Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۲۸۵-۲۹۰

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران
Society of Manufacturing Engineering of Iran

دانشگاه تربیت مدرس

تاثیر روش‌های ایجاد سوراخ بر نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح

هادی ایمانی[۱]، نوید ملارمضانی[۱]، محمد حسین صادقی[۲]، امیر راستی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۲- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
۳- دانشجوی دکتری ، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس
* تهران، صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵، sadeghim@modares.ac.ir

چکیده

سوراخ‌کاری به دلیل کاربرد بسیار در صنایع هوافضا، نفت گاز و صنایع نظامی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ به‌طوری‌که در بعضی از کشورهای صنعتی نزدیک به نیمی از ماشین‌کاری‌های صورت گرفته بر قطعات را تشکیل می‌دهد. برای ایجاد سوراخ روش‌های متنوعی وجود دارد که هرکدام در نوع براده‌برداری و درگیری ابزار با یکدیگر متفاوت هستند که سبب تأثیر بر بسیاری از پارامترهای متأثر از ماشین‌کاری مانند زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری می‌شود. به همین منظور در این پژوهش، تأثیر چهار روش سوراخ‌کاری شامل فرزکاری مارپیچ، فرزکاری پروفایل، سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش مته بر میزان نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مسیر حرکت ابزار تأثیر به سزای بر میزان نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح دارد به‌طوری‌که فرزکاری مارپیچ کمترین میزان زبری سطح و فرزکاری پروفایل کمترین میزان نیروی ماشین‌کاری را در بین روش‌های ایجاد سوراخ داشتند. در بین تمامی پارامترهای ماشین‌کاری سرعت برشی تنها پارامتر ماشین‌کاری بود که اثر مثبت بر زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری داشت. سوراخ‌کاری با پیش مته به دلیل درگیر نبودن نوک ابزار در براده‌برداری باعث ارتعاش ابزار و افزایش زبری سطح سوراخ می‌شود.

کلید واژگان: نیروی ماشین‌کاری، زبری سطح، روش‌های ایجاد سوراخ، فولاد ابزار AISI D2

The Effect of Hole Making Method on Cutting Force and Surface Roughness

Hadi imani, Navid Mollaramezani, Mohamad Hossein Sadeghi*, Amir Rasti

Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
* P.O.B. 123456789 Tehran, Iran, sadeghim@modares.ac.ir

ABSTRACT

Hole making because of its wide applications in aerospace, oil,gas and defense industry is very important. So that in some industrialized countries, nearly half of the machining processes on the workpieces are hole making processes. There are variety of way to making holes, each on the type of material removal and interaction of tool with workpiece are diffrent that could impact on many machining parameters like surface roughness and cutting force. Therefore, in this paper the effects of four hole making methods includes helical milling, profile milling, drilling and drilling with predrilling on the cutting force and surface roughness is investigated. The results showed that the tool path has significant impact on the cutting force and surface roughness. So that helical milling has the least amount of surface roughness and profile milling has the least amount of cutting force among the hole making methods. Among all machining parameters cutting speed was the only parameter that had a positive effect on surface roughness and cutting force. Hole making with predrilling because the tool nose is not involved in material removal may result in viberation of tool and increasement in surface roughness of hole.

Keywords: Cutiing Force, Surface Roughness, Hole Making Method, AISI D2 Tool Steel.

۱- مقدمه

نیاز روزافزون صنعت به قطعات پیچیده و دقیق سبب گسترش تکنولوژی‌های جدید طراحی و ساخت گردیده است. مهم‌ترین هدف در ساخت یک قطعه رسیدن به کیفیت و دقت مطلوب با کمترین هزینه است. از این‌رو بیشتر مهندسان به دنبال استفاده از روش‌های نوین برای تولید این نوع قطعات هستند. لذا انتخاب استراتژی‌های مناسب مسیر ابزار تأثیر بسیار زیادی بر کاهش زمان تولیدی، نیروهای ماشین‌کاری، کیفیت و یکپارچگی سطح قطعات و به‌طورکلی هزینه و راندمان ماشین‌کاری دارد [۱]. سوراخ‌کاری یکی از فرایندهای مهم ماشین‌کاری به شمار می‌آید به‌طوری‌که در بعضی از کشورها بالغبر ۵۰ درصد از کل ماشین‌کاری‌های صورت گرفته بر قطعات را تشکیل می‌دهد [۲]. برای ایجاد سوراخ باکیفیت و دقت بالا روش‌های متنوعی وجود دارد که هرکدام در نحوه چرخش و حرکت ابزار با یکدیگر متفاوت هستند. این امر سبب تمایز در درگیری ابزار و قطعه‌کار، خروج براده و نیروهای ماشین‌کاری می‌شود. برای تولید قطعات با عملکرد مطلوب تنها در نظر گرفتن نوع روش تولید کافی نیست ، بلکه اصلاح ترکیب و بافت سطوح (کار شده یا کار نشده) قطعه‌کار نیز موردنیاز است. سه مطلب مهم عمر خستگی، خواص یاتاقانی و فرسودگی باعث می‌شوند تا کنترل بافت سطح اهمیت پیدا کند. بافت سطح مهم‌ترین مشخصه از سلامت سطح است که از سه فاکتور زبری سطح، اعوجاج و پروفیل سطح تشکیل شده است [۳]. زبری سطح تأثیر بسیاری بر روی ایجاد و رشد ترک و به‌طور کل مقاومت به خستگی قطعه‌کار دارد. در واقع دره‌های ریزی که در سطوح ماشین‌کاری شده ایجاد می‌شوند، باعث تمرکز تنش در این نقاط و رشد ترک می‌شوند [۴].

