



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مواد

بررسی و مطالعه رفتار تریبولوژیکی پوشش‌های سخت Cr-Ti-N توسط روش رسوب فیزیکی بخار با استفاده از قوس کاتدی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد

مهدی اکبرزاده مقدم

استاد راهنما
دکتر علی شفیعی

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

به نام او که وجود ما به عنایت او و سجود ما به هدایت او است.

به نام او که صلاح ما به ولایت او و فلاح ما به رعایت او است. به نام او که حیات ما به نعمت او و نجات ما

به رحمت او است.



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مواد

بررسی و مطالعه رفتار تریبولوژیکی پوشش‌های سخت Cr-Ti-N توسط روش رسوب فیزیکی بخار با استفاده از قوس کاتدی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد

مهدی اکبرزاده مقدم

استاد راهنما

دکتر علی شفیعی



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مواد

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مواد آقای مهدی اکبرزاده مقدم
تحت عنوان

**بررسی و مطالعه رفتار تریبولوژیکی پوشش‌های سخت Cr-Ti-N توسط روش رسوب
فیزیکی بخار با استفاده از قوس کاتدی**

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۷ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر علی شفیعی

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه

دکتر حمیدرضا سلیمی جزی

۲- استاد مشاور پایان‌نامه

دکتر حسین ادريس

۳- استاد داور

دکتر محمد حسین عنایتی

۴- استاد داور

دکتر مسعود پنجه پور

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

الهی

ادای شکر تراپیج زبان نیست و دریای فضل تراپیج کران نیست

و سر حقیقت تو بر پیکس عیان نیست،.....

هدایت کن بر ما ره‌ی که بهتر از آن نیست.

هر چند کلام از ایفای امتنان عاجز است، اما بدین وسیله از استاد ارجمند جناب دکتر علی شفیعی که در انجام این پایان نامه از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های بی دریغ و دلسوزانه ایشان همواره بهره‌مند بوده‌ام، کمال تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از جناب دکتر حمیدرضا سلیمی جزی که همواره از مشاوره‌های ارزنده ایشان استفاده نموده‌ام، تشکر می‌نمایم. همچنین از اساتید ارجمند جناب دکتر حسین ادریس و دکتر محمد حسین عنایتی که فرصت مطالعه و داوری پایان نامه را پذیرفتند، کمال تشکر را دارم. در پایان از تمامی اساتید دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان که در طول تحصیل از دانش آن‌ها بهره برده‌ام، سپاسگزارم.

کلیه ی حقوق مادی مرتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

زهرای اطهر، مظهر جلال و جمال الهی و فرزند عدالت
گسترش مهدی موعود، قائم آل محمد

تقدیم به:

پدرو مادر کرامی ام

که باگذشت و فداکاری موجبات پیشرفت و ترقی را برایم فراهم نمود و شمع

وجودشان همواره هدایت گر را هم بوده است.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
۱	چکیده
۳	فصل اول: مقدمه
۵	فصل دوم: مروری بر منابع مطالعاتی
۱۵	۱-۲- معرفی و تاریخچه پوشش‌های سخت نیتریدی
۱۳	۲-۲- روش‌های اعمال پوشش‌های سخت نیتریدی
۱۴	۳-۲- روش رسوب فیزیکی بخار (PVD)
۱۵	۱-۳-۲- فرایند پوشش دادن تبخیری
۲۰	۲-۳-۲- فرایند پوشش دادن پراکنشی
۲۲	۳-۳-۲- فرایند پوشش دادن یونی
۲۳	۴-۲- کاربرد پوشش‌های سخت نیتریدی حاصل از PVD
۲۴	۵-۲- خواص پوشش‌های سخت نیتریدی حاصل از PVD
۲۴	۱-۵-۲- ساختار پوشش
۲۹	۲-۵-۲- چسبندگی پوشش
۳۰	۳-۵-۲- بافت پوشش
۳۳	۴-۵-۲- تنش‌های پسماند در پوشش
۳۵	۵-۵-۲- خوردگی و اکسیداسیون پوشش
۳۶	۶-۵-۲- رفتار تریبولوژی پوشش
۳۹	۶-۲- جمع بندی و برنامه پژوهشی حاضر
۴۰	فصل سوم: روش انجام آزمایش‌ها
۴۰	۱-۳- نمونه
۴۰	۱-۱-۳- جنس نمونه
۴۰	۲-۳- تهیه نمونه
۴۱	۳-۳- عملیات حرارتی
۴۴۱	۴-۳- تمیز کردن و آماده سازی نهایی سطح
۴۱	۵-۳- اعمال پوشش PVD
۴۲	۶-۳- ارزیابی پوشش
۴۲	۱-۶-۳- بررسی ریزساختار و اندازه گیری ضخامت
۴۴	۲-۶-۳- آنالیز پراش پرتو ایکس
۴۴	۳-۶-۳- تعیین اندازه دانه پوشش
۴۵	۴-۶-۳- محاسبه ضریب بافت نسبی پوشش

