مجموعه مقالات مهندسي مكانيك – ساخت و توليد

www.sakhtolid.ir

افزایش عمر سایشی قالب‌های آهنگری با پوشش کاربیدی

فرهاد فضلعلی پور[۱]، مهرداد آقایی[۲]

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، شرکت آهنگری تراکتور سازی
f_fazlali@sina.kntu.ac.ir

چکیده

مقاومت سایشی و خوردگی عالی به همراه چسبندگی و دوام حرارتی خوب پوشش‌های کاربیدی که به روش نفوذ واکنش گرمایی Thermo Reactive Diffusion (TRD) ایجاد می شوند، این پوشش‌ها را از لحاظ تکنولوژیکی مورد توجه ساخته است. این تحقیق به بررسی مکانیسم رشد پوشش کاربید وانادیم (VC) در سطح فولاد و خواص ساشی آن برای افزایش عمر قالب های شکل‌دهی، پرداخته است. تشکیل پوشش کاربید وانادیم، با قرار دادن فولاد گرمکار DIN ۱,۲۳۶۷ در محیط غنی از وانادیم حاوی پودر فرو وانادیم، کلریدآلومنیم و آلومینا، و ایجاد ترکیب بین وانادیم محیط با کربن موجود در سطح فولاد در دماهای ۹۵۰، ۱۰۵۰ و ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد، به مدت ۰,۵ تا ۴,۵ ساعت، انجام شد. از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) مجهز به آنالیز نقطه‌ای EDAX و اشعه X برای مطالعه پوشش استفاده شد. بسته به زمان ودمای عملیات، ضخامتی بین ۲,۳ تا ۲۳,۲ میکرومتر ایجاد شد. در بررسی مقاومت سایشی، این پوشش با نمونه‌های نیتروکربوره و سختکاری شده، با استفاده از روش تست سایش Pin-on-disk مقایسه شد. مشاهده شد که نمونه های پوشش شده با کاربید وانادیم دارای بالاتری مقاومت سایشی در مقایسه با نمونه‌های نیترو کربوره و سختکاری شده می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پوشش سرامیکی-کاربید وانادیم-TRD - فولاد گرمکار- قالب آهنگری .

۱- مقدمه

تخریب قالب یکی از فرایندهای نامطلوب و پر هزینه در فرایندهای تولید به‌ویژه آهنگری است که موجب تحمیل هزینه‌های بالا بر شرکت‌های آهنگری می‌شود. در فرایند آهنگری، ماهیت فرایند و عوامل دخیل در آن مانند دما، فشارهای بالای شکل‌دهی و تکراری بودن این فشارها، گرم و سرد شدن مکرر قالب و حضور پوسته اکسیدی در سطح قطعه داغ و روان کار موجب تشدید تخریب و سایش در قالب‌های آهنگری می‌شود.

فولادی که درساخت قالب‌های آهنگری استفاده می‌شوند، نظیر ۱,۲۳۶۷به‌تنهایی دارای قابلیت لازم برای تأمین کلیه خواسته فوق نیست. از طرفی استفاده از مواد ضد سایش، برای ساخت قالب، ازنظر هزینه گران بوده و نمی‌تواند خواص دیگری نظیر مقاومت به ضربه را تأمین کند. بنابراین استفاده از یک پوشش مناسب که تحمل این شرایط کاری سخت را داشته باشد، اجتناب ناپذیر است.

۱- دانشجوی کار شناسی ارشد مهندسی مواد ، شرکت آهنگری تراکتور سازی
۲- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

www.sakhtolid.ir

پوشش‌های سخت از جنس کاربید عناصر واسطه که برای اهداف مقاومت سایشی در شرایت سخت بکار می‌روند، از طرق گوناگونی نظیر نشست شیمیایی بخار(CVD) و یا نشست فیزیکی بخار(PVD) ایجاد می‌شوند که خود مستلزم تجهیزات پیچیده و گران قیمت هستند. از طرفی بدلیل محدود بودن میزان نفوذ چسبندگی پایین تری دارند و ضخامت کمی را ارائه می‌دهند. این روش بنام فرایند نفوذ دهی کنش گرمایی (Thermo Reactive Diffusion) شناخته می‌شود. افزایش عمر ایجاد شده تا 10 برابر گزارش شده است[۱].در این فرایند فولاد در یک محیط جامد، مایع یا گاز غنی از اتم‌های عناصرکاربیدزا نظیر Nb , Cr , Vو Ti قرار می‌گیرد. این عناصر، در دمای بالا، با کربن سطح فولاد ترکیب شده و یک لایه بسیار سخت و مقاوم به سایش از کاربید این عناصر(TiC , CrC , VC , NbC) ایجاد می‌شود. پیوند ایجاد شده بین لایه و زمینه از نوع پیوند نفوذی و متالورژیکی بوده و چسبندگی عالی ارائه می‌دهد. بنابراین مانع از کنده شدن لایه در اثر بارهای زیاد آهنگری می‌شود. بدلیل سختی بسیار بالا در این پوشش‌ها مقاومت سایشی ایجاد شده بالاست[۲].

