مجله مهندسی مکانیک مدرس، دی 1393، دوره 14، شماره 10، ص‌ص 80-84

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی تجربی تأثیر پارامترهای ماشین‌کاری و نحوه روان‌کاری بر توان مصرفی و زبری سطح به‌دست‌آمده در فرزکاری فولاد CK45

احد قلی‌پور[1]*، وحید ذاکری‌مهرآباد[2]، عطا حجاوری[3]

1- مربی گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز
2- مربی گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز
3- دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز
* تبریز، صندوق‌پستی 71167- -47148، ah.gholipoor@iaut.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 30 اردیبهشت 1393
پذیرش: 28 خرداد 1393
ارائه در سایت: 02 مهر 1393

کلید واژگان:
فرزکاری
روان‌کاری نیمه‌خشک
روش تاگوچی
توان مصرفی
زبری سطح

چکیده

در این مقاله، برای اجتناب از مشکلات استفاده از مایعات روان‌کاری مانند هزینه بالا، آلودگی محیط‌زیست و به خطر انداختن سلامتی ماشین‌کار در فرایند فرزکاری و همچنین استفاده از مزایای آن‌ها از قبیل افزایش عمر ابزار و کیفیت سطح ماشین‌کاری شده، روش ماشین‌کاری با حداقل استفاده از روان‌کار (MQL) یا روان‌کاری نیمه‌خشک معرفی شده و تأثیر آن بر توان مصرفی و زبری سطح ماشین‌کاری شده با روش‌های دیگر روان‌کاری مانند روان‌کاری با مایع و روان‌کاری خشک مقایسه شده است. همچنین از روش طراحی آزمایش تاگوچی برای اجرای یکسری آزمایش‌ها برای بررسی تأثیر پارامترهای مختلف فرایند مانند سرعت دورانی ابزار، سرعت پیشروی، فشار گاز ورودی و نرخ جریان مایع بر توان مصرفی و زبری سطح ماشین‌کاری شده استفاده شده است و در ادامه با استفاده از آنالیز واریانس مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر توان مصرفی و زبری سطح ماشین‌کاری شده به دست آمدند. نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها نشان می‌دهند که استفاده از روش روان‌کاری نیمه‌خشک به توان مصرفی کمتر و زبری سطح قابل مقایسه با سایر روش‌های روان‌کاری منجر می‌شود. آنالیز واریانس انجام شده نیز نشان می‌دهد که در بین پارامترهای بررسی شده در این پژوهش، سرعت پیشروی مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر توان مصرفی و نرخ جریان مایع مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر زبری سطح ماشین‌کاری شده است.

Experimental investigation of the effects of machining parameters and lubrication on consumed power and surface roughness in CK45 steel milling

Ahad Gholipoor[1*], Vahid Zakeri Mehrabad[2], Ata Hejavari[3]

1- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad Univ. Tabriz Branch, Tabriz, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad Univ. Tabriz Branch, Tabriz, Iran
3- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad Univ. Tabriz Branch, Tabriz, Iran
* P.O.B. 47148-71167 Tabriz, Iran, ah.gholipoor@stu.nit.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 20 May 2014
Accepted 18 June 2014
Available Online 24 September 2014

Keywords:
Milling
minimum quantity lubrication (MQL)
Taguchi method
electrical power
Surface Roughness

ABSTRACT

In this paper, in order to avoid the problems induced by cutting liquids like higher cost, environmental pollution and dangerous for operator health in milling process and also using the benefits of them such as increasing tool life and machined surface quality, machining by minimum quantity of lubrication (MQL) or near dry lubrication was introduced and that's effects on main outputs (consumed power and surface roughness) was compared with other lubrication methods such as lubrication by cutting fluids and by air. In order to perform a series of experiments and investigate the effects of different process parameters such as tools rotational speed, feed rate, gas pressure and liquid flow rate on main outputs, the Taguchi method of design of experiments was employed and then the analysis of variance (ANOVA) was used to find the most important factors effecting main outputs. The results obtained by experiments showed that employing near dry lubrication leads to lower electrical power and comparable surface roughness as compared with other lubrication methods. The analysis of variance showed that feed rate is the most important factor affecting consumed power and liquid flow rate is the most important factor influencing surface roughness.