۴۵	..... تعیین زبری پوشش ۳-۶-۵
۴۵	..... تعیین خواص مکانیکی ۳-۶-۶
۴۶	..... آزمون سایش ۳-۶-۷
۴۷	..... آزمون برجسته نگاری سطوح سایش ۳-۷-۷
۴۹	..... فصل چهارم: نتایج و بحث
۴۹	..... ۴-۱- فرایند پوشش دهی
۵۰	..... ۴-۲- مشخصه یابی پوشش
۶۶	..... ۴-۳- بررسی خواص مکانیکی پوشش
۶۹	..... ۴-۴- بررسی رفتار سایشی پوشش
۷۶۹	..... ۴-۴-۱- تعیین مکانیزم‌های حاکم بر سایش
۷۵	..... ۴-۴-۲- مقاومت سایشی پوشش
۸۳	..... ۴-۴-۳- رفتار اصطکاکی پوشش
۹۳	..... فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها
۹۳	..... ۵-۱- نتایج
۹۵	..... ۵-۲- پیشنهادها
۹۶	..... پیوست ۱
۹۹	..... منابع و مراجع

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- ساختار کریستالی TiN.....	۷
شکل ۲-۲- نمایی از قرار گرفتن اتم نیتروژن بین اتم‌های تیتانیوم و تغییر ساختار کریستالی تیتانیوم.....	۸
شکل ۳-۲- دیاگرام فازي TiN.....	۸
شکل ۴-۲- نمایی از قرار گرفتن اتم نیتروژن در بین اتم‌های کروم و تغییر ساختار کریستالی کروم.....	۹
شکل ۵-۲- دیاگرام فازي CrN.....	۱۰
شکل ۶-۲- فرایند رسوب فیزیکی بخار و انواع آن.....	۱۴
شکل ۷-۲- شمایی از انواع فرایندهای رسوب فیزیکی بخار: (الف) تبخیری، (ب) پراکنشی و (ج) یونی.....	۱۴
شکل ۸-۲- شمایی از وابستگی تبخیر ماده هدف به دما و انرژی یون‌های برخوردکننده به سطح.....	۱۶
شکل ۹-۲- شمایی از فرایند تبخیر قوس کاتدی: (الف) فرایند و (ب) دستگاه.....	۱۷
شکل ۱۰-۲- نمایی از سطح مقطع یک پوشش در روش رسوب قوس کاتدی.....	۱۸
شکل ۱۱-۲- اثر افزایش جریان قوس بر افزایش ترشحات مذاب: (الف) ۱۰۰ آمپر، (ب) ۸۰ آمپر و (ج) ۶۰ آمپر.....	۱۹
شکل ۱۲-۲- روش اکسنو برای حذف ذرات بزرگ با هدایت ربع دایره بر اساس اپتیک پلاسما.....	۲۰
شکل ۱۳-۲- شمایی از جوانه زنی و رشد متوالی فیلم‌های نازک.....	۲۵
شکل ۱۴-۲- تأثیر دمای زیرلایه بر ساختار پوشش بر اساس پیشنهاد موچان و دمچی شین.....	۲۶
شکل ۱۵-۲- نواحی مختلف ساختاری در پوشش‌های رسوب فیزیکی بخار بر طبق مدل تروتن.....	۲۷
شکل ۱۶-۲- وابستگی مدول یانگ پوشش نیتريد کروم به اندازه دانه آن.....	۲۸
شکل ۱۷-۲- انواع مناطق فصل مشترک.....	۲۹
شکل ۱۸-۲- توپوگرافی سطحی و مدل‌های ترجیحی رشد (الف)-(۱۰۰)، (ب)-(۱۱۰) و (ج)-(۱۱۱).....	۳۲
شکل ۱۹-۲- اثر افزایش کروم بر مدول یانگ و سختی پوشش TiN.....	۳۲
شکل ۲۰-۲- میزان تنش‌های فشاری در سه پوشش TiN، CrN و TiN / CrN.....	۳۴
شکل ۲۱-۲- شکست پوشش در اثر تنش‌های پسماند.....	۳۴
شکل ۲۲-۲- تأثیر ضخامت پوشش TiN در میزان تنش پسماند.....	۳۵
شکل ۲۳-۲- مراحل مختلف اصطکاک.....	۳۹
شکل ۱-۳- شمایی از پوشش‌های مورد استفاده (الف) TiN، (ب) CrN و (ج) (TiCr)N.....	۴۲
شکل ۲-۳- شمایی از تابع گوسی چهار متغیره.....	۴۴
شکل ۳-۳- نمودار زبری سطح که عبارت است از نمودار برآمدگی‌های سطحی γ نسبت به خط میانگین.....	۴۵
شکل ۴-۳- نمایی از آزمون سایش گلوله روی دیسک.....	۴۶
شکل ۱-۴- پوشش‌های (الف) TiN، (ب) CrN و (پ) (TiCr)N.....	۴۹
شکل ۲-۴- تصویر میکروسکوپ نوری از سطح پوشش‌های (الف) TiN، (ب) CrN و (پ) (TiCr)N.....	۴۹

