



بررسی تجربی اثر روش‌های عمق‌دهی رزوه‌زنی و پارامترهای ماشینکاری بر روی سایش ابزار در فرزکاری رزوه

حمید غوغا، سید علی موسوی، مسعود فرحناکیان*

دانشکده فنی و مهندسی، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۱

بازنگری: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۸

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۱۲/۱۸

کلمات کلیدی:

فرزکاری رزوه

روش‌های عمق‌دهی در رزوه‌زنی

سایش سطح آزاد ابزار

پیشروی

سرعت برشی

خلاصه: رزوه از جمله تکنولوژی‌هایی است که به صورت گسترده در صنعت به‌کار می‌رود. فرزکاری رزوه به عنوان یکی از روش‌های جایگزین قلاویزکاری پیشنهاد می‌شود. در این روش یک ابزار با قطر کوچکتر با حرکت در یک مسیر مارپیچ (هلیکال) عمل رزوه‌زنی را انجام می‌دهد. پارامترهای موثر بر سایش ابزار در این نوع رزوه‌زنی عبارتند از زوایا و هندسه ابزار، روش‌های عمق‌دهی در رزوه‌زنی، پیشروی و سرعت چرخش ابزار می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق بررسی روش‌های عمق‌دهی در رزوه‌زنی و تاثیر پارامترهای ماشینکاری بر سایش ابزار در فرزکاری رزوه می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش‌های تجربی نشان می‌دهد که با افزایش میزان پیشروی از مقدار ۰/۲ تا ۰/۴ میلی‌متر بر دور، سایش سطح آزاد ابزار بطور میانگین حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت دورانی از ۵۰۰ تا ۹۰۰ دور بر دقیقه، سایش سطح آزاد ابزار حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد افزایش می‌یابد. روش عمق‌دهی افزایشی در سرعت دورانی‌های مختلف بطور میانگین حدود ۳۰۰ درصد و روش عمق‌دهی جناحی ۲۸ درجه، بطور میانگین حدود ۱۰۰ درصد عمر ابزار را نسبت به استراتژی مستقیم افزایش می‌دهد. در روش عمق‌دهی افزایشی نه تنها کاهش درگیری لبه ابزار و قطعه‌کار باعث کاهش سایش ابزار می‌شود، بلکه دیگر مکانیسم‌های سایش همچون چسبندگی و نفوذ نیز کاهش می‌یابد.

۱- مقدمه

تشکیل شده است که عبارتند از (۱) دور محور ابزار (۲) حرکت خارج از مرکز (که همان حرکت مارپیچ می‌باشد) (۳) پیشروی. پارامترهای موثر در این نوع رزوه‌زنی عبارتند از زوایا و هندسه ابزار، سرعت پیشروی، روش‌های عمق‌دهی، پیشروی به ازای هر دندانه، قطر ابزار، سرعت دورانی و گام رزوه می‌باشد.

این نوع رزوه‌زنی دارای مزیت‌های فراوانی است، که از جمله مزایای آن رزوه‌زدن سوراخ‌های با قطرهای مختلف، تنها با یک ابزار می‌باشد. همچنین رزوه‌های چپ‌گرد و راست‌گرد با گام مشابه نیز با یک ابزار ماشینکاری می‌شوند. به علاوه در این روش زمان انجام عملیات پایین می‌باشد، که باعث افزایش بهره‌وری آن می‌شود. همچنین روند برش در فرزکاری رزوه به گونه‌ای است که باعث می‌شود براده‌ها به خوبی تکه تکه شده و از فاصله بین ابزار و سطح سوراخ به راحتی خارج

رزوه از جمله تکنولوژی‌هایی است که به صورت گسترده در صنعت به‌کار می‌رود. از جمله موارد استفاده آن بستن قطعات و یا تبدیل حرکت گردشی به حرکت خطی می‌باشد. رزوه‌ها به دو مجموعه کلی رزوه داخلی و رزوه خارجی تقسیم می‌شوند. روش‌های ماشینکاری رزوه داخلی شامل رزوه‌تراشی به کمک ماشین تراش، قلاویزکاری و فرزکاری رزوه می‌باشد.

فرزکاری رزوه به عنوان یکی از روش‌های جایگزین قلاویزکاری پیشنهاد می‌شود. در این روش یک ابزار با قطر کوچکتر با حرکت در یک مسیر مارپیچ (هلیکالی) عمل رزوه‌زنی را انجام می‌دهد. فرزکاری رزوه در شکل ۱ نشان داده شده است. این نوع عملیات از سه حرکت

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: farahnakian@pmc.iaun.ac.ir



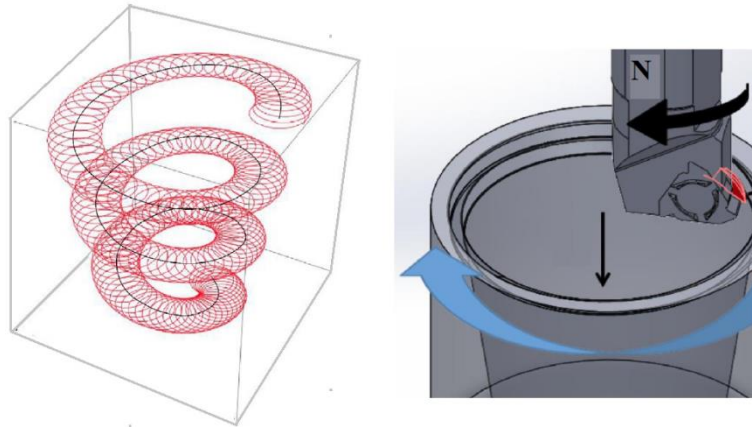


Fig.1. Internal thread milling [2].

شکل ۱: فرزکاری رزوه داخلی [۲]

در حین عملیات فرزکاری رزوه را مدل کردند و پارامترهای موثر بر آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش زاویه مارپیچ باعث افزایش خطاهای هندسی می‌شود. همچنین شکل رزوه نیز بر این خطاها تاثیرگذار است، به طوری که افزایش شیب رزوه باعث افزایش خطاها می‌شود. در نتیجه رزوه‌های مربعی خطاهای بیشتری را به دنبال دارند [۵]. فرامنتین و همکارش در سال ۲۰۱۲ تاثیر انواع استراتژی‌های نفوذ فرزکاری رزوه را بر دقت نهایی رزوه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که نسبت قطر ابزار به قطر اسمی رزوه و زاویه مارپیچ، بیشترین تاثیر را بر خطاهای هندسی در ماشینکاری کامل دارند. همچنین روش‌های عمق‌دهی نیم‌گردش و ربع‌گردش خطاهای هندسی بیشتری نسبت به ماشینکاری کامل رزوه دارند. به علاوه روش‌های عمق‌دهی مستقیم خطاهای هندسی بیشتری نسبت به ماشینکاری کامل ندارد، ولی نیروی برشی بیشتری تولید می‌کند. نتایج این تحقیق باعث اصلاحاتی در استراتژی‌های نفوذ شد، که خطاهای هندسی را کاهش می‌دهند [۶].