1- مقدمه

روان‌کارها و خنک‌کننده‌های مایع هنوز هم در عملیات ماشین‌کاری مورد استفاده گسترده‌ایی قرار می‌گیرند، در حالی‌که هزینه مصرف و دفع آن‌ها بالاست و موجب آسیب به محیط‌زیست و ایجاد خطر برای سلامتی ماشین‌کار می‌شوند. برای رفع این مشکلات، ماشین‌کاری در حالت خشک[1] و

1- Dry Machining

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
A. Gholipoor, V. Zakeri Mehrabad, A. Hejavari, Experimental investigation of the effects of machining parameters and lubrication on consumed power and surface roughness in CK45 steel milling, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 10, pp. 80-84, 2014 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.10.16.3]

نیمه‌خشک[1] یا استفاده از حداقل میزان روان‌کار[2] توجه محققان را در دهه اخیر به خود اختصاص داده است [1،۲]. در ماشین‌کاری در حالت خشک، از جریان گازی فشرده برای خنک‌کاری استفاده می‌شود و در حالت نیمه‌خشک از مقدار کمی روان‌کار که توسط جریان گازی فشرده به سطح مشترک ابزار و قطعه کار و ابزار پاشیده می‌شود، استفاده می‌شود [3].

بیرمن و همکاران توزیع حرارت و تعادل حرارتی در قطعه‌کار را در فرایند سوراخ‌کاری عمیق با استفاده از روان‌کاری نیمه‌خشک مطالعه کردند. ایشان از یک برنامه اجزای محدود و با تهیه یک مدل دوبعدی از قطعه‌کار، به آنالیز توزیع دمای قطعه‌کار در طول فرایند سوراخ‌کاری عمیق پرداختند [4]. تسدلن و همکاران فرایند سوراخ‌کاری را با حالت‌های روان‌کاری مایع، خشک و نیمه‌خشک انجام داده و سایش ابزار، نحوه تشکیل براده، نیرو، گشتاور و زبری سطح به‌دست‌آمده در این حالت‌ها را مطالعه کردند. براساس نتایج این محققان، روان‌کاری در حالت خشک و نیمه‌خشک به سایش ابزار کمتری منجر می‌شود، در حالی‌که زبری سطح به‌دست‌آمده با حالت روان‌کاری خشک، بیشتر از سایر حالت‌هاست [5]. دار و همکاران با انجام یک سری آزمایش‌ها به بررسی تأثیر روان‌کاری نیمه‌خشک بر سایش ابزار و زبری سطح ماشین‌کاری شده در عملیات تراش‌کاری پرداختند. براساس نتایج آن‌ها، با استفاده از این نوع روان‌کاری، زبری سطح ماشین‌کاری شده و سایش ابزار با توجه به کاهش دمای ناحیه ماشین‌کاری، کاهش می‌یابد [6]. سانچز و همکاران با استفاده از روان‌کاری نیمه‌خشک به کمک گاز دی‌اکسید کربن با دمای پایین در فرایند سنگ‌زنی، به این نتیجه رسیدند که با این روش روان-کاری، عمر ابزار (چرخ سنگ‌زنی) افزایش یافته و زبری سطح ماشین‌کاری شده کاهش می‌یابد [7]. پارک و همکاران با استفاده از تکنیک پردازش تصویر به بررسی اندازه قطرات سیال و توزیع آن‌ها در عملیات فرزکاری با استفاده از روان‌کاری نیمه‌خشک پرداختند [8]. توکلی و همکاران در مطالعه خود در مورد عملیات سنگ‌زنی، تأثیر پارامترهای مختلف روان‌کاری نیمه‌خشک مانند نرخ جریان روغن، فشار هوا و موقعیت قرارگیری نازل را بر پارامترهای خروجی مانند نیروی سنگ‌زنی و زبری سطح به‌دست‌آمده مطالعه کردند [9]. ابیکاوا و همکاران، عملکرد روان‌کاری نیمه‌خشک را در عملیات شیارزنی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با این روش روان‌کاری می‌توان سایش پهلو و گوشه را کاهش داد [10]. دار و همکاران به بررسی تأثیر روان-کاری نیمه‌خشک بر دمای ماشین‌کاری، تشکیل براده و کیفیت سطح ماشین-کاری شده در عملیات تراش‌کاری پرداختند و نتایج به‌دست‌آمده را با نتایج مربوط به روان‌کاری با مایع و روان‌کاری خشک مقایسه کردند [11]. یازید و همکاران تأثیر پارامترهای ماشین‌کاری را بر سلامتی سطوح تراش‌کاری شده در شرایط روان‌کاری خشک و نیمه‌خشک بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از روان‌کاری نیمه‌خشک، سلامتی سطوح ماشین‌کاری شده بهبود می‌یابد [12].

