

انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران

مأنرد بمبن سمينار ملى مهندسي سطح

مقایسه رفتارمکانیکی پوششهای نازک تک لایه، چندجزئی و چندلایه سرامیکی از روش ترسیب شیمیایی از فاز بخار به کمک پلاسما

محبوبه آزادی ، علیرضا صبور روح اقدم، شاهرخ آهنگرانی

^۱. دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی (استادیار) ۲. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی مواد (دانشیار) ۳. سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده مواد پیشرفته و انرژی های نو(استادیار)

چکیده در این مقاله پوشش تک لایه، چند لایه و چندجزئی از نیتریدتیتانیم و کاربیدتیتانیم از روش ایجاد ترسیب شیمیایی از فاز بخار به کمک پلاسما (PACVD) ایجاد شده است. بررسی و مقایسه رفتار مکانیکی این پوشش ها با ضخامت ۳–۲ میکرومتر بر روی فولاد H13 انجام شده است. بدین منظور بعد از ایجاد پوشش، آنالیز پراش اشعه ایکس زاویه مایل برای بررسی ترکیب شیمیایی، با استفاده از دستگاه سختی سنجی نوپ بررسی تغییرات میکروسختی، با به کارگیری دستگاه پین روی دیسک، تعیین خواص سایشی سطح پوشش انجام شده است. لایه نیتریدتیتانیم/کاربیدتیتانیم میباشد. همچنین حداقل ضریب اصطکاک برای پوشش کاربید تیتانیم تک لایه حدود ۲۰۰ گزارش شد.

واژدهای کلیدی: سایش؛ سختی؛ پوشش نازک؛ پوشش سرامیکی؛ ترسیب شیمیایی از فاز بخار.

¹. M.azadi@semnan.ac.ir

مقدمه

پوشش های نیترید تیتانیم، نیتروکاربیدتیتانیم و کاربید تیتانیم به دلیل داشتن خواصی مطلوب مانند سختی و مدول الاستیک بالا، مقاومت بالا در برابر سایش و ضریب اصطکاک کمتر نسبت به مواد فلزی بدون پوشش، امروزه کاربرد گستردهای را در صنعت در زمینه ساخت قطعات متفاوت چون ابزارهای برش به عنوان یوشش های نازک سخت به خود اختصاص دادهاند[۳–۱]. از آنجا که پوشش های سخت همانند کاربید تیتانیم به علّت تردی نسبتاً بالا معمولاً برای استفاده در قالبهای شکلدهی، آهنگری، سمبه و ماتریس (شرایط بار گذاری دینامیک یا ضربه-اي) مناسب نمي باشد، لذا در تحقيقات اخير، از سنتز پوشش هاي چند لايه براي رفع اين مشكل استفاده شده است [4-4]، زیرا که هر لایه از پوشش های چند لایه، دارای خواص مخصوص به خود است که استفاده همزمان از این لايهها، سبب بهبود كاركرد قطعات مي شود. عمده ترين روش هاي ايجاد اين نوع پوشش ها، روش ترسيب از فاز بخار فیزیکی و شیمیایی میباشد. کم بودن نرخ رسوبدهی، نیاز به خلأ بسیار بالا، کاهش استحکام چسبندگی پوشش به زیر لایه و قدرت پرتاب نسبتاً کم به منظور پوشش دهی قطعات با هندسه پیچیده از محدودیتهای روش ترسیب از فاز بخار فیزیکی محسوب میشود[۴]. در روش ترسیب از فاز بخار شیمیایی گرمایی، دمای زیاد فرایند (بالاتر از ۷۰۰ درجه سانتی گراد) نیز، سبب کاهش کیفیت پوشش و تغییر خواص زیر لایه می شود. اما روش ترسیب از فاز بخار شیمیایی به کمک پلاسما، تکنیک مناسبی برای ایجاد پوشش با کم کردن چند محدودیت ذکر شده، می باشد [۸-۷]. تحقیقات بسیاری [۵-۴و ۱۰] در مورد ایجاد پوشش تک لایه به این روش شده است ولیکن در این مقاله برای اولین بار یک پوشش ده لایه با ترکیب شیمیایی مورد نظر از این روش ایجاد شد و سیس، آنالیز یوشش با استفاده از آزمون های مختلف، میکروسختی، میزان سایش، ضریب اصطکاک سطح پوشش انجام شد و رفتارهای متفاوت پوشش چندلایه، چند جزئی و تک لایه مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش تحقيق