لی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ بر روی مدل پیش‌بینی مکانیزم نیروها با استفاده از پارامتر لبه و صفحه برش و لبه نیرو تحقیق نمودند. در این تحقیق برای رسیدن به نتایج بهتر، ضخامت براده‌ها نیز در مدل در نظر گرفته شد. سپس نتایج بدست‌آمده با آزمایش‌ها عملی مقایسه شد، که به خوبی مدل مربوطه را تایید می‌نمود. نوآوری این تحقیق در نظر گرفتن نیروی برشی در حالت حرکت مارپیچی ابزار می‌باشد [۷]. آرجو و همکارانش در سال ۲۰۱۳ تاثیر زوایای ابزار فرزکاری رزوه، پارامترهای ماشینکاری و هندسه رزوه را ابتدا مدل‌سازی کردند و سپس با آزمایش‌های تجربی به وسیله دینامومتر، مقدار شاخص‌های

شوند. علاوه بر این، به علت کوچک‌تر بودن ابزار نسبت به قطر سوراخ در صورت شکستگی ابزار می‌توان آن را بدون آسیب دیدن سوراخ از درون قطعه جدا کرد. نیروی برشی پایین از دیگر مزایای این روش رزوه زنی می‌باشد [۱ و ۲].

یکی از مسائل مهمی که در ماشینکاری وجود دارد، مسئله سایش ابزار ماشینکاری است. سایش ابزار به سه دلیل برای ما مهم است، دلیل اول آن است که سایش ابزار روی صافی سطح و دقت ابعادی قطعه ماشینکاری شده تاثیر مستقیم دارد. در مواردی که دقت ابعادی مهم است، باید سایش ابزار کنترل و در حد مجاز محدود شود. دلیل دوم آن است که سایش منشأ شکست ابزار است، با توجه به آنکه شکست ناگهانی باعث صدمه دیدن کل ابزار، ماشین ابزار و قطعه‌کار می‌شود باید از این شکست ناگهانی جلوگیری شود و دلیل سوم مسئله اقتصادی است، چرا که سایش ابزار باعث هزینه تیز کردن مجدد، پایان عمر ابزار و از همه مهم‌تر توقف عملیات ماشینکاری می‌شود [۳].

در سال‌های اخیر تمرکز مطالعات و مقالات بر روی فرزکاری رزوه بیشتر بر روی نیروهای وارد شده به ابزار در هنگام انجام این فرآیند و مدل کردن این نیروها می‌باشد. همچنین تاثیر پارامترهای مختلف بردقت نهایی رزوه و خطاهای هندسی ناشی از آن را مورد بررسی قرار داده‌اند. در ادامه خلاصه‌ای از این مقالات مرور می‌شود. آرجو و همکارانش در سال ۲۰۰۴ بر روی مدلی برای پیش‌بینی نیروهای وارد شده به ابزار تلاش کردند و نتایج را با آزمایش عملی مقایسه نمودند. بر طبق نتایج حاصله مدل طراحی شده به خوبی نیروهای چهار دندانه را پیش‌بینی کرد، ولی برای نتایج بهتر می‌بایست، تنش هنگام برخورد ابزار و سطح نیز به مدل اضافه شود [۴]. فرامنتین و پولاجین در سال ۲۰۰۹ خطاهای هندسی



ج

ب

الف

Fig.2. a) Actual view of CNC machine, b, c) Actual thread milling.

شکل ۲: الف) تصویر دستگاه سی.ان.سی استفاده شده در آزمایش، ب و ج) فرزکاری رزوه

پارامترهای ماشینکاری (سرعت دورانی و مقدار پیشروی) در فرزکاری رزوه بر روی چدن خاکستری مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. همچنین تاکنون روش‌های مختلف عمق‌دهی در رزوه‌زنی در روش فرزکاری رزوه مورد مطالعه قرار نگرفته است. بدین‌منظور در این مطالعه تلاش شده است تا روش‌های مختلف عمق‌دهی در فرزکاری رزوه نیز برنامه‌نویسی شده و سایش ابزار آنها با یکدیگر مقایسه شوند.

۲- مواد و آزمایش‌ها

در ابتدای این قسمت تجهیزات مورد استفاده توضیح داده می‌شود. سپس روش انجام کار به صورت مبسوط شرح داده می‌شود. آنگاه در پایان چگونگی طراحی آزمایش و پارامترهای مورد استفاده ارائه می‌شود.

۲-۱- ماشین فرز سی.ان.سی

به دلیل ماهیت فرآیند فرزکاری رزوه که نیاز به نوشتن برنامه داشت، از ماشین فرز سی.ان.سی استفاده شد. همچنین به دلیل نیاز به دقت زیاد و صلبیت بالا از یک دستگاه فرز CNC700MAHO استفاده شد. مشخصات این فرز عبارتند از میز ۶۳۰ میلیمتری با حداکثر سرعت دورانی ۳۱۵۰ دور بر دقیقه، وزن ۳۸۰۰ کیلوگرم و همچنین کنترلر فیلیپس، ساخت ۱۹۹۲ آلمان از مشخصات این دستگاه می‌باشد. در شکل (۲) تصویری از این دستگاه و انجام فرزکاری

مختلف نیرو در آلیاژ 4V-6Al-Ti را مورد بررسی قرار دادند [۸]. وان و آلتینتاژ در سال ۲۰۱۴ استحکام و نیروهای ابزار فرزکاری رزوه را مدل کرده و سپس نتایج آن را با آزمایش در فولاد 1045 AISI مورد مقایسه قرار دادند، که مشابهت نتایج را نشان داد [۹].

آرجو و همکارانش در سال ۲۰۱۵ بر روی استفاده از فرزکاری رزوه در لوله‌های اتصالات نفتی و آنالیز هندسه و نیروهای ایجادشده تحقیق نمودند. در این نوع اتصالات به دلیل وجود فشار بالا، کیفیت سطح نیز مورد توجه است که نتایج حاصل از مدل با نتایج آزمایش عملی مطابقت داشته و همچنین کیفیت سطح در دو قسمت پهلوی و جلو متفاوت می‌باشند [۱۰]. خراسانی و همکارانش در سال ۲۰۱۵ میزان تاثیر فشار سیال بر روی کیفیت سطح برنج و آلومینیوم را در فرزکاری رزوه با سرعت بالا، تحقیق نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد در سرعت پیشروی ۰/۴۱ تا ۰/۴۵ و بیشترین سرعت دورانی و فشار سیال ۲ تا ۲/۵ بار بهترین کیفیت سطح بدست می‌آید [۱۱]. آرجو و فرامنتین در سال ۲۰۱۷ بر روی مدل‌کردن نیروها در سوراخ‌های کوچک بر روی فلزهای دندان‌پزشکی در فرزکاری رزوه تحقیق نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد تفاوت بسیار کم قطر ابزار و سوراخ، باعث افزایش تاثیر نحوه نفوذ در رزوه می‌شود که این امر باعث کاهش کیفیت سطح سوراخ می‌شود [۱۲].

با توجه به کارهای گذشته، هنوز مطالعه‌ای در مورد سایش ابزار در فرزکاری رزوه انجام نشده است. از این رو در این مطالعه، تاثیر



ب

الف

Fig. 3. a) Tool and Tool holder, b) Workpiece after drilling.

