از میان روشهای به هم زدن، دمش هوا عملکرد نسبتاً مطلوبی از نظر سرعت رسوب، یکنواختی توزیع ذرات سولفور مولیبدن، پایداری حمام و توپوگرافی سطح از خود نشان داد.

The Effects of Agitation on the Properties of Antifriction Ni-P-MoS₂ Composite Coatings

M. Monir-Vaghefi, A.Saatchi and J.Hejazi

University of Science and Technology, Isfahan University of Technology

ABSTRACT- In this work the effects of various methods of agitation on the properties of electroless Ni-P-MoS₂ composite coatings were investigated. Magnetic stirring as well as purging the solution with gas (Air, Oxygen, Nitrogen) were used. Plating rate, chemical composition, MoS₂ distribution, and hardness of the deposit were measured. Topography of coating was studied with metallography and scanning electron microscopy. It was concluded that purging the solution with air produced optimum results, i.e. high rate of deposition, uniform distribution of MoS₂ particles and appropriate surface morphology.

* دانشجوی دکترا ** دانشیار *** استاد

سولفورمولیبدن (MoS_2) دارای ساختار هگزاگونال بوده و یکی از جذابترین مواد در میان روغنهای جامد است [۲] که می‌تواند در پوششهای نیکلی به شکل ذرات وارد شود. بدین ترتیب پوشش دارای خواص ضد اصطکاکی می‌شود. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سولفورمولیبدن به کار رفته در آزمایشها در شکل (۱) نشان داده شده است. سولفورمولیبدن با استحکام کششی فوق العاده می‌تواند در اتمسفر و حتی در خلأهای نسبتاً پایین به عنوان عامل کاهش دهنده اصطکاک به ویژه در ماشینهای فضایی و یا در شرایط تابشهایی همچون γ در نیروگاههای اتمی عمل کند در حالی که روغنهای غیر جامد فاقد چنین پایداری در شرایط فوق هستند [۳].

اطلاعات کمی در زمینه تأثیر به هم زدن حمامهای الکترولس در دسترس است. احتمال می‌رود سرعتهای نفوذی بیشتر و جابه‌جایی بهتر هر دو امکان واکنش یونها و ذرات سولفورمولیبدن در نزدیکی سطح قطعه تحت پوشش را فراهم آورد [۴ و ۵] ضمن اینکه محصولات واکنش نیز از سطح دور می‌شوند.

در حمامهای جدید الکترولس پمپ کردن محلول و فیلتر کردن آن به منظور بهبود عملکرد حمام صورت می‌گیرد تا کوچکترین ذرات خصوصاً آهن، نیکل و مس در اندازه‌های میکرون از حمام خارج و کیفیت حمام به حالت اولیه برگردد [۶]. چنین شرایطی دقیقاً مخالف اجرای فرایند پوششهای کامپوزیتی الکترولس نیکل، فسفر است زیرا در این سیستمها، عامل مورد نظر برای ایجاد پوشش



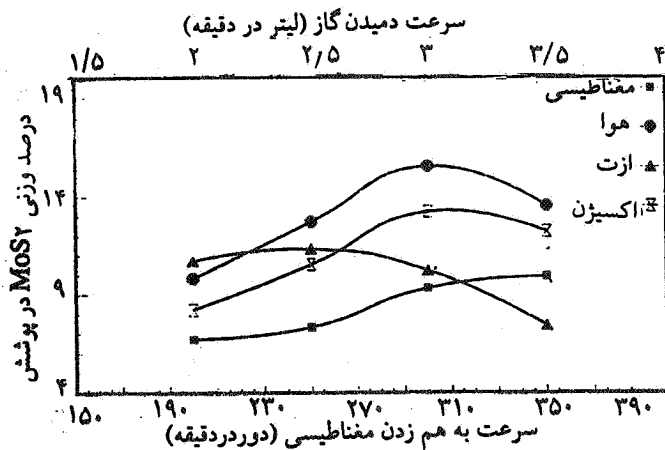
شکل ۱- تصویر SEM از سولفورمولیبدن به کار رفته در آزمایشها

کامپوزیتی، مثلاً "سولفورمولیبدن، به صورت پودر عمداً به محلول اضافه می‌شود. بنابراین ذراتی که به عنوان تغییر دهنده خواص پوشش در حمام وارد می‌شوند بایستی کاملاً خنثی باشند [۷]. گرچه سولفورمولیبدن از نظر خنثی بودن مطلوب است ولی وجود ناخالصیها حتی در حد بسیار اندک معمولاً اجتناب ناپذیر است. ضمن اینکه خطر رسوب ذرات نیکل و ترکیبات نیکل فسفر در طول عملیات حمام وجود داشته و پیچیدگی کار با حمامهای با ذرات شناور سولفورمولیبدن را دو چندان می‌کند. بدین لحاظ از تجهیزات ویژه‌ای برای آبکاری کامپوزیتی استفاده می‌شود. به کارگیری فیلترهای کیسه‌ای برای خارج کردن ذرات با اندازه‌های بیش از ۷۰ میکرون در طول عملیات لازم است. حرارت دادن بایستی از داخل یا خارج حمام همراه با پمپهای مخصوص اعمال شود. طراحیهای فوق العاده مؤثر خطر ایجاد "نقاط گرم" را کاهش می‌دهد ضمن اینکه دست و پاگیر بودن گرمکنهای فرورونده متداول رانسوز حذف می‌کند. در حال حاضر حمامهای تجارتي اسیدی را می‌توان در حالی که ذرات خنثی در آن شناورند به وسیله عوامل احیاء کننده، کمپلکس کننده و با فرآیند نظر PH و پایداری مرتباً کنترل کرد. در این مقاله تأثیر نوع به هم زدن، سرعت به هم زدن، مقدار سولفورمولیبدن در حمام، زاویه استقرار نمونه در حمام در شرایط یکسان دما، زمان و PH روی خواص پوشش منجمله ضخامت، سختی، ترکیب و توپوگرافی سطح پوشش مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲ - آزمایشها