پارامترهای پوششدهی همانند چرخه کاری، ولتاژ و محدوده تقریبی دمای فرایند برای ایجاد پوششها با توجه به مقالات [۳و۱۲–۱۱] انتخاب شده است. از جریان مستقیم پالسی برای ایجاد پلاسما در دستگاه پوششدهی استفاده شد. برای تمامی پوششها چرخه کاری ۳۳ درصد و ولتاژ ۶۰۰ ولت است. میزان شار گازهای هیدروژن و آرگون نیز برای تمامی نمونهها به ترتیب ۱۶۰۰ و ۲۰۰ میلی لیتر بر دقیقه است. برای پوشش نیترید تیتانیم تک لایه، فشار محفظه ۴–۲ میلی بار و زمان پوشش دهی ۱۲۰ دقیقه به منظور ایجاد یک لایه ۲/۵±۲ میکرومتری بود. همچنین میزان فشار اولیه دستگاه حدود ۱/۰ میلی بار (۲۰/۰ تور) است. جزئیات دقیق تر در مورد نحوه پوشش دهی بر روی فولاد ابزار H13 در مقالات دیگر آمده است [۱۳]. برای بررسی نوع فاز و ترکیب ایجاد شده پوشش ها، از آزمون پراش پرتو ایکس استفاده شد. در این تکنیک زاویه ورودی کم (۳/۰ تا ۳ درجه) انتخاب شد تا میزان نفوذ پرتو ایکس به مقدار مینیمم خود (۳۰ تا ۲۰۰ نانومتر) رسیده و آنالیز در سطح نیز با خطای

کمتری همراه باشد[۱۴]. پس در این آزمون نیز، به دلیل ضخامت نازک پوشش ها (۰/۵±۲/۵ میکرومتر) از تکنیک پراش با زاویه مایل استفاده شد. مشخصات دستگاه استفاده شده و پارامترهای مربوطه در این آزمون عبارتند از: دستگاه با مدل فلیپس (۲۳۵۵ -PHILIPS - X Pert PW)، ولتاژ ۴۰ کیلو ولت، آمپراژ ۳۰ میلی آمپر، کاتد مسی (Cu ka)، طول موج ۱/۵۴۰۵۶ انگسترم، گام زاویهای ۰۸/۰ و زاویه برخورد ۲ درجه. به منظور ارزیابی بهتر میکروسختی پوشش از آزمون میکروسختی نوپ با نیروی ۵۰ گرم با میانگین داده ۵ نقطه استفاده شد.

سایش نمونهها توسط دستگاه پین بر روی دیسک، مطابق استاندارد ASTM G99-90 با نیروی ۱۰ نیوتن با سرعت ۰/۱ متر بر ثانیه، در مسافت ۱۰۰۰ متر انجام شد. پین مورد استفاده در این آزمون، از جنس کبالت-کاربید تنگستن با سختی حدود ۲۸۰۰–۲۵۰۰ ویکرز و قطر ۶ میلیمتر با هندسه تقریباً نیمه کروی بود. به منظور تعیین میزان نرخ سایش، میزان تغییر وزن نمونهها در پنج بازه زمانی در مسافتهای ۲۰۰ متری با ترازو (با دقت ۵۰۰ میکرو گرم) اندازه گیری شد. در آزمون سایش نیروی اعمالی برای تمامی نمونهها یکسان است. میزان رطوبت هوا ۳۰ درصد و میزان دمای هوا ۲۲ درجه سانتی گراد بود. برای بررسی مکانیزم سایش از میکروسکپ نوری و الکترونی روبشی استفاده شد.

