

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش ساخت و تولید

عنوان

طراحی، ساخت و بهینه سازی پوشش مته مارپیچ کاربرد تنگستن
جهت سوراخ کاری کالیپر ترمز سمند

نگارش

فریبرز جلالی

استاد راهنما:

دکتر مجتبی قطعی

شهریور ۱۳۹۴



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:
تاریخ:
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای فریبرز جلالی به شماره دانشجویی ۹۱۰۱۹۵۴ رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید تحت عنوان:

طراحی، ساخت و بهینه سازی پوشش مته مارپیچ تنگستن کارباید جهت سوراخکاری کالیپر ترمز سمند که در تاریخ ۱۳۹۴/۶/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه: بسیار امتیاز: ۱۸/۷۳) دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر مجتبی قطعی	۱- استاد راهنما
	استادیار	دکتر محمد باقر نظری	۲- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر سید هادی قادری	۳- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر سید وحید حسینی	۴- استاد ممتحن

رئیس دانشکده:

امضاء



تعهد نامه

اینجانب فریبرز جلالی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "طراحی، ساخت و بهینه‌سازی پوشش مته ماریبیج کاربرد تنگستن جهت سوراخکاری کالیپر ترمز سمند" با راهنمایی دکتر مجتبی قطعی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و صحت و اصالت برخوردار است. در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجودات زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم بہ

﴿ہمسر عزیزم﴾

و

﴿دختر دلنڈمان﴾

تشکر و قدردانی

وظیفه خود می‌دانم سپاس‌گزار تمام عزیزانی باشم که در این راه همکار و همیار بنده بوده‌اند.

از خانواده عزیزم، همسر و دختر نازنینم که در تمام مراحل تحصیلم مانند همیشه در کنارم و امیدبخشم بودند. آرزو دارم بتوانم گوشه‌ای از محبت و فداکاری‌شان را جبران کنم.

از استاد عزیز و بزرگوارم جناب آقای دکتر قطعی که در تمام مراحل تحصیلی پشتیبانم بودند و در انجام تمام مراحل این پایان‌نامه، بنده را از راهنمایی‌های ارزنده خود بهره‌مند نمودند. برای ایشان آرزوی سلامتی، موفقیت و سربلندی دارم.

از پرسنل زحمت‌کش خط ماشینکاری کالیپر ترمز سمند شرکت کروز به خصوص آقایان مهندس اسمعیلی، مهندس یآوری و آقای مهندس فرجی مسول اندازه‌گیری، که با بنده در مراحل تست نمونه‌ها همکاری بسیار خوبی داشتند. برای تمام این عزیزان آرزوی بهترین‌ها را دارم.

از مدیریت عامل محترم شرکت الماسه‌ساز جناب آقای مهندس رحیمی که در مرحله پوشش‌دهی نمونه‌ها نهایت همکاری را بنده نمودند. برای ایشان و مجموعه شرکت الماسه‌ساز آرزوی سلامتی و موفقیت دارم.

از پرسنل محترم شرکت برش ابزار کیا و مدیریت عامل آن آقای مهندس افشاری‌نیا که با بنده در مرحله ساخت نمونه‌ها همکاری نمودند تشکر می‌نمایم. امیدوارم هر روز شاهد پیشرفت آن مجموعه باشم.

از پرسنل محترم ابزارسازی خط موتور ۲۰۶ شرکت ایران خودرو و تمام کسانی که در مراحل مختلف انجام این پایان‌نامه بنده را از راهنمایی‌های ارزنده خود بهره‌مند ساختند و مجال اسم بردن از همه آنها نیست تشکر ویژه دارم. برای تمام این عزیزان آرزوی توفیق روزافزون دارم.

چکیده

معمول‌ترین فرآیند ماشینکاری، سوراخکاری است. به همین دلیل مته‌ها از پرکاربردترین ابزارهای ماشینکاری جهت سوراخکاری می‌باشد. جنس مته‌ها برای کاربردهای معمول کارگاهی از فولاد تندبر (H.S.S) و برای کاربردهای روی ماشینهای C.N.C و تولید انبوه با سرعت‌های برشی بالا و با دقت بیشتر از کاربید تنگستن (Tungsten Carbide) و یا کاربید تنگستن پوشش‌دار (Coated Tungsten Carbide) می‌باشد. در این پایان‌نامه گرچه جنبه نوآوری روی بهینه‌سازی پوشش مته کاربید تنگستن متمرکز شده است، ولی برای جامع‌تر نمودن موضوع، به مراحل طراحی و ساخت مته نیز اشاره شده است. در این پایان‌نامه پنج نوع نمونه مته مخصوص ساخته شد. این مته‌ها با قطر ۱۲/۳ میلیمتر و پخ ۹۰ درجه جهت سوراخکاری و یخ‌زنی کالیپر ترمز خودرو سمند کاربرد دارد. چهار عدد از نمونه‌ها، چهار نوع پوشش مختلف داده شدند. انتخاب این پوشش‌ها بر اساس جنس قطعه کار، شرایط ماشینکاری، خصوصیات مکانیکی، متالورژیکی و فیزیکی پوشش‌ها به ویژه مقاومت در برابر سایش، حرارت و خوردگی بود. این پوشش‌ها شامل: $TiN/TiCN/Al_2O_3$ ، $TiN/TiCN/TiN$ ، $TiN/TiCN/TiAlN/TiN$ ، $TiN/TiAlN$ و $TiN/TiCN/TiN$ بودند. پنج نمونه مته شامل چهار نمونه پوشش داده شده و یک نمونه بدون پوشش در شرایط کاملاً مشابه روی دستگاه بسته شده و با هر کدام تا مرز سایش سطح آزاد مته، قطعات کالیپر سوراخکاری شد. پارامترهای مورد نظر برای هر نمونه شامل: مقدار سایش مته، تلورانس سوراخکاری و صافی سطح سوراخ پس از سوراخکاری هر ۲۰۰۰ قطعه اندازه‌گیری شده و نتایج مقایسه گردید. نتایج اندازه‌گیری متغیرهای سایش مته، تلورانس سوراخکاری و صافی سطح سوراخ نشان می‌دهد که بهترین نتایج با مته با پوشش $TiN/TiCN/Al_2O_3$ و پس از آن به ترتیب پوشش‌های $TiN/TiCN/TiAlN/TiN$ ، $TiN/TiCN/TiN$ ، $TiN/TiAlN$ و مته بدون پوشش، به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: مته، کاربید تنگستن، پوشش‌دهی، سایش، تلورانس سوراخکاری، صافی سطح

فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه.....
۱-۱	مقدمه
۲-۱	جنس ابزارهای برشی
۳-۱	پوشش‌دهی ابزارهای کاربرد تنگستن
۱-۳-۱	انواع پوشش‌های متداول و خواص آنها
۲-۳-۱	پوشش‌دهی به روش CVD
۳-۳-۱	پوشش‌دهی به روش PVD
۴-۱	فرآیند طراحی و تولید مته‌های کاربرد تنگستن
۵-۱	شرح مساله
۶-۱	مکانیزم‌های سایش
۷-۱	پارامتر سایش و روش اندازه‌گیری.....
۸-۱	پارامتر صافی سطح سوراخ و روش اندازه‌گیری
۹-۱	پارامتر تلورانس سوراخکاری قطعه و روش اندازه‌گیری
۱۰-۱	مروری بر پژوهش‌های پیشین
۱۱-۱	اهداف پژوهش و جنبه نوآوری تحقیق
۳۹	فصل دوم: روش آزمایش
۱-۲	مقدمه
۲-۲	فرآیند سوراخکاری
۳-۲	شناخت مته، قسمت‌های مختلف و زوایای آن
۴-۲	بررسی نقشه و جنس قطعه کار
۵-۲	بررسی داده‌های فرآیند
۱-۵-۲	ماشین ابزار
۲-۵-۲	فیکسیچر
۳-۵-۲	سرعت‌های برشی
۴-۵-۲	شرایط خنک‌کاری
۶-۲	مهندسی معکوس مته و تهیه نقشه ساخت
۷-۲	تهیه مدل سه بعدی مته
۸-۲	تجهیزات مورد نیاز ساخت مته
۱-۸-۲	ماده اولیه
۲-۸-۲	ماشین سنگ ابزارسازی

۶۳	..... سنگ‌های ابزارسازی (۳-۸-۲)
۶۵	..... تهیه مدل سه بعدی سنگ و ماشین سنگ ابزارسازی (۹-۲)
۶۶	..... طراحی فرآیند ساخت مته (۱۰-۲)
۶۷	..... تهیه نقشه مراحل ساخت مته (۱-۱۰-۲)
۶۹	..... انتخاب سنگ مناسب هر مرحله (۲-۱۰-۲)
۷۰	..... استخراج تنظیمات محورهای دستگاه در هر مرحله (۳-۱۰-۲)
۷۱	..... روش اجرایی ساخت مته (۱۱-۲)
۷۲	..... اندازه‌گیری مته‌های ساخته شده (۱۲-۲)
۷۲	..... پوشش‌دهی مته‌ها (۱۳-۲)
۷۲	..... پوشش سه لایه $TiN/TiCN/Al_2O_3$ (۱-۱۳-۲)
۷۴	..... پوشش چهار لایه $TiN/TiCN/TiAlN/TiN$ (۲-۱۳-۲)
۷۵	..... پوشش سه لایه $TiN/TiCN/TiN$ (۳-۱۳-۲)
۷۶	..... پوشش دو لایه $TiN/TiAlN$ (۴-۱۳-۲)
۷۷	..... روش اجرایی پوشش‌دهی نمونه‌ها (۱۴-۲)
۸۱	..... روش اجرایی آزمون و اندازه‌گیری (۱۵-۲)
۸۵	..... فصل سوم: نتایج و بحث
۸۶	..... مقدمه (۱-۳)
۸۶	..... تغییرات V_B ، D و R_a مته بدون پوشش U (۲-۳)
۹۰	..... تغییرات V_B ، D و R_a مته با پوشش V (۳-۳)
۹۲	..... تغییرات V_B ، D و R_a مته با پوشش D (۴-۳)
۹۴	..... تغییرات V_B ، D و R_a مته با پوشش M (۵-۳)
۹۶	..... تغییرات V_B ، D و R_a مته با پوشش P (۶-۳)
۹۸	..... مقایسه تغییرات V_B ، D و R_a در پنج نمونه مته (۷-۳)
۱۰۱	..... نتایج SEM پوشش‌ها و مکانیزم سایش مته‌ها (۸-۳)
۱۰۷	..... تحقیقات مشابه (۹-۳)
۱۱۱	..... فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۱۲	..... نتیجه‌گیری (۱-۴)
۱۱۳	..... پیشنهادات (۲-۴)
۱۱۵	..... مراجع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: روند پیشرفت جنس ابزارهای برشی در یک صده اخیر ۳
- شکل ۲-۱: مقایسه اندازه گودال فرسایش در کاربرد تنگستن بدون پوشش و با پوشش TiC ۹
- شکل ۳-۱: شماتیک فرآیند پوشش‌دهی به روش CVD ۱۲
- شکل ۴-۱: شماتیک فرآیند پوشش‌دهی به روش PVD ۱۳
- شکل ۵-۱: مناطق عمومی سایش ۱۶
- شکل ۶-۱: مکانیزم‌های اصلی سایش در برش فلزات ۱۷
- شکل ۷-۱: گرمای برداشته شده از منطقه برش در ابزار T، براده C و قطعه کار W ۱۹
- شکل ۸-۱: طبقه بندی انواع سایش ابزار ۲۱
- شکل ۹-۱: سایش سطح جانبی ۲۱
- شکل ۱۰-۱: سایش حفره‌ای ۲۲
- شکل ۱۱-۱: تغییر شکل پلاستیک لبه برشی ابزار ۲۲
- شکل ۱۲-۱: سایش شکافی ۲۳
- شکل ۱۳-۱: ترک‌های حرارتی روی لبه برشی ۲۳
- شکل ۱۴-۱: ترک ناشی از خستگی مکانیکی ۲۴
- شکل ۱۵-۱: لب پریدگی ابزار ۲۴
- شکل ۱۶-۱: شکستن لبه برنده ۲۵
- شکل ۱۷-۱: تشکیل لبه انباشته ۲۶
- شکل ۱۸-۱: رشد فرسایش در سطح آزاد برای سه سرعت برشی ۲۷
- شکل ۱۹-۱: روش اندازه‌گیری فرسایش سطح آزاد و گودال فرسایش ۲۸
- شکل ۲۰-۱: دستگاه VMM برای اندازه‌گیری سایش ابزار ۲۹
- شکل ۲۱-۱: روش اندازه‌گیری پارامتر R_a ۳۰
- شکل ۲۲-۱: روش اندازه‌گیری پارامترهای R_z و R_{zmax} ۳۱
- شکل ۲۳-۱: دستگاه زبری سنج شرکت Mahr مدل Mar Surf M400 ۳۱

- شکل ۱-۲۴: اندازه و تلورانس قطر سوراخ ۳۲
- شکل ۱-۲۵: تصویر دستگاه CMM ۳۳
- شکل ۱-۲: سوراخکاری صلب ۴۱
- شکل ۲-۲: قسمت‌های مختلف مته مارپیچ ۴۲
- شکل ۲-۳: نمای سه بعدی مدل کالیپر ترمز سمند ۴۶
- شکل ۲-۴: نقشه کالیپر ترمز و دو عدد سوراخ با قطر ۱۲/۳ با فاصله ۸۲ میلیمتر ۴۷
- شکل ۲-۵: ماشین مخصوص سوراخکاری کالیپر ترمز سمند ۴۸
- شکل ۲-۶: فیکسچر ماشینکاری کالیپر ترمز سمند ۴۹
- شکل ۲-۷: تصویر مته شرکت MKTools مورد استفاده سوراخکاری ۱۲/۳ کالیپر ترمز سمند ۵۲
- شکل ۲-۸: نقشه مته شرکت MKTools مورد استفاده سوراخکاری ۱۲/۳ کالیپر ترمز سمند ۵۲
- شکل ۲-۹: دستگاه‌های اندازه‌گیری CMM-Leitz، VMM-EASSON، اپتیک Zoller ۵۳
- شکل ۲-۱۰: اندازه‌گیری قسمت‌های مختلف مته با دستگاه اندازه‌گیری اپتیک Zoller ۵۴
- شکل ۲-۱۱: اندازه‌گیری قسمت‌های مختلف مته توسط دستگاه CMM ۵۴
- شکل ۲-۱۲: اندازه‌گیری ضخامت جان مته با دستگاه VMM ۵۵
- شکل ۲-۱۳: نتایج اندازه‌گیری روی نقشه دو بعدی مته ۵۶
- شکل ۲-۱۴: نقشه نهایی مته جهت ساخت ۵۷
- شکل ۲-۱۵: مدل سه بعدی مته تهیه شده با نرم افزار Catia ۵۸
- شکل ۲-۱۶: نرم افزار شبیه‌سازی ساخت ابزار Tool studio متعلق به شرکت Walter ۶۱
- شکل ۲-۱۷: دستگاه سنگ ابزارسازی Deckel S11 ۶۲
- شکل ۲-۱۸: محورهای A و B دستگاه ۶۳
- شکل ۲-۱۹: شماتیک دو نوع سنگ استوانه‌ای و کاسه‌ای ۶۳
- شکل ۲-۲۰: مدل سه بعدی شماتیک دستگاه و سنگ تهیه شده با نرم افزار Catia ۶۵
- شکل ۲-۲۱: مرحله ۱ سنگ زنی پخ انتهای دنباله و مرحله ۲ سنگ زنی نافی ۶۷
- شکل ۲-۲۲: مرحله ۳ سنگ زنی قطر اصلی مته و زاویه آزاد به پشت و مرحله ۴ سنگ زنی ۶۷
- شکل ۲-۲۳: مرحله ۵ سنگ زنی شیار مته و مرحله ۶ سنگ زنی سطح آزاد بدنه ۶۸

- شکل ۲-۲۴: مرحله ۷ سنگ زنی زاویه آزاد دوم و مرحله ۸ سنگ زنی زاویه آزاد لبه برشی ۶۸
- شکل ۲-۲۵: مرحله ۹ سنگ زنی جان مته و مرحله ۱۰ سنگ زنی پخ مته ۶۸
- شکل ۲-۲۶: مدلسازی تنظیمات دستگاه برای سنگ زنی پخ انتهای دنباله و سنگ زنی نافی ۷۰
- شکل ۲-۲۷: مدلسازی تنظیمات دستگاه برای سنگ زنی جان مته و پخ پله دوم ۷۰
- شکل ۲-۲۸: سنگ زنی زاویه آزاد لبه برشی مته ۷۱
- شکل ۲-۲۹: تصاویر پنج نمونه مته ساخته شده ۷۱
- شکل ۲-۳۰: نمونه مته شماره ۲ با پوشش سه لایه $TiN/TiCN/Al_2O_3$ ۷۳
- شکل ۲-۳۱: نمونه مته شماره ۳ با پوشش چهار لایه $TiN/TiCN/TiAlN/TiN$ ۷۴
- شکل ۲-۳۲: نمونه مته شماره ۴ با پوشش سه لایه $TiN/TiCN/TiN$ ۷۵
- شکل ۲-۳۳: نمونه مته شماره ۵ با پوشش دو لایه $TiN/TiAlN$ ۷۶
- شکل ۲-۳۴: نمایی از تجهیزات پوشش دهی به روش CVD شرکت الماسه ساز ۷۷
- شکل ۲-۳۵: نمایی از تجهیزات پوشش دهی به روش PVD شرکت الماسه ساز ۷۸
- شکل ۲-۳۶: بستن مته بدون پوشش U و شروع آزمایش ۸۲
- شکل ۲-۳۷: سوراخ ایجاد شده با مته بدون پوشش U بعد از ماشینکاری ۲۰۰۰ قطعه ۸۲
- شکل ۲-۳۸: قطعات سوراخکاری شده با مته U ۸۳
- شکل ۲-۳۹: بستن مته های با پوشش M و D و اندازه گیری قطر و صافی سطح سوراخها ۸۴
- شکل ۲-۴۰، دستگاه اندازه گیری SEM مرکز پژوهش رازی ۸۴
- شکل ۳-۱: نتایج اندازه گیری سایش مته بدون پوشش U بر حسب تعداد قطعه ۸۶
- شکل ۳-۲: تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته بدون پوشش U ۸۷
- شکل ۳-۳: تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته بدون پوشش U ۸۷
- شکل ۳-۴: اندازه گیری سایش سطح آزاد مته بدون پوشش بعد از ۱۶۰۰۰ قطعه ۸۸
- شکل ۳-۵: گزارش اندازه گیری قطر سوراخ ماشینکاری شده با مته بدون پوشش (U) ۸۹
- شکل ۳-۶: گزارش اندازه گیری صافی سطح سوراخهای ماشینکاری شده با مته (U) ۹۰
- شکل ۳-۷: نتایج اندازه گیری سایش مته با پوشش V بر حسب تعداد قطعه ۹۰
- شکل ۳-۸: تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته با پوشش V ۹۱

- شکل ۳-۹: تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته با پوشش V ۹۱
- شکل ۳-۱۰: نتایج اندازه‌گیری سایش مته با پوشش D بر حسب تعداد قطعه ۹۲
- شکل ۳-۱۱: تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته با پوشش D ۹۳
- شکل ۳-۱۲: تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته با پوشش D ۹۳
- شکل ۳-۱۳: نتایج اندازه‌گیری سایش مته با پوشش M بر حسب تعداد قطعه ۹۴
- شکل ۳-۱۴: تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته با پوشش M ۹۵
- شکل ۳-۱۵: تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته با پوشش M ۹۵
- شکل ۳-۱۶: نتایج اندازه‌گیری سایش مته با پوشش P بر حسب تعداد قطعه ۹۶
- شکل ۳-۱۷: تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته با پوشش P ۹۷
- شکل ۳-۱۸: تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد قطعه با مته با پوشش P ۹۷
- شکل ۳-۱۹: مقایسه میزان سایش سطح آزاد ۵ نمونه مته بر حسب تعداد قطعه ۹۸
- شکل ۳-۲۰: مقایسه تغییرات قطر سوراخ ایجاد شده با ۵ نمونه مته بر حسب تعداد قطعه ۹۹
- شکل ۳-۲۱: مقایسه تغییرات صافی سطح سوراخ ایجاد شده با ۵ نمونه مته بر حسب تعداد قطعه ۹۹
- شکل ۳-۲۲: مقایسه اندازه سایش سطح آزاد مته‌ها پس از ماشینکاری ۱۶۰۰۰ قطعه ۱۰۰
- شکل ۳-۲۳: نتیجه SEM پوشش P ۱۰۱
- شکل ۳-۲۴: نتیجه SEM پوشش M ۱۰۲
- شکل ۳-۲۵: نتیجه SEM پوشش D ۱۰۲
- شکل ۳-۲۶: نتیجه SEM پوشش V ۱۰۳
- شکل ۳-۲۷: مکانیزم سایش لبه برنده مته با پوشش P ۱۰۴
- شکل ۳-۲۸: مکانیزم سایش لبه برنده مته با پوشش M ۱۰۴
- شکل ۳-۲۹: مکانیزم سایش لبه برنده مته با پوشش D ۱۰۵
- شکل ۳-۳۰: مکانیزم سایش لبه برنده مته با پوشش V ۱۰۵
- شکل ۳-۳۱: مکانیزم سایش لبه برنده مته بدون پوشش ۱۰۶
- شکل ۳-۳۲: مقایسه سایش سطح آزاد دو پوشش (TiAlN) و (TiCN/Al₂O₃/TiN) ۱۰۷
- شکل ۳-۳۳: مقایسه سایش سطح آزاد و صافی سطح ماشینکاری شده ۱۰۸

شکل ۳-۳۴: دمای بیشینه ابزار با پوشش‌های مختلف در سرعت برشی ۳۰۰ متر بر دقیقه۱۰۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: مقایسه برخی ویژگیهای چند پوشش متداول ۱۱
- جدول ۱-۲: آنالیز جنس کالیپر ترمز سمند FCD450 ۴۶
- جدول ۲-۲: خواص مکانیکی جنس کالیپر ترمز سمند FCD450 ۴۷
- جدول ۳-۲: مقادیر اندازه‌گیری شده برای مهندسی معکوس مته ۵۶
- جدول ۴-۲: کلاسه‌بندی گریدهای مختلف کاربرد تنگستن ۶۰
- جدول ۵-۲: مش بندی اندازه دانه سنگ‌های ابزار سازی ۶۴
- جدول ۶-۲: سنگ‌های مورد استفاده برای سنگ زنی هر مرحله از مته ۷۰
- جدول ۷-۲: فرآیند اعمال پوشش‌های مختلف روی چهار نوع مته نمونه ۸۰
- جدول ۸-۲: نامگذاری پوشش‌ها با علامت مشخص ۸۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱) مقدمه

برش فلزات با تعریفی که ما از آن در ذهن داریم، دانشی است که پیشینه‌ای بسیار کهن ندارد. به نظر می‌رسد این علم در قرن‌های ۱۸ و ۱۹ میلادی و همگام با انقلاب صنعتی پیشرفت کرده و در طول قرن بیستم پیشرفت آن شتاب بیشتری گرفته است. با این وجود برش فلزات توسط ماشین‌های ابزار^۱ موضوعی نسبتاً جدید به شمار می‌آید، زیرا بررسی جنس ماده ابزار برشی به صورت علمی از اوایل قرن بیستم شروع شد. گرایش به سمت تولید بیشتر برای رفع نیازهای صنعتی، تکنولوژی امروز را به ارمغان آورد. این تاریخچه فشرده از زمانی که ماشین‌های ابزار پا به میدان صنعت گذاشت، شروع می‌شود [۱].

به تدریج ماشین‌های ابزار توسعه بیشتری یافتند. ابتدا ماشین‌های ابزار NC^۲ و سپس CNC^۳ طراحی و تولید شدند. تاریخچه ابزارهای برشی^۴ نیز گام به گام با ماشین‌های ابزار پیشرفت نموده است. هر کدام از این دو (ماشین ابزار و ابزار برشی) گاهی محرک پیشرفت دیگری بوده‌اند. گاهی پیشرفت جنس ابزارهای برشی منجر به پیشرفت در طراحی ماشین‌های ابزار شده‌اند و گاهی پیشرفت در ماشین‌های ابزار موجب پیشرفت در دانش ابزارهای برشی شده است.

در این فصل به صورت اجمالی مطالب مندرج در این پایان‌نامه شامل: جنس‌های ابزار برشی، پوشش-دهی ابزارهای برشی و مراحل طراحی، ساخت، آزمایش مته‌ها و متغیرهای اندازه‌گیری این تحقیق و روش اندازه‌گیری هر کدام بیان گردد.

۲-۱) جنس ابزارهای برشی

مواد تشکیل دهنده ابزارها موضوع تحقیقات گسترده‌ای بوده است. این تحقیقات در طول قرن بیستم و به خصوص در دهه ۳۰ تقریباً همیشه جریان داشته است. عملیات ماشینکاری معینی که در سال ۱۹۰۰ حدود ۱۰۰ دقیقه طول می‌کشید اکنون کمتر از یک دقیقه زمان می‌برد. اغراق نیست اگر

¹ Machine Tools

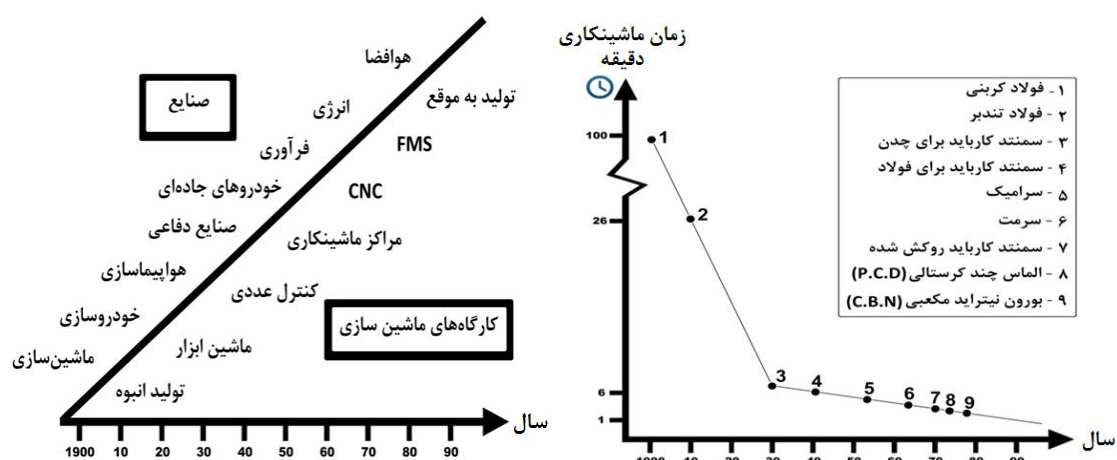
² Numerical Control

³ Computer Numerical Control

⁴ Cutting Tools

بگوییم که توسعه ابزارهای برشی یکی از عوامل موثر در ایجاد دنیای صنعتی مدرن و کارآمد امروزی است [۱].

در شکل ۱-۱ دو نمودار ترسیم شده است. در نمودار سمت راست دیاگرامی نشان داده شده است که فهرست بیشتر مواد اصلی تشکیل دهنده ابزارهای برشی را نشان می‌دهد. با نگاهی به منحنی مشاهده می‌شود که حرکت دارای شتابی خاص بوده که مشخصاً در زمان ابداع ابزارهای فولاد تندبر، سمند کارباید^۱ و کاربایدهای پوشش‌دار^۲، رشد بیشتری داشته است.



شکل ۱-۱، سمت راست: روند پیشرفت جنس ابزارهای برشی در یک صد اخیر، سمت چپ: پیشرفت

ماشین‌های ابزار همزمان با پیشرفت صنایع در صد سال اخیر [۱]

بهبود مواد تشکیل دهنده ابزارهای برشی تاثیر چشمگیری در بهره‌وری و تولید داشته است. از سال ۱۹۹۰ به بعد پیشرفت در ابزارهای برشی روی بهینه نمودن پوشش آنها متمرکز بوده است. در محور عمودی این نمودار شاخص زمان برای برش مقدار معینی از مواد نشان داده شده است. هدف اصلی در این جا نشان دادن ارتباط هزینه‌های تولید با توسعه و بهبود ابزارهای برشی است. نمودار سمت چپ شکل ۱-۱ این شکل نشان دهنده تحولات اساسی صنعتی می‌باشد. در یک طرف این خط تحولات اصلی و در طرف دیگر وقایعی که در ارتباط با کارگاه‌های ماشینکاری به وقوع پیوسته و در طول قرن بیستم باعث تشویق و ترغیب توسعه در صنعت ماشینکاری شده، قرار گرفته‌اند [۱].

¹ Cemented Carbides

² Coated Carbides

سه خاصیت اساسی در جنس ابزارهای برشی که به منظور دستیابی به محدوده‌های بالاتری از سرعت و پیشروی بسیار مهم می‌باشند عبارتند از: قابلیت مقاومت در برابر سایش (مقاومت سایشی)^۱، مقاومت در برابر شکست (چقرمگی)^۲ و توانایی حفظ سختی در دماهای بالا (گرم سختی)^۳، که این سه ویژگی در ابزارهای برشی با جنس مختلف متفاوت هستند [۱]. در زیر به اختصار جنس‌های مختلف ابزارهای برشی توضیح داده می‌شود.

فولادهای کربنی^۴: این ابزارها فولاد کربن ساده هستند که عناصر آلیاژی در حد بسیار کمی به آنها اضافه شده است. فولادهای کم کربن چقرمه و مقاوم به ضربه هستند ولی با کربن بالاتر دارای مقاومت به سایش بیشتر همراه با توانایی حفظ لبه‌های تیز برنده هستند. این ابزارها در دمای بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد سختی خود را به سرعت از دست می‌دهند و حتی بعد از سرد شدن سختی خود را دوباره به دست نمی‌آورند. کاربرد این نوع ابزار برشی در ساخت تیغ فرزهای برش، مته دولبه و ابزارهای تراشکاری و فرم و برای ماشینکاری مواد که به راحتی ماشینکاری می‌شوند مانند چوب، منیزیم، برنج و آلومینیوم می‌باشد [۲].

فولادهای تندبر^۵: فولادهای تندبر انواع و اقسام مختلفی دارند که اساساً فولادهای با کربن زیاد هستند. مقادیری از عناصر آلیاژی مثل تنگستن، مولیبدن، کرم، وانادیوم، و کبالت به آنها اضافه شده است تا خصوصیات سختی و چقرمگی و مقاومت به سایش را افزایش دهند. این فولادها قادرند سختی لبه برش را تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد حفظ کنند. فولادهای تندبر با توجه به محدوده کاربرد آنها نیز به گروه‌های دیگری از جمله: فولادهای تندبر معمولی، فولادهای تندبر معمولی با کبالت، فولادهای تندبر پروانادیوم، فولادهای تندبر کبالت با سختی بالا و فولادهای تندبر متالورژی پودر تقسیم می‌شوند [۲].

کاربایدهای سمانته^۶: اولین جهش بزرگ در پیشرفت جنس ابزارهای برشی در سال ۱۹۲۶ با ظهور کاربایدهای سمانته برای برش فلزات رخ داد. در آن سال‌ها کاربایدهایی به روش متالورژی پودر تولید

¹ Wear Resistance

² Toughness

³ Wear Resistance

⁴ Carbon Steel

⁵ High Speed Steel

⁶ Cemented Carbides

شدند که گرما سختی^۱ بالایی داشتند. سختی لبه برنده در دمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد همچنان حفظ می‌شد، مقاومت به سایش بسیار خوبی را نیز به نمایش گذاشتند. کاربایدهای سماتته در مقایسه با فولادهای تندبر می‌توانستند در سرعت‌های برشی خیلی بالاتر کار کنند. عناصر تشکیل دهنده کاربایدهای سماتته در ابتدا کارباید تنگستن خالص همراه کبالت به عنوان ماده چسبنده بود که برای ماشینکاری چدن مناسب بود. سپس با اضافه شدن تیتانیوم، تانتالیم، نیوبیوم و غیره به کاربایدها دامنه کاربرد آنها وسعت یافت. به طوری که امروزه حدود ۴۰۰ نوع مختلف کارباید با گریدهای مختلف توسط سازندگان ابزار به فروش می‌رسد [۲].

سمنتد کاربایدها به روش متالورژی پودر^۲ تولید می‌شوند. خواص ابزار برشی تولیدی علاوه بر ترکیب پودر (درصد کارباید تنگستن WC، کارباید تیتانیوم TiC، تانتالیم کارباید TaC، نیوبیم کارباید NbC) به درصد چسب^۳ آن که اکثراً از کبالت است و همچنین به اندازه دانه^۴ بستگی دارد. اگر نسبت مواد نگهدارنده (کبالت) بیشتر و یا اندازه این ذرات بزرگتر باشد کارباید به دست آمده چقرمه‌تر خواهد بود. اگر اندازه ذرات کوچک‌تر باشد، ابزار تولیدی نیز سخت‌تر خواهد بود. با درصد ترکیب عناصر مختلف و اندازه متفاوت دانه می‌توان گریدهای سمنتد کارباید متنوع با سختی و چقرمگی مشخصی تولید نمود و با انتخاب بهینه هر کدام از گریدها بر اساس شرایط ماشینکاری (جنس قطعه کار، نوع عملیات، نوع ماشین و ...) فرآیند ماشینکاری را بهینه نمود [۱].

سرامیک‌ها^۵: در حال حاضر سرامیک‌ها به عنوان مجموعه‌ای از مواد مختلف ابزارهای برشی به کار می‌روند. در دوران اخیر، ابزارهای برشی سرامیکی برای اولین بار در اوایل قرن بیستم همزمان با فولادهای تندبر ساخته شدند. سرامیک‌ها بطور دائم در حال توسعه و بهبود بوده‌اند و الماسه‌های^۶ سرامیکی امروزی با انواع اولیه قابل مقایسه نیستند. همچنین ماشین‌آلات و روش‌های کاربرد نیز تغییر کرده‌اند تا تطابق بهتری بین سرامیک‌ها با تولید و بهره‌وری ایجاد شود [۱]. سرامیک‌های مورد استفاده جهت ابزارهای برشی، سخت و دارای گرم سختی بالایی^۷ هستند و با ماده قطعه کار واکنش

¹ Wear Resistance

² Powder Metallurgy

³ Binder

⁴ Grain Size

⁵ Ceramics

⁶ Inserts

⁷ Warm Resistance

نشان نمی‌دهند. این ابزارها دارای عمر طولانی بوده و می‌توانند در سرعت‌های برشی بالا ماشینکاری کنند. سرامیک‌ها دارای خواصی از جمله: چگالی کم در حدود یک سوم فولاد، مقاومت فشاری بسیار بالا، مقاومت کششی پایین، بسیار شکننده و دارای ضریب هدایت گرمایی بسیار پایین هستند [۱].

سرمته‌ها: ^۱سرمته نامی است که برای سمنته‌های کاربایدهایی به کار می‌رود که دارای ذرات سختی از جنس کاربید تیتانیوم (TiC)، تیتانیوم کربن نیتريد (TiCN) یا تیتانیوم نیتريد (TiN) به جای کاربید تنگستن هستند. این نام از اختصار کلمات سرامیک/مته^۲ گرفته شده و به معنای ذرات سرامیک در یک فلز نگهدارنده است [۱]. هر چند سرمته‌ها نسبتاً شکننده هستند اما توسعه و بهبود گریدهای سرمته چقرمگی بالاتری را ایجاد کرده تا این الماسه‌ها بتوانند بر مشکلات فائق آیند. سرمته‌ها اغلب برای مواردی با سرعت برشی بالا، همراه با عمق برش و پیشروی کم مورد استفاده قرار می‌گیرند و زمانی که دقت و پرداخت عملیات بسیار مهم و حیاتی باشد مناسب خواهند بود [۱].

کاربایدهای سمانته پوشش‌دار: ^۳یکی از بزرگترین گام‌ها در مسیر توسعه ابزارهای برشی در اواخر دهه ۱۹۶۰ برداشته شد. این تحول بزرگ معرفی سمنته کاربایدها^۴ با پوشش بسیار نازکی از کاربایدها کاربایدها بود [۱]. در گروه کارباید سمانته معمولی بین مقاومت به سایش و چقرمگی رابطه‌ای معکوس برقرار است. به این صورت که افزایش مقاومت به سایش به معنی کاهش میزان چقرمگی است و بالعکس. بنابراین کوشش شد که کارباید سمانته با بهبود مقاومت به سایش پیشرفت داده شود ولی چقرمگی آن هم در حد قابل قبولی حفظ شود. این امر باعث شد که کاربایدهای پوشش‌دار رواج یابد. این پوشش یک لایه میکروسکوپی از ماده مقاوم به سایش است (کاربید تیتانیوم یا تیتانیوم نیتريد و ...) که به طریق رسوب شیمیایی بخار^۵ و یا رسوب فیزیکی بخار^۶ روی کارباید سمانته پوشش پوشش داده می‌شود [۱].

¹ Cermet

² CERamic/METal

³ Coated Cemented Carbides

⁴ Cemented Carbides

⁵ Chemical Vapor Deposition

⁶ Physical Vapor Deposition

با تعویض یک الماسه بدون پوشش با الماسه پوشش داده شده، سرعت برشی و عمر ابزار به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. اثر پوشش مدتی پس از اینکه بخشی از آن ساییده می‌شود همچنان ادامه دارد و منجر به کاهش سایش حفره‌ای در هنگام ماشینکاری فولادها می‌شود [۱].

ابزارهای PCD: سخت‌ترین ماده شناخته شده الماس طبیعی تک کریستالی است و الماس مصنوعی چند کریستالی^۱ یا به اختصار PCD تقریباً دارای همان سختی است. سختی چشمگیر این ماده قادر است در برابر سایش به خوبی مقاومت کند. کریستالهای ظریف الماس در طول عمل تف جوشی^۲ تحت فشار و دمای بالا به یکدیگر متصل می‌شوند. کریستالها به طور تصادفی جهت‌گیری کرده‌اند تا از هرگونه رشد و گسترش ترک جلوگیری شود. این امر منجر به سختی و مقاومت سایشی یکنواخت و زیاد در کلیه جهات خواهد شد [۱]. خنک کاری ابزارهای PCD حین ماشینکاری بسیار مهم است و این ابزارها برای ماشینکاری مواد غیر آهنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به علت شکنندگی بالای PCD در هنگام ماشینکاری با این ابزارها، باید شرایط ماشین و ابزار بسیار پایدار و صلب باشد و عملیات با سرعت برشی بالا صورت گیرد [۱].

ابزارهای CBN: بورون نیتريد مکعبی^۳ یا به اختصار CBN یکی از مواد بسیار سخت برای ابزارهای برشی است که پس از الماس در رده دوم قرار دارد. CBN ماده‌ای عالی برای ساخت ابزارهای برشی است که در آن ترکیبی از خواص: سختی بسیار بالا، گرم سختی^۴ بالا تا دمای حدود ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، مقاومت سایشی عالی و پایداری شیمیایی خوب در طول عملیات ماشینکاری را دارا می‌باشد. CBN از سرامیک‌ها سخت‌تر و چقرمه‌تر و نسبتاً شکننده‌تر است [۱]. ماشینکاری فولادهای فورج شده، چدن و فولاد سختکاری شده، قطعاتی با پایه کبالت و آهن که متالورژی پودر شده‌اند، و آلیاژهای مقاوم در برابر گرما، جزء انواع اصلی کاربردهای CBN می‌باشد. صافی سطح قطعات ماشینکاری شده بسیار عالی است و به همین جهت CBN جایگزین خوبی برای سنگ زنی می‌باشد [۱].

¹ Poly Crystalline Diamond (PCD)

² Sintering

³ Cubic Boron Nitride (CBN)

⁴ Warm Resistance

۳-۱) پوشش‌دهی ابزارهای کاربرد تنگستن

برای بهبود خواص ابزارهای کاربرد تنگستن در ماشینکاری قطعات چدنی و فولادی، پوشش‌دهی روی آنها انجام می‌شود. این پوشش‌ها بصورت تک لایه یا چند لایه روی ابزارهای مختلف اعمال شده و باعث افزایش چشمگیر خواص ابزار از جمله: سختی، محافظت در برابر واکنش‌های شیمیایی، محافظت در برابر انتقال گرما به ابزار و جلوگیری از شوک حرارتی، کاهش ضریب اصطکاک بین ابزار و براده، مقاومت در برابر سایش سطح جانبی^۱ و مقاومت در برابر سایش حفره‌ای^۲ می‌شوند [۱]. ضخامت این لایه‌ها بین ۲ تا ۱۲ میکرون متغیر است تا از اثرات منفی ناشی از ضخامت لایه‌ها جلوگیری شود. مقاومت سایشی ابزار با افزایش ضخامت پوشش افزایش می‌یابد اما شکنندگی ظاهر می‌شود و امکان کنده شدن پوشش به صورت ورقه‌ای وجود خواهد داشت. پوشش نازک‌تر چقرمگی بیشتری خواهد داشت و هنر استفاده از پوشش مناسب امکان دسترسی به موازنه‌ای از خواص مورد نیاز ماشینکاری را فراهم می‌کند [۱]. در فرآیند پوشش‌دهی ابزارهای کاربرد تنگستن باید به این نکته مهم توجه داشت که زیر لایه باید چقرمگی مناسبی داشته باشد و توسط پوشش‌های مختلف از نظر سختی، کاهش اصطکاک و سد حرارتی و شیمیایی و جلوگیری از تشکیل لبه انباشته، محافظت گردد. در غیر این صورت پوشش‌دهی تاثیر لازم را نخواهد داشت [۱].