- شکل ۴-۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح پوشش ۵۰
- شکل ۴-۴- نمونه ای از میکرو ذرات بر سطح پوشش (TiCr)N ۵۱
- شکل ۴-۵- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) ثانویه، (ب) برگشتی از سطح مقطع پوشش های TiN ۵۱
- شکل ۴-۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع پوشش های CrN ۵۲
- شکل ۴-۷- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی برگشتی از سطح مقطع پوشش های (TiCr)N ۵۳
- شکل ۴-۸- ضخامت های پوشش با استفاده از نرم افزار تحلیلگر تصویر دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۳
- شکل ۴-۹- فشار بخار مواد و نقطه ذوب رایج به عنوان هدف در روش PVD ۵۴
- شکل ۴-۱۰- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع پوشش (الف) C-1، (ب) C-2 و (ج) C-3 ۵۵
- شکل ۴-۱۱- الگوی پراش اشعه ایکس پوشش TiN ۵۷
- شکل ۴-۱۲- الگوی پراش اشعه ایکس پوشش CrN ۵۸
- شکل ۴-۱۳- الگوی پراش اشعه ایکس پوشش (TiCr)N ۵۸
- شکل ۴-۱۴- پیک شاخص (۲۲۰) در سه نوع پوشش ایجاد شده در شرایط یکسان رسوب دهی ۶۰
- شکل ۴-۱۵- پیک شاخص (۲۲۰) در پوشش های اعمال شده در دو دمای 100°C و 400°C ۶۲
- شکل ۴-۱۶- اندازه دانه پوشش های اعمالی برای پیک (۲۲۰) ۶۲
- شکل ۴-۱۷- ضریب بافت صفحات تفرق یافته نمونه TiN ۶۳
- شکل ۴-۱۸- ضریب بافت صفحات تفرق یافته نمونه CrN ۶۳
- شکل ۴-۱۹- ضریب بافت صفحات تفرق یافته نمونه (TiCr)N ۶۴
- شکل ۴-۲۰- مقادیر زبری سطح هر یک از پوشش ها ۶۶
- شکل ۴-۲۱- منحنی های حاصل از آزمون نانو فرورونده: (الف) TiN، (ب) CrN و (پ) (TiCr)N ۶۷
- شکل ۴-۲۲- مقادیر سختی هر یک از پوشش ها ۶۹
- شکل ۴-۲۳- تصاویر SEM و آنالیز EDS مربوط به سطح سایش و ذرات جدا شده از سطح پوشش TiN ۷۲
- شکل ۴-۲۴- تصاویر SEM و آنالیز EDS مربوط به سطح سایش و ذرات جدا شده از سطح پوشش CrN ۷۳
- شکل ۴-۲۵- تصاویر SEM و آنالیز EDS مربوط به سطح سایش و ذرات جدا شده از سطح پوشش ۷۴
- شکل ۴-۲۶- تصاویر AFM از سطوح ساییده شده (الف) TiN، (ب) CrN و (پ) (TiCr)N ۷۵
- شکل ۴-۲۷- تغییرات وزن دیسک در پوشش های TiN ۷۶
- شکل ۴-۲۸- تغییرات وزن دیسک در پوشش های CrN ۷۷
- شکل ۴-۲۹- تغییرات وزن دیسک در پوشش های (TiCr)N ۷۸
- شکل ۴-۳۰- مقایسه بین نرخ سایش فلز پایه و پوشش های TiN، CrN و (TiCr)N در بار اعمالی ۷ نیوتن ۸۰
- شکل ۴-۳۱- تغییرات کاهش وزن بر حسب مسافت سایشی در بار اعمالی ۷ نیوتن ۸۱
- شکل ۴-۳۲- تصاویر: (الف) سه بعدی، (ب) دو بعدی و (ج) پروفیل سطح مقطع سایش پوشش TiN ۸۱
- شکل ۴-۳۳- تصاویر: (الف) سه بعدی، (ب) دو بعدی و (ج) پروفیل سطح مقطع سایش پوشش CrN ۸۲