نمونه‌ها از فولادهای ساده و زنگ نزن انتخاب شدند و پس از آماده کردن، سطح تحت عملیات چربی‌زدایی و شستشوی لازم قرار گرفت و سپس در یک حمام الکترولس نیکل، فسفر تجارتي اسیدی به مدت ۵ دقیقه پوشش اولیه داده شد و کلیه نمونه‌ها به حمام الکترولس کامپوزیتی که در آن ذرات سولفورمولیبدن شناور بودند منتقل شدند. قبل از اضافه کردن ذرات سولفورمولیبدن به حمام، ذرات با استن آزمایشگاهی شستشو و سپس در محلول ۵ درصد اسید نیتریک گرم، برای خروج ناخالصیهای آلی قرار گرفتند. سپس ذرات مجدداً شسته، فیلتر و خشک شدند.

برای اندازه‌گیری ضخامت از تغییرات ابعادی به وسیله



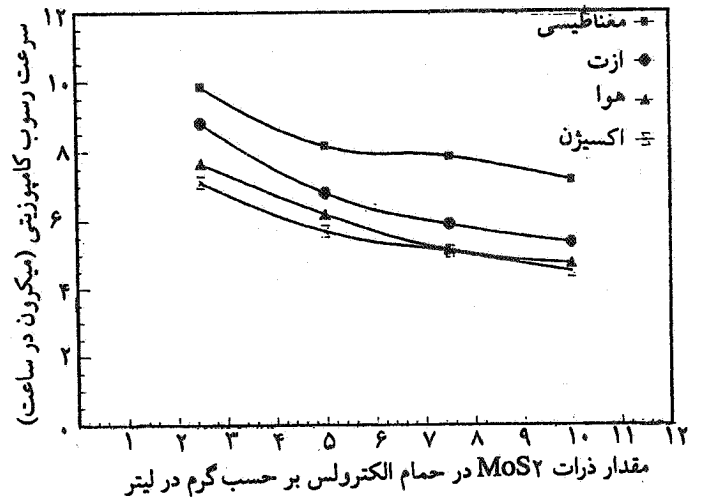
شکل ۳- تأثیر سرعت به هم زدن حمام روی درصد وزنی MOS_2 در پوشش کامپوزیتی $Ni-P-MOS_2$ در حمامی با بارگذاری ۵ گرم در لیتر MOS_2 در پوشش

دقیقه ثابت در نظر گرفته شد. گاز قبل از ورود به حمام تا ۵۰ درجه سانتی گراد گرم شد. زمان اجرای فرایند در هر آزمایش ۴ ساعت بود. نتایج به وسیله تغییرات ضخامت بر حسب زمان در شکل (۲) نشان داده شده است. ملاحظه می شود سرعت رسوب پوشش با افزایش میزان بارگذاری در همه روشهای به هم زدن کاهش یافته است.

۲-۳- تأثیر میزان به هم زدن حمام الکترولس روی مقدار سولفور مولیبدن در پوشش

ذرات سولفور مولیبدن یک ساعت قبل از شروع کار حمام در دمای محیط در مقادیر مورد نظر به حمام تازه اضافه شدند و با روشهای به هم زدن مغناطیسی، دمیدن با هوا، اکسیژن و ازت به منظور توزیع یکنواخت ذرات شناور شدند. مقدار سولفور مولیبدن در حمام ۵ گرم در لیتر انتخاب شد. نتایج مطابق شکل (۳) به دست آمد. ملاحظه می شود افزایش سرعت به هم زدن در تمامی روشهای به هم زدن به جز روش به هم زدن با گاز ازت منجر به افزایش درصد سولفور مولیبدن در پوشش می شود.

۳-۳- تأثیر میزان به هم زدن حمام الکترولس با هوا روی مقدار سولفور مولیبدن در پوشش تحت زوایای مختلف استقرار نمونه در حمام یک ساعت قبل از شروع کار، به میزان ۱۰ گرم در لیتر ذرات



شکل ۲- تأثیر میزان بارگذاری ذرات MOS_2 در حمام روی سرعت رسوب مقدار ذرات MOS_2 در حمام الکترولس بر حسب گرم در لیتر

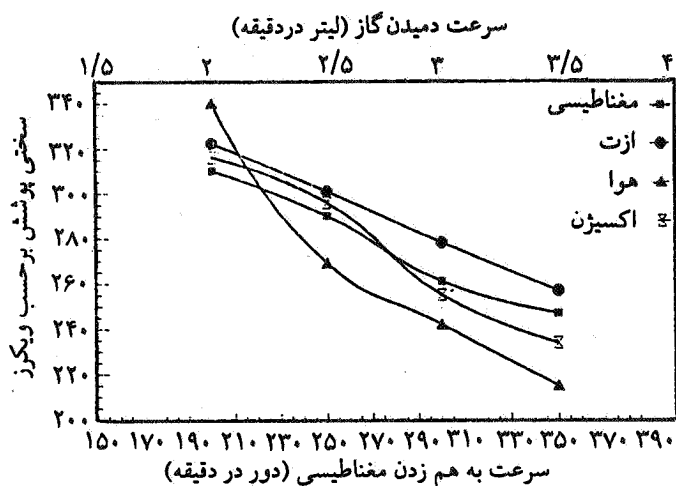
میکرومتر یا از تغییرات وزنی به وسیله ترازوهای دقیق و از میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکپ نوری برای بررسیهای توپوگرافی و متالوگرافی استفاده شد. از به هم زدن مغناطیسی با گرم کننده الکتریکی و در شرایط به هم زدن با گاز از هوا، اکسیژن و ازت همراه با سیستم گرم کننده گاز استفاده شد. دمای گاز قبل از ورود به حمام حدود ۵۰ درجه سانتی گراد بود. برای تغییر در سرعت دمیدن گاز نیز از سیستم کنترل فلومتر استفاده شد.