پوشش‌هایTRD، بدلیل ماهیت سرامیکی و پایداری حرارتی ترکیباتCrC, TiC وVC ، نسبت به ساختار مارتنزیتی، مقاومت در برابر نرم شدن بالایی از خود نشان می‌دهند. در این میان کاربید وانادیم یکی از سخت‌ترین و مقاوم‌ترین پوشش‌ها در این گروه می‌باشد. بنابراین برای قالب‌های آهنگری که در معرض نرم شدن و افت مقاومت سایشی هستند، مناسب می-باشد[۳]. کلیه فولادهایی که دارای حداقل۰,۳٪ کربن باشند برای این فرایند مناسب اند[۴].

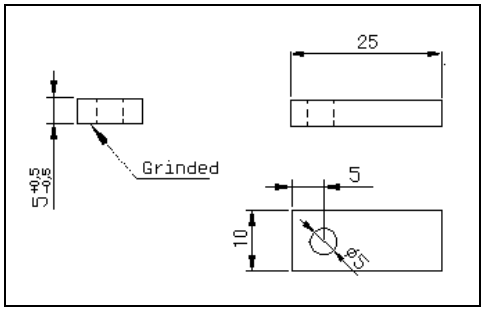
۲- روش آزمایشات

۲-۱- آماده سازی نمونه

دو نوع نمونه، یکی برای بدست آوردن پارامترهای موثر بر ضخامت پوشش و دیگری برای انجام تست سایش، به ابعادی که به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده، از فولاد گرمکار ۱,۲۳۶۷ تهیه شد. ترکیب شیمیایی فولاد مذکور، بعد از آنالیز با دستگاه کوانتومتر ARL Fisons، در جدول ۱ آمده است.

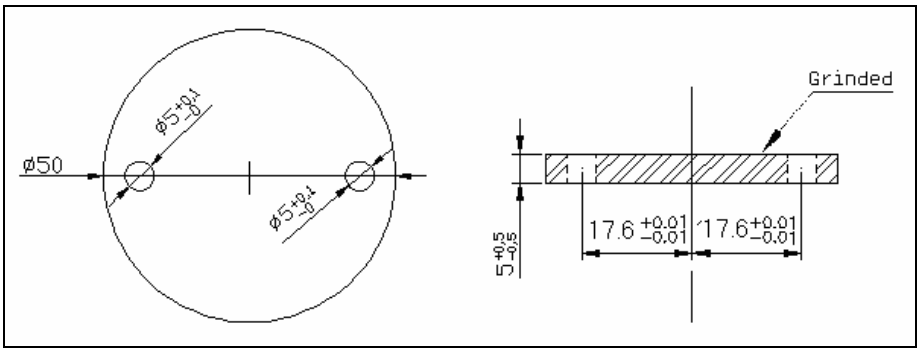
جدول۱ ترکیب شیمیایی فولاد ۱,۲۳۶۷

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	P	S
۰,۴۴	۰,۳۳	۰,۴۹	۴,۷۷	۰,۱۴	۲,۷۵	۰,۴۹	۰,۰۱۱	۰,۰۰۲



شکل۱ ابعاد نمونه برای پوشش‌دهی در شرایط مختلف

www.sakhtolid.ir



شکل۲ ابعاد دیسک برای تست سایش

نمونه ها قبل از هر عملیاتی، سنگزنی و برای رسیدن به شرایط سطحی یکسان با سمباده ۱۰۰۰(Bohler) به‌مدت ۳ ثانیه پرداخت شدند، سپس در محلول تری کلرو اتیلن به مدت یک دقیقه چربی زدایی و خشک شدند. عملیات مختلفی به شرح زیر روی آنها انجام شد.

۲-۲-فرایندTRD

گروهی از نمونه‌ها که با علامت TRD نامگذاری شده‌اند، درداخل جعبه‌های فولادی به ابعاد ۵×۵×۵ سانتیمتر حاوی پودر فرو وانادیم بعنوان تأمین کننده عنصر کایبدزا ، پودر اکسید آلومینیم با مش ۲۰۰ بعنوان پودر خنثی، پودرکلرید آمونیم بعنوان فعال کننده و پودر نفتالین برای ممانعت از اکسید شدن، قرار گرفتند و درپوش آنها با سیمان نسوز آلومینایی برای ممانعت از ورود هوا به داخل محفظه آب‌بندی شد. مشخصات پودر فروواندیم در جدول ۲ آمده است.