شکل ۳: الف) ابزار مورد استفاده، ب) قطعه بعد از سوراخکاری

جدول ۱: خواص مکانیکی قطعه کار و ابزار

Table 1. Mechanical properties of tool and workpiece.

چگالی (Kg/m ³)	مدول یانگ (GPa)	سختی (HV)	استحکام کششی (MPa)	
۷۲۰۰	۱۱۰	۲۴۰-۱۸۰	۲۵۰	GG25 (DIN 1691)
۱۴۵۰۰	۵۸۰	۲۲۰۰-۱۸۰۰	۳۱۰۰	[۱۳] WC

۳-۲- قطعه کار

رزوه مشاهده می شود.

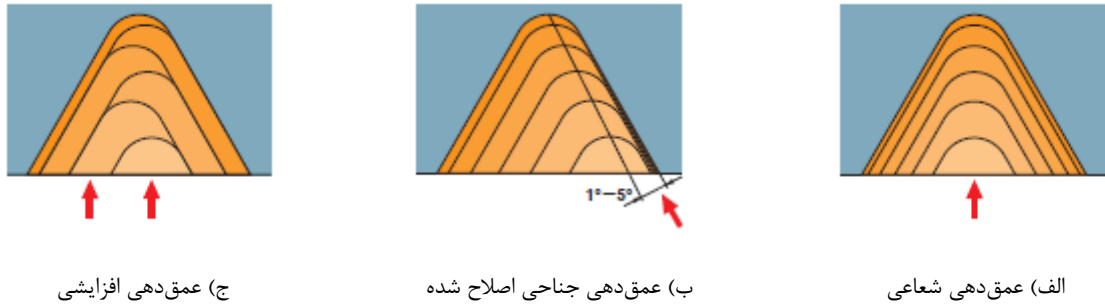
قطعه کار استفاده شده در این تحقیق، چدن خاکستری می باشد که در شکل ۳ ب نشان داده شده است. قطعات ریخته گری شده در این آزمایش ها بعد از انجام عملیات ماشینکاری توسط فرز، سوراخ کاری شدند. با توجه به در نظر گرفتن قطر رزوه ۳۰ M و گام ریز ۱/۵ میلیمتر، سوراخ هایی به قطر ۲۷/۵ میلیمتر و عمق ۲۴ میلیمتر در آن زده شد. خواص مکانیکی قطعه کار و ابزار در جدول ۱ گزارش شده است.

۴-۲- تصویربرداری از سایش ابزار

برای مشاهده دقیق میزان سایش و اندازه گیری آن از میکروسکوپ 413ZT-Dino-LiteAM با زوم ۲۳۰ استفاده شد. برای

۲-۲- ابزار گیر و ابزار

ابزار برای ایجاد رزوه در فرزکاری رزوه به دو دسته تک لبه و چند لبه تقسیم بندی می شوند. نوع چند لبه آن با یک بار چرخش درون سوراخ می تواند چندین رزوه ایجاد کند و نوع تک لبه آن با حرکت مارپیچ درون سوراخ رزوه ایجاد می کند. ابزار مورد استفاده در این تحقیق، ابزار تک لبه می باشد که در شکل ۳ الف نشان داده شده است. ابزار گیر از نوع داخل تراش CoroThread °266 و گرید ابزار از نوع A GC1125 مطابق با کاتالوگ شرکت SANDVIK می باشد.



شکل ۴. روش‌های عمق‌دهی در رزوه‌زنی [۱۳]
Fig. 4. Infeed methods in thread cutting.

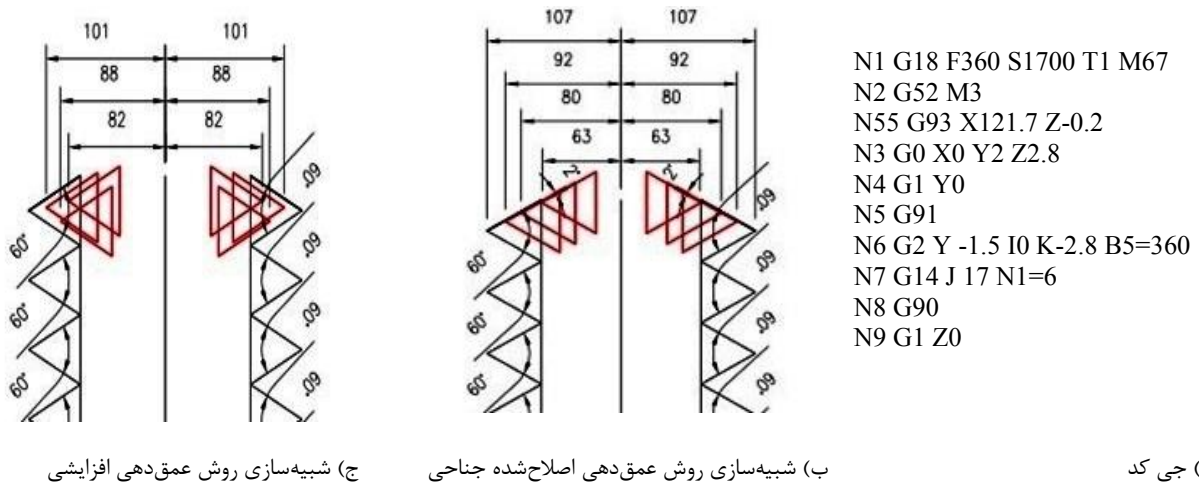


Fig. 5. Gcode extracting for infeed methods in thread cutting

شکل ۵: نحوه جی‌کدگیری برای روش‌های مختلف عمق‌دهی

رزوه در این تحقیق پشتیبانی نمی‌کنند، جی‌کدگیری این آزمایش به صورت دستی و با کد G02 و حرکت نسبی دستگاه صورت گرفت. برنامه استفاده شده در شکل ۵ الف نشان داده شده است. به دلیل اینکه از جی‌کدگیری دستی جهت انجام آزمایش‌ها استفاده شد، در نرم افزار CAD میزان عمق و مکان نوک اینسرت برای طراحی استراتژی‌ها شبیه‌سازی شد که در شکل ۵ تصاویر آن آمده است.

۲-۶- طراحی آزمایش

با توجه به جنس ابزار و جنس قطعه‌کار، آزمایش‌های اولیه برای پیدا کردن محدوده تقریبی سایش انجام شد. نتایج این آزمایش‌های اولیه نشان داد که در سرعت‌های دورانی بالاتر از ۹۰۰ دور بر دقیقه، لبه انباشته ایجاد می‌شود. همچنین در پیشروی‌های بالاتر از ۰/۴ دور بر لبه، باعث ارتعاشات زیاد در ماشینکاری می‌شود. لذا برای بررسی سرعت برشی، محدوده سرعت دورانی بین ۵۰۰ تا ۹۰۰ دور بر دقیقه

تصویربرداری دقیق از اینسرت‌ها از دو فیکسچر استفاده شد، که به وسیله آن‌ها تمامی جوانب اینسرت توسط میکروسکوپ تصویربرداری شد و سپس میزان سایش ارزیابی شد.