> **نتایج و بحث** در این مقاله به صورت مجزا به ارائه نتایج و بحث پیرامون هر آزمون پرداخته می شود. الف- آزمون پراش اشعه ایکس

با توجه به نتیجه آزمون پراش پرتو ایکس به منظور تعیین ترکیب شیمیایی (شکل ۱) می توان گفت، جهات کریستالو گرافی در این پوشش ها، صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۰۰)، (۳۱۱) و (۲۲۲) بوده که رشد ترجیحی در پوشش های تک لایه و چند لایه در صفحه (۲۰۰) است. هر چند صفحه دیگر (۱۱۱) نیز از لحاظ ترمودینامیکی پایدار بوده و در گزارش دیگر محققین این صفحه به عنوان صفحهای برای رشد ترجیحی ذکر شده است[۵]. در حالت استاندارد پوشش نیترید تیتانیم در زوایای ۳۶/۸۱ (۳۶/۹۰ ، ۶۱/۹۶، ۶۱/۹۷ و ۲۰/۸۷ و پوشش کاربید تیتانیم، باید از خود در زوایای ۳۶/۹۰، ۴۲/۶۰، ۶۲/۰۱ و ۸۸/۷۷ درجه از خود پیکهای مربوط به این فاز را نشان دهد. ضخامت پوشش های ده لایه چون کم است، پوشش چندجزئی و چندلایه دارای مدل پراش

ب- آزمون میکروسختی نتایج این آزمون، در جدول شماره ۱ ارائه شده است. بیشترین سختی مربوط به پوشش ده لایه و حداقل آن مربوط به پوشش نیتریدتیتانیم تک لایه است. پوشش ده لایه دارای تغییر درصد سختی حدود ۱۰ و ۵۰ نسبت به پوشش تکلایه کاربید تیتانیم و نیترید تیتانیم است. دلیل افزایش سختی پوشش های چند لایه، افزایش نیروی لازم برای حرکت نابه جائی ها با توجه به ازدیاد فصل مشتر کها، یکنواختی سطح و افزایش تنش پسماند فشاری [۱۶] می باشد. در مقاله ای ذکر شده است که افزایش تغییرات میزان سختی با توجه به افزایش تنش پسماند حدود ۰/۱ می باشد[۱۷]. همچنین وجود ساختارهای مشابه مکعبی مرکز وجوه پر، در هر دو لایه نیترید تیتانیم و کاربید تیتانیم موجب افزایش سختی در پوشش های چند لایه می شود، زیرا که در این حالت کمترین حفره ها و ترک ها در فصل مشترک میان لایه ها ایجاد می گردند[۱۸].

ج- آزمون سايش

خواص ذاتی مواد چون سختی، استحکام، انعطاف پذیری و سختی (کار) پذیری بر روی میزان مقاومت مواد در برابر سایش تأثیر گذار هستند. علاوه بر این، عوامل بسیاری مانند میزان صافی سطوح، نوع محیط (روغن)، نیروی اعمالی، سرعت اعمال نیرو، خورد گی، زبری ساینده، میزان ذرات آلود گی و دما وجود دارند که به عنوان پارامترهای خارجی بر روی میزان سایش تأثیر گذار میباشند. لذا در این آزمون تمامی عواملی خارجی برای تمامی نمونه ها ثابت است، تا خواص ذاتی مواد به عنوان پارامتر تغییردهنده نتایج آزمون مطرح شوند. نتایج آزمون سایش در جدول ۱ ارائه شده است. حداقل میزان سایش در شرایط یکسان برای پوشش ده لایه و حداکثر آن مربوط به پوشش تک لایه نیترید تیتانیم است.

