Archive of SID

نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۴، شماره ۳، آذرماه ۱۳۷۹، از صفحه ۵۹ تا ۶۷

بررسی و مقایسه خواص سایشی پوششهای کرمی تهیه شده به روش آبکاری مستقیم و پالسی

محمود حیدرزاده سهی

استادیار گروه مهندسی متالورژی- دانشکده فنی- دانشگاه تهران

شاهین خامنه اصل

دانشجوی دکترای مهندسی مواد- دانشکده فنی- دانشگاه تهران

سید محمد مهدی هادوی

مرکز تحقیقات- گروه صنایع تسلیحاتی

(تاریخ دریافت ۷۸/۶/۹ ، تاریخ تصویب ۷۹/۸/۲۱)

چکیده

در این پژوهش با استفاده از جریان مستقیم و پالسی پوششهای کرمی ترک دار و عاری از ترک تهیه شدند. بررسی سایش پوششها نشان داد که ضرایب اصطکاک و میزان سایش در نمونه های عاری از ترک بیشتر از نمونه های ترک دار است. بررسی های انجام شده نشان می دهد که مکانیزم اصلی سایش در نمونه های ترک دار می تواند سایش خستگی به همراه سایش خراشان باشد که باعث کنده شدن و شکستن پوشش از مناطق پر تنش می شود. در پوشش های عاری از ترک تهیه شده به طریق پالسی نیز به نظر می رسد مکانیزم سایش از نوع چسبان باشد.

واژه های کلیدی : اصطکاک، سایش، آبکاری پالس، کرم سخت، کرم عاری از ترک

مقدمه

از خواص اصلی پوشش کرم سخت می توان به سختی، مقاومت به سایش، مقاومت در برابر خوردگی و حرارت، ضریب اصطکاک پایین و عدم چسبندگی با مواد، ظاهر خوب و خواص پارا مغناطیسی آن اشاره کرد.

وجود لایه اکسیدی نازک در سطح پوشش کرم حالت پسیو به سطح می دهد و مانع خوردگی بیشتر این پوشش می شود. به همین دلیل مقاومت به خوردگی کرم در اکثر محیط های شیمیایی خوب است. این پوشش در درجه حرارتهای بالا و محیط های اکسید کننده نیز مقاوم است[۱]. از طرف دیگر وجود ترک در پوشش کرم می تواند باعث رسیدن مواد خورنده به فلز زمینه و ایجاد پیل بین زمینه فلزی و پوشش شود و در نتیجه موجب تشدید خوردگی گردد. بنابر این مقاومت به خوردگی پوشش های کرمی بستگی مستقیم به دانسیته ترک دارد، لذا پوشش کرم برای کاربردهای خوردگی باید کمترین ترک و خلل و فرج را داشته باشد .در برخی از منابع ذکر شده است که مقاومت پوشش های عاری از ترک کرم در حمام نمک ده برابر پوشش های ترک دار است[۲]. در آبکاری الکتریکی محدودکردن تعداد ترکها در پوشش کرم سخت با دو روش امکان پذیر است. روش اول بکارگیری جریانDC با استفاده از محلولهای ویژه آبکاری در محدوده دما و چگالی جریان خاص است و روش دوم استفاده از جریان پالسی[1] است[۳و۴].

جریان پالسی چهارگوش بطور متناوب معکوس[2] شونده از مناسبترین انواع جریان های پالسی برای آبکاری کرم عاری از ترک است (شکل۱)[۵]. مکانیزم فرایند پالس و چگونگی ایجاد پوششهای عاری از ترک در منابع متعددی ذکر شده است [۷-۴]. سختی پوششهای پالسی عاری از ترک کرم از پوششهای کرم سخت معمولی کمتر است. یکی از دلایل کاهش سختی پوشش های پالسی تاثیر پالس

www.SID.ir

Archive of SID

بر واکنش آزاد سازی هیدروژن است. گاز هیدروژن با واکنش دادن با کرم تولید هیدریدهای کرم میکند و همین طور به صورت اتمی وارد بلور کرم میشود و با ایجاد اعوجاج در شبکه موجب تنش و افزایش سختی میشود[۸]. در آبکاری پالس هنگام زمان استراحت این امکان بوجود می آید که حباب های هیدروژن تشکیل شده در اطراف کاتد از محلول خارج شوند و فرصتی بوجود می آید که هیدروژن جذب شده از سطح خارج شود[۹].

مطالعات نشان داده است که با استفاده از جریان پالسی با زمان روشن زیر یک دقیقه و زمان معکوس چند سانتی ثانیه می توان به پوشش عاری از ترک رسید و پوشش های پالسی عاری از ترک دارای سختی، صافی سطح و براقیت کمتری نسبت به پوششهای ترک دار هستند[۵و۹].