حمام مرتباً در طول آبکاری در محدوده ۹۰ درجه سانتیگراد و pH حدود ۴/۶ و به کمک عوامل احیاء کننده، کمپلکس کننده و بسافر از نظر ترکیب و پایداری کنترل می شود. در کلیه آزمایشها نمونه ها از نظر محل استقرار در حمام در شرایط یکسان قرار داشتند.

۳- نتایج

۱-۳- تأثیر میزان بارگذاری ذرات سولفور مولیبدن در حمام الکترولس روی سرعت رسوب در شرایط مختلف به هم زدن

حمام الکترولس تجارتنی اسیدی در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد و pH حدود ۴/۶ با مقادیر مختلف سولفور مولیبدن از ۲/۵ تا ۱۰ گرم در لیتر استفاده شد. سرعت به هم زدن مغناطیسی ۲۵۰ دور در دقیقه و با روش دمش هوا، اکسیژن و ازت ۲/۵ لیتر در



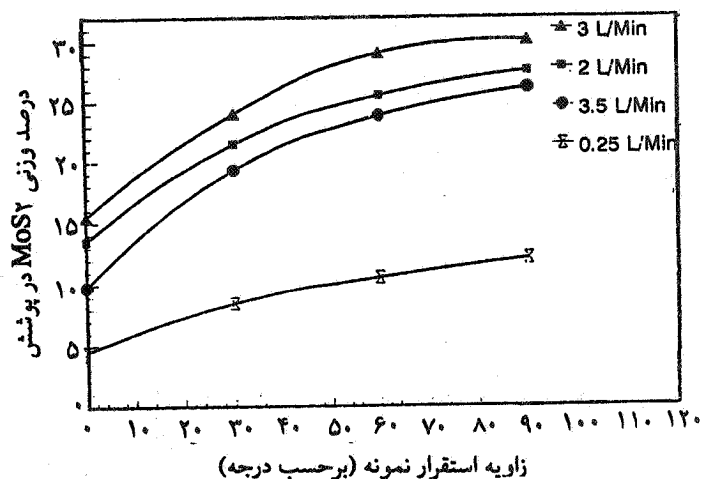
شکل ۵- تأثیر میزان به هم زدن حمام روی سختی پوشش کامپوزیتی الکترولس Ni-P-MoS₂ در حمامی با بارگذاری ۱۰ گرم در لیتر

۴-۵- تأثیر شرایط به هم زدن حمام الکترولس بر سرعت رسوب پوشش

مقدار سولفور مولیبدن در حمام ۱۰ گرم در لیتر انتخاب شد. از سرعتهای دمیدن ۲ تا ۳/۵ لیتر در دقیقه برای روش به هم زدن با هوا، اکسیژن و ازت و از سرعتهای ۲۰۰ تا ۳۵۰ دور در دقیقه برای روش به هم زدن مغناطیسی استفاده شد. اندازه گیری ضخامت پوشش به وسیله میکرومتر و یا با استفاده از تغییرات وزنی بود و سرعتهای راسب شدن با اندازه گیری ضخامت بر حسب زمان به دست آمد. زمان اجرای فرایند آبکاری کامپوزیتی ۴ ساعت بود. در شکل (۶) تأثیر سرعت به هم زدن بر سرعت راسب شدن پوشش نشان داده است. با افزایش سرعت به هم زدن سرعت راسب شدن در همه روشهای به هم زدن کاهش یافته است.

۴-۶- تأثیر شرایط به هم زدن حمام الکترولس روی توپوگرافی سطح پوشش

مقدار سولفور مولیبدن در حمام ۵ گرم در لیتر انتخاب شد. برای شناور کردن ذرات سولفور مولیبدن از روش دمیدن با هوا، اکسیژن، ازت و روش مغناطیسی با سرعتهای مختلف استفاده شد. زمان آزمایش ۴ ساعت بود و بررسیهای توپوگرافی سطحی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مطابق شکل‌های (۷، ۸، ۹ و ۱۰) به دست آمد.



شکل ۴- تأثیر زاویه استقرار نمونه در حمام روی درصد وزنی MoS₂ در پوشش کامپوزیتی Ni-P-MoS₂ در حمامی با بارگذاری ۱۰ گرم در لیتر MoS₂

سولفور مولیبدن به حمام اضافه شد. نمونه‌های پایه تحت زوایای صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به دیواره ظرف و تحت سرعتهای مختلف دمش هوا پوشش داده شدند و نتایج مطابق شکل (۴) به دست آمد. ملاحظه می‌شود که با افزایش زاویه استقرار نمونه نسبت به دیواره عمودی ظرف در تمام مقادیر مختلف دمیدن هوا برای به هم زدن درصد سولفور مولیبدن در پوشش افزایش می‌یابد.