در این مقاله نیز با توجه به هندسه جسم ساینده و تصاویر محل های سایش، نوع سایش تمامی پوشش ها تلفیقی از مکانیزم خراشان و چسبان به همراه سایش خستگی سطحی بر اثر اعمال نیروی متناوب در زمان، تشخیص داده شد. ولیکن از لحاظ تماس و نوع تخریب ایجاد شده بر روی سطح، محل های سایش به صورت های متفاوت چون بریدگی و ایجاد شیار، لهشدگی و ایجاد حفره و ... خود را نشان میدهد. با توجه به عکسهای میکروسکپ نوری ارائه شده از مسیر سایش (شکل ۲-لف)، به نظر میرسد مکانیزم سایش در پوشش نیترید تیتانیم به صورت چسبان باشد که فشردگی لایهها در هم، در کنارههای مسیر سایش مؤیّد این مطلب است. در این صورت ماده توسط جسم ساینده کنار زده می شود به طوری که میزان کاهش وزن ماده در این نوع سایش بسیار کم میباشد. اما در صورتی که لبه های ایجاد شده توسط عمل مکرر سایش از بین رود (سایش خستگی)، گزارش میزان کاهش وزن ماده می تواند قابل ملاحظه باشد. لذا در این حالت، پهنای مسیر سایش در مقایسه با سایر نمونه ها بیشتر (حدود ۱۲۰۰ میکرومتر) می باشد. مرز بین مناطق مورد سایش و مناطق دیگر با خطوط منحنی از هم جدا شده است که این مشاهده می تواند به علّت کاهش میزان سختی پوشش در مقایسه با سایر پوشش ها مانند کاربید تیتانیم باشد. در منطقه سایش، کل مسیر سایش به صورت یکنواخت تحت تأثیر قرار گرفته است و میزان حفرهها کمترین مقدار خود را دارد. برخی از ترکهای سطحی در مسیر سایش مشاهده می شود، این نوع ترکها گاهی به کاهش یا عدم وجود تنش پسماند فشاری در سطح نسبت داده میشود [۱۹]. در برخی از مقاله ها اینگونه گزارش است که در هنگام سایش، در سرعت های بالا (۱/۵ متر برثانیه) و با حضور درصد رطوبت بالا (۸۰ درصد)، در هنگام سایش، یک لایه اکسید تیتانیم ایجاد شده که همین عامل سبب کاهش یا

افزایش ناگهانی میزان ضریب اصطکاک می شود [۲۰]. در این تحقیق که سرعت سایش به صورت متوسط انتخاب شده است و درصد رطوبت هوا بالا نیست، حضور چنین مکانیزمی (ترموشیمیایی) بعید به نظر می رسد. لذا نوع مکانیز مهای ایجاد شده در این شرایط صرفاً به عوامل مکانیکی وابسته است و عوامل شیمیایی و تغییر فازهای جدید در این پوشش ها دخیل نمی باشد. آزمون عنصری طیف سنجی پر تو ایک س (شکل شماره ۳) از محل سایش این ادعا را ثابت می کند.

در پوشش کاربید تیتانیم با سختی بیشتر نسبت به پوشش نیترید تیتانیم، پهنای قسمت مورد سایش، حدود ۸۰۰ میکرومتر شده و اما میزان حفرات ریز در طول مسیر سایش افزایش یافته و مکانیزم سایش را متفاوت از نمونه تک لایه نیترید تیتانیم کرده است. طبق شکل ۲-ب می توان گفت، مرز بین مناطق مورد سایش و مناطق دیگر با خطوط کاملاً شکسته از هم جدا شده است و نوع مکانیزم سایش به صورت بریدگی پوشش از روی سطح (لایهبرداری) می باشد. میزان فشردگی لایه ها در مرز سایش، کمترین مقدار خود را نشان داده که همین عامل نشان از شکست ترد و با کمترین مقدار تغییر شکل پلاستیک این پوشش می باشد. خطوط سایش در کل مسیر سایش به صورت موازی می باشد و اندازه حفرات دایره ای ایجاد شده کوچک (متوسط حدود ۱-۲ میکرومتر) و تعدادشان نیز محدود است.مسیر سایش در این پوشش نسبت به سایر پوشش ها صاف تر است که این مسئله معدادشان نیز محدود است.مسیر سایش در این پوشش نسبت به سایر پوشش ها صاف تر است که این مسئله محمترین ضریب اصطکاک برای کاربید تیتانیم تک لایه را نیز توجیه می کند که این نتیجه با گزارش دیگر