۲-۵- روش‌های عمق‌دهی در رزوه‌زنی

سه روش اصلی عمق‌دهی در رزوه‌زنی وجود دارد. روش عمق‌دهی شعاعی^۱ (مستقیم)، روش عمق‌دهی جناحی (از پهلو) اصلاح شده^۲ و روش عمق‌دهی افزایشی^۳. این روش‌های عمق‌دهی چگونگی وارد شدن ابزار در قطعه‌کار برای ایجاد شکل رزوه را مشخص می‌کنند [۱۴]. در شکل ۴ چگونگی ورود اینسرت در قطعه‌کار برای رزوه‌زنی نشان داده شده است.

چون نرم‌افزارهای موجود، از روش‌های عمق‌دهی در رزوه‌زنی

- 1 Radial Infeed
- 2 Modified flank infeed
- 3 Incremental Infeed

جدول ۲: جدول طراحی آزمایش

Table 2. Design of Experiments.

سطح ۳	سطح ۲	سطح ۱	پارامترهای ماشینکاری	
۹۰۰ (۴۸)	۷۰۰ (۳۷)	۵۰۰ (۲۶)	سرعت دورانی (دور بر دقیقه) سرعت برشی (متر بر دقیقه)	۱
۰/۴	۰/۳	۰/۲	پیشروی (میلیمتر بر دور)	۲
افزایشی	از پهلو	شعاعی	روش عمق دهی	۳

جدول ۳: محاسبه سرعت پیشروی

Table 3. Calculation of feed rate.

$V_f = N \times f$	$N=500$ (rev/min)	$N=700$ (rev/min)	$N=900$ (rev/min)
$f=0.2$ (mm/rev)	$V_{f1}=100$ (mm/min)	$V_{f2}=140$ (mm/min)	$V_{f3}=180$ (mm/min)
$f=0.3$ (mm/rev)	$V_{f4}=150$ (mm/min)	$V_{f5}=210$ (mm/min)	$V_{f6}=270$ (mm/min)
$f=0.4$ (mm/rev)	$V_{f7}=200$ (mm/min)	$V_{f8}=280$ (mm/min)	$V_{f9}=360$ (mm/min)

میزان طول سایش بر اساس مسیر طی شده توسط ابزار محاسبه می‌گردد. برای این منظور ابتدا تعداد مارپیچ‌ها بدست آید و سپس با ضرب این تعداد در مقدار محیط سوراخ، طول سایش محاسبه گردد. به علت اینکه عمق سوراخ ۲۴ میلیمتر بوده است و گام ۱/۵ در نظر گرفته شده است، تعداد مارپیچ برابر است با:

$$n_{helical} = H / pitch = \frac{24}{1/5} = 16 \quad (1)$$

برای بدست آوردن طول مسیر حرکت ابزار، محیط سوراخ را باید در تعداد مارپیچ‌ها ضرب کرد:

$$L = n_{helical} \times \pi \times D \approx 1386 \text{ mm} \quad (2)$$

که در آن D قطر سوراخ می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

به منظور بررسی تجربی میزان سایش ابزار در فرزکاری رزوه در چدن خاکستری پارامترها و استراتژی‌های مختلفی به کار گرفته شد. سپس سایش سطح آزاد ابزار برای هر آزمایش توسط میکروسکوپ بررسی شد که نتایج آن‌ها در ادامه گزارش می‌شود. برای نمونه تصاویر

انتخاب شد و همچنین برای بررسی پیشروی، محدوده نرخ پیشروی بین ۰/۲ تا ۰/۴ میلیمتر بر دور انتخاب گردید. همچنین سه روش عمق دهی بیان شده در قسمت ۲-۵ نیز برای بررسی انتخاب شدند. پارامترهای آزمایش و سطوح آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به قطر ابزارگیر، سرعت برشی معادل هر یک از سرعت دورانی نیز در این جدول گزارش شده است.

با توجه به اینکه مقدار پیشروی به عنوان یک پارامتر آزمایش مورد بررسی قرار می‌گیرد، ولی در ماشین فرز، سرعت پیشروی می‌باید وارد شود، سرعت پیشروی متناسب برای هر آزمایش با توجه به رابطه $V_f = N \times f$ در جدول ۳ محاسبه شده است. برای انجام هر آزمایش، سرعت دورانی و پیشروی بر روی ماشین تنظیم شده و با توجه به روش عمق دهی مورد نظر، جی‌کد در ماشین اجرا شد. در ضمن میزان سایشی که ابزار بعد از آن دقت ابعادی لازم را به خوبی به وجود نمی‌آورد، ۰/۳ میلیمتر در نظر گرفته شد [۱۵]. لذا برای هر آزمایش، سوراخ‌ها رزوه‌زنی شدند و سایش سطح آزاد ابزار توسط میکروسکوپ اندازه‌گیری شد. این فرآیند ادامه پیدا می‌کند تا سایش سطح آزاد ابزار به حدود ۰/۳ میلیمتر برسد.