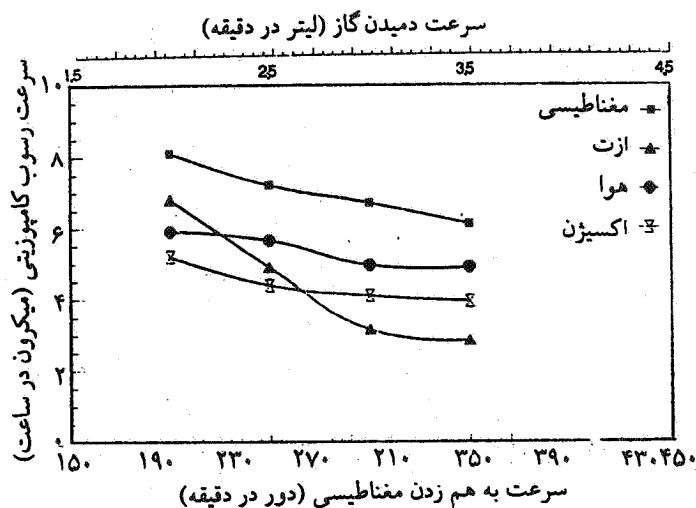
۴-۳- تأثیر میزان به هم زدن حمام الکترولس روی سختی پوشش

پوشش کامپوزیتی نیکل، فسفر، سولفور مولیبدن حاوی ذرات نرم در زمینه سخت است. بنابراین در مقادیر سختیهای اندازه گیری شده پراکندگی مشاهده می‌شود. سختی سولفور مولیبدن حدود ۱ الی ۲/۵ در مقیاس موس است [۸]. میزان سولفور مولیبدن در حمام ۱۰ درصد وزنی انتخاب شد. نتایج سختی پوشش بر حسب میزان به هم زدن حمام مطابق شکل (۵) به دست آمد. ملاحظه می‌شود که با افزایش سرعت به هم زدن، سختی پوشش به دست آمده در کلیه روشهای به هم زدن کاهش یافته است.

زدن حمام به روش مغناطیسی باشد نسبت به روش دمیدن گاز بیشتر است. هنگامی که سرعت دمیدن با هوا افزایش می‌یابد سرعت راسب شدن تقریباً ثابت می‌ماند (شکل ۶). چنین پدیده‌ای برای آن دسته از ذرات که دانسیته بالا دارند و برای شناور ماندن نیاز به سرعت‌های بالای به هم زدن دارند جالب است زیرا افزایش شدید به هم زدن با هوا سرعت رسوب را با کاهشهای کمتری مواجه می‌کند. لازم به یادآوری است که دانسیته سولفور مولیبدن حدود $4/8$ گرم بر سانتی متر مکعب و محلول الکتروولس تجارتي اسیدی به کار رفته دارای دانسیته حدود $1/05$ گرم بر سانتی متر مکعب است.

سرعت راسب شدن هنگامی که حمام با گاز ازت به هم زده شود نسبت به حالتی که حمام با هوا دمیده شود بیشتر است (شکل ۶). البته با افزایش سرعت دمیدن با ازت حمام از نظر پایداری بسیار حساس می‌شود و کنترل دقیقتری را از نظر pH می‌طلبد به طوری که در این حالت روی سطح پوشش ذرات به طور مستقل رسوب می‌کنند. افزایش بیش از حد سرعت دمیدن گاز حمام را از کنترل خارج و ناپایدار می‌کند. در حالی که در حمامهای حاوی هوا و اکسیژن کنترل پایداری حمام به سهولت صورت می‌گیرد. از آنجایی که سرعت راسب شدن در حالتی که دمیدن با اکسیژن باشد کمتر از حالتی است که دمیدن با هوا باشد بنابراین روش دمیدن با هوا به عنوان بهترین روش به هم زدن می‌تواند مطرح باشد. بر اساس آنچه اشاره شد دمیدن با هوا، اکسیژن و ازت در حمام منجر به شرایط نسبتاً متفاوت چه از نظر وضعیت حمام از نظر پایداری و چه از نظر کیفیت رسوب می‌شود. بنابراین به طور قریب به یقین می‌توان این تأثیرات را عمدتاً به نقش ازت در رفتار حمام نسبت داد.

۴-۳ - با افزایش سرعت به هم زدن حمام درصد ذرات شناور سولفور مولیبدن افزایش می‌یابد در نتیجه مقدار سولفور مولیبدن در پوشش افزایش می‌یابد (شکل ۳). به نظر می‌رسد به هم زدن مغناطیسی نسبت به به هم زدن با گاز توانایی کمتری در شناور کردن ذرات سولفور مولیبدن داشته باشد مع الوصف افزایش بیش از حد به هم زدن ممکن است اجازه ندهد ذرات روی پایه باقی بمانند و در نتیجه درصد ذرات در پوشش کاهش می‌یابد (شکل ۳). لازم به یادآوری است که در شرایط دمیدن شدید با گاز ازت خطر ابری شدن