پهنای مسیر سایش برای پوشش ده لایه نیز حدود ۴۰۰ میکرومتر میباشد. به نظر میرسد، قسمتی هایی از منطقه مورد سایش تحت تخریب کمتری نسبت به باقی مناطق قرار گرفتهاند. با افزایش تعداد لایههای پوشش می توان گفت افزایش چقرمگی پوشش در مسیر سایش (شکل ۲-ج) مشاهده می شود، زیرا که وجود تر کنهای سطحی و حفرهها به حداقل مقدار خویش رسیده است. مکانیزم پوشش های چند لایه ترکیبی از مکانیزم ایجاد خراشیدگی و بریدگی میباشد. لذا کاهش پهنای مسیر سایش و کاهش عمق صدمات همانند ایجاد حفره با افزایش تعداد لایههای پوشش و سختی پوشش، نیز با نتایج دیگر محققین [۲۲] هماهنگی دارد. مسیر سایش برای پوشش چند جزئی نیتروکاربید تیتانیم نسبت به پوشش تحک لایه نیترید تیتانیم افزایش می یابد (شکل ۲-د) و لیکن به دلیل شیارهای کمتر دارای میزان مقاومت به سایش بشتری نسبت به آن (شکل ۴) برای بررسی بیشتر مکانیزم سایش از عکس میکروسکوپ الکترونی مسیر سایش (شکل ۴) نیز استفاده شد. در پوشش تک لایه کاربید تیتانیم بریدگی در سطح مشاهده شده و در پوشش های چند لایه نوع اثرات سایش به میر سایش برای بوشش هایش از عکس میکروسکوپ الکترونی مسیر سایش (شکل ۴) نیز استاه می به میرد گی، له دای د این مای در دارای میزان مقاومت به سایش بیشتری نسبت به آن است. موشش تک لایه کاربید تیتانیم بریدگی در سطح مشاهده شده و در پوشش های چند لایه نوع اثرات سایش به میش دگی، له دکی و جدایش لایه در تعری شده است. عمق بریدگی ها در این پوشش ها کم است که همین عامل سبب شده که افزایش میزان مقاومت به سایش با افزایش تعداد لایه ها، به صورت چشمگیری خود را نشان دهد.

د- آزمون ضريب اصطكاك

میزان ضریب اصطکاک برای پوشش نیترید تیتانیم به صورت میانگین بین ۲۰–۲۰ است که حداکثر ضریب اصطکاک را در میان دیگر پوشش ها به خود اختصاص داده است. همچنین در تحقیقی نشان داده شده است که میزان ضریب اصطکاک برای پوشش نیترید تیتانیم تقریباً مستقل از میزان نیروی اعمالی (۱۰–۲ نیوتن) می باشد[۲۳]. در صورتی که پوشش نیترید تیتانیم از روش های ترسیب از فاز بخار فیزیکی تهیه شده باشد، نمودار ضریب اصطکاک باز هم روند افزایشی داشته و میزان ضریب اصطکاک حتی به ۱ هم می رسد[۲۴]. لذا می توان گفت پوشش های ایجاد شده با استفاده از روش های شیمیایی، دارای ضریب اصطکاک که می رسد[۲۴]. لذا می توان پوشش های ترسیب شده از روش های فیزیکی هستند. ضریب اصطکاک پوشش ده لایه نسبت به پوشش تک لایه نیترید تیتانیم حدود دو برابر کمتر است. افزایش سختی و تغییر نوع مکانیزم سایش دلیل این کاهش است.