عامل اصلی برداشت براده در فرایندهای ماشین‌کاری سنتی، نیروی برشی است. در بسیاری از فرایندهای ماشین‌کاری، نیروی برشی در سه

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

H. imani, N. Mollaramezani, M.H. Sadeghi, A. Rasti, The Effect of Hole Making Method on Cutting Force and Surface Roughness, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 285-290, 2015 (in Persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID

راستای X,Y و Z به قطعه‌کار وارد می‌شود. در سوراخ‌کاری مهم‌ترین نیروی ماشین‌کاری نیروی محوری است. نیروی ماشین‌کاری یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر مشخصه‌های کیفیت سطح از جمله تلرانس ابعادی و هندسی است [۵]. از این‌رو نیاز است تا برای افزایش کیفیت سطح یک قطعه، نیروهای وارده به آن در فرایند ماشین‌کاری را کاهش داد.

در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری برای بهینه کردن پارامترها برش و نوع فرایند ماشین‌کاری انجام شده است. نتایج به‌دست آمده در این بررسی‌ها نشان می‌دهد که تأثیر هر یک از این عوامل در هر فرایند ماشین‌کاری متفاوت بوده و وابسته به نوع فرایند ماشین‌کاری است. در ادامه به چند مورد از بررسی‌های صورت گرفته در این زمینه اشاره خواهیم کرد.

لی و لیو [۶] به مطالعه و زبری سطح در ایجاد سوراخ به کمک فرآیند فرزکاری مارپیچ پرداختند و نتیجه گرفتند که نتایج شبیه‌سازی با حالت تجربی تطابق داشته و نشان می‌دهد یک وابستگی غیرخطی میان زبری سطح و نرخ پیشروی وجود دارد که هرگاه پیشروی کمتری انتخاب شود، کیفیت سطح بهتری حاصل خواهد شد. همچنین افزایش نسبت قطر ابزار به‌اندازه قطر سوراخ در فرزکاری مارپیچ باعث کوتاه‌تر شدن مسیر ابزار و بهبودی حداقلی زبری سطح می‌شود ولی کاهش قطر ابزار باعث بدتر شدن زبری سطح سوراخ شده است.

حایان و همکاران [۷] در تحلیل نیروی ماشین‌کاری در فرزکاری مارپیچ پی بردند که با افزایش سرعت برشی ، نیروی برشی به‌صورت غیرخطی کاهش پیدا می‌کند ولی افزایش پیشروی و عمق برش باعث افزایش خطی نیروی محوری می‌شود. امید دودمان و همکاران [۵] در مطالعه اثر سختی قطعه‌کار بر زبری سطح و نیروی برشی در فرایند سوراخ‌کاری فهمیدند که با افزایش میزان پیشروی نیروی ماشین‌کاری به‌شدت افزایش پیدا می‌کند که دلیل اصلی این افزایش را بیشتر شدن نرخ براده برداری و سطح درگیری ابزار با قطعه‌کار دانستند. در همین تحقیق آن‌ها ذکر نمودند که افزایش سرعت برشی باعث کاهش زبری سطح می‌شود. این بهبود زبری سطح را می‌توان ناشی از کاهش نیروی برش به‌واسطه افزایش درجه حرارت و کاهش تماس براده به سطح ماشین‌کاری شده سوراخ در سرعت‌های برشی بالاتر دانست.

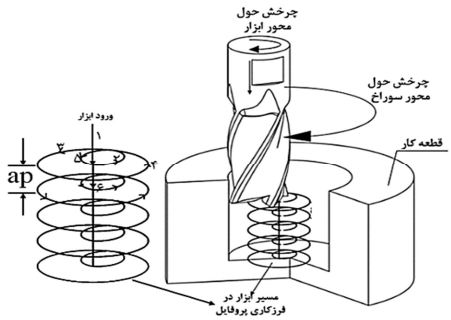
شاو ژان و همکاران [۸] اثر زاویه لبه اصلی برش ابزار بر نیروی ماشین‌کاری در فرزکاری مارپیچ را بررسی کردند. نتایج آزمایش آن‌ها نشان داد، نیروی محوری در فرز مارپیچی می‌تواند به‌طور مؤثر با افزایش زاویه لبه اصلی برش ابزار کاهش یابد. آن‌ها متذکر شدند که انتخاب بهینه زاویه لبه اصلی برش منجر به افزایش گام مسیر ابزار و کاهش نیروی ماشین‌کاری خواهد شد که سبب افزایش بهره‌وری فرایند می‌شود. هی جیان و همکاران [۹] در یک مطالعه تجربی بر روی سوراخ‌کاری تیتانیوم با استفاده از فرزکاری مارپیچ پی بردند که افزایش سرعت برشی باعث کاهش سطح تماس بین ابزار و قطعه‌کار شده و تمرکز تنش و تغییر شکل براده و را کاهش می‌دهد که این عمل منجر به کاهش نیروی ماشین‌کاری می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش سرعت برشی، درجه حرارت منطقه برش نیز افزایش پیدا کرده و سبب نرم شدن ماده می‌شود، در نتیجه نیروی ماشین‌کاری کاهش پیدا می‌کند.