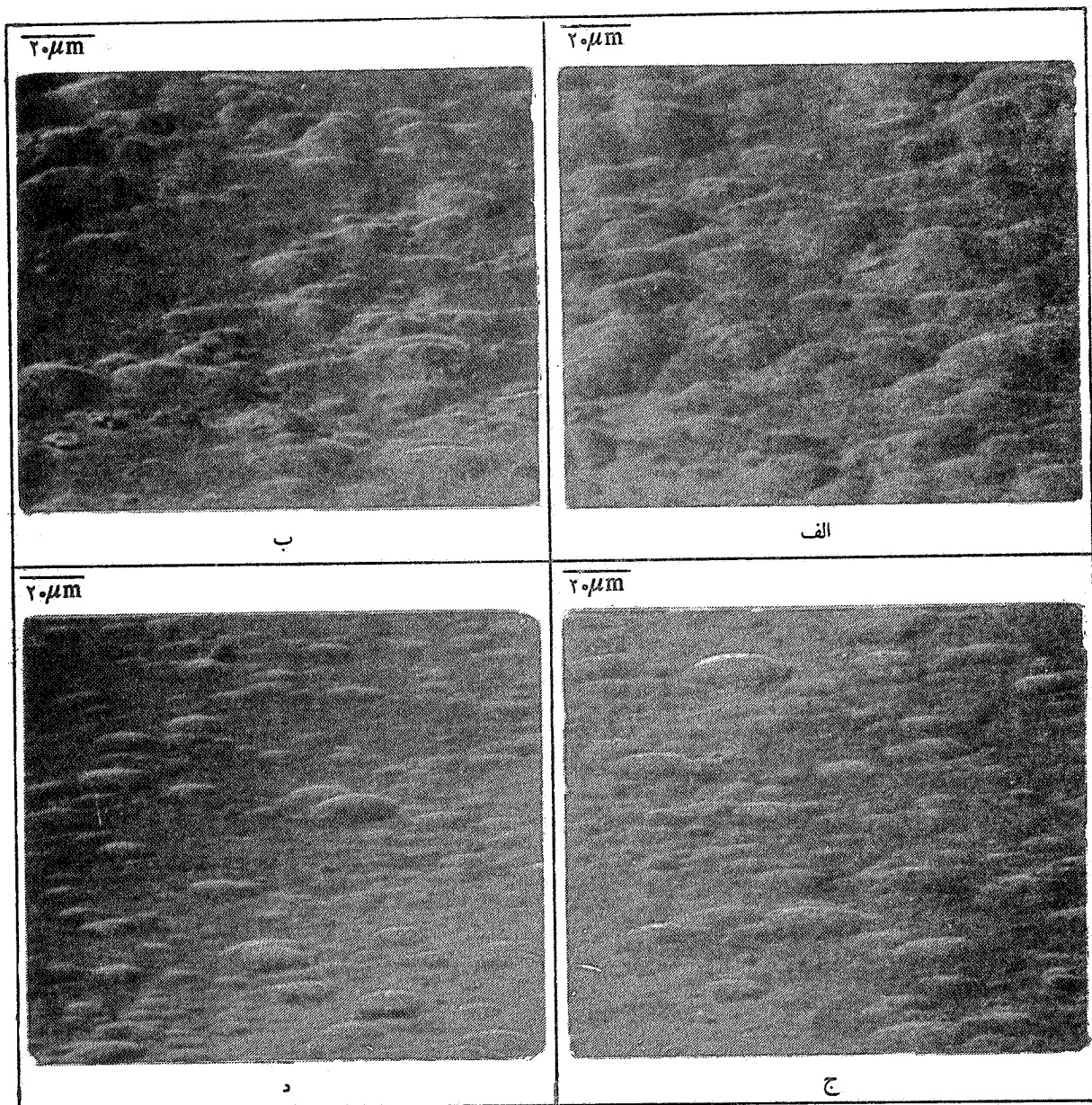


شکل ۶- تأثیر سرعت به هم زدن و نوع به هم زدن حمام روی سرعت رسوب پوشش کامپوزیتی الکتروولس $Ni-P-MOS_2$ در حمامی با بارگذاری 10 گرم در لیتر

۴- بررسی نتایج

۴-۱ - افزایش میزان بارگذاری ذرات سولفور مولیبدن در حمام منجر به کاهش سرعت راسب شدن می‌شود. این کاهش در حالتی که به هم زدن حمام با گاز باشد بیشتر از به هم زدن مغناطیسی است (شکل ۲) به نظر می‌رسد افزایش بیش از حد ذرات سولفور مولیبدن خطر بروز ابری شدن حمام را افزایش می‌دهد و یا حداقل باعث کندی سرعت راسب شدن و غیر اقتصادی بودن حمام می‌شود. بنابراین در یک میزان بارگذاری مطلوب ذرات در حمام بایستی سرعت راسب شدن را به وسیله سایر عوامل مثلاً تغییر در سرعت به هم زدن افزایش داد.

۴-۲ - افزایش سرعت به هم زدن حمام که برای شناور کردن ذرات سولفور مولیبدن صورت می‌گیرد باعث کاهش سرعت راسب شدن می‌شود. این کاهش هنگامی که به هم زدن با دمیدن گاز باشد نسبت به به هم زدن مغناطیسی بیشتر است (شکل ۶). بنابراین بایستی حتی المقدور از سرعت‌های به هم زدن کمتر استفاده کرد. البته مشروط بر اینکه شناور شدن نامطلوب ذرات سولفور مولیبدن ظاهر نشود. عدم شناور شدن کامل، خطر تجمع ذرات در پوشش را ممکن است به همراه داشته باشد. ضمن اینکه مطالعه مقاطع پوشش‌های کامپوزیتی نشان می‌دهد که امکان خطر تجمع در حالتی که به هم



شکل ۷- تصاویر SEM پوشش کامپوزیتی الکترولس نیکل، فسفر، سولفور مولیبدن تحت سرعت‌های مختلف به هم زدن مغناطیسی،

