



مطالعه تجربی سایش ابزار و زبری سطح در فرز کاری ماریچ سرعت بالای فولاد D2

نوید ملارمضانی^۱، امیر راستی^۲، محمدحسین صادقی^{۳*}، بهزاد جباری پور^۴، مجتبی رضایی حاجیده^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۴- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران

۵- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران

* تهران، صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵، Sadeghim@modares.ac.ir

چکیده

با توجه به رشد فناوری در چند دهه گذشته، استفاده از فولادهای سخت گسترش یافته است. ماشین کاری این نوع فولادها به دلیل خواص ذاتی آنها، با چالش های زیادی مانند سایش شدید ابزار و افت کیفیت سوراخ همراه است؛ بنابراین، کنترل فرآیند در تولید قطعاتی از جنس این فولادها از اهمیت به سزایی برخوردار است. به همین منظور برای یافت شرایط مطلوب ماشین کاری، در پژوهش حاضر با استفاده از فرآیند فرز کاری ماریچ، بر روی فولاد سخت کاری شده D2 سوراخ هایی ایجاد گردید. فولاد D2 مورد آزمایش، تحت عملیات حرارتی خلأ تا ۵۲ راکول سی سخت گردید. اینسرت های مورد استفاده از نوع کاربیدی با روکش TiCN انتخاب گردیدند. سرعت برشی به عنوان مهم ترین پارامتر روی سایش ابزار در ۵ سطح تغییر داده شد. نرخ پیشروی و عمق برش نیز ثابت و به بزرگی ۰/۰۵ و ۰/۱ تنظیم شدند. هر کدام از آزمایش ها ۴ بار تکرار شد و در مجموع ۲۰ آزمایش انجام گرفت. ماشین کاری در حالت خشک صورت گرفت. خروجی های مورد مطالعه شامل سایش ابزار و زبری سطح سوراخ بودند. سایش ابزار توسط میکروسکوپ ابزار سازی اندازه گیری شد. نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش سرعت برشی در این نوع فولاد سخت، زبری سطح کاهش می یابد؛ اما در مقابل، سایش ابزار به مقدار قابل توجهی افزایش یافت.

کلید واژگان: فرز کاری ماریچ، فولاد سخت، سایش ابزار، زبری سطح

Experimental study of tool wear and surface roughness on high speed helical milling in D2 steel

Navid Molla Ramezani¹, Amir Rasti¹, Mohammad Hossein Sadeghi^{1*}, Behzad Jabbari Pour², Mojtaba Rezaei Hajideh²

1- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University Central Tehran Branch, Tehran, Iran

* P.O.B. 14115-143, Tehran, Iran, Sadeghim@modares.ac.ir

ABSTRACT

Concerning the technology growth in the past few decades, the use of hard steels is expanded. Nevertheless, machining of this alloys Encounter with many challenges such as severe tool abrasion and low hole quality, because of their inherent nature. Therefore, process control directly related to the economy of the parts made of these steels and is important. In order to find optimal conditions for machining, in this study holes were created on the D2 steel by using helical milling process. D2 steel was hardened under vacuum heat treatment to 52 HRC. Carbide inserts with TiCN coating were selected. 5 level of cutting speed was considered as the main parameter affecting the tool wear. Feed rate and the cutting depth were constant at 0.05 and 0.1, respectively. Each of the experiments were repeated 4 times and 32 tests were performed, totally. Milling tests were performed under dry condition. Studied outputs were tool wear and hole surface roughness. Tool wear were measured by tool maker microscopy. The results showed that with increasing cutting speed, surface roughness decrease. In contrast, tool wear increased.

Keywords: Helical milling, Hardened Steel, tool wear, Surface Roughness.