جدول۲ آنالیز شیمیایی Fe-V

Element	Percent
V	۵۷.۲
Si	۲,۹۵
Al	۲,۷۵
Fe	۳۷,۱

جدول۳ ترکیب شیمیایی پودر پوششکاری

Fe-V	NH_4Cl	Al_2O_3	نفتالین
۱۵	۵۵	۲۰	۱۰

نمونه‌ها درکوره الکتریکی مقاومتی قابل برنامه‌ریزی با مقدار خطای $\pm ۰,۲^{o}C$ در دماهای ۹۵۰ ، ۱۰۵۰ و ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، و برای هریک از این دماها بمدت زمان‌های ۰,۵، ۱,۵، ۳، و ۴,۵ ساعت، شارژ شدند. ترکیب شیمیایی پودر پوششکاری در جدول۳ آمده است.

۳-۲-متالوگرافی نوری

نمونه‌ها بعد از خارج شدن از جعبه‌ها و تمیز کاری با برس وهوای فشرده، از مقطع عرضی برش و مانت گرم شدند. سمباده‌زنی با سمباده ۱۶۰، ۳۶۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ و پولیش با اکسید آلومینیم 3 میکرون انجام گرفت. نمونه‌ها بعد از حکاکی با محلول نایتال ۴٪ بوسیله میکروسکوپ نوری صاایران، (بزرگنمایی تا ×۶۰۰)، مجهز به دوربین دیجیتالی و امکانات سنجش فاصله ،با دقت ۰,۱ میکرومتر، متالوگرافی شده و ضخامت لایه پوشش بدست آمد.

www.sakhtolid.ir

۲-۴-ریز سختی

ریز سختی ویکرز از مقطع عرضی نمونه‌ها از سطح به عمق توسط میکرو هاردنس Shimadzu و وزنه ۵۰ گرمی انجام گرفت.

۲-۵-میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

نمونه‌ها پولیش شده، از مقطع عرضی و از سطح، توسط میکروسکوپ روبشی Philips XL30 و بروش الکترون‌های ثانویه SE و برگشتی[1] BSE مورد بررسی قرار گرفتند و آنالیز نقطه‌ای EDAX، برای وانادیم و آهن از سطح پوشش تا عمق نمونه‌ها تهیه شد.

۲-۶-آنالیز اشعه X (XRD)

برای شناسایی فازهای تشکیل شده در لایه پوشش، از نمونه‌های TRD توسط دستگاه Philips pw-3714 الگوی تفرق $Cu\ K_\alpha$ با طول موج ۱,۵۴۰۵۱۰Å تهیه شد.

۲-۷-تست سایش(pin-on-disk)

برای انجام تست سایش لغزشی از دستگاه pin-on-disk ساخت دانشگاه صنعتی اصفهان استفاده شد. برای حصول نتیجه مطلوب از تست سایش پین روی دیسک، پوششکاری روی دیسک‌ها انجام شد از پین کاربید سمانته (WC/Co) باسختی Hv ۱۴۵۰ استفاده شد.

نمونه‌ها در شرایط؛ سرعت ۰,۱۳ m/s ، مسافت طی شده ۷۰۰ متر، دمای $^{\circ}C$ ۲۵ ، رطوبت نسبی ۲۲,۲ درصد، بدون روانکار و با بار۲۱۰ نیوتن، تحت آزمایش قرار گرفتند. کاهش وزن نمونه‌ها بعد از طی هر ۱۰۰ متر مسافت با ترازویی به دقت۰,۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد کلیه عملیات سطحی انجام شده روی دیسک‌ها در جدول۴ آمده است. شرایط فرایند TRD برای دیسک‌ها، دمای ۱۰۵۰$^{\circ}C$و زمان ۳ ساعت بود

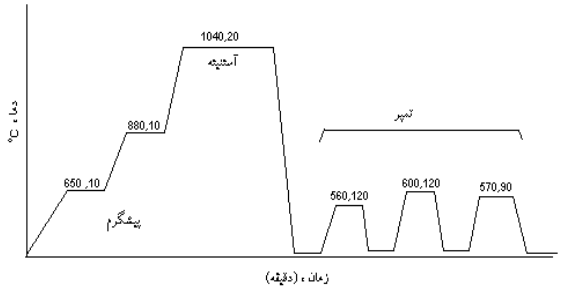
جدول۴ عملیات اعمال شده روی دیسک‌ها و علامت مشخصه آنها

علامت	عملیات
HT	سختکاری + برگشت
NC	نیتروکربورایزینگ + سختکاری + برگشت
TRD	TRD + سختکاری + برگشت

کلیه دیسک‌ها بعد از عملیات‌های ذکر شده برای حصول سختی عمقی یکسان، در کوره (Dgusa) در اتمسفر گاز نیتروژن تحت عملیات سختکاری و برگشت قرار گرفتند،که سختی نهایی ۵۰-۵۱ راکول بدست آمد. سیکل این عملیات درشکل۳ دیده می‌شود.