زمان آبکاری ۴ ساعت

ب - ۲۵۰ دور در دقیقه

الف - ۲۰۰ دور در دقیقه

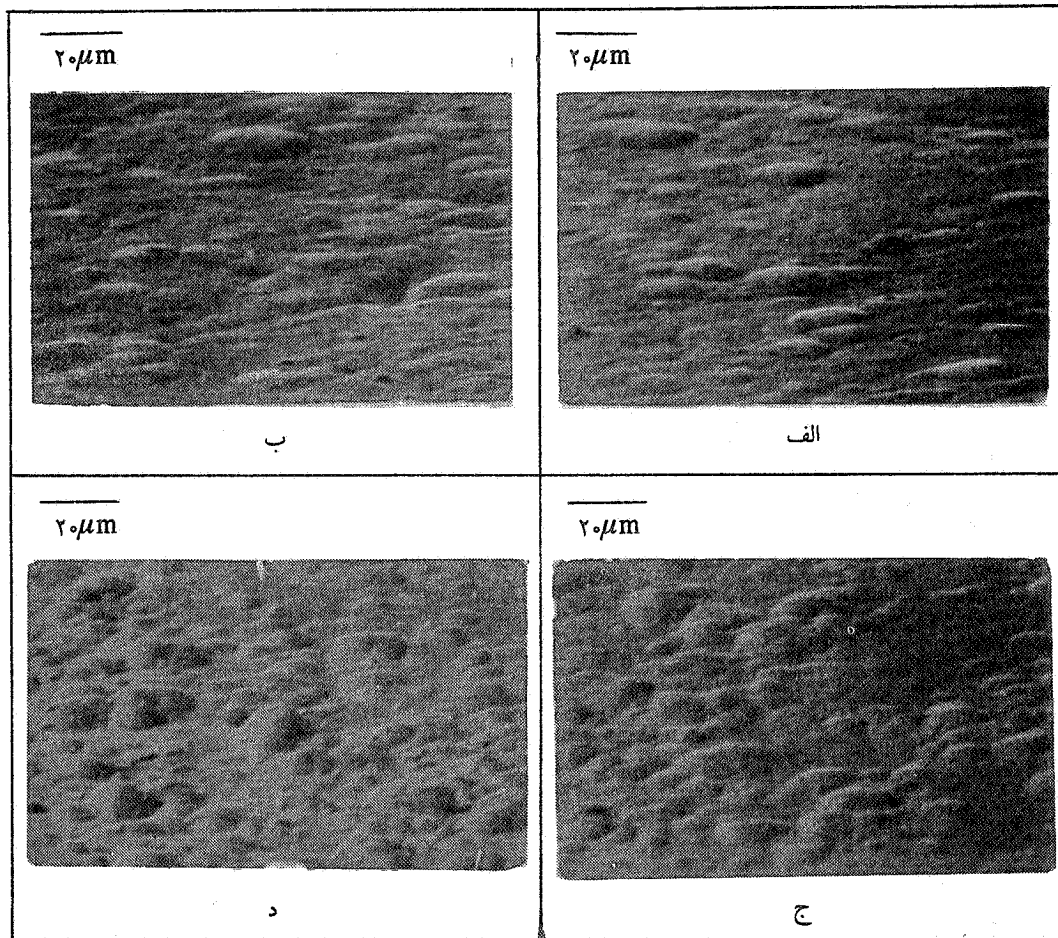
د - ۳۵۰ دور در دقیقه

ج - ۳۰۰ دور در دقیقه

نتایج نشان می‌دهد که درصد ذرات سولفور مولیبدن در پوشش تابع زاویه نمونه پایه نسبت به وضعیت قائم در حمام است. البته این تأثیر در حالتی که به هم زدن حمام شدید باشد بیشتر است (شکل ۴).
 ۴-۵ - افزایش سرعت به هم زدن حمام باعث کاهش سختی پوشش می‌شود (شکل ۵). از آنجایی که با افزایش سرعت به هم

حمام وجود دارد.

۴-۴ - گرچه با افزایش سرعت به هم زدن حمام درصد ذرات شناور سولفور مولیبدن افزایش و در نتیجه مقدار سولفور مولیبدن در پوشش افزایش می‌یابد مع الوصف زاویه استقرار نمونه در حمام هم‌روی مقدار نشست سولفور مولیبدن در پوشش اثر می‌گذارد (شکل ۴).



شکل ۸- تصاویر SEM پوشش کامپوزیتی الکتروولس $Ni-P-MoS_2$ تحت سرعت‌های مختلف دمیدن هوا در حمام زمان آبکاری ۴ ساعت