مقاومت به سایش پوشش کرم سخت بخاطر بالا بودن سختی و پایین بودن انرژی سطحی آن بسیار خوب است[۲]. در حقیقت مقاومت به سایش کرم یکی از ویژگی های آن است ولی آن را همانند یک کمیت فیزیکی نمی توان تعریف و اندازه گیری کرد. با توجه به این امر افراد مختلف از آزمایش های مختلف سایش، ضریب سایشهای متفاوتی را گزارش کرده اند [۱۰ و ۱۱و۱۲].

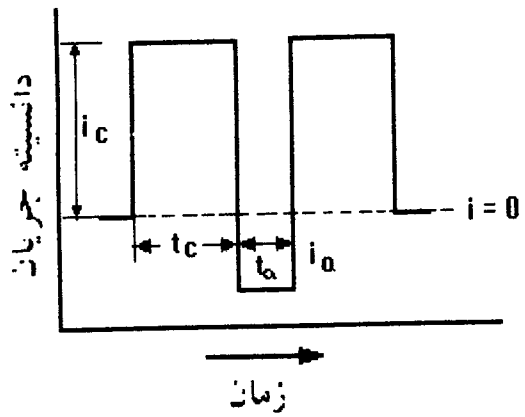
پوشش کرم سخت معمولی دارای ساختاری با دانه های گنبدی شکل به عرض و ارتفاع ۵ تا ۱۰ میکرومتر است و شبکه ای از ترک روی آن مشاهده می شود .در مرحله اول سایش این پوششها هنگامی که هنوز مسافت زیادی از سایش طی نشده است مشاهدات میکروسکوپی نشان می دهند که سطح دانه های گنبدی شکل صاف می شوند ولی کل پوشش دست نخورده باقی میماند. در مراحل بعدی سایش با پیشرفت عمل در اثر تنش اعمالی ترکها گسترش پیدا میکنند، و حفراتی زیر دانه های گنبدی شکل ایجاد می شود. سایش با اشاعه تدریجی ترکها و حفرات ادامه می یابد و دانسیته ترکها با ادامه سایش افزایش خواهد یافت. با به هم پیوستن ترکها و جدایش دانه ها حفراتی ایجاد می شود و دانه ها از سطح کنده می شوند[۱۳].با بررسی تعداد ترکها در سطح و مقطع و میزان توسعه و اشاعه ترک ها در مقطع زیر سایش می توان به مکانیزم سایش در پوشش پی برد[۱۴].

در مقایسه با پوشش های کرم سخت (ترک دار)، اطلاعات موجود در بارهٔ سایش پوشش های پالسی کرمی عاری از ترک بسیار اندک است. از این رو در این پژوهش سایش پوشش های پالسی عاری از ترک کرم با پوششهای معمولی کرم سخت(ترک دار) مقایسه می شود.

روش تحقیق

ابتدا نمونه هایی به ابعاد ۱×۲×۱۳ سانتیمتر از فولاد AISI ۴۳۴۰ با صافی سطح Ra بهتر از ۰/۱ میکرومتر و سختی ۴۰ راکول C (۴۰۰ ویکرز) تهیه شدند. برای ایجاد پوشش های کرمی از یک محلول استاندارد (۲۵۰ گرم بر لیتر اسید کرمیک و ۲/۵ گرم برلیتر اسید سولفوریک) استفاده شد. دمای محلول در همه آزمایشها ۵۰ درجه سانتیگراد و چگالی جریان اعمالی برای تهیه پوشش به روش DC و چگالی جریان برای شارژ کاتدی در سیکلهای پالسی در حد ۴۰ آمپر بر دسیمتر مربع ثابت نگه داشته شد.

برای پوشش کاری از آند سربی با نسبت سطحی آند به کاتد۱:۱ استفاده شد. این آند درست مقابل نمونه در فاصله ۵ سانتیمتری از کاتد قرار می گرفت.



شکل ۱ : سیکل جریان آبکاری پالسی چهارگوش با جریان معکوس.

با توجه به منابع و نتایجی که از تحقیقات قبلی بدست آمده بود [۵و۶]، دو سیکل جریان پالسی مربعی با جریان معکوسPRP [۳](شکل ۱) برای تهیهٔ نمونه های پالسی عاری از ترک انتخاب شد که مشخصات آنها در

www.SID.ir

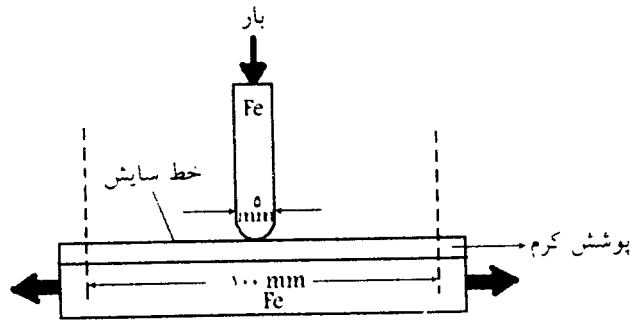
Archive of SID

جدول (۱) آمده است. یک نمونه از پوشش DC و دو نمونه پوشش پالسی (با کدهای PRP2 و PRP1) مطابق جدول (۱) تهیه شدند. زمان آبکاری طوری انتخاب شد که ضخامت تمام پوششها در حدود ۸۰ میکرومتر باشد.