- شکل ۴-۳۴- تصاویر: (الف) سه بعدی، (ب) دو بعدی و (ج) پروفیل سطح مقطع سایش پوشش (TiCr)N..... ۸۲
- شکل ۴-۳۵- تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به مسافت در پوشش TiN..... ۸۴
- شکل ۴-۳۶- تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به مسافت در پوشش CrN..... ۸۵
- شکل ۴-۳۷- تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به مسافت در پوشش (TiCr)N..... ۸۶
- شکل ۴-۳۸- تغییرات ضریب اصطکاک نسبت به مسافت در نمونه بدون پوشش..... ۹۰
- شکل ۴-۳۹- مقادیر ضریب اصطکاک متوسط برای سه نوع پوشش در بار اعمالی ۵ نیوتن..... ۹۱
- شکل ۴-۴۰- نمودار ضریب اصطکاک میانگین برای نمونه بدون پوشش و نمونه های پوششی..... ۹۲

فهرست جداول

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
جدول ۱-۲- خواص برخی از پوشش‌های سخت متداول.....	۷
جدول ۲-۲- ویژگی‌های دو روش پوشش‌دهی PVD و CVD.....	۱۴
جدول ۲-۳- پارامترهای فرایند PVD برای پوشش‌های مختلف.....	۴۳
جدول ۳-۳- پارامترهای عملیاتی دستگاه پراش پرتو ایکس در فاز یابی.....	۴۵
جدول ۱-۴- جنس پوشش‌های ایجاد شده و شرایط اعمال پوشش.....	۴۸
جدول ۲-۴- نتایج EDS از سطح پوشش‌ها.....	۵۶
جدول ۳-۴- زاویه تفرق و پارامتر شبکه و تنش پسماند در هر یک از پوشش‌ها.....	۶۱
جدول ۴-۴- نتایج حاصل از آزمون نانوفرورونده.....	۶۷
جدول ۵-۴- نتایج حاصل از اندازه‌گیری عرض و عمق منطقه سایش و حجم منطقه ساییده شده.....	۸۳