[1]BSE(Back Scattered Electron)

www.sakhtolid.ir



شکل۳ سیکل عملیات حرارتی فولاد۱,۲۳۶۷ برای رسیدن به سختی ۵۰RC

۳-بحث بر روی نتایج

۳-۱- مکانیزم فرایند TRD

در فرایندTRD در حین عملیات مطابق واکنش‌های ذیل وانادیم در محیط بصورت وانادیم اتمی آزاد می‌شود. این اتم‌ها توسط گاز HCl به سطح قطعه منتقل شده و بعد از رسوب ، با اتم‌های کربن موجود درفولاد واکنش می‌دهد که نتیجه، ایجاد کاربید وانادیم می‌باشد[۵]. واکنش‌های مذکور در ذیل آمده است.

$$NH_4Cl \longrightarrow NH_{3(g)} + _HCl_{(g)} \qquad (۱)$$

$$V_{(Fe\text{-}V)} + 3HCl_{(g)} \longrightarrow VCl_3 + 3/2H_{2(g)} \qquad (۲)$$

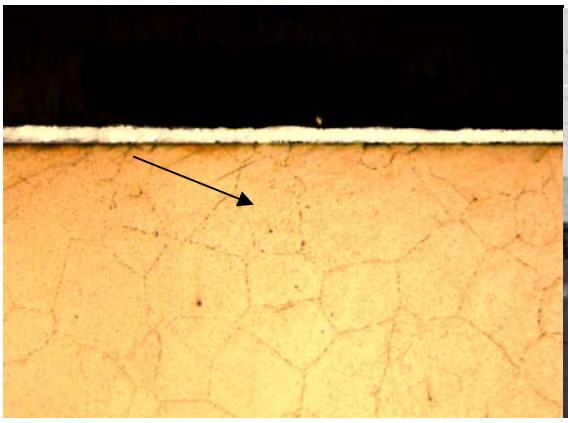
$$VCl_3 + 3/2Fe \longrightarrow V_{(s)\ deposited} + 3/2FeCl_{2(g)} \qquad (۳)$$

$$FeCl_{2\ (g)} + H_{2\ (g)} \longrightarrow 2HCl_{(g)} + Fe \qquad (۴)$$

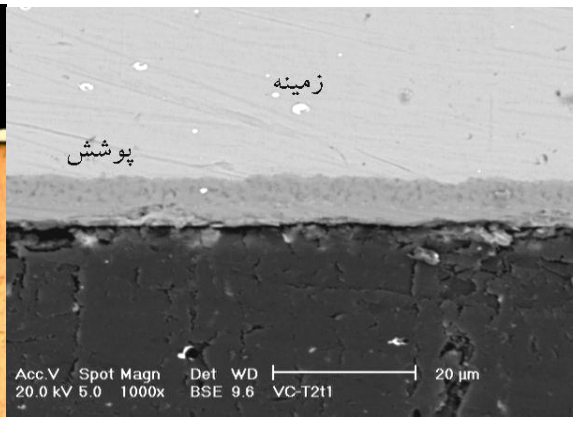
$$V_{(s)\ deposited} + C_{(steel)} \longrightarrow VC_{(s)\ deposited} \qquad (۵)$$

شکل ۴ تصویر میکروسکوپی لایه ایجاد شده را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، یک لایه پیوسته و بدون تخلخل روی سطح تشکیل شده است. در شکل ۵ تصویر الکترون برگشتی BSE- SEM از این لایه دیده می‌شود. همچنین در شکل۶ پیک‌های وانادیم وآهن حاصل از EDAX، در سطح پوشش دیده می‌شود (شرایط عملیات، زمان ۴,۵ ساعت و دمای$^{\circ}C$۹۵۰ (

www.sakhtolid.ir



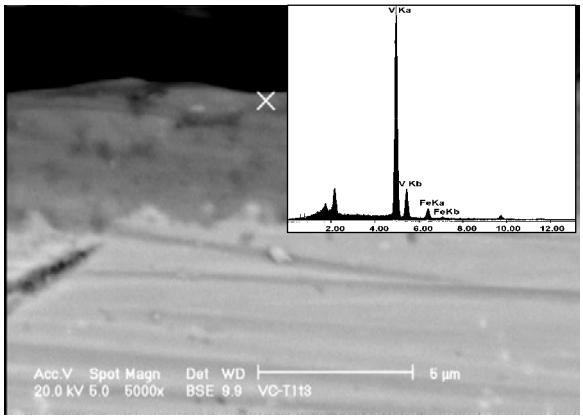
شکل ۴ تصویر میکروسکوپی لایه VC ایجاد شده.X ۵۰۰



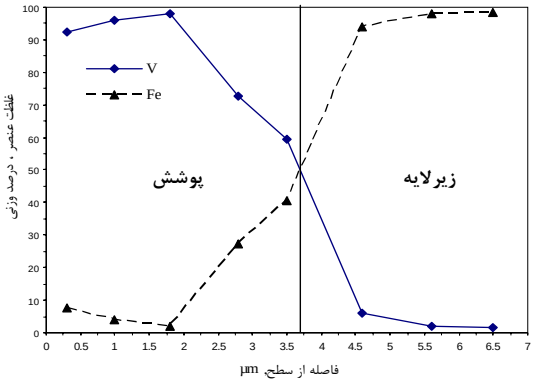
شکل۵ تصویر SEM-BSE از لایهVC

مطابق این شکل دیده می‌شود که در سطح، پیک وانادیم دارای بیشترین شدت بوده و شدت پیک‌های آهن کم است. بنابراین پوشش غنی از وانادیم وفقیر از آهن است.