با توجه به اینکه ابزار در این نوع فرزکاری حرکت مارپیچی دارد،

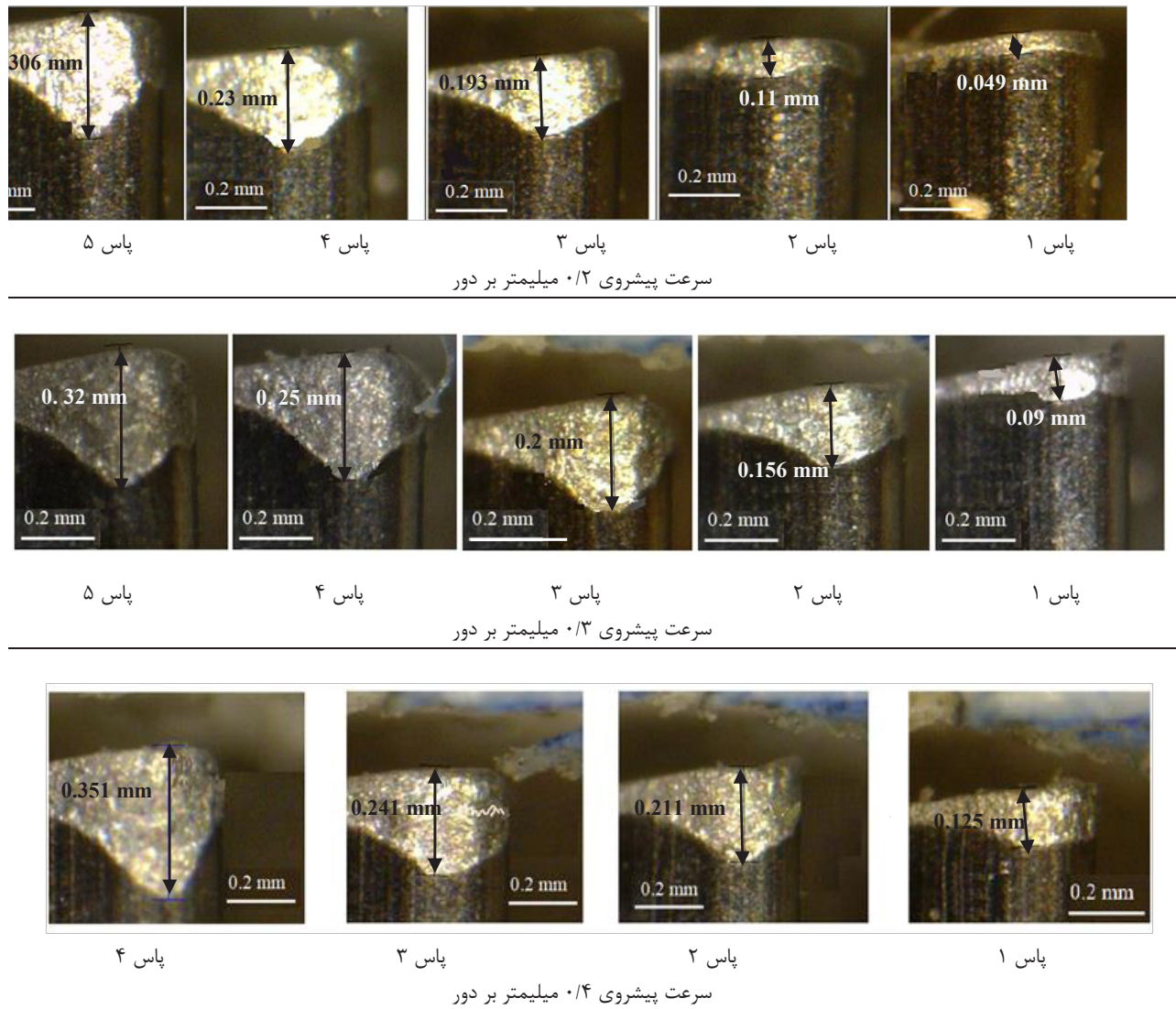


Fig. 6. Pictures of tool wear related to wear at 700 rpm in various feeds.

شکل ۶: تصاویر میزان سایش مربوط به سایش در دور ۷۰۰ در دور بر دقیقه و پیشروی‌های مختلف

به مقدار ۰/۳ میلیمتر می‌رسد، درحالی‌که در پیشروی ۰/۴ میلیمتر بر دور به مقدار ۰/۴ میلیمتر می‌رسد. بطور مشابه در سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه، سایش سطح ابزار پس از طی مسافت حدود ۵۵۰ سانتی متر، در پیشروی ۰/۲ میلیمتر بر دور، به مقدار ۰/۲۵ میلیمتر می‌رسد، درحالی‌که در پیشروی ۰/۴ میلیمتر بر دور به مقدار ۰/۳۵ میلیمتر می‌رسد. بعبارت دیگر با دوبرابر شدن مقدار پیشروی، سایش ابزار حدود ۳۰ درصد افزایش پیدا می‌کند.

با افزایش مقدار پیشروی، مقدار سایش زیاد می‌شود. دلیل آن را می‌توان به این صورت عنوان نمود: با افزایش مقدار پیشروی، نیروهای برشی به دلیل افزایش ضخامت براده تغییر شکل نیافته زیاد می‌شوند [۱۶]. بعبارت دیگر، نیروی عمودی وارد بر لبه ابزار بیشتر می‌شود که

مربوط به سایش در دور ۷۰۰ در دور بر دقیقه و پیشروی‌های متفاوت در شکل ۶ گزارش شده است.

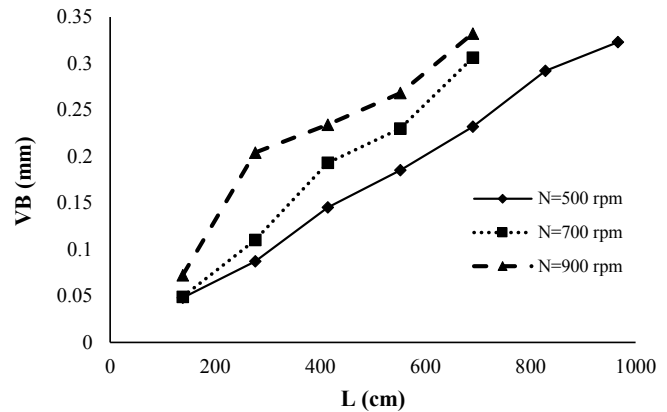
۱-۳- بررسی پیشروی و سرعت برشی بر سایش ابزار در فرزکاری رزوه

در نمودارهای شکل ۷، سایش سطح ابزار برای سرعت‌های برشی و پیشروی‌های مختلف بر حسب طول مسافت طی شده توسط ابزار، نشان داده شده است. همان‌طور که از نمودارها مشخص می‌شود با افزایش میزان پیشروی میزان سایش افزایش یافته است. بطور مثال در سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه، سایش سطح آزاد ابزار پس از طی مسافت حدود ۱۰۰۰ سانتی‌متر، در پیشروی ۰/۲ میلیمتر بر دور،

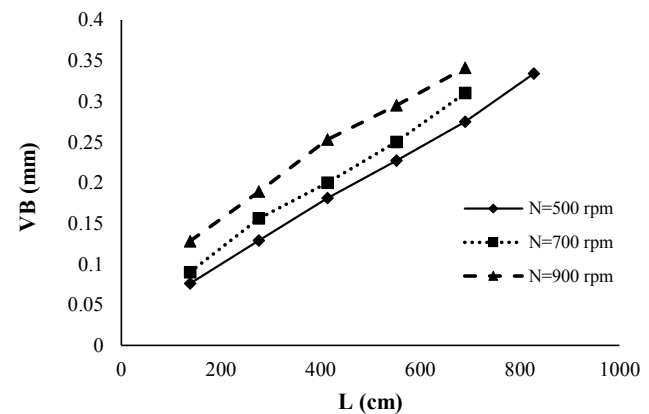
کوچک در سطح تماس ابزار و قطعه کار بیشتر شده و باعث می‌شود سایش چسبندگی^۲ افزایش یابد.

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت دورانی (سرعت برشی)، سایش سطح آزاد ابزار افزایش یافته است. بطور مثال در پیشروی ۰/۲ میلیمتر بر دور، سایش سطح آزاد ابزار پس از طی مسافت حدود ۷۰۰ سانتی متر، در سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه، به مقدار ۰/۲۳ میلیمتر می‌رسد، درحالیکه در سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه به مقدار ۰/۳۵ میلیمتر می‌رسد. همچنین در پیشروی ۰/۴ میلیمتر بر دور، سایش سطح آزاد ابزار پس از طی مسافت حدود ۵۰۰ سانتی متر، در سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه، به مقدار ۰/۲۲ میلیمتر می‌رسد، درحالیکه در سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه به مقدار ۰/۳۵ میلیمتر می‌رسد. به عبارت دیگر با افزایش سرعت دورانی از سرعت ۵۰۰ به ۹۰۰ دور بر دقیقه، سایش ابزار حدود ۵۰ درصد افزایش می‌یابد.