چکیده

امروزه به منظور افزایش طول عمر و میزان کاربری، اکثر ابزارها و قطعات صنعتی تحت عملیات سطحی مختلفی قرار میگیرند که از جمله این فرایندها، ایجاد پوشش‌های نازک به روش رسوب فیزیکی بخار می‌باشد. پوشش‌های سخت نیتریدی یکی از بهترین و رایج‌ترین پوشش‌هایی هستند که در کاربردهای مختلف صنعتی از جمله به عنوان پوشش ابزار برشی و قالب‌های شکل دهی و ریخته‌گری و... مورد استفاده زیادی قرار گرفته و تاکنون تحقیقات زیادی به منظور بهبود خواص، کاربری و نحوه اعمال آن‌ها صورت گرفته است. در پژوهش حاضر رفتار سه پوشش $(TiCr)N$ ، CrN و TiN اعمال شده توسط روش رسوب فیزیکی بخار با استفاده از قوس کاتدی در دو دمای رسوب دهی $400^{\circ}C$ و $1000^{\circ}C$ بر روی فولاد ابزار سردکار D6 در دو زبری متفاوت زیرلایه مورد بررسی قرار گرفت. خواص فیزیکی و مکانیکی پوشش ایجاد شده همچون ریزساختار، ضخامت، ترکیب شیمیایی، فازهای تشکیل دهنده پوشش، اندازه دانه، بافت، زبری و سختی، مورد مطالعه قرار گرفته است. شناسایی فازهای موجود در پوشش توسط روش پراش اشعه ایکس (XRD) و همچنین از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز تفکیک انرژی (EDX) جهت مطالعه ریز ساختار و مورفولوژی رشد و ترکیب پوشش استفاده گردید. بررسی خواص مکانیکی توسط آزمون نانو فرورونده صورت پذیرفت. همچنین در این پژوهش رفتار سایشی سه پوشش CrN ، TiN و $(TiCr)N$ مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور آزمون سایش لغزشی گلوله بر روی دیسک با استفاده از گلوله‌ای از جنس کاربید تنگستن بر روی نمونه‌های فولادی پوشش داده شده در بارهای اعمالی ۵ و ۷ و ۹ نیوتن انجام گرفت. از میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز تفکیک انرژی و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) جهت مطالعه سطوح سایش استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که خواص هر یک از این پوشش‌ها با تغییر شرایط پوشش دهی متفاوت می‌باشد. خواص مکانیکی از جمله سختی، مدول یانگ و سفتی در پوشش‌های CrN و $(TiCr)N$ و TiN به ترتیب افزایش می‌یابد. نتایج آزمون سایش، نشان دهنده مقاومت بالاتر پوشش $(TiCr)N$ نسبت به CrN و مقاومت ضعیف تر آن نسبت به نمونه TiN می‌باشد. سایش خراشان و تریبوشیمی به عنوان مهمترین مکانیزم سایش در سه پوشش معرفی شده و همچنین سایش خستگی و ورقه‌ای نیز به ترتیب در پوشش $TiCrN$ و CrN به عنوان مکانیزم سایشی شناخته شد.

کلمات کلیدی: رسوب فیزیکی بخار، پوشش سخت نیتریدی، پوشش سه جزئی، سایش

فصل اول

مقدمه

در ساخت ابزارهای برشی، افزایش سختی همراه با افزایش استحکام و چقرمگی، بسیار حائز اهمیت است. اما از آنجایی که ایجاد سختی بالا، بدون کاهش چقرمگی ابزار مقدور نمی‌باشد، همواره در صنعت با استفاده از یک عملیات پوشش‌دهی و یا عملیات سطحی مناسب، سختی سطح را افزایش می‌دهند. با استفاده از فرایند پوشش‌دهی می‌توان ترکیبات بسیار سخت فلزی و غیر فلزی را با چسبندگی بسیار خوب بر روی ابزار و قطعات مورد نظر ایجاد نمود. از جمله این ترکیبات سخت، نیتريد های فلزات انتقالی می‌باشند که در این میان نیتريد تیتانیوم بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نیتريد تیتانیوم با ساختار مشابه نمک طعام، با توجه به سختی بالا، پایداری حرارتی و شیمیایی بالا و مقاومت الکتریکی کم، به عنوان یک پوشش در چند دهه اخیر در صنعت مورد استفاده زیادی واقع شده است. مهم‌ترین ضعف این پوشش، محدودیت دمای کاری آن می‌باشد زیرا این پوشش در دمای بالاتر از 500°C اکسید شده و از آنجایی که این اکسید ناپایدار بوده، به راحتی از سطح جدا شده و باعث کاهش شدید خواص مکانیکی و مقاومت سایشی پوشش می‌شود. بنابراین در طول ۳۰ سال گذشته تلاش‌های مدون زیادی برای بهبود خواص و یا جایگزینی این پوشش انجام شده است.

یکی از بهترین پوشش‌های پیشنهادی برای جایگزینی TiN، پوشش CrN می‌باشد. خواص و کاربرد و نحوه رسوب نشانی این پوشش در طول ۲۰ سال گذشته به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. مقاومت سایش عالی، چسبندگی خوب، تنش پسماند اندک، ریز ساختار بهینه، استحکام خستگی مطلوب و محدوده دمایی کاری بالا، سبب افزایش مصرف پوشش‌های نیتريد کروم در زمینه‌های مختلف نظیر پوشش‌های دایکست و اکستروژن، رینگ پیستون و ابزار برشی شده است. این پوشش نسبت به سایر پوشش‌ها دوام و عمر مفید بیشتری دارد. از مهم‌ترین عیوب این پوشش در مقایسه با دیگر ترکیبات سخت نیتريدی، سختی پایین آن می‌باشد.