در شکل۷ نیز که با آنالیز نقطه‌ای EDAX تهیه شده است(شرایط عملیات، زمان۱,۵ساعت و دمای$^{\circ}$C ۹۵۰)، تغییر غلظت وانادیم و آهن ازسطح به‌طرف زمینه دیده می‌شود. این شکل نشان می‌دهد که اولاً، لایه تشکیل شده غنی از وانادیم بوده، دوماً، علاوه بر نفوذ کربن به سمت پوشش و تشکیل کاربید وانادیم، اتم‌های وانادیم نیز بداخل زمینه نفوذ می‌کنند.حضور اتم‌های آهن در پوشش، بدلیل نفوذ اتمی در دمای بالا و انجام واکنش‌های جانشینی(شیمیایی) می‌باشد.



شکل۶ پیک‌های وانادیم وآهن حاصل از EDAX، در سطح نمونه

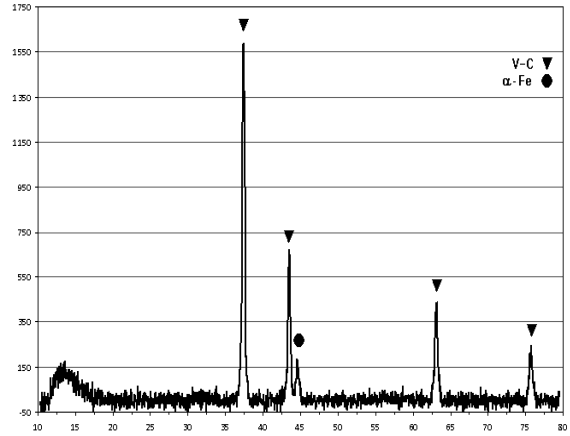


شکل۷ تغییر غلظت وانادیم وآهن ازسطح به‌طرف زمینه

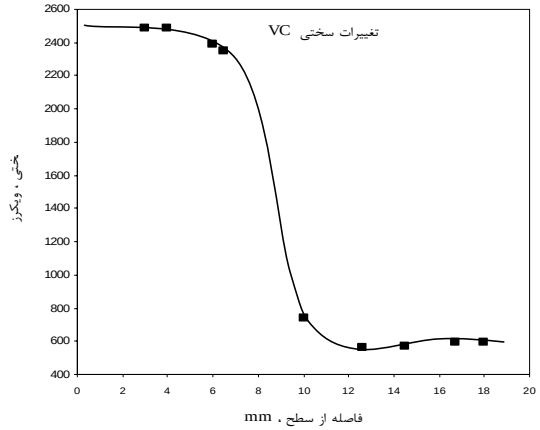
شکل۸ الگوی پراش اشعه X از سطح نمونه(شرایط عملیات، زمان ۱,۵ ساعت و دمای$^{\circ}$C ۹۵۰)کیفیت فازهای تشکیل شده را نشان می‌دهد.

روشن است که با نفوذ کربن به سطح و تشکیل VC غلظت کربن در زیر سطح کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که سختی و استحکام در این منطقه پایین‌تر از نواحی عمقی می‌باشد[۶]. این موضوع با اندازه‌گیری سختی از سطح به عمق مطابق شکل۹ روشن می‌شود.

www.sakhtolid.ir



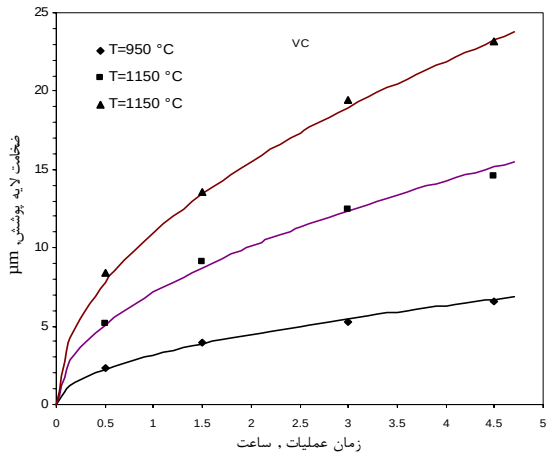
شکل۸ لگوی پراش اشعه X از سطح نمونه



شکل ۹ تغییرات سختی لایه کاربید وانادیم از سطح به عمق

۳-۲-بررسی تأثیر دما و زمان بر ضخامت لایه پوشش(سنتیک فرایند)

درمرحله TRD با رسم ضخامت‌های بدست آمده در دماها و زمان‌های ذکر شده شکل ۱۰حاصل شد.