در این مطالعه، تأثیر روش‌های مختلف روان‌کاری از جمله روان‌کاری با مایع، روان‌کاری خشک و نیمه‌خشک بر توان مصرفی و زبری سطح به‌دست-آمده در فرایند فرزکاری بررسی شده است. همچنین از روش طراحی آزمایش تاگوچی برای انجام آزمایش‌هایی برای بررسی تأثیر پارامترهای مختلف ماشین‌کاری و روان‌کاری از جمله سرعت دورانی ابزار، سرعت پیشروی، نرخ جریان مایع و فشار گاز ورودی بر توان مصرفی و زبری سطح ماشین‌کاری شده استفاده شده است. آنالیز واریانس نیز برای به‌دست آوردن پارامترهای مهم مؤثر بر خروجی‌های فرآیند به‌کار گرفته شده است.

2- شرایط تجربی آزمایش

2-1- تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش

برای انجام آزمایش‌ها از ماشین فرز مدل FP4M ساخت شرکت ماشین‌سازی تبریز استفاده شده است که به همراه تجهیزات مورد استفاده برای روان‌کاری در شکل 1، مشاهده می‌شود.

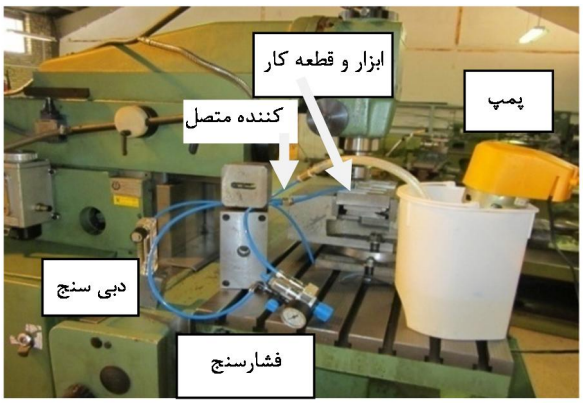
برای تهیه روان‌کار استفاده شده در تست‌ها، از مجموعه آزمایشگاهی که در شکل 1 آورده شده و شماتیک آن نیز در شکل 2 مشاهده می‌شود، استفاده شده است. سیال تهیه‌شده که در حالت روان‌کاری با مایع فقط مایع، در حالت روان‌کاری خشک فقط گاز و در حالت روان‌کاری نیمه‌خشک مخلوطی از مایع و گاز است، توسط شیلنگ دو محوره به سطح ماشین‌کاری هدایت می‌شود. دبی‌سنج و فشارسنج تعبیه شده در این مجموعه برای کنترل پارامترهای مختلف پروسه مانند نرخ جریان مایع و فشار گاز است. کمپرسور، مخزن مایع، پمپ و کلاهک انتهای شیلنگ از اجزای دیگر این مجموعه است. گاز و مایع مورد استفاده در حالت‌های مختلف روان‌کاری در جدول 1، آورده شده است.

2-2- اجرای آزمایش

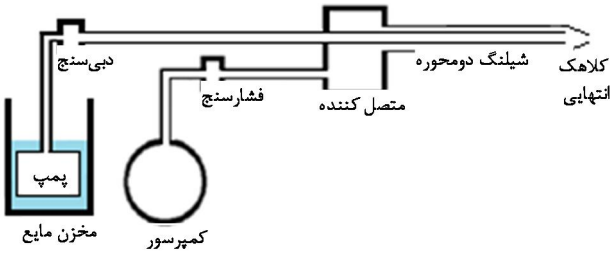
در بخش اول این مطالعه، تأثیر حالت‌های مختلف روان‌کاری بر توان مصرفی ماشین در دو شرایط ماشین‌کاری مختلف مطابق جدول 2، بررسی می‌شود.

جدول 1 حالت‌های مختلف روان‌کاری مورد استفاده در این مقاله

حالت روان‌کاری	مایع	گاز
با مایع روان‌کار	آب دی‌یونیزه	-
با مایع روان‌کار	مایع پایه روغن معدنی	-
خشک	—	هوا
نیمه‌خشک 1	آب دی‌یونیزه	هوا
نیمه‌خشک 2	مایع پایه روغن معدنی	هوا



شکل 1 ماشین فرز و تجهیزات روانکاری مورد استفاده



شکل 2 شماتیک مکانیزم استفاده شده برای تهیه سیال روان‌کار

1- Near Dry Machining
2- Minimum Quantity of Lubrication (MQL)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.10.16.3]

در ادامه با بهره‌گیری از روش طراحی آزمایش تاگوچی و به‌دست آوردن نمودارهای اثر اصلی[1]، به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف پروسه از قبیل سرعت دورانی ابزار، سرعت پیشروی، نرخ جریان مایع ورودی و فشار گاز ورودی بر توان مصرفی ماشین در حالت استفاده از روان‌کاری نیمه‌خشک پرداخته می‌شود، درحالی‌که عمق ماشین‌کاری در این مرحله 1 میلی‌متر و مخلوط مایع پایه روغن معدنی و هوا به‌عنوان سیال روان‌کار در نظر گرفته شده است. همین روند در قسمت دوم این مطالعه، برای بررسی زبری سطح ماشین‌کاری شده نیز به‌کار گرفته شده است. از آنالیز واریانس نیز برای به‌دست آوردن پارامترهای مهم مؤثر بر توان مصرفی ماشین و زبری سطح ماشین‌کاری شده استفاده می‌شود. ماتریس طراحی آزمایش تاگوچی نیز در جدول 3، آورده شده است. سطوح انتخابی پارامترهای ورودی، با توجه به جداول استاندارد ماشین‌کاری برای قطعه‌کار مورد بررسی بوده است.