سعادت‌بخش و همکاران [۱۰] در یک بررسی تجربی به مقایسه فرزکاری مارپیچ و سوراخ‌کاری سنتی پرداختند. آن‌ها دریافتند براده حاصل از فرزکاری مارپیچ منفصل بوده و به دلیل خارج از مرکز بودن ابزار فضای بیشتری برای خروج دارد، در نتیجه تماس کمتری با دیواره سوراخ خواهد داشت اما براده در سوراخ‌کاری سنتی به‌صورت پیوسته است و تنها راه خروج آن شیار مارپیچ مته است که در هنگام خروج با دیواره سوراخ برخورد کرده و باعث خراش دیواره سوراخ می‌شود. همچنین به دلیل نرخ براده‌برداری و سطح درگیری کمتر ابزار و قطعه‌کار در روش فرزکاری مارپیچ نسبت به سوراخ‌کاری معمولی، نیروی ماشین کاهش ۱۲۰ برابری داشته است. اوربیکن و همکاران [۱۱] در بررسی روش‌های ایجاد سوراخ نتیجه گرفتند که مقادیر زبری سطح به‌دست‌آمده در فرزکاری مارپیچ کمتر از سوراخ‌کاری بوده است. کمترین مقدار به‌دست آمده در فرزکاری مارپیچ مقدار ۰/۶۱ میکرومتر بوده است.

امروزه برای بررسی و کنترل زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری روش‌های متنوعی صورت می‌گیرد که یکی از این روش‌ها، روش تجربی است. در این روش پس از انجام آزمایش‌های تجربی، به بررسی دلایل و عوامل مؤثر بر فاکتورها مورد بررسی پرداخته می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی تجربی تأثیر روش‌های ایجاد سوراخ بر زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری روی فولاد ابزار AISI D2 است. برای انجام آزمایش‌ها از روش فاکتوریل کامل استفاده شد که قابلیت اطمینان بالاتری نسبت به روش‌های دیگر دارد. به‌همین منظور پارامترهای ماشین‌کاری سرعت برشی، سرعت پیشروی و عمق برش به‌عنوان متغیرهای آزمایش انتخاب گردید.

۲- تجهیزات و نحوه انجام آزمایش

برای بررسی روش‌های ایجاد سوراخ از چهار روش سوراخ‌کاری فرزکاری مارپیچ، فرزکاری پروفایل، سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش مته استفاده شد. روش‌های ذکرشده هرکدام در مسیر حرکت ابزار و نوع ابزار استفاده شده با یکدیگر متفاوت هستند که این تفاوت باعث تأثیر بر کیفیت و دقت سوراخ می‌شود. در شکل ۱ تا شکل ۳ نحوه ایجاد سوراخ به‌وسیله این چهار روش مورد بررسی نشان داده شده است. ماده استفاده شده در این تحقیق، فولاد ابزار AISI D2 با سختی ۵۵ راکول‌سی[1] است. این فولاد از نوع پرکربن و پرکروم است که مقاومت خوبی در برابر سایش و سختی دارد. برای افزایش سختی، قطعه کار فولادی با ابعاد ۱۰×۱۰۰×۲۰۰ تحت عملیات حرارتی سخت‌کاری قرار گرفت. به‌منظور انجام آزمایش‌ها از تیغچه فرز انگشتی باروکش TiAlN به قطر ۶ میلی‌متر برای فرزکاری مارپیچ و پروفایل و از مته کاربایدی روکش TiN با قطر ۱۰ برای دو روش دیگر استفاده گردید. آزمایش‌ها توسط فرز سی‌ان‌سی[2] ۳ محوره مدل VMC850 با کنترلر فانوک[3] و حداکثر دور ۸۰۰۰ RPM انجام شد. جهت اندازه‌گیری نیروهای ماشین‌کاری در سه راستای Y،X و Z از دینامومتر کیستلر۴ مدل ۹۲۵۵B استفاده شد. اندازه‌گیری زبری سطح داخلی سوراخ در دو راستا و براساس معیار *Ra* توسط

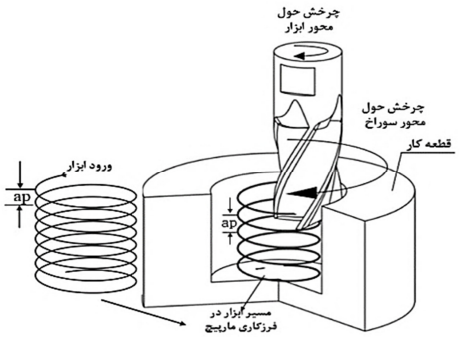


شکل ۱ شماتیک فرزکاری پروفایل و مسیر ابزار

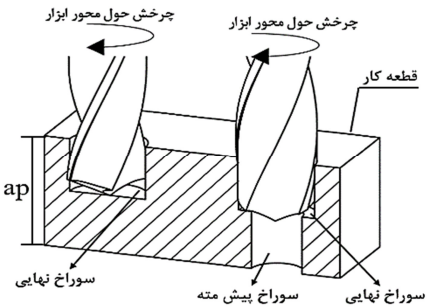
1. Rockwell C
2. CNC
3. Fanuc
4. Kistler