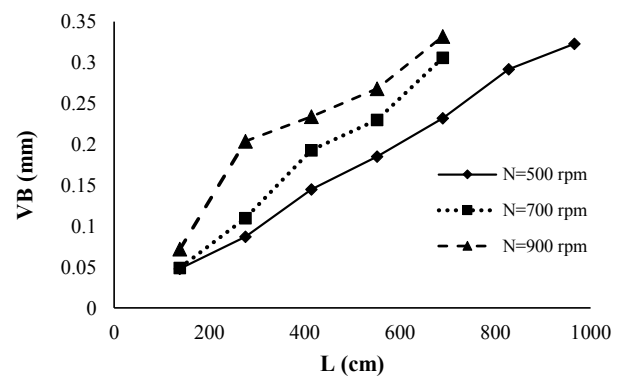
با افزایش سرعت برشی، مقدار حرارتی که به براده وارد می‌شود، بیشتر می‌شود. با افزایش دمای براده تغییر شکل نیافته، نیروهای برشی کاهش می‌یابند. با افزایش سرعت برشی، دمای ناحیه صفحه برش و دمای ناحیه اصطکاکی براده- ابزار افزایش می‌یابد و این افزایش دما منجر به کاهش تنش جریان برشی در صفحه برش و ناحیه اصطکاکی براده- ابزار می‌شود. همچنین با افزایش سرعت برشی، انتقال حرارت کمتر شده و دمای سطح آزاد ابزار بالا می‌رود. افزایش دما باعث کاهش سختی ابزار شده و با کاهش سختی ابزار، سایش سطح آزاد ابزار زیاد می‌شود. بنابراین در سایش مکانیکی دو عامل متضاد بر سایش تاثیر می‌گذارند. با افزایش سرعت برشی، مقدار نیرو کاهش یافته و سایش را کم می‌کند در حالیکه با افزایش دمای ابزار، سختی ابزار کاهش یافته و مقدار سایش افزایش پیدا می‌کند. در سایش چسبندگی با افزایش سرعت برشی و افزایش دمای براده و سطح ابزار، مقدار چسبندگی افزایش می‌یابد. چسبندگی و ایجاد لبه انباشته در سرعت‌های بالا در شکل ۸ مشاهده می‌شود. همچنین با افزایش سرعت برشی و دما، مقدار سایش نفوذ افزایش می‌یابد [۱۶ و ۱۷]، که اثر برآیند این عوامل مختلف باعث می‌شود با افزایش سرعت برشی، مقدار سایش سطح آزاد ابزار زیاد شود.



الف) پیشروی ۰/۲ میلیمتر بر دور



ب) پیشروی ۰/۳ میلیمتر بر دور



ج) پیشروی ۰/۴ میلیمتر بر دور

Fig. 7. Tool wear rate for different speeds and feeds depending on the distance traveled by the tool

شکل ۷: میزان سایش ابزار برای سرعت‌های مختلف و پیشروی‌های مختلف بر حسب طول مسافت طی شده توسط ابزار

باعث افزایش سایش مکانیکی^۱ خواهد شد. همچنین با افزایش مقدار پیشروی و افزایش نیروی وارد بر لبه ابزار، افزایش تشکیل جوش‌های

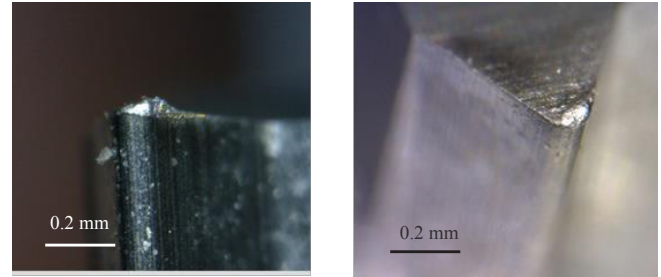
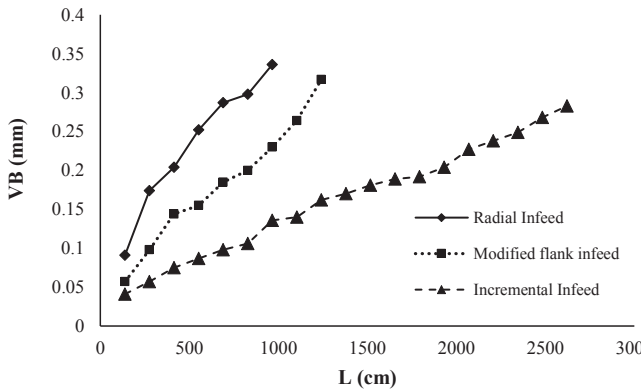


Fig. 8. The formation of a built up edge at a rotational speed of 900 rpm.

شکل ۸: تشکیل لبه انباشته در سرعت دورانی ۹۰۰ دور بر دقیقه

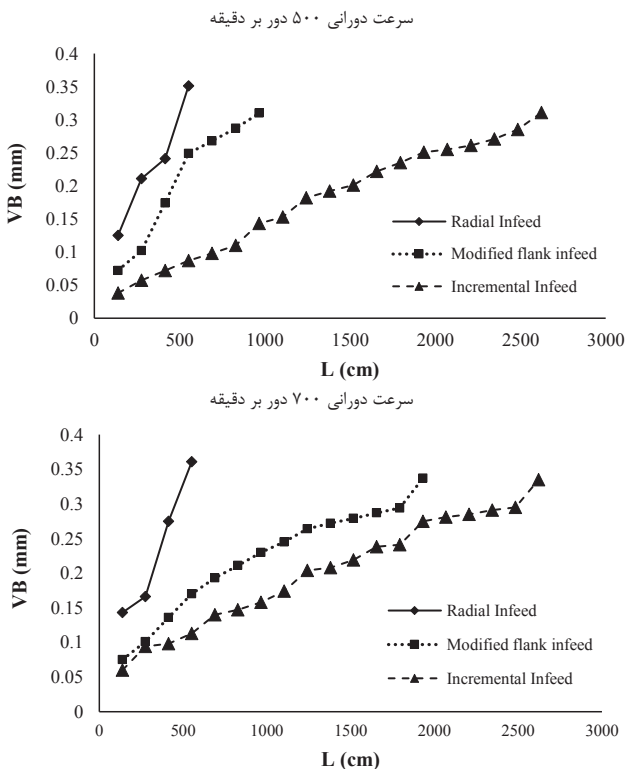


Fig. 9. The amounts of tool wear for different infeed methods at different speeds.

شکل ۹: مقدار سایش برای روش‌های مختلف عمق‌دهی در سرعت‌های مختلف

در نتیجه نیروهای بیشتری را به اینسرت وارد می‌کند همچنین دمای تماس نیز به همین علت نسبت به دو روش عمق‌دهی دیگر بالاتر است، که باعث افزایش سایش نسبت به دو استراتژی دیگر می‌شود.

جهت مقایسه بهتر نتایج درصد افزایش عمر ابزار در روش عمق‌دهی افزایشی و جناحی ۲۸ درجه نسبت به روش عمق‌دهی مستقیم در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل ۱۱ نشان

۳-۲- نتایج حاصل از تغییر روش‌های عمق‌دهی

همانطور که در قسمت (۲-۵- روش‌های عمق‌دهی در رزوه‌زنی) توضیح داده شد، جهت بررسی روش فرزندکاری رزوه از سه روش عمق‌دهی مستقیم، روش عمق‌دهی جناحی با زاویه ۲۸ درجه و روش عمق‌دهی افزایشی استفاده شد. به همین خاطر در سرعت دورانی و سرعت پیشروی ثابت، روش‌های عمق‌دهی مختلف به کار گرفته شد. سپس نتایج حاصل مقایسه و بهینه‌ترین روش عمق‌دهی برای ابزار مشخص گردید. در ادامه نمودارهای مقدار سایش برای روش‌های عمق‌دهی مختلف در شکل ۹ برای سرعت‌های مختلف در پیشروی ۰/۴ میلیمتر بر دور نشان داده شده است.