توان مصرفی ماشین از راه اندازه‌گیری شدت جریان توسط دستگاه آمپرسنج مدل کیوریتسو[2] و با استفاده از رابطه 1، به‌دست می‌آید. زبری سطح (*SR*) قطعه‌کار ماشین‌کاری شده نیز با زبری‌سنج مدل TR200 (تایم کو[3]) اندازه‌گیری شده است. زبری سطح ماشین‌کاری شده از سه مسیر مختلف اندازه‌گیری شده و با میانگین‌گیری از این اعداد، زبری سطح ماشین‌کاری شده به‌دست‌آمده است.

$$\mathrm{Cos}\emptyset \times P = V \times I \qquad (1)$$

در رابطه بالا P توان مصرفی، Vولتاژ دستگاه، Iشدت جریان عبوری و $\emptyset$ ضریب کیفیت است که در این پژوهش $\mathrm{Cos}\emptyset = 0/97$ است.

3-2- مواد مورد استفاده در آزمایش‌ها

قطعه‌کار مورد استفاده در این مطالعه، از جنس فولاد CK45 با سختی 185 واحد برینل[4] است که در صنعت قالب‌سازی به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدول 2 شرایط انجام مرحله اول آزمایش‌ها

	عمق برش (mm)	سرعت دورانی (rpm)	سرعت پیشروی (mm/min)	نرخ جریان مایع (ml/min)	فشار گاز (bar)
شرایط 1	0/5	630	50	30	2
شرایط 2	1	800	100	40	3

جدول 3 ماتریس طراحی آزمایش تاگوچی

شماره آزمایش	سرعت دورانی ابزار (rpm)	سرعت پیشروی (mm/min)	نرخ جریان مایع (ml/min)	فشار گاز (bar)
1	630	50	30	2
2	630	100	40	3
3	630	168	50	4
4	800	50	40	4
5	800	100	50	2
6	800	168	30	3
7	1000	50	50	3
8	1000	100	30	4
9	1000	168	40	2

جدول 4 ترکیب شیمیایی قطعه‌کار

عنصر	کربن	سیلسیوم	منگنز	کروم	مولیبدن	نیکل
درصد وزنی %	0/46	>0/4	0/65	>0/4	>0/1	>0/4

1- Main effect plots
2- Kyoritsu
3- TIME CO
4- Brinell hardness

ابزار مورد استفاده در این مطالعه، انگشتی چهار پر سرتخت به قطر 10 میلی‌متر است. ترکیب شیمیایی قطعه‌کار در جدول 4، آمده است.

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی توان مصرفی ماشین

در این بخش، تأثیر حالت‌های مختلف روان‌کاری و همچنین پارامترهای مختلف فرایند مانند سرعت دورانی ابزار، سرعت پیشروی، نرخ جریان مایع و فشار گاز، بر توان مصرفی ماشین در حالت استفاده از روان‌کاری نیمه‌خشک بررسی می‌شود.

3-1-1- تأثیر حالت‌های مختلف روان‌کاری بر توان مصرفی ماشین

شکل 3، توان مصرفی ماشین در حالت‌های مختلف روان‌کاری را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، در همه حالت‌های مورد بررسی در این مطالعه، ماشین‌کاری با روان‌کاری نیمه‌خشک با استفاده از مخلوط مایع پایه روغن معدنی و هوا به کم‌ترین توان مصرفی ماشین منجر می‌شود. چون در ماشین‌کاری با استفاده از روان‌کاری نیمه‌خشک، نفوذ سیال به سطح مشترک ابزار و قطعه‌کار بهتر صورت می‌گیرد و اثرات روان‌کاری بهبود می‌یابد که سبب کاهش اصطکاک بین ابزار و قطعه‌کار شده و در نتیجه مطابق رابطه 2، نیروی ماشین‌کاری و توان مصرفی ماشین کمتر می‌شود.