نتيجه گيري

۱) پوشش نیتروکاربید تیتانیم نسبت به پوشش نیترید تیتانیم دارای ضریب اصطکاک و میزان سایش کمتری است.

۲) بهترین خواص مکانیکی از لحاظ سختی و مقاومت به سایش مربوط به پوشش ده لایه نیترید تیتانیم/ کاربیدتیتانیم است.

۳) برای اینکه حداقل ضریب اصطکاک (۰/۱) حاصل شود باید از پوشش تک لایه کاربید تیتانیم استفاده شود. ۴) با تغییر ترکیب شیمیایی پوشش نوع مکانیزم سایش میتواند تغییر پیدا کند و عوارش سایش با چندلایه شدن به جای ایجاد حفره به سمت لهشدگی لایهها پیش رود.

مراجع

[1] J. P.Mariano, K.H. Lau, A. Sanjurjo, J. Caro, J.M. Prado, C. Colominas, Multilayer coatings by CVD in a fluidized bed reactor at atmospheric pressure (AP/FBR-CVD): TiN/TaN and TiN/W, Surface and Coatings Technology 201 (2006) 2174-2180.

[2] S. Shimada, T. Furuta, J. Tsujino, I. Yamazaki, Thermal plasma CVD of PSZ and double layered TiN/PSZ coatings by injection of alkoxides solutions with H₂O, Surface and Coatings Technology 202 (2008) 4644-4652.

[3] M. Azadi, A. Sabour Rouhaghdam, S. Ahangarani, H. Hedaiat Mofidi, "Effect of number of layers on the toughness of TiN/TiC multilayer coatings" International Journal of Microstructure and Materials Properties 9 (2014) 500-515.

[4] C. Taschner, B. Ljungberg, V. Hoffmann, C. Vogt, A. Leonhardt, Deposition of TiN, TiC and TiAlN coatings by pulsed d.c plasma enhanced CVD methods, Surface and Coatings Technology 142-144 (2001) 823-828. [46] N. J. Akchek, The plasma assisted chemical vapor deposition of TiC, TiN and TiCN, Thin Solid films 80 (1981) 221-225.

[5] A. Devia, V. Benavides, E. Restrepo, D.F. Arias, R. Ospina, Influence substrate temperature on structural properties of TiN/TiC bilayers produced by pulsed arc techniques, Vacuum 81 (2006) 378–384.

[6] J. Ding, Y. Meng, S. Wen, Mechanical properties and fracture toughness of multilayer hard coatings using nanoindentation, Thin Solid Films 371 (2000) 178-182.

[7] H. Jiménez, D.M. Devia, V. Benavides, A. Devia, Y.C. Arango, P.J. Arango, J.M. Velez, Thermal protection of H13 steel by growth of (TiAl)N films by PAPVD pulsed arc technique, Materials characterization 59 (2008) 1070-1077.

[8] S. Shimada, M. Takahashi, J. Tsujino, I. Yamazaki, K. Tsuda, Deposition and wear resistance of Ti–B–N–C coatings on WC–Co cutting tools from alkoxide solutions by thermal plasma CVD, Surface and Coatings Technology 201 (2007) 7194-7200.

[9] J. P. Davim, F. Mata, CVD diamond coated tools performance in machining of PEEK composites, Materials and Design 29 (2008) 1568-1574.

[10] T.H. Fang, S.R. Jian, D.S. Chuu, Nanomechanical properties of TiC, TiN and TiCN thin films using scanning probe microscopy and nanoindentation, Applied Surface Science 228 (2004) 365-372.

[11] T.H. Fang, S.R. Jian, D.S. Chuu, Nanomechanical properties of TiC, TiN and TiCN thin films using scanning probe microscopy and nanoindentation, Applied Surface Science 228 (2004) 365-372.

[12] J.Y Yun, S.W Rhee, Effect of H, and N in the remote plasma enhanced metal organic CVD of TiN from tetrakis-diethyl-amido-titanium, Thin Solid Films 312 (1998) 24-26.