هزینه های ماشین کاری، کاهش زمان، کاهش تعداد ماشین ابزار، کاهش عملیات پرداخت، بهبود سلامت سطح، کاهش عملیات پرداخت، کاهش اعوجاج ناشی از عملیات حرارتی و دستیابی به نرخ بالای براده برداری [۳]. فولادهای سخت در صنایع مختلف از جمله صنایع هوا و فضا، قالب سازی، صنایع حفاری و نیروگاهی کاربرد گسترده ای دارند. برای معرفی فولادهای سخت، تعابیر مختلفی وجود دارد، ولی به طور کلی فولادهای سخت به فولادهایی گفته می شود که بیش از ۴۵ راکول سی سختی داشته باشند [۴]. این فولادها به دلیل سخت بودن، رفتار متفاوتی با فولادهای عادی دارند. از

۱- مقدمه

از انقلاب صنعتی تاکنون، فرآیندهای ماشین کاری به عنوان هسته ساخت و تولید محسوب می گردند که خود شامل زیرمجموعه های گسترده ای از جمله سوراخ کاری می باشند. سوراخ کاری یکی از فرآیندهای اصلی تولید بوده و تا ۳۰ درصد از فرآیند تولید یک قطعه را تشکیل دهد. علاوه بر این، امروزه سوراخ کاری در تولید قطعاتی مانند کامپوزیت ها و مواد سخت کاربرد گسترده ای پیدا کرده است [۲، ۱]. تولید مواد سخت دارای مزایای گوناگونی است که عبارتند از: کاهش

Please cite this article using:

N. Molla Ramezani, A. Rasti, M.H. Sadeghi, B. Jabbari Pour, M. Rezaei Hajideh, Experimental study of tool wear and surface roughness on high speed helical milling in D2 steel, Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference, Vol. 15, No. 13, pp. 198-202, 2015 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

دنگ جیاتکسین و همکاران [۱۲] مکانیسم سایش را بررسی و گزارش کردند که در اثر ماشین کاری فولاد سخت ضدزنگ نیمه آستنیتی، عناصری از ابزار به قطعه کار و بالعکس (از قطعه کار به ابزار) انتقال می یابد. به طوری که با استفاده از EDX مشاهده نمودند، عناصر تنگستن و کبالت از ابزار کاربیدی به فولاد ضدزنگ Cr12Mn5Ni4Mo3Al و همچنین عناصر آهن، کروم، نیکل، منگنز و مولیبدن از فولاد ضدزنگ به ابزار انتقال یافته است. با این وجود، آن ها بیان نمودند که به دلیل این انتقال عناصر، پارامترهایی نظیر نیروها، زبری سطح و سایش ابزار ناپایدار می گردد که این خود موجب کاهش راندمان تولید می گردد.

بررسی های انجام شده نشان می دهد که در سال های اخیر مطالعات گسترده ای بر روی ماشین کاری مواد سخت صورت گرفته است ولی با این وجود، گزارشی در خصوص فرزکاری مارپیچ سرعت بالای فولاد سخت، منتشر نگردیده است. بدین منظور در پژوهش حاضر، فرزکاری مارپیچ بر روی فولاد سخت شده AISI D2 با سختی ۵۲ راکول سی مورد مطالعه تجربی قرار گرفت و سایش ابزار و زبری سطح سوراخ تولیدی در این فرایند بررسی شدند.

۲- آزمایش تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

فولاد AISI D2 به عنوان قطعه کار انتخاب شد. قطعه کار توسط عملیات حرارتی تا 52 ± 2 راکول سی سخت گردید. جهت سخت کاری، از عملیات حرارتی تحت خلأ استفاده شد. این نوع عملیات حرارتی دارای مزایایی نظیر خیز کم در قطعه کار است. با این وجود، پس از عملیات حرارتی به منظور حذف تاب خوردگی، قطعه کار توسط ماشین فرز کف تراشی^۵ شد.

جهت فرزکاری مارپیچ از اینسرت های کاربیدی استفاده گردید. اینسرت ها بر روی ابزارگیر مدل K2-CLC شرکت پرامت قرار گرفت. ابزارگیر و اینسرت مورد استفاده به ترتیب در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. آزمایش های طرح ریزی شده توسط ماشین فرز سی ان سی سه محوره ای مدل FS0 شرکت سی ام ای^۶ انجام گرفت. حداکثر دور و واپاشگر دستگاه به ترتیب ۱۸۰۰۰ دور بر دقیقه و هایندهاین^۷ بودند. برنامه ای ماشین کاری توسط نرم افزار پاورمیل^۸ تهیه گردید و به واپاشگر^۹ دستگاه انتقال یافت. در شکل ۳ نمایی از شرایط آزمایش نشان داده شده است.