پوشش‌های سخت نیتریدی سه‌جزئی اخیراً به دلیل ایجاد خواص منحصر به فرد در اکثر کاربردهای سایشی و خوردگی مورد توجه زیاد محققین قرار گرفته‌اند. گوناگونی فازها در این سیستم‌ها سبب تولید پوشش‌هایی با خواص گوناگون شده است، به طوری که امروزه استفاده از این پوشش‌ها در ابزارهای صنعتی روز به روز افزایش می‌یابد. یکی از پوشش‌هایی که مزایای هر دو پوشش TiN و CrN داشته و در عین حال فاقد محدودیت‌های هر یک می‌باشد، پوشش سه‌جزئی Ti-Cr-N می‌باشد. مطالعه در مورد امکان استفاده از این پوشش در صنایع نظامی، خودروسازی، ابزارهای برشی و قالب‌های ریخته‌گری و همچنین امکان جایگزینی این پوشش با دیگر پوشش‌های مرسوم، در حال انجام است. هر چند تاکنون تحقیقات زیادی درباره ترکیبات سه‌جزئی نیتریدی Cr-Ti-N منتشر شده اما عمده این تحقیقات بر روی رفتار مکانیکی و پایداری حرارتی و رفتار اکسایشی این پوشش، در نسبت‌های مختلفی از کروم و تیتانیوم معطوف شده و بررسی رفتار سایشی این پوشش کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین در این پژوهش رفتار تریبولوژیکی پوشش (TiCr)N در دو دمای رسوب دهی 400°C و 1000°C بر روی فولاد ابزار سردکار D6 و در دو زبری متفاوت زیرلایه، مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت با دو پوشش سخت تک لایه TiN و CrN مقایسه شده است.

روش رسوب فیزیکی بخار یکی از مهم‌ترین روش‌های ایجاد پوشش بوده که امروزه به عنوان تکنیکی مهم در صنعت و تحقیقات کاربرد زیادی پیدا نموده است. در این روش پوشش توسط انتقال بخار ماده پوشان در فضای خلأ و رسوب آن بر روی ماده پایه تشکیل می‌شود. این روش بدون انجام واکنش شیمیایی بوده و کارایی بالایی دارد و دامنه وسیعی از متغیرها را نیز در بر می‌گیرد، که برخی از آن‌ها دارای واکنش شیمیایی نیز می‌باشند. توسط این روش به راحتی با تغییر پارامترهای فرایند پوشش دهی، می‌توان ساختار و خواص پوشش را کنترل نمود. به دلیل کنترل بهتر فرایند و امکان انجام پوشش در درجه حرارت‌های پایین‌تری نسبت به سایر روش‌های پوشش دهی مرسوم، استفاده از این روش رو به افزایش است. بنابراین با توجه به مزایای این روش پوشش دهی و همچنین با توجه به توانایی فرایند رسوب فیزیکی بخار با استفاده از روش تبخیری قوس کاتدی در تولید پوشش‌های چند جزئی که عمدتاً با استفاده از منابع تبخیر مجزا و مستقل صورت می‌گیرد، از این روش جهت تولید پوشش سه‌جزئی Cr-Ti-N استفاده شده است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی رفتار تریبولوژیکی پوشش (TiCr)N با استفاده از روش رسوب فیزیکی بخار توسط قوس کاتدی و مقایسه آن با دو پوشش TiN و CrN می‌باشد. بر این اساس، ابتدا سه نوع پوشش TiN، CrN و (TiCr)N بر روی فولاد سردکار سخت شده توسط عملیات حرارتی، در دو شرایط زبری زیرلایه و دمای رسوب دهی متفاوت اعمال شده و ترکیب و فازهای پوشش، ریز ساختار، خواص مکانیکی و خواص سایشی هر کدام مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد. لذا در فصل دوم این پایان‌نامه پس از تشریح پوشش‌های سخت نیتریدی ویژگی‌ها، تفاوت‌ها و محدودیت‌های هر یک شرح داده می‌شود. در ادامه انواع روش‌های پوشش دهی توسط روش رسوب فیزیکی بخار معرفی شده و سپس خواص پوشش‌های سخت نیتریدی حاصل از روش رسوب فیزیکی بخار تشریح می‌گردد. در فصل سوم پس از بیان شرایط و نحوه اعمال هر یک از پوشش‌های مورد آزمون، روند انجام آزمون و نحوه ارزیابی پوشش‌ها، شرح داده می‌شود. فصل چهارم به بیان نتایج به دست آمده و بحث روی آنها اختصاص یافته است. در نهایت، نتایج کلی حاصل از این پژوهش در فصل پنجم ارائه می‌گردد.