همچنین مطابق این شکل، با افزایش عمق بار و سرعت پیشروی ابزار در شرایط ماشین‌کاری دوم نسبت به شرایط ماشین‌کاری اول مندرج در جدول 2، توان مصرفی بیشتری در شرایط آزمایش دوم به‌دست می‌آید.

$$F_m = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_t^2} \qquad (2)$$

در رابطه بالا F_m نیروی ماشین‌کاری، F_c نیروی برشی[5]، F_f نیروی اصطکاک[6] و F_t نیروی شخم[7] است.

3-1-2- تأثیر پارامترهای مختلف فرایند بر توان مصرفی در حالت روان‌کاری نیمه‌خشک

شکل 4الف، تأثیر سرعت دورانی ابزار را بر توان مصرفی ماشین نشان می‌دهد. مطابق این شکل، با افزایش سرعت دورانی ابزار، توان مصرفی ماشین کاهش می‌یابد. مطابق رابطه 3، با افزایش سرعت دورانی ابزار، سرعت برشی افزایش یافته و احتمال تشکیل لبه انباشته کاهش می‌یابد و در نتیجه با توجه به کاهش زاویه براده[8] ضریب انقباض براده کاهش یافته و تغییر شکل براده کمتر می‌شود، بنابراین توان مصرفی ماشین کاهش می‌یابد [13]. از سوی با افزایش سرعت برشی، زاویه صفحه برش افزایش یافته و ضخامت براده کمتر می‌شود [14]. با کاهش ضخامت براده، مساحت صفحه برش و حجم ناحیه تغییر شکل اولیه کاهش یافته و انرژی لازم برای براده‌برداری و نیروی برشی کمتر می‌شود و مطابق رابطه 2، نیروی ماشین‌کاری و توان مصرفی کاهش می‌یابد [15].

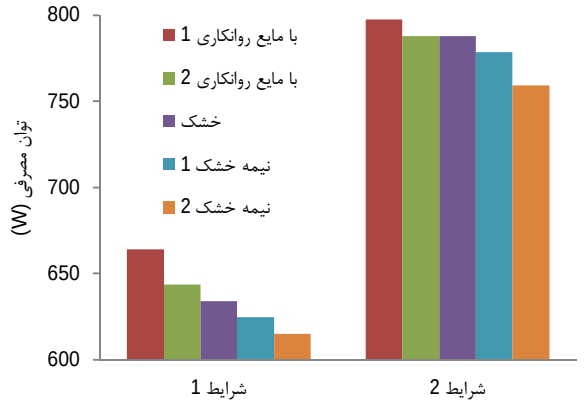
$$V = \frac{\pi d n}{1000} \qquad (3)$$

در رابطه بالا v سرعت برشی برحسب متر بر دقیقه، d قطر ابزار برحسب میلی‌مترو n سرعت دورانی ابزار برحسب دور بر دقیقه است.

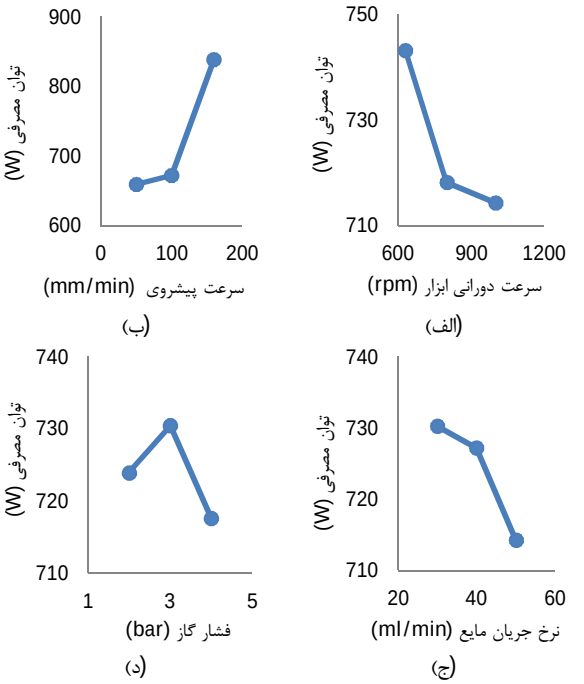
براساس شکل 4ب، که تأثیر سرعت پیشروی را بر توان مصرفی ماشین نشان می‌دهد، با افزایش سرعت پیشروی نیروی مماسی ماشین‌کاری افزایش یافته و در نتیجه توان مصرفی ماشین بیشتر می‌شود. همچنین با افزایش سرعت پیشروی، ضریب اصطکاک بین ابزار و قطعه‌کار نیز افزایش یافته و منجربه افزایش توان مصرفی ماشین می‌شود [16].