جهت اندازه گیری سایش های ایجاد شده در ابزارها از میکروسکوپ ابزارساز^{۱۰} استفاده شد. برای اندازه گیری سایش، اینسرت ها زیر میکروسکوپ

این تفاوت ها می توان به شرایط برش در پیشروی بالا (در محدوده مجاز) و کاهش عملیات پیش برش، اشاره نمود [۵،۴].

ایجاد سوراخ در فولادهای سخت به روش سنتی معمولاً در چندین مرحله صورت می گیرد. به این صورت که قطعه کار در حالت آنیل^۱ سوراخ کاری شده و پس از عملیات حرارتی سخت کاری، در نهایت تحت عملیات پرداخت مانند سنگ زنی قرار می گیرد. روش سنتی علاوه بر زمان بر بودن، هزینه بالاتری را هم به دنبال دارد. در مقابل با استفاده از روش ماشین کاری سخت به عنوان یکی از روش های با عملکرد بالا^۲ می توان قطعه کار سخت شده را به یکباره ماشین کاری کرده و زمان و هزینه تولید را کاهش داد [۶].

امروزه فرزکاری مارپیچ^۳ به عنوان یک فرآیند ماشین کاری با عملکرد بالا شناخته می شود که دارای مزایای منحصربه فردی است. از این مزایا می توان به انعطاف پذیری بالای آن برای تولید سوراخ با قطرهای متفاوت (بدون نیاز به تعویض ابزار)، افزایش عمر ابزار، یکپارچه سازی فرآیند، به حداقل رسانی زمان تولید و افزایش کیفیت تولید اشاره نمود [۸،۷].

فرزکاری مارپیچ در مقایسه با سوراخ کاری معمولی، به علت دارا بودن فضای بیشتر در طول حرکت مارپیچ، تماس کمتری بین ابزار و سطح قطعه کار برقرار می کند که این سایش کمتر ابزار را به دنبال دارد. از این رو استفاده از فرزکاری مارپیچ در ساخت قطعات مورد کاربرد در صنایع مختلف، اعم از هوافضا، نیروگاهی و قالب سازی در حال گسترش است.

ایبر و همکاران [۹]، با استفاده از فرآیندهای مختلف سوراخ کاری و فرزکاری مارپیچ، بر روی فولادهای سخت شرایط برش را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که به دلایل اقتصادی و محیط زیستی، بهتر است فرآیند ماشین کاری در این فولادها در حالت خشک و بدون وجود روان کار صورت گیرد. همچنین آن ها دریافتند که با استفاده از فرزکاری مارپیچ می توان سوراخی با زبری سطح پرداخت تولید نمود که این امر، از به کارگیری عملیات پرداخت کاری مانند برق زنی جلوگیری می کند.

اوکادا و همکارانش [۱۰]، عملکرد ابزارهای برشی مختلف را در فرزکاری سخت^۴ فولادهای سخت کاری شده، مورد مطالعه قرار دادند. آن ها بیان کردند با کنترل سایش ابزار، زبری سطح، نیروهای ماشین کاری و دمای برش می توان عملکرد ماشین کاری را بالا برد. همچنین آن ها دریافتند که ابزارهای برش کاربیدی در مقابل ابزارهای برش برن نیتراید مکعبی سایش ابزار بالاتری دارند و به دنبال آن عمر کوتاه تری خواهند داشت ولی در عوض، ابزارهای کاربیدی با توجه به قیمت مناسب، می توانند زبری سطح مطلوبی را ایجاد نمایند. علاوه بر این آن ها بیان کردند، با کاهش سایش می توان نتیجه گرفت که دمای حاصل بین ابزار و قطعه کار حالت ثابتی دارد که این ثبات، خود سبب جلوگیری از شوک حرارتی می شود. این به گونه ای است که این شوک های حرارتی به دلیل ایجاد میکرو ترک ها، اثر نامطلوبی در شکست ناگهانی ابزار می گذارد.