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ شماتیک فرزکاری مارپیچ و مسیر ابزار



شکل ۳ شماتیک سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش مته

جدول ۱ پارامترهای مورد بررسی و سطوح آن

استراتژی	فاکتورها	سطوح		
		۱	۲	۳
فرزکاری مارپیچ و پروفایل	سرعت برشی (V_c) (m/min)	۳۰	۷۰	۱۱۰
	پیشروی (f_z) (mm/tooth)	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷
	عمق برش محوری (a_p) (mm)	۰/۱۵	۰/۳	–
سوراخ‌کاری با پیش مته و بدون پیش مته	سرعت برشی (V_c) (m/min)	۱۰	۲۰	۳۰
	پیشروی (f_z) (mm/tooth)	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵

دستگاه زبری‌سنج ماهر[1] مدل PS1 انجام گردید. مطالعه تحقیقات صورت گرفته در زمینه کیفیت سطح نشان می‌دهد که پارامترهای ماشین‌کاری تأثیر بسیاری بر روی زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری دارد [۱۲]. لذا در پژوهش سه پارامتر ماشین‌کاری سرعت برشی، سرعت پیشروی و عمق برش برای فرزکاری مارپیچ و پروفایل و همچنین دو پارامتر سرعت برشی و سرعت پیشروی برای دو روش سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش مته در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها به روش فاکتوریل کامل صورت گرفت و در مجموع ۵۴ آزمایش طرح‌ریزی شد. مقادیر و تعداد سطوح هر فاکتور در جدول ۱ نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

در این قسمت، بررسی و مقایسه زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری چهار روش سوراخ‌های ذکر شده صورت می‌گیرد. قابل ذکر است که جدول مقادیر نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح به‌دست‌آمده از دو روش فرزکاری مارپیچ و پروفایل به علت یکسان نبودن پارامترهای ماشین‌کاری و طراحی آزمایش، به‌صورت جدا از دو روش دیگر ارائه شده است.

۳-۱- تحلیل نیرو

مقادیر نیروی ماشین‌کاری به‌دست آمده در روش فرزکاری مارپیچ و پروفایل در جدول ۲ نشان داده شده است. در هر چهار روش به دلیل ناچیز بودن نیروی ماشین‌کاری در راستای شعاعی، تنها نیرو در راستای محور ابزار به‌عنوان نیروی اصلی ماشین‌کاری در نظر گرفته شد. مقادیر نیروی ماشین-کاری ذکر شده در جدول ۲ و جدول ۳ میانگین نیروی ماشین‌کاری اندازه‌گیری شده در طول زمان ماشین‌کاری است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقادیر نیروی ماشین‌کاری به‌دست آمده در روش فرزکاری پروفایل کمتر از فرزکاری مارپیچ است. از آن‌جایی‌که تمامی پارامترهای ماشین‌کاری و نوع ابزار استفاده شده در دو روش یکسان است، اختلاف در نیروی ماشین‌کاری می‌تواند ناشی از تفاوت در مسیر ابزار باشد. در واقع مسیر ابزار تعیین کننده نحوه درگیری و براده برداری ابزار است.

مقادیر نیروی ماشین‌کاری به‌دست آمده در روش فرزکاری مارپیچ و پروفایل در جدول ۲ نشان داده شده است. در هر چهار روش به دلیل ناچیز بودن نیروی ماشین‌کاری در راستای شعاعی، تنها نیرو در راستای محور ابزار به‌عنوان نیروی اصلی ماشین‌کاری در نظر گرفته شد. مقادیر نیروی ماشین-کاری ذکر شده در جدول ۲ و جدول ۳ میانگین نیروی ماشین‌کاری اندازه‌گیری شده در طول زمان ماشین‌کاری است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقادیر نیروی ماشین‌کاری به‌دست آمده در روش فرزکاری پروفایل کمتر از فرزکاری مارپیچ است. از آن‌جایی‌که تمامی پارامترهای ماشین‌کاری و نوع ابزار استفاده شده در دو روش یکسان است، اختلاف در نیروی ماشین‌کاری می‌تواند ناشی از تفاوت در مسیر ابزار باشد. در واقع مسیر ابزار تعیین کننده نحوه درگیری و براده‌برداری ابزار است.