5- Cutting force
6- Friction force
7- Thrust force
8- Rake angle

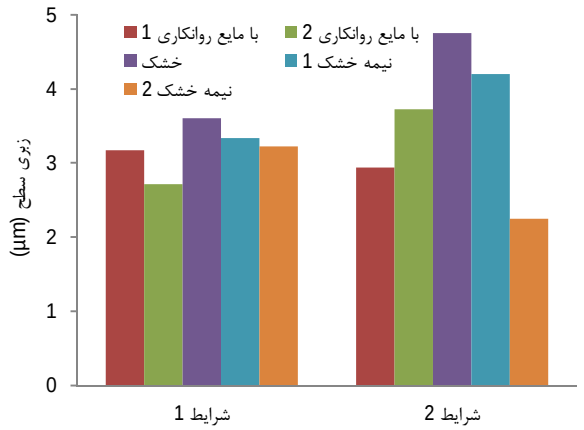
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.10.16.3]



شکل 3 مقایسه توان مصرفی ماشین در حالت‌های مختلف روان‌کاری



شکل 4 نمودارهای اثر اصلی مربوط به توان مصرفی ماشین



شکل 5 مقایسه زبری سطح ماشین‌کاری شده در حالات مختلف روان‌کاری

شکل 4ج، تأثیر نرخ جریان مایع را بر توان مصرفی ماشین نشان می‌دهد. براساس شکل، با افزایش نرخ جریان مایع، به دلیل بهبود خاصیت روان‌کاری و خنک‌کنندگی سیال و با کاهش اصطکاک بین ابزار و قطعه‌کار، توان مصرفی ماشین کاهش می‌یابد.

مطابق شکل 4د، که تأثیر فشار گاز را بر توان مصرفی ماشین نشان می‌دهد، با افزایش فشار گاز تا 3 بار، توان مصرفی ماشین افزایش و سپس کاهش می‌یابد و نشان می‌دهد که با افزایش فشار گاز از 3 بار، با توجه به افزایش اثر خنک‌کنندگی سیال و نیز بهبود نفوذ سیال به سطح ماشین‌کاری، توان مصرفی ماشین کاهش می‌یابد.

3-2- بررسی زبری سطح ماشین‌کاری شده

در این قسمت، تأثیر حالت‌های مختلف روان‌کاری و همچنین پارامترهای مختلف فرایند بر زبری سطح ماشین‌کاری شده در حالت استفاده از روان‌کاری نیمه‌خشک بررسی می‌شود.

3-2-1- تأثیر حالت‌های مختلف روان‌کاری بر زبری سطح ماشین‌کاری شده

شکل 5، زبری سطح ماشین‌کاری شده با روان‌کاری در حالت‌های مختلف را نشان می‌دهد. مطابق شکل، در شرایط ماشین‌کاری 1، با توجه به پایین بودن سرعت برشی و زیاد بودن اصطکاک بین ابزار و قطعه‌کار، سیالی که موجب کاهش زیاد اصطکاک می‌شود، کمترین زبری سطح را ایجاد می‌کند که این مقدار مربوط به استفاده از سیال مایع پایه روغن معدنی است. با توجه به کاهش قدرت نفوذ سیال به ناحیه تماس ابزار و قطعه‌کار با افزایش سرعت برشی و ضخامت براده تغییر شکل‌نیافته در شرایط 2 و افزایش ناکارآمدی روان‌کاری معمولی، روان‌کاری نیمه‌خشک که قدرت نفوذ بالایی دارد، کمترین زبری سطح ماشین‌کاری شده را تولید می‌کند.

3-2-2- تأثیر پارامترهای مختلف فرآیند بر زبری سطح ماشین‌کاری شده در حالت استفاده از روانکاری نیمه‌خشک

شکل 6 الف، تأثیر سرعت دورانی ابزار را بر زبری سطح ماشینکاری شده نشان می‌دهد. مطابق این شکل، با افزایش سرعت دورانی ابزار، سرعت برشی افزایش یافته و تغییر شکل پلاستیک آسانتر شده و اصطکاک بین سطوح آزاد و سطوح ماشنکاری شده و اصطکاک بین سطح ابزار و براده کاهش می‌یابد و سطوح صافتری به‌دست می‌آید، اما در ادامه و با افزایش سرعت دورانی بیشتر از 800 دور بر دقیقه، به دلیل تشکیل لبه انباشته و ناکارآمدی سیال روانکار، ناهمواری سطح بیشتر شده و زبری سطح افزایش می‌یابد.

مطابق شکل 6 ب، که تأثیر سرعت پیشروی را بر زبری سطح ماشینکاری شده نشان می‌دهد، با افزایش سرعت پیشروی زبری سطح ماشینکاری شده مطابق رابطه 4 افزایش می یابد.