[13] M. Azadi, A. S.Rouhaghdam, S. Ahangarani, H. H.Mofidi, M. Valiei, Mechanical behavior and properties of TiN/TiC coating using PACVD, Advanced Material Research 829 (2014) 476-481

[14] H. Liepack, K. Bartsch, B. Arnold, H.D. Bauer, X. Liu, M. Knupfer, A. Leonhardt, Characteristics of excess carbon in PACVD TiC-amorphous carbon layers, Diamond and Related Materials 13 (2004) 106-110.

[15] B. Dua, S. R.Paital, N. B.Dahotre, Synthesis of TiB2–TiC/Fe nano-composite coating by laser surface engineering, Optics and Laser Technology 45 (2013) 647–653.

[16] L. Karlsson, L. Hultman, J.E. Sundgren, Influence of residual stresses on the mechanical properties of TiCxN1-x (x=0, 0.15, 0.45) thin films deposited by arc Evaporation, Thin Solid Films 371 (2000) 167-177.

[17] H. Gettel, R. Wiedemann, Residual stresses in PVD hard coatings, Surface and Coatings Technology 76-77 (1995) 265-273.

[18] S. P.Pemmasani, K. V. Rajulapati, M. Ramakrishna, K.Valleti, R. C. Gundakaram, S.V. Joshi, Characterization of multilayer nitride coatings by electron microscopy and modulus mapping, Materials characterization 81 (2013) 7–18.

[19] S. Lo Caste, E. Lo Valvo, V. F. Ruisi, Wear mechanism of ceramic tools, Wear 160 (1993) 227-235.

[20] J. F. Lin, J. H.Horng, Analysis of the tribological behaviour and wear mechanisms titanium nitride coating, Wear 171 (1994) 59-69.

[21] J. Lin, J. J. Moore, M. Pinkas, D. Zhong, W. D. Sproul, TiBCN:CNx multilayer coatings deposited by pulsed closed field unbalanced magnetron sputtering, Surface and Coatings Technology 206 (2011) 617-622.

[22] S.H. Huang , S.F. Chen , Y.C. Kuo, C.J. Wang , J.W. Lee, Y.C. Chan , H.W. Chen , J.G. Duh, T.E. Hsieh, Mechanical and tribological properties evaluation of cathodic arc deposited CrN/ZrN multilayer coatings, Surface and Coatings Technology 206 (2011) 1744-1752.

[23] U. Sen, Friction and wear properties of thermo-reactive diffusion coatings against titanium nitride coated steels, Materials and Design 26 (2005) 167–174.

[24] E. Vancoille, J. P. Celis, J. R. Roos, Tribological and structural characterization of a physical vapor deposited TiC/Ti(C,N)/TiN multilayer 26 (1993) 115-119.

جدول ۱: نتایج آزمون میکروسختی و سایش برای پوشش های متفاوت

Archive of SID

راهنمای تهیه مقاله برای

میکروسختی (گیگاپاسکال)	ضريب اصطكاك	میزان سایش 10 ⁻⁷ (mm ³ /N.m)	جنس پوشش
て・/・ ±1/・	•/۴· -•/۵·	8/8V	نيتريد تيتانيم
۲۷/۰ ±۱/۰	•/\• - /\۵	۳/۲۵	كاربيد تيتانيم
て ٩/・ ± ١/・	•/\•_•/Y•	•/•۵	پوشش ده لايه
7 ۴/・ ± 1/・	•/٣۵ -•/۴•	٣/١٠	نيتروكاربيد تيتانيم



شکل ۱: نتایج آزمون پراش پرتو ایکس برای نمونههای مختلف



شکل ۲: تصویر میکروسکوپی نوری از محل سایش نمونهها الف- نیترید تیتانیم، ب- کاربید تیتانیم، ج- پوشش ده لایه و د-نیتروکاربیدتیتانیم





شکل ۴: تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از محل سایش نمونهها الف- کاربید تیتانیم و ب- پوشش ده لایه.