۱-۳-۱) انواع پوشش‌های متداول و خواص آنها

پوشش‌های متداول که امروزه روی انواع ابزارهای برشی از جنس کاربرد تنگستن انجام می‌شود، کاربرد تیتانیوم (TiC)، تیتانیوم نیتريد (TiN)، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، تیتانیوم کربن نیتريد (TiCN) و تیتانیوم آلومینیوم نیتريد (TiAlN) می‌باشند [۱،۲]. این پوشش‌ها، به روش رسوب شیمیایی بخار^۳ (CVD) و یا رسوب فیزیکی بخار^۴ (PVD) انجام می‌شود و بصورت تک لایه و یا چند لایه با ترتیب مشخصی روی ابزار پوشش داده می‌شود. در بسیاری از موارد انتخاب پوشش چند لایه بدلیل استفاده از خصوصیات لایه‌های مختلف نتایج بسیار بهتری در ماشینکاری به همراه دارد [۱].

¹ Flank Wear

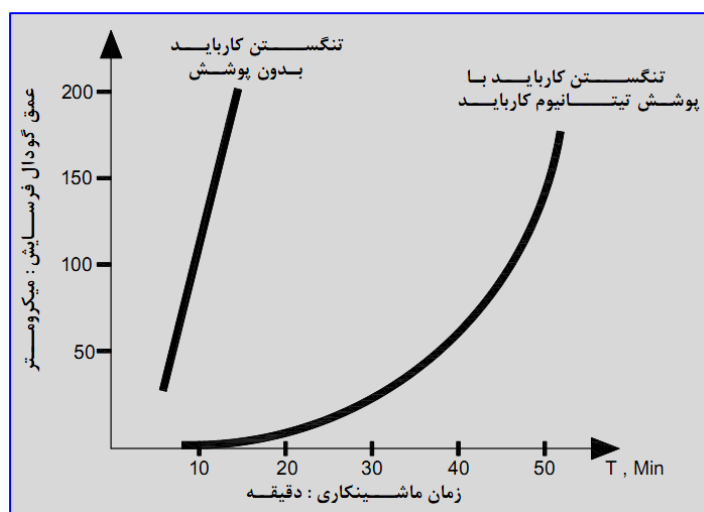
² Crater Wear

³ Chemical Vapor Deposition

⁴ Physical Vapor Deposition

کاربید تیتانیوم (TiC): پوشش کاربید تیتانیوم خاکستری رنگ است. سختی این پوشش حدود Hv ۳۰۰۰ است. بخار هیدروژن و تتراکلرید تیتانیوم ($TiCl_4$) از روی ابزار داغ عبور کرده که در این سطح کربنی که در ماده زمینه پخش شده است با تیتانیوم در اتمسفر کوره فعل و انفعال انجام داده و کاربید تیتانیوم را شکل می‌دهد [۲]. پوشش کاربید تیتانیوم دارای دامنه وسیعی از کاربردها می‌باشد. این پوشش به دلیل امکان استفاده از نرخ پیشروی بالا و در نتیجه نرخ باربرداری بیشتر، استفاده از آن را مقرون به صرفه‌تر می‌کند. بطور کلی ابزارهای پوشش‌دار کاربید تیتانیوم در برش‌های سبک و نیمه پرداخت بر روی موادی که تمایل به آلیاژ شدن یا جوش خوردن به کاربید را دارند خوب عمل می‌کنند. به خاطر حساسیت این پوشش به ترک خوردن، برای آلیاژهای سبک آلومینیوم و منیزم که لبه خیلی تیز لازم دارند پیشنهاد نمی‌شود [۲].

میزان پیشرفت گودال فرسایش بر روی یک ابزار بدون پوشش در مقایسه با یک ابزار پوشش داده شده با کاربید تیتانیوم در شکل شماره ۱-۲ قابل مشاهده است [۲].



شکل ۱-۲، اندازه گودال فرسایش در کاربید تنگستن بدون پوشش و با پوشش TiC [۲]

تیتانیوم نیتريد (TiN): تیتانیوم نیتريد در مقایسه با پوشش کاربید تیتانیوم به خاطر ضریب اصطکاک پایین مقاومت بیشتری در برابر تشکیل گودال فرسایش از خود نشان می‌دهد. با به کارگیری چقرمگی پایه کاربید و مقاومت به تشکیل گودال فرسایش در پوشش تیتانیوم نیتريد، این ماده طلایی رنگ متمایز، عمر ابزاری بسیار طولانی‌تری از کاربید تیتانیوم ارائه می‌دهد. پوشش تیتانیوم نیتريد برای کاربردهای عمومی براده برداری و ماشینکاری فولادها مناسب است [۲]. سختی تیتانیوم نیتريد

حدود 2200 Hv می‌باشد و در مقایسه با سختی دیگر پوشش‌ها، یک پوشش سخت نیست ولی ضریب اصطکاک پایینی دارد و باعث افزایش مقاومت در برابر سایش حفره‌ای روی سطح براده ابزار می‌شود. [۱].

اکسید آلومینیوم (Al_2O_3): اکسید آلومینیوم ماده‌ی بسیار سخت است که مقاومت سایشی بسیار بالایی دارد. به علاوه این ماده از نظر شیمیایی خنثی بوده و به صورت یک سپر حرارتی و شیمیایی بین ابزار و براده عمل می‌کند. این پوشش دارای استفاده وسیع در ماشینکاری چدن و دیگر مواد آهنی است که معمولاً در این زمینه سرامیک‌ها کار می‌کردند. استفاده از این پوشش، دامنه کاربرد کاربادهای پوشش‌دار را وسعت زیادی می‌دهد تا حدی که در بعضی موارد ابزارهای سرامیکی هم به خاطر استحکام کم می‌شکنند این پوشش می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی باشد. این پوشش همچنین در دامنه سرعت‌های بالاتر جایی که ابزارهای کاربید تیتانیوم پوشش‌دار به خاطر اکسیداسیون می‌شکند به طور موثری کار می‌کند. به طور کلی مواد پوشش‌دار اکسید آلومینیوم می‌توانند در سرعتی در حدود دو برابر سرعت پیشنهادی برای سایر کاربید پوشش‌دار کار کنند. [۱].

تیتانیوم کربن نیتريد (TiCN): تیتانیوم کربن نیتريد دارای خواص چسبندگی عالی است به علاوه مقاومت سایشی خوبی نیز دارد. به همین دلیل می‌تواند به عنوان لایه نزدیک به زیر لایه استفاده شود و روی آن یک و یا دو لایه دیگر به منظور ایجاد سپر حرارتی و افزایش مقاومت سایشی نیز قرار بگیرد. اگر چه تیتانیوم کربن نیتريد یک لایه با چسبندگی خوب است ولی دارای کربن نیز می‌باشد و به یک سد حراری نیاز دارد. به همین دلیل این ماده با سپرهای حرارتی پایدار مانند اکسید آلومینیوم روی سطح خارجی ترکیب خوبی ایجاد می‌کند [۱]. در واقع در پوشش TiCN ، کربن به لایه TiN اضافه شده است که باعث افزایش چشمگیر سختی لایه شده و طول عمر بالاتری را نتیجه می‌دهد. لایه TiCN مقاومت سایشی بیشتری به سطح آزاد لبه برنده خواهد داد و به این ترتیب مقاومت سایشی سطح جانبی ابزار بیشتر خواهد شد [۱].

تیتانیوم آلومینیوم نیتريد (TiAlN): این پوشش با رنگ بنفش تیره که از تیتانیوم نیتريد TiN مشتق شده است، مقاومت به سایش بالاتری از TiN ارائه می‌دهد. همین‌طور این پوشش سختی و گرماسختی بهتری را نیز از خود نشان می‌دهد. این پوشش در دماهای برشی بالاتر که پوشش TiN

کارایی لازم را ندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدلیل وجود عنصر آلومینیوم در این پوشش، در دماهای کاری بالا لایه نازکی از اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) تشکیل می‌شود. این لایه که بصورت متوالی بهسازی می‌شود سد حرارتی در مقابل نفوذ حرارت به ابزار شده و طول عمر ابزار را افزایش می‌دهد. از خواص مهم لایه $TiAlN$ میتوان به سختی بالا، گرما سختی عالی، قابلیت چسبندگی خوب به انواع زیر لایه‌ها، پوشش‌دهی یکنواخت بدون لبه انباشته اشاره نمود [۳،۴].

در جدول ۱-۱ خواص مهم چند نوع پوشش متداول ابزار با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این شکل HV بیانگر سختی، Br اثر سدکنندگی در مقابل واکنش‌های شیمیایی و انتقال گرما در حین عملیات ماشینکاری، Bo خاصیت چسبندگی به زیر لایه، CoF ضریب اصطکاک، VB مقاومت در برابر سایش سطح جانبی، KT مقاومت در برابر سایش حفره‌ای و T چقرمگی می‌باشد [۱].

	Hv	Br	Bo	CoF	VB	KT	T	توضیح
TiC	3000							
Al_2O_3	2300							
TiN	2200							
TiCN	3000							دایره نیمه پر خواص خوب

جدول ۱-۱، مقایسه برخی ویژگیهای چند پوشش متداول [۱]

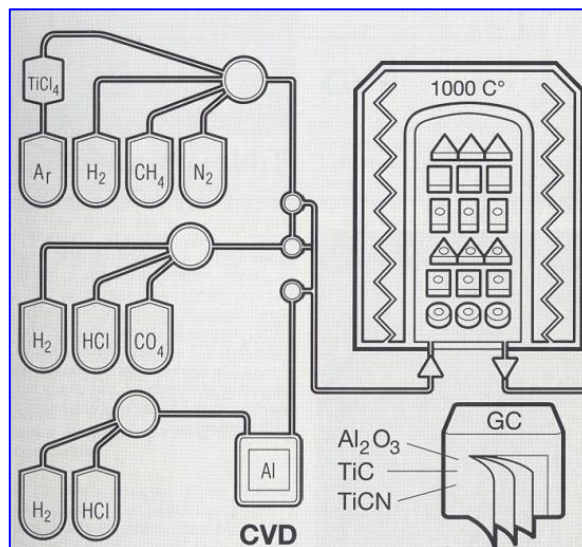
۱-۳-۲ پوشش‌دهی به روش CVD

تولید سمند کاربایدهای^۱ پوشش‌دار از طریق گذاشتن لایه‌های مختلف پوشش با روش مدرن و توسعه یافته رسوب شیمیایی بخار^۲ (CVD) امکان پذیر شده است. پوشش‌دادن با روش CVD توسط

^۱ Cemented Carbides

^۲ Chemical Vapor Deposition

واکنش شیمیایی بین گازهای مختلف انجام می‌شود. در این فرآیند ابزار داخل کوره و در حمام بخار مورد نظر قرار گرفته و تا دمای حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد گرم می‌شود. در این دما و با گذشت زمان مشخص لایه بسیار نازکی از بخار پوشش مورد نظر روی ابزار قرار می‌گیرد. این فرآیند شبیه زینتر کردن باید به دقت تحت کنترل باشد. فرآیند CVD در حال حاضر یک فرآیند معمول است که کاربرد وسیعی دارد و تقریباً برای پوشش‌دهی تمام ابزارها با پوشش‌های متنوع کاربرد دارد. این روش برای پوشش دادن چند لایه ابزارها بسیار مناسب است. پوشش ایجاد شده با روش CVD یکنواخت و همگن است چقرمگی لبه همراه با مقاومت سایشی و چسبندگی بین پوشش و زیر لایه عالی است [۱]. شکل ۱-۳ شماتیک فرآیند پوشش‌دهی به روش CVD را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳، شماتیک فرآیند پوشش‌دهی به روش CVD [۱]

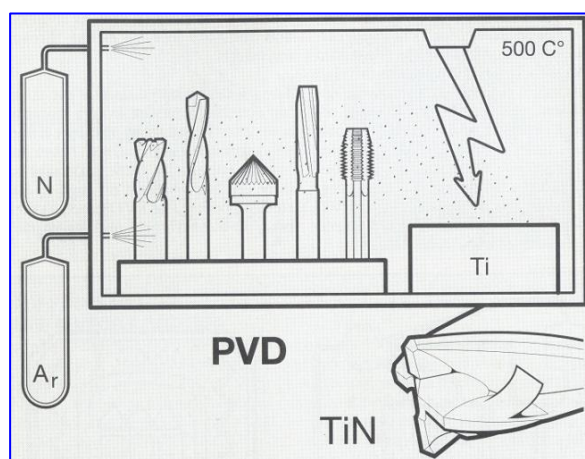
ضخامت معمول لایه پوشش‌دهی به روش CVD از ۲ تا ۱۲ میکرون است. از مزایای پوشش‌دهی به روش CVD می‌توان به قابلیت پوشش‌دهی با ضخامت‌های متفاوت، چسبندگی بسیار خوب به زیر لایه کارباید، مقاومت به سایش بسیار خوب و قابلیت انجام پوشش‌های اکسیدی اشاره نمود [۵].

۱-۳-۳ پوشش‌دهی به روش PVD

روش دیگر پوشش دادن که به صورت محدودتری برای پوشش‌دهی ابزارهای سمند کارباید استفاده می‌شود، روش رسوب فیزیکی بخار^۱ (PVD) است. این روش معمولاً برای فولادهای تندبر استفاده

^۱ Physical Vapor Deposition

می‌شود ولی به صورت محدود روی ابزارهای سمند کاربرد نیز دارد. دمای لازم برای این روش نصف دمای CVD و حدود ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد است. فرآیند پوشش‌دهی با روش PVD برای ابزارهای دارای لبه تیز و فرم‌دار از قبیل فرزهای انگشتی، مته‌ها و تا حدی الماسه‌های پیچ‌بری^۱ بسیار مناسب است [۱]. معمولاً ضخامت پوشش PVD از ضخامت پوشش CVD نازکتر است [۱]. با روش CVD می‌توان پوشش‌های ضخیم‌تر ایجاد نمود که مقاومت سایشی بیشتری خواهد داشت [۱]. شکل ۱-۴ شماتیک فرآیند پوشش‌دهی به روش PVD را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴، شماتیک فرآیند پوشش‌دهی به روش PVD [۱]

در روش PVD پس از آنکه ابزارها داخل راکتور قرار گرفتند، منبع پوشش ابزارها^۲ که معمولاً تیتانیوم است داخل محفظه راکتور قرار می‌گیرد. سپس منبع پوشش، تا دمای یونیزاسیون آن گرم می‌شود تا یونیزه شود. پس از آن یک گاز حامل، یونهای منبع پوشش را به سمت ابزار که دمای پایین‌تری دارند هدایت می‌کند. یونها روی سطح ابزار رسوب یافته و پوشش مورد نظر را بوجود می‌آورد [۵].

امروزه پوشش‌های معمول PVD شامل TiN , $Ti(C,N)$, $(Ti,Al)N$ می‌باشند. از مزایای پوشش‌دهی به روش PVD می‌توان به ایجاد چقرمگی مناسب در لبه برش، ایجاد لبه‌های برشی تیز بعد از انجام پوشش و قابلیت ایجاد پوشش با ضخامت بسیار کم، اشاره نمود [۵].

¹ Threading

² Target

۴-۱) فرآیند طراحی و تولید مته‌های کاربرد تنگستن

طراحی مناسب مته کاربرد تنگستن تابع متغیرهای مختلف ماشینکاری است. طراح ابزار برشی با در نظر گرفتن این متغیرها، اقدام به طراحی مته از نظر جنس و زاویه‌های برشی (زاویه آزاد، زاویه براده، زاویه ماریچ مته، زاویه راس مته و ...) مناسب می‌نماید. این متغیرها عبارتند از:

- جنس قطعه کار و قابلیت ماشینکاری آن
- اطلاعات ماشین ابزار (سرعت اسپیندل، سرعت پیشروی محورها، دقت محورها، ارتعاشات دستگاه)
- نوع گیرش ابزار^۱ توسط دستگاه
- نوع فیکسچرینگ قطعه کار
- سیستم خنک کاری دستگاه

طراحی ابزار از نظر انتخاب جنس و هندسه ابزار باید به گونه‌ای باشد که نیازمندی‌های فرآیند را تامین نماید این نیازمندی‌ها شامل: حداقل توان مصرفی ماشین برای عمل براده برداری، حداکثر دقت ماشینکاری، حداقل زمان ماشینکاری و حداکثر طول عمر ابزار می‌باشند. البته نتیجه تمام این پارامترها در راندمان فرآیند ماشینکاری و مسایل اقتصادی نمایان می‌شود. امروزه تولید کنندگان بزرگ مته‌های کاربرد تنگستن بر اساس تجربیات چندین دهه خود و بازخوردهایی که از مشتریان داشته‌اند، اقدام به تدوین استانداردهای داخلی طراحی ابزار نموده‌اند. بر اساس همین تجربیات، اقدام به طراحی ابزارهای جدید با توجه به شرایط ماشینکاری مشتریان می‌نمایند. امروزه رقابت ابزارسازها در جهت طراحی و عرضه ابزارهایی جهت افزایش طول عمر ابزار و ماشین ابزار و کاهش نسبت هزینه ابزار به قطعه کار متمرکز شده است.

فرآیند تولید مته‌های کاربرد تنگستن، با توجه به سختی بالای آنها صرفاً با روش سنگ‌زنی^۲ امکان پذیر است. برای این کار از ماشین‌های سنگ ابزارسازی با سنگ‌های مناسب از نظر جنس و هندسه سنگ استفاده می‌شود. با توجه به هندسه مته که یک هندسه سه بعدی است، دستگاههای CNC پنج

¹ Tool Clamping

² Grinding

محور برای تولید انبوه مته‌ها مورد نیاز است. البته برای ساخت نمونه‌های تکی^۱ می‌توان از ماشین‌های پنج محور دستی نیز استفاده نمود. در فصل دوم فرآیند طراحی و ساخت مته‌های نمونه موضوع این تحقیق به تفصیل شرح داده می‌شود.

۵-۱) شرح مساله

اگر چه در این تحقیق به مراحل طراحی و ساخت مته کاربرد تنگستن^۲ پرداخته شده است، ولی جنبه نوآوری این تحقیق بر بهینه‌سازی پوشش چند لایه مته متمرکز شده است. بر همین اساس پنج عدد مته کاربرد تنگستن ساخته شد. چهار عدد از این مته‌ها با پوشش‌های چند لایه مختلف لایه‌نشانی می‌گردند و هر پنج مته تحت آزمایش قرار می‌گیرند. برای هر مته، سایش، قطر و صافی سطح سوراخ ماشینکاری شده، بعد از هر ۲۰۰۰ قطعه اندازه‌گیری می‌شود. پارامترهای قطر و صافی سطح سوراخ، معیارهای کیفی قطعه کار و پارامتر سایش مته در واقع بیانگر طول عمر مته و ملاحظات اقتصادی ابزار می‌باشند. این متغیرها مهمترین متغیرهای این فرآیند می‌باشند. متغیرهای سایش، قطر و صافی سطح سوراخ با دستگاه‌های مناسب اندازه‌گیری شده و نتایج مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در فصل دوم به این مراحل به تفصیل پرداخته می‌شود.

۶-۱) مکانیزم‌های سایش

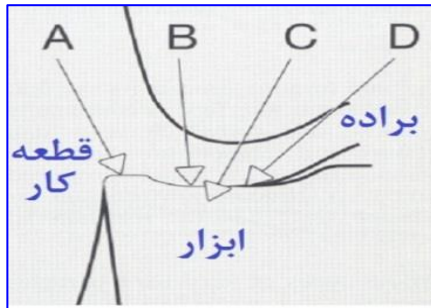
در این تحقیق سه متغیر: سایش مته‌ها، قطر سوراخ و صافی سطح سوراخ اندازه‌گیری می‌شود. قطر سوراخ و صافی سطح آن متاثر از میزان سایش ابزار است. بنابراین عامل اصلی تغییرات، سایش ابزار است. شناخت سایش و انواع مکانیزم‌های سایش از ضرورت‌های این تحقیق است.

سایش ابزار یک امر اجتناب ناپذیر است. سایش، حاصل ترکیبی از عوامل مختلفی است که به لبه برنده تحمیل می‌شود. عمر ابزار توسط چندین عامل که باعث تغییر شکل هندسی ابزار می‌شوند، تعیین می‌گردد. سایش، حاصل تاثیر متقابل بین ابزار، جنس قطعه کار و شرایط ماشینکاری است.

¹ Prototype

² Tungstan Carbide

سایش نتیجه اعمال چهار بار مختلف است که در نقاط مختلف به ابزار اعمال می‌شوند. محل اعمال این چهار بار که باعث بوجود آمدن مناطق عمومی سایش می‌شود، در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



- A: مکانیکی
- B: حرارتی
- C: شیمیایی
- D: سایشی

شکل ۱-۵، مناطق عمومی سایش [۱]

برش فلزات باعث ایجاد گرمای فراوان روی سطح براده و جانبی ابزار می‌شود. حرارت ایجاد شده روی ابزار قابل توجه است و در بعضی از عملیات‌ها مانند فرزکاری، زمانی که لبه برنده از قطعه کار جدا شده و دوباره وارد آن می‌شود، حرارت می‌تواند به صورت یک عامل دینامیک عمل کند [۱]. وارد و خارج شدن متناوب لبه برشی ابزار فرزکاری به قطعه کار، باعث گرم و سرد شدن متناوب لبه برشی ابزار شده و باعث ایجاد شوک حرارتی و سایش ناشی از خستگی در ابزار می‌شود. علاوه بر موارد اشاره شده فوق، انواع مختلف ذرات بسیار سخت در اکثر مواد قطعه کار وجود دارند، که بعضی از آنها از نظر سختی با سختی جنس ابزار برابری می‌کنند. اثر این مواد همانند سنگ‌زنی روی ابزار می‌باشد و باعث سایش لبه برنده ابزار خواهند شد. [۱].

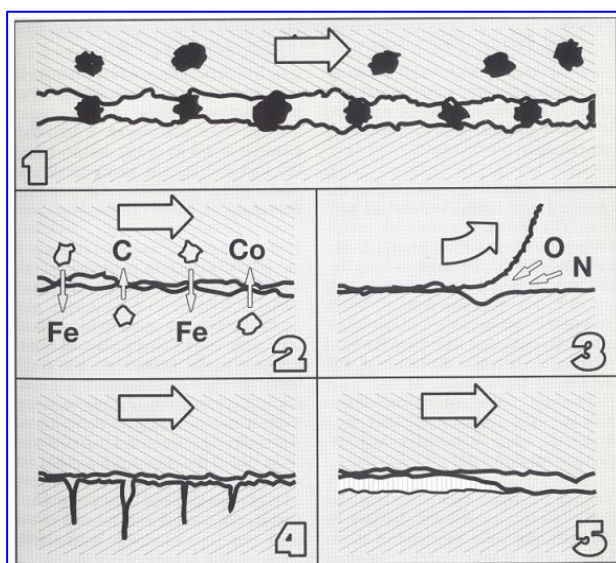
بر اثر اعمال این نیروها روی لبه برنده در طول عملیات ماشینکاری، چند مکانیزم اصلی سایش بر عملیات برش فلزات حکمفرما خواهد بود. این مکانیزم‌ها که در شکل ۱-۶ نشان داده شده‌اند عبارتند از [۱]:

- ۱- سایش ناشی از خراشیدگی^۱
- ۲- سایش ناشی از نفوذ^۲
- ۳- سایش ناشی از اکسیداسیون^۳

¹ Abrasion Wear
² Diffusion Wear
³ Oxidation Wear

۴- سایش ناشی از خستگی^۱

۵- سایش ناشی از چسبندگی^۲



شکل ۱-۶، مکانیزم‌های اصلی سایش در برش فلزات [۱]

سایش ناشی از خراشیدگی بسیار متداول است و اساساً، اما نه بطور کامل، توسط ذرات سخت موجود در جنس قطعه کار ایجاد می‌شود. این عمل شبیه عملیات سنگ‌زنی است زیرا ذرات سخت بین سطح قطعه کار و ابزار قرار می‌گیرند. این سایش نتیجه اعمال بار مکانیکی روی ابزار است که منجر به سایش لبه برنده خواهد شد [۱]. مقاومت لبه برنده در برابر سایش ناشی از خراشیدگی تا حد زیادی به سختی جنس ابزار بستگی دارد. یک ابزار که با چگالی زیاد پرس شده و حاوی ذرات بسیار سخت است در برابر سایش ناشی از خراشیدگی مقاومت خواهد کرد. اما ممکن است امکان مقاومت در برابر دیگر فاکتورهای ایجاد سایش را در طول عملیات ماشینکاری نداشته باشد [۱].

سایش ناشی از نفوذ بیشتر تحت تاثیر واکنش‌های شیمیایی در طول فرآیند برش خواهد بود. خواص شیمیایی جنس ابزار و نزدیکی ابزار و قطعه کار از نظر ماده تشکیل دهنده، در توسعه سایش ناشی از نفوذ نقش تعیین کننده‌ای خواهد داشت. وابستگی متالورژیکی بین ماده ابزار و قطعه کار تعیین کننده میزان سایش خواهد بود. بعضی از مواد تشکیل دهنده ابزارهای برشی در برابر مواد قطعه کار خنثی هستند. اما بعضی دیگر تمایل شدیدی به واکنش نسبت به قطعه کار دارند. کاربید تنگستن و فولاد تمایل به واکنش با یکدیگر دارند که این امر منجر به سایش ناشی از نفوذ خواهد شد [۱]. این سایش

¹ Fatigue Wear

² Adhesion Wear

باعث ایجاد حفره‌هایی روی سطح براده ابزار خواهد گردید. این فرآیند به شدت وابسته به دمای محیط برش است، در نتیجه در سرعت‌های برشی بالا بیشتر اتفاق می‌افتد. در این حالت تبادل اتمی ایجاد می‌شود و طی یک انتقال دو طرفه، فریت از طرف فولاد به ابزار رفته و ذرات ریز کربن ابزار، آماده حرکت به طرف آهن و نفوذ در داخل براده می‌شوند [۱].

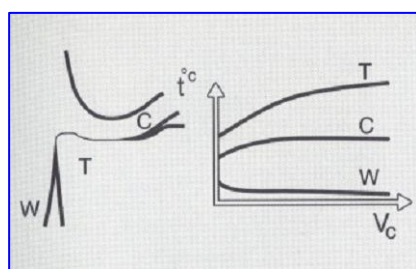
دمای بالا و حضور هوا به معنای رخ دادن اکسیداسیون برای اکثر فرآیندها است، گرچه اکسیدهای ایجاد شده کاملاً متفاوت خواهند بود. تنگستن و کبالت تشکیل لایه‌های نازک و متخلخل اکسیدی می‌دهند که به آسانی توسط براده ساییده می‌شوند. اما بعضی از اکسیدها مانند اکسید آلومینیوم سخت‌تر و مقاوم‌تر هستند [۱]. بنابراین مواد تشکیل دهنده بعضی از ابزارهای برشی مقاومت بیشتری در برابر سایش ناشی از اکسیداسیون نسبت به بقیه دارند. در سطح تقابل لبه برنده با براده، به ویژه جایی که عرض براده تمام می‌شود (در عمق برش)، هوا امکان دسترسی به فرآیند برش را پیدا می‌کند. اکسیداسیون در آن نقطه منجر به ایجاد شکاف‌های ریز روی لبه می‌شود [۱].

سایش ناشی از خستگی اغلب بدلیل ترکیبی از نوسانات حرارتی ناحیه برش و بار مکانیکی روی لبه برشی است. تغییرات دمای لبه برشی و نوسانات بار مکانیکی اعمالی روی لبه برشی بر اثر ورود و خروج لبه برشی به قطعه کار مخصوصاً در عملیات فرزکاری و یا ماشینکاری مقاطع ناپیوسته، منجر به ایجاد شوک‌های حرارتی و مکانیکی شده و در نتیجه ترک‌های ریز روی لبه برشی ابزار ایجاد و در نهایت باعث شکستن ابزار می‌شود. بعضی از مواد ابزارهای برشی نسبت به بقیه در برابر این شوک‌های حرارتی و مکانیکی حساس‌تر هستند. [۱].

سایش ناشی از چسبندگی اساساً در دماهای پایین ماشینکاری روی سطح براده ابزار اتفاق می‌افتد. این نوع سایش برای مواد براده بلند مانند فولاد و آلومینیوم ایجاد خواهد شد. این مکانیزم اغلب منجر به شکل‌گیری لبه انباشته خواهد شد. لبه انباشته خود یک ساختار دینامیک دارد به این صورت که لایه‌هایی از براده به صورت پی در پی روی لبه برنده ابزار جوش خورده، سخت شده و بخشی از لبه برنده را تشکیل می‌دهند. لبه انباشته سپس می‌تواند از روی ابزار کنده شده به نحوی که باعث شکستن و کنده شدن گوشه‌های تیز لبه برنده گردد. البته زمانی که دمای منطقه برش به سطح بالاتری برسد، شرایط مناسب برای این پدیده تا حد زیادی کاهش خواهد یافت [۱].

مکانیزم‌های سایش که در فوق به آنها اشاره شد اغلب با هم مخلوط شده و در طول بخش کوتاهی از لبه برنده روی ماده و شکل اولیه ابزار برشی تاثیر می‌گذارند. این مکانیزم‌ها بسته به خواص اصلی جنس ابزار روی لبه برنده تاثیر خواهند گذاشت به نحوی که انواع خاص سایش را توسعه خواهند داد. درک اصول این مکانیزم‌ها به تحلیل صحیح سایش ابزار کمک می‌کند و انتخاب صحیح ابزار و شرایط بهینه عملیات ماشینکاری را امکانپذیر خواهد ساخت [۱]. خواص جنس ابزار از قبیل: سختی، چقرمگی، پایداری شیمیایی، هدایت حرارتی، انبساط حرارتی، خنثی بودن سطح و چسبندگی پوشش، مهمترین عواملی هستند که می‌توانند در برابر مکانیزم‌های سایش، مقاومت کند.

زمینه مناسب برای ایجاد سایش ناشی از نفوذ در عملیات مدرن برش فلزات که با سرعت بالایی انجام می‌شود، وجود دارد. اما همه مواد ابزارهای برشی به آسانی عمل نفوذ را انجام نمی‌دهند و روش‌های زیادی را برای جلوگیری از ایجاد این مکانیزم سایش می‌توان انجام داد. به عنوان مثال گریدهای پوشش داده شده با لایه‌های اکسید آلومینیوم و کاربید تیتانیوم تا حد زیادی احتمال نفوذ را کاهش می‌دهد. اکسید آلومینیوم نسبت به جنس مواد قطعه کار خنثی است و همین خاصیت، سرامیک خالص را در برابر سایش ناشی از نفوذ مقاوم ساخته است [۱]. حدود ۶۰ الی ۸۰ درصد از حرارت تولید شده حین ماشینکاری توسط جریان براده از منطقه برش دور می‌شود [۲]. بنابراین بیشترین دما روی ابزار برشی روی سطح براده ابزار می‌باشد. ممکن است این دما به ۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز برسد. بخش دیگری از گرما به قطعه و بخشی نیز به ابزار منتقل می‌شود. شکل ۱-۷ گرمای برداشته شده از منطقه برش را در ابزار، قطعه کار و براده نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱-۷، گرمای برداشته شده از منطقه برش در ابزار T، براده C و قطعه کار W [۱]

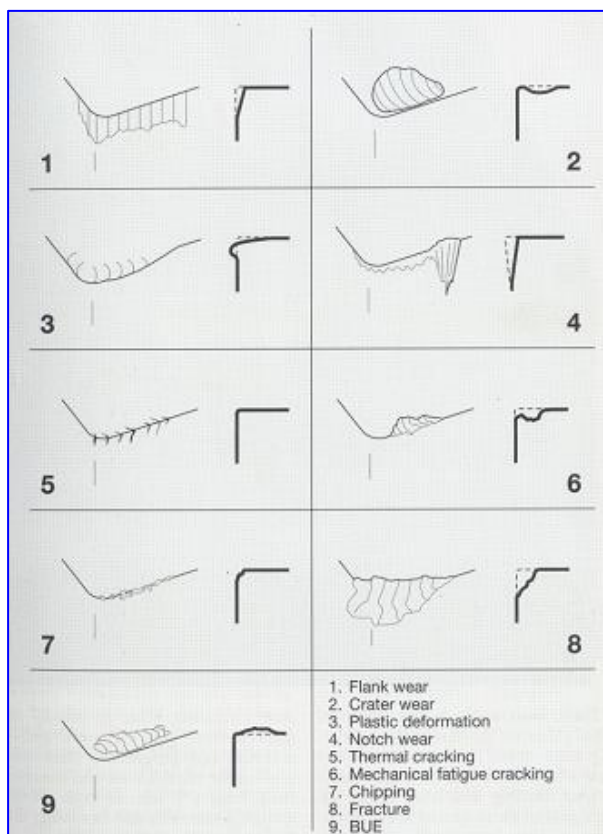
بیشترین تاثیر روی گرمای ایجاد شده در منطقه برش مربوط به سرعت برشی است و بنابراین بر گسترش سایش بیشترین تاثیر را دارد [۱].

طبقه‌بندی انواع سایش ابزار، ارزیابی عملیات ماشینکاری و بهینه‌سازی تولید از طریق به دست آوردن گرید مناسب ابزار را میسر نموده است. متغیرهای عمده ارزیابی ماشینکاری شامل: نرخ ماده بریده شده، کیفیت سطح و ملاحظات اقتصادی می‌باشد. همیشه برای هر عملیات، یک الگوی سایش ایده‌آل وجود دارد. ابزار صحیح، مقادیر صحیح اطلاعات برشی، کیفیت بالای جنس قطعه کار و شرایط ماشینکاری مناسب، عوامل مهم موفقیت در دستیابی به سایش ایده‌آل است [۱]. به طور کلی انواع سایش ابزارهای برشی در ۹ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند این دسته‌بندی‌ها به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- سایش سطح جانبی^۱
- ۲- سایش حفره‌ای^۲
- ۳- تغییر شکل پلاستیک^۳
- ۴- سایش شکافی^۴
- ۵- ترک‌های حرارتی^۵
- ۶- ترک‌های ناشی از خستگی مکانیکی^۶
- ۷- لب پریدگی^۷
- ۸- شکستن^۸
- ۹- لبه انباشته^۹

در شکل ۱-۸ شماتیک این ۹ دسته سایش نشان داده شده است. در ادامه نیز به بررسی این سایش‌ها پرداخته می‌شود.

¹ Flank Wear
² Crater Wear
³ Plastic Deformation
⁴ Notch Wear
⁵ Thermal Cracking
⁶ Mechanical Fatigue Cracking
⁷ Chipping
⁸ Fracture
⁹ B.U.E



شکل ۱-۸، طبقه بندی انواع سایش ابزار [۸]

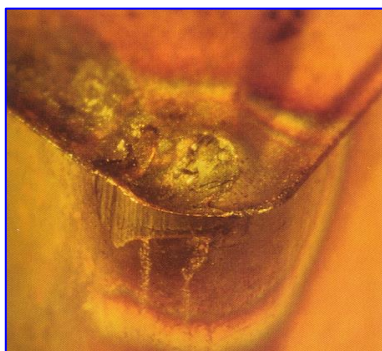
۱- سایش سطح جانبی: این نوع سایش روی دیواره جانبی لبه برنده ایجاد می‌شود و اصولاً ناشی از مکانیزم سایش ناشی از خراشیدگی است. شکل ۱-۹ تصویری از سایش سطح جانبی یک ابزار را نشان می‌دهد [۸].



شکل ۱-۹، سایش سطح جانبی [۸]

این نوع سایش معمولاً متداول‌ترین نوع سایش است و چنانچه بتوان پیشرفت آن را تحت کنترل گرفت ایده‌آل خواهد بود. هنگامی که سایش دیواره جانبی به حداکثر ممکن رسید کیفیت سطح افت کرده، عدم دقت و افزایش اصطکاک همراه با تغییر فرم شکل لبه برنده افزایش خواهد یافت [۸].

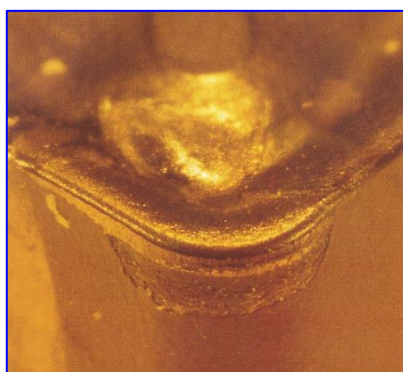
۲- سایش حفره‌ای: این نوع سایش روی سطح براده به خاطر مکانیزم‌های خراشیدگی و نفوذ رخ می‌دهد. حفره از طریق کنده شدن ماده ابزار از روی سطح براده توسط عمل سنگ‌زنی ذرات سخت، یا بوسیله عمل نفوذ مابین براده و ماده ابزار در داغ‌ترین بخش سطح براده، شکل می‌گیرد. شکل ۱۰-۱ نمونه‌ای از سایش حفره‌ای را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱۰-۱، سایش حفره‌ای [۱]

سختی و گرم سختی ابزار و حداقل تشابه جنس ماده ابزار و قطعه کار، سایش حفره‌ای را به حداقل می‌رساند. سایش حفره‌ای زیاد باعث تغییر شکل هندسی لبه برنده شده و شکل‌گیری براده را مشکل می‌کند. جهت نیروی برشی را تغییر داده و همچنین باعث تضعیف لبه برنده ابزار می‌شود [۱].

۳- تغییر شکل پلاستیک: تغییر فرم پلاستیکی نتیجه اعمال فشار و گرمای زیاد روی لبه برنده است. سرعت برشی بالا و سرعت پیشروی زیاد و سختی جنس قطعه کار به معنای فشار و دمای زیاد روی لبه برنده خواهد بود. شکل ۱۱-۱ نمونه‌ای از تغییر شکل پلاستیک لبه برشی ابزار را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱۱-۱، تغییر شکل پلاستیک لبه برشی ابزار [۱]

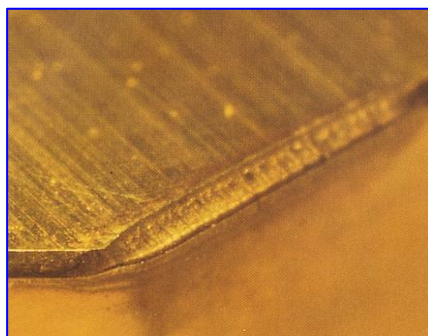
برای ابزارهایی که بتوانند در برابر این مشکلات مقاومت کنند و تغییر فرم پلاستیکی پیدا نکنند، گرم سختی بالا بسیار مهم است. اندازه قوس لبه برشی ابزار و هندسه برش نقش مهمی در مقابله با این نوع سایش دارد [۱].

۴- سایش شکافی: این نوع سایش ناشی از چسبندگی است اما در بعضی از موارد می‌تواند به علت مکانیزم سایش ناشی از اکسیداسیون باشد. بنابراین، این نوع سایش در انتهای برش و جایی که هوا می‌تواند به منطقه برش برسد، متمرکز خواهد شد. اگر سایش شکافی زیاد شود کیفیت سطح کار را در عملیات پرداخت کاهش می‌دهد و ممکن است باعث تضعیف لبه برنده گردد. شکل ۱-۱۲ سایش شکافی را به تصویر می‌کشد [۱].



شکل ۱-۱۲، سایش شکافی [۱]

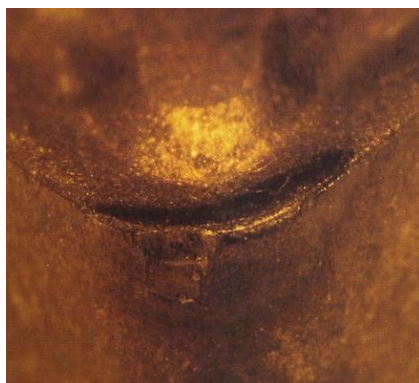
۵- ترک‌های حرارتی: این ترک‌ها عمدتاً ناشی از نوع خستگی بدلیل نوسانات حرارتی ناحیه برش می‌باشد. تغییرات دما به ویژه در عملیات فرزکاری منجر به این نوع سایش می‌شود. این ترک‌ها معمولاً عمود بر لبه برنده شکل می‌گیرند و ماده قطعه کار به داخل این ترک‌ها وارد می‌شود. به مرور در اثر فشار به لبه برشی، باعث شکست ابزار می‌شود. شکل ۱-۱۳ نمونه ای از ترک‌های حرارتی را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱-۱۳، ترک‌های حرارتی روی لبه برشی [۱]

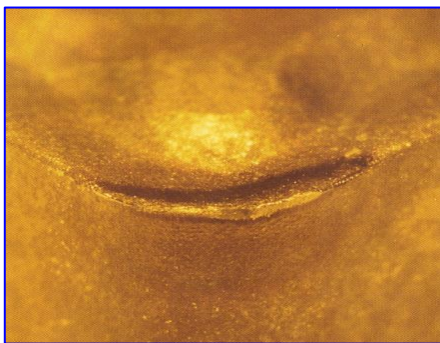
در این حالت به کار بردن مایع خنک‌کاری اغلب می‌تواند زیان بخش باشد، زیرا اختلاف دما را در حالتی که ابزار درگیر برش است با وضعیت آزاد آن بیشتر کرده و همین باعث ایجاد شوک حرارتی و در نتیجه ترک‌های حرارتی می‌شود.

۶- ترک‌های ناشی از خستگی مکانیکی: این ترک‌ها زمانی رخ می‌دهد که نوسانات نیروی وارد بر لبه برشی زیاد باشد. زمانی که تغییرات نیروهای برشی ادامه یابد، منجر به شکستن لبه برنده خواهد شد، حتی اگر نیروی برشی خود قادر به شکستن لبه نباشد. نیروی شروع برش و تغییرات و جهت آن ممکن است در مقابل مقاومت و چقرمگی ابزار، بیش از حد زیاد باشد. این ترک‌ها اساساً به موازات لبه برشی هستند. شکل ۱-۱۴ نمونه‌ای از این نوع ترک را نشان می‌دهد [۸].