شکل۱۰ ضخامت لایه کاربید وانادیم نسبت به زمان در دماهای مختلف عملیات.

با رجوع به شکل۱۰ می‌توان نتیجه گرفت که رابطه ضخامت لایه ایجاد شده با زمان عملیات یک رابطه سهموی می‌باشد.

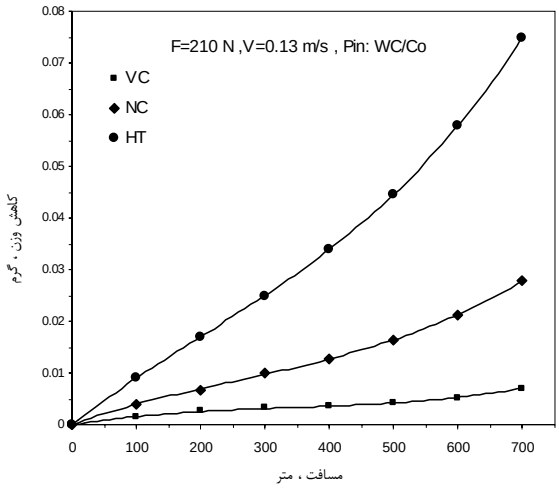
$$\frac{x^2}{t} = k \qquad (۶)$$

که در آن x، ضخامت لایه، t، زمان عملیات و k، مقدار ثابت است

۳-۳- سایش

میزان کاهش وزن نمونه‌هایی که با VC پوشش شده بودند در مقایسه با نمونه‌های نیتروکربوره وسختکاری شده، بر حسب فاصله در شکل۱۱ آمده است.

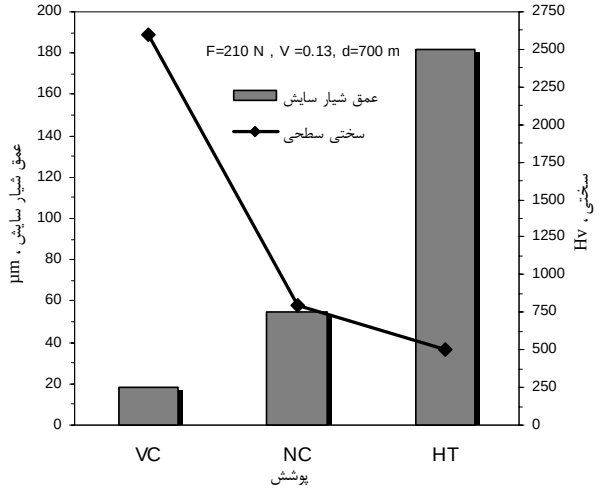
www.sakhtolid.ir



شکل۱۱ میزان کاهش وزن نمونه‌های پوشش VCدر مقایسه با نمونه‌های نیتروکربوره وسختکاری شده، بر حسب فاصله

باتوجه به شکل اخیر دیده می‌شود که میزان سایش در نمونه پوشش شده با کاربید وانادیم کمترین مقدار و نمونه سختکاری شده، دارای بیشترین مقدار سایش است. همچنین نرخ سایش در نمونه کاربید وانادیم پایین‌تر سایر نمونه‌هاست.

در توجیه رفتار پوشش‌های VC می‌توان گفت که در ابتدا بدلیل نیم‌کروی بودن سر پین(بالا بودن تنش موضعی)، ناصافی‌های سطح پوشش توسط پین شکسته شده و از سصح دیسک جدا می‌شود و میزان سایش بالاست. درمرحله بعدی، ناصافی‌ها و سر گرد پین ساییده می‌شود و سطح تماس بیشتری (تنش موضعی پایین‌تری) بین پین و دیسک ایجاد می‌شود و سایش با سرعت ثابتی ادامه می‌یابد. در نهایت بدلیل افزایش دما، تجمع محصولات سایش، کاهش ضخامت لایه پوشش و فعال شدن و اندرکنش دیگرمکانیسم‌های سایش، نرخ سایش افزایش می‌یابد[۷]. در شکل۱۲ نیز تغییرات عمق شیار سایش و سختی سطحی هر کدام از این سه فرایند مقایسه شده است.