جدول ۱ : مشخصات جریان آبکاری نمونه ها.

نمونه	نوع جریان	دانسیته جریان کاتدی (A/dm^2)	دانسیته جریان آندی (A/dm^2)	زمان روشن (Sec)	زمان معکوس (Sec)	بار کاتدی (کولمب) Qc	بار آندی (کولمب) Qa	نسبت بار آندی به بار کاتدی Qa/Qc
DC	ممتد	۴۰	۰	–	–	–	–	۰
PRP1	پالسی	۴۰	۱۰	۳۰	۰/۰۳	۱۲۰۰	۰/۳	۱/۴۰۰۰
PRP2	پالسی	۴۰	۲۰	۱۵	۰/۰۳	۶۰۰	۰/۶	۱/۱۰۰۰

آزمایش سایش با استفاده از دستگاه رفت و برگشتی پین روی صفحه انجام شد. با استفاده از این دستگاه مقایسه ای بین مقاومت سایشی پوشش های پالسی وDC انجام گرفت و مکانیزم سایشی در هر مورد مطالعه شد. آزمایش روی پوششهای خشک و تمیز در شرایط آزمایشگاهی معین (۲۱ درجه سانتیگراد و ۵ ± ۵۰ درصد رطوبت) صورت گرفت. شکل (۲) تصویر شماتیکی از قسمت ساینده دستگاه سایش را نشان می دهد. پین استوانه ای بکار رفته در این آزمایش ها از فولاد بلبرینگ ۵۲۱۰۰ به قطر۵ میلیمتر و محل تماس آن با پوشش به شکل نیم کره بود .سختی پین ۶۳ تا ۶۴ راکول C(780 ویکرز) و سرعت انجام سایش یک سیکل بر ثانیه یا ۰/۲ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. بارهای بکار رفته در این آزمایش ها ۴۵، ۹۰، ۱۵۰ ، ۲۱۰ نیوتن بودند. سایش تا مسافت ۵۰۰ متر یا به عبارتی ۲۵۰۰ سیکل تحت هریک از بارها انجام شد.



(۱ سیکل برثانیه)

شکل ۲ : شمایی از سیستم سایشی پین روی صفحه.

مطالعات سایشی براساس اندازه گیری کاهش وزن نمونه ها پس از سایش، مطالعات میکروسکوپی مقاطع و سطوح ساییده شده و تغییرات ضریب اصطکاک در طول آزمایش سایش انجام گرفت.

نتایج و بحث

جدول (۲) نتایج بررسی های ظاهری و سختی نمونه ها را نشان می دهد. پوشش های ایجاد شده به طریقه پالس رنگ خاکستری و تیره دارند و پوشش ایجاد شده توسط جریان DC براق است. مقایسه بین نمونه های PRP1و PRP2 نیز نشان می دهد که نمونه PRP1 رنگ روشن تری از نمونه PRP2 دارد.

جدول ۲ : وضعیت ظاهری و سختی پوشش ها.

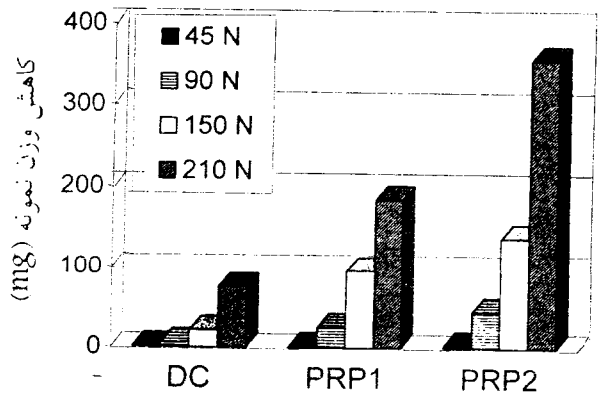
نمونه	وضعیت ظاهری	سختی (HV۵۰)
DC	براق	۸۷۵
PRP1	خاکستری	۷۳۰
PRP2	خاکستری	۶۶۵

همان طور که انتظار می رفت سختی نمونه های پالسی کمتر از نمونهٔ DC است که علت این تفاوت در بخش قبلی توضیح داده شد. پوشش PRP2 سختی کمتری از پوشش PRP1 دارد چون سیکل جریان بکار رفته در پوشش PRP2 بار آندی به بار کاتدی بیشتر و زمان روشن کمتری نسبت به سیکل جریان بکار رفته در