شکل ۱-۱۴، ترک ناشی از خستگی مکانیکی [۸]

۷- لب پریدگی: لب پریدگی ابزار زمانی است که لبه برنده به جای سایش بشکند. این خستگی معمولاً از بارگذاری و باربرداری متوالی شکل می‌گیرد و منجر به این می‌شود که ذراتی از ماده ابزار از سطح آن جدا شوند. برش‌های ناپیوسته یک علت متداول ایجاد این نوع سایش می‌باشند. پوسته پوسته شدن و شکاف برداشتن انواع مختلف این شکل شکستگی لبه برنده می‌باشند. شکل ۱-۱۵ یک نوع لب پریدگی ابزار را نشان می‌دهد [۸].



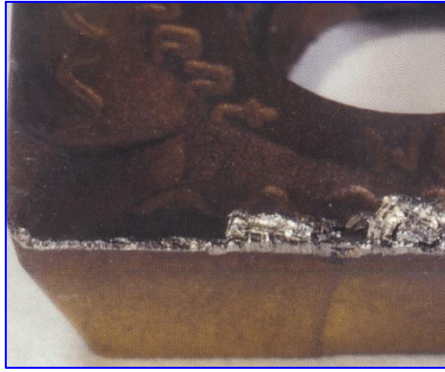
شکل ۱-۱۵، لب پریدگی ابزار [۸]

۸- شکستن: شکستن می‌تواند پایانی مصیبت بار برای لبه برنده و اغلب پایان راه دیگر انواع سایش‌ها نیز می‌تواند باشد. شکست ابزار زیان‌بارترین حالت برای ابزار است و تا حد ممکن باید از آن اجتناب شود. شکستن لبه برشی منجر به تغییر شکل هندسی و تضعیف لبه برش، افزایش دمای ناحیه برش و افزایش نیروهای برشی خواهد شد. شکستن لبه برنده در سرعت‌ها و پیشروی‌های بالا یا به دلیل مشکلات ناشی از جنس قطعه کار و یا ممکن است نتیجه تنش‌های مختلف روی جنس ابزار باشد که قادر به جوابگویی به نیازهای عملیات برشی نیست. شکل ۱-۱۶ نمونه‌ای از شکست لبه برشی را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱-۱۶، شکستن لبه برنده [۱]

۹- لبه انباشته: شکل‌گیری لبه انباشته پدیده‌ای است که به شدت وابسته به دما و سرعت برشی است اما همچنین می‌تواند نتیجه یک لبه برنده ضعیف یا سایر سایش‌ها نیز باشد. لبه انباشته یک پدیده منفی برای لبه برنده به حساب می‌آید، زیرا شکل هندسی لبه برنده را تغییر داده و بخش‌هایی از ابزار می‌تواند همراه با ماده‌ای که روی ابزار جوش خورده و تشکیل لبه انباشته را داده، از ابزار کنده شود. نزدیکی جنس ابزار و قطعه کار نیز یک عامل بسیار مهم است. دمای پایین و فشار زیاد منجر به جوش خوردن ماده قطعه کار روی سطح براده ابزار می‌گردد [۱]. شکل ۱-۱۷ تصویر لبه انباشته را نشان می‌دهد.



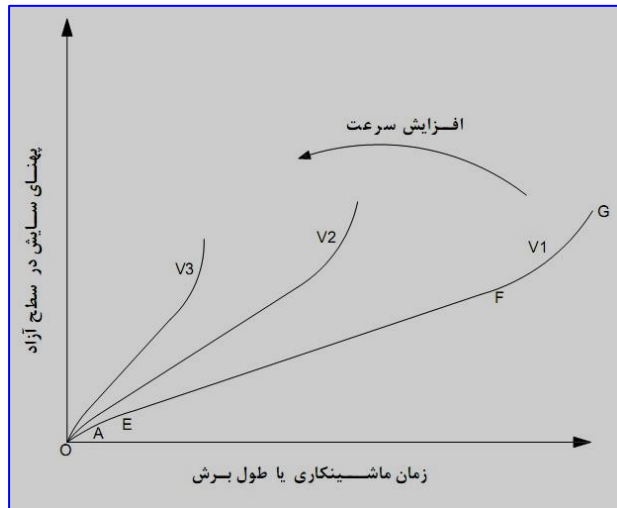
شکل ۱-۱۷، تشکیل لبه انباشته [۱]

خوشبختانه محدوده‌های دما و سرعت برشی که منجر به تشکیل لبه انباشته می‌شوند، تقریباً به خوبی تعریف شده‌اند و می‌توان از آنها اجتناب کرد. بیشتر عملیات مدرن ماشینکاری در سرعت‌های بالاتر از سرعت لازم برای ایجاد لبه انباشته انجام می‌شود. بسیاری از گریدهای جدید ابزار، اگر صحیح انتخاب شوند تمایلی به ایجاد لبه انباشته نخواهند داشت. خرابی صافی سطح قطعه کار معمولاً اولین عارضه ناشی از تشکیل لبه انباشته می‌باشد، اما اگر عارضه را رفع نکنیم خطر از کار افتادن سریع ابزار و حتی شکست آن وجود دارد [۱].

۷-۱ پارامتر سایش و روش اندازه‌گیری

اولین پارامتر اندازه‌گیری شده روی مته‌های این تحقیق، سایش ابزار می‌باشد. در بررسی انواع سایش ابزار مشخص شد که تمام ۹ دسته سایش محتمل، روی لبه برنده و سطوح منتهی به لبه برنده یعنی سطح براده و سطح آزاد اثر می‌گذارند. بنابراین در بررسی میزان سایش ابزار، سایش این دو قسمت از ابزار اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

فرسایش در سطح آزاد (V_B): به اندازه سایش سطح آزاد ابزار اطلاق می‌شود و بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شود. فرسایش در سطح آزاد ابزار به علت اصطکاک و در نتیجه ساییدگی سطح ماشینکاری شده قطعه کار با ابزار می‌باشد. منحنی شکل ۱-۱۸ فرسایش سطح آزاد را نسبت به زمان برش و یا طول برش که از سه قسمت تشکیل شده است را نشان می‌دهد [۲].



شکل ۱-۱۸، رشد فرسایش در سطح آزاد برای سه سرعت برشی

مختلف $V_3 > V_2 > V_1$ [۲]

قسمت OAE: تشکیل آستانه فرسایش در شروع عمل برش را نشان می‌دهد. در شروع عمل براده برداری به علت تیز بودن لبه برنده ابزار، آستانه فرسایش مشخصی اتفاق می‌افتد.

قسمت EF: که در زمان فرسایش قلم به صورت یکنواخت ادامه پیدا می‌کند.

قسمت FG: در این قسمت فرسایش ابزار به سرعت افزایش یافته و در صورتیکه ابزار تیز و یا تعویض نشود شکست اتفاق خواهد افتاد [۲].

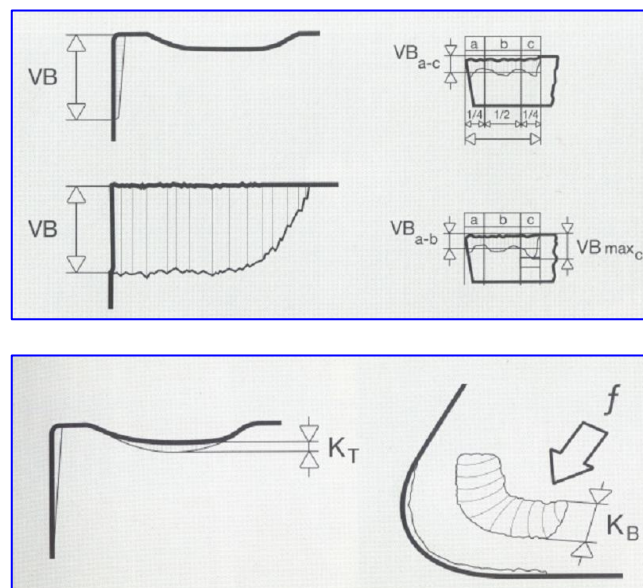
گودال فرسایش (KT): یکی دیگر از معیارهای از کارافتادگی قلم گودال فرسایش است که در روی سطح براده ابزار، نزدیک و موازی لبه برنده ابزار به وجود می‌آید. این عمق نیز بر حسب میلیمتر اندازه‌گیری می‌شود. در اثر گودال فرسایش مقاومت ابزار کم شده و در صورت عدم تعویض یا سنگ زنی مجدد، شکست ابزار اتفاق می‌افتد. مهمترین فاکتوری که در پیدایش گودال فرسایش موثر است پدیده نفوذ می‌باشد که با افزایش درجه حرارت در سطح براده شدت پیدا می‌کند [۲].

در رابطه با انتخاب معیار سایش ابزار از بین فرسایش در سطح آزاد و گودال فرسایش، معمولاً این طور بیان می‌شود که در سرعت‌های برشی زیاد، گودال فرسایش و در سرعت‌های پایین فرسایش در سطح آزاد، معیار سایش قرار گیرد [۲]. معیار سنجش سایش ابزار بر اساس استاندارد جهانی ISO 3685-1993 برای ابزارهای تندبر، کاربیدی و سرامیک به صورت زیر می‌باشد [۲].

$V_B = 0.3 \text{ mm}$	در صورت سایش یکنواخت در سطح آزاد
$V_{Bmax} = 0.6 \text{ mm}$	ماکزیمم ارتفاع سایش در سطح آزاد
$KT = 0.06 + 0.3 af$	عمق گودال فرسایش

معمولا برای اندازه‌گیری سایش ابزار از معیار فرسایش در سطح آزاد بسیار بیشتر استفاده می‌شود. یکی از دلایل استفاده از این معیار اندازه‌گیری آسان توسط میکروسکوپ و یا دستگاه‌های مشابه می‌باشد. علاوه بر این، اندازه‌گیری عمق گودال فرسایش مشکل‌تر از اندازه‌گیری فرسایش در سطح آزاد می‌باشد. ارتفاع فرسایش در سطح آزاد در طول سطح فرسایش یکنواخت نیست لذا می‌توان هم ارتفاع متوسط فرسایش در سطح آزاد و هم ماکزیمم ارتفاع را به عنوان معیار سایش ابزار در نظر گرفت [۲].

شکل ۱-۱۹ روش اندازه‌گیری سایش سطح آزاد و گودال فرسایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۹، روش اندازه‌گیری فرسایش سطح آزاد (شکل بالا) و گودال فرسایش (شکل

پایین) [۱]

در این تحقیق برای اندازه‌گیری میزان سایش مته‌ها از معیار فرسایش در سطح آزاد استفاده شده است. یک ذره بین شیشه‌ای و یا میکروسکوپ می‌تواند از وسایل معمولی اندازه‌گیری میزان سایش

باشند [۱]. در این تحقیق برای اندازه‌گیری سایش ابزار از دستگاه اندازه‌گیری تصویری^۱ (VMM) مدل C2010 ساخت شرکت EASSON چین استفاده شد. در شکل ۱-۲۰ تصویر این دستگاه و همچنین تصویری از سایش سطح آزاد مته بدون پوشش که با دستگاه VMM اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۰، دستگاه VMM برای اندازه‌گیری سایش ابزار [۶]

این دستگاه قابلیت بزرگنمایی ۱۲۰ برابر و اندازه‌گیری با دقت ۲ میکرون را دارد. میزان سایش سطح آزاد هر پنج نمونه مته در بازه‌های زمانی بر اساس تعداد قطعه سوراخکاری شده با این دستگاه اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در فصل بعد قابل مشاهده می‌باشد.

۱-۸) پارامتر صافی سطح سوراخ و روش اندازه‌گیری

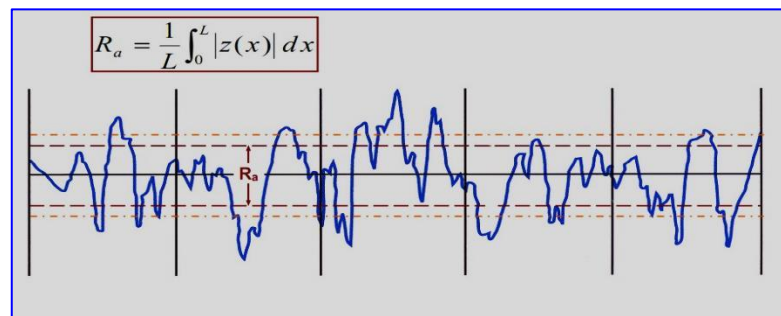
دومین پارامتر اندازه‌گیری شده در این تحقیق صافی سطح^۲ سوراخ می‌باشد. صافی سطح یکی از پارامترهای هندسی قطعات است که اندازه آن در مراحل پرداخت نهایی و سنگ زنی از مشخصه‌های مهم قطعه به شمار می‌رود. صافی سطح بالا در مواردی که حرکت قطعات روی هم و یا به صورت بوش و شفت راهنما و بصورت انطباق سُرشی باشد بسیار حائز اهمیت است. در استانداردهای بین المللی

¹ Vision Measuring Machine (V.M.M)

² Roughness

(ISO 4287:1997) چند پارامتر برای اندازه‌گیری صافی سطح وجود دارد که دو نوع آن از بقیه پرکاربردتر است. هر کدام از این دو پارامتر روش اندازه‌گیری و تفسیر مشخصی دارد این دو پارامتر عبارتند از R_z , R_a که در ادامه به تعریف و تفسیر این دو پارامتر پرداخته می‌شود:

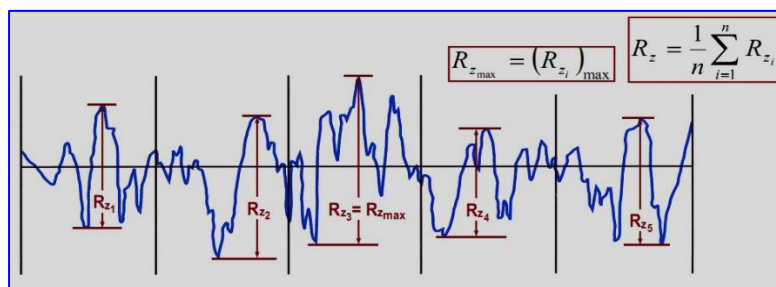
پارامتر زبری میانگین^۱ یا R_a : این پارامتر امروزه متداول‌ترین پارامتر اندازه‌گیری صافی سطح می‌باشد. مقدار آن با اندازه‌گیری میانگین مجموع قدر مطلق مساحت زیر منحنی سطح مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود [۷]. پارامتر R_a بسیار تکرارپذیر^۲ و قابل اطمینان^۳ است که استفاده از آن را برای اندازه‌گیری تصادفی^۴ نمونه‌ها مناسب می‌سازد. در شکل ۱-۲۱ روش اندازه‌گیری این پارامتر نشان داده شده است [۷].



شکل ۱-۲۱، روش اندازه‌گیری پارامتر R_a [۷]

میانگین حداکثر و حداقل زبری^۵ یا R_z : این پارامتر میانگین حداکثر و حداقل زبری‌ها را در طول مورد نظر را نشان می‌دهد. این پارامتر با توجه به روش اندازه‌گیری آن از پارامتر R_a قابل درک‌تر است. پارامتر دیگری نیز به نام R_{zmax} در همین روش قابل اندازه‌گیری است که بیشترین اختلاف بین حداکثر و حداقل زبری را نشان می‌دهد [۷]. در شکل ۱-۲۲ روش اندازه‌گیری این پارامترها نشان داده شده است.

¹ Roughness Average
² Repeatable
³ Reliable
⁴ Random
⁵ Mean Roughness Height/Depth



شکل ۱-۲۲، روش اندازه‌گیری پارامترهای R_z و R_{zmax} [۷]

اندازه صافی سطح برای سوراخکاری دو عدد سوراخ موضوع این تحقیق $Ra=12.5\mu m$ می‌باشد. با مراجعه به استانداردهای مرتبط با ماشینکاری (DIN 4766 T2) ملاحظه می‌شود که این میزان صافی سطح با فرآیند سوراخکاری قابل دستیابی است. دستگاه‌های اندازه‌گیری صافی سطح پیشرفته امروزی تمام محاسبات صافی سطح را با نرم افزارهای مناسب انجام داده و قابلیت اندازه‌گیری صافی سطح به روش‌های مختلف را دارا می‌باشند. برای اندازه‌گیری صافی سطح قطعات نمونه موضوع این تحقیق از دستگاه زبری سنج شرکت Mahr آلمان مدل Mar Surf M400 استفاده شده است. شکل ۱-۲۳ تصویر این دستگاه را نشان می‌دهد.

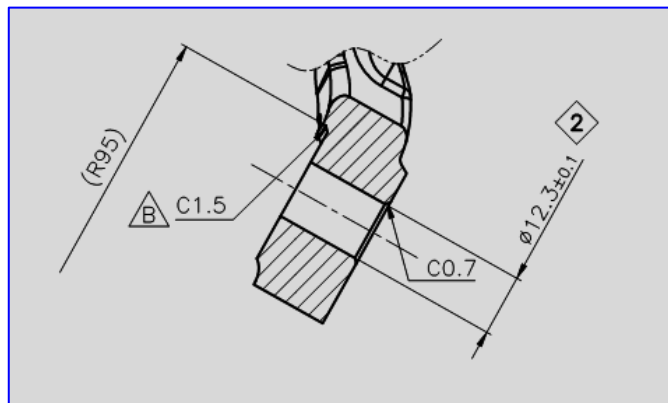


شکل ۱-۲۳، دستگاه زبری سنج شرکت Mahr مدل Mar Surf M400 [۸]

این دستگاه از پیشرفته‌ترین مدل‌های قابل حمل شرکت Mahr بوده و نتایج اندازه‌گیری آن در بالاترین حد صحت و قابلیت اطمینان قرار دارد. قطعات نمونه کالیپر ترمز سمند سوراخکاری شده با پنج نمونه مته و در بازه‌های مشخص انتخاب شده و صافی سطح سوراخ مورد نظر با این دستگاه اندازه‌گیری شد.

۹-۱) پارامتر تلورانس سوراخکاری قطعه و روش اندازه‌گیری

سومین پارامتر اندازه‌گیری شده در این تحقیق تلورانس قطر سوراخ می باشد. دو عدد سوراخ روی کالیپر ترمز سمند با نمونه مته‌های موضوع این تحقیق سوراخکاری می‌گردد. اندازه و تلورانس قطر این سوراخها در شکل ۱-۲۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۲۴، اندازه و تلورانس قطر سوراخ [۹]

با توجه به نقشه قطعه مشاهده می‌شود که اندازه و تلورانس قطر این سوراخها به شرح زیر است:

میلیمتر 12.3 ± 0.1 = اندازه و تلورانس قطر سوراخ

نوع پوشش مته‌ها و ضخامت لایه پوشش داده شده روی مته‌های مختلف متفاوت است. بنابراین مقایسه قطر سوراخ قطعات سوراخکاری شده اثر عامل نوع پوشش مته بر قطر سوراخ را نمایان می‌کند. با توجه به محدوده تلورانسی سوراخ که مجموعاً ۰/۲ میلیمتر می‌باشد برای اندازه‌گیری قطر این سوراخها نیاز به وسیله اندازه‌گیری با دقت ده برابر دامنه تلورانسی یعنی با دقت حداقل ۰/۰۲ می‌باشد [۱۰]. با توجه به اینکه کولیس‌های معمولی هم دارای دقت ۰/۰۱ می‌باشند، برای اندازه‌گیری قطر سوراخ می‌توان از کولیس نیز استفاده نمود. ولی برای افزایش دقت اندازه‌گیری و حذف کردن خطاهای اندازه‌گیری اپراتوری، از دستگاه CMM برای اندازه‌گیری قطر سوراخها استفاده شد. شکل ۱-۲۵ تصویر این دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۵، تصویر دستگاه CMM

دستگاه CMM مورد استفاده برای اندازه‌گیری، از شرکت Leitz آلمان می‌باشد. این شرکت جزء برترین سازنده‌های دستگاه‌های CMM دنیا می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری با این دستگاه از حداکثر دقت، صحت و اطمینان برخوردار است. تمام اندازه‌گیری‌ها در دمای کنترل شده $19-21^{\circ}\text{C}$ انجام شده تا اثرات دما روی نتایج اندازه‌گیری حذف گردد.

۱۰-۱) مروری بر پژوهش‌های پیشین

در رابطه با انواع پوشش‌های ابزار، ویژگی‌ها، کاربرد و خواص پوشش‌های تک لایه و چند لایه و اثرات این پوشش‌ها روی طول عمر ابزار و کیفیت سطح ماشینکاری شده تحقیقات دانشگاهی متعددی صورت گرفته است. در بخش تحقیق و توسعه^۱ شرکت‌های بزرگ تولید کننده ابزارهای برشی نیز قابل توجهی صورت گرفته است. هدف عمده این تحقیقات بهینه نمودن پوشش ابزارها به منظور افزایش طول عمر، بهبود کیفیت سطح ماشینکاری و کاهش هزینه ابزار بر قطعه بوده است. مروری بر این پژوهش‌ها در ادامه آمده است:

در سال ۱۹۹۵، سله و باریمانی [۱۱] از شرکت گورینگ^۲ آلمان تحقیقاتی در مورد کاربرد و مزایای انواع پوشش‌ها در فرآیند سوراخکاری با مته انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پوشش TiAlN اعمال شده روی مته کاربرد تنگستن برای سوراخکاری چدن به دلیل مقاومت حرارتی بالاتر پوشش TiAlN، نتایج بسیار بهتری نسبت به سایر پوشش‌ها ارائه می‌دهد. همچنین بر اساس

^۱ Research & Development

^۲ Guhring

نتایج این تحقیق، برای ماشینکاری مقاطع منقطع مانند فرزکاری و قلاویزکاری بهترین پوشش چند لایه TiCN می‌باشد. این پوشش به دلیل چند لایه بودن ساختار آن، قدرت مقاومت در برابر ترک‌های ایجاد شده را دارد. در حالیکه پوشش‌های TiN و TiAlN ترک‌های ایجاد شده را به سمت زیر لایه هدایت نموده و باعث کاهش طول عمر ابزار می‌شود. بر اساس نتایج همین تحقیق، برای ماشینکاری بدون آب صابون (خشک) و ماشینکاری با سرعت‌های پیشروی بالا (بیش از ۴ متر بر دقیقه) پوشش TiAlN به دلیل مقاومت حرارتی بالای آن بهترین نتایج را ارائه می‌دهد.

در سال ۱۹۹۸، سلایندر و همکاران [۱۲] از شرکت سندویک^۱، تحقیقی در رابطه با مقایسه طول عمر و میزان سایش سطح آزاد ابزار کاربید تنگستن با پوشش‌های مختلف شامل: TiN/TaN، TiCN، TiAlN اعمال شده به روش PVD و پوشش TiCN اعمال شده به روش CVD، در ماشینکاری فولاد ضد زنگ انجام دادند. بر اساس نتایج این تحقیق بیشترین طول عمر مربوط به پوشش TiN/TaN و سپس به ترتیب پوشش‌های TiAlN، TiCN اعمال شده به روش PVD و TiCN اعمال شده به روش CVD می‌باشد. همچنین میزان سایش سطح آزاد در TiAlN بیشترین مقدار و در TiN/TaN کمترین مقدار بوده است.

در سال ۱۹۹۸، تانشوف و همکاران [۱۳] عملیات سوراخکاری خشک فولاد تمپر شده با ابزار کاربید تنگستن پوشش داده شده با TiAlN و TiAlON (تیتانیوم آلومینیوم نیتريد غنی شده از اکسیژن) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در میکرو سختی مشابه این دو پوشش، میزان سایش ابزار با پوشش TiAlON به مراتب کمتر از ابزار با پوشش TiAlN بوده و طول عمر بیشتری داشته است. دلیل این تفاوت را باید در مقاومت به اکسیداسیون بالاتر در پوشش TiAlON دانست. هم چنین بر اساس نتایج این تحقیق پوشش هفت لایه TiAlN - TiAlON (لایه های اول و آخر TiAlN و لایه های میانی به صورت یکی در میان TiAlON و TiAlN) کمترین میزان سایش و بیشترین طول عمر را داشته است.

در سال ۲۰۰۳، داکروس و همکاران [۱۴] در فرانسه اثرات پوشش‌های دو لایه CrN/TiN و TiN/AlTiN اعمال شده به روش PVD بر روی ابزار کاربید تنگستن را در ماشینکاری آلیاژ Inconel

¹ Sandvik

718 مورد مطالعه قرار دادند. در نتیجه این تحقیق مشخص شد که برای کاربرد مشخص ماشینکاری آلیاژ Inconel 718 پوشش TiN/AlTiN نتایج بهتری در مقایسه با پوشش CrN/TiN ارائه می‌دهد. صافی سطح بهتر و عدم تشکیل پدیده لبه انباشته^۱ از جمله مزایای پوشش TiN/AlTiN در مقایسه با پوشش CrN/TiN بوده است.

در سال ۲۰۰۴، سانتوس و همکاران [۱۵] تحقیقی در رابطه با تاثیر پوشش‌های TiN، TiAlN، MoS₂ و پوشش چند لایه TiN/TiAlN روی طول عمر ابزار کاربرد تنگستن در عملیات سوراخکاری چدن خاکستری انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مناسب‌ترین پوشش از نظر طول عمر مته (تعداد سوراخ ایجاد شده روی قطعه کار) پوشش چند لایه TiN/TiAlN و پوشش TiAlN می‌باشد.

در سال ۲۰۰۶، چیفتچی [۱۶] تحقیقی در رابطه با ماشینکاری فولاد ضد زنگ آستنیت AISI 304 با استفاده از ابزار کاربرد تنگستن دارای پوشش چند لایه اعمال شده به روش CVD انجام داد. در این تحقیق تاثیر دو نوع پوشش چند لایه TiC/TiCN/TiN و TiCN/TiC/Al₂O₃ بر صافی سطح ماشینکاری و نیروهای ماشینکاری بررسی شده و نتایج نشان می‌دهد در سرعت برشی ۱۸۰ متر بر دقیقه صافی سطح ایجاد شده با پوشش TiN بهتر از صافی سطح با پوشش Al₂O₃ می‌باشد. همچنین نیروهای ماشینکاری با ابزار پوشش داده شده با TiN کمتر از ابزار با پوشش Al₂O₃ بوده است. دلیل این پدیده را می‌توان به کمتر بودن ضریب اصطکاک TiN نسبت به Al₂O₃ نسبت داد.

در سال ۲۰۰۷، رحیم و شریف [۱۷] تحقیقی در رابطه با مقایسه نتایج سوراخکاری آلیاژ تیتانیوم-Ti-6Al4V با مته کاربرد تنگستن بدون پوشش و با پوشش TiAlN از نظر طول عمر مته و صافی سطح سوراخ ایجاد شده، انجام دادند. بر اساس نتایج این تحقیق، طول عمر مته با پوشش TiAlN در سرعت‌های برشی مختلف به مراتب بیشتر از مته بدون پوشش بوده است. همچنین مقدار سایش زاویه آزاد مته در ابزار با پوشش TiAlN بسیار کمتر از ابزار بدون پوشش بوده است. مقایسه صافی سطح سوراخ‌ها نیز نشان می‌دهد صافی سطح سوراخ ایجاد شده با مته پوشش دار TiAlN بسیار بهتر از سوراخ ایجاد شده با مته بدون پوشش بوده است.

¹ Built Up Edge

در سال ۲۰۱۱، شیپا و همکاران [۱۸] تحقیقی در رابطه با کیفیت سوراخکاری با مته کاربرد تنگستن پوشش‌دار و بدون پوشش روی جنس کامپوزیتی (تیتانیوم، پلاستیک تقویت شده با فیبر کربن^۱، آلومینیوم) انجام دادند. جنس کامپوزیتی مورد استفاده در این تحقیق در ساخت بدنه هواپیما کاربرد دارد و سوراخهای ایجاد شده در آن جهت مونتاژ قطعات دیگر استفاده شده و از دقت بالایی (از نظر تلورانس سوراخکاری، گردی^۲ و استوانه‌یی^۳ بودن) برخوردار می‌باشد. پوشش مورد استفاده در ابزار پوشش‌دار، الماس^۴ بوده و سوراخکاری با استفاده از مایع روانکار و خنک کار انجام شده است. بر اساس نتایج این تحقیق قطر سوراخ ایجاد شده با اندازه ۶/۳۵ mm با ابزار دارای پوشش الماس حداقل انحراف و بالاترین دقت را در مقایسه با ابزار بدون پوشش داشته است. در رابطه با گردی و استوانه‌یی بودن سوراخ ایجاد شده، نتایج نشان می‌دهد سوراخ ایجاد شده با مته بدون پوشش دارای حداکثر عدم گردی و عدم استوانه‌یی بودن است و در عوض سوراخ ایجاد شده با مته پوشش‌دار الماس حداکثر دقت در گردی و استوانه‌یی بودن را داراست.

در سال ۲۰۱۳، ساهو [۱۹] تحقیقی در رابطه با مقایسه نتایج عملکرد ابزار کاربرد تنگستن بدون پوشش و پوشش‌دار در ماشینکاری فولاد کربنی کروم بالا AISI D2 انجام دادند. مقایسه بر اساس سایش سطح آزاد ابزار و صافی سطح ماشینکاری انجام شده است. بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق مقاومت به سایش ابزار با پوشش TiN بیش از سه برابر ابزار بدون پوشش و صافی سطح ماشینکاری شده با ابزار پوشش‌دار TiN بهتر از ابزار بدون پوشش بوده است. همچنین بر اساس نتایج این تحقیق سرعت سایش سطح آزاد ابزار بدون پوشش بسیار سریعتر از ابزار پوشش‌دار بوده است. تغییر شکل پلاستیک لبه برنده در اثر حرارت بالا علت سایش سریع در ابزار بدون پوشش بوده است. یکی دیگر از نتایج این تحقیق طول عمر بسیار بالای ابزار پوشش‌دار نسبت به ابزار بدون پوشش بوده است که بر اساس نتایج حدود ۳۰ برابر بیشتر بوده است و در نهایت مطابق نتایج تحقیق هزینه ابزار بر قطعه کار هنگام استفاده از ابزار با پوشش چند لایه TiN به میزان ۹۰/۵ درصد پایین تر از زمانی است که از ابزار بدون پوشش استفاده می‌شود.

¹ Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP)

² Roundness

³ Cylindricity

⁴ Diamond

در سال ۱۳۸۹، امیر آبادی و جعفریان [۲۰] تحقیقی در رابطه با تاثیر انواع پوشش بر توزیع دمای ابزار و براده در ماشینکاری فولاد برشی کم کربن انجام دادند. در این تحقیق تاثیر چهار نوع پوشش Al_2O_3 ، TiC ، TiN و پوشش دولایه $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ اعمال شده روی ابزار کاربرد تنگستن بر توزیع دمای ابزار و براده به کمک شبیه‌سازی کامپیوتری بررسی شده است. نتایج بدست آمده بیانگر تاثیر چشمگیر پوشش Al_2O_3 بر کاهش دمای ابزار می‌باشد. پوشش‌های TiC و TiN تاثیر نسبتاً مشابهی بر توزیع حرارت ابزار دارند و در نهایت نتایج نشان می‌دهد که استفاده از پوشش دو لایه $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ نسبت به تمامی پوشش‌های تک لایه دیگر به میزان قابل ملاحظه‌ای در کاهش توزیع دما در ابزار موثر واقع شده و منجر به افزایش طول عمر ابزار می‌گردد.

۱-۱) اهداف پژوهش و جنبه نوآوری تحقیق

هدف از این تحقیق، ارائه مراحل طراحی، تولید و به ویژه پوشش‌دهی مته کاربرد تنگستن است. با بهینه نمودن پوشش مته، طول عمر بیشتر، کیفیت سطح ماشینکاری بهتر و دقت بیشتر سوراخکاری حاصل می‌شود که نتیجه آن، راندمان بیشتر ماشینکاری، کاهش هزینه‌ها و اقتصادی‌تر نمودن تولید است.

هر چند که در این تحقیق به مراحل طراحی، تولید و پوشش‌دهی مته کاربرد تنگستن پرداخته شده است. اما با توجه به اینکه امروزه تمرکز بر بهینه نمودن پوشش‌های مته، اولویت اول تحقیقات شرکت‌های تولید کننده ابزارهای برشی و مراکز دانشگاهی است. جنبه نوآوری این تحقیق نیز در زمینه پوشش چند لایه مته کاربرد تنگستن می‌باشد.

فصل دوم

روش آزمایش

۲-۱) مقدمه

در این فصل به روش آزمایش این تحقیق پرداخته می‌شود. این مراحل شامل چهار مرحله طراحی، ساخت و پوشش‌دهی و آزمایش نمونه متها می‌باشد. در ابتدای این فصل تعریف فرآیند سوراخکاری ارائه می‌شود. سپس تعریف مته و قسمت‌های مختلف آن تشریح می‌گردد و نقش هر کدام از قسمت‌های مته در فرآیند سوراخکاری شرح داده می‌شود. در ادامه نقشه قطعه کار، ماشین ابزار، فیکسچر نگهدارنده قطعه کار و سرعت‌های برشی فرآیند بررسی می‌شود. سپس به طراحی مته پرداخته می‌شود. استانداردها و هندبوک‌های موجود در این رابطه بررسی شده، مته‌های موجود اندازه‌گیری شده و در نهایت با توجه به داده‌های تهیه شده، نقشه مته مورد نظر استخراج می‌گردد. در ادامه به تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مورد نیاز جهت ساخت متها پرداخته می‌شود. پس از آن به پوشش‌دهی مته پرداخته می‌شود. پوشش‌های مورد استفاده در این تحقیق بررسی و ویژگی‌های هر کدام توضیح داده می‌شود. سپس به تعریف متغیرهای اندازه‌گیری شده این تحقیق و روش اندازه‌گیری هر کدام پرداخته می‌شود. در انتهای این فصل نیز روش اجرایی آزمایش و اندازه‌گیری نمونه‌ها توضیح داده می‌شود.

۲-۲) فرآیند سوراخکاری

سوراخکاری عنوانی است که کلیه روش‌های براده برداری به منظور ایجاد سوراخ‌های استوانه‌ای روی قطعات را در بر می‌گیرد. علاوه بر ایجاد سوراخ‌های کم عمق و عمیق، عنوان سوراخکاری کلیه عملیات تکمیلی از قبیل: برقوکاری^۱، خانکشی^۲، خزینه زنی^۳ را نیز در بر می‌گیرد. در تمام این عملیات یک حرکت دورانی با یک حرکت خطی ترکیب شده است [۱]. با توجه به ماهیت این تحقیق که عملیات سوراخکاری کم عمق است، تعاریف و بررسی‌ها پیرامون این موضوع می‌باشد. سوراخ‌های کم عمق به سوراخ‌هایی گفته می‌شود که برای قطرهای کمتر از ۳۰mm دارای عمقی کمتر از ۵ برابر قطر باشند. به طور کلی هر قدر عمق سوراخ بیشتر باشد، مشکل کنترل براده و تخلیه آن فزونی می‌یابد. این بدان

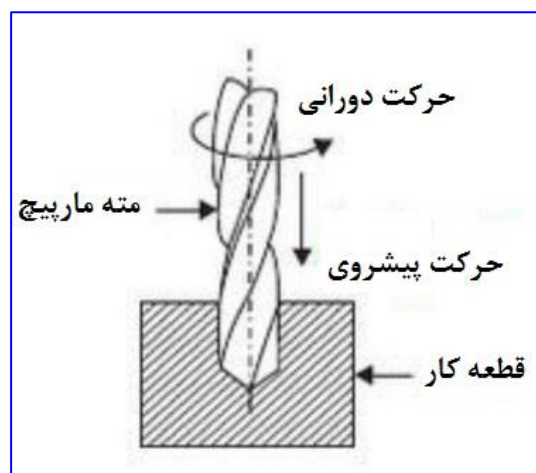
¹ Reaming

² Broaching

³ Counterboring

معناست که تفاوت بین سوراخکاری عمیق و کم عمق فقط قطر سوراخ و عمق آن نیست، بلکه پارامترهای دیگری از قبیل تخلیه براده، کیفیت و نرخ براده‌برداری را نیز باید در نظر گرفت. تا حدود ۱۵ سال قبل مته‌های کوتاه فقط برای عملیات خشن کاری استفاده می‌شدند در حالیکه مته‌های جدید می‌توانند تلورانس سوراخکاری (IT9) را ایجاد کنند که دارای کیفیت مناسبی از نظر تلورانس قطر و پرداخت می‌باشد [۱].

عملیات سوراخکاری ترکیبی از دو حرکت دورانی و پیشروی خطی است. در ماشین‌های سنتی عمل دوران و پیشروی هر دو توسط مته انجام می‌شود. اما در ماشین‌های CNC امکان حرکت پیشروی توسط قطعه کار نیز فراهم شده است. متداول‌ترین روش سوراخکاری، سوراخکاری صلب^۱ نامیده می‌شود [۱]. در این عملیات سوراخ روی یک قطعه صلب (توپر) و در یک مرحله اجرا می‌شود. در شکل ۱-۲ تصویری از سوراخکاری صلب نشان داده شده است.



شکل ۱-۲، سوراخکاری صلب

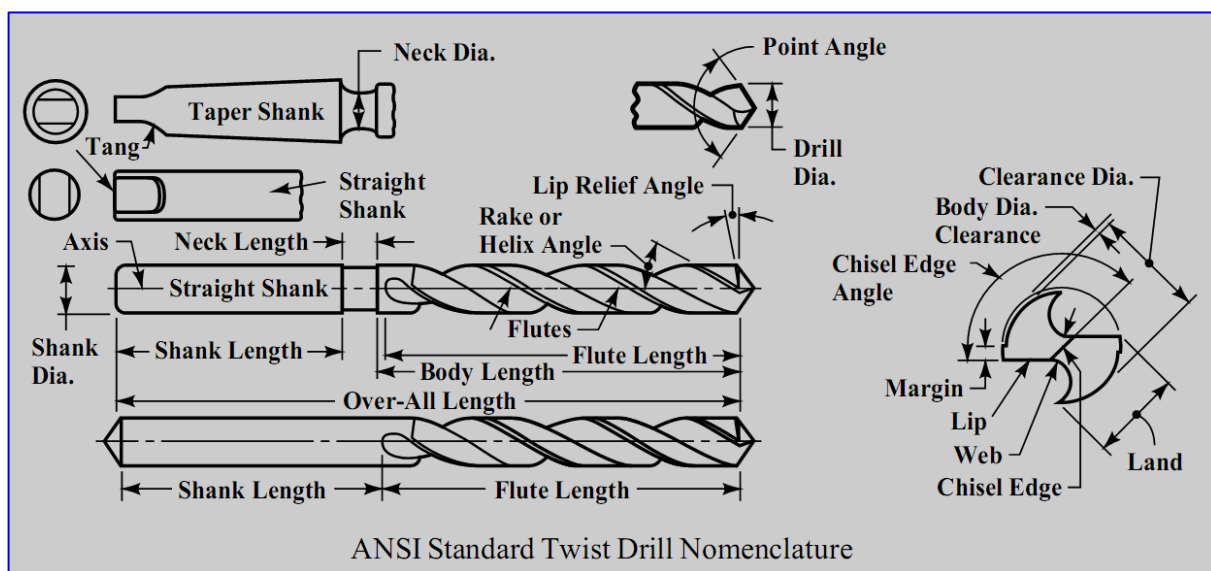
در تحقیق حاضر با توجه به ابعاد مورد نظر روی کالیپر ترمز سمند (قطر سوراخ ۱۲/۳ میلیمتر و عمق آن ۱۷/۸ میلیمتر) نوع سوراخکاری صلب و از نوع سوراخ کم عمق می‌باشد.

¹ Solid Drilling

۳-۲ شناخت مته، قسمت‌های مختلف و زوایای آن

تعریف مته: ابزارهایی با لبه برنده جلویی هستند که دارای دو و یا چند لبه برشی هستند. این ابزارها دارای شیارهای مستقیم و یا مارپیچ هستند که به ابزار اجازه خروج براده و یا ورود مایع خنک کاری را می‌دهد [۲۱].

برای شناخت بهتر مته و آشنایی با قسمت‌های مختلف آن، تعاریفی در ادامه می‌آید که در طول این تحقیق به دفعات به این تعاریف اشاره شده است. شکل ۲-۲ تصویر یک مته مارپیچ و قسمت‌های مختلف آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲، قسمت‌های مختلف مته مارپیچ [۲۱]

به طور کلی هر مته بدون در نظر گرفتن جنس و کاربرد آن از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که در زیر توضیح داده می‌شود [۲۱]:

- بدنه^۱: بدنه مته به محدوده‌ای از مته اطلاق می‌شود که بین دنباله و لبه‌های برشی ادامه می‌یابد.

¹ Body

- دنباله^۱: به قسمتی از مته گفته می‌شود که در ابزارگیر قرار می‌گیرد و در ادامه آن شیارهای مته و لبه‌های برشی قرار دارد. بسته به نوع ابزارگیر دنباله مته‌ها ممکن است مخروطی و یا مستقیم باشند.
- گلویی^۲: به قسمتی از مته اطلاق می‌شود که بین دنباله مته و بدنه مته ایجاد می‌شود. این قسمت که به صورت گلویی و با قطر کمتر ایجاد می‌شود دنباله و بدنه مته را از هم جدا می‌کند. در اکثر مته‌های جدید این قسمت وجود ندارد.
- نافی^۳: قسمت تخت انتهای مته است که به منظور انتقال گشتاور از اسپیندل به مته تعبیه می‌شود. این قسمت بیشتر روی مته‌های با دنباله مخروطی دیده می‌شود.
- راس^۴: به انتهای لبه‌های برنده مته گفته می‌شود که معمولاً به صورت مخروطی است.
- طول کلی^۵: به طول کلی مته گفته می‌شود، که از انتهای دنباله ابزار شروع می‌شود و تا شروع لبه‌های برشی ادامه می‌یابد. این طول انتهای مخروطی شکل مته‌های با دنباله مستقیم و لبه‌های برنده مخروطی مته را در بر نمی‌گیرد.
- طول شیار^۶: به طول شیار مته گفته می‌شود. شیار مته ممکن است مارپیچ و یا مستقیم باشد. این طول از ابتدای لبه‌های برنده مته شروع شده و تا انتهای شیار ادامه می‌یابد.
- شیار^۷: به شیارهای مارپیچ و یا مستقیمی اطلاق می‌شود که در بدنه مته ایجاد شده‌اند. با ایجاد این شیارها لبه برنده مته ایجاد می‌شود. شیارها در مته وظیفه تخلیه براده و هدایت مایع خنک کاری به لبه‌های برنده را انجام می‌دهند.
- سطح^۸: که اصطلاحاً^۸ به آن فاز مته نیز گفته می‌شود به قسمت بیرونی مته گفته می‌شود که بعد از ایجاد شیار باقی می‌ماند. مکان هندسی این قسمت بین دو شیار مته می‌باشد.
- حاشیه^۹: قسمتی از سطح مته می‌باشد که هنگام ایجاد سطح آزاد بدنه باقی می‌ماند.

