



تأثیر 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 ۱۴۳-۱۴۵، ۰۰۱۱۵، sadeghim@modares.ac.ir

چکیده

سوراخ کاری به دلیل کاربرد بسیار در صنایع هواپیما، نفت گاز و صنایع نظامی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ به طوری که در بعضی از کشورهای صنعتی تزدیک به نیمی از ماشین‌کاری‌های صورت گرفته بر قطعات را تشکیل می‌دهد. برای ایجاد سوراخ روش‌های متعدد وجود دارد که هر کدام در نوع برآورده‌داری 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 سوراخ کاری شامل فرزکاری ماربیچ، فرزکاری پروفایل، سوراخ کاری معمولی و سوراخ کاری با پیش مته بر میزان نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح مرکز ابزار تأثیر به سزای بر میزان نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح دارد به طوری که فرزکاری ماربیچ کمترین میزان زبری سطح و فرزکاری پروفایل کمترین میزان نیروی ماشین‌کاری را در بین روش‌های ایجاد سوراخ داشتند. در بین تمامی پارامترهای ماشین‌کاری سرعت برخش تنها پارامتر ماشین‌کاری بود که اثر مثبت بر زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری داشت. سوراخ کاری با پیش مته به دلیل درگیر نبودن نوک ابزار در برآورده‌داری 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: Cutting Force, Surface Roughness, Hole Making Method, AISI D2 Tool Steel.

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 مومندانه 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 به طور کل مقاومت به خستگی قطعه کار دارد. در واقع درهای ریزی که در سطوح ماشین‌کاری شده ایجاد می‌شوند، باعث تمرک نتش در این نقاط و رشد ترک می‌شوند [۴]. عامل اصلی برداشت براده در فرایندهای ماشین‌کاری سنتی، نیروی برخشی است. در بسیاری از فرایندهای ماشین‌کاری، نیروی برخشی در سه

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 استراتئی‌های مناسب مسیر ابزار تأثیر بسیار زیادی بر کاهش زمان تولیدی، نیروهای ماشین‌کاری، کیفیت و یکپارچگی سطح قطعات و به طور کلی هزینه و راندمان ماشین‌کاری دارد [۱]. سوراخ کاری یکی از فرایندهای مهم ماشین‌کاری به شمار می‌آید به طوری که در بعضی از کشورها بالغ بر ۵۰ درصد از کل ماشین‌کاری‌های صورت گرفته بر قطعات را تشکیل می‌دهد [۲]. برای ایجاد سوراخ باکیفیت و دقت بالا روش‌های متعدد وجود دارد که هر کدام در نحوه چرخش و حرکت ابزار با یکدیگر متفاوت

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)

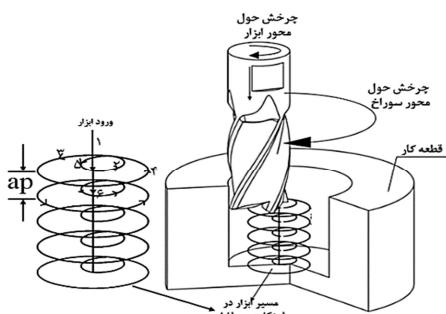
برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

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 عمومی، نیروی ماشین کاهش ۱۲۰ برابر داشته است. اوربیکن و همکاران [۱۱] در بررسی روش‌های ایجاد سوراخ نتیجه گرفتند که مقادیر زبری سطح به دست آمده در فرزکاری مارپیچ کمتر از سوراخ‌کاری بوده است. کمترین مقدار به دست 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 تحریی است. در این روش پس از انجام آزمایش‌های تحریی، به بررسی دلایل و عوامل مؤثر بر فاکتورها مورد بررسی پرداخته می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی تحریی 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 سنت به روش‌های دیگر دارد. به همین منظور پارامترهای ماشین‌کاری سرعت برشی، سرعت پیشروی و عمق برش به عنوان متغیرهای آزمایش انتخاب گردید.