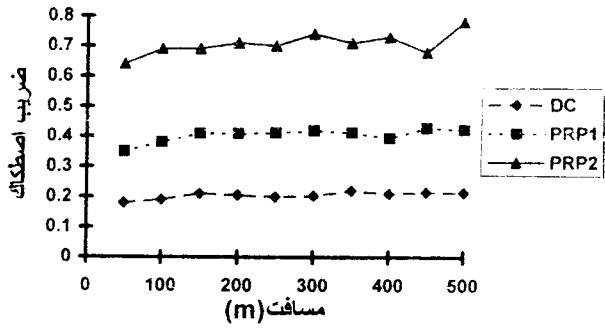
www.SID.ir

Archive of SID

پوشش PRP1 دارد که این عوامل باعث شده پوشش PRP2 کم تنش تر از PRP1 باشد و سختی کمتری داشته باشد[۶]. نتایج حاصل از آزمایش های سایش و اصطکاک به ترتیب در شکل های (۳)و(۴) نشان داده شده اند. شکل (۳) نشان می دهد که در یک بار ثابت میزان سائیدگی نمونه PRP2 بیشتر از نمونه PRP1 و آن هم بیشتر از نمونه DC است. در این نمودار همچنین مشاهده می شود که با افزایش نیرو میزان سایش پوشش ها نیز افزایش می یابد و در نیرو های کم، سایش حتی برای نمونه PRP2 نیز ناچیز است.



شکل ۳ : میزان سایش برحسب کاهش وزن برای پوششها در بارهای مختلف.



شکل ۴ : متوسط ضریب اصطکاک در طول آزمایش سایش (تحت بار ۴۵ نیوتن).

همان طور که در شکل(۳) دیده می شود کاهش وزن نمونه DC خیلی کمتر از نمونه های PRP1 و PRP2 است. سطح واقعی تماس کم و سختی زیاد پوشش باعث زیاد بودن مقاومت به سایش و دوام پوشش کرم سخت تهیه شده توسط جریان مستقیم است[۱۱].

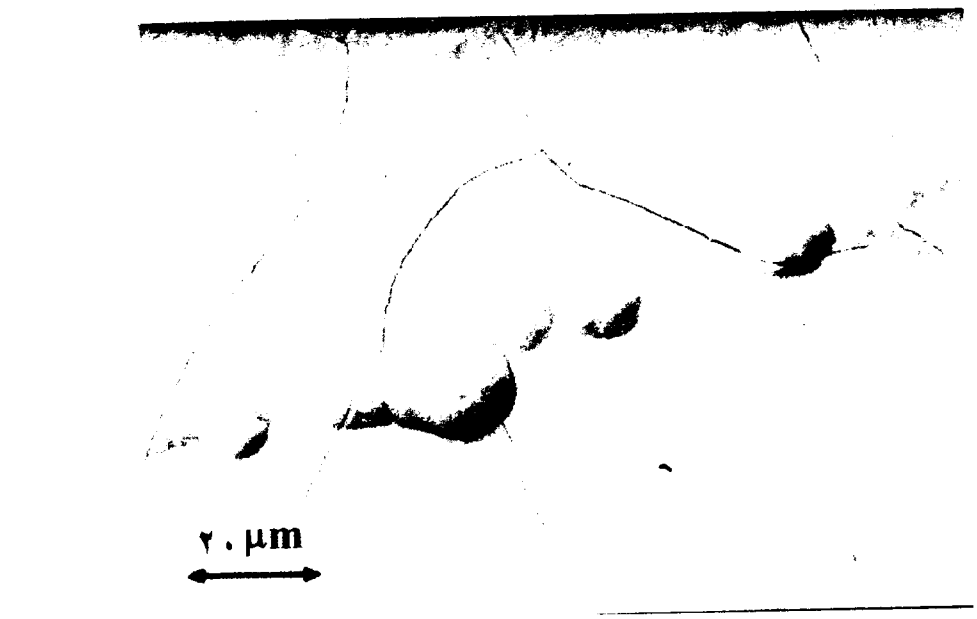
جدول ۳ : دانسیته ترک پوششهای مختلف قبل و بعد از سایش.

نمونه	بار سایش	دانسیته ترک قبل از سایش سانتیمتر/ ترک	دانسیته ترک بعد از سایش سانتیمتر/ ترک
DC	۴/۵ ۹ ۱۵ ۲۱	۳۵۰	۴۱۰ ۴۸۰ ۵۶۰ ۸۱۰
PRP1	۴/۵ ۹ ۱۵ ۲۱	۴۰	۸۰ ۱۴۰ ۲۰۰ ۲۶۰
PRP2	۴/۵ ۹ ۱۵ ۲۱	۰	۰ ۰ ۰ ۰