¹ Shank

² Neck

³ Tang

⁴ Point

⁵ Overall length

⁶ Flute length

⁷ Flute

⁸ Land

⁹ Margin

- سطح آزاد بدنه^۱: قسمتی از سطح مته است که به منظور جلوگیری از برخورد و اصطکاک بدنه مته با سوراخ، هنگام ساخت مته برداشته می‌شود.
- قطر سطح آزاد بدنه^۲: به قطر بیرونی سطح آزاد در طرفین مته گفته می‌شود.
- جان مته^۳: به ضخامت قسمت مرکزی مته گفته می‌شود. این قسمت پس از ایجاد شیارها ایجاد می‌شود و عملاً سطوح مته را نگه می‌دارد.
- ضخامت جان مته^۴: به حداقل ضخامت قسمت جان مته در قسمت نوک مته گفته می‌شود. جان مته در قسمت منتهی به لبه برنده حداقل مقدار خود را دارد.
- نازک کردن جان مته^۵: به فرآیند تیز نمودن جان مته در قسمت منتهی به لبه‌های برنده گفته می‌شود. این فرآیند باعث نفوذ آسانتر مته به داخل قطعه کار و کاهش چشمگیر نیروهای محوری ابزار می‌شود.
- لبه برنده اسکنه‌ای^۶: این لبه کوچک بعد از نازک کردن جان مته ایجاد می‌شود و دو لبه برنده برنده مته را در قسمت جان مته به هم وصل می‌کند.
- لبه برنده^۷: لبه‌های برنده اصلی مته هستند که کار براده برداری را انجام می‌دهند. این لبه‌ها از لبه برنده اسکنه‌ای شروع و تا خارجی‌ترین قسمت مته در راستای راس مته ادامه می‌یابد.
- زاویه مارپیچ^۸: زاویه‌ای است که خط مماس بر منحنی مارپیچ مته با محور مته ایجاد می‌کند. این زاویه در مته‌های شیار مستقیم صفر می‌باشد.
- زاویه براده^۹: در حالت استاتیکی زاویه‌ای است که بین لبه‌های راهنمای مته (در امتداد حاشیه حاشیه) و محور مته ایجاد می‌شود.
- زاویه راس^{۱۰}: زاویه ایجاد شده بین لبه‌های برشی مته را زاویه راس مته می‌نامند.

¹ Body diameter clearance

² Clearance Body diameter

³ Web

⁴ Web thickness

⁵ Web thinning

⁶ Chisel edge

⁷ Lip

⁸ Helix angle

⁹ Rake angle

¹⁰ Point angle

- زاویه آزاد لبه برشی^۱: این زاویه بین صفحه مماس پشت لبه برشی مته در حداکثر قطر مته و خط عبوری از لبه برشی عمود بر محور مته ایجاد می‌شود.
- زاویه لبه برنده اسکنه‌ای^۲: این زاویه که زاویه مرکزی^۳ نیز نامیده می‌شود، زاویه ایجاد شده بین لبه برنده اسکنه‌ای و لبه برشی مته در نمای از روبروی لبه‌های برشی مته می‌باشد.
- زاویه آزاد به پشت^۴: که به آن زاویه آزاد طولی^۵ نیز گفته می‌شود. قطر مته‌ها در طول مته و از از راس به سمت دنباله آن، مقدار کمی کاهش می‌یابد بطوریکه قطر مته در راس حداکثر (قطر نامی مته) و در قسمت دنباله آن حداقل مقدار خود را دارد. این زاویه بخاطر جلوگیری از اصطکاک و برخورد بدنه مته با سوراخ ایجاد می‌گردد.
- محور مته^۶: به خط مرکزی طولی مته اطلاق می‌شود.

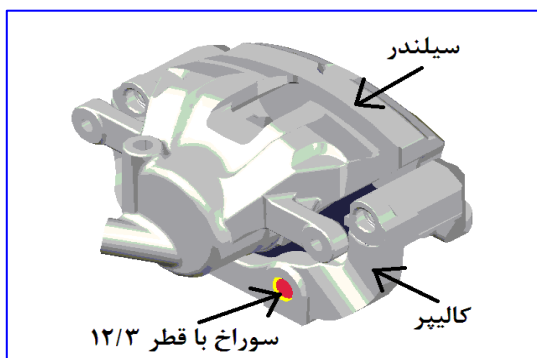
تمام قسمت‌های مختلف مته که در فوق به آنها اشاره شد در تمام مته‌ها وجود دارند. البته در برخی مته‌ها ممکن است قسمت‌های نافی و گلویی بدلیل کاهش هزینه‌های ساخت و عدم نیاز به ایجاد آنها بدلیل نوع ابزارگیر وجود نداشته باشد. یا در مته‌های با طراحی جدیدتر برای استفاده در ماشینتهای CNC در سرعت‌های بالا زاویه آزاد اول و دوم ایجاد گردد. اما بطور کلی تعاریف بالا جامع‌ترین تعریف از قسمت‌های مختلف مته می‌باشد.

۲-۴) بررسی نقشه و جنس قطعه کار

همچنان‌که عنوان شد مته مورد نظر در این تحقیق به منظور سوراخکاری و پخ زنی سوراخ با قطر $12/3 \pm 0/1$ mm و عمق $17/8 \pm 0/2$ mm روی کالیپر ترمز سمند مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور طراحی مته لازم است ابتدا شناخت خوبی از قطعه کار از لحاظ آلیاژ، سختی و خواص ماشینکاری آن بدست آید. همچنین سوراخ مورد نظر از لحاظ تلورانس و صافی سطح مورد بررسی قرار گیرد.

¹ Lip relief angle
² Chisel edge angle
³ Center angle
⁴ Back taper
⁵ Longitudinal relief
⁶ Drill Axis

شکل شماره ۲-۳ مدل سه بعدی مجموعه کالیپر ترمز سمند را نشان می‌دهد. مجموعه کالیپر ترمز، نگهدارنده پیستون و لنت ترمز بوده و یکی از حساس‌ترین قسمت‌های خودرو می‌باشد که از نظر ایمنی، درجه A یعنی بالاترین درجه ایمنی خودرو را دارد.



شکل ۲-۳، نمای سه بعدی مدل کالیپر ترمز سمند [۲۲]

مجموعه کالیپر از دو قسمت کالیپر و سیلندر تشکیل شده است. قطعه فوقانی سیلندر و قطعه تحتانی کالیپر می‌باشد. در قسمت سیلندر، پیستون و در قسمت کالیپر لنت ترمزها قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه سوراخ مورد نظر که در شکل ۲-۳ مشخص شده است، در قسمت کالیپر قرار دارد به بررسی این قطعه پرداخته می‌شود.

مهمترین خصوصیات قطعه کار که روی طراحی و انتخاب ابزار برشی تاثیر دارد، آلیاژ آن و مقدار سختی می‌باشد. جنس کالیپر ترمز سمند از چدن گرافیت کروی^۱ است. به این جنس، چدن داکتیل^۲ یا ندولار^۳ نیز گفته می‌شود. مشخصات و آنالیز جنس کالیپر ترمز سمند که در استاندارد ژاپن (JIS) با کد FCD450 تعریف می‌شود در جدول ۱-۲ نشان داده شده است [۲۳]:

جنس	درصد وزنی عناصر					
	C	Si	Mn	P	S	Mg
FCD450	3.4-3.8	2.5-3.0	0.5	0.05	0.03	0.03-0.06

جدول ۱-۲، آنالیز جنس کالیپر ترمز سمند FCD450 [۲۳]

¹ Spheroidal graphite iron castings

² Ductile

³ Nodular

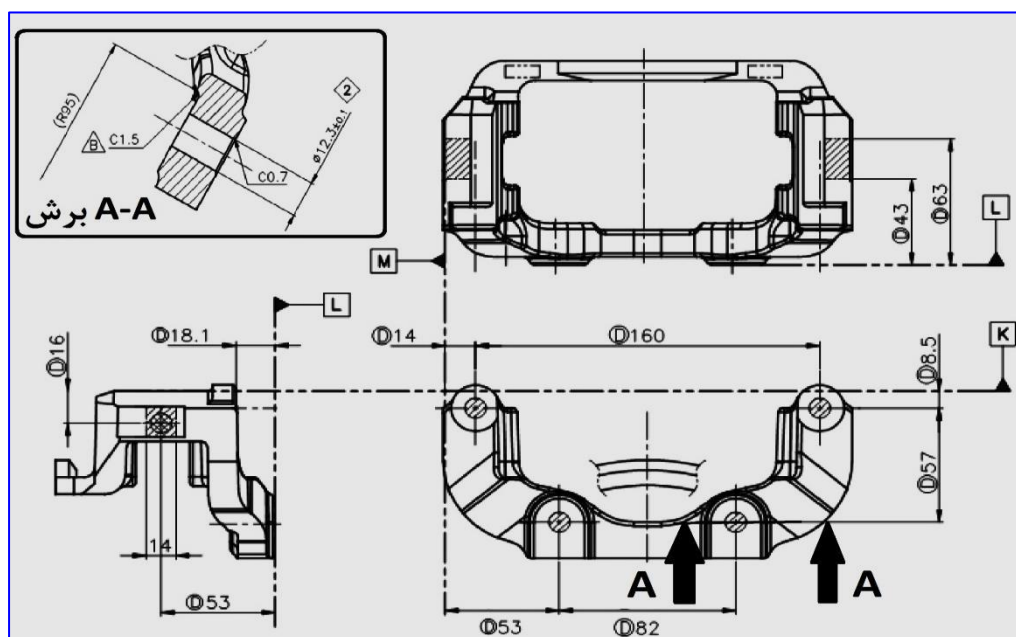
درصد عناصر مختلف چدن گرافیت کروی FCD450 به صورت ضریب وزنی در سطر اول جدول ۲-۱ قابل مشاهده است. همچنین خصوصیات مکانیکی این نوع چدن در جدول ۲-۲ نشان داده شده است [۲۳].

جنس	خواص مکانیکی			
	TS (kgf/mm ²)	YS (kgf/mm ²)	EI (%)	Hardness (HB)
FCD450	45	29	10	143-217

جدول ۲-۲، خواص مکانیکی جنس کالیپر ترمز سمند FCD450 [۲۳]

چدن گرافیت کروی FCD450 علاوه بر خواص مکانیکی خوب و سختی مناسب با توجه به زمینه گرافیت کروی و افزودن عناصری که قابلیت ماشینکاری آن را بالا می‌برد، دارای خواص ماشینکاری خوبی نیز می‌باشد.

موضع سوراخکاری مورد نظر در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. روی کالیپر دو عدد سوراخ با قطر $12/3 \pm 0/1$ mm و عمق $17/8 \pm 0/2$ mm و با فاصله $82 \pm 0/15$ mm از هم تعبیه شده است [۹].



شکل ۲-۴، نقشه کالیپر ترمز و دو عدد سوراخ با قطر $12/3$ با فاصله 82 میلیمتر [۹]

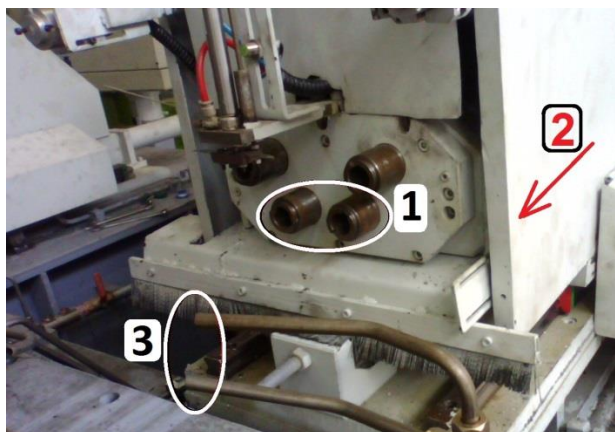
با توجه به عمق و تلورانس سوراخکاری، این سوراخ‌ها با ابزار مته مخصوص که هم سوراخ و هم پخ ۹۰ درجه را ایجاد کند، ماشینکاری می‌گردد.

۲-۵) بررسی داده‌های فرآیند

در فرآیند ماشینکاری کالیپر ترمز سمند، ایستگاه سوراخکاری این دو سوراخ در ایستگاه شماره ۱۰ خط ماشینکاری قرار دارد. قبل از این ایستگاه سطوح دو طرف سوراخ مورد نظر با ابزارهای کفتراش ماشینکاری شده است. به این ترتیب هنگام ورود و خروج مته به داخل قطعه کار، پدیده غیرعادی به دلیل عدم مسطح بودن قطعه وجود ندارد. در ادامه به بررسی داده‌ها و شرایط سوراخکاری پرداخته می‌شود.

۲-۵-۱) ماشین ابزار

تمام ایستگاه‌های خط ماشینکاری کالیپر ترمز سمند از نوع ماشین مخصوص^۱ می‌باشند. ماهیت این گونه ماشین‌آلات برخلاف ماشینهای CNC، براساس تولید انبوه و غیر قابل انعطاف بودن خط می‌باشد. ماشین مخصوص سوراخکاری کالیپر ترمز سمند در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. این ماشین دارای چهار اسپیندل^۲ افقی است که به یک الکتروموتور متصل بوده و تمام آنها با دور و سرعت پیشروی یکسان به حرکت در می‌آیند.



شکل ۲-۵، ماشین مخصوص سوراخکاری کالیپر ترمز سمند

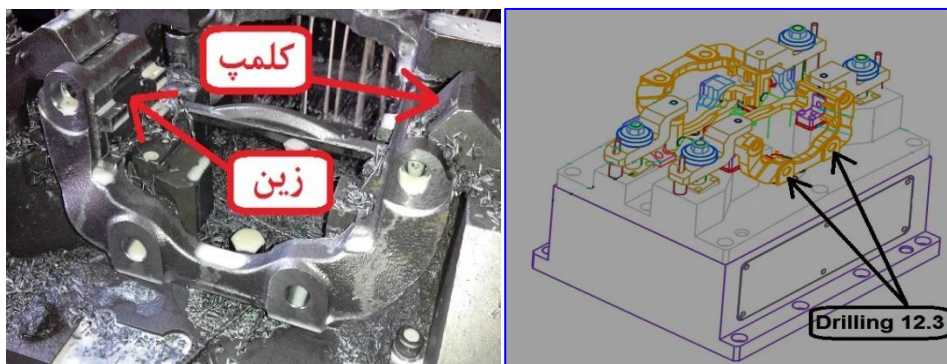
¹ Special Machine
² Spindle

از چهار اسپیندل دستگاه، دو اسپیندل پایینی که با شماره ۱ مشخص شده‌اند، با فاصله دقیق ۸۲ میلیمتر از هم تعبیه شده و کار سوراخکاری دو سوراخ با قطر ۱۲/۳ (موضوع این تحقیق) را انجام می‌دهند. دو اسپیندل فوقانی جهت انجام سوراخکاری دو سوراخ دیگر کالیپر به کار می‌رود که خارج از بحث بوده و به آنها پرداخته نمی‌شود.

این ماشین مخصوص دارای دو محور می‌باشد: محور دورانی اسپیندل و محور پیشروی در جهت Y که در شکل ۲-۵ با شماره ۲ نشان داده شده است. در ابتدا و انتهای محور Y دو عدد میکروسویچ تعبیه شده است که کورس حرکت ابتدا و انتهای این محور را کنترل می‌نماید. لنگی محور اسپیندل و لقی محور Y از عوامل مهم در انتخاب جنس ابزار می‌باشند. اگر لنگی و لقی این محورها کم باشد می‌توان از ابزارهای با جنس و گرید سخت‌تر و چقرمگی کمتر استفاده نمود. ولی در صورتیکه لنگی و لقی بالا باشد باید ابزارهای با گرید چقرمه‌تر استفاده نمود.

۲-۵-۲) فیکسیچر^۱

یکی از مهمترین مکانیزم‌هایی که مستقیماً روی دقت قطعه کار و مصرف ابزار تاثیر دارد فیکسیچر ماشینکاری است. فیکسیچر باید با دقت مناسب طراحی و ساخته شده و تمام درجات آزادی قطعه را مهار نماید. فیکسیچر حین ماشینکاری قطعه نباید هیچگونه ارتعاش و لرزشی داشته باشد. هرگونه ارتعاش و حرکت قطعه داخل فیکسیچر، دقت ابعادی قطعه را به هم ریخته و موجب لرزش ابزار و در نتیجه سایش و یا شکست آن می‌شود. شکل ۲-۶ فیکسیچر کالیپر ترمز سمند را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۶، فیکسیچر ماشینکاری کالیپر ترمز سمند [۲۴]

¹ Fixture

طرح این فیکسچر به گونه‌ای است که هم زمان دو قطعه روی آن یکی به صورت افقی و دیگری به صورت عمودی قرار می‌گیرد. سوراخکاری دو سوراخ مورد نظر (قطر ۱۲/۳) روی قطعه عمودی انجام می‌شود. سیستم موقعیت‌دهی^۱ و کلمپ^۲ قطعه به این صورت است که کالیپر روی دو زین قرار می‌گیرد، دو کلمپ در قسمت فوقانی، قطعه را به سمت زین‌ها فشار داده و هر گونه حرکت، چرخش و ارتعاش قطعه را حین ماشینکاری از بین می‌برد. مقدار لقی و لرزش قطعه داخل فیکسچر از عوامل مهم در انتخاب گرید ابزار برشی می‌باشد هر قدر میزان این لقی و لرزش بیشتر باشد باید ابزار با گرید چقرمگی بالاتر استفاده نمود.

۲-۵-۳) سرعت‌های برشی

با توجه به مخصوص بودن دستگاه، و عدم تعبیه سرو موتور و الکترواسپیندل، سرعت‌های دورانی اسپیندل و پیشروی ابزار ثابت می‌باشد. سرعت‌های موجود دور اسپیندل و پیشروی به شرح زیر است:

سرعت دورانی اسپیندل: ۱۴۰۰ r.p.m

سرعت پیشروی محور Y: ۳۰۰ mm/min

سرعت برشی V و پیشروی f_z برای سوراخکاری قطعات چدن گرافیت کروی (داکتیل) با ابزار مته کاربرد تنگستن دو پله که توسط شرکت‌های معتبر ابزارسازی پیشنهاد شده است به ترتیب در محدوده ۵۵ تا ۷۰ متر بر دقیقه و ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ میلیمتر بر دور می‌باشد [۲۵]. رابطه سرعت برشی و دور اسپیندل در فرآیندهای ماشینکاری به صورت زیر است:

$$V = \pi DN/1000$$

در رابطه بالا، V سرعت برشی^۳ بر حسب متر بر دقیقه، D قطر سوراخ بر حسب میلیمتر و N دور اسپیندل^۴ بر حسب دور در دقیقه می‌باشد. با قرار دادن سرعت برشی ۵۵ متر بر دقیقه و قطر ۱۲/۳ میلیمتر در رابطه بالا، دور اسپیندل محاسبه می‌گردد:

¹ Positioning
² Clamping
³ Cutting speed
⁴ Spindle speed

$$N = 1000V/\pi D = (1000 * 55)/(\pi * 12.3) = 1424 \text{ r.p.m}$$

بنابراین دور اسپیندل ۱۴۰۰ r.p.m بر اساس سرعت برشی ۵۵ m/min مناسب انتخاب شده است. حرکت پیشروی^۱ محور Y، برای این فرآیند به منظور حصول صافی سطح بهتر برای سوراخ، کمی پایین‌تر از محدوده پیشنهاد شده و در حد ۰/۲۱ mm/rev انتخاب شده است. با ضرب آن در دور اسپیندل مقدار ۳۰۰ mm در دقیقه محاسبه می‌گردد.

$$F = f_z * N = 0.21 * 1424 = 300 \text{ mm/min}$$

با توجه به محاسبات فوق دور اسپیندل و سرعت پیشروی آن بر اساس جنس قطعه کار و جنس ابزار، به صورت مناسب انتخاب شده است.

۲-۵-۴) شرایط خنک کاری

خنک کاری در فرآیند براده برداری تاثیر مثبت و زیادی روی فرآیند دارد. خنک کاری باعث کنترل دمای ابزار و کاهش سوختن و افزایش طول عمر ابزار، تخلیه راحت تر براده، جلوگیری از انبساط حرارتی مواضع ماشینکاری به خصوص در عملیات پرداخت و در نتیجه افزایش دقت ماشینکاری می‌گردد. سیستم خنک کاری این دستگاه به صورت آب صابون خارجی می‌باشد که توسط دو عدد لوله که در شکل ۲-۵ با شماره ۳ مشخص شده است، انجام می‌گیرد. فشار آب صابون ۳ بار و دبی خروجی این لوله‌ها ۱۰ لیتر بر دقیقه می‌باشد.

۲-۶) مهندسی معکوس مته و تهیه نقشه ساخت

در رابطه با موضوع طراحی مته پس از جستجوهای فراوان در استانداردها و هندبوک‌های ابزار و ماشینکاری، فقط اطلاعات بسیار کلی در رابطه با زوایای مته آن هم فقط زاویه راس مته، زاویه آزاد و زاویه مارپیچ عنوان شده و اطلاعات دیگری در مورد ابعاد و اندازه سایر قسمت‌های مته ارائه نشده است. در مدارک فنی قابل دسترسی شرکت‌های ابزارسازی نیز اطلاعات ابعادی کلی مته نظیر قطر نامی، قطر دنباله، طول شیار، طول پله و طول کلی مته ارائه شده و اطلاعات جزئی در رابطه با نقشه

¹ Feed rate

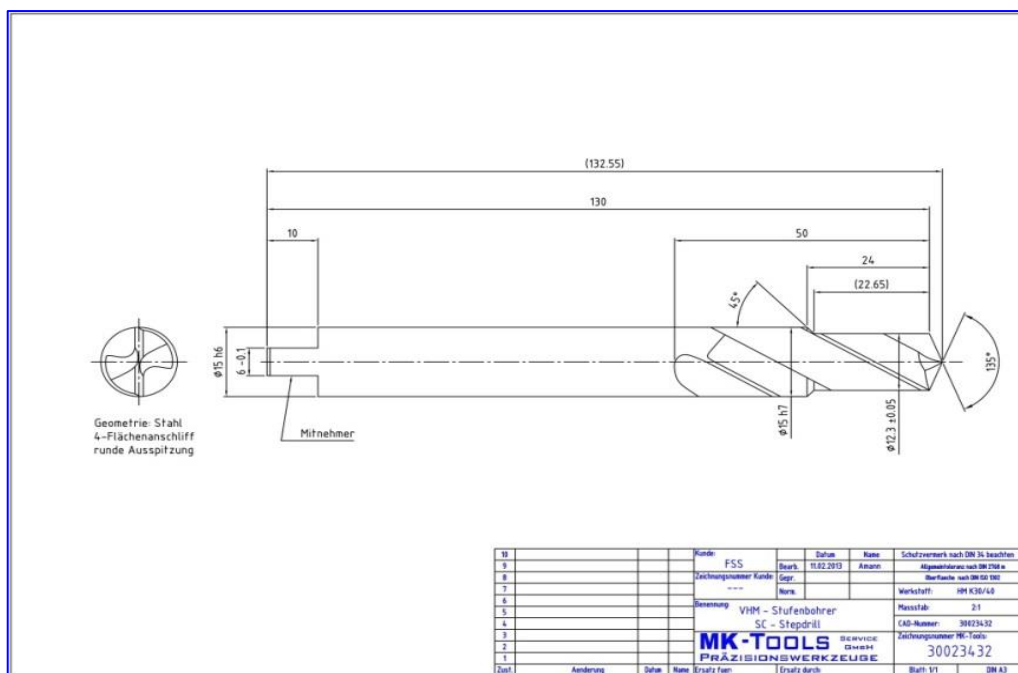
طراحی، ساخت و بهینه‌سازی پوشش مته مارپیچ فصل دوم، روش آزمایش

ساخت مته ارائه نشده است. به دلیل اینکه امکان طراحی مته از ابتدا وجود نداشت و دستیابی به نقشه ساخت مته از طرف ابزارساز امکان پذیر نبود، تنها روش دستیابی به نقشه ساخت مته، مهندسی معکوس بود. برای انجام این کار چند نمونه مته ساخت شرکت MKTools که در خط ماشینکاری برای سوراخکاری همان موضع استفاده می‌شد مورد بررسی و اندازه گیری قرار گرفت. شکل شماره ۲-۷ تصویر مته مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷، تصویر مته شرکت MKTools مورد استفاده سوراخکاری ۱۲/۳ کالیپر ترمز سمند

تنها نقشه موجود از این مته که ابعاد کلی در آن قید شده و از ذکر اندازه‌های مهم و تکمیلی خودداری شده است در تصویر شماره ۲-۸ قابل مشاهده است.



شکل ۲-۸، نقشه مته شرکت MKTools مورد استفاده سوراخکاری ۱۲/۳ کالیپر ترمز سمند [۲۶]

همچنانکه در نقشه موجود قابل مشاهده می‌باشد اندازه قطر اصلی مته $12/3 \pm 0/05$ ، قطر پله دوم $15h7$ و قطر دنباله $15h6$ بصورت دقیق و همچنین ابعاد کلی مته شامل طول کلی، طول شیار ماریچ، اندازه ناف، زاویه راس مته، طول پله و اندازه پخ دوم عنوان شده است. ولی ابعاد و اندازه‌های مهم دیگر مته از قبیل زاویه براده، زاویه آزاد، زاویه لبه برنده اسکنه‌ای، زاویه آزاد به پشت مته و ... قید نشده است. بنابراین برای استخراج این اندازه‌ها از روش مهندسی معکوس و اندازه‌گیری نمونه مته استفاده شد.

برای استخراج اندازه‌ها و زوایای مته از دستگاه اندازه‌گیری اپتیکی^۱ ابزار Venturion-500 ساخت شرکت Zoller آلمان، دستگاه CMM^۲ ساخت شرکت Leitz آلمان و دستگاه اندازه‌گیری تصویری^۳ (VMM) مدل C2010 از شرکت EASSON چین استفاده شد. دقت اندازه‌گیری دستگاه اپتیک و VMM معادل $0/002$ میلیمتر و دقت دستگاه CMM معادل $0/0005$ میلیمتر می‌باشد. تصویر این سه دستگاه در شکل ۲-۹ مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۹، الف-دستگاه CMM-Leitz، ب-دستگاه VMM-EASSON ج-دستگاه اپتیک Zoller

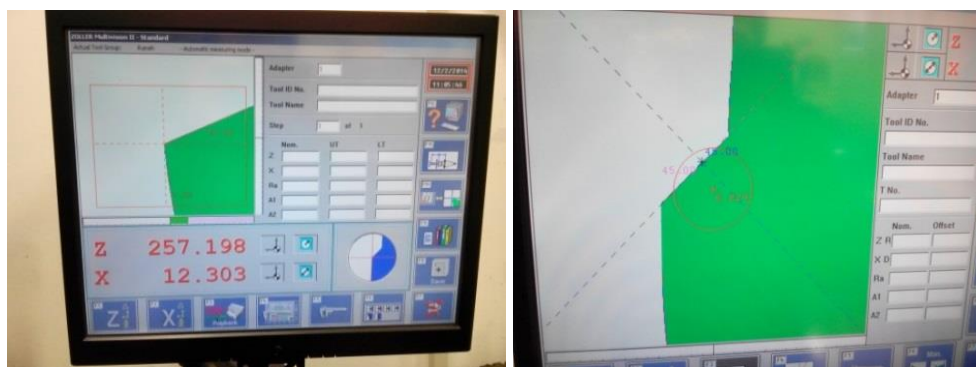
ابعاد و زوایایی که با این سه دستگاه اندازه‌گیری شد عبارتند از: پهنای حاشیه، اندازه سطح آزاد بدنه، قطر سطح آزاد بدنه، ضخامت جان مته، طول لبه برنده، زاویه آزاد به پشت، زاویه براده، زاویه راس، زاویه لبه برنده اسکنه‌ای، زاویه ماریچ، طول کلی، قطر دنباله، ضخامت ناف، طول ناف، طول شیار ماریچ، طول پله، قطر اصلی مته و زاویه پخ (به شکل ۲-۲ رجوع شود).

¹ Optic Measuring Instrument

² Coordinate Measuring Machine

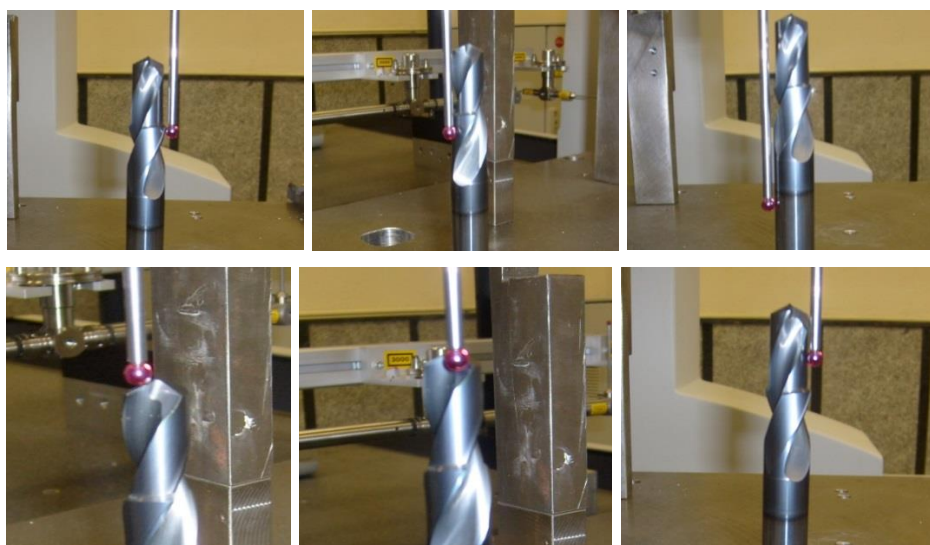
³ Vision Measuring Machine

با توجه به قابلیت و دقت هر کدام از سه دستگاه مذکور، مواضع ذکر شده با دستگاه مناسب اندازه‌گیری شد. همچنین برای اطمینان از صحت اندازه‌های مندرج در نقشه موجود، تمام این اندازه‌ها نیز مجدداً اندازه‌گیری شد. در شکل ۲-۱۰ تصاویر اندازه‌گیری زاویه پخ ۴۵ درجه و قطر اصلی مته ۱۲/۳ با دستگاه اندازه‌گیری اپتیک ZOLLER نشان داده شده است.



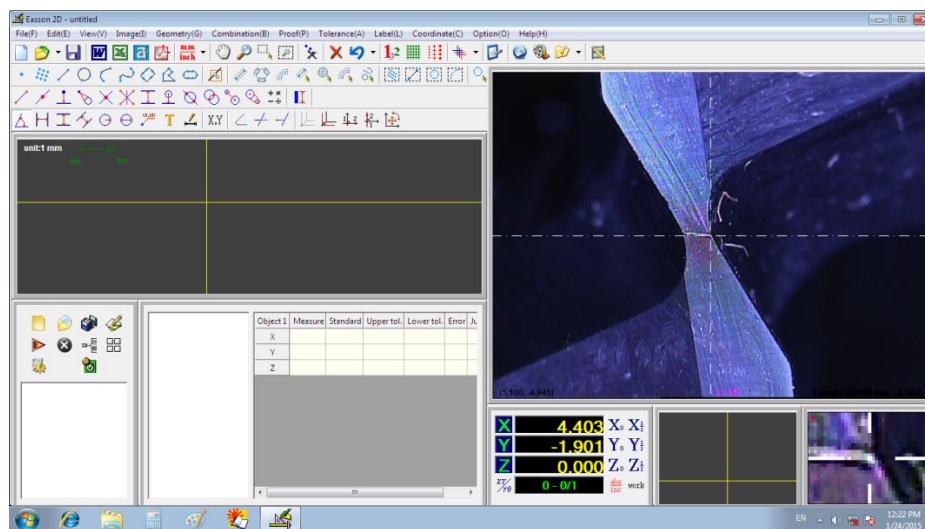
شکل ۲-۱۰، اندازه‌گیری قسمت‌های مختلف مته با دستگاه اندازه‌گیری اپتیک Zoller

قسمت‌های دارای تو رفتگی مته توسط دستگاه CMM اندازه‌گیری شد. این قسمت‌ها شامل: اندازه سطح آزاد بدنه، قطر سطح آزاد بدنه، زاویه آزاد لبه برشی، زاویه آزاد دوم، زاویه براده و زاویه سنگ زنی جان مته، می‌باشد. در شکل ۲-۱۱ تصاویری از اندازه‌گیری مته‌های موجود با دستگاه CMM نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۱، اندازه‌گیری قسمت‌های مختلف مته توسط دستگاه CMM

اندازه ضخامت جان مته، پهنای حاشیه و زاویه لبه برنده اسکنه‌ای که مستلزم اندازه‌گیری در نمای روبروی قطر اصلی مته می‌باشد با دستگاه‌های اپتیک ZOLLER و دستگاه CMM قابل اندازه‌گیری نیستند. به همین دلیل برای اندازه‌گیری این مواضع از دستگاه VMM استفاده شد. شکل ۲-۱۲ تصویر اندازه‌گیری ضخامت جان مته را نشان می‌دهد.



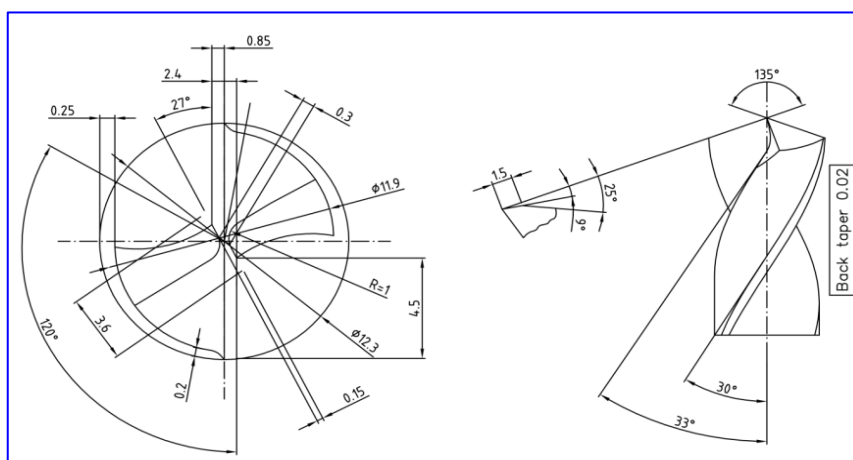
شکل ۲-۱۲، اندازه‌گیری ضخامت جان مته با دستگاه VMM

برخی اندازه‌ها را می‌توان با دو یا هر سه نوع دستگاه اندازه‌گیری نمود. به عنوان مثال قطر دنباله مته و قطر اصلی مته را می‌توان با هر سه دستگاه ZOLLER، CMM و VMM اندازه‌گیری نمود. انتخاب وسیله اندازه‌گیری در این مواقع بستگی به دقت مورد نظر و در مرتبه بعدی به سهولت اندازه‌گیری دارد. با توجه به اینکه هر سه دستگاه دارای دقت بسیار بالا برای اندازه‌گیری مته مورد نظر را داشت، اولویت استفاده از دستگاه اندازه‌گیری، میزان سهولت در روش اندازه‌گیری بوده است. به بطور خلاصه، اندازه‌های زاویه راس مته، زاویه پخ مته، طول پله و زاویه مارپیچ با دستگاه اپتیک، اندازه‌های ضخامت جان مته، پهنای حاشیه و زاویه لبه برنده اسکنه‌ای با دستگاه VMM و بقیه زوایا و اندازه‌های دیگر با دستگاه CMM اندازه‌گیری شد. تمام مراحل اندازه‌گیری فوق روی سه عدد نمونه مته شرکت MKTools اندازه‌گیری شد و میانگین این اندازه‌ها به عنوان اندازه نامی انتخاب شد. در جدول ۲-۳ نتایج این اندازه‌گیری‌ها مشاهده می‌شود.

پارامتر اندازه گیری	روش اندازه گیری	مته ۱	مته ۲	مته ۳	میانگین مقادیر اندازه گیری شده
زاویه راس مته	ZOLLER	134	135	134	134.333
زاویه بچ	ZOLLER	45	45	45	45.000
قطر اصلی مته	ZOLLER	12.303	12.305	12.303	12.304
طول پله	ZOLLER	24.038	24.032	24.035	24.035
زاویه مارپیچ	ZOLLER	30	30	30	30.000
زاویه آزاد لبه برشی	CMM	9.0571	8.9852	9.0235	9.022
زاویه آزاد دوم	CMM	25.0987	24.9821	25.0367	25.039
اندازه سطح آزاد بدنه	CMM	0.1965	0.2142	0.1994	0.203
زاویه سنگ زنی جان مته	CMM	26.896	27.1032	27.0558	27.018
قطر دنباله	CMM	14.9968	14.9952	14.9983	14.997
پهنای حاشیه	VMM	0.85	0.86	0.84	0.850
ضخامت جان مته	VMM	0.31	0.32	0.30	0.310
فاصله لبه-های جان مته	VMM	0.14	0.15	0.15	0.147
زاویه لبه برنده اسکانه-ای	VMM	120	120	120	120.000
پهنای لبه برنده اصلی	VMM	1.51	1.50	1.48	1.497
ضخامت نافی	Caliper	5.96	5.98	6.00	5.980
طول نافی	Caliper	10.05	10.03	10.05	10.043
طول کلی مته	Caliper	132.54	132.57	132.61	132.573

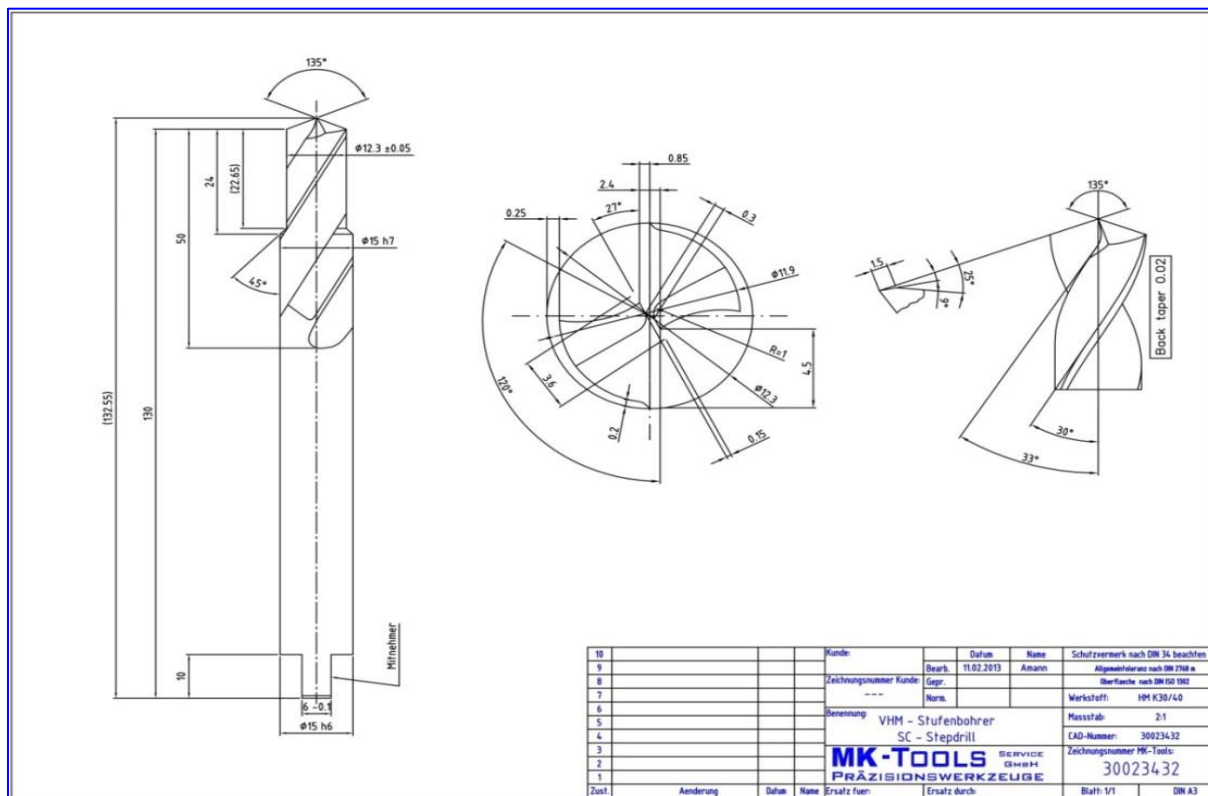
جدول ۲-۳، مقادیر اندازه‌گیری شده برای مهندسی معکوس مته

اندازه‌های فوق روی نقشه مته اعمال گردید. در شکل ۲-۱۳ نقشه تهیه شده دو بعدی مته را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۳، نتایج اندازه‌گیری روی نقشه دو بعدی مته

پس از استخراج اندازه‌های مته به روش مهندسی معکوس و ترکیب نقشه تهیه شده با نقشه اصلی شرکت MKTools، نقشه نهایی جهت ساخت مته تهیه شد. این نقشه که در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است،



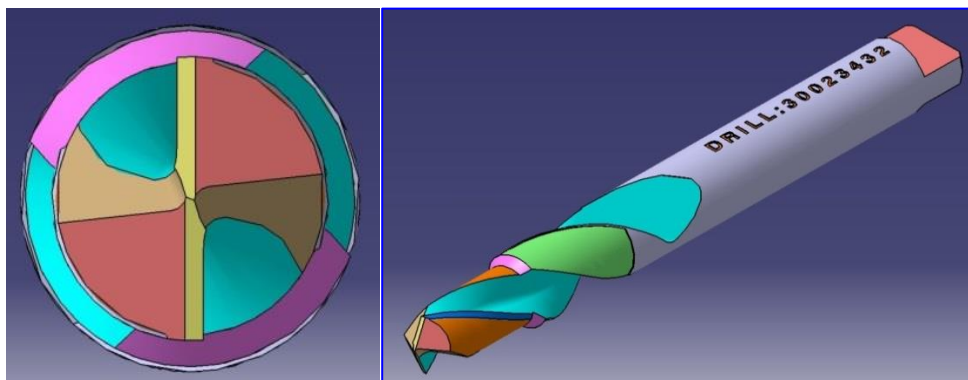
شکل ۲-۱۴، نقشه نهایی مته جهت ساخت

به این ترتیب تمام اندازه‌های مورد نیاز برای ساخت مته در آن قید شده و بوسیله این نقشه، مته نهایی قابل تولید است. در نقشه فوق اندازه‌های مهم با تلورانس مشخص شده‌اند و برای اندازه‌هایی که تلورانس آنها نشان داده نشده است، تلورانس آزاد در نظر گرفته شده است.