۲- تجهیزات و نحوه انجام آزمایش

برای بررسی روش‌های ایجاد سوراخ از چهار روش سوراخ‌کاری فرزکاری مارپیچ، فرزکاری پروفائل، سوراخ‌کاری عمومی و سوراخ‌کاری با پیش مته استفاده شد. روش‌های ذکر شده هر کدام در مسیر حرکت ابزار و نوع ابزار استفاده شده با یکدیگر متفاوت هستند که این نقاوت باعث تأثیر بر کیفیت و دقت سوراخ می‌شود. در شکل ۱ تا شکل ۳ نحوه ایجاد سوراخ به وسیله این چهار روش مورد بررسی نشان داده شده است. ماده استفاده شده در این تحقیق، فولاد ابزار AISI D2 با سختی ۵۵ راکول سی^۱ 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 $100 \times 100 \times 200$ تحت عملیات حرارتی سخت کاری قرار گرفت. به منظور انجام آزمایش‌ها از تیغچه فرز انگشتی با روکش TiAlN به قطر ۶ میلی‌متر برای فرزکاری مارپیچ و پروفائل و از مته کاربایدی روکش TiN با قطر ۱۰ برای دو روش دیگر استفاده گردید. آزمایش‌ها توسط فرز سیانسی^۲ محوپر مدل VMC850 با کنترلر فانوک^۳ و حداقل دور ۸۰۰۰ RPM انجام شد. جهت اندازه‌گیری نیروهای ماشین‌کاری در سه راستای Y, Z و X از دینامومتر کیستلر^۴ مدل ۹۲۵۵B استفاده شد. اندازه‌گیری زبری سطح داخلی سوراخ در دو راستا و براساس معیار Ra توسط



شکل ۱ شماتیک فرزکاری پروفائل و مسیر ابزار

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

راستای Y, X 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 ترانس ابعادی و هندسی است [۵]. از این‌رو نیاز است تا برای افزایش کیفیت سطح یک قطعه، نیروهای وارد به آن در فرایند ماشین‌کاری را کاهش داد.

در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری برای بهینه کردن پارامترها بر شرکت فرایند ماشین‌کاری انجام شده است. نتایج به دست 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 فرایند فرزکاری مارپیچ پرداختند و نتیجه گرفتند که نتایج شبیه‌سازی با حالت تحریی تطابق داشته و نشان می‌دهد یک واپس‌گردی 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 به اندازه 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 برند که با افزایش سرعت برشی، نیروی برشی به صورت 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 به شدت 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 به واسطه 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 به طور 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 برند که افزایش سرعت برشی باعث کاهش سطح تماس بین ابزار و قطعه‌کار شده و تمرکز تنفس 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 به صورت پیوسته است و تنها راه خروج آن شیار مارپیچ

به علت یکسان نبودن پارامترهای ماشین‌کاری و طراحی آزمایش، به صورت جدا از دو روش دیگر ارائه شده است.

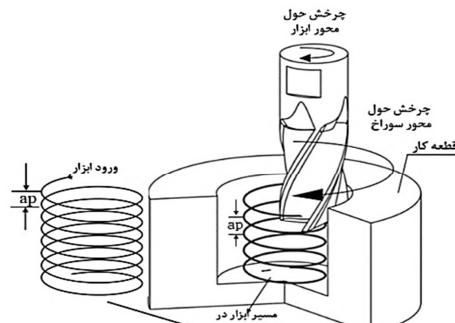
۱-۳- تحلیل تیرو

مقادیر نیروی ماشین‌کاری بدست 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 به عنوان نیروی اصلی ماشین‌کاری در نظر گرفته شد. مقادیر نیروی ماشین‌کاری 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 بدست آمده در روش فرزکاری پروفایل کمتر از فرزکاری مارپیچ است. از آن‌جایی که 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 برآرد برداری ابزار است.