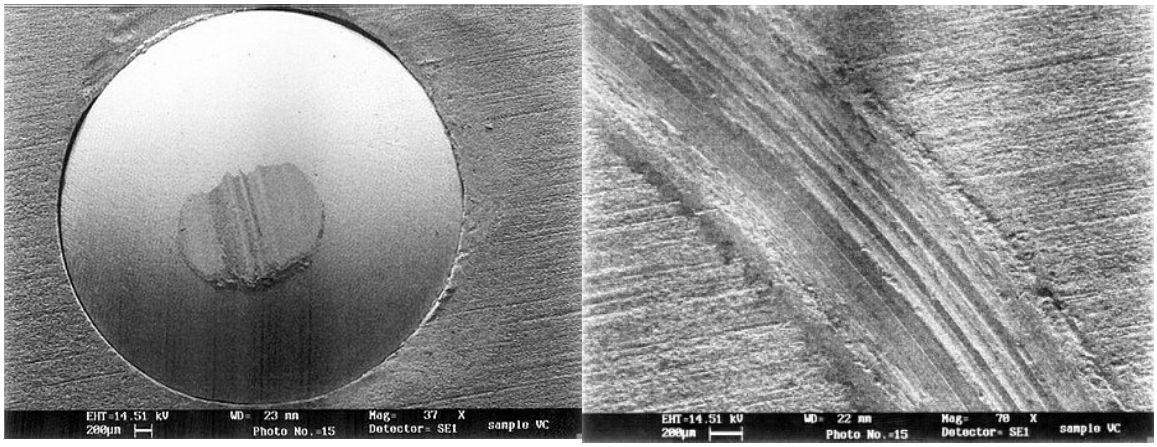


شکل۱۲ تغییرات عمق شیار سایش و سختی سطحی سه نوع فرایند.

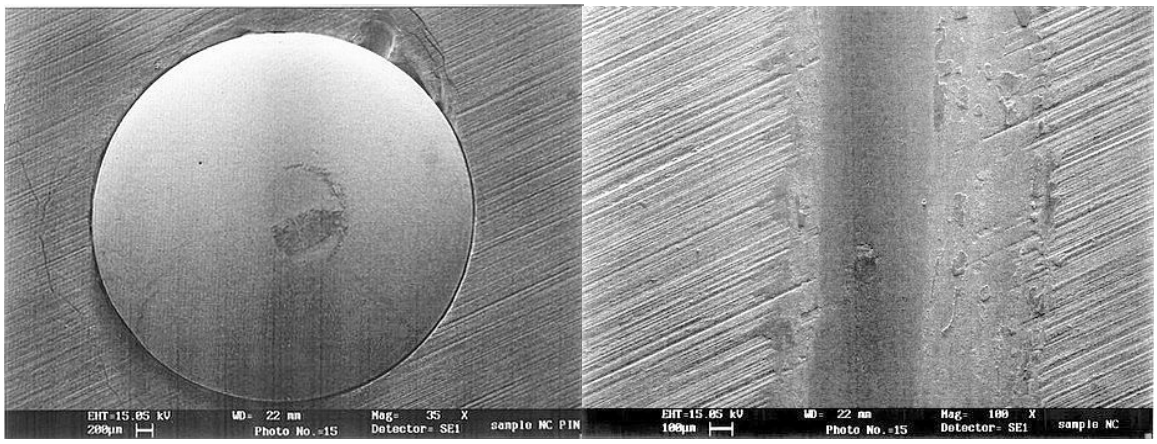
مطابق این شکل دیده می‌شود که سختی سطحی ایجاد شده در هر فرایند نسبت عکس با عمق شیار سایش دارد. از اینرو بدلیل سختی بسیار بالای کاربید وانادیم، لایه ایجاد شده رفتار بهتری در مقابل ذرات ساینده موجود در فرایندهای شکل‌دهی خصوصاً آهنگری از خود نشان می‌دهند.

www.sakhtolid.ir

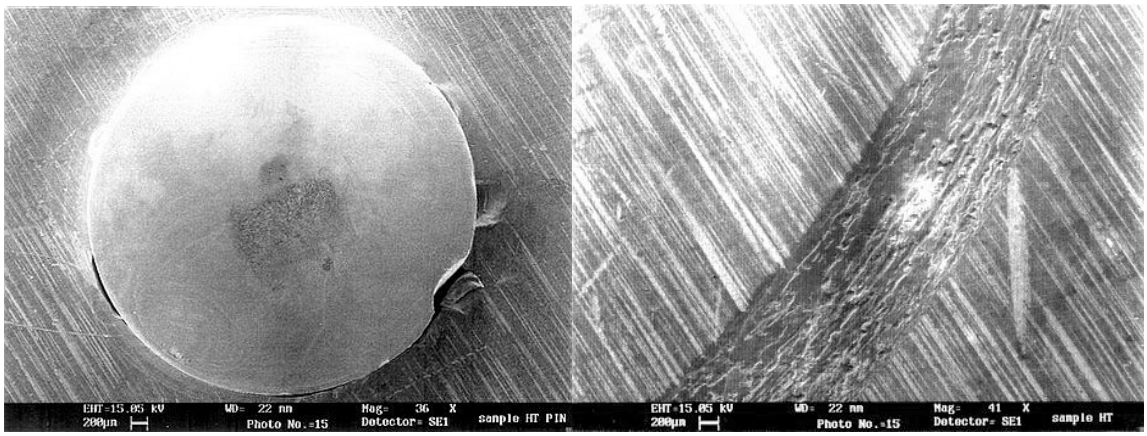
در شکل‌های ۱۳- ۱۵ شیار های سایش روی پین و دیسک دیده می‌شود. با توجه به این تصاویر می‌توان دید که پین کاربیدی در برابر دیسک با پوشش کاربید وانادیمی بیشترین سایش را از خود نشان می‌دهد و در عوض دیسک جندان ساییده نشده است. در نمونه بدون پوشش(سختکاری شده) پین موجب ایجاد تغییر فرم پلاستیک در دیسک شده است