۷-۲) تهیه مدل سه بعدی مته

با توجه به شکل سه بعدی و فضایی مته، برای ساخت آن به دستگاه ابزارسازی پنج محور نیاز است. تجسم تنظیمات محورهای دستگاه ابزارسازی برای ساخت مته، به خصوص در مواردی که برای ساخت برخی قسمت‌ها از جمله شیار مارپیچ، نیاز به حرکت همزمان دو محور و حرکت عمقی محور

سوم می‌باشد بسیار مشکل می‌باشد. برای تسهیل در تجسم و تنظیمات دستگاه ابزارسازی، تهیه مدل سه بعدی از مته و دستگاه کمک بسیار زیادی خواهد نمود. برای این منظور با استفاده از نرم افزار Catia مدل سه بعدی مته با استفاده از نقشه دو بعدی آن تهیه شد. شکل ۲-۱۵ مدل تهیه شده مته را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۵، مدل سه بعدی مته تهیه شده با نرم افزار Catia

در شکل ۲-۱۵ قسمت‌های مختلف مته با رنگ‌های جداگانه مشخص شده‌اند. در سمت چپ این شکل، نمای روبروی مته نشان داده شده است که در این تصویر جزئیات بیشتری از قسمت برشی مته قابل مشاهده می‌باشد.

۲-۸) تجهیزات مورد نیاز ساخت مته

برای ساخت مته موضوع این تحقیق نیاز به تجهیزات و ماده اولیه می‌باشد که عبارتند از:

- ماده اولیه ساخت مته (میلگرد کارباید گرید K40 قطر ۱۵)
- دستگاه سنگ ابزار سازی
- سنگ‌های ابزار سازی

در ادامه به شرح هر کدام از موارد فوق پرداخته می‌شود.

۲-۸-۱) ماده اولیه

با توجه به تنوع زیاد گریدهای کاربرد تنگستن مورد استفاده در ساخت ابزارهای برشی، استاندارد جهانی ایزو اقدام به دسته‌بندی گرید کاربایدها بر اساس خواص مکانیکی و کاربرد آنها نموده است. بر اساس این کلاسه‌بندی، گریدهای کارباید در گروههای P، M و K دسته‌بندی می‌شوند. این سه گروه با رنگ‌هایی نیز مشخص شده‌اند. گروه P با رنگ آبی، گروه M با رنگ زرد و گروه K با رنگ قرمز متمایز شده‌اند. کلاس P برای براده‌بردای فولادهای با براده بلند، کلاس M برای براده برداری فولادهای با براده بلند و کوتاه و براده‌برداری فلزات غیر آهنی و گروه K برای براده‌برداری قطعات فولادی و چدنی با براده کوتاه و غیر فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند. در هر گروه نیز گریدها با عددی که بعد از مشخصه گروه می‌آید دسته‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال گرید P10 یا M30 و یا K40، که عدد کوچک‌تر بعد از مشخصه هر گروه نشانگر سختی بالاتر آن و کم بودن چقرمگی گرید مورد نظر می‌باشد. بر این اساس گرید K01 دارای بیشترین میزان سختی و کمترین چقرمگی و گرید K40 دارای کمترین اندازه سختی و بیشترین چقرمگی می‌باشد. جدول ۲-۴، کلاسه‌بندی گریدهای مختلف کاربرد تنگستن براساس ترکیبات و خواص مکانیکی آنها را نشان می‌دهد [۲۷]. با توجه به جنس قطعه کار که چدن با گرافیت کروی می‌باشد باید گرید کاربرد تنگستن مورد نظر برای ساخت نمونه مته‌ها از گروه K جستجو شود.

ISO Application Code	Composition (%)				Density (g/cm ³)	Hardness (Vickers)	Transverse Rupture Strength (N/mm ²)
	WC	TiC	TaC	Co			
P01	50	35	7	6	8.5	1900	1100
P05	78	16		6	11.4	1820	1300
P10	69	15	8	8	11.5	1740	1400
P15	78	12	3	7	11.7	1660	1500
P20	79	8	5	8	12.1	1580	1600
P25	82	6	4	8	12.9	1530	1700
P30	84	5	2	9	13.3	1490	1850
P40	85	5		10	13.4	1420	1950
P50	78	3	3	16	13.1	1250	2300
M10	85	5	4	6	13.4	1590	1800
M20	82	5	5	8	13.3	1540	1900
M30	86	4		10	13.6	1440	2000
M40	84	4	2	10	14.0	1380	2100
K01	97			3	15.2	1850	1450
K05	95		1	4	15.0	1790	1550
K10	92		2	6	14.9	1730	1700
K20	94			6	14.8	1650	1950
K30	91			9	14.4	1400	2250
K40	89			11	14.1	1320	2500

جدول ۲-۴، کلاسه‌بندی گریدهای مختلف کاربید تنگستن براساس ترکیبات و خواص مکانیکی [۲۷] با توجه به اینکه در ایستگاه ماشینکاری مته مورد نظر، حداقل سرعت‌های برشی انتخاب شده است، سختی بالایی برای جنس ابزار مورد نیاز نمی‌باشد. از طرف دیگر با توجه به لنگی^۱ ذاتی اسپیندل و لقی محور Y دستگاه، به منظور جلوگیری از سایش زیاد و شکست ابزار در اثر این عوامل، گرید کاربید تنگستن چقرمه بهترین انتخاب می‌باشد. بنابراین بهترین گرید با توجه به شرایط ماشینکاری قطعه گرید K40 می‌باشد. در ماشینکاری با ماشین‌های CNC که لنگی اسپیندل و لقی محورها بسیار ناچیز و قابل اغماض است و استفاده از سرعت‌های برشی بالاتر امکان پذیر است، استفاده از گریدهای با سختی بالا و چقرمگی پایین مانند گرید K10 یا K20 توصیه می‌شود. ترکیبات گرید K40 از نظر درصد کبالت و کاربید تنگستن و همچنین چگالی، سختی و مقاومت گسیختگی آن در جدول ۲-۳ مشاهده می‌شود. بر این اساس با توجه به طول مته حدود ۱۳۳ میلیمتر، ۳ میلگرد کارباید با قطر ۱۵ میلیمتر و طول ۳۰ سانتی‌متر از شرکت بوهرلر^۲ آلمان با گرید K40 تهیه گردید.

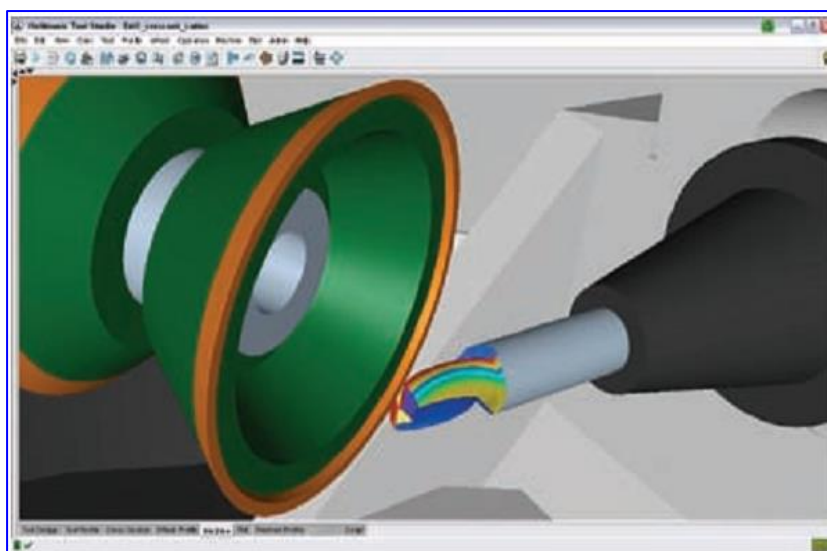
¹ Run out

² Bohler

۲-۸-۲) ماشین سنگ ابزارسازی^۱

همچنانکه عنوان شد با توجه به شکل سه بعدی و فضایی مته‌ها و به دلیل اینکه زاویه‌های لبه برشی مته نسبت به دو صفحه زاویه دارند، نیاز به یک دستگاه پنج محور با دقت مناسب می‌باشد. هم چنین با توجه به اینکه تمام فرآیند ساخت مته کاربرد تنگستن فرآیند سنگ‌زنی است، بنابراین برای ساخت مته مورد نظر به یک دستگاه سنگ ابزار سازی پنج محور نیاز می‌باشد.

در حال حاضر تمام شرکت‌های ابزارسازی از دستگاه‌های پنج محور CNC برای ساخت مته استفاده می‌نمایند. این دستگاه‌ها دارای سرعت و دقت بسیار بالا بوده و با توجه به ترکیب آنها با سیستم‌های CAD/CAM برنامه تولید مته از روی مدل سه بعدی آن استخراج شده و دستگاه بصورت کاملاً اتوماتیک مته مورد نظر را از یک میلگرد کارباید با استفاده از سنگ‌های مناسب ابزارسازی، تولید می‌نماید. برنامه‌های CAD/CAM مورد استفاده در ماشین‌های سنگ ابزارسازی، قبل از انجام عملیات سنگ‌زنی ابزار، عملیات مورد نظر را شبیه‌سازی^۲ نموده و مسیر حرکت سنگ را روی ابزار بصورت سه بعدی نشان می‌دهد. از این رو هزینه‌های ناشی از اشتباهات برنامه نویسی از بین رفته و کار اصلاح انتخاب مسیر و یا انتخاب سنگ ابزارسازی را بسیار تسهیل می‌نماید. شکل ۲-۱۶ فرآیند شبیه‌سازی ساخت یک مته دو پله را به وسیله نرم‌افزار Tool studio متعلق به شرکت Walter را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۶، نرم افزار شبیه سازی ساخت ابزار Tool studio متعلق به شرکت Walter [۲۸]

^۱ Tool grinder machine

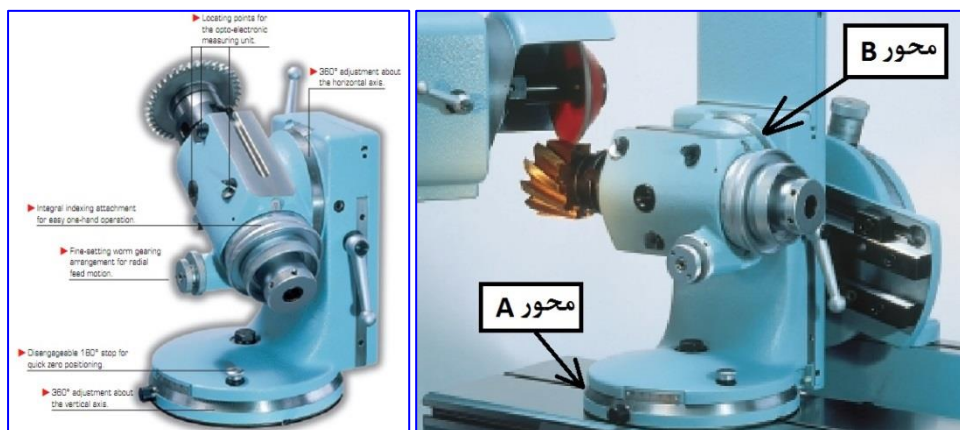
^۲ Simulation

برای ساخت نمونه مته‌های این تحقیق با توجه به عدم در دسترس بودن دستگاه CNC از دستگاه سنگ ابزارسازی پنج محور دستی Deckel S11 استفاده شد. این دستگاه محصول شرکت DMG آلمان بوده و از بهترین دستگاه‌های ابزارسازی پنج محور دستی به شماره می‌رود. این دستگاه متعلق به شرکت "برش ابزار کیا" در شهر صنعتی کاسپین می‌باشد که برای ساخت نمونه‌ها از آن استفاده شد. شکل ۱۷-۲ تصویر این دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷-۲، دستگاه سنگ ابزارسازی Deckel S11 [۲۹]

این دستگاه با وجودی که پنج محور دستی دارد ولی از دقت بسیار زیادی (۰/۰۰۵ میلیمتر) برخوردار است. سیستم دوربین این دستگاه با بزرگنمایی بالا و صفحه مانیتور مدرج امکان مشاهده جزئیات ابزار و اندازه‌های خطی و زاویه‌ای را میسر می‌نماید. محور Z این دستگاه روی اسپیندل و محورهای X و Y روی بستر میز دستگاه تعبیه شده‌اند. این سه محور خطی X-Y-Z بوسیله ورنیه‌های مدرج قابل حرکت می‌باشند. محورهای دورانی A و B این دستگاه در شکل ۱۸-۲ نشان داده شده است. تعبیه این دو محور امکان سنگ‌زنی ابزارهای برشی با هندسه پیچیده را فراهم می‌نماید.

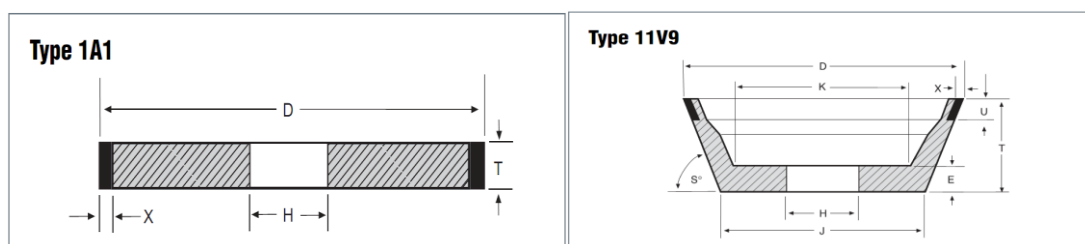


شکل ۲-۱۸، محورهای A و B دستگاه [۲۹]

با توجه به ویژگی‌های اشاره شده دستگاه Deckel S11 و دقت زیاد محورهای آن، این دستگاه برای ساخت نمونه‌ها بسیار مناسب بود و از این رو نمونه مته‌ها با این دستگاه ساخته شدند.

۳-۸-۲ سنگ‌های ابزارسازی

یکی از مهمترین مراحل ساخت مته، انتخاب هندسه، جنس و گرید دانه‌بندی سنگ است. هندسه سنگ باید به گونه‌ای انتخاب شود که موضع مورد نظر مته را سنگ زنی نموده و هیچ برخوردی با قسمت‌های دیگر مته و یا دستگاه نداشته باشد. با توجه به هندسه پیچیده مته و لزوم سنگ زنی مواضع داخلی مته از جمله شیار، حاشیه، سطح آزاد بدنه، لبه برنده اسکنه‌ای و نازک کردن جان مته، اهمیت انتخاب هندسه مناسب سنگ بیشتر مشخص می‌شود. امروزه برای سنگ‌زنی قسمت‌های مختلف ابزارهای برشی سنگ‌های مختلف و با هندسه‌های متنوع موجود می‌باشند. در تحقیق حاضر و برای سنگ‌زنی تمام قسمت‌های مته دو نوع سنگ استوانه‌ای و کاسه‌ای مورد نیاز می‌باشد. شماتیک این دو سنگ با هندسه آنها در شکل ۲-۱۹ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۲-۱۹، شماتیک دو نوع سنگ استوانه‌ای و کاسه‌ای [۳۰]

در استانداردهای بین‌المللی برای شکل هندسی سنگ‌ها کدهای مشخصی شامل حروف و اعداد تعریف شده است. دو نوع سنگ فوق در این کدگذاری با نامهای 1A1 برای سنگ استوانه‌ای و 11V9 برای سنگ کاسه‌ای نامگذاری می‌شوند.

جنس سنگ ابزارسازی برای سنگ‌زنی مته کاربرد از سنگ الماس^۱ می‌باشد. گرید سنگ برای مراحل خشن کاری از دانه‌بندی درشت و در مراحل پرداخت‌کاری از دانه بندی ریز استفاده می‌گردد. در جدول ۲-۵ انواع گریدبندی دانه های سنگ ابزارسازی مطابق استانداردهای اروپا و آمریکا مشاهده می‌شود.

Screen Grit Sizes				
Europe (metric)		Screen Mesh Width in μm	USA (mesh)	
Designation for DIA : D... for CBN: B... (or M... for VIT-CBN)			Designation for DIA : D... for CBN: B... (or M... for VIT-CBN)	
(1)	(2)		(1)	(2)
1181	1182	1180 - 1000	16 / 18	16/20
1001		1000 - 850	18 / 20	
851	852	850 - 710	20 / 25	20/30
711		710 - 600	25 / 30	
601	602	600 - 500	30 / 35	30/40
501		500 - 425	35 / 40	
426	427	425 - 355	40 / 45	40/50
356		355 - 300	45 / 50	
301	-	300 - 250	50 / 60	-
251	252	250 - 212	60 / 70	60/80
213		212 - 180	70 / 80	
181	-	180 - 150	80 / 100	-
151	-	150 - 125	100 / 120	-
126	-	125 - 106	120 / 140	-
107	-	106 - 90	140 / 170	-
91	-	90 - 75	170 / 200	-
76	-	75 - 63	200 / 230	-
64	-	63 - 53	230 / 270	-
54	-	53 - 45	270 / 325	-
46	-	45 - 38	325 / 400	-

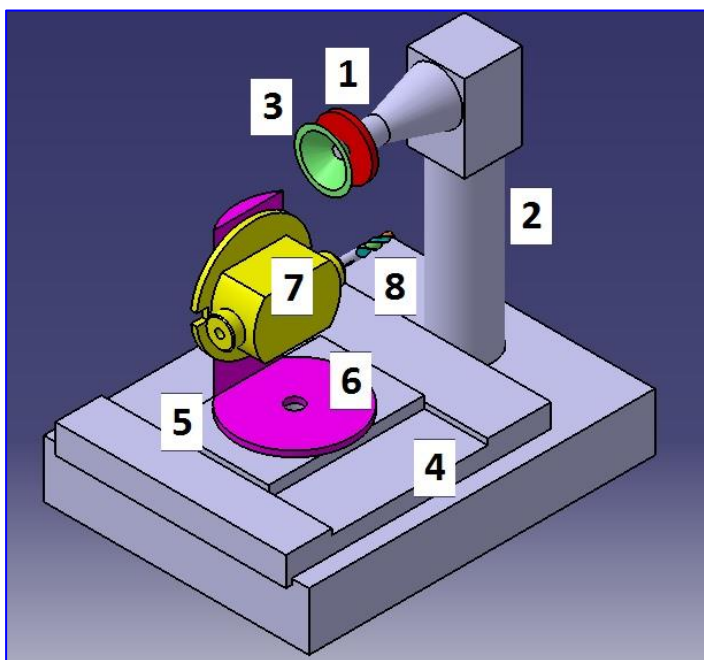
جدول ۲-۵، مش‌بندی اندازه دانه سنگ‌های ابزار سازی [۳۱]

گرید معمول برای سنگ‌زنی پرداخت‌کاری ۱۲۶ می‌باشد. اندازه دانه‌های این گرید همچنانکه در جدول قابل مشاهده است از ۱۰۶ تا ۱۲۵ میکرون است. برای تمام مراحل ساخت مته‌های موضوع این تحقیق از سنگ‌های با دانه‌بندی ۱۲۶ استفاده شد.

¹ Diamond grinding wheel

۹-۲) تهیه مدل سه بعدی سنگ و ماشین سنگ ابزارسازی

همچنانکه قبلاً عنوان شد با توجه به مدل سه بعدی و پیچیده مته، تنظیمات دستگاه به خصوص زمانی که دستگاه دستی باشد کار بسیار مشکلی است. به همین دلیل بهترین، دقیق‌ترین و سریع‌ترین راه، تهیه مدل سه بعدی مته، دستگاه و سنگ است. مدل مته که قبلاً بوسیله نرم افزار Catia تهیه شده بود. در این مرحله نیز مدل سه بعدی شماتیک دستگاه و سنگ‌های ابزارسازی تهیه شد. در شکل ۲-۲۰ مدل شماتیک سه بعدی دستگاه، سنگ‌ها و مته که درون ابزارگیر قرار دارد را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۰، مدل سه بعدی شماتیک دستگاه و سنگ تهیه شده با نرم افزار Catia

قسمت‌های مختلف مدل سه بعدی دستگاه با توجه به شکل ۲-۲۰ به شرح زیر است:

- ۱- اسپیندل دستگاه
- ۲- محور Z دستگاه
- ۳- سنگ‌های ابزار سازی
- ۴- محور X دستگاه
- ۵- محور Y دستگاه
- ۶- محور A دستگاه
- ۷- محور B دستگاه
- ۸- مدل مته

در مدل سه بعدی ترسیم شده تمام قیود محورها و قیود بین ابزار و ابزارگیر تعریف شده‌اند و هر محوری فقط در همان جهت تعریف شده در قیود حرکت می‌کند. به عنوان مثال برای محورهای A و B فقط قیود دورانی تعریف شده‌اند و هیچ گونه حرکت خطی در راستای دیگر محورها ندارند. با تخصیص این قیود هنگام حرکت محورهای مختلف دستگاه در مدل سه بعدی برای سنگ زنی قسمت

مشخصی از مته، هماهنگی حرکت بین همه محورها وجود دارد و عینا مانند دستگاه واقعی می‌توان محورها را جابجا نموده و اندازه هر محور برای سنگ‌زنی هر قسمتی از مته را استخراج نمود.

۲-۱۰) طراحی فرآیند ساخت مته

طراحی فرآیند ساخت یکی از مهمترین مراحل تولید هر قطعه می‌باشد. اگر تمام امکانات سخت افزاری و نرم افزاری برای تولید در بهترین شرایط ممکن باشد ولی فرآیند ساخت از ترتیب و منطق مناسب برخوردار نباشد، قطعه تولید شده کیفیت مطلوب را نخواهد داشت. در فرآیند ساخت باید ترتیب مراحل کاملا مشخص و حساب شده باشد و انجام هر مرحله تاثیری در کیفیت مراحل انجام شده قبلی نداشته باشد. همچنین تجمیع خطاهای تمام مراحل در مرحله نهایی و قطعه نهایی در محدوده تلورانس قابل قبول نقشه باشد. برای ساخت نمونه مته‌های موضوع این تحقیق مراحل و ترتیب سنگ‌زنی قسمت‌های مختلف به صورت زیر طراحی شد که شامل ده مرحله می‌باشد:

۱- سنگ‌زنی پخ $1 \times 45^\circ$ انتهایی دنباله مته

۲- سنگ‌زنی نافی با طول ۱۰ mm و ضخامت ۶ mm

۳- سنگ‌زنی قطر اصلی مته $12/3$ mm به همراه شیب زاویه آزاد به پشت $0/02^\circ$

۴- سنگ‌زنی راس مته با زاویه 135°

۵- سنگ‌زنی شیار مته با زاویه 30°

۶- سنگ‌زنی سطح آزاد بدنه در قسمت قطر $12/3$ mm

۷- سنگ‌زنی زاویه آزاد دوم با زاویه 25°

۸- سنگ‌زنی زاویه آزاد لبه برشی یا زاویه آزاد اول با زاویه 9°

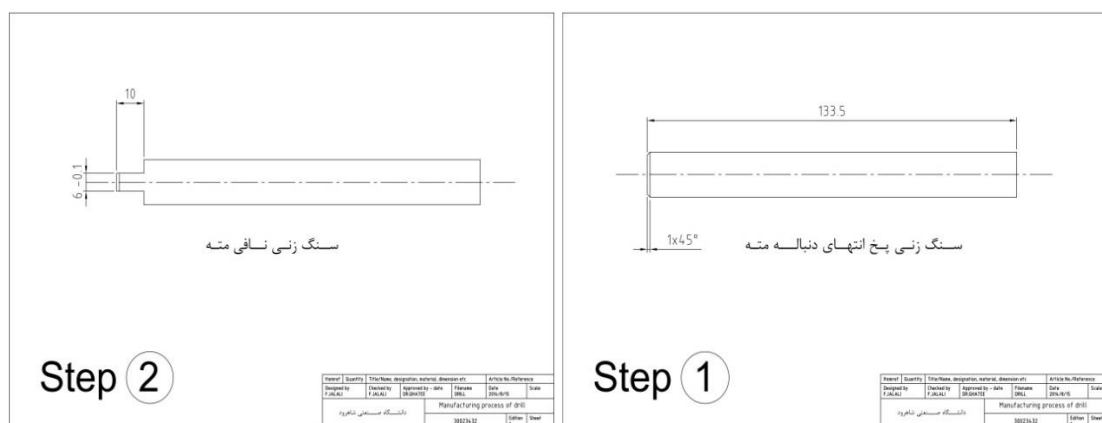
۹- سنگ‌زنی جان مته

۱۰- سنگ‌زنی پخ 45°

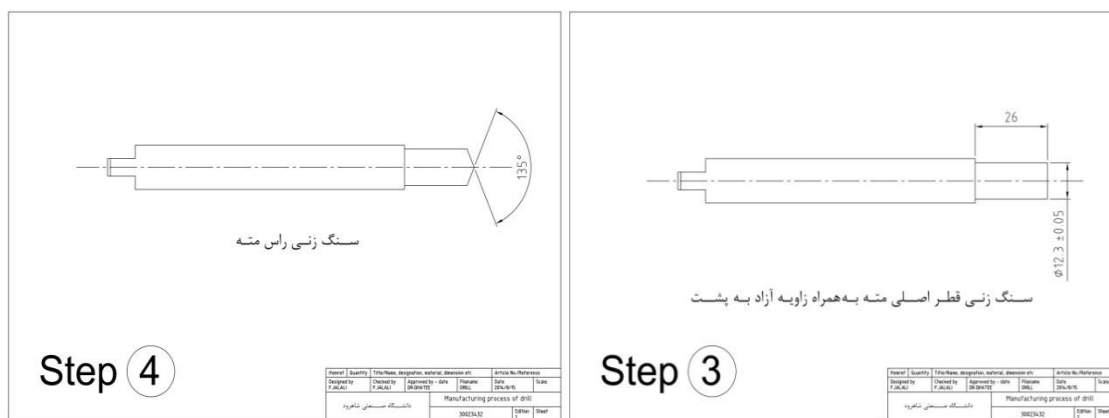
۲-۱۰-۱) تهیه نقشه مراحل ساخت مته

با توجه به ترتیب مراحل فرآیند ساخت مته که در قسمت قبل عنوان شد. برای هر کدام از ده مرحله، نقشه ساخت همان مرحله تهیه شد. در نقشه ساخت هر مرحله، مراحل قبلی که سنگ زنی شده اند نیز آمده است.

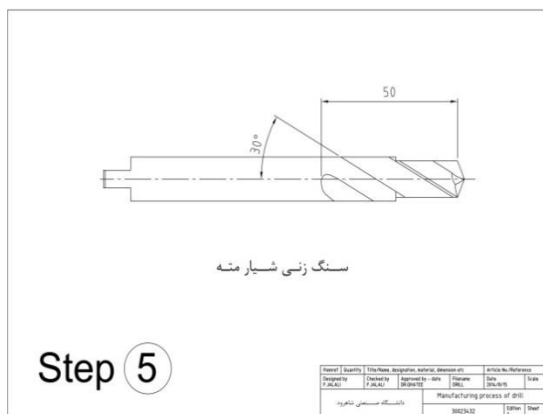
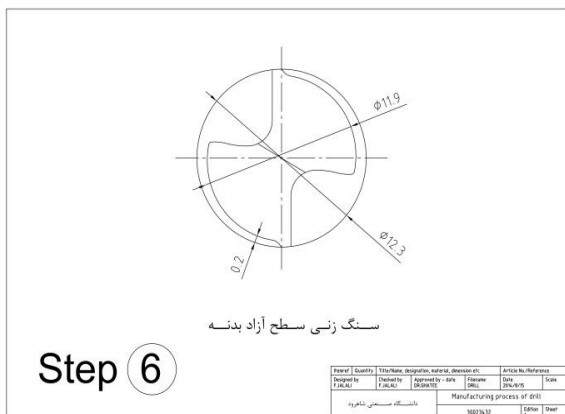
در شکل‌های ۲-۲۱ تا ۲-۲۵ نقشه مختلف ساخت مته نشان داده شده است.



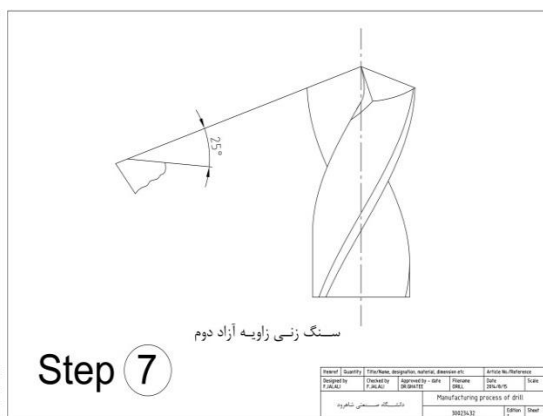
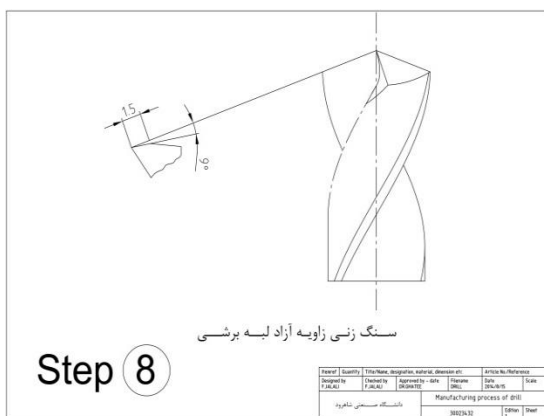
شکل ۲-۲۱، مرحله ۱ سنگ زنی پخ انتهای دنباله و مرحله ۲ سنگ زنی ناف مته



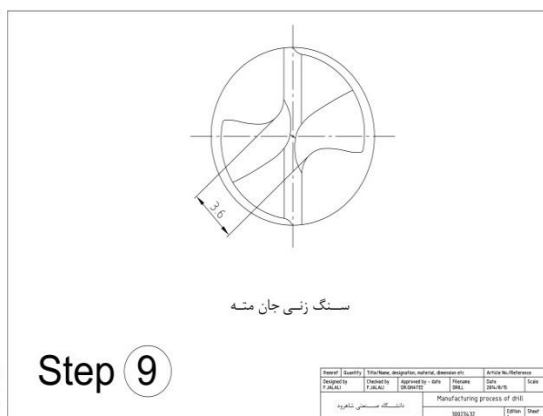
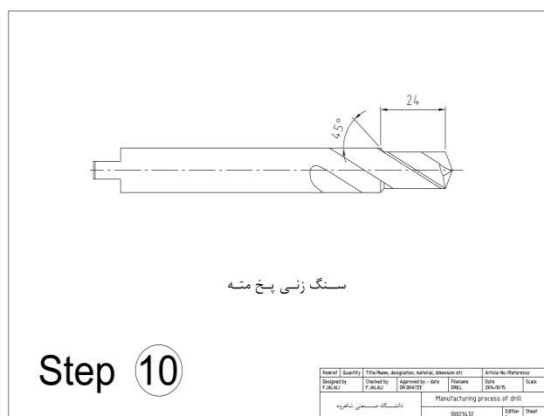
شکل ۲-۲۲، مرحله ۳ سنگ زنی قطر اصلی مته و زاویه آزاد به پشت و مرحله ۴ سنگ زنی راس مته



شکل ۲-۲۳، مرحله ۵ سنگ زنی شیار مته و مرحله ۶ سنگ زنی سطح آزاد بدنه



شکل ۲-۲۴، مرحله ۷ سنگ زنی زاویه آزاد دوم و مرحله ۸ سنگ زنی زاویه آزاد لبه برشی



شکل ۲-۲۵، مرحله ۹ سنگ زنی جان مته و مرحله ۱۰ سنگ زنی پخ مته

با تهیه مدارک و فرآیند سنگ‌زنی کلیه مراحل ساخت مته به صورت مستند تهیه شده و ساخت مته بر اساس فرآیند ساخت مرحله به مرحله اجرا می‌شود.

۲-۱۰-۲) انتخاب سنگ مناسب هر مرحله

برای سنگ‌زنی قسمت‌های مختلف مته موضوع این تحقیق همانطور که عنوان شده، دو نوع سنگ دیسکی 1A1 و کاسه‌ای 11V9 مورد نیاز می‌باشد. تصویر این دو سنگ در شکل ۲-۱۹ نشان داده شده است. این سنگ‌ها در ابعاد مختلف (قطر بیرونی، قطر سوراخ وسط، ضخامت و ...) به صورت استاندارد موجود می‌باشند. انتخاب اندازه سنگ بستگی به محدودیت اسپیندل دستگاه و حداکثر قطر سنگ قابل استفاده دارد. برای دستگاه S11 با توجه به مشخصات دستگاه هر دو سنگ با قطر ۱۰۰ میلیمتر انتخاب شدند. سنگ مناسب از نظر هندسه برای تمام ده مرحله سنگ‌زنی در جدول ۲-۶ مشاهده می‌شود.

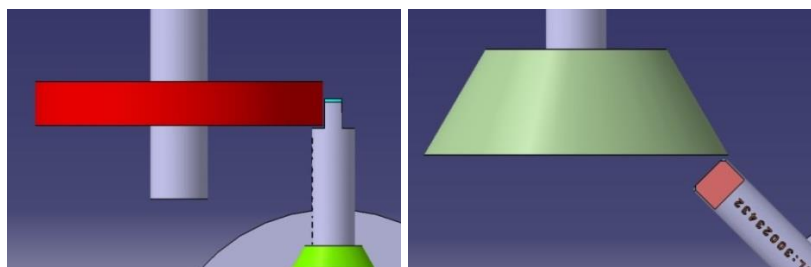
شماره مرحله	عنوان مرحله	سنگ مناسب
مرحله اول	سنگ‌زنی پخ $1 \times 45^\circ$ انتهای دنباله مته	11V9
مرحله دوم	سنگ‌زنی نافی با طول ۱۰ mm و ضخامت ۶ mm	1A1
مرحله سوم	سنگ‌زنی قطر اصلی مته $12/3$ mm به همراه زاویه آزاد به پشت $0/02^\circ$	1A1
مرحله چهارم	سنگ‌زنی راس مته با زاویه 135°	11V9
مرحله پنجم	سنگ‌زنی شیار مته با زاویه 30°	1A1
مرحله ششم	سنگ‌زنی سطح آزاد بدنه در قسمت قطر $12/3$ mm	11V9
مرحله هفتم	سنگ‌زنی زاویه آزاد دوم با زاویه 25°	11V9
مرحله هشتم	سنگ‌زنی زاویه آزاد لبه برشی یا زاویه آزاد اول با زاویه 9°	11V9
مرحله نهم	سنگ‌زنی جان مته	1A1

11V9	سنگ‌زنی پخ ۴۵°	مرحله دهم
------	----------------	-----------

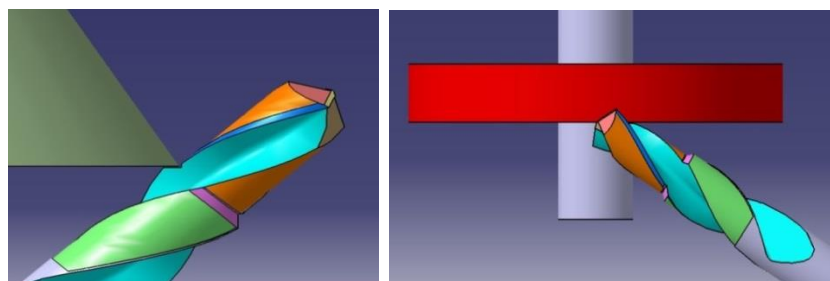
جدول ۲-۶، سنگ‌های مورد استفاده برای سنگ‌زنی هر مرحله از مته

۲-۱۰-۳) استخراج تنظیمات محورهای دستگاه در هر مرحله

همچنانکه قبلاً نیز عنوان شد با توجه به شکل سه بعدی و فضایی مته، و با علم به اینکه اکثر زوایا و مارپیچ‌های مته نسبت به دو محور زاویه دارند، محاسبه تنظیمات محورهای دستگاه کاری بسیار مشکل و همراه با خطای بالاست به همین دلیل مدل مته، دستگاه و سنگ‌های ابزارسازی بصورت سه بعدی با نرم افزار Catia تهیه شد. در این مرحله با حرکت مته و محورهای دستگاه در مدل سه بعدی، زاویه و اندازه حرکت مناسب هر محور برای سنگ‌زنی قسمت‌های مختلف مته به راحتی قابل استخراج می‌باشد. در شکل‌های ۲-۲۶ و ۲-۲۷ مراحل سنگ‌زنی برخی سمت‌های مته به صورت سه بعدی شبیه سازی شده است.



شکل ۲-۲۶، مدلسازی تنظیمات دستگاه برای سنگ‌زنی پخ انتهایی دنباله و سنگ‌زنی نافی



شکل ۲-۲۷، مدلسازی تنظیمات دستگاه برای سنگ‌زنی جان مته و پخ پله دوم

۱۱-۲) روش اجرایی ساخت مته

پس از مدل‌سازی مراحل ساخت مته بوسیله نرم افزار Catia، مراحل ساخت مته به همان ترتیب اجرا شد. در هر مرحله تمام زوایا و اندازه محورها بر اساس اندازه‌های استخراج شده از نرم‌افزار Catia تنظیم شده و سنگ‌زنی انجام شد. در شکل ۲-۲۸ سنگ‌زنی زاویه آزاد لبه برشی مته به تصویر کشیده شده است.



شکل ۲-۲۸، سنگ‌زنی زاویه آزاد لبه برشی مته

تمامی پنج عدد نمونه مته با تنظیمات یکسان دستگاه سنگ‌زنی و ساخته شد. شکل ۲-۲۹، تصاویر پنج نمونه مته ساخته شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۹، تصاویر پنج نمونه مته ساخته شده

۲-۱۲) اندازه‌گیری مته‌های ساخته شده

بعد از ساخت نمونه مته‌ها به منظور اطمینان از صحت اندازه‌های سنگ زده شده، تمام پنج نمونه مته با دستگاه‌های اندازه‌گیری اپتیک Zoller، دستگاه CMM و VMM اندازه‌گیری شد. روش اندازه‌گیری و پارامترهای اندازه‌گیری شده با هر دستگاه مانند روش استخراج نقشه به روش مهندسی معکوس می‌باشد که در بخش ۲-۶ توضیح داده شد. بر اساس گزارش‌های اندازه‌گیری، تمام ابعاد پنج عدد مته با اندازه‌های نقشه کاملا مطابقت داشت.

۲-۱۳) پوشش‌دهی^۱ مته‌ها

با بررسی خصوصیات انواع لایه‌های پوششی اشاره شده در بخش مقدمه این تحقیق و تطابق آن با شرایط ماشینکاری با مته مورد نظر و همچنین امکان سنجی انجام پوشش‌دهی چند لایه، چهار پوشش چند لایه برای پوشش‌دهی چهار عدد مته موضوع این تحقیق انتخاب شد. که در ادامه به شرح هر کدام از این پوشش‌ها پرداخته می‌شود. همچنانکه قبلا اشاره شد نمونه شماره ۱ بدون پوشش است و نمونه‌های پوشش داده شده با شماره ۲، ۳، ۴ و ۵ معرفی می‌شوند.

۲-۱۳-۱) پوشش سه لایه TiN/TiCN/Al₂O₃

پوشش انتخاب شده برای نمونه شماره ۲ موضوع این تحقیق، پوشش سه لایه TiN/TiCN/Al₂O₃ می‌باشد. ترتیب این پوشش از سمت زیر لایه کاربرد تنگستن^۲ به ترتیب زیر است:

(۱) لایه داخلی: تیتانیوم نیتريد (TiN)

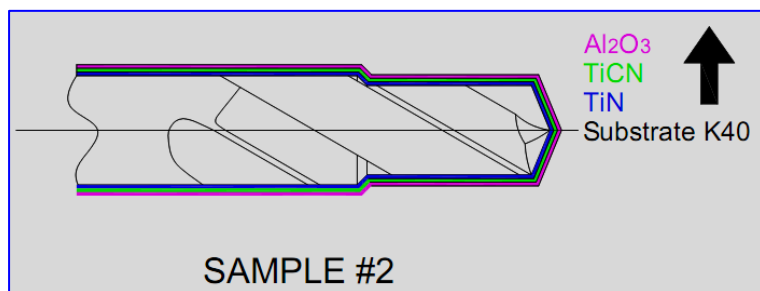
(۲) لایه میانی: تیتانیوم کربن نیتريد (TiCN)

(۳) لایه خارجی: اکسید آلومینیوم (Al₂O₃)

شکل ۲-۳۰ شماتیک مته مورد نظر با زیر لایه از جنس کاربرد تنگستن گرید K40 و ترتیب سه لایه پوششی را نشان می‌دهد.