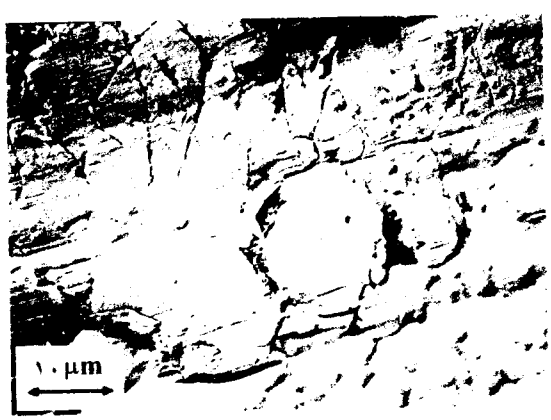
جدول (۳) تغییرات دانسیته ترک (میانگین ۵ اندازه گیری) در پوششها و شکلهای (۵) ، (۶) و (۷) تصاویر SEM از سطح نمونه ها قبل و بعد از سایش آنها در بارهای مختلف را نشان می دهند .مقایسه شکل (۵- الف) و (۵- ب) نشان می دهد که پوشش DC تحت بار ۴۵ نیوتن سایش ناچیزی را از خود نشان می دهد و فقط برجستگی های سطحی تا حدی صاف شده اند. در تصاویر بعدی (۵- ج) و (۵- د) مشاهده می شود که با افزایش بار و به عبارتی تنش ترکهایی در اطراف برجستگی ها شروع به ظهور و رشد میکنند تا حدی که این برجستگی ها حتی کنده میشوند و همین طور این مکانیزم ادامه می یابد. یعنی ترکها در قسمتهای پر تنش زیاد می شوند (جدول ۳) و بالاخره باعث کنده شدن و شکستن پوشش می شوند (شکل ۵ – ه). نهایتا "یک سطح خشن و ترک دار بوجود می آید .افزایش بار در یک مسافت ثابت و یا افزایش مسافت یا زمان سایش در یک بار ثابت هر دو باعث تشدید سایش می شوند و تقریبا عملکرد مشابهی دارند. این موضوع از مقایسه سطوح ساییده شده نمونه DC در این آزمایش ها و نتایجی که گاون و همکارانش[۱۳] از مراحل مختلف سایشی که با افزایش مسافت تحت یک بار ثابت انجام داده اند قابل استنتاج است. مکانیزم سایش در پوششهای کرم سخت را می توان ترکیبی از چند مکانیزم اصلی مثل مکانیزم چسبان، خراشان و خستگی دانست. در واقع این طور به نظر میرسد که در بارهای کم سایش چسبان موجب بار برداری از سطح برآمدگیها میشود. با

www.SID.ir

Archive of SID

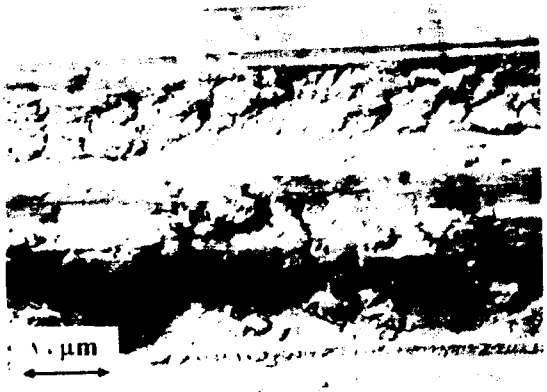


(الف)

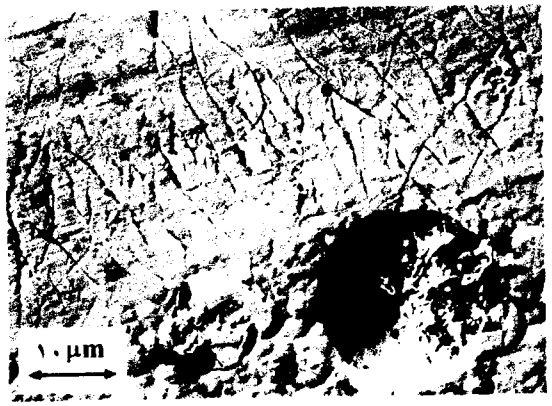


(ج)

(ب)



(ه)