الیورا و همکارانش [۱۱]، بر روی هندسه ابزارهای ماشین کاری مطالعه کردند و مشاهده نمودند با افزایش زوایا، سایش ابزار بیشتر می شود. با این وجود، آن ها دلیل این موضوع را به ضعیف شدن ابزار مربوط دانستند و همچنین بیان کردند، با کنترل سایش ابزار می توان عمر ابزار و نهایتاً هزینه های تولید را تحت کنترل قرارداد.



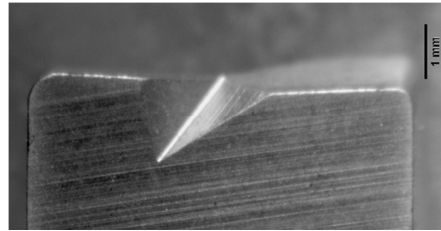
شکل ۱ ابزارگیر مورد استفاده در آزمایش

5. Face milling
6. CME
7. Heidenhain
8. Powermill
9. Controllor
10 Tool Maker

1. Annealing
2. High performance
3. Helical Milling
4. Hard Milling

جدول ۱ پارامترهای متغیر آزمایش به همراه خروجی‌های اندازه‌گیری شده

ردیف	سرعت برشی m/min	نرخ پیشروی mm/tooth	عمق برش mm	سایش ابزار mm	زبری سطح μm
۱	۵۰			۰/۰۸۸	۰/۸۴۱
۲	۱۰۰			۰/۱۰۳	۰/۷۲۰
۳	۱۵۰	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۱۱	۰/۶۸۹
۴	۲۰۰			۰/۱۸۰	۰/۶۷۰
۵	۲۵۰			۰/۲۰۰	۰/۵۷۶



شکل ۲ اینسرت مورد استفاده در آزمایش

۳-۱- سایش ابزار

سایش لبه آزاد برای پیش‌بینی عمر و پایداری ابزار ترجیح دارد. به همین جهت، در پژوهش حاضر سایش لبه‌ی آزاد اندازه‌گیری گردید. به دلیل کاهش تماس ابزار با قطعه کار سایش کمی در فرآیند فرزکاری مارپیچ مشاهده گردید. با این وجود، مقادیر سایش در جدول ۱ و شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش سرعت برشی، سایش ابزار بالا می‌رود. سایش ابزار از ۰/۰۸۸ میکرومتر تا ۰/۲۰۰ میکرومتر متغیر بود. زمانی که سرعت برشی از ۵۰ متر بر دقیقه به ۲۵۰ متر بر دقیقه رسید، سایش ابزار بیش از ۲۲۸ درصد افزایش یافت.

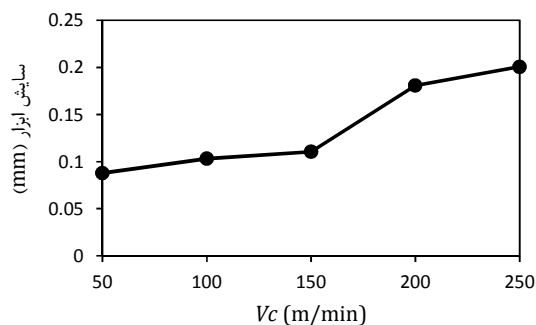
سرعت برشی و دمای ماشین‌کاری دو دلیل اصلی برای سایش ابزار محسوب می‌شوند. با افزایش سرعت برشی نیروی ماشین‌کاری بر روی نوک ابزار متمرکز شده و همچنین دمای برش افزایش می‌یابد. از طرفی، با بالا رفتن نیرو و دما در ناحیه‌ی بین ابزار و قطعه کار، ابزار کمی نرم‌تر شده و امکان ایجاد تغییر شکل پلاستیک را بیشتر می‌کند که در نتیجه سایش ابزار افزایش می‌یابد.