فصل دوم

مروری بر منابع مطالعاتی

۱-۲ معرفی و تاریخچه پوشش‌های سخت نیتریدی

این حقیقت که درصد زیادی از قطعات بر اثر پدیده‌های سطحی نظیر سایش، خوردگی، فرسایش و خستگی در ضمن کار از بین رفته و یا کارائی خود را از دست می‌دهند، موجب گردید که علمی به نام مهندسی سطح در عرصه تحقیقات و صنعت در اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی پا به عرصه ظهور بگذارد. اما به مرور زمان با توجه به افزایش نرخ تولید و کار تجهیزات، پدیده‌هایی مانند سایش و خوردگی در اجزای مختلف ماشین آلات و سازه‌ها نیز به طور قابل ملاحظه‌ای رشد یافت. این موضوع باعث توسعه روش‌های سطح پوشانی شده تا مقاومت قطعات نسبت به سایش و خوردگی افزایش یابد. ایجاد لایه‌های سطحی روی قطعات می‌تواند به دلایل متفاوتی نظیر افزایش مقاومت به سایش، افزایش مقاومت به خوردگی، بهبود خواص سطحی، بهبود هدایت حرارتی یا عایق حرارتی، هدایت یا عایق الکتریکی، بهبود ظاهر قطعه، ترمیم و بازسازی قطعات اعمال شود. بنابراین ایجاد پوشش‌های سخت و مقاوم به سایش در سطح ابزارها از جمله عملیاتی است که از دیرباز مد نظر صنعت گران بوده و امروزه پیشرفت بزرگی در این راستا حاصل شده است [۱].

امروزه کاربرد پوشش‌های سخت^۱ برای بهبود رفتار سایشی ابزارهای برشی و قالب‌ها، مدام در حال گسترش می‌باشد. عبارت پوشش‌های سخت برای پوشش‌هایی با سختی بالا و مقاوم در برابر عوامل مکانیکی با خواص تریبولوژیکی خوب به کار می‌رود. نیازهای اصلی که از این پوشش‌ها انتظار می‌رود عبارت است از:

ضریب انبساط حرارتی کم

^۱Hard coat

ضریب اصطکاک کم

مقاومت به سایش بالا

سختی بالا

چقرمگی بالا

ریزدانه گی و ساختار کریستالی مناسب

چسبندگی خوب به فلز پایه

مقاوم در برابر حرارت

تعدادی از مهم ترین پوشش های سخت که امروزه کاربرد بیشتری دارند، به همراه برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی آن ها، در جدول ۲-۱ آورده شده است [۲].

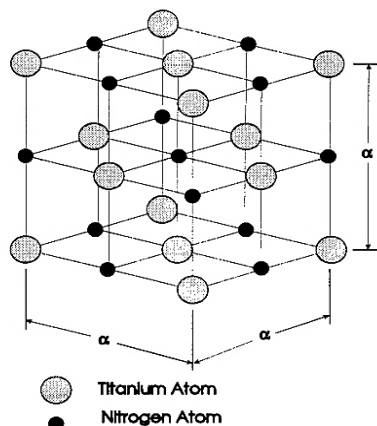
جدول ۲-۱- خواص برخی از پوشش های سخت متداول [۲]