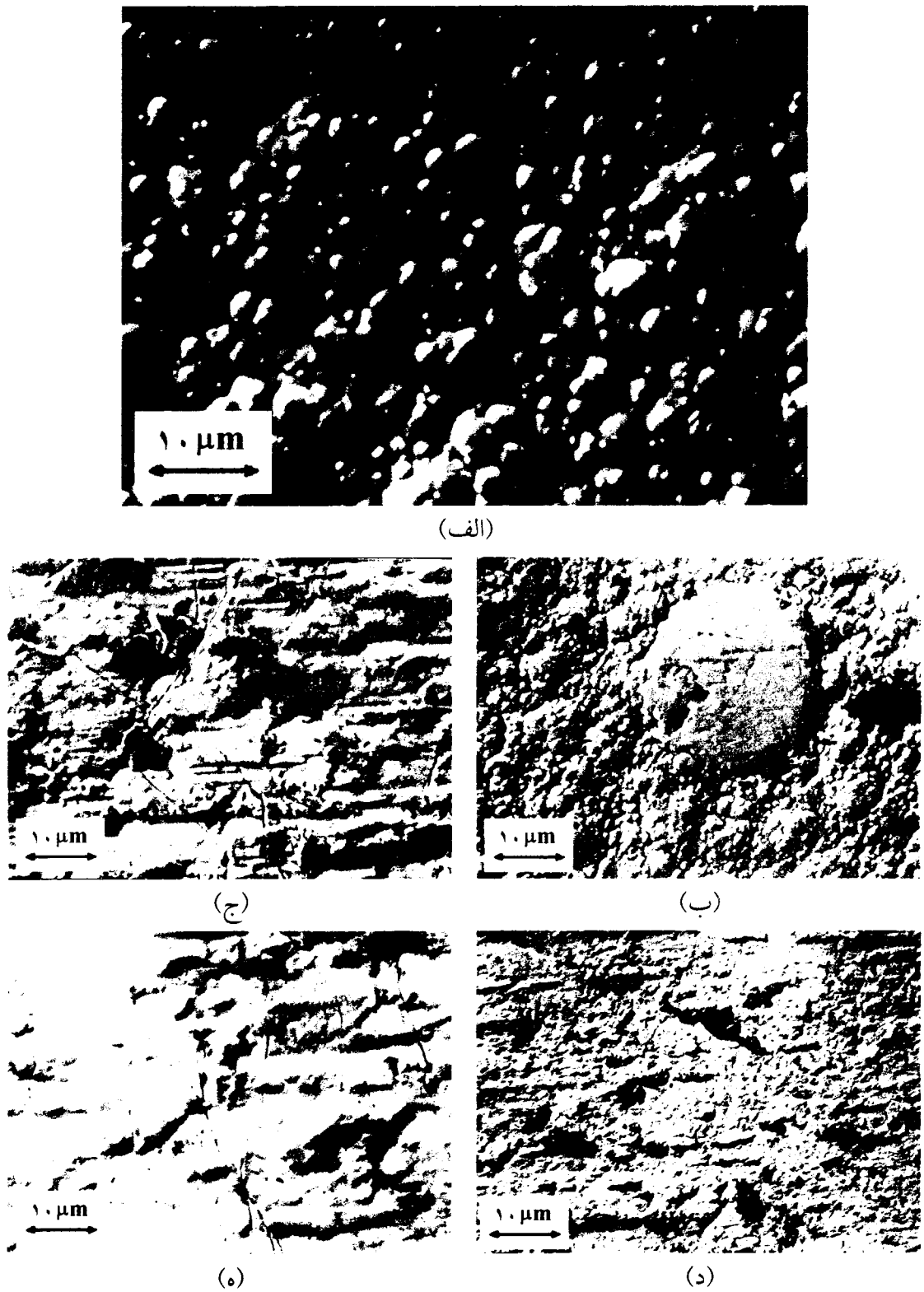


(د)

شکل ۵ : تصویر از سطح نمونه DC الف) قبل از سایش، ب) ساییده شده با بار ۴۵ نیوتن ، ج) ساییده شده با بار ۹۰ نیوتن، د) ساییده شده با بار ۱۵۰ نیوتن، ه) ساییده شده با بار ۲۹۰ نیوتن.