¹ Coating

² Substrate



شکل ۲-۳۰، نمونه مته شماره ۲ با پوشش سه لایه TiN/TiCN/Al₂O₃

با توجه به خاصیت چسبندگی عالی پوشش تیتانیوم نیتريد به زیر لایه، برای لایه اول این نمونه پوشش TiN انتخاب شد. همچنین سختی لایه TiN که حدود ۲۲۰۰ ویکرز است به سختی کاربرد تنگستن K40 که حدود ۱۳۰۰ ویکرز است، تفاوت کمتری نسبت به سایر لایه‌ها دارد و باعث چقرمگی لایه اول می‌شود. این لایه در مقابل تشکیل گودال فرسایش در سطح براده مقاومت خوبی از خود نشان می‌دهد. [۱]

لایه دوم TiCN انتخاب شده است. تیتانیوم کربن نیتريد دارای خواص چسبندگی عالی به لایه‌های دیگر بوده و مقاومت سایشی خوبی نیز دارد. به همین دلیل به عنوان لایه نزدیک به زیر لایه استفاده می‌شود و روی آن باید یک و یا دو لایه دیگر به منظور ایجاد سپر حرارتی و افزایش مقاومت سایشی نیز قرار گیرد. این لایه با سپرهای حرارتی پایدار مانند اکسید آلومینیوم روی سطح خارجی ترکیب خوبی ایجاد می‌کند. [۱]

لایه سوم اکسید آلومینیوم (Al₂O₃) انتخاب شده است. این لایه اثر سدکنندگی در مقابل واکنش‌های شیمیایی و انتقال گرما در حین عملیات ماشینکاری بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد. در عین حال مقاومت در برابر سایش حفره‌ای خوبی نیز دارد. اکسید آلومینیوم مانند سدی از انتقال حرارت به ابزار جلوگیری نموده و از ایجاد واکنش بین ابزار و قطعه کار جلوگیری می‌نماید و در نتیجه طول عمر ابزار را افزایش می‌دهد. [۱]

۲-۱۳-۲) پوشش چهار لایه TiN/TiCN/TiAlN/TiN

پوشش انتخاب شده برای نمونه شماره ۳ موضوع این تحقیق، پوشش چهار لایه TiN/TiCN/TiAlN/TiN می‌باشد. ترتیب این پوشش از سمت زیر لایه کاربید تنگستن به ترتیب زیر است:

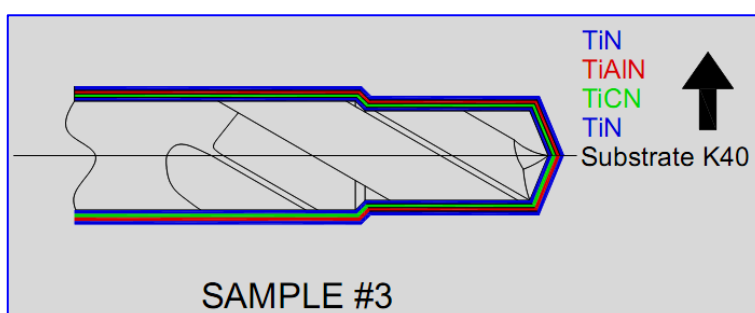
(۱) لایه داخلی: تیتانیوم نیتريد (TiN)

(۲) لایه دوم: تیتانیوم کربن نیتريد (TiCN)

(۳) لایه سوم: تیتانیوم آلومینیوم نیتريد (TiAlN)

(۴) لایه خارجی: تیتانیوم نیتريد (TiN)

شکل ۲-۳۱ شماتیک مته مورد نظر با زیر لایه از جنس کاربید تنگستن گرید K40 و ترتیب چهار لایه پوششی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۱، نمونه مته شماره ۳ با پوشش چهار لایه TiN/TiCN/TiAlN/TiN

مانند نمونه شماره ۲ پوشش لایه داخلی این نمونه نیز بدلیل خواص لایه TiN از جمله چسبندگی عالی پوشش تیتانیوم نیتريد به زیر لایه، مقاومت در برابر تشکیل گودال فرسایش و چقرمگی بیشتر در مقایسه با سایر لایه‌ها از تیتانیوم نیتريد انتخاب شد. لایه دوم نیز از TiCN به دلیل خواصی که قبلاً ذکر شده (چسبندگی بسیار خوب و مقاومت به سایش) انتخاب شد. [۱]

لایه سوم از TiAlN انتخاب شد. در بحث لایه TiCN تاکید شد که روی این لایه باید یک و یا دو لایه دیگر به منظور ایجاد سپر حرارتی و افزایش مقاومت سایشی نیز قرار گیرد. برای این نمونه ابتدا پوشش تیتانیوم آلومینیوم نیتريد و سپس پوشش تیتانیوم نیتريد انتخاب شد. در بحث پوشش TiAlN ویژگیهای این پوشش یکنواخت بودن بدون لبه انباشته، سختی بالا، گرما سختی عالی و قابلیت

چسبندگی خوب به انواع زیر لایه‌ها اشاره شد. همینطور اشاره شده که بدلیل وجود عنصر آلومینیوم در این پوشش، در دماهای کاری بالا لایه نازکی از اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) تشکیل می‌شود. این لایه که بصورت متوالی بهسازی می‌شود سد حرارتی در مقابل نفوذ حرارت به ابزار شده و طول عمر ابزار را افزایش می‌دهد. [۱]

لایه چهارم این نمونه تیتانیوم نیتريد انتخاب شد. از خصوصیات این لایه، چسبندگی خوب و ضریب اصطکاک پایین در مقایسه با سایر پوشش‌ها، و همچنین مقاومت در برابر تشکیل گودال فرسایش می‌باشد. [۱]

۳-۱۳-۲ پوشش سه لایه TiN/TiCN/TiN

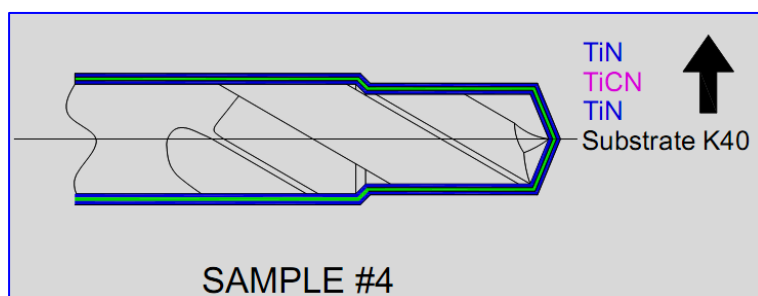
پوشش انتخاب شده برای نمونه شماره ۴ موضوع این تحقیق، پوشش سه لایه TiN/TiCN/TiN می‌باشد. ترتیب این پوشش از سمت زیر لایه کاربرد تنگستن به ترتیب زیر است:

(۱) لایه داخلی: تیتانیوم نیتريد (TiN)

(۲) لایه میانی: تیتانیوم کربن نیتريد (TiCN)

(۳) لایه خارجی: تیتانیوم نیتريد (TiN)

شکل ۳۲-۲ شماتیک مته مورد نظر با زیر لایه از جنس کاربرد تنگستن گرید K40 و ترتیب سه لایه پوششی را نشان می‌دهد.



شکل ۳۲-۲، نمونه مته شماره ۴ با پوشش سه لایه TiN/TiCN/TiN

خواص پوشش‌های TiN و TiCN در بخش‌های قبل توضیح داده شد. پوشش TiN چسبندگی و چقرمگی بهتری را ایجاد نموده و پوشش TiCN مقاومت سایشی ابزار بالا برده و در لایه آخر پوشش TiN باعث ضریب اصطکاک پایین و همچنین مقاومت در برابر گودال فرسایش می‌گردد. [۱]

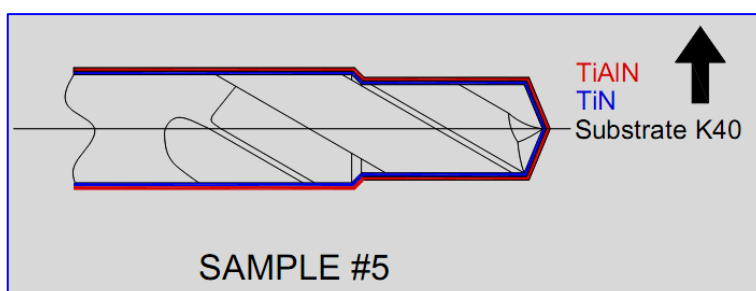
۲-۱۳-۴) پوشش دو لایه TiN/TiAlN

پوشش انتخاب شده برای نمونه شماره ۵ موضوع این تحقیق، پوشش دو لایه TiN/TiAlN می‌باشد. ترتیب این پوشش از سمت زیر لایه کاربرد تنگستن به ترتیب زیر است:

(۱) لایه داخلی: تیتانیوم نیتريد (TiN)

(۲) لایه خارجی: تیتانیوم آلومینیوم نیتريد (TiAlN)

شکل ۲-۳۳ شماتیک مته مورد نظر با زیر لایه از جنس کاربرد تنگستن گرید K40 و ترتیب دو لایه پوششی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۳، نمونه مته شماره ۵ با پوشش دو لایه TiN/TiAlN

مانند نمونه‌های قبلی بدلیل خواص بسیار خوب چسبندگی تیتانیوم نیتريد به زیر لایه کاربرد تنگستن و چقرمگی بهتر، لایه اول از TiN انتخاب شد. [۱]

لایه دوم و آخر این نمونه از TiAlN انتخاب شد. این لایه تواما خصوصیات دولایه اکسید آلومینیوم و تیتانیوم نیتريد را دارا می‌باشد. از خصوصیات لایه TiAlN همچنانکه قبلا عنوان شد می‌توان به مقاومت به سایش بسیار بالاتر آن در مقایسه با TiN اشاره نمود. همینطور این پوشش سختی و گرماسختی بهتری را نیز از خود نشان می‌دهد و در دماهای برشی بالاتر که پوشش TiN کارایی لازم را ندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین بدلیل وجود عنصر آلومینیوم در این پوشش، در دماهای

کاری بالا لایه نازکی از اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) تشکیل می‌شود این لایه که بصورت متوالی بهسازی می‌شود سد حرارتی در مقابل نفوذ حرارت به ابزار شده و طول عمر ابزار را افزایش می‌دهد.

[۱]

۱۴-۲) روش اجرایی پوشش‌دهی نمونه‌ها

برای پوشش‌دهی نمونه مته‌ها از امکانات شرکت الماسه‌ساز استفاده گردید. این شرکت در زمینه تولید و پوشش‌دهی انواع الماسه‌های برشی کاربرد تنگستن فعالیت دارد. الماسه‌ساز فعالیت خود را از سال ۱۳۷۰ و تحت لیسانس یکی از معتبرترین شرکت‌های ابزارسازی آلمان به نام هرتل^۱ آغاز نمود. تمام تجهیزات تولیدی، کنترل کیفی و آزمایشگاهی این شرکت توسط شرکت هرتل وارد شده و نصب و راه اندازی شده است. این شرکت در حال حاضر تنها شرکت تولیدی الماسه‌های برشی در کشور است. شکل ۲-۳۴ تصاویر تجهیزات پوشش‌دهی CVD این شرکت را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۴، نمایی از تجهیزات پوشش‌دهی به روش CVD شرکت الماسه‌ساز

تجهیزات پوشش‌دهی به روش PVD و CVD در این شرکت وجود دارد، که قابلیت پوشش‌دهی ابزارها با پوشش‌های مختلف را دارد. تجهیزات پوشش‌دهی به روش CVD همزمان با تولید این شرکت در سال ۱۳۷۰ راه‌اندازی شد. ولی تجهیزات PVD در چند سال اخیر خرید و راه اندازی شده است. شکل ۲-۳۵ نمایی از راکتور PVD موجود در شرکت الماسه‌ساز را نشان می‌دهد.

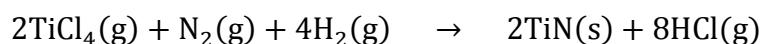
¹ Hertel



شکل ۲-۳۵، نمایی از تجهیزات پوشش‌دهی به روش PVD شرکت الماسه‌ساز

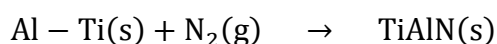
در پوشش‌دهی ابزارها، پارامترهای مهم فرآیند شامل: اتمسفر داخل راکتور، میزان گازهای ورودی به راکتور، ترتیب ورود گازها در پوشش‌های چند لایه، دمای راکتور و زمان پوشش‌دهی نقش بسیار مهمی در کیفیت پوشش دارند. در راکتورهای CVD و PVD شرکت الماسه‌ساز، تمام پارامترهای اشاره شده، به صورت کاملاً دقیق در کنترلر دستگاه تحت کنترل قرار می‌گیرند تا پوشش مورد نظر بصورت دقیق و مطابق با فرآیند مورد نظر انجام شود. فرآیند تولید پوشش‌های مختلف مورد استفاده در این تحقیق شامل پوشش: $TiN-TiAlN-TiCN-Al_2O_3$ به طور خلاصه در زیر بیان شده است.

تولید پوشش TiN : برای تولید این نوع پوشش طلایی رنگ بخار تتراکلرید تیتانیوم ($TiCl_4$) به همراه بخار نیتروژن و هیدروژن به داخل راکتور تزریق می‌گردد. این گازها در اثر دما و فشار اعمال شده در راکتور طی واکنش شیمیایی زیر تیتانیوم نیتريد تولید می‌گردد:



بخار کلرید هیدروژن به وسیله پمپ‌های خلاء از محفظه راکتور خارج شده و تیتانیوم نیتريد جامد روی قطعات مورد نظر پوشش‌دهی می‌شود. پوشش TiN به هر دو روش CVD و PVD انجام می‌شود.

تولید پوشش تیتانیوم آلومینیوم نیتريد $TiAlN$: برای تولید این پوشش آلیاژ $Ti-Al$ در اثر حرارت و خلا محیط تصعید می‌شود. بخار متصاعد شده از این آلیاژ با حمام نیتروژن موجود در راکتور ترکیب شده و لایه ترکیبی $TiAlN$ روی ابزار مورد نظر که دمای کمتری دارد لایه نشانی می‌شود.



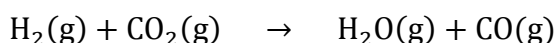
این پوشش با هر دو روش PVD و CVD روی ابزار اعمال می‌شود.

تولید پوشش تیتانیوم کربن نیتريد $TiCN$: برای تهیه این پوشش بخار تتراکلرید تیتانیوم ($TiCl_4$) به همراه بخار نیتروژن و هیدروژن و گاز متان به داخل راکتور تزریق می‌شود. در اثر حرارت و دمای راکتور واکنش شیمیایی به صورت زیر انجام شده و پوشش $TiCN$ روی ابزار مورد نظر اعمال می‌شود:

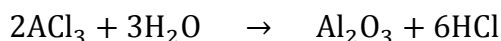


بخار کلرید هیدروژن به وسیله پمپ‌های خلاء از محفظه راکتور خارج شده و تیتانیوم نیتريد جامد روی قطعات مورد نظر پوشش‌دهی می‌شود. این پوشش معمولاً به روش CVD انجام می‌شود.

تولید پوشش اکسید آلومینیوم Al_2O_3 : برای تولید این پوشش کلرید آلومینیوم ($AlCl_3$) به همراه گازهای دی اکسید کربن (CO_2) و هیدروژن (H_2) داخل راکتور وارد می‌شود، در اثر دما و فشار راکتور، و در اثر ترکیب شیمیایی دی اکسید کربن و هیدروژن بخار H_2O تولید می‌شود.



همزمان در اثر حرارت بالای محیط راکتور، کلرید آلومینیوم تصعید شده و با بخار H_2O حاصل شده از واکنش قبلی به صورت زیر واکنش شیمیایی داده و دی اکسید آلومینیوم تولید می‌شود:



گازهای منوکسید کربن (CO) و کلرید هیدروژن توسط پمپ از محیط راکتور خارج شده و پوشش اکسید آلومینیوم حاصل از واکنش‌های فوق روی ابزار مورد نظر اعمال می‌شود. این پوشش عموماً به صورت CVD انجام می‌شود.

پوشش‌های فوق به ترتیبی که برای چهار نمونه مته تعریف شده است روی مته‌های مورد نظر اعمال گردید. به طور خلاصه شرایط اعمال چهار نوع پوشش و ضخامت هر کدام در جدول ۲-۶ ذکر شده است. در این جدول، متغیرهای پوشش‌دهی چهار نوع پوشش انتخاب شده موضوع این تحقیق مقایسه شده‌اند. همچنانکه مشاهده می‌شود در پوشش‌دهی به روش CVD دما $900^\circ C$ تا $1000^\circ C$ درجه و در پوشش PVD دما $500^\circ C$ درجه است. زمان پوشش‌دهی هر چه بیشتر باشد ضخامت لایه پوشش داده شده نیز ضخیم‌تر می‌شود

شماره نمونه	روش پوشش دهی	نوع پوشش	شاخص پوشش	رنگ پوشش	دمای پوشش - دهی (°C)	زمان (h)	ضخامت پوشش (μm)
دو	CVD	TiN/TiCN/Al ₂ O ₃	P	مشکی	۱۰۰۰	۱۰	۱۰
سه	CVD	TiN/TiCN/TiAlN/TiN	M	طلایی تیره	۱۰۰۰	۷	۸
چهار	CVD	TiN/TiCN/TiN	D	طلایی روشن	۹۰۰	۱/۵	۴
پنج	PVD	TiN/TiAlN	V	بنفش تیره	۵۰۰	۲	۴

جدول ۲-۷، فرآیند اعمال پوشش‌های مختلف روی چهار نوع مته نمونه

. برای سهولت بیشتر در ترسیم نمودارها در فصل بعد، هر پوشش با یک علامت (شاخص پوشش) نامگذاری شده است که در جدول ۲-۷ نشان داده شده است.

نوع پوشش	شاخص پوشش
TiN/TiCN/Al ₂ O ₃	P
TiN/TiCN/TiAlN/TiN	M
TiN/TiCN/TiN	D
TiN/TiAlN	V
مته بدون پوشش	U

جدول ۲-۸، نامگذاری پوشش‌ها با علامت مشخص

در ادامه مراحل آزمایش، نمونه‌های پوشش‌داده شده با چهار نوع پوشش ذکر شده در فوق در خط ماشینکاری کالیپر ترمز سمند تست شده و نتایج میزان سایش مته، تراس سوراخکاری و صافی سطح سوراخ، اندازه‌گیری خواهد شد.

۱۵-۲) روش اجرایی آزمون و اندازه‌گیری

هم چنانکه قبلا ذکر شد به منظور سهولت در تشریح نام مته‌ها در این تحقیق و سهولت ترسیم نمودارها، برای این مته‌ها نامهای اختصاری P، M، D، V و U انتخاب شد. این مته‌ها در شرایط کاملا یکسان از نظر دستگاه، فیکسچر، مایع خنک کننده، سرعت‌های برشی و پیشروی و ... مورد آزمایش قرار گرفتند. زیرا هر گونه تغییرات در متغیرهای اشاره شده فوق، به خصوص تغییر در سرعت برشی و پیشروی و فشار و دبی مایع خنک کننده، تاثیر مستقیمی روی سایش ابزار و در نتیجه متغیرهای اندازه‌گیری خواهد داشت.

برای اندازه‌گیری هر یک از متغیرهای موضوع این تحقیق (میزان سایش ابزار، صافی سطح سوراخ و تلورانس سوراخکاری)، تمام قطعات به مدت ۲ ساعت در اتاق اندازه‌گیری با دمای 20°C نگهداری شده تا کاملا هم دمای اتاق شده و سپس اندازه‌گیری روی آنها انجام پذیرفت، تا اثرات دما روی نتایج اندازه‌گیری حذف گردد. همچنین با توجه به اینکه فرآیند سوراخکاری و اندازه‌گیری با دستگاه‌های اتوماتیک انجام شده است خطای اپراتور تولید و اپراتور اندازه‌گیری نیز حذف شده است.

با توجه به اینکه دستگاه سوراخکاری دارای دو اسپیندل بود همزمان امکان تست دو نوع پوشش وجود داشت. برای این منظور ابتدا مته U (مته بدون پوشش) مورد تست قرار گرفت و مته‌های با پوشش M و D با هم و در انتها نیز مته‌های با پوشش V و P با هم آزمایش شدند. بدیهی است طول عمر مته بدون پوشش (U) در مقایسه با سایر مته‌های پوشش‌دار کمتر است. بر همین اساس و به منظور تخمین بازه‌های اندازه‌گیری پارامترها که بایستی بر اساس مته با کمترین طول عمر انتخاب می‌شد، ابتدا مته U روی دستگاه بسته شد. شکل ۲-۳۶ بستن مته بدون پوشش U و شروع آزمایش آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۶، بستن مته بدون پوشش U و شروع آزمایش

برای انتخاب بازه تعداد قطعه جهت اندازه‌گیری پارامترها، مقدار سایش مته بدون پوشش پس از سوراخکاری ۵۰۰ - ۱۰۰۰ - ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ قطعه بررسی شد و مشاهده گردید بازه ۲۰۰۰ قطعه برای اندازه‌گیری سایش مته و بقیه پارامترها مناسب‌تر است زیرا در بازه‌های پایین‌تر میزان سایش مته قابل ملاحظه نبود.

به این ترتیب، مته U و قطعه کالیپر پس از سوراخکاری ۲۰۰۰ قطعه از دستگاه جدا شده و مته برای اندازه‌گیری میزان سایش با دستگاه V.M.M به آزمایشگاه ارسال شد. قطعه شماره ۲۰۰۰ که با مته U سوراخکاری شده بود با برچسب U2000 شماره‌گذاری گردید. شکل ۲-۳۷ قطعه شماره ۲۰۰۰ سوراخ شده با مته بدون پوشش را نشان می‌دهد که با برچسب مناسب مشخص شده است.



شکل ۲-۳۷، سوراخ ایجاد شده با مته بدون پوشش U بعد از ماشینکاری ۲۰۰۰ قطعه

به منظور سهولت و همچنین افزایش دقت اندازه‌گیری صافی سطح سوراخ و قطر سوراخ، تمام قطعات کالیپر که در بازه‌های مشخص بوسیله مته‌های مختلف سوراخکاری شده بود، در اتاق CMM نگهداری و پس از اتمام تست تمام مته‌ها، تمام این قطعات با هم و در یک روز اندازه‌گیری شد.

پس از اندازه‌گیری میزان سایش مته U، مجدداً این مته روی دستگاه بسته شد و مجدداً پس از ماشینکاری ۲۰۰۰ قطعه کالیپر دیگر، دوباره مته و قطعه شماره ۴۰۰۰ از دستگاه باز شد. مته برای اندازه‌گیری میزان سایش با دستگاه VMM به آزمایشگاه ارسال و قطعه شماره ۴۰۰۰ با برچسب U4000 برای اندازه‌گیری صافی سطح و قطر سوراخ در اتاق CMM تا زمان اتمام تست‌ها نگهداری شد. این فرآیند به همین ترتیب برای ۶۰۰۰ - ۸۰۰۰ - ۱۰۰۰۰ - ۱۲۰۰۰ - ۱۴۰۰۰ و ۱۶۰۰۰۰ قطعه تکرار شد. شکل ۲-۳۸ قطعات کالیپر سوراخکاری شده با مته بدون پوشش U را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۸، قطعات سوراخکاری شده با مته U

سپس مته‌های با پوشش M و D روی دستگاه بسته شد و فرآیند تست این دو نمونه نیز عیناً مانند نمونه U انجام شد. با توجه به اینکه دو مته با هم تست می‌شدند هنگام برچسب زنی قطعه کالیپر برای هر سوراخ برچسب مته متناظر آن زده می‌شد، تا هنگام اندازه‌گیری قطر و صافی سطح سوراخها، سوراخ زده با همان مته قابل ردیابی باشد. شکل ۲-۳۹ بستن مته‌های M و D را روی دستگاه و سپس اندازه‌گیری قطر و صافی سطح سوراخها را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۹، بستن مته‌های با پوشش M و D و اندازه‌گیری قطر و صافی سطح سوراخها

تمام قطعات سوراخکاری شده با برچسب مناسب نگهداری شده و در انتها قطر سوراخ و صافی سطح سوراخ آنها اندازه‌گیری شد. در انتها نیز نمونه مته‌های با پوشش P و V مورد آزمایش قرار گرفت و فرآیند تست و اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر عینا تکرار شد.

پس از اتمام مراحل آزمایش مته‌ها و اندازه‌گیری متغیرها، به منظور کنترل جنس، ضخامت و همچنین بررسی مکانیزم سایش، مته‌ها به منظور انجام آزمایش‌های SEM^۱ به مرکز متالورژی رازی ارسال شدند. تصویر دستگاه SEM مرکز تحقیقات متالورژی رازی در شکل ۲-۴۰ مشاهده می‌گردد.



شکل ۲-۴۰، دستگاه اندازه‌گیری SEM مرکز پژوهش رازی

برای اندازه‌گیری نوع پوشش مته و ضخامت پوشش، قسمتی از دنباله چهار نمونه مته پوشش داده شده بریده شد و سپس سنگ‌زنی و پولیش روی آنها انجام گرفت. لبه برشی هر پنج نمونه مته نیز برای مشاهده مکانیزم سایش مورد آزمایش SEM قرار گرفت. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در فصل نتایج آمده است.

^۱ Scan Electron Microscope

فصل سوم

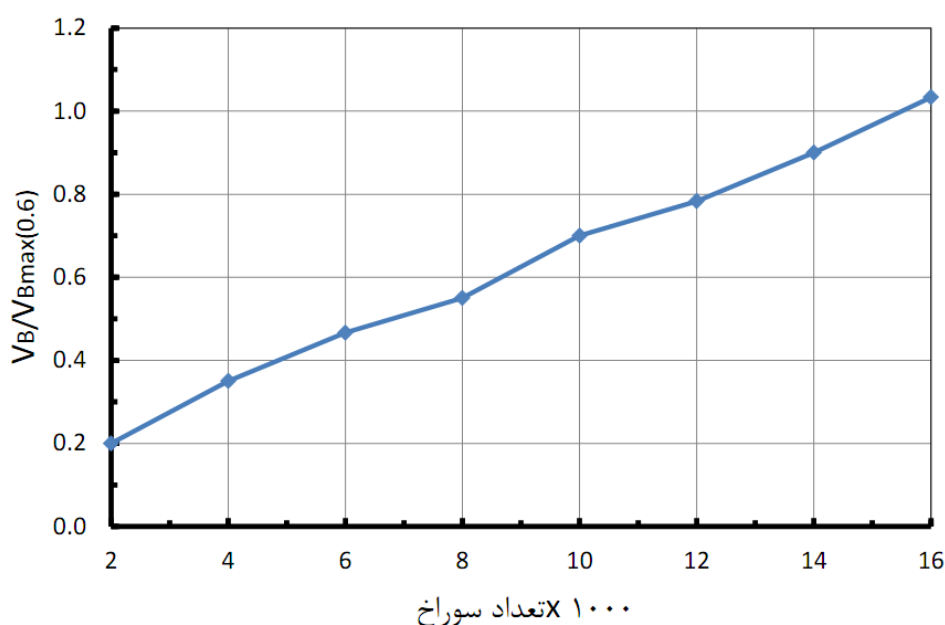
نتایج و بحث

۱-۳) مقدمه

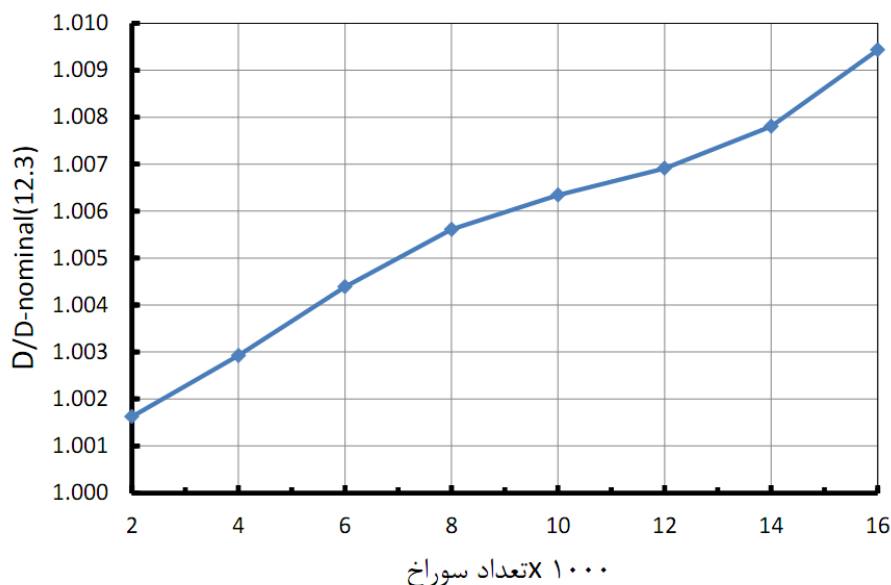
در این فصل، مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرهای سایش سطح آزاد مته (V_B)، تلورانس قطر (D) و صافی سطح سوراخ (R_a)، برای هر کدام از پنج نمونه مته، بعد از هر ۲۰۰۰ قطعه و تا رسیدن مقدار سایش به حد مرزی ۰/۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری این سه متغیر به صورت نمودارهای مناسب ارائه و نتایج مورد بحث و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲-۳) تغییرات V_B ، D و R_a مته بدون پوشش U

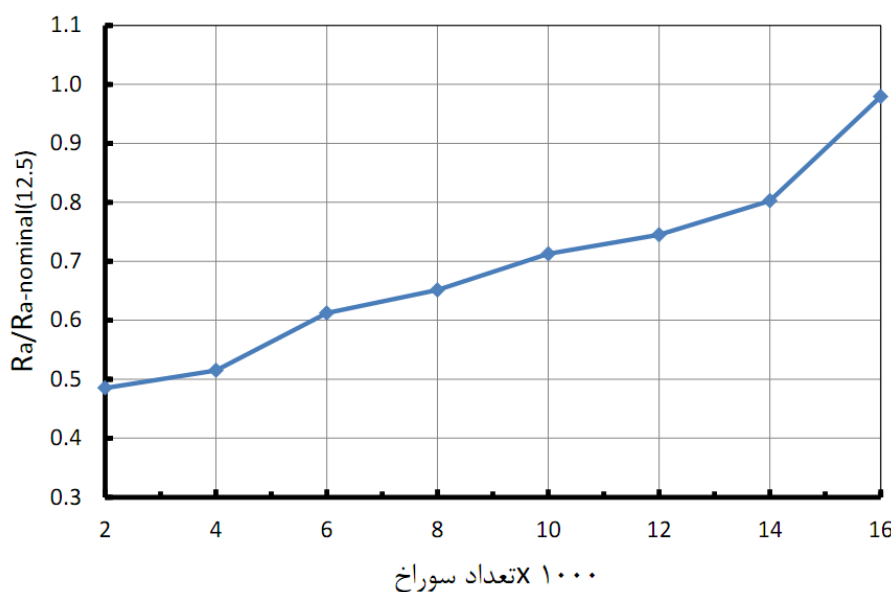
نتایج اندازه‌گیری پارامترهای سایش سطح آزاد V_B ، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه D و تغییرات صافی سطح سوراخ بر اساس تعداد قطعه R_a برای مته بدون پوشش U در نمودارهای ۱-۳، ۲-۳ و ۳-۳ زیر قابل مشاهده می‌باشد. برای مقایسه راحت‌تر نتایج، محورهای عمودی نمودارها به صورت نسبی (بی بعد) در آمده است.



شکل ۱-۳، نتایج اندازه‌گیری سایش مته بدون پوشش U بر حسب تعداد سوراخ

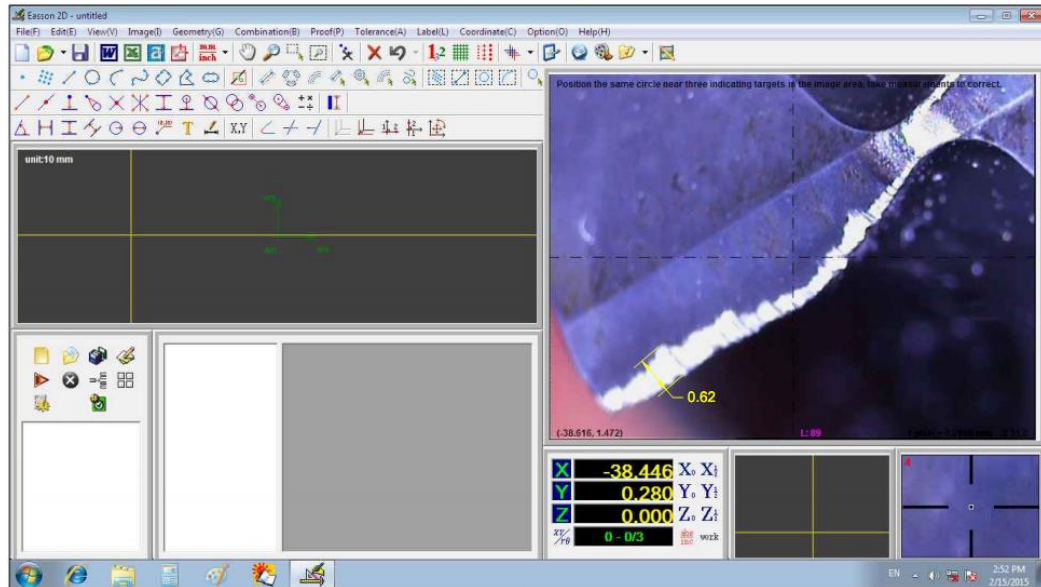


شکل ۲-۳، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته بدون پوشش U



شکل ۳-۳، تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته بدون پوشش U

با توجه به نمودار ۱-۳ مشاهده می‌شود که سایش نسبی مته بدون پوشش U پس از سوراخکاری ۲۰۰۰ کالیپر، ۰/۲ و این میزان پس از ۱۶۰۰۰ قطعه به بیش از ۱ رسیده است و از نظر معیار سایش سطح آزاد به بالاترین میزان رسیده است. شکل ۳-۴ اندازه‌گیری سایش سطح آزاد مته بدون پوشش (U) بعد از ۱۶۰۰۰ قطعه را نشان می‌دهد که با دستگاه VMM اندازه‌گیری شده است.



شکل ۳-۴، اندازه‌گیری سایش سطح آزاد مته بدون پوشش بعد از ۱۶۰۰۰ قطعه

همچنین با توجه به نمودار ۲-۳ ملاحظه می‌شود که قطر سوراخ با افزایش میزان سایش مته افزایش می‌یابد. دلیل این افزایش قطر، افزایش نیروی محوری مته در نتیجه افزایش سایش سطح آزاد و سایش نوک مته می‌باشد [۳۲]. با سایش این دو قسمت مته، نیروهای برشی و نیروی محوری نفوذ مته افزایش یافته و باعث فشار محوری و شعاعی به مته شده که همین عامل سبب انحراف مته از مرکز و در نتیجه افزایش قطر سوراخ می‌گردد. قطر مته بدون پوشش $12/3$ میلیمتر می‌باشد، اما لنگی^۱ شعاعی اسپیندل به میزان حدود ۲۰ میکرون باعث افزایش قطر سوراخ تقریباً به همین میزان شده است. این میزان لنگی با اندازه‌گیری میزان انحراف ساعت اندازه‌گیری در یک دور کامل اسپیندل محاسبه شده است. در شکل ۳-۵ نمونه گزارش اندازه‌گیری قطر سوراخ ایجاد شده با مته بدون پوشش (U) بعد از هر ۲۰۰۰ قطعه و تا قطعه شماره ۸۰۰۰، اندازه‌گیری شده با دستگاه CMM را نشان می‌دهد.

¹ Run out



Quindos Messprotokoll

3D-Anwendungstechnik

Bezeichnung		Hersteller	
Zeichnungs-Nr.		Seriennummer	
Bemerkung		Sachnummer	
Lieferant		Lieferdatum	
Lieferschein		Lieferumfang	
Losnummer		Losgröße	
Prüfplan		Stichprobenumfang	
Fertigungsmaschine		Werkzeug	
Fertigungsdatum		Uhrzeit	
Auftrag		Abteilung	
Prüfer	Quindos	Prüfdatum	25-MAY-2015, 12:35:55
Messgerät	GRE 15 9 7 #431	Messprogramm	Quindos7 - V 7.6.11333-
Benutzername	Quindos	Werkstückname	NO\$NAME

Text	Ausw.	Istmaß	Nennmaß	O.Tol.	U.Tol.	Ist- Soll
U2000	DM	12.3200	12.3000	0.1000	-0.1000	0.0200
U4000	DM	12.3360	12.3000	0.1000	-0.1000	0.0360
U6000	DM	12.3540	12.3000	0.1000	-0.1000	0.0540
U8000	DM	12.3690	12.3000	0.1000	-0.1000	0.0690

شکل ۳-۵، گزارش اندازه‌گیری قطر سوراخ ماشینکاری شده با مته بدون پوشش (U)

در گزارش بالا ستون سوم اندازه واقعی قطر سوراخها، ستون چهارم اندازه اسمی، ستون‌های پنجم و ششم تلورانس سوراخ و ستون هفتم انحراف قطر سوراخ از اندازه اسمی را نشان می‌دهد.

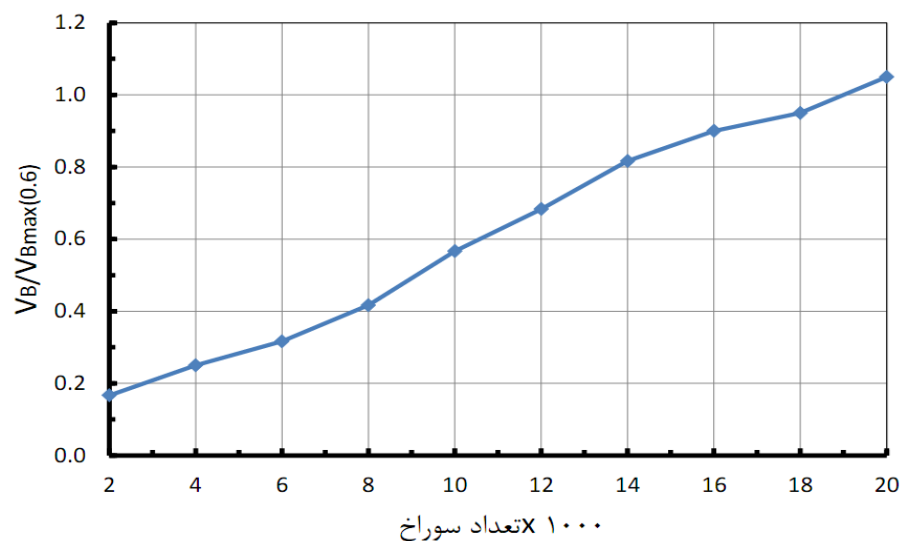
با توجه به نمودار ۳-۳ مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار سایش مته، زبری سطح سوراخ نیز افزایش می‌یابد. دلیل این پدیده، کند شدن لبه برشی و نوک مته می‌باشد که در نتیجه افزایش نیروهای برشی و افزایش لرزش‌های میکرونی را حین فرآیند سوراخکاری سبب شده و باعث افزایش زبری سطح می‌شود [۳۲]. شکل ۳-۶ گزارش اندازه‌گیری صافی سطح سوراخ‌های ماشینکاری شده با مته بدون پوشش (U) را نشان می‌دهد.