	Hardness [kg mm ⁻²] Bulk Film	Young's modulus [kN mm ⁻²]	Poissons ratio	Thermal expansion coefficient [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	Melting or decomposition temperature [°C]
TiN	2000 ≤3680	440	0.25	9.35	2949
TiC	2900 ≤4000	450	0.19	7.4	3067
TiB ₂	3370	480		8.0	
VN	1500	460		8.1	2177
VC	2900	430			2648
ZrM	1500 ≤4500	510	0.25	7.2	2982
NbN	1400	480		10.1	2204
NbC	2400	580	0.22	6.6	3600
TaN	1000			3.6	3093
CrN	1100	400		2.3	1500
Cr ₃ C ₂	1300	400		10.3	1810
HfN	1600 ≤4700			6.9	3387
HfC	2700 ≤3900	460	0.18	6.6	3928
WC	2100	695	0.185	4.3	2776
Al ₂ O ₃	≤2100	400	0.23	9.0	2300
SiC	2600 ≤4000	480		5.3	
BN	3000-5000	660			
B ₄ C	3000-4000	440		4.5-5.6	
C, diam.	9000	440-590		0.8	

همان طور که در جدول فوق مشاهده می شود، پوشش های سخت دارای ترکیبات مختلفی از جمله نیتrideها و کاربیدها و بورایدها بوده و دارای انواع مختلفی از پیوندهای کوالانسی، فلزی و یونی می باشند. این نوع پوشش ها با وجود تنوع زیاد در ترکیب شیمیایی و موارد استفاده، عموماً دارای سختی زیاد، نقطه ذوب بالا و پایداری شیمیایی فوق العاده در محیط های مختلف، می باشند. در این میان، ترکیبات سخت نیتrideی فلزات انتقالی به دلیل داشتن خواص مکانیکی مطلوب، بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. این نوع پوشش ها علاوه بر سختی و مقاومت سایشی بالا از پایداری حرارتی نسبتاً مناسب، مقاومت الکتریکی کم و پایداری شیمیایی بالایی برخوردار هستند [۲].

یکی از پوشش هایی که در چند دهه اخیر در صنعت مورد استفاده زیادی واقع شده و امروزه کاربرد فراوانی یافته است، پوشش نیتride تیتانیوم می باشد. از جمله دلایلی که این پوشش تا این اندازه مورد توجه قرار گرفته، سختی بالا، پایداری حرارتی و شیمیایی مناسب و مقاومت الکتریکی کم آن، می باشد. همچنین این پوشش به دلیل ظاهر طلایی رنگ به عنوان پوششی تزئینی هم به کار می رود. گستره کاری این ماده بسیار وسیع بوده به طوری که کاربرد آن در

ابزار مکانیکی تا سدهای نفوذی^۱ در صنایع میکرو الکترونیکی را شامل می‌شود. این پوشش عمدتاً بر روی آلیاژهای تیتانیوم، فولاد و کاربید و ترکیبات آلومینیوم قرار گرفته و باعث بهبود خواص سطحی آن می‌شود. اکسیداسیون این پوشش در دمای 500°C صورت گرفته و با ایجاد پوسته اکسیدی ناپایدار و متخلخل بر روی پوشش، خواص سطحی شدیداً کاهش یافته که پس از ایجاد ترک، پوشش تخریب می‌گردد. اما این ترکیب در دماهای کمتر از دمای 500°C دارای پایداری شیمیایی بالایی است، به طوری که در تماس با اسیدهای غلیظ مقاومت بالایی دارد [۳]. نیتريد تیتانیوم ترکیب نسوزی است که دارای نقطه ذوب 2000°C بوده و دارای شبکه کریستالی مکعبی با وجوه مرکز دار (FCC) می‌باشد (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- ساختار کریستالی TiN [۲].

تیتانیوم دارای دو ساختار کریستالی مکعبی مرکزدار (BCC) و هگزاگونال (HCP) می‌باشد. ساختار BCC تنها در دمای بالا ایجاد شده و بجز در مواردی که تیتانیوم با عناصر دیگری که برای پایداری و ثبات ساختار مکعبی در دمای پایین آلیاژ شده باشد، این ساختار ایجاد نمی‌شود. با توجه به ساختار کریستالی تیتانیوم دو مکان، تتراهدرال^۲ و اکتاهدرال^۳ برای قرار گرفتن اتم به صورت بین نشین قرار دارد که عمدتاً اتم‌های نیتروژن با توجه به شعاع اتمی به صورت بین نشینی در فضای خالی اکتاهدرال مابین اتم‌های تیتانیوم قرار گرفته و باعث ایجاد ساختار FCC می‌گردد (شکل ۲-۲).

¹. Diffusion Barrier

². Tetrahedral

³. Octahedral