همانطور که از نمودارهای شکل ۹ مشخص شده است، روش عمق‌دهی افزایشی کمترین سایش ابزار را دارد و پس از آن روش عمق‌دهی جناحی ۲۸ درجه قرار دارد. علت این امر آن است که در روش عمق‌دهی افزایشی در هر پاس رزوه‌زنی لبه درگیر با قطعه‌کار تغییر می‌کند. همین تقسیم درگیری ابزار و قطعه‌کار در دو طرفه لبه برش باعث کاهش تقسیم سایش مکانیکی در دو طرف لبه برنده می‌شود. همچنین به دلیل اینکه حرارت ایجاد شده نیز در دو طرف لبه تقسیم می‌شود، دمای سطح نیز به نسبت روش عمق‌دهی مستقیم کمتر است که همین امر سایش چسبندگی را کاهش می‌دهد. در شکل ۱۰، تصاویر مربوط به سایش سطح آزاد ابزار در دو طرف ابزار در روش عمق‌دهی افزایشی گزارش شده است.

همچنین در روش عمق‌دهی جناحی ۲۸ درجه نیز یک طرف لبه با قطعه‌کار برخوردی ندارد، لذا نیروهای کمتری به ابزار وارد می‌شود که این امر باعث کاهش سایش مکانیکی و دمای قطعه‌کار در روش عمق‌دهی مستقیم شده است. در روش عمق‌دهی مستقیم تمام لبه ابزار در تماس با قطعه‌کار است، که همین امر اصطکاک بیشتر و

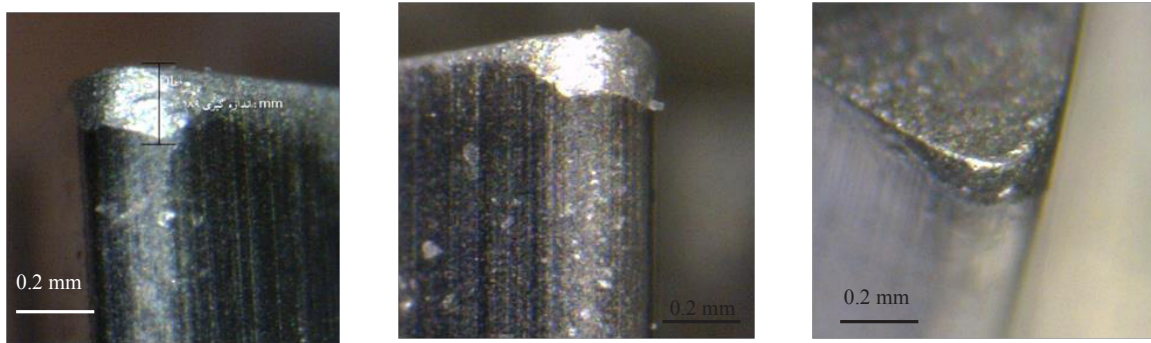


Fig. 10. Extension of tool wears on both sides of tool cutting edge in incremental infeed method.

شکل ۱۰: گسترش سایش در دو طرف لبه برش ابزار در روش عمق‌دهی افزایشی

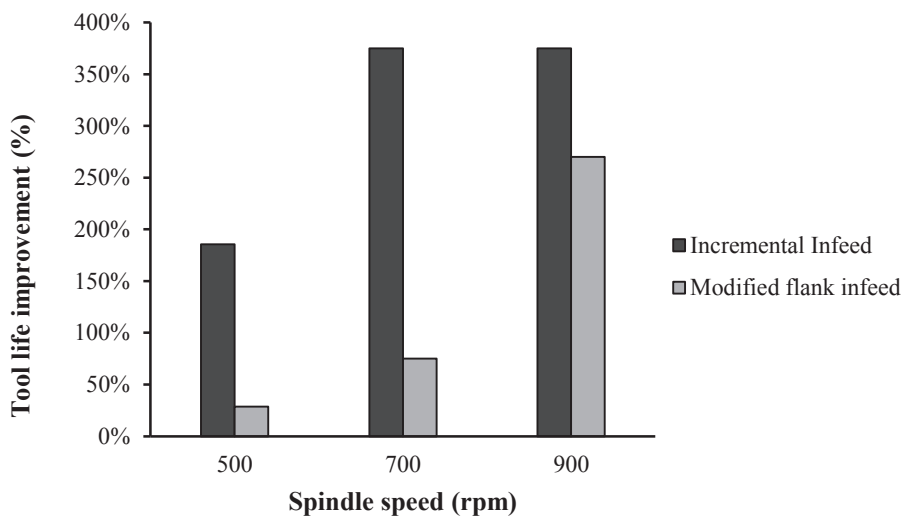


Fig. 11. Percentage of tool life increase over straight infeed method.

شکل ۱۱: درصد افزایش عمر ابزار نسبت به روش عمق‌دهی مستقیم

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تاثیر پارامترهای مختلف ماشینکاری در فرزندکاری رزوه بر روی سایش ابزار در چدن خاکستری مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آزمایش‌های تجربی بر روی چدن خاکستری انجام گرفت. هرکدام از مراحل انجام‌شده، نتایجی داشته که در این جا به بیان آن‌ها پرداخته می‌شود:

- با افزایش میزان پیشروی، میزان سایش افزایش پیدا می‌کند. در سرعت‌های مختلف، بطور متوسط با افزایش پیشروی از مقدار ۰/۲ تا ۰/۴ میلیمتر بر دور، سایش سطح آزاد ابزار حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار پیشروی، نیروهای برشی به دلیل افزایش ضخامت براده تغییر شکل نیافته زیاد می‌شوند، که باعث افزایش سایش مکانیکی و سایش چسبندگی می‌شود.

داده شده است، روش عمق‌دهی افزایشی در سرعت دورانی‌های ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰، به ترتیب حدود ۲، ۴ و ۴ برابر عمر ابزار را نسبت به روش عمق‌دهی مستقیم افزایش می‌دهد، در حالی که روش‌های عمق‌دهی ۲۸ درجه در سرعت دورانی‌های ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۰۰، به ترتیب حدود ۲۵ درصد، ۷۵ و ۲۵۰ درصد عمر ابزار را نسبت به روش عمق‌دهی مستقیم افزایش می‌دهد. علت افزایش درصد عمر روش عمق‌دهی در سرعت‌های بالاتر نشانگر این است که در سرعت‌های بالاتر، عامل اصلی سایش سطح آزاد ابزار، افزایش دما است و مکانیزم غالب سایش، سایش چسبندگی و نفوذ می‌باشد. در نتیجه در هنگام استفاده از روش عمق‌دهی افزایشی و جناحی ۲۸ درجه، چون تماس ابزار با قطعه کار کاهش می‌یابد، اثر افزایش دما کاهش یافته و باعث کاهش سایش و افزایش عمر ابزار می‌گردد.