Mahr GmbH		M400 Explorer	
Mahr			
Object:	Carrier	Lt:	5.60 mm
Number:	Hole 12.3	Ls:	0.0 μm
Comment:	Jalali	VB:	500 μm
		Vt:	0.5 mm/s
		Points:	11200
		Pick-up:	BFW-250
27.05.2015, 10:14			
U2000	Ra	6.067	μm
U4000	Ra	6.438	μm
U6000	Ra	7.654	μm
U8000	Ra	8.142	μm
U10000	Ra	8.909	μm
U12000	Ra	9.313	μm
U14000	Ra	10.034	μm
U16000	Ra	12.243	μm

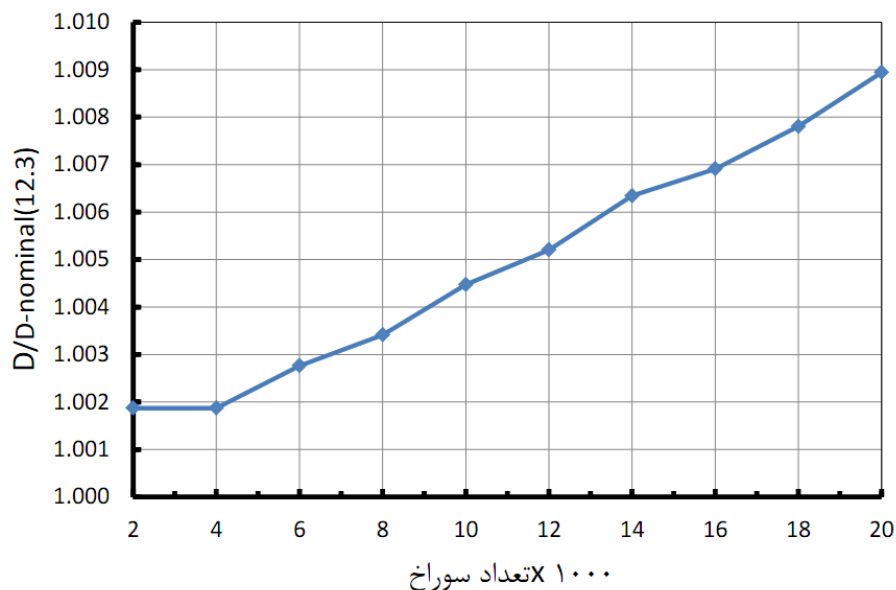
شکل ۳-۶، گزارش اندازه‌گیری صافی سطح سوراخهای ماشینکاری شده با مته بدون پوشش (U)

۳-۳) تغییرات V_B ، D و R_a مته با پوشش V

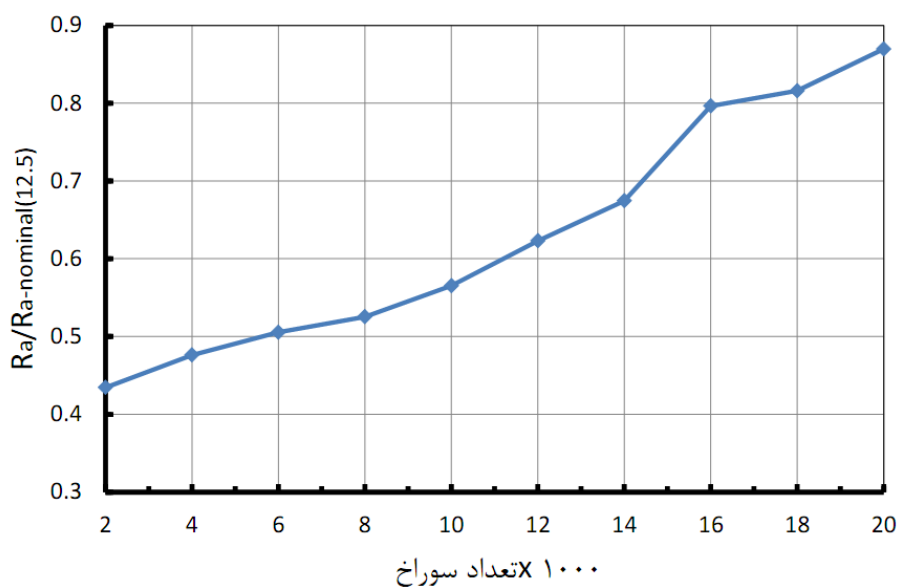
نتایج اندازه‌گیری پارامترهای سایش سطح آزاد V_B ، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه D و تغییرات صافی سطح سوراخ بر اساس تعداد قطعه R_a برای مته با پوشش V در نمودارهای ۷-۳، ۸-۳ و ۹-۳ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۷-۳، نتایج اندازه‌گیری سایش مته با پوشش V بر حسب تعداد سوراخ



شکل ۳-۸، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته با پوشش V



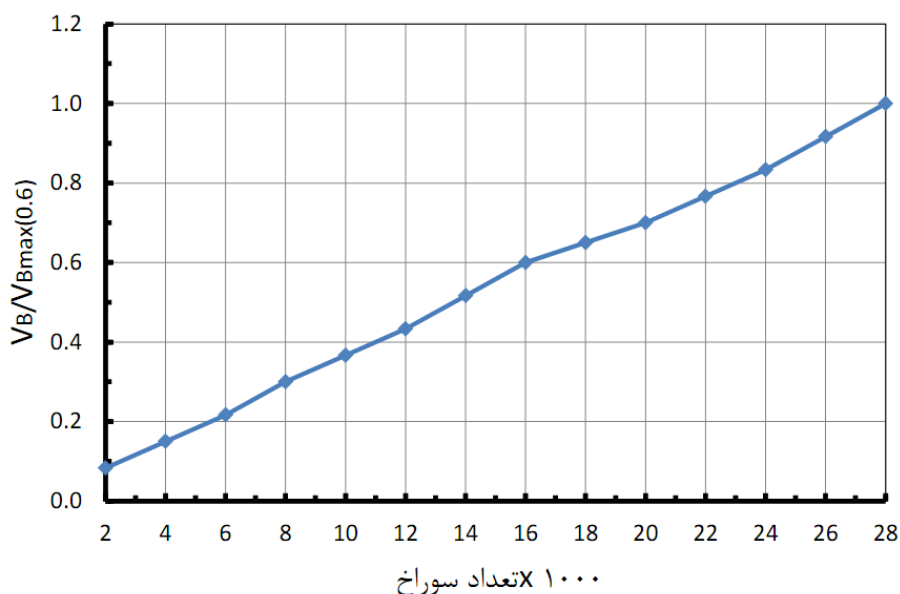
شکل ۳-۹، تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته با پوشش V

نگاهی به نمودارهای بالا نشان می‌دهد که میزان سایش سطح آزاد، قطر سوراخ و زبری سوراخ با افزایش تعداد قطعه سوراخ شده، بالاتر می‌رود که این روند کاملاً مورد انتظار می‌باشد. با توجه به پوشش دو لایه TiN/TiAlN این مته که به روش PVD لایه نشانی شده است و ضخامت بسیار کم این پوشش (حدود ۴ میکرون) انتظار اختلاف طول عمر قابل ملاحظه‌ای با مته بدون پوشش نمی‌رفت. همین پیش‌بینی هم در نمودارهای بالا به اثبات می‌رسد. نمودار ۳-۷ نشان می‌دهد که سایش نسبی

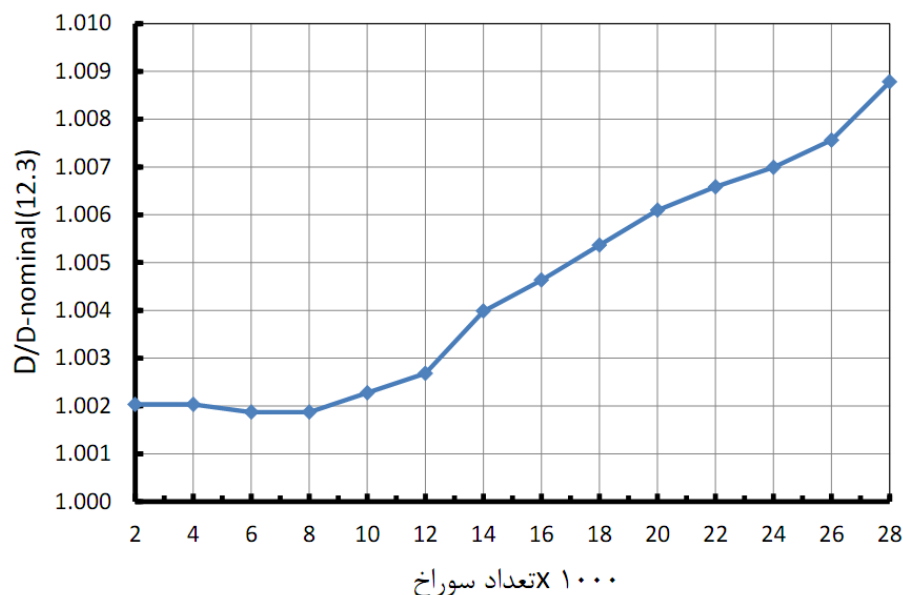
سطح آزاد این مته بعد از ۲۰۰۰۰ قطعه به بیش از ۱ رسیده است. با مقایسه این تعداد قطعه با مته بدون پوشش (۱۶۰۰۰ قطعه)، مشخص می‌شود طول عمر مفید این مته حدود ۲۵ درصد از مته بدون پوشش بالاتر است. همچنین با توجه به اینکه رسوب گذاری لایه PVD به صورت فیزیکی و در دمای حدود 500°C درجه روی ابزار انجام شده، پیوند مولکولی پایداری بین لایه پوششی و زیر لایه کاربرد تنگستن ایجاد نشده و این لایه به سرعت در اثر سایش از بین می‌رود. نکته دیگر در این خصوص این است که در لایه نشانی به روش PVD با توجه به دمای پایین لایه نشانی، تیزی لبه برنده حفظ می‌شود [۵]. و همین عامل باعث شکست‌های مویی لبه برنده به دلیل تیز بودن شده که خود باعث سایش سریعتر مته می‌گردد [۳۲].

۳-۴) تغییرات V_B ، D و R_a مته با پوشش D

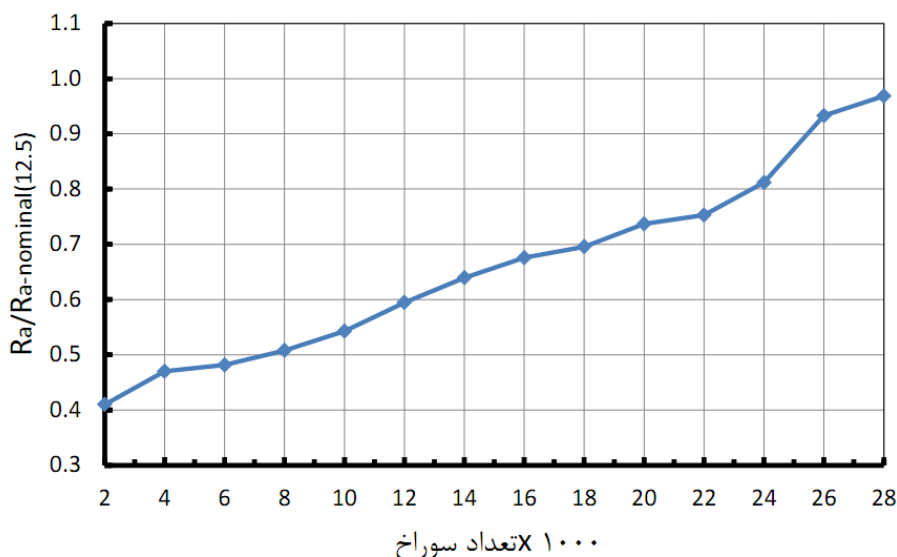
نتایج اندازه‌گیری پارامترهای سایش سطح آزاد V_B ، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه D و تغییرات صافی سطح سوراخ بر اساس تعداد قطعه R_a برای مته با پوشش D در نمودارهای ۳-۱۰، ۳-۱۱ و ۳-۱۲ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳-۱۰، نتایج اندازه‌گیری سایش مته با پوشش D بر حسب تعداد سوراخ



شکل ۳-۱۱، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته با پوشش D



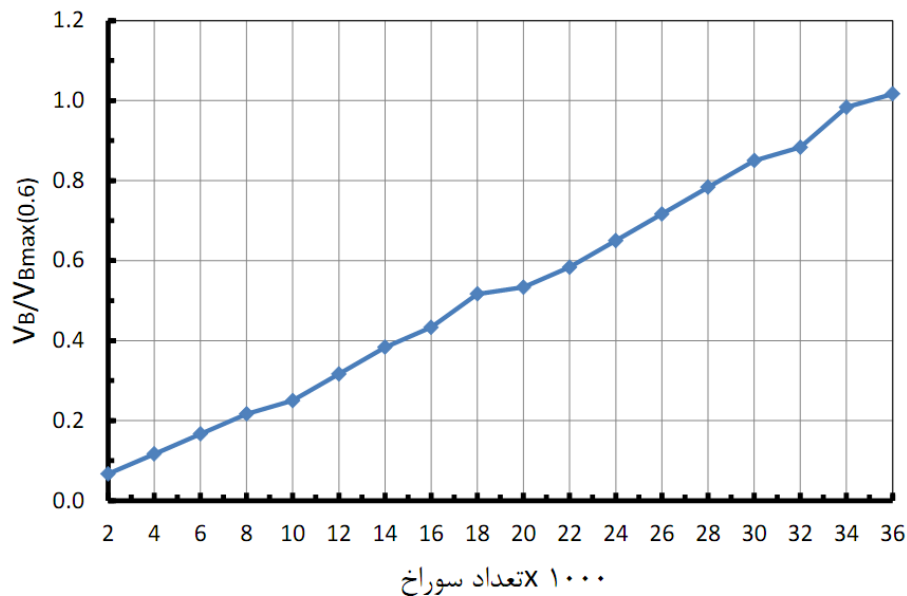
شکل ۳-۱۲، تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته با پوشش D

پوشش این نمونه مته، سه لایه TiN/TiCN/TiN می‌باشد. این پوشش به روش رسوب گذاری شیمیایی CVD و در دمای ۹۰۰°C انجام می‌شود. با توجه به سه لایه بودن این پوشش و روش رسوب گذاری شیمیایی که هم پیوند محکم و پایداری با زیر لایه ایجاد نموده و هم مقاومت به سایش بالاتری را نتیجه می‌دهد [۱]، انتظار نتایج بهتری از این پوشش نسبت به دو نمونه قبلی داشتیم که این پیش بینی نیز محقق شده است. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که میزان سایش نسبی سطح آزاد این مته پس از ماشینکاری ۲۸۰۰۰ قطعه به مرز ۱ رسیده است. قطر سوراخ ایجاد شده و صافی

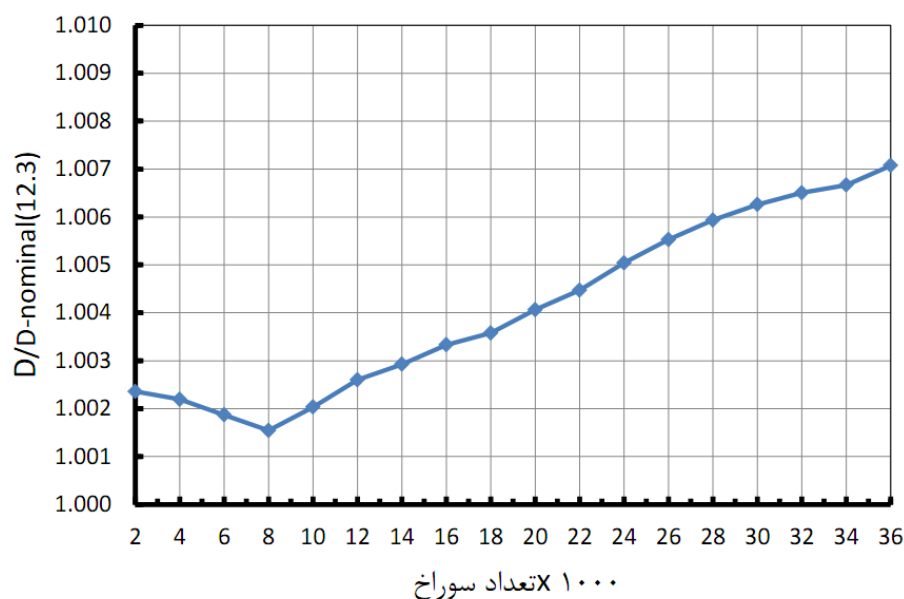
سطح سوراخ نیز تا سوراخکاری ۲۸۰۰۰ قطعه در محدوده تلورانسی تعریف شده قرار دارد. طول عمر این مته با توجه به تعداد قطعه سوراخکاری شده با مته بدون پوشش (۱۶۰۰۰ قطعه)، ۷۵ درصد از مته بدون پوشش بیشتر می‌باشد.

۳-۵) تغییرات V_B ، D و R_a مته با پوشش M

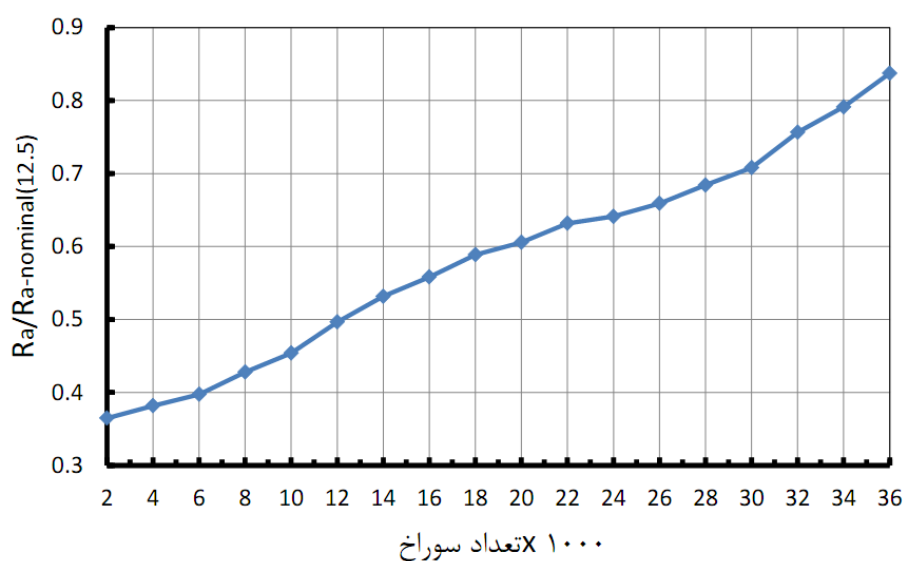
نتایج اندازه‌گیری پارامترهای سایش سطح آزاد V_B ، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه D و تغییرات صافی سطح سوراخ بر اساس تعداد قطعه R_a برای مته با پوشش M در نمودارهای ۳-۱۳، ۳-۱۴ و ۳-۱۵ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳-۱۳، نتایج اندازه‌گیری سایش مته با پوشش M بر حسب تعداد سوراخ



شکل ۳-۱۴، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته با پوشش M



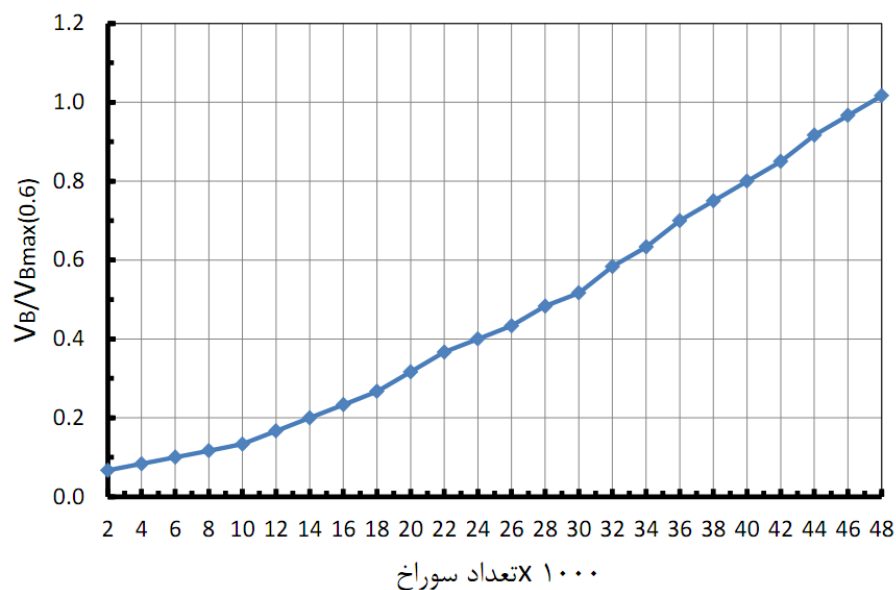
شکل ۳-۱۵، تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته با پوشش M

نتایج اندازه‌گیری متغیرهای سایش ابزار، قطر و صافی سطح سوراخ نشان می‌دهد که پوشش چهار لایه شامل لایه‌های TiN/TiCN/TiAlN/TiN نتایج به مراتب بهتری نسبت به مته بدون پوشش و مته با پوشش‌های D و V دارد. ضخامت این لایه که به روش لایه نشانی رسوب شیمیایی در دمای ۱۰۰۰°C به مدت ۷ ساعت انجام شده، حدود ۸ میکرون می‌باشد. وجود لایه تیتانیوم نیتريد (TiN) در لایه‌های زیرین و فوقانی حداکثر میزان چسبندگی به زیر لایه و حداقل اصطکاک را بین لایه بیرونی و براده تضمین می‌نماید. وجود لایه‌های تیتانیوم کربن نیتريد (TiCN) و تیتانیوم آلومینیوم

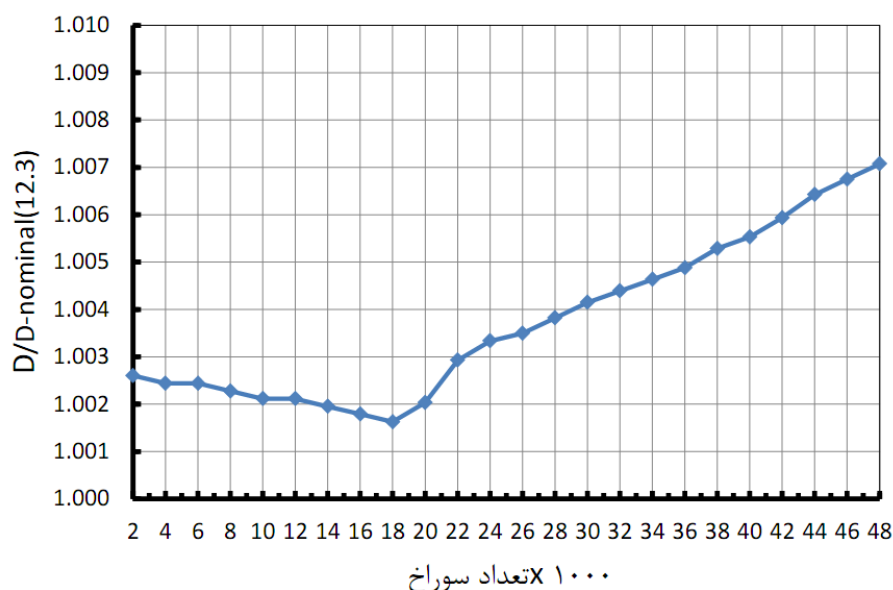
نیتريد (TiAlN) با توجه به مقاومت آنها در برابر گرماسختی و مقاومت سایشی بالای سطح آزاد، باعث افزایش مقاومت به سایش مته می‌شود [۱]. در نتیجه باعث افزایش طول عمر و بهبود کیفیت سطح سوراخ می‌گردد. طول عمر مفید مته با این پوشش ۳۶۰۰۰ قطعه می‌باشد. با توجه به طول عمر ۱۶۰۰۰ قطعه‌ای مته بدون پوشش، افزایش ۲۲۵ درصدی طول عمر را نسبت به مته بدون پوشش نشان می‌دهد.

۳-۶ تغییرات V_B ، D و R_a مته با پوشش P

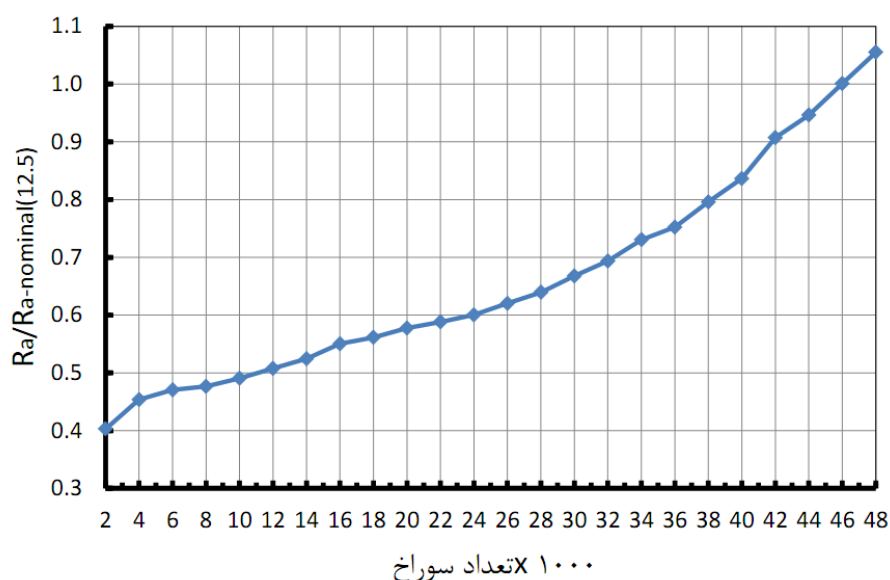
نتایج اندازه‌گیری پارامترهای سایش سطح آزاد V_B ، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه D و تغییرات صافی سطح سوراخ بر اساس تعداد قطعه R_a برای مته با پوشش P در نمودارهای ۳-۱۶، ۳-۱۷ و ۳-۱۸ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳-۱۶، نتایج اندازه‌گیری سایش مته با پوشش P بر حسب تعداد سوراخ



شکل ۳-۱۷، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته با پوشش P



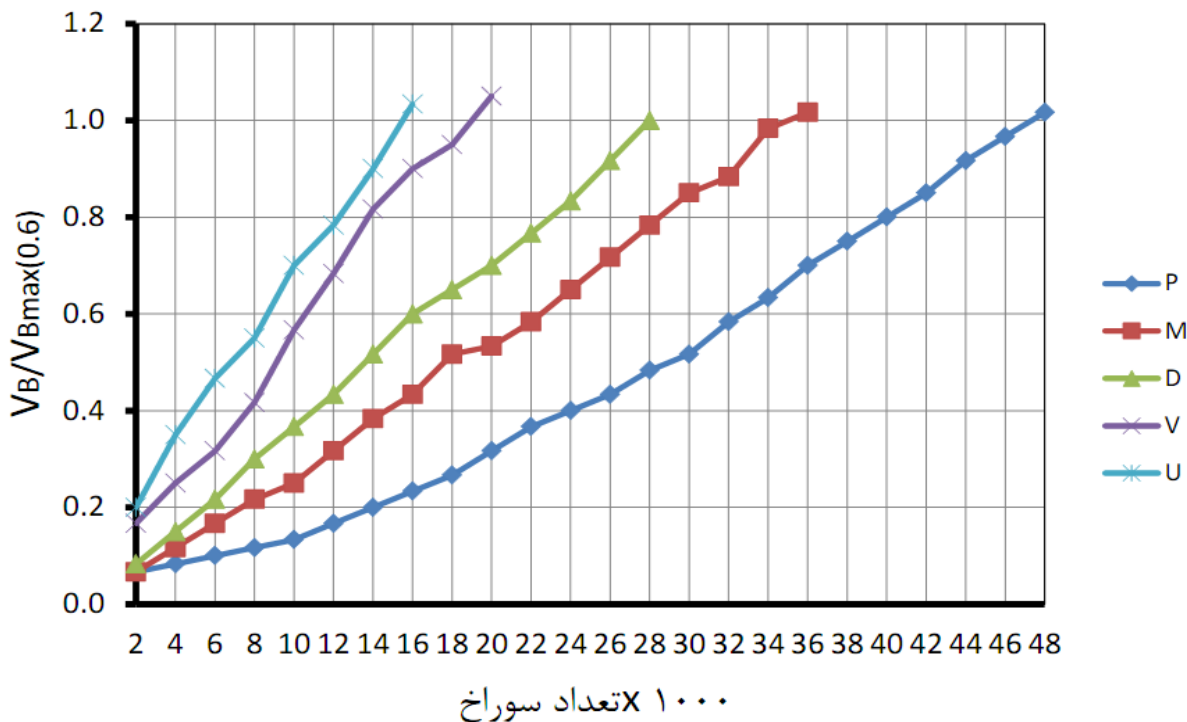
شکل ۳-۱۸، تغییرات صافی سطح سوراخ بر حسب تعداد سوراخ با مته با پوشش P

نتایج اندازه‌گیری‌ها حاکی از آن است که بهترین نتایج اندازه‌گیری متغیرها مربوط به مته با پوشش P بوده است. با توجه به نمودار ۳-۱۶ میزان سایش نسبی سطح آزاد این پوشش بعد از سوراخکاری ۴۸۰۰۰ قطعه به بیش از ۱ رسید. قطر سوراخ و صافی سطح آن نیز پس از سوراخکاری همین تعداد قطعه در محدوده تلورانسی قرار دارد. مقایسه طول عمر مته بدون پوشش (۱۶۰۰۰ قطعه) با طول عمر مفید مته با پوشش P (۴۸۰۰۰ قطعه) نشان می‌دهد پوشش P طول عمری سه برابری نسبت به مته بدون پوشش را نتیجه می‌دهد. پوشش P یک پوشش سه لایه شامل لایه‌های TiN/TiCN/Al₂O₃

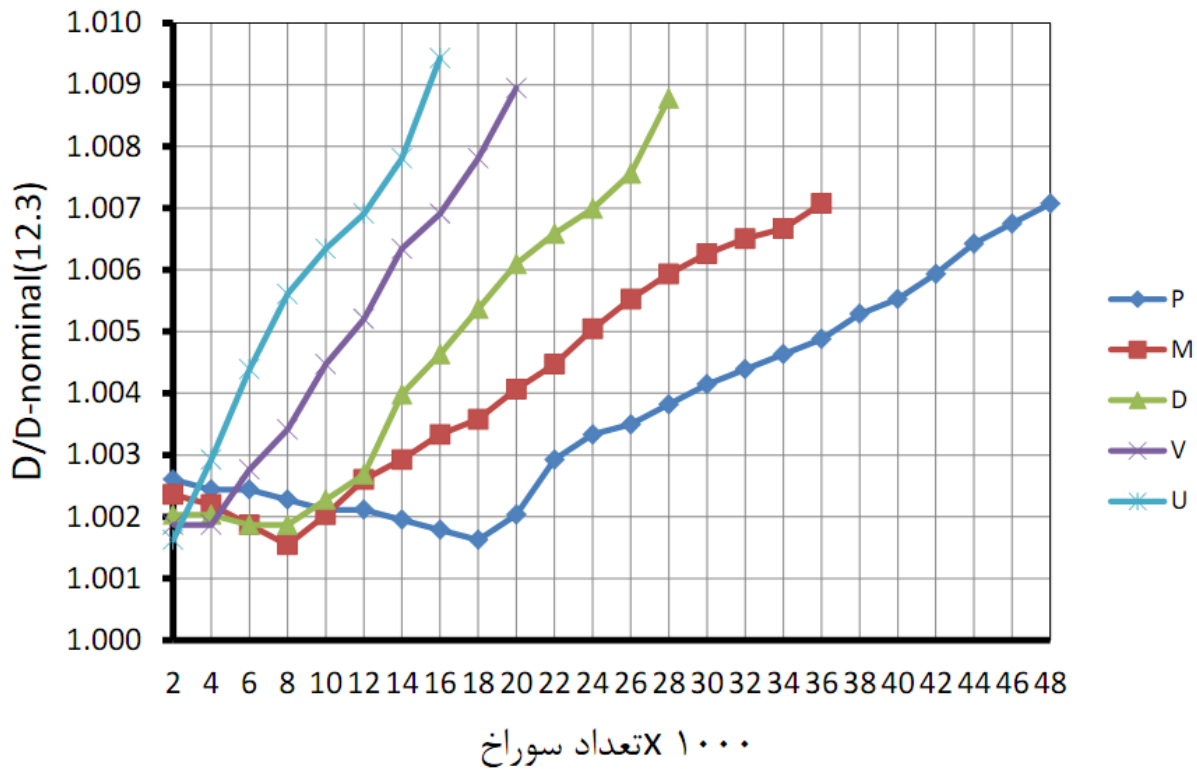
می‌باشد که لایه TiN زیر لایه و لایه Al₂O₃ لایه بیرونی این پوشش می‌باشد. ضخامت لایه P در حدود ۱۰ میکرون و فرآیند پوشش‌دهی به روش CVD و در دمای ۱۰۰۰°C به مدت ۱۰ ساعت انجام شده است. لایه تیتانیوم نیتريد (TiN) با چسبندگی خوب به زیر لایه کاربید تنگستن پایداری و چسبندگی لایه را تضمین می‌کند. دومین لایه این پوشش تیتانیوم کربن نیتريد (TiCN) است که علاوه بر خصوصیات چسبندگی عالی، مقاومت به سایش خوبی در سطح آزاد ابزار ایجاد می‌کند. لایه بیرونی این پوشش نیز اکسید آلومینیوم (Al₂O₃) می‌باشد که دارای سختی بالا و مقاومت به سایش بالایی می‌باشد [۱]. ترکیب این سه پوشش و با ترتیب مناسب، پوشش P را تشکیل می‌دهند که برای کاربرد موضوع این تحقیق بهترین نتایج را رقم زده است.

۳-۷) مقایسه تغییرات V_B ، D و R_a در پنج نمونه مته

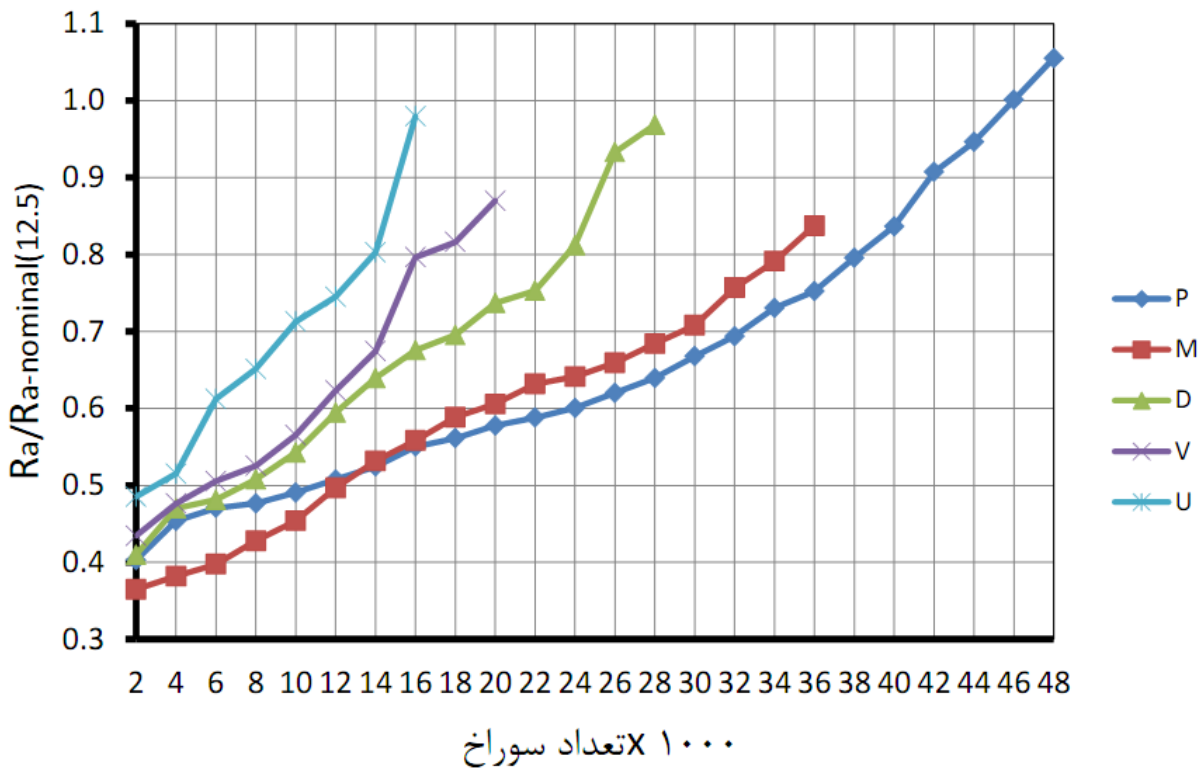
در این بخش نمودارهای ترکیبی سایش سطح آزاد V_B ، تغییرات قطر سوراخ بر حسب تعداد قطعه D و تغییرات صافی سطح سوراخ بر اساس تعداد قطعه R_a برای هر پنج نمونه و پس از سوراخکاری به تناوب ۲۰۰۰ قطعه تا انتهای طول عمر مته‌ها مشاهده می‌گردد.



شکل ۳-۱۹، مقایسه میزان سایش سطح آزاد ۵ نمونه مته بر حسب تعداد سوراخ

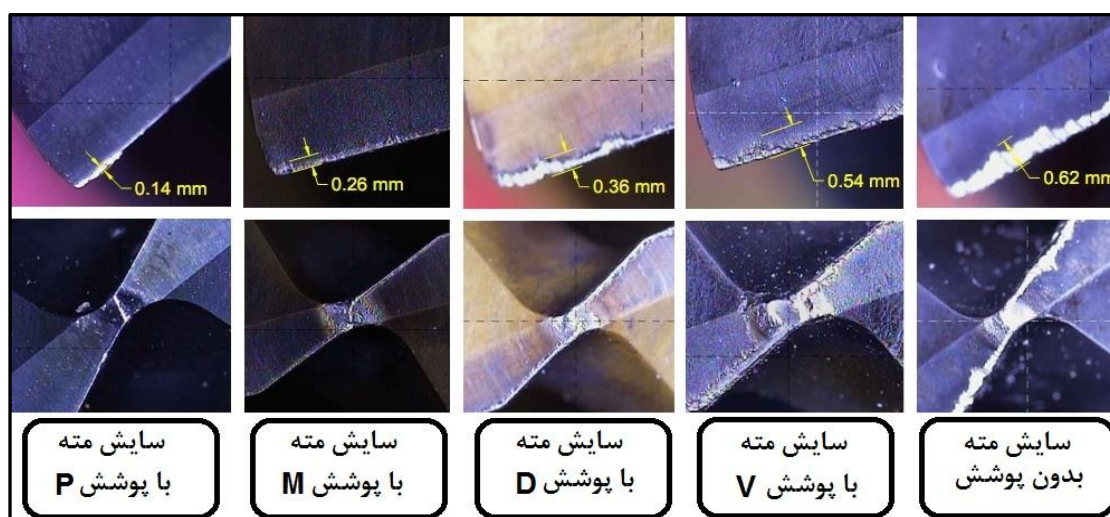


شکل ۳-۲۰، مقایسه تغییرات قطر سوراخ ایجاد شده با ۵ نمونه مته بر حسب تعداد سوراخ



شکل ۳-۲۱، مقایسه تغییرات صافی سطح سوراخ ایجاد شده با ۵ نمونه مته بر حسب تعداد سوراخ

از بررسی نمودارهای بالا و مقایسه نتایج سوراخکاری مته‌های مختلف با اندازه‌گیری سایش، قطر و صافی سطح سوراخ به خوبی پیداست که مته با پوشش P دارای بهترین نتایج و پس از آن مته‌های با پوشش M، D، V و U قرار دارند. در اینجا معیار طول عمر ابزار سایش سطح آزاد 0.6 mm می‌باشد که در استانداردها بهترین معیار برای اندازه‌گیری طول عمر ابزار است. با افزایش سایش سطح آزاد و راس مته، نیروهای محوری و شعاعی ناشی از کند شدن ابزار افزایش یافته و به همین دلیل متغیرهای قطر و صافی سطح سوراخ نیز به محدوده بالای تلورانسی خود نزدیکتر می‌شوند. در شکل ۳-۲۲ میزان سایش سطح آزاد هر پنج نمونه مته بعد از ماشینکاری ۱۶۰۰۰ قطعه نشان داده شده است. در این شکل علاوه بر سایش سطح آزاد، میزان سایش نوک مته نیز نشان داده شده است.



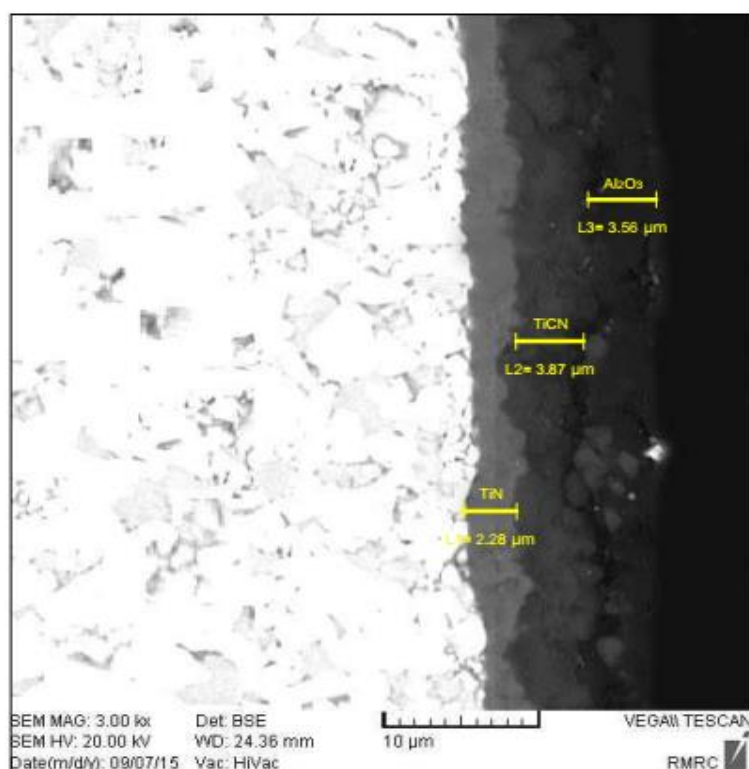
شکل ۳-۲۲، مقایسه اندازه سایش سطح آزاد مته‌ها پس از ماشینکاری ۱۶۰۰۰ قطعه

دلیل طول عمر بالای مته با پوشش P را باید در نوع پوشش، ترتیب لایه‌ها، ضخامت لایه و مدت زمان لایه نشانی جستجو کرد. عملکرد بسیار خوب لایه اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) در مقابل سایش و گرماسختی بالا و همچنین مقاومت به سایش سطح آزاد در لایه تیتانیوم کربن نیتريد ($TiCN$) به همراه خصوصیت چسبندگی خوب این لایه و همچنین وجود زیر لایه تیتانیوم نیتريد (TiN) که دارای خصوصیات چسبندگی خوب به زیر لایه کاربید تنگستن است در کنار هم باعث ایجاد لایه P با ویژگی‌های منحصر به فردی شده است. با توجه به نمودار ۳-۲۰ مشاهده می‌شود که قطر سوراخ ایجاد شده با مته‌های پوشش دار در بازه کوتاه ابتدایی سیر نزولی داشته و پس از آن قطر سوراخ به تدریج رو به افزایش نهاده است. علت این پدیده را می‌توان این چنین توضیح داد که در بازه کوتاه ابتدایی، هنوز

سایش مته پوشش‌دار به حدی نرسیده که باعث افزایش نیروهای شعاعی و محوری ابزار و در نتیجه افزایش قطر سوراخ گردد. در این بازه سایش پوشش مته، پدیده غالب فرآیند است که باعث کاهش قطر سوراخ می‌شود. پس از بازه اولیه، سایش سطح آزاد و راس مته مته رو به فزونی نهاده و باعث افزایش نیروهای محوری و شعاعی شده و در نتیجه موجب افزایش تدریجی قطر سوراخ می‌گردد و این پدیده تا انتهای طول عمر ابزار ادامه دارد.