جدول ۲ طراحی آزمایش و مقادیر سطوح در روش فرزکاری مارپیچ (HM) و پروفایل (PM)

Test No	Vc	fz	ap	F(N)		Ra(μm)	
				HM	PM	HM	PM
۱	۳۰	۰/۰۳	۰/۱۵	۸۱/۱	۳۴/۰۸	۰/۹۷	۰/۸۹
۲	۷۰	۰/۰۳	۰/۱۵	۷۰/۶۹	۲۲/۸۹	۰/۶۴	۰/۵۸
۳	۱۱۰	۰/۰۳	۰/۱۵	۴۷/۵	۱۱/۶	۰/۴۱	۰/۴۲
۴	۳۰	۰/۰۵	۰/۱۵	۱۵۰	۵۶/۴۲	۰/۵۵	۰/۴۳
۵	۷۰	۰/۰۵	۰/۱۵	۱۱۰	۴۲/۰۹	۰/۴۷	۰/۳۵
۶	۱۱۰	۰/۰۵	۰/۱۵	۱۰۴/۲	۲۰/۴۲	۰/۳۳	۰/۲۵
۷	۳۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۱۷۴/۳	۷۹/۹۷	۰/۶۷	۰/۷۳
۸	۷۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۱۳۰/۹	۶۷/۵	۰/۷۱	۰/۶۹
۹	۱۱۰	۰/۰۷	۰/۱۵	۱۲۱/۳	۲۵/۶	۰/۵۳	۰/۴۷
۱۰	۳۰	۰/۰۳	۰/۳	۹۸/۲۱	۶۱/۳۹	۱/۴۶	۱/۵۲
۱۱	۷۰	۰/۰۳	۰/۳	۸۰/۲۶	۳۴/۴	۱/۱۵	۱/۲۸
۱۲	۱۱۰	۰.۰۳	۰/۳	۶۶/۶۱	۲۱	۰/۸۵	۱/۰۲
۱۳	۳۰	۰/۰۵	۰/۳	۱۹۰	۷۲/۲۴	۰/۹۹	۰/۷۴
۱۴	۷۰	۰/۰۵	۰/۳	۱۳۵/۳	۵۷/۲۹	۰/۸۶	۰/۷۲
۱۵	۱۱۰	۰/۰۵	۰/۳	۱۱۲/۲	۳۱/۲۲	۰/۸۴	۰/۶۸
۱۶	۳۰	۰/۰۷	۰/۳	۳۴۷	۱۲۳/۷	۱/۳۳	۱/۵۴
۱۷	۷۰	۰/۰۷	۰/۳	۲۶۱/۹	۹۷/۱۴	۱/۲۳	۱/۱۷
۱۸	۱۱۰	۰/۰۷	۰/۳	۱۵۶/۷	۴۵	۱/۳۷	۱/۱۲

1. Mahr

www.SID.ir

Archive of SID

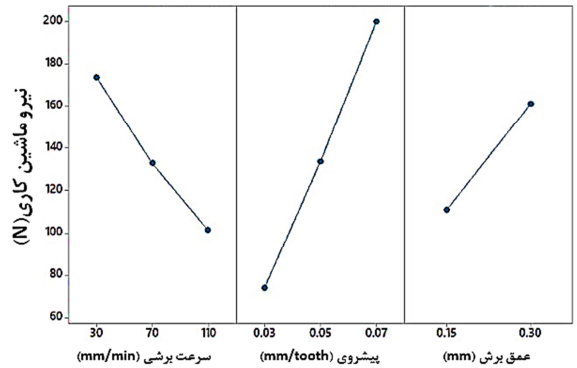
در شکل۴ و شکل ۵، تاثیرات تغییر سه پارامتر سرعت برشی، پیشروی و عمق برش بر میزان نیروی ماشین‌کاری در دو فرایند فرزکاری مارپیچ و پروفایل نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات سرعت برشی باعث کاهش نیروی ماشین‌کاری شده است. دلیل این امر، افزایش دمای منطقه برش با افزایش سرعت برشی است که باعث نرم شدن ماده و جدا شدن راحت براده از قطعه‌کار می‌شود. براساس سینماتیک فرایند فرزکاری مارپیچ و پروفایل، افزایش عمق برش سبب افزایش گام محوری مسیر ابزار می‌شود. در واقع افزایش عمق برش سبب کمتر شدن میزان حلقه‌های گام شده و مسیر ابزار را از حالت مایل به مستقیم تبدیل می‌کند. افزایش پیشروی در هر دو فرایند فرزکاری مارپیچ و پروفایل سبب افزایش درگیری ابزار و قطعه کار می‌شود که باعث افزایش نیروی ماشین‌کاری می‌شود با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که نیروی ماشین‌کاری در سوراخ‌کاری با پیش مته کمتر از سوراخ‌کاری معمولی است. پرواضح است که دلیل اصلی این امر کمتر بودن نرخ براده‌برداری بر واحد زمان در سوراخ‌کاری با پیش‌مته نسبت به سوراخ‌کاری معمولی است. در واقع پیش مته‌زنی سبب کاهش حجم براده برداشته شده از قطعه‌کار می‌شود. در سوراخ‌کاری معمولی و با پیش مته برخلاف دو روش دیگر تماس بین ابزار و قطعه کار به‌صورت پیوسته بوده و مکانیسم براده برداری مانند شخم‌زنی است [۱۰]. به همین دلیل، مقادیر نیروهای ماشین‌کاری به‌دست آمده در روش سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش مته خیلی بیشتر از دو روش فرزکاری مارپیچ و پروفایل است. شکل ۶ و شکل ۷، تأثیر دو پارامتر سرعت برشی و سرعت پیشروی بر نیروی ماشین‌کاری در فرایندهای سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش مته را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش پیشروی سبب افزایش نیروی ماشین‌کاری در هر دو روش شده است که دلیل آن را می‌توان افزایش سطح درگیری ابزار و قطعه کار و نرخ براده برداری دانست. در ابتدا افزایش سرعت برشی باعث نرم شدن و کاهش تنش تسلیم فولاد به دلیل افزایش دمای منطقه برش می‌شود؛ اما رفته رفته افزایش سرعت برشی باعث چسبنده شدن فولاد و تشکیل لبه انباشته در لبه ابزار و کند شدن آن می‌شود. لبه انباشته در هنگام تشکیل، عمل برش را به‌جای لبه ابزار انجام می‌دهد که این عمل باعث افزایش نیروهای ماشین‌کاری می‌شود.