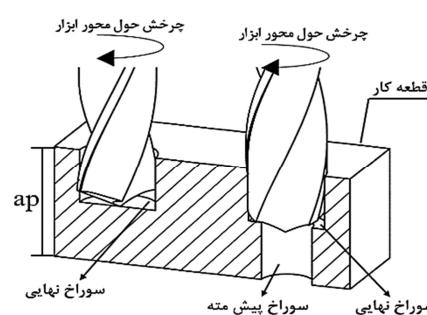
مقادیر نیروی ماشین‌کاری بدست آمده در روش فرزکاری مارپیچ و پروفایل در جدول ۲ نشان داده شده است. در هر چهار روش به دلیل ناچیز بودن نیروی ماشین‌کاری در راستای شعاعی، تنها نیرو در راستای محور ابزار به عنوان نیروی اصلی ماشین‌کاری در نظر گرفته شد. مقادیر نیروی ماشین‌کاری ذکر شده در جدول ۲ و جدول ۳ میانگین نیروی ماشین‌کاری اندازه‌گیری شده در طول زمان ماشین‌کاری است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقادیر نیروی ماشین‌کاری بدست آمده در روش فرزکاری پروفایل کمتر از فرزکاری مارپیچ است. از آن‌جایی که 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 برآرد برداری ابزار است.

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

PM	Ra(µm)		F(N)		ap	fz	Vc	Test No
	HM	PM	HM	PM				
0/۸۹	0/۹۷	۳۴/۰۸	۸۱/۱	۰/۱۵	۰/۰۳	۳۰		۱
0/۵۸	0/۶۴	۲۲/۸۹	۷۰/۶۹	۰/۱۵	۰/۰۳	۷۰		۲
0/۴۲	0/۴۱	۱۱/۶	۴۷/۵	۰/۱۵	۰/۰۳	۱۱۰		۳
0/۴۳	0/۵۵	۵۶/۴۲	۱۵۰	۰/۱۵	۰/۰۵	۳۰		۴
0/۳۵	0/۴۷	۴۲/۰۹	۱۱۰	۰/۱۵	۰/۰۵	۷۰		۵
0/۲۵	0/۳۳	۲۰/۴۲	۱۰۴/۲	۰/۱۵	۰/۰۵	۱۱۰		۶
0/۷۳	0/۶۷	۷۹/۹۷	۱۷۴/۳	۰/۱۵	۰/۰۷	۳۰		۷
0/۶۹	0/۷۱	۶۷/۵	۱۳۰/۹	۰/۱۵	۰/۰۷	۷۰		۸
0/۴۷	0/۵۳	۲۵/۶	۱۲۱/۳	۰/۱۵	۰/۰۷	۱۱۰		۹
۱/۵۲	۱/۴۶	۶۱/۳۹	۹۸/۲۱	۰/۳	۰/۰۳	۳۰		۱۰
۱/۲۸	۱/۱۵	۳۴/۴	۸۰/۲۶	۰/۳	۰/۰۳	۷۰		۱۱
۱/۰۲	۰/۸۵	۲۱	۶۶/۶۱	۰/۳	۰/۰۳	۱۱۰		۱۲
۰/۷۴	۰/۹۹	۷۲/۲۴	۱۹۰	۰/۳	۰/۰۵	۳۰		۱۳
۰/۷۲	۰/۸۶	۵۷/۲۹	۱۳۵/۳	۰/۳	۰/۰۵	۷۰		۱۴
۰/۶۸	۰/۸۴	۳۱/۲۲	۱۱۲/۲	۰/۳	۰/۰۵	۱۱۰		۱۵
۱/۵۴	۱/۳۳	۱۲۳/۷	۳۴۷	۰/۳	۰/۰۷	۳۰		۱۶
۱/۱۷	۱/۲۳	۹۷/۱۴	۲۶۱/۹	۰/۳	۰/۰۷	۷۰		۱۷
۱/۱۲	۱/۳۷	۴۵	۱۵۶/۷	۰/۳	۰/۰۷	۱۱۰		۱۸



شکل ۲ شماتیک فرزکاری مارپیچ و مسیر ابزار



شکل ۳ شماتیک سوراخ کاری معمولی و سوراخ کاری با پیش متنه

جدول ۱ پارامترهای مورد بررسی و سطوح آن

استراتژی	فاکتورها			سطوح
	۳	۲	۱	
فرزکاری مارپیچ و پروفایل	سرعت برنشی (V_c) (m/min)	۳۰	۷۰	۱۱۰
	پیشروی (f_z) (mm/tooth)	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷
	عمق برنشی محوری (ap) (mm)	۰/۱۵	۰/۱۵	-
سوراخ کاری با پیش متنه و بدون پیش متنه	سرعت برنشی (V_c) (m/min)	۱۰	۲۰	۳۰
	پیشروی (f_z) (mm/tooth)	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵
	پیش متنه			