ب - ۲/۵ لیتر در دقیقه

الف - ۲ لیتر در دقیقه

د - ۳/۵ لیتر در دقیقه

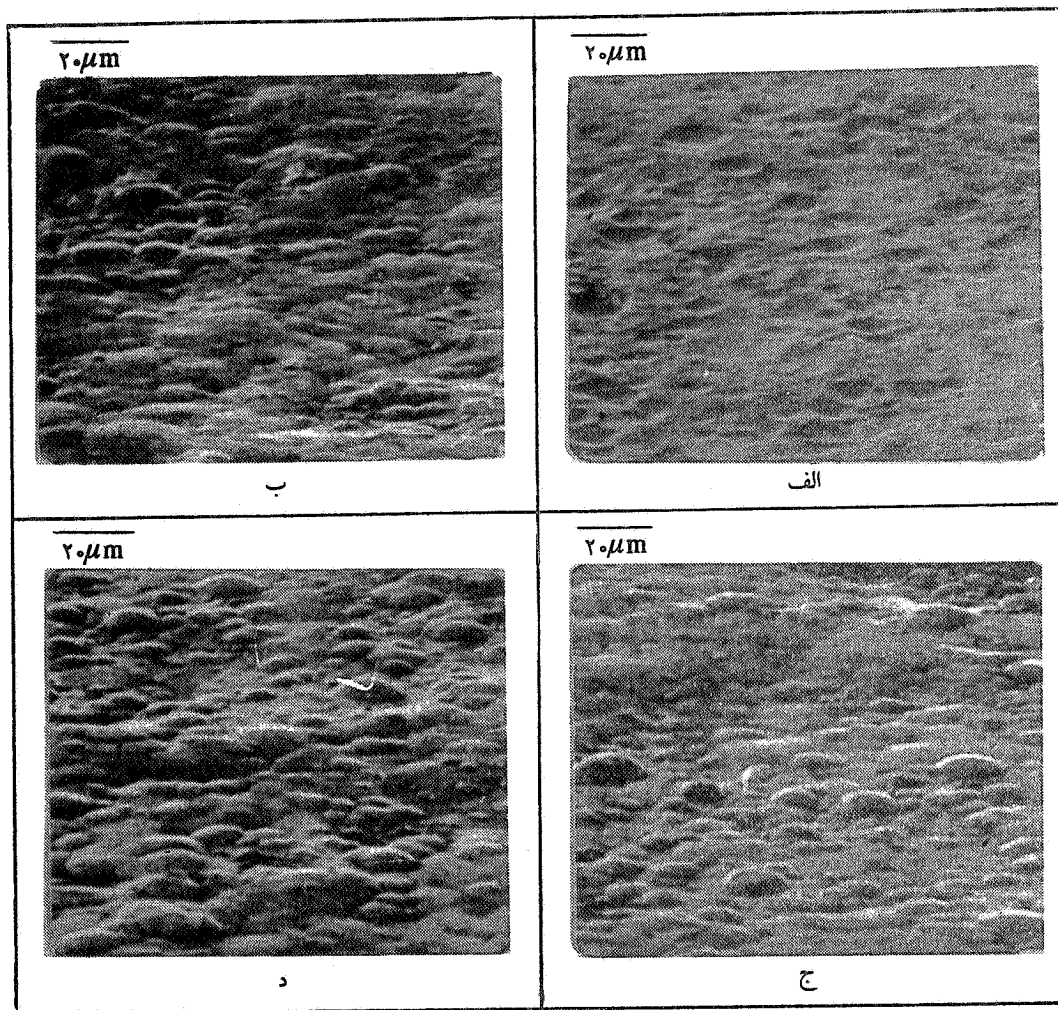
ج - ۳ لیتر در دقیقه

حمام است که با افزایش سرعت به هم زدن و ایجاد حالت جریان لایه‌ای در حمام توپوگرافی سطحی نیز تغییر می‌کند. در این حالت وضعیت پستی و بلندیها بر وجود جریان لایه‌ای در حمام تأکید می‌کند. شکل (۷ - ج و د). از طرفی در روش دمیدن با هوا و یا اکسیژن و با سرعت‌های پایین دمیدن حالت جریان در حمام لایه‌ای بوده و با افزایش سرعت دمیدن ازت از آنجایی که حمام با ناپایداری مواجه می‌شود وضعیت پوشش مطلوب نخواهد بود (شکل ۱۰). بنابراین نتایج مبین اثر منحصربه‌فرد ازت بر رفتار حمام است. به منظور حفظ کیفیت سطح از نظر توپوگرافی بایستی از سرعت‌های به هم زدن شدید برای مقابله با جریان اغتشاشی اجتناب کرد و از طرفی دیگر سرعت‌های به هم زدن اندک ممکن است منجر به عدم

زدن، سرعت رسوب کاهش می‌یابد در نتیجه سختیهای به دست آمده از پوشش‌های با ضخامت کمتر پایین خواهد بود.

۴-۶ - تغییر در شدت به هم زدن و نوع به هم زدن روی توپوگرافی سطحی پوشش کامپوزیتی $Ni-P-MoS_2$ اثر می‌گذارد (شکل‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰). در حالتی که پوشش کامپوزیتی در حمام با به هم زدن با گاز تشکیل شده باشد توپوگرافی سطحی از پستی و بلندی کمتری نسبت به حالت به هم زدن مغناطیسی برخوردار است (مقایسه شکل ۷ با شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰). این را شاید بتوان به شرایط جابه‌جایی بهتر و سرعت رسوب کمتر نسبت داد.

هنگامی که سرعت به هم زدن مغناطیسی پایین باشد پستی و بلندی توپوگرافی سطحی نشان دهنده حالت جریان اغتشاشی



شکل ۹- تصاویر SEM پوشش کامپوزیتی الکترولس Ni-P-MoS_3 تحت سرعت‌های مختلف دمیدن اکسیژن در حمام، زمان آبکاری ۴ ساعت

الف - ۲ لیتر در دقیقه
ب - ۲/۵ لیتر در دقیقه
ج - ۳ لیتر در دقیقه
د - ۳/۵ لیتر در دقیقه

پوشش کامپوزیتی نیکل فسفر مولیبدن بررسی شده است. نتایج به دست آمده به شرح زیر خلاصه می‌شود:

۱-۵ - روش به هم زدن با هوا به عنوان بهترین روش در فرایند آبکاری پوشش کامپوزیتی نیکل، فسفر، مولیبدن به لحاظ کیفیت پوشش تشخیص داده شد.