۳-۲- زبری سطح

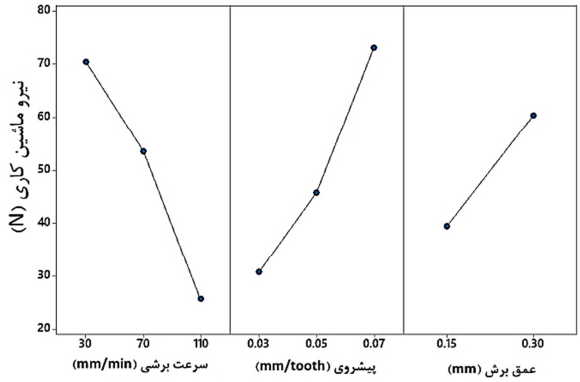
مقادیر زبری سطح به‌دست‌آمده در روش‌های فرزکاری مارپیچ و پروفایل در جدول ۲ نشان داده شده است. قابل مشاهده است که زبری سطح به‌دست آمده در هر دو روش، تفاوت بسیاری با یکدیگر ندارند اما نسبت به دو روش سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش مته تفاوت چشمگیری مشاهده می‌شود. در روش فرزکاری مارپیچ و پروفایل به دلیل تشکیل براده‌های کوچک و منفصل و همچنین به دلیل خارج از مرکز بودن مسیر حرکت ابزار، براده‌های تشکیل شده با سطح داخلی سوراخ برخورد نکرده و به‌راحتی از آن خارج می‌شود. در حالی تنها راه خروج براده‌های تشکیل‌شده در سوراخ‌کاری، شیار مارپیچ ابزار است. این براده‌ها هنگام خروج از سوراخ با سطح داخلی آن برخورد کرده و باعث ایجاد خراش روی سطح داخلی سوراخ می‌شوند. در شکل ۸ و شکل ۹، مشاهده می‌شود که افزایش سرعت برشی باعث کاهش زبری سطح در هر دو روش فرزکاری پروفایل و مارپیچ شده است. همان‌طور که قبلاً گفته شد افزایش سرعت برشی باعث کاهش نیروی ماشین‌کاری و ارتعاش ابزار می‌شود و به پایداری فرایند کمک می‌کند که کاهش زبری سطح می‌شود؛ از طرفی افزایش سرعت برشی باعث جلوگیری از تشکیل لبه انباشته شده و صافی سطح سوراخ را افزایش می‌دهد. با افزایش پیشروی مشاهده می‌شود که ابتدا زبری سطح کاهش و سپس افزایش پیدا کرده است. در ابتدا به دلیل وجود نیروی شخم‌زنی در پیشروی‌های پایین، زبری سطح افزایش پیدا کرده است ولی با افزایش پیشروی نیروی شخم‌زنی از بین رفته و زبری سطح کاهش پیدا می‌کند. در پیشروی‌های بالا به دلیل ازدیاد ضخامت براده نتراشیده شده و افزایش نیروهای وارده به ابزار، زبری سطح افزایش پیدا می‌کند. تأثیر عمق برش در هر دو روش فرزکاری مارپیچ و فرزکاری پروفایل مشابه بوده و باعث افزایش زبری سطح شده است.

جدول ۳ طراحی آزمایش و مقادیر سطوح در سوراخ‌کاری (D) و سوراخ‌کاری با پیش مته (PD)

Test No	Vc	fz	F(N)		Ra(μm)	
			D	PD	D	PD
۱	۱۰	۰/۰۱	۴۵۸	۲۹۲	۰/۸۷۹	۱/۴۹
۲	۱۰	۰/۰۳	۸۱۸	۳۷۰	۰/۹۹۸	۱/۳۸
۳	۱۰	۰/۰۵	۱۲۱۵	۵۴۲/۲	۱/۰۳۸	۱/۵۵
۴	۲۰	۰/۰۱	۱۸۰/۸	۱۵۶/۲	۰/۶۸۳	۰/۹۲۴
۵	۲۰	۰/۰۳	۴۰۴	۲۵۳/۳	۰/۷۳۷	۱/۰۰۴
۶	۲۰	۰/۰۵	۷۹۰	۳۱۲	۰/۹۱۱	۱/۱۳۱
۷	۳۰	۰/۰۱	۲۶۴	۱۱۲	۰/۵۶۵	۱/۲۷۳
۸	۳۰	۰/۰۳	۶۶۹	۱۵۲/۷	۰/۶۸۴	۱/۷۳۵
۹	۳۰	۰/۰۵	۹۰۰	۲۰۲/۴	۰/۸۶۵	۱/۹۲۹