دستگاه زبری سنج ماهر^۱ 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 برنشی، سرعت پیشروی و عمق برنشی برای فرزکاری مارپیچ و پروفایل و همچنین دو پارامتر سرعت برنشی و سرعت پیشروی برای دو روش سوراخ کاری معمولی و سوراخ کاری با پیش متنه 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

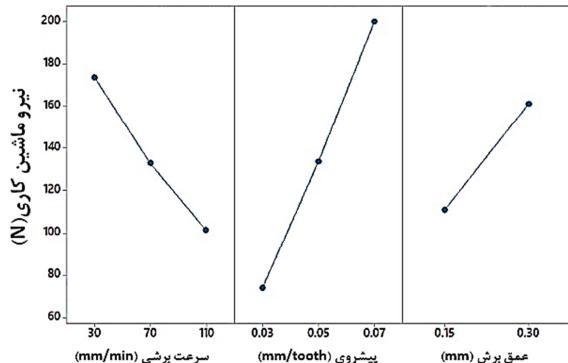
در این قسمت، بررسی و مقایسه زبری سطح و نیروی ماشین‌کاری چهار روش سوراخ‌های ذکر شده صورت می‌گیرد. قابل ذکر است که جدول مقادیر نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح بدست آمده از دو روش فرزکاری مارپیچ و پروفایل

1. Mahr

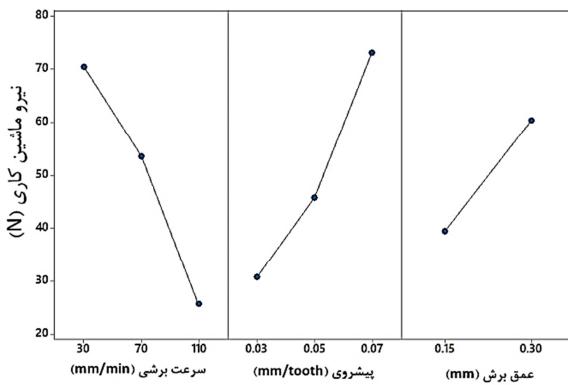
شده و صافی سطح سوراخ را افزایش می‌دهد. با افزایش پیشروی مشاهده می‌شود که ابتدا زبری سطح کاهش و سپس افزایش پیدا کرده است. در ابتدا به دلیل وجود نیروی شخمنی در پیشروی‌های پایین، زبری سطح افزایش پیدا کرده است ولی با افزایش پیشروی نیروی شخمنی از بین رفته و زبری سطح کاهش پیدا می‌کند. در پیشروی‌های بالا به دلیل ازدیاد ضخامت براده نتراسیده شده و افزایش نیروهای وارد به ابزار، زبری سطح افزایش پیدا می‌کند. تأثیر عمق برش در هر دو روش فرزکاری ماربیچ 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

PD	$R_a(\mu\text{m})$		$F(\text{N})$		f_z	V_c	متنه	Test No
	D	PD	D	PD				
1/۴۹	0.۸۷۹	۲۹۲	۴۵۸	0.۰۱	۱۰	۱		
1/۳۸	0.۹۹۸	۳۷۰	۸۱۸	0.۰۳	۱۰	۲		
1/۵۵	1/۰۳۸	۵۴۲/۲	۱۲۱۵	0.۰۵	۱۰	۳		
۰/۹۲۴	0.۶۸۳	۱۵۶/۲	۱۸۰/۸	0.۰۱	۲۰	۴		
۱/۰۰۴	0.۷۳۷	۲۵۳/۳	۴۰۴	0.۰۳	۲۰	۵		
۱/۱۲۱	0.۹۱۱	۳۱۲	۷۹۰	0.۰۵	۲۰	۶		
۱/۲۷۳	0.۵۶۵	۱۱۲	۲۶۴	0.۰۱	۳۰	۷		
۱/۷۳۵	0.۶۸۴	۱۵۲/۷	۶۶۹	0.۰۳	۳۰	۸		
۱/۹۲۹	0.۸۶۵	۲۰۲/۴	۹۰۰	0.۰۵	۳۰	۹		