www.SID.ir

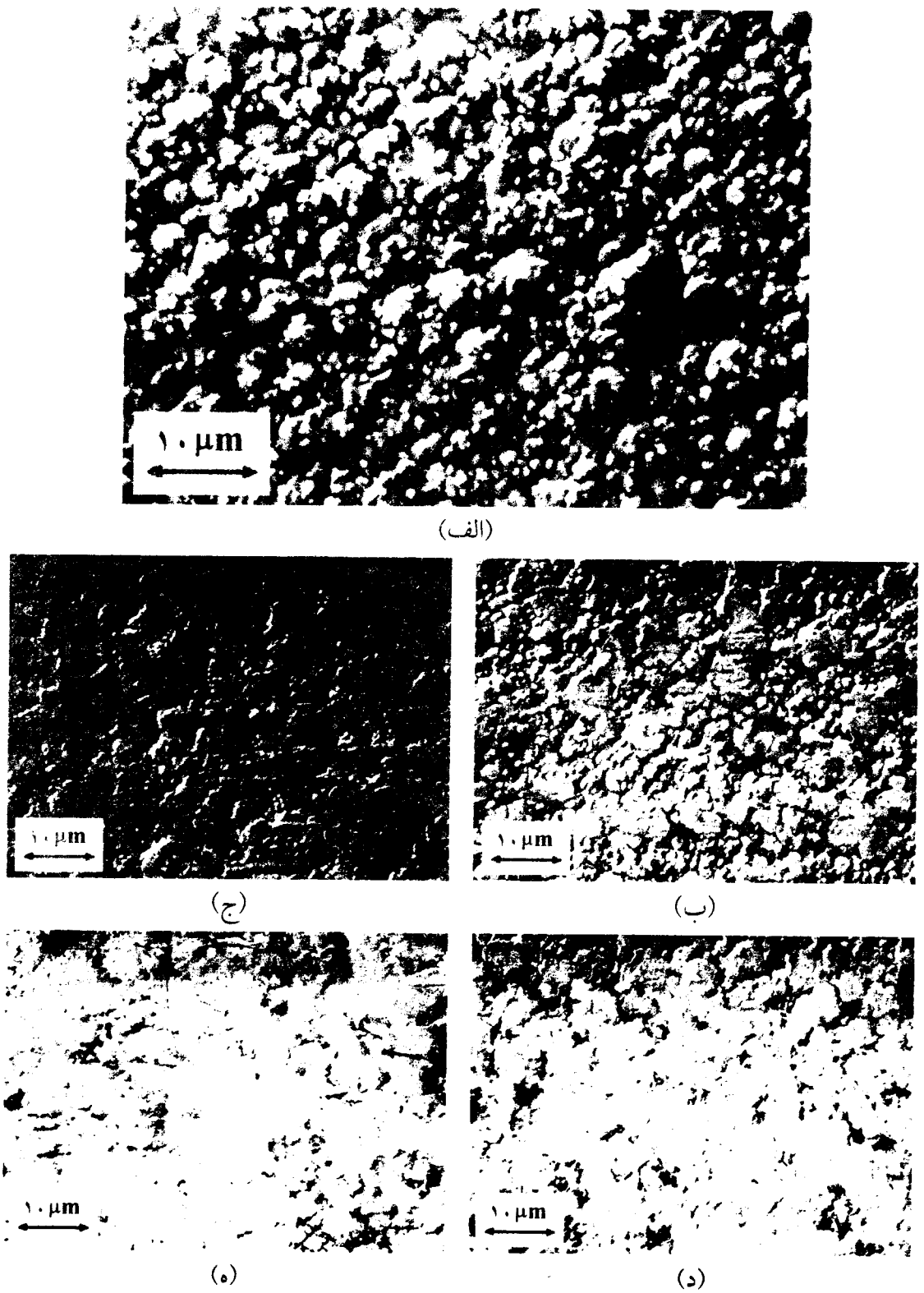
Archive of SID



شکل ۶ : تصویر از سطح نمونه PRP1 الف) قبل از سایش، ب) ساییده شده با بار ۴۵ نیوتن ، ج) ساییده شده با بار ۹۰ نیوتن، د) ساییده شده با بار ۱۵۰ نیوتن، ه) ساییده شده با بار ۲۱۰ نیوتن.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷ : تصویر از سطح نمونه PRP2 الف) قبل از سایش، ب) ساییده شده با بار ۴۵ نیوتن ، ج) ساییده شده با بار ۹۰ نیوتن، د) ساییده شده با بار ۱۵۰ نیوتن، ه) ساییده شده با بار ۲۱۰ نیوتن.

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش بار و به عبارتی اعمال تنش برشی بیشتر علاوه بر مکانیزم چسبان، اشاعه ترک در محل هایی که تمرکز تنش در آن محلها بیشتر است مثل اطراف برآمدگیها و کنده شدن این برآمدگیها میتواند ناشی از یک مکانیزم خستگی باشد. ذرات کنده شده از پوشش و احتمالا" ذرات اکسیدی سختی که در اثر سایش تولید میشوند هم می توانند عامل مکانیزم خراشان باشند. با توجه به مطالب ذکرشده و نتایجی که گاون بدست آورده است[۱۴]، مشاهده می شود که هر سه مکانیزم سایش در مورد پوشش DC وجود دارد ولی به نظر می رسد مکانیزمهای خستگی و خراشان در بارهای سایشی بالا تاثیر بیشتری دارند.

مطالعه مکانیزم سایش در پوشش PRP2 که بیشترین مقدار سایش را از خود نشان داده است توسط بررسی شکلهای (۷- الف) الی (۷ - ه) امکان پذیر است. این پوشش هنگامی که تحت سایش قرار می گیرد، ترک در آن ایجاد نمی شود(جدول ۳) و فقط له شدگی پوشش و صاف شدن آن مشاهده می شود و مکانیزم سایش چسبان به نظر می رسد.

نتایج بدست آمده از سایش نمونه PRP1 نشان دهنده یک حالت میانی از نمونه DC وPRP2 است. سختی این پوشش قدری بالاتر از پوشش PRP2 است (جدول ۲) و ساختار آن قدری درشت تر از ساختارPRP2 است. همین عوامل ساختار را مستعد ترک دار شدن در حین سایش میکند. با توجه به تصاویر (۶ - الف) الی (۶ - ه) که محل سایش یافته این پوشش در بارهای مختلف را نشان می دهد، مشاهده می شود که با وجود یک حالت له شدگی در نمونه، ترک و اشاعه ترک در اثر افزایش بار در حین سایش نیز در این پوشش قابل مشاهده است.