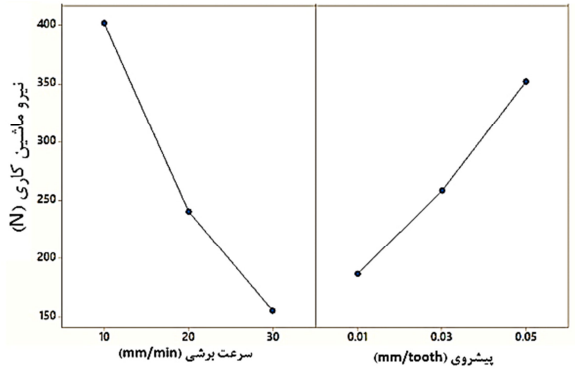
شکل ۴ تأثیر پارامترهای برش بر نیروی ماشین‌کاری در فرزکاری مارپیچ



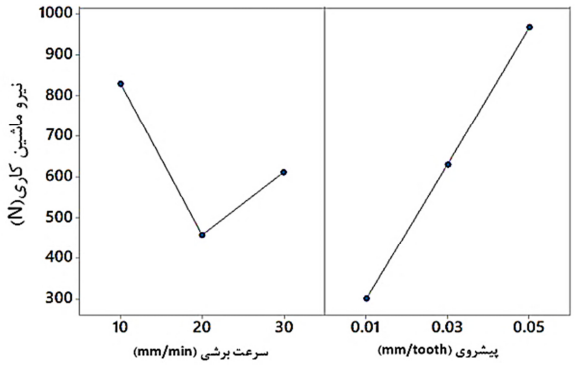
شکل ۵ تأثیر پارامترهای برش بر نیروی ماشین‌کاری در فرزکاری پروفایل

www.SID.ir

Archive of SID

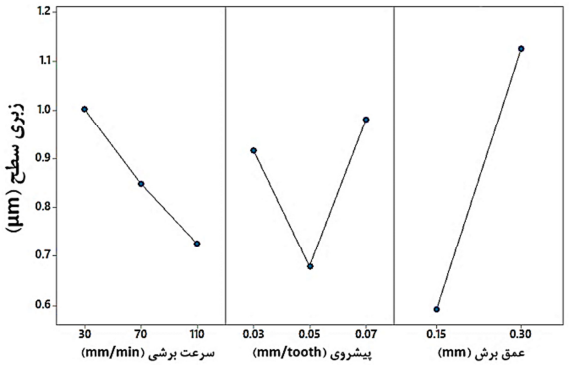


شکل ۶ تأثیر پارامترهای برش بر نیروی ماشین‌کاری در سوراخ‌کاری معمولی

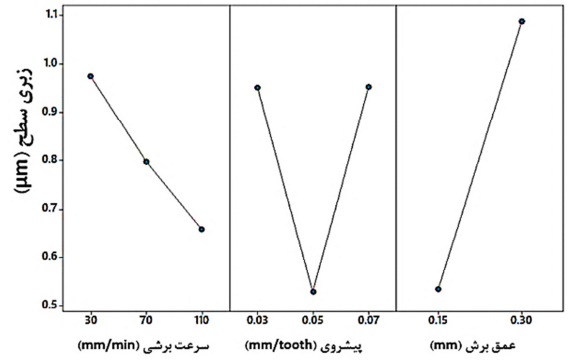


شکل ۷ تأثیر پارامترهای برش بر نیروی ماشین‌کاری در سوراخ‌کاری با پیش مته

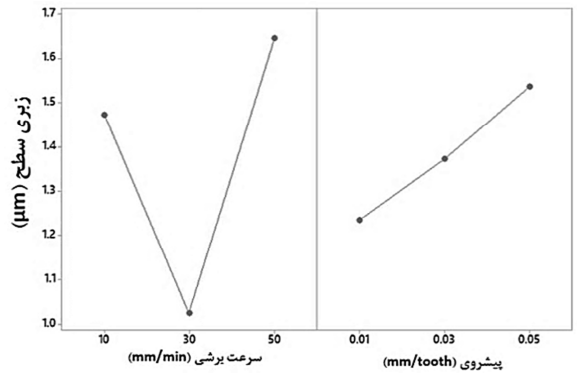
نتیجه‌گیری



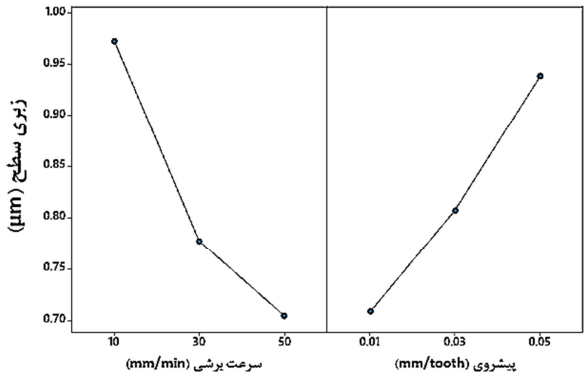
شکل ۸ تأثیر پارامترهای برش بر زبری سطح در فرزکاری مارپیچ