نسبت به دو روش عمق‌دهی دیگر بالاتر است، که باعث افزایش سایش نسبت به دو روش عمق‌دهی دیگر می‌شود.

۵- فهرست علائم

علائم انگلیسی

F	مقدار پیشروی، mm/rev
D	قطر سوراخ، mm
H	ارتفاع سوراخ، mm
L	طول مسیر حرکت ابزار، mm
N	تعداد ماریچ‌ها
N	سرعت دورانی، rev/min
$pitch$	گام رزوه، mm
V_f	سرعت پیشروی، mm/min

منابع

- [1] H.A. Youssef, H. El-Hofy, Machining technology: machine tools and operations, CRC Press, 2008.
- [2] S.W. Lee, A. Nestler, Simulation-aided design of thread milling cutter, Procedia CIRP, 1 (2012) 120-125.
- [3] S. Elhami, M. Razfar, M. Farahnakian, Experimental study of surface roughness and tool flank wear during hybrid milling, Materials and Manufacturing Processes, 31(7) (2016) 933-940.
- [4] A.C. Araujo, J.L. Silveira, S. Kapoor, Force prediction in thread milling, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 26(1) (2004) 82-88.
- [5] G. Fromentin, G. Poulachon, Modeling of interferences during thread milling operation, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 49(1-4) (2010) 41-51.
- [6] G. Fromentin, V.S. Sharma, G. Poulachon, Y. Paire, R. Brendlen, Effect of thread milling penetration strategies on the dimensional accuracy, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 133(4) (2011) 041014.
- [7] S. Lee, A. Kasten, A. Nestler, Analytic mechanistic cutting force model for thread milling operations, Procedia Cirp, 8 (2013) 546-551.

- با افزایش سرعت دورانی و سرعت برشی، سایش افزایش می‌یابد. در پیشروی‌های مختلف بطور متوسط با افزایش سرعت دورانی از ۵۰۰ تا ۹۰۰ دور بر دقیقه، سایش سطح آزاد ابزار حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت برشی، دمای ناحیه صفحه برش و دمای ناحیه اصطکاکی براده- ابزار افزایش می‌یابد و دمای سطح آزاد ابزار بالا می‌رود. افزایش دما باعث کاهش سختی ابزار شده و با کاهش سختی ابزار، سایش سطح آزاد ابزار زیاد می‌شود. افزایش دما باعث افزایش سایش چسبندگی و سایش نفوذ خواهد شد.

- با افزایش پارامترهای ماشینکاری، به همان نسبت سایش ابزار زیاد نمی‌شود. مقدار سایش و همچنین سهم سایش مکانیکی، سایش چسبندگی و سایش نفوذ با توجه به جنس قطعه‌کار و جنس ابزار متفاوت می‌باشد. به عبارت دیگر، چون سهم مکانیسم‌های سایش با تغییر در پارامترهای ماشینکاری تغییر می‌کند با دوبرابر شدن پارامترهای ماشینکاری به همان نسبت سایش ابزار اضافه نمی‌شود که ازین نتیجه می‌توان برای کمینه‌سازی زمان و هزینه‌های ماشینکاری استفاده نمود.

- روش عمق‌دهی افزایشی در سرعت دورانی‌های مختلف بطور میانگین حدود ۳۰۰ درصد و روش عمق‌دهی ۲۸ درجه بطور میانگین حدود ۱۰۰ درصد عمر ابزار را نسبت به روش عمق‌دهی مستقیم افزایش می‌دهد.

- روش عمق‌دهی افزایشی کمترین سایش ابزار را در بین سه روش عمق‌دهی دارد. علت این امر آن است که در روش عمق‌دهی افزایشی در هر پاس رزوه‌زنی لبه درگیر با قطعه تغییر می‌کند و همین تقسیم سایش در دو طرفه لبه برش و کاهش دمای ابزار، باعث کاهش سایش می‌شود. همچنین روش عمق‌دهی جناحی سایش کمتری نسبت به روش عمق‌دهی مستقیم دارد که علت آن است که لبه ابزار تماس کمتری با قطعه‌کار دارد.

- در روش عمق‌دهی افزایشی، نه‌تنها کاهش درگیری لبه ابزار و قطعه‌کار باعث کاهش سایش ابزار می‌شود، بلکه دیگر مکانیسم‌های سایش همچون چسبندگی و نفوذ نیز کاهش می‌یابد و بطور مضاعف باعث کاهش سایش ابزار می‌شود.

- در روش عمق‌دهی مستقیم تمام لبه ابزار در تماس با قطعه‌کار است، که همین امر اصطکاک بیشتر و در نتیجه نیروهای بیشتری را به اینسرت وارد می‌کند. همچنین دمای تماس نیز به همین علت

- CIRP, 58 (2017) 623-628.
- [13] M. Khajezadeh, M.R. Razfar, FEM and experimental investigation of cutting force during UAT using multicoated inserts, *Materials and Manufacturing Processes*, 30(7) (2015) 858-867.
- [14] <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/threading/thread-turning/pages/how-to-choose-infeed-method-in-thread-turning-operations.aspx>
- [15] International Standard, in: *Tool life testing with single-Point Turning Tools*, ISO, 1993.
- [16] Y. Huang, S.Y. Liang, Modeling of CBN tool flank wear progression in finish hard turning, *J. Manuf. Sci. Eng.*, 126(1) (2004) 98-106.
- [17] M. Farahnakian, S. Elhami, H. Daneshpajooh, M. Razfar, Mechanistic modeling of cutting forces and tool flank wear in the thermally enhanced turning of hardened steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(9-12) (2017) 2969-2983.
- [8] A.C. Araujo, G. Fromentin, G. Poulachon, Analytical and experimental investigations on thread milling forces in titanium alloy, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 67 (2013) 28-34.
- [9] M. Wan, Y. Altintas, Mechanics and dynamics of thread milling process, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 87 (2014) 16-26.
- [10] A.C. Araujo, G.M. Mello, F.G. Cardoso, Thread milling as a manufacturing process for API threaded connection: Geometrical and cutting force analysis, *Journal of Manufacturing Processes*, 18 (2015) 75-83.
- [11] A.M. Khorasani, I. Gibson, M. Goldberg, E.H. Doeven, G. Littlefair, Investigation on the effect of cutting fluid pressure on surface quality measurement in high speed thread milling of brass alloy (C3600) and aluminium alloy (5083), *Measurement*, 82 (2016) 55-63.
- [12] A.C. Araujo, G. Fromentin, Modeling thread milling forces in mini-hole in dental metallic materials, *Procedia*

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

H. Ghogha, S.A. Mosavi, M. Farahnakian, *Experimental investigation of the infeed method and machining parameters on the tool wear during thread milling*. *AmirKabir J. Mech Eng.*, 53(special issue 2) (2021) 1345-1356.

DOI: [10.22060/mej.2020.17105.6512](https://doi.org/10.22060/mej.2020.17105.6512)