شکل ۴ تأثیر پارامترهای برش بر نیروی ماشین‌کاری در فرزکاری ماربیچ

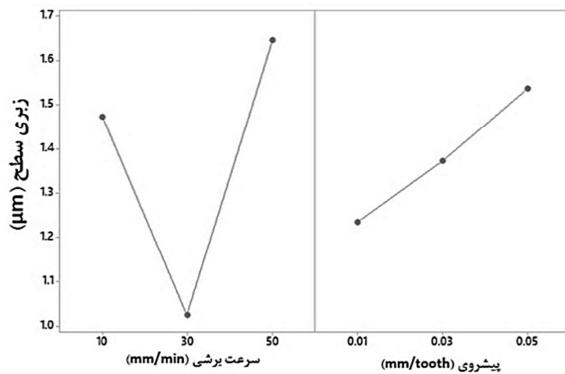


شکل ۵ تأثیر پارامترهای برش بر نیروی ماشین‌کاری در فرزکاری پروفایل

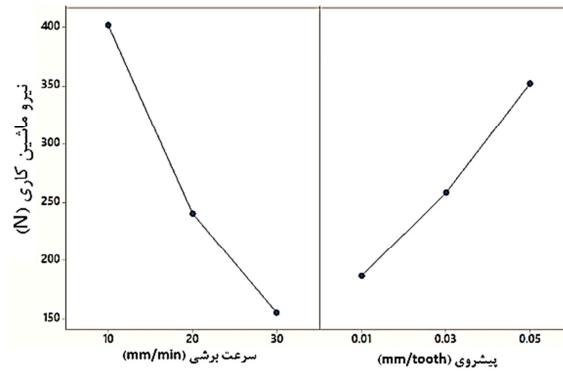
در شکل ۴ و شکل ۵، تاثیرات تغییر سه پارامتر سرعت برشی، پیشروی و عمق برش بر میزان نیروی ماشین‌کاری در دو فرایند فرزکاری ماربیچ و پروفایل نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات سرعت برشی باعث کاهش نیروی ماشین‌کاری شده است. دلیل این امر، افزایش دمای منطقه برش با افزایش سرعت برشی است که باعث نرم شدن ماده و جدا شدن راحت براده از قطعه کار می‌شود. براساس سینماتیک فرایند فرزکاری ماربیچ 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 ماربیچ 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 پیش‌منه کمتر از سوراخ‌کاری معمولی است. پراواضح است که دلیل اصلی این کمتر بودن نرخ براده‌برداری بر واحد زمان در سوراخ‌کاری با پیش‌منه نسبت به سوراخ‌کاری معمولی است. در واقع پیش‌منه شخمنی سبب کاهش حجم براده برداشته شده از قطعه کار می‌شود. در سوراخ‌کاری معمولی و با پیش‌منه برخلاف دو روش دیگر تماش بین ابزار و قطعه کار به صورت پیوسته بوده و مکانیسم براده برداری مانند شخمنی است [۱۰]. به همین دلیل، مقادیر نیروهای ماشین‌کاری به دست آمده در روش سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش‌منه خیلی بیشتر از دو روش فرزکاری ماربیچ 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 پیش‌منه 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 تنفس تسلیم فولاد به دلیل افزایش دمای منطقه برش می‌شود؛ اما 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 به جای لبه ابزار انجام می‌دهد که این عمل باعث افزایش نیروهای ماشین‌کاری می‌شود.