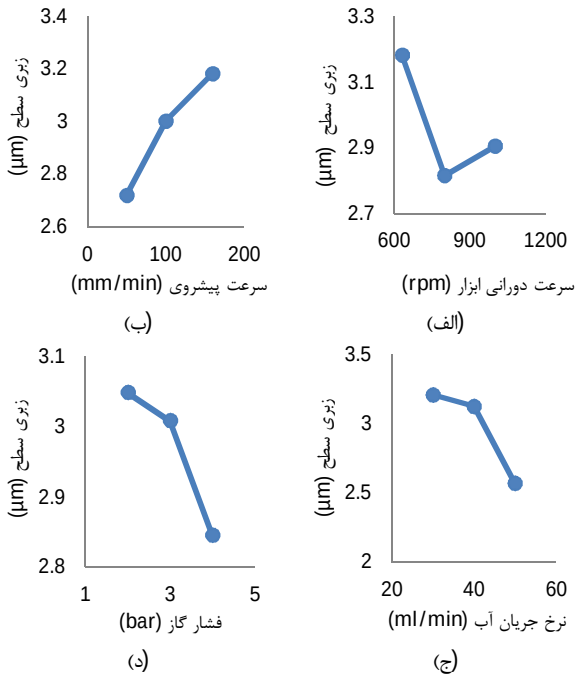
$$H = \frac{a_f \sin x \sin \acute{x}}{\sin(x+\acute{x})} \quad (4)$$

در رابطه بالا H مقدار ناهمواری سطح، a_f سرعت پیشروی، x زاویه تنظیم اصلی و $\acute{x}$ زاویه تنظیم فرعی است.

شکل 6 ج، تأثیر نرخ جریان مایع را بر زبری سطح ماشینکاری شده نشان می‌دهد. مطابق شکل، با افزایش نرخ جریان مایع، زبری سطح ماشینکاری شده کاهش می‌یابد، چون با بیشتر شدن نرخ جریان مایع، خاصیت روانکاری سیال بهبود می‌یابد و کاهش بیشتری در اصطکاک بین ابزار و قطعه‌کار به وجود می‌آید.

مطابق شکل 6 د، که تأثیر فشار گاز را بر زبری سطح ماشین‌کاری شده نشان می‌دهد، با افزایش فشار گاز، زبری سطح ماشین‌کاری شده کاهش می‌یابد، چون با بیشتر شدن فشار گاز، عمق نفوذ سیال بیشتر می‌شود و عمل روان‌کاری و خنک‌کنندگی سیال بهتر انجام می‌شود.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.10.16.3]



شکل 6 نمودارهای اثر اصلی مربوط به زبری سطح ماشین‌کاری شده

جدول 5 آنالیز واریانس برای توان مصرفی ماشین

فاکتور	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	نسبت واریانس	مجموع مربعات خالص	درصد مشارکت
سرعت‌دورانی‌ابزار	2	0/044	0/022	6/75	0/038	8/267
سرعت پیشروی	2	1/626	0/813	244/064	1/62	81/858
نرخ جریان مایع	2	0/011	0/005	1/75	0/005	5/296
فشار گاز	2	0/006				
خطا	2	0/006	0/003			4/579

جدول 6 آنالیز واریانس برای زبری سطح ماشینکاری شده

فاکتور	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	نسبت واریانس	مجموع مربعات خالص	درصد مشارکت
سرعت‌دورانی‌ابزار	2	0/219	0/109	3/146	0/149	11/137
سرعت پیشروی	2	0/327	0/163	4/701	0/257	19/205
نرخ جریان مایع	2	0/726	0/363	10/433	0/656	48/941
فشار گاز	2	0/069				
خطا	2	0/069	0/034			20/717

3-3- آنالیز واریانس

آنالیز واریانس مربوط به توان مصرفی ماشین و زبری سطح ماشین‌کاری شده در جداول 5 و 6 آورده شده است و نشان می‌دهد که سرعت پیشروی مهم‌ترین عامل مؤثر بر توان مصرفی ماشین بوده و نرخ جریان مایع مهم‌ترین عامل مؤثر بر زبری سطح ماشین‌کاری شده است. همچنین فشار گاز کم اهمیت‌ترین فاکتور مؤثر بر توان مصرفی ماشین و زبری سطح ماشین‌کاری شده است و در آنالیز واریانس کنار گذاشته می‌شود.

4- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به‌صورت دسته‌بندی زیر بیان کرد:

- فرزکاری با روان‌کاری نیمه‌خشک، توان مصرفی کمتر و زبری سطح ماشین‌کاری شده قابل مقایسه با حالت روان‌کاری مایع و روان‌کاری خشک تولید می‌کند.
- در فرزکاری با استفاده از روان‌کاری نیمه‌خشک، با افزایش سرعت دورانی ابزار، سرعت پیشروی و نرخ جریان مایع، توان مصرفی کاهش می‌یابد، در حالی‌که با افزایش فشار گاز تا 4 بار، توان مصرفی افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد.
- در فرزکاری با روان‌کاری نیمه‌خشک، با افزایش سرعت دورانی ابزار تا 800 دور بردقیقه، زبری سطح به‌دست آمده کاهش یافته و پس از آن افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت پیشروی، زبری سطح ماشین‌کاری شده افزایش یافته و با افزایش نرخ جریان مایع و فشار گاز، زبری سطح ماشین‌کاری شده کاهش می‌یابد.
- آنالیز واریانس انجام شده نشان می‌دهد که سرعت پیشروی مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر توان مصرفی ماشین در فرزکاری با روان‌کاری نیمه‌خشک بوده و نرخ جریان مایع مهم‌ترین پارامتر مؤثر بر زبری سطح ماشین‌کاری شده است.

5- مراجع

[1] T. Tawakoli, M. J. Hadad, M. H. Sadeghi, Investigation on minimum quantity lubricant-MQL grinding of 100Cr6 hardened steel using different abrasive and coolant–lubricant types, *International Journal of Machine Tools & Manufacture,* Vol. 50, pp. 698–708, 2010.

[2] L. R. D. Silva, E. C. Bianchi, R. Y. Fusse, R. E. Catai, T. V. Franca, P. R. Aguiar, Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant—MQL in grinding, *International Journal of Machine Tools & Manufacture,* Vol. 47, pp. 412–418, 2007.

[3] E. A. Rahim, H. Sasahara, A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys, *Tribology International,* Vol. 44, pp. 309–317, 2011.

[4] D. Biermann, I. Iovkov, H. Blum, A. Rademacher, K.Taebi, F. T. Suttmeier, N. Klein, Thermal Aspects in Deep Hole Drilling of Aluminium Cast Alloy Using Twist Drills and MQL, *Procedia CIRP,* Vol. 3, pp. 245 – 250, 2011.

[5] B. Tasdelen, T. Wikblom, S. Ekered, Studies on minimum quantity lubrication (MQL) and air cooling at drilling, *journal of materials processing technology,* Vol. 200, pp. 339–346, 2008.

[6] N. R. Dhar, M. Kamruzzaman, M. Ahmed, Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 172, pp. 299–304, 2006.

[7] A. Sanchez, I. Pombo, R. Alberdi, B. Izquierdo, N. Ortega, S. Plaza, J. M. Toledano, Machining evaluation of a hybrid MQL-CO2 grinding technology, *Journal of Cleaner Production,* Vol. 18, pp. 1840-1849, 2010.

[8] K. H. Park, J. O. Yume, M. C. Yoon, P. Kwon, A study on droplets and their distribution for minimum quantity lubrication (MQL), *International Journal of Machine Tools & Manufacture,* Vol. 50, pp. 824–833, 2010.

[9] T. Tawakoli, M. J. Hadad, M. H. Sadeghi, Influence of oil mist parameters on minimum quantity lubrication–MQL grinding process, *International Journal of Machine Tools & Manufacture,* Vol. 50, pp. 521–531, 2010.

[10] T. Obikawa, Y. Kamata, J. Shinozuka, High-speed grooving with applying MQL, *International Journal of Machine Tools & Manufacture,* Vol. 46, pp. 1854–1861, 2006.

[11] N. R. Dhar, M. W. Islam, S. Islam, M. A. H. Mithu, The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 171, pp. 93–99, 2006.

[12] M. Z. A. Yazid, C. H. CheHaron, J. A. Ghani, G. A. Ibrahim, A. Y. M. Said, Surface integrity of Inconel 718 when finish turning with PVD coated carbide tool under MQL, *Procedia Engineering,* Vol. 19, pp. 396–401, 2011.

[13] V. P. Astakhov, M. O. M. Osman, Correlations amongst process parameters in metal cutting and their use for stablishing the optimum cutting speed, *Journal of Materials Processing Technology,* Vol. 62, pp. 175–179, 1996.

[14] R. Suresh, S. Basavarajappa, V. N. Gaitonde, G. L. Samuel, Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials,* Vol. 33, pp. 75-86, 2012.

[15] E.G. Ng, D. Aspinwall, D. Brazil, J. Monaghan, Modelling of temperature and forces when orthogonally machining hardened steel, *International Journal of Machine Tools and Manufacture,* Vol. 39, No. 6, pp. 885-903, 1999.

[16] M. R. Shabgard, M. J. Zenjanab, R. Azarafza, Experimental study on the influence of CuO nanofluid on surface roughness and machining force in turning of AISI 4340 steel, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 99, No. 9, pp. 1-7, (In Persian).

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1393.14.10.16.3]