۸-۳) نتایج SEM پوشش‌ها و مکانیزم سایش مته‌ها

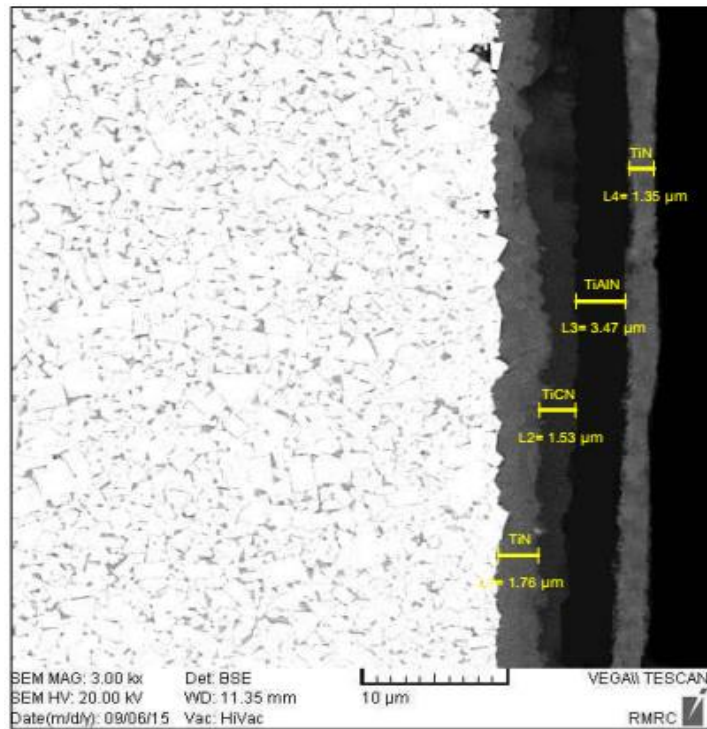
چهار مته مورد استفاده در این تحقیق با چهار پوشش مختلف در مرکز تحقیقات متالورژی رازی مورد آزمایش SEM قرار گرفتند. آزمایش SEM روی پوشش مته‌ها به منظور مشاهده ضخامت پوشش‌ها و همچنین بر روی لبه برنده ساییده شده برای مشاهده مکانیزم سایش انجام گرفت. در شکل ۳-۲۳، ۳-۲۴ و ۳-۲۶ نتایج SEM چهار نوع پوشش مشاهده می‌گردد.



P coating

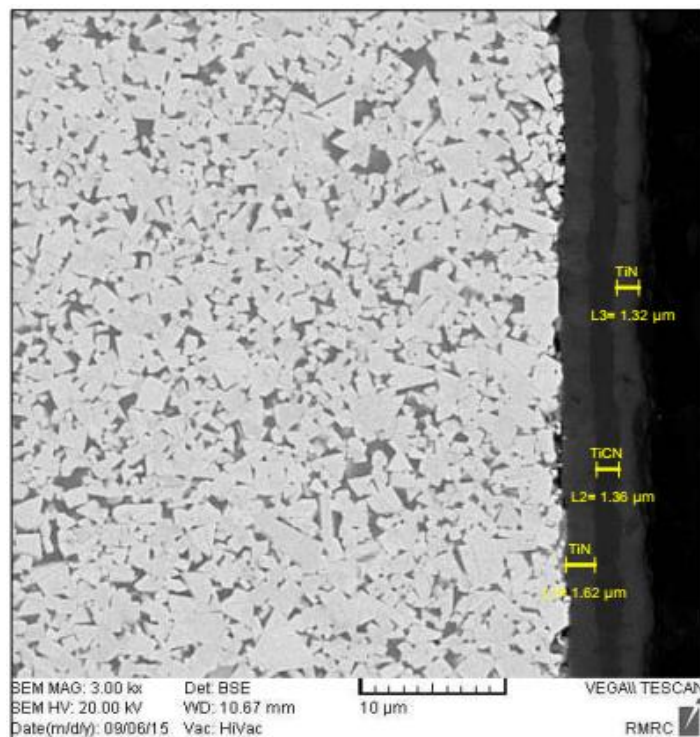
شکل ۳-۲۳، نتیجه SEM پوشش P

¹ Scanning Electron Microscope



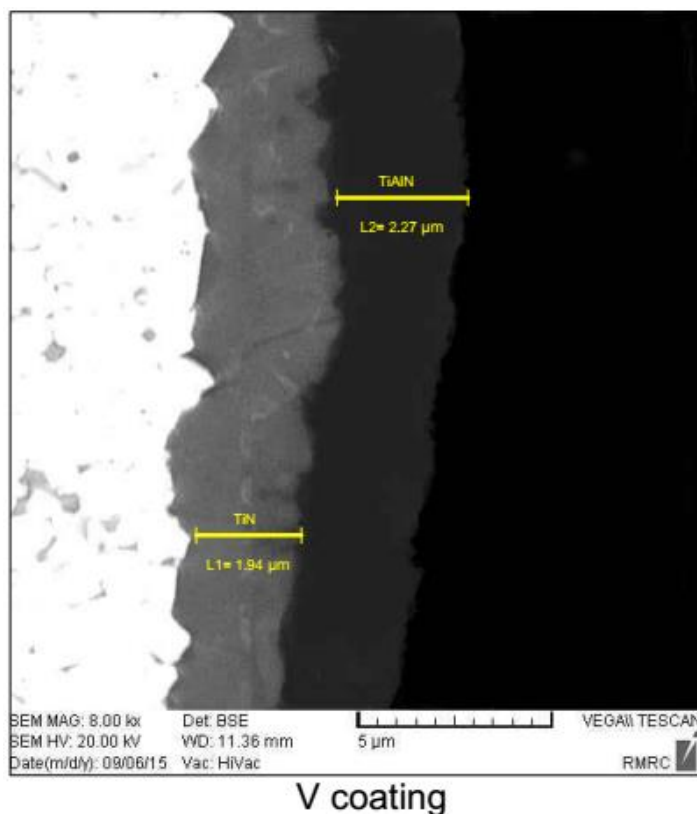
M coating

شکل ۳-۲۴، نتیجه SEM پوشش M



D coating

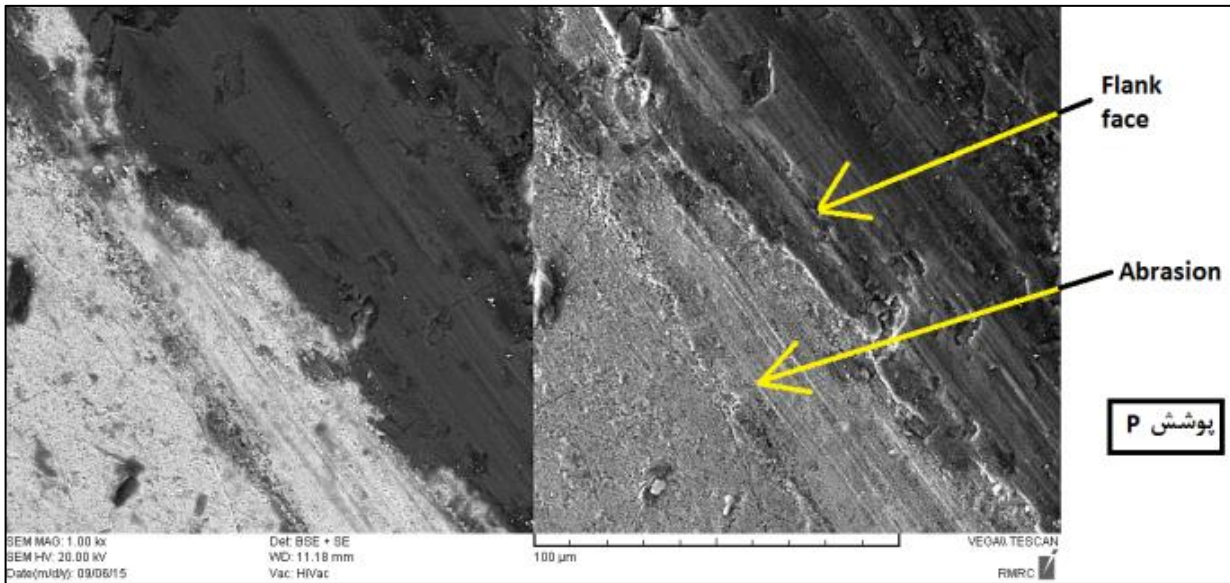
شکل ۳-۲۵، نتیجه SEM پوشش D



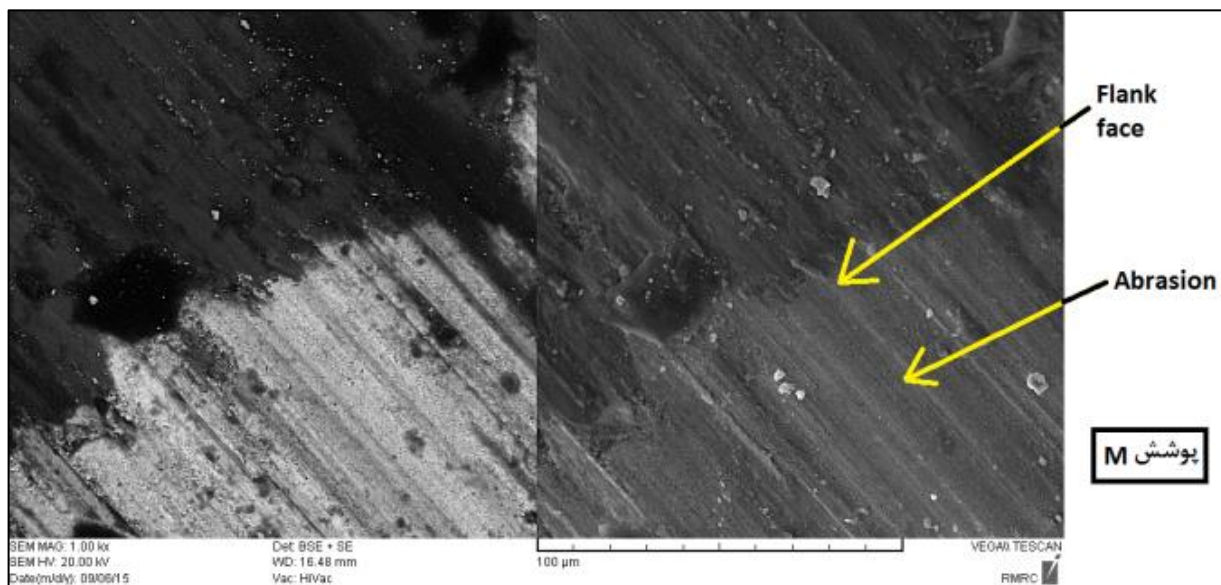
شکل ۳-۲۶، نتیجه SEM پوشش V

با بررسی نتایج SEM چهار نوع پوشش P، M، D و V مشاهده می‌گردد ضخامت پوشش‌ها به ترتیب ۹/۷۱، ۸/۱۱، ۴/۳ و ۴/۲۱ میکرون می‌باشد. با توجه به ضخامت حدود دو برابری پوشش‌های P و M نسبت به پوشش‌های D و V می‌توان نقش ضخامت پوشش در برابر مقاومت به سایش آن را نیز موثر دانست.

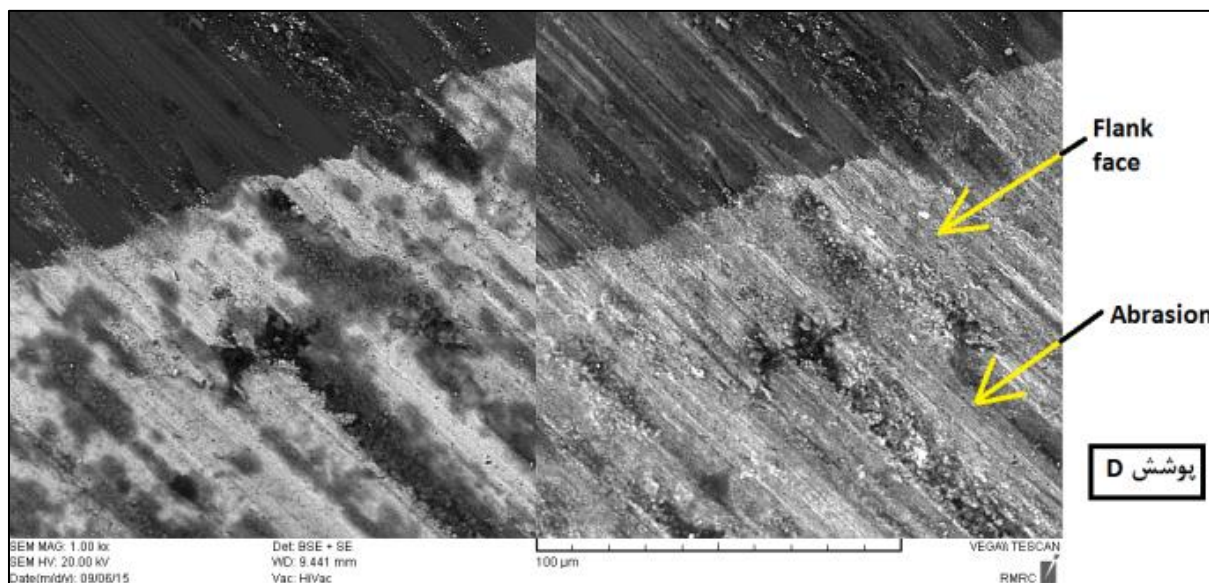
برای بررسی نوع مکانیزم سایش متها نیز تصاویر با روش SEM از مرز سایش متها تهیه شد. این تصاویر که در انتهای طول عمر متها تهیه شده‌اند در شکل‌های ۳-۲۷، ۳-۲۸، ۳-۲۹، ۳-۳۰ و ۳-۳۱ مشاهده می‌شود.



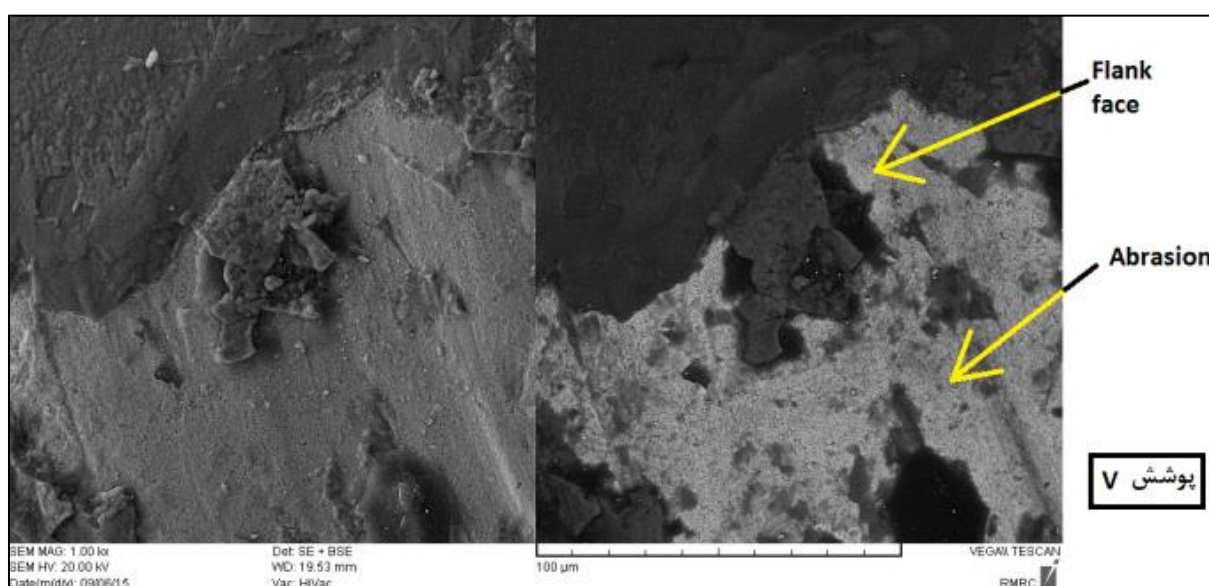
شکل ۳-۲۷، مکانیزم سایش لبه برنده مته با پوشش P



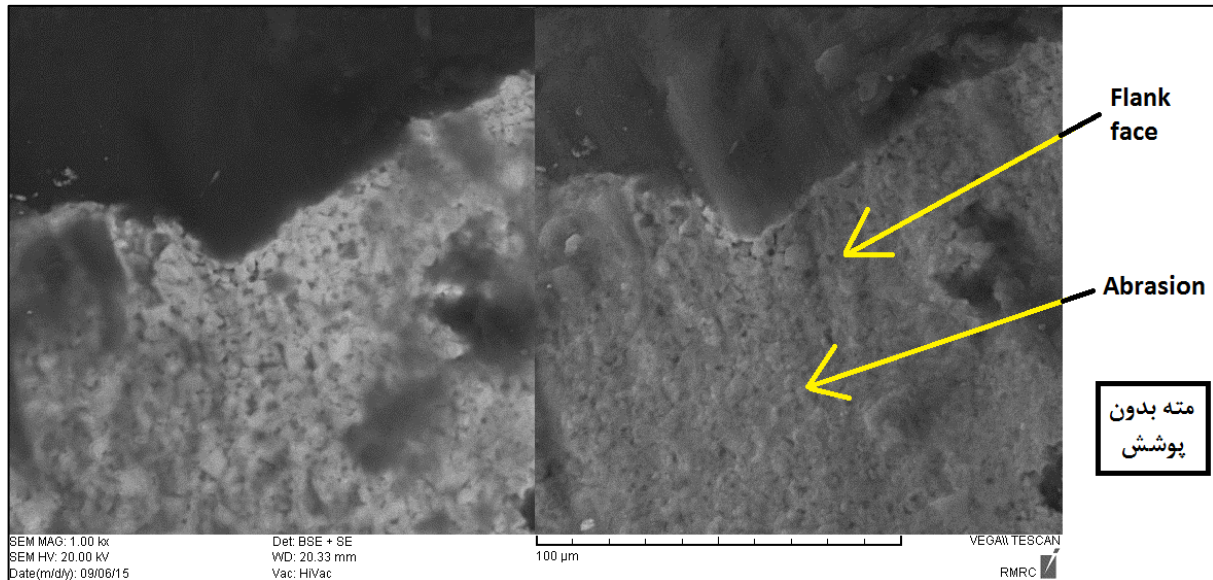
شکل ۳-۲۸، مکانیزم سایش لبه برنده مته با پوشش M



شکل ۳-۲۹، مکانیزم سایش لبه برنده مته با پوشش D



شکل ۳-۳۰، مکانیزم سایش لبه برنده مته با پوشش V



شکل ۳-۳۱، مکانیزم سایش لبه برنده مته بدون پوشش

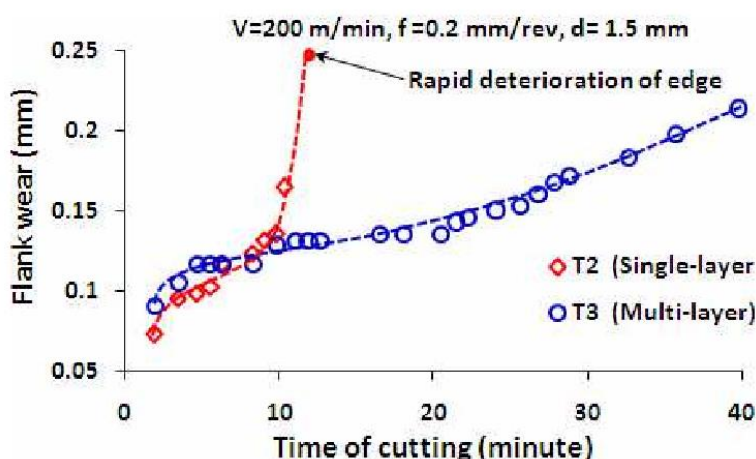
با بررسی این تصاویر و مقایسه نوع سایش با انواع مکانیزم‌های سایش می‌توان نتیجه گرفت که مکانیزم سایش سطح آزاد هر پنج نمونه مته از نوع مکانیزم خراشیدگی می‌باشد.

با بررسی این تصاویر اثر قابل توجهی از انواع دیگر سایش از جمله لبه انباشته، تغییر شکل پلاستیک، سایش شکافی، لب پریدگی و ... مشاهده نشد و تنها پدیده غالب سایش همان سایش ناشی از خراشیدگی بود. با توجه به جنس قطعه کار که از نوع چدن داکتیل است انتظار سایش ناشی از خراشیدگی منطقی است. زیرا اصولاً جنس چدن تمایلی به چسبیدن به ابزار ندارد. بنابراین سایش ناشی از چسبندگی^۱ در ماشینکاری چدن اتفاق نمی‌افتد. با بررسی تصویر سایش مته با پوشش V مشاهده می‌شود که اثراتی از کنده شدن لایه پوششی مشاهده می‌گردد. این پدیده احتمالاً ناشی از نوع لایه نشانی است زیرا پوشش V به روش PVD لایه نشانی شده و چسبندگی لازم را با زیر لایه کاربرد تنگستن نداشته و در اثر نیروهای برشی کنده شده است.

¹ Adhesion

۹-۳) تحقیقات مشابه

در سال ۲۰۱۳، س. چینچانیکار و س.ک چودهوری^۱ تحقیقی در رابطه با رفتار سایشی پوشش تک لایه TiAlN لایه نشانی شده به روش PVD و پوشش سه لایه TiCN/Al₂O₃/TiN لایه نشانی شده به روش CVD روی الماسه با پایه سمندت کارباید هنگام ماشینکاری فولاد AISI-4340 انجام دادند. نتایج این تحقیق در نمودار ۳-۳۲ مشاهده می‌گردد. [۳۳]



شکل ۳-۳۲، مقایسه سایش سطح آزاد دو پوشش T2(TiAlN) و T3(TiCN/Al₂O₃/TiN) [۳۳]

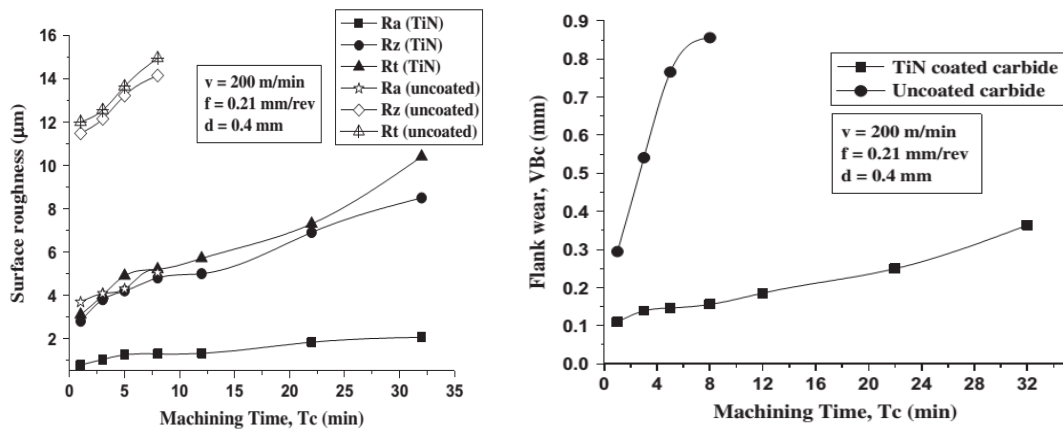
با توجه به نتایج این تحقیق، طول عمر الماسه با پوشش سه لایه TiCN/Al₂O₃/TiN حدود چهار برابر الماسه با پوشش تک لایه TiAlN گزارش شده است.

تحقیق مشابهی دیگری در سال ۲۰۱۳ در این زمینه توسط ا.ک ساهو و ب. ساهو^۲ انجام شده است. در این تحقیق نتایج عملکرد ابزار کاربید تنگستن بدون پوشش و پوشش‌دار در ماشینکاری فولاد کربنی کروم بالا AISI D2 مقایسه شده است. نتایج این تحقیق در نمودار ۳-۳۳ مشاهده می‌گردد. مقایسه بر اساس سایش سطح آزاد ابزار و صافی سطح ماشینکاری انجام شده است، که بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق مقاومت به سایش ابزار با پوشش TiN بسیار بیشتر از ابزار بدون پوشش و صافی سطح ماشینکاری شده با ابزار پوشش‌دار TiN بهتر از ابزار بدون پوشش بوده است. همچنین بر اساس نتایج این تحقیق سرعت سایش سطح آزاد ابزار بدون پوشش بسیار سریعتر از ابزار پوشش‌دار

¹ S.Chinchanikar & S.K.Choudhury

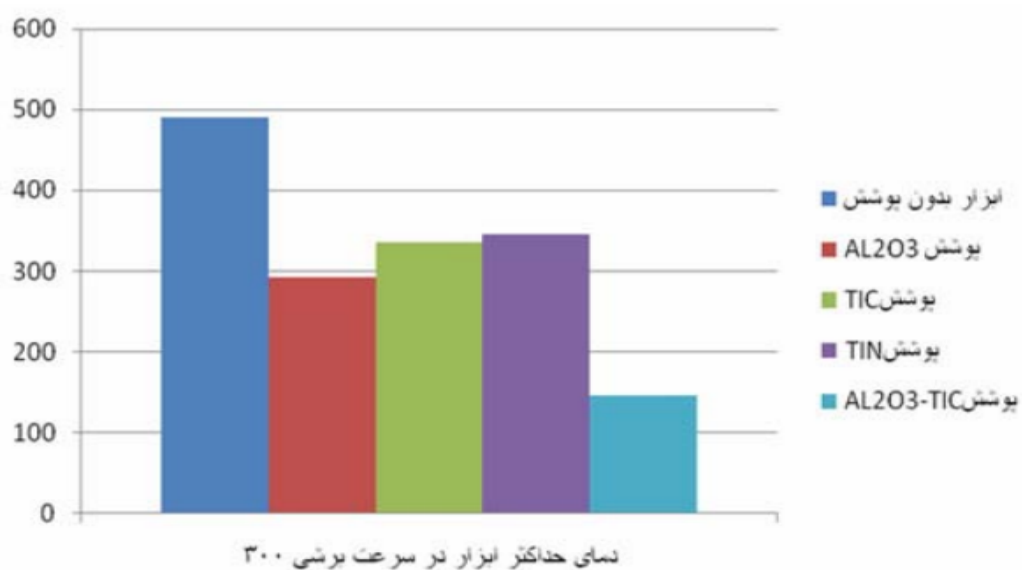
² A. K. Sahoo , B. Sahoo

بوده است، تغییر شکل پلاستیک لبه برنده در اثر حرارت بالا علت سایش سریع در ابزار بدون پوشش بوده است. [۱۹]



شکل ۳-۳، مقایسه سایش سطح آزاد و صافی سطح با ابزار بدون پوشش و با پوشش TiN [۱۹]

در سال ۱۳۸۹، حسین امیر آبادی و فرشید جعفریان تحقیقی در رابطه با تاثیر انواع پوشش بر توزیع دمای ابزار و براده در ماشینکاری فولاد برشی کم کربن انجام دادند. در این تحقیق تاثیر چهار نوع پوشش Al_2O_3 ، TiN، TiC و پوشش دولایه Al_2O_3 -TiC اعمال شده روی ابزار کاربید تنگستن بر توزیع دمای ابزار و براده به کمک شبیه‌سازی کامپیوتری بررسی شده است. نتایج این تحقیق در نمودار ۳-۳۴ مشاهده می‌گردد. [۲۰]



شکل ۳-۳۴، دمای بیشینه ابزار با پوشش‌های مختلف در سرعت برشی ۳۰۰ متر بر دقیقه [۲۰]

نتایج بدست آمده بیانگر تاثیر چشمگیر پوشش Al_2O_3 بر کاهش دمای ابزار می‌باشد. پوشش‌های TiN و TiC تاثیر نسبتاً مشابهی بر توزیع حرارت ابزار دارند و در نهایت نتایج نشان می‌دهد که استفاده از پوشش دو لایه Al_2O_3 -TiC نسبت به تمامی پوشش‌های تک لایه دیگر به میزان قابل ملاحظه‌ای در کاهش توزیع دما در ابزار موثر واقع شده و منجر به افزایش طول عمر ابزار می‌گردد [۲۰].

[۲۰] با توجه به اینکه یکی از مهمترین عوامل سایش ابزار، حرارت منتقل شده ناشی از برش به ابزار می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که طول عمر ابزار با پوشش دو لایه Al_2O_3 -TiC بیشتر از چهار ابزار دیگر می‌باشد [۲۰].

فصل چهارم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱) نتیجه‌گیری

با توجه به نمودارهای مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده سایش سطح آزاد مته، قطر و صافی سطح سوراخهای ماشینکاری شده با چهار مته با پوشش‌های مختلف و یک مته بدون پوشش، بطور خلاصه نتایج این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

مته با پوشش $TiN/TiCN/Al_2O_3$ با علامت اختصاری P بهترین پوشش برای این فرآیند می‌باشد. طول عمر این مته ۴۸۰۰۰ قطعه (سوراخ) گزارش شد. دلیل طول عمر بالای مته با این پوشش، وجود لایه اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) است که دارای سختی، مقاومت به سایش بالا و گرماسختی بالایی می‌باشد. علاوه بر آن وجود لایه تیتانیوم کربن نیتريد ($TiCN$) که چسبندگی عالی و مقاومت به سایش خوبی در سطح آزاد دارد، باعث افزایش طول عمر مته شده است. لایه تیتانیوم نیتريد (TiN) نیز که دارای چسبندگی خوب به زیر لایه کاربید تنگستن است نیز پایداری و چسبندگی این پوشش را تضمین می‌کند. دومین پوشش مناسب برای مته موضوع این تحقیق پوشش $TiN/TiCN/TiAlN/TiN$ با علامت اختصاری M می‌باشد. طول عمر این پوشش ۳۶۰۰۰ قطعه (سوراخ) گزارش شد. وجود لایه تیتانیوم نیتريد (TiN) در لایه‌های زیرین و فوقانی حداکثر میزان چسبندگی به زیر لایه و حداقل اصطکاک را بین لایه بیرونی و براده تضمین می‌نماید وجود لایه‌های تیتانیوم کربن نیتريد ($TiCN$) و تیتانیوم آلومینیوم نیتريد ($TiAlN$) نیز با توجه به خصوصیات این لایه‌ها و مقاومت آنها در برابر گرماسختی و مقاومت سایشی بالای لبه آزاد، باعث افزایش مقاومت به سایش می‌گردد. در رده سوم، پوشش سه لایه $TiN/TiCN/TiN$ با علامت اختصاری D قرار دارد. طول عمر این پوشش ۲۸۰۰۰ قطعه (سوراخ) گزارش شد. با توجه به سه لایه بودن و رسوب شیمیایی که هم پیوند محکم و پایداری با زیر لایه ایجاد نموده و مقاومت به سایش بالاتری را نسبت به نمونه های بدون پوشش و پوشش V دارد. البته با توجه به ضخامت کم این لایه انتظار مقاومت سایشی بالایی از این پوشش وجود نداشت. پوشش دولایه $TiN/TiAlN$ با علامت اختصاری V که با روش PVD روی مته اعمال شده است در ردیف چهارم کیفیت پوشش‌های این تحقیق قرار دارد. طول عمر گزارش شده برای این مته ۲۰۰۰۰ قطعه (سوراخ) می‌باشد. با توجه به پوشش دو لایه $TiN/TiAlN$ این مته که به روش PVD لایه نشانی شده است و ضخامت بسیار کم این پوشش (حدود ۲ میکرون) انتظار اختلاف طول عمر قابل ملاحظه‌ای با مته بدون پوشش نمی‌رفت و همین پیش بینی هم در

نمودارها به اثبات می‌رسد. نتایج نشان می‌دهد کیفیت این مته تنها حدود ۲۵ درصد از مته بدون پوشش بالاتر است. همچنین با توجه به اینکه رسوب گذاری لایه PVD به صورت فیزیکی روی ابزار انجام شده پیوند مولکولی پایداری بین لایه پوششی و زیر لایه کاربرد تنگستن انجام نشده و این لایه به سرعت تحت تاثیر نیروهای برشی و سایش ایجاد شده از بین می‌رود. نکته دیگر در این خصوص این است که در لایه نشانی به روش PVD با توجه به دمای پایین لایه نشانی، تیزی لبه برنده حفظ می‌شود و همین عامل باعث شکست‌هایی مویی لبه برنده به دلیل تیز بودن می‌شود که خود باعث سایش سریعتر ابزار می‌شود. در انتهای این رده‌بندی مته بدون پوشش با علامت اختصاری U قرار دارد. طول عمر این مته ۱۶۰۰۰ قطعه گزارش شد. بدیهی بود که طول عمر مته بدون پوشش از بقیه مته‌ها کمتر است. اما در اینجا هدف، مقایسه طول عمر مته‌های پوشش‌دار با مته بدون پوشش بود.

۲-۴) پیشنهادات

پوشش‌دهی ابزارهای برشی با توجه به تاثیر چشمگیر آن روی افزایش طول عمر ابزار، افزایش کیفیت سطوح ماشینکاری و در نتیجه افزایش راندمان تولید و بهبود کیفیت، زمینه مورد علاقه صنایع ماشینکاری است که پروژه‌های تحقیقاتی زیادی می‌توان در این رابطه تعریف نمود. بهینه‌سازی پوشش‌های چند لایه ابزارهای برشی برای ماشینکاری انواع فولاد و چدن با توجه به کاربرد وسیع این فلزات در صنایع ماشینکاری پیشنهاد می‌شود. این تحقیقات می‌تواند بر روی انواع ابزارهای برشی اعم از مته، قلاویز، اینسرت، فرز و ... صورت گیرد. این پوشش‌ها علاوه بر زیر لایه کاربرد تنگستن، می‌تواند روی ابزارهای از جنس فولاد تندبر که هنوز کاربردهای نسبتاً زیادی در صنایع کارگاهی کوچک دارد، انجام شود.

تحقیقات روی پوشش Diamond Like Carbon یا به اختصار DLC از زمینه‌های جدید است که می‌توان به آن پرداخت. این پوشش نازک برخی خواص الماس را دارد و تاثیر آن روی سایش ابزار و صافی سطح ماشینکاری بخصوص در ماشینکاری قطعات غیر فولادی می‌تواند موضوع تحقیقات جدید قرار گیرد.

پوشش‌های CBN و PCD روی پایه کاربید تنگستن و حتی فولاد تندبر، از موضوعات جدید مباحث پوشش‌دهی ابزارهای برشی است. ترکیب این پوشش‌ها با سایر پوشش‌های موجود سرامیکی نیز می‌تواند از موضوعات جالب بحث پوشش‌دهی ابزار برشی باشد. با توجه به اهمیت کیفیت سطح در فرآیندهای پرداختکاری، تاثیر پوشش‌های مختلف روی صافی سطح قطعه به خصوص در بحث پوشش‌های PCD و CBN نیز از موضوعات پیشنهادی است.

مراجع

مراجع :

- [1] سید جلال حقّی، ”مرجع کامل راهنمای ابزارهای برشی مدرن“، نشر طراح، تهران، ۱۳۸۳.
- [2] محمد رضا رازفر، ”اصول ماشینکاری و ابزارشناسی“، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۰.
- [3] <http://brycoat.com/surface-engineering/brycoat-pvd-coating-solutions/brycoat-aluminum-titanium-nitride-altin-or-tialn-coatings/>, 2015.
- [4] <http://www.guhring.com/ProductsServices/CoatingServices/>, 2015.
- [5] "Metal cutting technology training handbook", Sandvik Coromant Academy, Sandviken Sweden, 2010.
- [6] <http://www.easson-china.com/eProInfo.asp?id=28>, 2015.
- [7] A.Tolga Bozdana, "ME472 Engineering metrology and quality control", Gazinatep Univ., 2012.
- [8] <http://www.mahr.com/MarSurf-M40>, 2015.
- [9] 2D SAMAND brake caliper drawing, Mando Corp. 2014.
- [10] جان ج. نی، ”فرمانها و وسایل اندازه‌گیری و کنترل“، مترجم: اکبر شیرخورشیدیان، نشر طراح، تهران، ۱۳۸۰.
- [11] T.Cselle, A.Barimani, “Today’s application and future developments of coatings for drills and rotating cutting tools”, *Surface and coatings technology*, Vol. 76-77, pp. 712-718, 1995.
- [12] T.I. Selinder, and others, “Performance of PVD TiN/TaN and TiN/NbN superlattice coated cemented carbide tools in stainless steel machining”, *Surface and coatings technology*, Vol. 105, pp. 51-55, 1998.
- [13] K. Tonshoff, and others, “Performance of oxygen-rich TiALON coatings in dry cutting applications”, *Surface and coatings technology*, Vol. 108-109, pp. 535-542, 1998.
- [14] C. Ducros, and others, Deposition, “characterization and machining performance of multilayer PVD coatings on cemented carbide cutting tools”, *Surface and coatings technology*, Vol. 163-164, pp. 681-688, 2003.
- [15] Sandro Cardoso Santos, and others, “Tribological characterisation of PVD coatings for cutting tools”, *Surface and coatings technology*, Vol. 184, pp. 141-148, 2004.

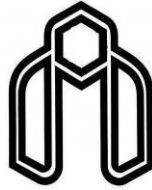
- [16] Ibrahim Ciftci, "Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools", *Tribology International*, Vol. 39, pp. 565-569, 2006.
- [17] S. Sharif, E.A. Rahim, "Performance of coated- and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy Ti6Al4V", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 185, pp. 72-76, 2007.
- [18] I.S. Shyha, and others, "Hole quality assessment following drilling of metallic-composite stacks", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 51, pp. 569-578, 2011.
- [19] Ashok Kumar Sahoo, Bidyadhar Sahoo, "A comparative study on performance of multilayer coated and uncoated carbide inserts when turning AISI D2 steel under dry environment", *Measurement*, Vol. 46, pp. 2695-2704, 2013.
- [20] امیر آبادی حسین، جعفریان فرشید، "بررسی تاثیر انواع پوشش بر توزیع دمای ابزار در ماشینکاری فولاد برشی کم کربن"، یازدهمین کنفرانس مهندسی ساخت و تولید ایران، دانشگاه تبریز، تبریز، ۲۷-۲۹ مهرماه ۱۳۸۹.
- [21] Metal Cutting Tool Handbook, Metal cutting tool institute, New York, 1949.
- [22] 3D Model of Samand brake caliper, Mando Corp. 2014.
- [23] "Specification of Spheroidal graphite iron castings", Mando Corp. 2012.
- [24] مدل سه بعدی فیکسچر ماشینکاری کالیپر ترمز سمند، شرکت فرا صنعت شمال. ۱۳۹۲.
- [25] <http://www.mapal.com/en/products/product-groups/solid-carbide-tools/solid-carbide-drills/mega-drill-steel/>, 2015.
- [26] Drill drawing 30023432, MKTools Co. 2014.
- [27] E. Oberg, F. D. Jones, H. L. Horton, H. H. Ryffel, Machinery's Handbook, 27 Ed., *Industrial Press INC.*, New York, 2004.
- [28] <http://www.walter-machines.com/en/products/grinding/helitronic-essential.html>. 2015.
- [29] http://isog-technology.com/images/content/3-Service/Downloads/Prospekte/english/ISOG_S11_2014_E.pdf. 2014.
- [30] https://www.google.com/?gws_rd=ssl#q=NORTON+diamond+and+CBN+wheel+s+catalogue. 2015.
- [31] <http://www.speedfk.com/Files/pdf/CBN%20DIAMOND.pdf>. 2015.
- [32] <http://www.guhring.com/documents/tech/troubleshoot/drill.pdf>. 2015.

- [33] Satish Chinchankar, S. K. Choudhury, “Wear behaviors of single-layer and multi-layer coated carbide inserts in high speed machining of hardened AISI 4340 steel”, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 27, pp. 1451-1459, 2013.

Abstract

Drilling is most common machining process. It's difficult to find workpiece without drilled position. Due to this, drill is most usage cutting tools for making holes. Drill materials for usual application in workshops is H.S.S and for high rate production with best accuracy is carbide and coated carbide. In this research although innovation is concentrated on optimizing drill coating but for comprehending object, design and manufacturing drill has explained to aim complete process of drill design, manufacturing and optimizing coating. In this research 5 pcs of drills with diameter 12.3 and chamfer 90° has manufactured. This drills in used for drilling SAMAND brake caliper. 4 pcs of this drills has coated with various coatings. Selecting of coating type is done according to workpiece material and machining condition, mechanical, physical and metallurgical properties of coats and their resistance against wear, heat and corrosion. Selected coats are: TiN/TiCN/Al₂O₃, TiN/TiCN/TiAlN/TiN, TiN/TiCN/TiN, TiN/TiAlN. five pcs of sample drills including one uncoated and 4 others with above mentioned coating has tested in same condition for drilling caliper holes until flank wear reaches maximum allowed wear. For each drill sample, flank wear, drilled hole diameter tolerance and roughness has measured after each 2000 workpieces. Measuring result has compared in suitable diagrams. According to measuring parameters including: flank wear, hole diameter and hole roughness, The best result was for drill coated with TiN/TiCN/Al₂O₃ coating, after that better result was for TiN/TiCN/TiAlN/TiN, TiN/TiCN/TiN, TiN/TiAlN and finally uncoated drill.

Keywords: drill, tungsten carbide, coating, wear, diameter tolerance, roughness



**Shahrood University of Technology
Department of Mechanical Engineering**

Thesis for Master of Science in Mechanical Engineering

Title

**Design, Manufacturing and Coating Optimization of Tungsten Carbide spiral drill
for drilling SAMAND brake caliper**

**Written by
Fariborz Jalali**

**Supervisor
Dr. Mojtaba Ghatte**

September 2015