شکل۱۳ شیارهای ایجاد شده روی پین و دیسک با پوشش کاربید وانادیم بعد از طی مسافت ۷۰۰ متر



شکل ۱۴شیارهای ایجاد شده روی پین و دیسک با عملیات نیتروکاربورایزینگ بعد از طی مسافت ۷۰۰ متر



شکل۱۵ شیارهای ایجاد شده روی پین و دیسک با عملیات سختکاری بعد از طی مسافت ۷۰۰ متر

www.sakhtolid.ir

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به یافته‌های این تحقیق می توان نتیجه گرفت که:

۱. می‌توان از طریق روش TRD یک لایه کاربید وانادیم روی سطح فولاد ایجاد کرد.
۲. لایه ایجاد شده پیوسته و فشرده است.
۳. ربطه بین ضخامت لایه کاربیدی ایجاد شده و زمان عملیات در هر دمایی بصورت سهموی است.
۴. افزایش ضخامت لایه منوط به افزایش زمان و دمای عملیات است.
۵. ریز سختی لایه کاربید وانادیم ۵۰ ±۲۴۸۷ ویکرز است.
۶. در مقایسه با سایر فرایندها، پوشش VC، دارای کمترین و نمونه سختکاری شده، دارای بیشترین مقدار سایش هستند.
۷. سختی سطحی ایجاد شده در هر فرایند نسبت عکس با عمق شیار سایش دارد و پوشش کاربید وانادیمی بدلیل سختی بسیار بالا مقاومت خوبی در برابر ایجاد خراش دارد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت‌های مالی شرکت آهنگری تراکتور سازی ایران انجام شده است و نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های آقایان مهندس هاشمی، مهندس آغداشی و دکتر خدابنده کمال تشکر وقدردانی را داشته باشند.

مراجع

۱. Fritz J. and Dolores H. Russ “Preliminary Research For The Development Of Hot Forging Die…” , pp27-57 .
۲. Sailesh Babu,Dilmar Ribeiro,Rajiv Shivpuri “ Material and Surface Engineering For Precision Forging Dies” The Ohio State University , pp14-16 ,72-110 .
۳. T. Arai, “Thermoreactive diffusion Process”, Metals HandBook; Vol. 4,pp.448-453.
۴. Sailesh Babu , “A Material Based Approach to Creating Wear Resistant…” ,pp12-65 .
۵. N. Gidikova “Vanadium boride coatings on steel”, Materials Science and Engineering A278, (2000) ,pp.181–186.
۶. B. Chicco, W.E. Borbidge , E. Summerville “Experimental study of vanadium carbide and carbonitride coatings” Materials Science and Engineering, A266 (1999), pp. 62–72.
۷. Ugur Sen ,“ Friction and wear properties of thermo-reactive diffusion coatings against titanium nitride coated steels”, Materials and Design, 26 (2005), 167–174

www.sakhtolid.ir

www.sakhtolid.ir

Wear life improvement of Hot forging Dies by carbide coating

F.Fazlalipour[1],M.Aghaie[2]
Materials Engineering Group, Mechanical Engineering Department,
Khaje nasir Univeversity of Thechnology Tehran Iran
F_Fazlali@sina.kntu.ac.ir

Abstract

Excellent Wear and corrosion resistance companying good thermal stability of carbide coating that generated by Thermo Reactive Diffusion(TRD), makes it favorable in technological respect. This research investigate mechanism of vanadium carbide coating creation and abrasive wear resistance improvement of hot works steel (DIN:1.2367). These processes carried out in Solid medium containing powders of ferro-vanadium, ammonium chloride and alumina. According to time and temperature, layer thickness obtained between 2.3 to 32.2 X-ray Diffraction Analyses, Optical and Scanning Electron Microscope With EDAX Spot analyser employed to Characterize coating layer properties.Wear behavior of coating layer compared with Nitrocarborized and Hardened sample by using Pin-On-Dick method in 700 meter displacement and 210N force. In the results of these drives appeared that sample with vanadium carbide coating, produce minimum Wear rate and didn't influence by applied foce.

Keyword: Vanadium Carbide, Hot Work Steel,Wear,Pin-on-disk,Thermo Reactive Diffusion

[1] Master student of materials science, R&D adept of Iran Tractor Forging Co.
[2] Scientific mission of kHaje nassir university of technology

www.sakhtolid.ir