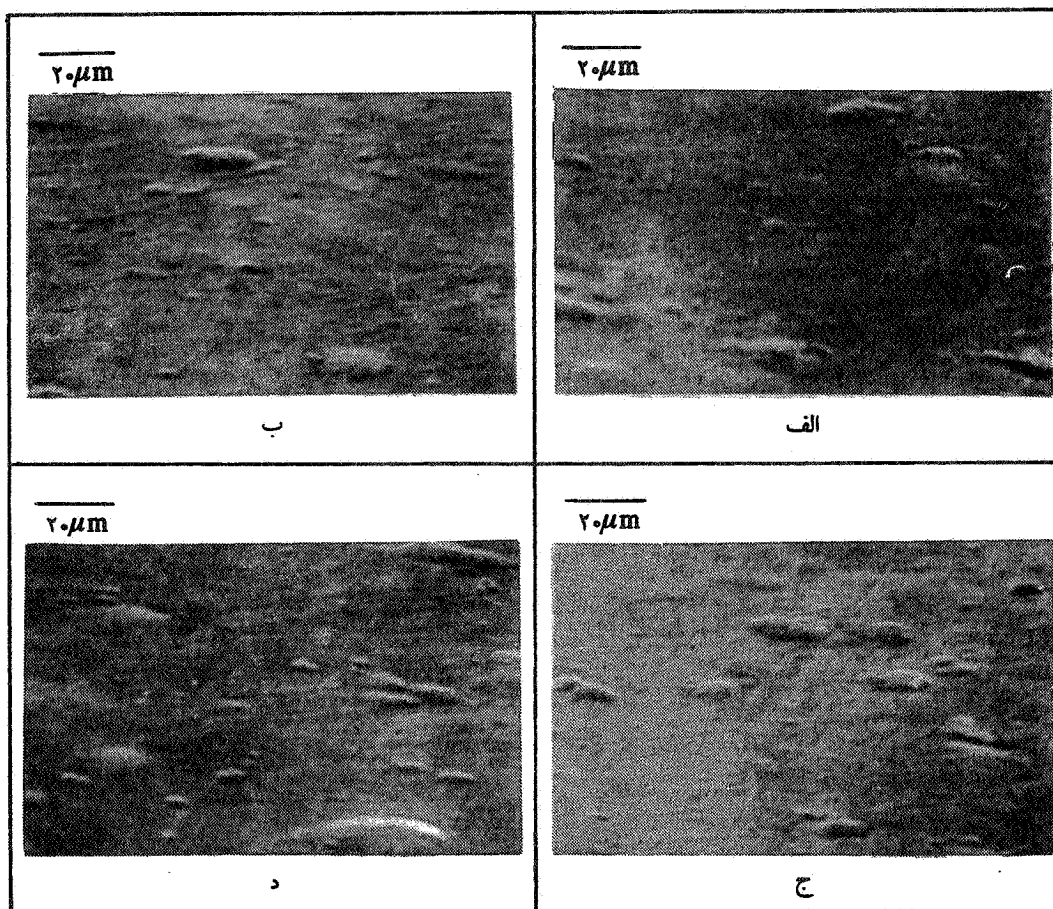
۲-۵ - خطر تجمع ذرات سولفور مولیبدن در پوشش در حالتی که به هم زدن حمام به روش مغناطیسی باشد نسبت به روش دمیدن با گاز بیشتر است.

۳-۵ - در سرعت‌های بالای به هم زدن با گاز ازت حمام الکترولس کامپوزیتی مواجه با ناپایداری می‌شود.

شناور ماندن ذرات سنگین سولفور مولیبدن با وزن مخصوص ۴/۸ در حمام با وزن ۱/۰۵ شود. بنابراین در روش به هم زدن مغناطیسی سرعت مطلوب حدود ۲۵۰ الی ۳۵۰ دور در دقیقه و از میان روش‌های به هم زدن با هوا، اکسیژن و ازت روش به هم زدن با هوا و با سرعت حدود ۲/۵ الی ۳ لیتر در دقیقه به عنوان بهترین روش پیشنهاد می‌شود. آنچه گفته شد یک راهنمای کلی و برای هر فرایند آبکاری کامپوزیتی مطالعات گسترده تری را می‌طلبد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله تأثیر شرایط به هم زدن حمام بر ویژگی‌های مختلف



شکل ۱۰- تصاویر SEM پوشش کامپوزیتی الکترولس Ni-P-MoS₂ تحت سرعتهای بالای دمیدن ازت در حمام، زمان آبرکاری ۴ ساعت

الف - ۲/۷۵ لیتر در دقیقه
ب - ۳ لیتر در دقیقه
ج - ۳/۲۵ لیتر در دقیقه
د - ۳/۵ لیتر در دقیقه

واژه‌نامه

میکروسکوپ الکترونی روبشی:

scanning electron microscope (SEM)

۴-۵- در روش به هم زدن با هوا با سرعت ۲/۵ الی ۳ لیتر در دقیقه پوشش کامپوزیتی نیکل، فسفر، سولفور مولیبدن‌دارای بالاترین درصد سولفور مولیبدن بوده ضمن اینکه پوشش از نظر زبری، سختی و ضخامت نیز مطلوب خواهد بود.

۵-۵- وجود جریانهای لایه‌ای و اغتشاشی حمام روی توپوگرافی سطح پوشش کامپوزیتی نیکل، فسفر، سولفور مولیبدن اثر می‌گذارد. این اثر در حالتی که حمام با گاز به هم زده شود نسبت به حالتی که با روش مغناطیسی به هم زده شود کاملاً متقابل است.

1. Feldstein, N., " Electroless Composite Platings, " *Met. Fin.*, Vol. 35, pp. 81-88, 1983.
2. Ghose, M., Viswanathan, M., and Ramachondran, E. G., " Electrodeposition of Nickel-Molybdenum Disulfide and Nickel-Tungsten Disulfide, " *Met. Fin.*, Vol. 4, pp. 48, 1980.
3. Xiam-Hua, Z., Jia-Jun, L., and Bao-Liang, Z., " The Tribological Performance of Ni/MoS₂ Composite Bruch Plating Layer in Vacuum, " *Wear*, Vol. 157, pp. 381-387, 1992.
4. Monney, T., "Principles of Solution Agitation and Mixing, " *Met. Fin.*, Vol. 8, pp. 31-33, 1986.
5. Ramesh, C. S., Sechadri, S. K., and Layer, K. G. L., " Characteristics of Nickel-Flyash Electro-composite Coatings, " *Plat. and Surf. Fin.*, Vol. 8, pp. 52-45, 1991.
6. Henry, J., *Electroless Composite Coatings, Guidebook and Directory*, pp. 367-382, 1990.
7. Henry, J., Electroless Nickel, " A Metallic Coating Used for Tooling Protection, " *AFS Transactions*, Vol. 89, pp. 723-726, 1989.
8. Ghose, M., Viswanathan, M., and Ramachandram, E. G., "Friction and Wear :Characteristics of Electroposited Nickel-Graphite and Nickel-MoS₂ Composites, " *Met. Fin.*, Vol. 8, pp. 57-63, 1980.