علاوه بر این با افزایش سرعت برشی، نرخ براده‌برداری در واحد زمان^۲ افزایش می‌یابد که این خود موجب بیشتر شدن درگیری ابزار با قطعه کار شده و در نهایت سبب افزایش شدید سایش می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است نرخ افزایش سایش تا سرعت ۱۵۰ متر بر دقیقه تقریباً خطی است ولی از این سرعت به بعد، به دلیل افزایش بیش‌ازحد دمای برش، سایش به مقدار قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. سایش اینسرت‌های برشی در شکل نشان ۵ نشان داده شده است.

اما با این وجود، به دلیل کم بودن سایش ابزار در فرآیند فرزکاری مارپیچ، عمر ابزار به‌اندازه قابل‌توجهی افزایش می‌یابد که این امر سبب افزایش طول ماشین‌کاری می‌گردد و در واقع می‌توان با این روش، تعداد سوراخ‌های تولیدی را افزایش داد.

۳-۲- زبری سطح

زبری سطح یکی از پارامترهای اساسی در تعیین کیفیت سطح و طول عمر



شکل ۴ سایش ابزار در سرعت‌های برشی متفاوت برحسب میلی‌متر



شکل ۳ نمایی از مواد و تجهیزات آزمایش فرزکاری مارپیچ

قرار گرفتند و با استفاده از نرم‌افزار، اندازه سایش لبه آزاد اندازه‌گیری گردید. ابتدا منحنی لبه ساییده شده مشخص گردید و سپس با تعیین فاصله منحنی (خط عمود بر منحنی) مقادیر سایش‌ها مشخص شد.

همچنین برای اندازه‌گیری زبری سطح از دستگاه زبری سنج ماهر مدل PS1 استفاده گردید. زبری سطح براساس معیار Ra گزارش گردید که برابر با انتگرال منحنی زبری به‌دست آمده در طول اندازه‌گیری شده است. زبری سطح هر سوراخ در سه نقطه اندازه‌گیری شد و میانگین این سه عدد به‌عنوان زبری سطح عنوان گردید.

۳-۲- روش انجام آزمایش

با توجه به آزمایش‌های اولیه و پیشینه پژوهش، سرعت‌های دورانی در پنج سطح از ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه در نظر گرفته شدند. سرعت‌های برشی محاسبه شده در جدول ۱ نشان داده شده است. نرخ پیشروی و عمق برش ثابت و به ترتیب برابر با ۰/۰۵ میلی‌متر بر دندانه و ۰/۱ میلی‌متر بودند. هر آزمایش چهار بار تکرار شد و در مجموع ۲۰ آزمایش صورت گرفت. آزمایش‌های انجام شده فرزکاری مارپیچ بر روی فولاد سخت AISI D2 با ضخامت ۱۲ میلی‌متر انجام گرفت. آزمایش‌ها به دلایل اقتصادی و محیط زیستی در حالت خشک انجام شد. سوراخ‌کاری به روش فرزکاری مارپیچ و بدون هرگونه عملیات پیش‌متنه‌زی صورت گرفت. قطر ابزارها ۸ میلی‌متر بود که با آن‌ها سوراخ‌هایی به قطر ۱۰/۵ میلی‌متر ایجاد گردید. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌ها توسط نرم‌افزار مینیتب^{۱۶} تحلیل شد.

۳- نتایج و بحث

خروجی‌های مورد اندازه‌گیری سایش ابزار، زبری سطح بودند که در ادامه هر کدام از این خروجی‌ها به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

و ۰/۸۴۱ میکرومتر به دست آمد. به گونه‌ای که با افزایش سرعت برشی از ۵۰ متر بر دقیقه به ۲۵۰ متر بر دقیقه زبری سطح بیش از ۴۸ درصد بهبود یافت. شکل ۶ نشان‌دهنده زبری سطح در سرعت‌های برشی متفاوت است.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش فرآیند فرزکاری مارپیچ با سرعت‌های برشی متفاوت در فولاد سخت AISI D2 با سختی ۵۲ راکول سی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش به صورت خلاصه در ادامه آمده است:

۱. با افزایش سرعت برشی، سایش ابزار تا ۱۵۰ متر بر دقیقه روند نسبتاً ثابتی دارد اما از این سرعت به بعد به دلیل افزایش شدید دمای برش، سایش ابزار به مقدار چشمگیری افزایش می‌یابد.

۲. با افزایش سرعت برشی، زبری سطح حاصل از سوراخ تولیدی به دلیل کاهش اصطکاک بین ابزار و سطح ماشین‌کاری شده، افزایش می‌یابد. بهترین مقدار سایش در سرعت برشی ۲۵۰ متر بر دقیقه و برابر ۰/۵۷۶ میکرومتر به دست آمد.

۳. با افزایش سرعت برشی زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری کاهش می‌یابد ولی در عوض از عمر ابزار (سایش ابزار) کاسته می‌شود. لذا با توجه به روابط موجود بین سرعت برشی با عمر قلم باید مقدار بهینه‌ای برای سرعت برشی انتخاب گردد.

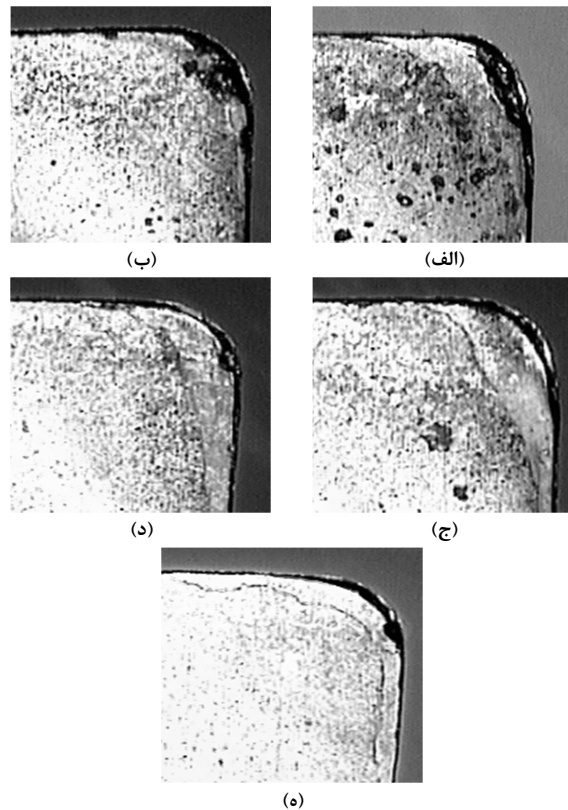
۴. بهینه‌ترین شرایط برش (از نظر سایش، زبری) در فرزکاری مارپیچ فولاد سخت AISI D2 در سرعت ۱۵۰ متر بر دقیقه حاصل می‌گردد. به گونه‌ای که در این سرعت برشی در عین زبری سطح مطلوب می‌توان به سایش ابزار قبولی دست یافت.

۵. با استفاده از فرآیند جدید فرزکاری مارپیچ، می‌توان سوراخ‌های با سایش پایین و کیفیتی بالاتر ایجاد نمود.

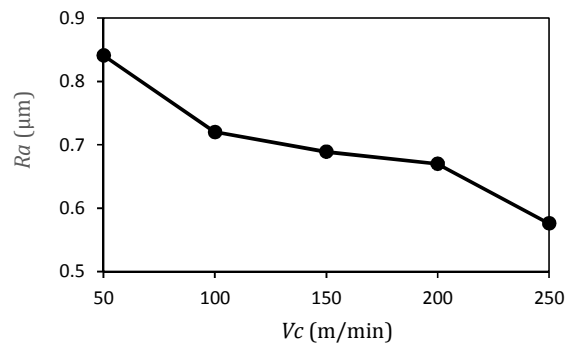
۶. زبری سطح سوراخ تولیدی به وسیله فرآیند فرزکاری مارپیچ در حدی است که نیاز به استفاده از فرایندهای پرداخت را از بین می‌برد.

۵- مراجع

- [1] Rao, R. Venkata. *Advanced modeling and optimization of manufacturing processes: international research and development*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [2] Tönshoff, H. K. W. Spintig, W. König, and A. Neises, Machining of holes developments in drilling technology, *CIRP Annals-Manufacturing Technology* 43, No. 2, pp. 551-561, 1994.
- [3] Aslan, E., Experimental investigation of cutting tool performance in high speed cutting of hardened X210 Cr12 cold-work tool steel (62 HRC), *Materials & design* 26.1, pp. 21-27, (2005)
- [4] Davim, J. Paulo, ed. *Machining of hard materials*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [5] Koshy, P. R. C. Dewes, and D. K. Aspinwall, High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (~ 58 HRC), *Journal of Materials Processing Technology* 127, No. 2, pp. 266-273, 2002.
- [6] Vila, Carlos, Hector R. Siller, Ciro A. Rodriguez, Gracia M. Bruscas, and Julio Serrano, Economical and technological study of surface grinding versus face milling in hardened AISI D3 steel machining operations, *International Journal of Production Economics* 138, No. 2, pp. 273-283, 2012.
- [7] Grzesik, Wit. *Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications*. Elsevier, 2008.
- [8] M.H.Saadatbakhsh, A.Rasti, M.H.Sadeghi, H.Hassanpour, A.R.Omidodman, Compare and study of hole quality characteristics in helical milling and conventional drilling, *Modares Mechanical Engineering* Vol. 14, No. 16, pp. 332-338, 2015. (In Persian)
- [9] Iyer, R. P. Koshy, and E. Ng, Helical milling: an enabling technology for hard machining precision holes in AISI D2 tool steel, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 47, No. 2, pp. 205-210, 2007.
- [10] Okada, Masato, Akira Hosokawa, Ryutaro Tanaka, and Takashi Ueda, Cutting performance of PVD-coated carbide and CBN tools in hardmilling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 51, No. 2, pp. 127-132, 2011.



شکل ۵ سایش اینسرت‌ها در سرعت‌های برشی (الف) ۲۵۰ متر بر دقیقه (ب) ۲۰۰ متر بر دقیقه (ج) ۱۵۰ متر بر دقیقه (د) ۱۰۰ متر بر دقیقه (ه) ۵۰ متر بر دقیقه



شکل ۶ زبری سطح حاصل از سوراخ‌ها در سرعت‌های برشی متفاوت برحسب میکرومتر

یک محصول هست. دلیل این امر اثرگذاری زبری سطح بر عمر قطعات تحت بار دینامیکی است، به طوری که قطعات دارای زبری سطح بالا به دلیل افزایش تمرکز تنش و احتمال ایجاد ترک در سطح قطعه، طول عمر کمتری خواهند داشت. زبری سطح در هر سوراخ در سه موقعیت متفاوت اندازه‌گیری شد و مقدار میانگین گزارش گردید.

با افزایش سرعت برشی، زبری سوراخ تولیدی (برخلاف سایش)، بهبود می‌یابد. این موضوع را می‌توان به دلیل اصطکاک کم بین ابزار و سطح ماشین‌کاری شده و تغییر شکل پلاستیکی بهتر دانست. لازم به ذکر است، با افزایش سرعت برشی، زبری سطح بهبود یافته و به مقدار زبری سطح تئوری نزدیک می‌شود. بهترین و بدترین زبری سطح به ترتیب برابر ۰/۵۷۶ میکرومتر

[12] Jianxin, Deng, Zhou Jiantou, Zhang Hui, and Yan Pei, Wear mechanisms of cemented carbide tools in dry cutting of precipitation hardening semi-austenitic stainless steels, *Wear* 270, No. 7, pp. 520-527, 2011.

[11] Olvera, David, Luis Norberto López de Lacalle, Gorka Urbikain, A. Lamikiz, P. Rodal, and I. Zamakona, Hole making using ball helical milling on titanium alloys, *Machining Science and Technology* 16, No. 2, pp. 173-188, 2012