شکل ۹ تأثیر پارامترهای برش بر زبری سطح در فرزکاری پروفایل



شکل ۱۰ تأثیر پارامترهای برش بر زبری سطح در سوراخ‌کاری با پیش مته



شکل ۱۱ تأثیر پارامترهای برش بر زبری سطح در سوراخ‌کاری معمول

شکل ۱۰ و شکل ۱۱، تاثیر پارمترهای برشی بر زبری سطح سوراخ در روش سوراخ کاری معمولی و با پیش مته را نشان می‌دهند. در سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش مته مشاهده می‌شود که افزایش سرعت برشی سبب کاهش زبری سطح شده است اما در سوراخ‌کاری با پیش مته زبری سطح در سرعت‌های برشی بالا افزایش پیدا کرده است. در حالت پیش مته‌زنی شروع باربرداری با لبه اصلی ابزار صورت می‌گیرد درحالی‌که در سوراخ‌کاری معمولی نوک ابزار شروع کننده باربرداری است. شروع باربرداری با لبه اصلی ابزار باعث می‌شود تا لبه ابزار تحت شوک‌های مکانیکی و سایش شدید قرار گیرد و فرایند را از حالت پایداری خارج کند که باعث افزایش زبری سطح می‌شود. افزایش پیشروی نیز باعث افزایش زبری سطح شده است که دلیل آن نیز همانند دو روش دیگر، افزایش براده تغییر شکل نیافته با افزایش پیشروی دانست.

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مقایسه ۴ روش ایجاد سوراخ بر میزان زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری روی فولاد AISI D2 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش به‌صورت خلاصه در ادامه آمده است.

۱- مسیر حرکت ابزار نقش مهمی در تغییرات میزان نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح داشته به‌طوری‌که فرزکاری مارپیچ و پروفایل کمترین میزان نیروی برشی و زبری سطح در بین روش‌ها داشته‌اند.

۲- از بین تمامی پارامترهای ماشین‌کاری مورد بررسی، سرعت برشی بیشترین تأثیر در تمامی روش‌ها بر میزان نیروی ماشین‌کاری و سرعت برشی داشته است

۳- پیش مته‌زنی به دلیل در سوراخ‌کاری به دلیل کاهش نرخ براده‌برداری

www.SID.ir

Archive of SID

باعث کاهش نیروی ماشین‌کاری می‌شود ولی زبری سطح سوراخ را به دلیل افزایش سایش و ارتعاش ابزار افزایش می‌دهد.

۵- مراجع

[1] C. Toh, Cutter path orientations when high-speed finish milling inclined hardened steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* Vol. 27, No. 5-6, pp. 473-480, 2006.

[2] R. Haber-Haber, R. Haber, M. Schmittdiel, R. M. del Toro, A classic solution for the control of a high-performance drilling process, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 47, No. 15, pp. 2290-2297, 2007.

[3] J. F. W. Galyer, C. R. Shotbolt, *Metrology for engineers*: Cassell, 1990.

[4] M. Hardy, C. Herbert, J. Kwong, W. Li, D. Axinte, A. Sharman, A. Encinas-Oropesa, P. Withers, Characterising the integrity of machined surfaces in a powder nickel alloy used in aircraft engines, *Procedia CIRP,* Vol. 13, pp. 411-416, 2014.

[5] A. R. Omiddodman, H. Hassanpour, M. H. Sadeghi, A. Rasti, M. H. Saadatbakhsh, EVALUATION OF WORKPIECE HARDNESS AND CUTTING PARAMETERS EFFECTS ON CUTTING FORCE AND SURFACE ROUGHNESS IN DRILLING USING VEGETABLE-BASED CUTTING FLUID, *Modares Mechanical Engineering*, 2015. (in persian)

[6] Z. Li, Q. Liu, Surface topography and roughness in hole-making by helical milling, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* Vol. 66, No. 9-12, pp. 1415-1425, 2013.

[7] W. Haiyan, Q. Xuda, L. Hao, R. Chengzu, Analysis of cutting forces in helical milling of carbon fiber–reinforced plastics, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture,* Vol. 227, No. 1, pp. 62-74, 2013.

[8] S. Zhang, R. H. Shi, X. G. Liang, Y. X. Hu, Z. Q. Yao, H. Z. Zhang, The Effect of Axial Cutting Edge Angle on the Axial Milling Force of Helical Milling, in *Proceeding of,* Trans Tech Publ, pp. 1723-1728.

[9] G. He, H. Li, Y. Jiang, X. Qin, X. Zhang, Y. Guan, Helical milling of CFRP/Ti-6Al-4V stacks with varying machining parameters, *Transactions of Tianjin University,* Vol. 21, pp. 56-63, 2015.

[10] A. R. M. H. S. M. H. Saadatbakhsh, H. Hassanpour, A. R. Omiddodman, 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)

[11] G. Urbicain, D. Olvera, L. L. de Lacalle, I. Zamakona, P. Rodal, New Strategies For Hole Making In Ti-6Al-4V, in *Proceeding of,* AIP Publishing, pp. 361-369.

[12] I. Korkut, K. Yavuz, Y. Turgut, An experimental investigation into the machinability of GGG-70 grade spheroidal graphite cast iron, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences,* Vol. 16, No. 2, pp. 116, 2009.

www.SID.ir