۳-۲-۳- زبری سطح

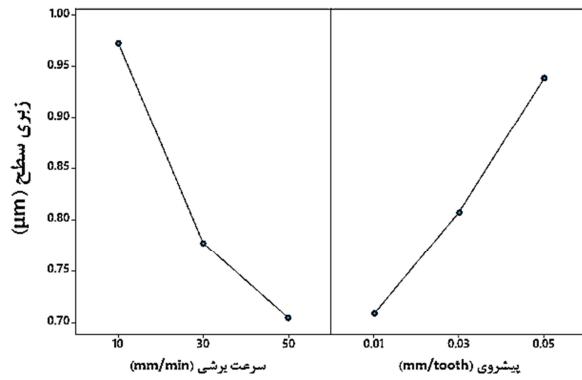
مقادیر زبری سطح به دست آمده در روش‌های فرزکاری ماربیچ و پروفایل در جدول ۲ نشان داده شده است. قابل مشاهده است که زبری سطح به دست آمده در هر دو روش، تفاوت بسیاری با یکدیگر ندارند اما نسبت به دو روش سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری با پیش‌منه تفاوت چشمگیری مشاهده می‌شود. در روش فرزکاری ماربیچ و پروفایل به دلیل تشكیل 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 به راحتی از آن خارج می‌شود. در حالی تنها راه خروج براده‌های تشکیل شده در سوراخ‌کاری، شیار ماربیچ 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 ماربیچ 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



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



شکل ۶ تأثیر پارامترهای برش بر نیروی ماشین‌کاری در سوراخ‌کاری معمولی



شکل ۱۱ تأثیر پارامترهای برش بر زبری سطح در سوراخ‌کاری معمولی

شکل ۱۰ و شکل ۱۱، تأثیر پارامترهای برشی بر زبری سطح سوراخ در روش سوراخ‌کاری 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 متنزی شروع باربرداری با لبه اصلی ابزار صورت می‌گیرد در حالی که 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 فریند 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.

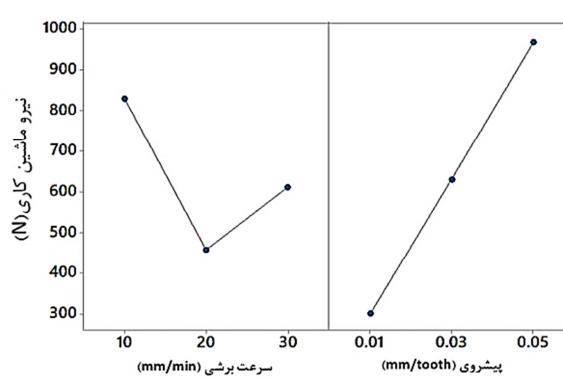
۴- نتیجه‌گیری

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

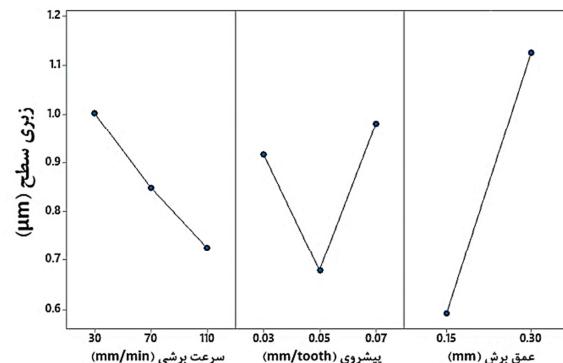
۱- مسیر حرکت ابزار نقش مهمی در تعییرات میزان نیروی ماشین‌کاری و زبری سطح داشته به طوری که فرزکاری مارپیچ و پروفایل کمترین میزان نیروی برشی و زبری سطح در بین روش‌ها داشته‌اند.

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

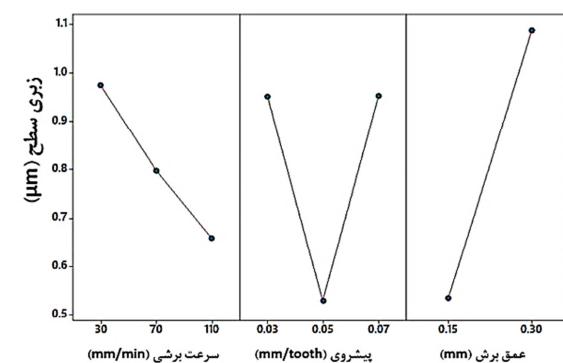
۳- پیش متنزی به دلیل در سوراخ‌کاری به دلیل کاهش نرخ براده‌برداری



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

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. Schmittiel, 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. Galver, 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.