تغییرات ضریب اصطکاک با مسافت طی شده در حین سایش برای پوشش ها نیز در شکل (۴) ارائه شده است. در این نمودار مشاهده میشود متوسط ضریب اصطکاک برای نمونهDC تقریبا" ثابت و در حدود ۰/۲ است. تغییرات ضریب اصطکاک برای نمونه PRP1 در این شکل نشان دهندهٔ یک متوسط ضریب اصطکاک در حدود ۰/۴ است. تغییرات ضریب اصطکاک برای نمونهٔ PRP2 نیز در شکل (۴) نشان داده شده است، متوسط ضریب اصطکاک برای این پوشش در حدود ۰/۷ است.

ضریب اصطکاک می تواند به عوامل مختلفی وابسته باشد. در این آزمایشها به نظر می رسد ضریب اصطکاک وابسته به سختی پوششها باشد. هر چه پوشش نرمتر باشد تحت بار اعمال شده، پایین سطح واقعی تماس بیشتری با پوشش میتواند داشته باشد. افزایش سطح واقعی تماس میتواند موجب افزایش اصطکاک شود[۱۴].

نتیجه گیری

۱- میزان سایش پوشش در نمونه های عاری از ترک پالسی بیشتر از نمونه ترک دار DC است.

۲- به نظر می رسد مکانیزم اصلی سایش در نمونه های ترک دار از نوع خستگی و خرشان باشد که باعث کنده شدن و شکستن پوشش از مناطق پر تنش می شود.

۳- در نمونه های عاری از ترک به نظر می رسد مکانیزم سایش چسبان حاکم باشد که این می تواند بخاطر بالا بودن سطح واقعی تماس به دلیل نرم بودن پوشش باشد.

۴- ضریب اصطکاک در نمونه های عاری از ترک پالسی بیشتر از نمونه های ترک دار DC است.

مراجع

1 - Greenwood, J. D. (1989). *Hard chromium plating* , Mc- Graw Hill.

2 - Kohl, M. (1991). *A process for the direct or indirect electro- deposition of a highly corrosion resisting crack-free technical hard chromium plating layer.* UK Patent GB 2236763 A.

www.SID.ir

Archive of SID

3 - Colombini, C. (1992). "The use of pulse rectifiers in anidizing and plating." *Met. Finish.,* PP. 31-36.

4 – Soddington, J. C. And Hoey, G. R. (1974). "Crack free chromium from conventional plating baths." *Plating,* PP. 923-930.

۵- خامنه اصل، ش. " تهیه و بررسی خواص پوششهای کرم سخت با استفاده از جریان مستقیم و منقطع. "پایان نامه کارشناسی ارشد، مرداد (۱۳۷۷).

۶- خامنه اصل، ش.، حیدرزاده سهی، م. و هادوی، م. م." تهیه و بررسی پوششهای عاری از ترک کرم سخت با استفاده از جریان پالس." دومین سمینار انجمن مهندسین متالورژی ایران، ص ۵۶۳-۵۶۷ ، مهر (۱۳۷۷).

7 – Ibl, N. and Puippe, C. (1980). "Some theoretical aspect of pulse electrolysis." *Surf. Teac.* No.10, PP. 88-102.

8 - Tasi, R. Y. (1991). "Influence of pulse plating on the crystal structure and orientation of chromium." *Finish,* Vol. 138, PP. 124-137.

9 - Leisner, P. and Nelsen, G. B. (1993). "Current efficency and crystallization mechanism in pulse plating of hard chromium." *J. App. Elec. Chem.*, No. 23, PP. 72-78.

10 - Drbeida, A., Stebut, J. V., Barthole, M., Belliard, P., Lelait, L. And Zacharic, G. (1994). "Comparative tribological study of chromium coatings and different specific hardness." *Surf. Coat. Tech.,* No. 68/69, PP. 390-582.

11 – Anate, J. I. and Denis, J. K. (1989). "Tribological effects of nitrogen implantation on hard chromium coating." *Met. Finish.,* PP. 25-31.

12 - Montgomery, R. S. (1987). "Friction of gliding metal sliding on chromium - plated steel." *Wear,* PP. 387-392.

13 – Gawne, D. T. and Gudyanga, T. F. P. (1984). "Wear behaviour of chromium electrodeposits." *Coatings And Surface Tretment For Corrosion And Wear Resistance,* Editions: K.H.Strafford, P.K.Datta, PP. 28-45 .

14 – Arieta, F. G. and Gawne, D. T. (1995). "The wettability and durability of chromium plating." *Surf. Coat. Tech.,* No.73, PP. 105-110.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 – Pulse Current

2 – Periodic Reverce Square Pulse Current

3 – Pulse Reverce Polarity

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir