مجله مهندسی ساخت و تولید ایران، شهریور 1400، دوره 8، شماره 6، ص.ص. 7 - 14

ماه‌نامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

بررسی تجربی پارامترهای مؤثر در فرآیند ماشینکاری آلومینیوم 7075-T6 بر زبری سطح با استفاده از روانکاری کمینه و سیال سرد

عباسعلی باقری[1]، وحیدعابدینی[2*]، علیرضا حاجی علی محمدی[2]

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

* سمنان، صندوق پستی 3513119111، v.abedini@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله

این مقاله به عنوان یکی از مقالات برتر در هفدهمین همایش ملی و ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی ساخت و تولید ایران (ICME2021) انتخاب شده است.

کلیدواژگان:

روانکاری کمینه

سیال سرد

AL7075-T6

زبری سطح

چکیده

اثر استفاده از سیال سرد و روش روانکاری کمینه[1] در فرآیند تراشکاری آلیاژ آلومینیوم 7075-T6 به دلیل کاربرد وسیع در صنایع مختلف از جمله هوا و فضا در این پژوهش مطالعه شده است. پس از بررسی پارامترهای تأثیرگذار در فرآیند ماشینکاری، سرعت برشی[2]، سرعت پیشروی[3]، دمای سیال[4] و عمق برش[5] در 3 سطح به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده است. در این آزمایش فشار هوا، دبی سیال، زاویه نازل و فاصله نازل تا محل برش به عنوان پارامترهای ثابت هستند. زبری سطح قطعه کار در این مقاله به عنوان فاکتور خروجی بررسی شده است. برای طراحی آزمایش‌ها، تحلیل نتایج و بهینه سازی پارامترها از روش سطح پاسخ در نرم‌افزار Design Expert کمک گرفته شده است. برای کاهش هزینه سیال برشی از روش روانکاری کمینه با سیال سرد استفاده شده است. نتایج نشان داد که زبری سطح در حالت روانکاری کمینه 20- درجه سانتی‌گراد نسبت به ماشینکاری با روانکاری کمینه 20+ درجه سانتی‌گراد و روش خشک، به ترتیب 38/7% و 68/3% کیفیت سطح مطلوب‌تری ایجاد کرده است.

Experimental Investigation of the Effective Parameters in 7075-T6 Aluminum Machining Process on Surface Roughness Using Minimum Quantity Lubrication (MQL) and Cold Fluid

Abbasali Bagheri, Vahid Abedini*, Alireza Hajiali Mohammadi

Mechanical Engineering, Manufacturing, Semnan University, Semnan, Iran

* P.O.B. 3513119111 Semnan, Iran, v.abedini@semnan.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received: 15 April 2021

First Decision: 26 April 2021

Accepted: 7 July 2021

Keywords:

Minimum Quantity Lubrication (MQL)

Cold Fluid

T6-7075Aluminum

Surface Roughness

Abstract

The effect of cold fluid and Minimum Quantity Lubrication (MQL) in the machining process of T6-7075 Aluminum alloy due to its wide application in various industries such as aerospace have been investigated in this paper. After examining the effective parameters in the machining process, 4 parameters: Cutting Speed, Feed Speed, Fluid Temperature and Cutting Depth are considered as input parameters. The effect of each parameter was investigated at 3 levels. In this experiment, Air Pressure, Fluid Flow, Nozzle Angle and Nozzle Distance to the cutting point are fixed parameters. Also, the Surface Roughness of the workpiece are considered as output. To design the experiments, analyze the results and optimize the parameters, Design Expert software using the response surface method (RSM) has been used. For reducing the cost of cutting fluid, the method of MQL with Cold Fluid has been used. The results showed that the surface roughness in-lubrication mode -20 ° C compared to +20 ° C and Dry Lubrication had 38.7% and 68.3% better surface quality, respectively.

1- مقدمه

در فرآیند ماشینکاری، یکی از روش‌های افزایش بهره‌وری، افزایش سرعت برش به منظور کاهش زمان تولید قطعات است. اما افزایش سرعت برش، سرعت پیشروی و عمق برش، درجه حرارت ناحیه براده برداری را افزایش خواهد داد. افزایش درجه حرارت باعث سایش بیشتر ابزار، کاهش کیفیت سطح قطعه کار می‌شود. توسعه و رشد نوین صنایع را ملزم به رفع مشکلات زیست محیطی و مخاطرات انسانی نموده است و ماشینکاری نیز، به عنوان یکی از متغیرهای تولید از این

[1] Minimum Quantity Lubrication (MQL)
[2] Cutting Speed
[3] Feed
[4] Fluid Temperature
[5] Cutting Depth

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

A. Bagheri, V. Abedini, A. Hajiali Mohammadi, Experimental Investigation of the Effective Parameters in 7075-T6 Aluminum Machining Process on Surface Roughness Using Minimum Quantity Lubrication (MQL) and Cold Fluid, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 8, No. 6, pp. 7- 14, 2021 (in Persian)

قوانین پیروی می‌کند. یکی از راهکارهای کاهش حرارت در منطقه ماشینکاری، استفاده از مکانیزم‌های مختلف خنک‌کاری و سردسازی است. جهت خنک‌کاری در ماشینکاری از روش‌های مختلفی مانند خنک‌کاری برودتی، روانکاری کمینه، خنک‌کاری با هوای سرد فشرده و خنک‌کاری با سیال سرد استفاده می‌شود. که هر یک دارای نقاط ضعف و قوت متفاوتی می‌باشند. استفاده از روش‌های مبتنی بر روانکاری کمینه، سبب کاهش هزینه های سیال برشی و در نتیجه هزینه‌های تولید محصول می‌شود. با توجه به تقاضای کیفیت بالای قطعه ماشینکاری شده، سیال‌های متداول و مرسوم پاسخگوی نیاز جدید نمی‌باشند. لازم است تا براده ها بصورت سریع از روی ابزار و سطح ماشینکاری شده قطعه دور گردد، در نتیجه اگر براده ها خوب و سریع منتقل نشوند، کیفیت سطح ماشینکاری شده کم خواهد شد[1]. روش‌های تبرید در ماشینکاری برودتی از روش‌های تازه توسعه یافته است و برای استفاده از این تجهیزات عموماً نیاز به گازهای برودتی همچون: هلیوم و نیتروژن به عنوان خنک‌کار و تبرید خنک‌کن هوای چرخشی (اسلحه هوای سرد یا ورتکس تیوب) است[2]. بهترین کیفیت سطح برای ماشینکاری آلومینیوم 6061 در حالت بهینه در دور 1440، پیشروی 0/055 و عمق بار 0/55 می‌باشد[3]. ماشینکاری در محیط Cryo- MQL به ترتیب با سرعت برش 80 متر در دقیقه و 120 متر در دقیقه کیفیت سطح را 46% و 32% نسبت به ماشینکاری خشک کاهش می دهد[4]. برای ماشینکاری آلیاژ آلومینیوم 7075-T6 به منظور به حداقل رساندن تأثیر زبری بر روی لبه های ابزار برش و کاهش ناهمواری های سطح از تکنیک روانکاری کمینه استفاده شده است[5]. اثر روانکاری کمینه، در شرایط 1/75 ml/min کمترین زبری سطح را در مقایسه با 3 ml/min و شرایط خشک دارد[6]. چسبندگی مواد بر روی ابزار و قطعه کار بیشترین تأثیر را درکاهش عمر ابزار و بالا رفتن کیفیت سطح قطعه دارد و این تأثیر خنک‌کاری کرایوژنیک بر روی آلیاژ تیتانیوم Ti-6AL-4V، دیده شده بود[7]. زاویه 45 درجه نازل در محل برش یکی از پارامترهای مهم ورودی می‌باشد[8]. ماشینکاری با روانکاری کمینه نسبت به ماشینکاری با پاشش پیوسته سیال عملکرد بهتری داشته است، چرا که پاشش پرفشار هوا و روغن باعث می‌شود که روانکار بیشتر به سطح بین ابزار و قطعه‌کار نفوذ کرده و شرایط برش را تسهیل می‌کند[9]. درتراشکاری آلیاژ آلومینیوم 7075 چسبندگی براده به ابزار و ایجاد لبه انباشته و همچنین وجود ذرات زیاد سیلیسیم که باعث سایش ابزار می‌شود از جمله مشکلات ماشینکاری این آلیاژ می‌باشد، که جهت رفع آن انتخاب پارامترهای مناسب ماشینکاری از اهمیت بسزایی برخوردار است. ذرات آلومینیوم در حین ماشینکاری در اثر گرمای ایجاد شده در منطقه برش، به نوک ابزار می‌چسبد و جوش می‌خورد و باعث تغییر در هندسه ابزارشده و صافی سطح را تغییر می‌دهد[10].

2- بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

در این تحقیق، از ماشینکاری آلومینیوم 7075-T6 با روانکاری کمینه مشتمل بر سیال خنک که سازگار با محیط زیست می‌باشد، استفاده شده است، تا تأثیر سیال خنک بر نتایج ماشینکاری بیان نمود. ماشینکاری آلومینیوم 7075 از نظر صنعت ساخت و تولید، مخصوصاً صنایع هوا فضا بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق، هدف بررسی تجربی پارامترهای موثر در فرآیند ماشینکاری با استفاده از روانکاری کمینه و سیال سرد به طور همزمان است. به این منظور دستگاهی مشتمل بر مکانیزم روانکاری کمینه و سیستم سردکننده طراحی شده که قادر است حدوداً درجه حرارت خروجی را تا 25- درجه سانتی‌گراد کاهش دهد. کنترل دبی خروجی بدون هیچ نشتی و همچنین کاهش اثرات مخرب زیست محیطی با کاهش استفاده از سیال خنک کننده نوآوری این تحقیق می‌باشد. در ادامه پس از نصب دستگاه و تست های اولیه، اثر پارامترهای ماشینکاری و همچنین پارامترهای روانکاری بر کیفیت سطح نهایی بررسی شده و مقایسه‌ای بین شرایط خشک با روانکاری کمینه نرمال و روانکاری کمینه با سیال سرد انجام شد. نتایج حاصل از این شیوه تحقیق قابل بهره برداری و استفاده در صنعت می‌باشد.

3- روش تحقیق

قطعه کار، سیال، ابزار، دستگاه تراش، دستگاه سرد کننده و تجهیزات اندازه‌گیری حین آزمایش در ادامه توضیح داده شده است.

از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت[1] به منظور طراحی آزمایش‌ها استفاده شده است. قطعه کار مورد استفاده در این تحقیق، آلومینیوم 7075-T6 می‌باشد. مشخصات ترکیب عناصر آلیاژی آلومینیوم 7075-T6 در جدول 1 نمایش داده شده است و نتایج کوانتومتری با استانداردها مقایسه شده است. آزمایش سختی سنجی در جدول 2 نشان داده شده است.

قطعات مورد استفاده در این تحقیق به قطر 39/8 میلی‌متر بوده و ابزار مورد استفاده در این پژوهش اینسرت DNMG15

[1] Design Expert

06 08-PM ساخت شرکت SANDVIK می‌باشد. اینسرت و ابزارگیر استفاده شده در این تحقیق از نوع مدل لوزی بوده که در شکل 1 نشان داده شده است.

جدول 1 ترکیب شیمیایی آلومینیوم 7075-T6

Table 1 The chemical composition of Aluminum 7075-T6

Al%	91/2	V%	0/018
Si%	0/241	Co%	< 0/001
Fe%	0/407	Pb%	0/104
Cu%	1/26	Sn%	0/003
Mn%	0/061	B%	0/0006
Mg%	2/13	Sb%	< 0/0015
Zn%	4/38	Bi%	< 0/001
Cr%	0/134	Na%	0/002
Ni%	0/007	Other	Rem
Ti%	0/012	Al	Base

جدول 2 تست سختی سنجی آلومینیوم 7075-T6

Table 1 The hardness test of Aluminum 7075-T6

نیروی مورد استفاده	kg	62/5
مقدار سختی نقطه 1	HB	175
مقدار سختی نقطه 2	HB	168
مقدار سختی نقطه 3	HB	175
مقدار سختی میانگین	HB	173

Fig. 1 Tool & tool holder

شکل 1 ابزار و ابزارگیر

ماشین تراش[1] استفاده شده در این تحقیق، ماشین TN50 BR تراش دو متر، ساخت کارخانه ماشین سازی تبریز که در شکل 2 نشان داده شده است.

دستگاه سردکننده ساخته شده برای این تحقیق در شکل 3 نشان داده شده است.

سیال سرد با دماهای مختلف توسط ترموستات دیجیتالی در دستگاه سردکننده همان‌طورکه در شکل 3 مشاهده می‌شود، کنترل می‌شود. دستگاه سردکننده، به راحتی قابل حمل و نقل و اپراتوری آسان دارد. برای جلوگیری از یخ زدگی و منجمد شدن سیال موجود در سیستم خنک کننده در دمای 20- درجه سانتی‌گراد از سوپر ضد یخ کاسپین طبق جدول 3 استفاده شده است.

Fig. 2 TN50D lathe machine

شکل 2 ماشین تراش TN50 D

Fig. 3 Cooling machine

شکل 3 دستگاه سردکننده

جدول 3 ترکیب ضد یخ کاسپین با آب

Table 3 The combination of Caspian antifreeze with water

دما (درجه سانتی گراد)	درصد قابل افزودن به آب
-12	%25
-16	%30
-37	%50

دبی سیال، فاصله نازل تا ابزار، فشار هوا و زاویه نازل به ترتیب: 150 میلی‌لیتر بر ساعت، 20 میلی‌متر، 6 بار و 45 درجه، به طور ثابت برای تمامی آزمایش‌ها در نظر گرفته شده است. برای تأمین فشار هوا در سیستم روانکاری کمینه از کمپرسور هوا استفاده شده است. زبری سنج[2] مورد استفاده در این تحقیق میتوتیو[3] ژاپن، مدل SJ.201 می‌باشد. در شکل 4 این دستگاه و طریقه اندازه‌گیری روی صفحه صافی به کمک پایه منشورها نشان داده شده است. طول کورس در این تحقیق روی 3 میلی‌متر تنظیم شده است. زبری سطح قطعه کار در چهار نقطه اندازه‌گیری و میانگین آن جهت تحلیل گزارش شده است. علت

[1] Lathe

[2] Surface roughness tester (Rough meter)
[3] Mitutoyo

انجام اندازه‌گیری به این روش این است که در تمام محیط قطعه، زبری یکسان نمی‌باشد.

Fig. 4 Method of measuring surface roughness with measuring equipment

شکل 4 روش اندازه‌گیری زبری سطح با تجهیزات اندازه‌گیری

در این تحقیق با توجه به پیشینه تحقیق روش RSM[1] (پاسخ سطح)، با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ورژن 12 انجام شده است. پارامترهای اولیه ماشینکاری در طراحی به شرح جدول 4 انتخاب گردید. بنابراین با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت به روش RSM و روش طراحی (C.C.D) طراحی مکعب مرکزی[2] طراحی آزمایش صورت گرفت، مجموعاً 27 آزمایش برای این بررسی توسط نرم‌افزار پیشنهاد شد. انجام عملیات تراشکاری[3] در این پژوهش شامل روتراشی در حالت پرداخت و خشن می‌باشد. هر آزمایش به طول 30 میلی‌متر براده برداری شده و اینسرت به تعداد 9 آزمایش در شرایط دمایی (20- و0 و 20+) درجه سانتی‌گراد تعویض شد.

4- ارائه نتایج و بحث

نتایج و داده‌های زبری سطح برای ماشینکاری آلومینیوم 7075-T6 با پارامترهای ورودی (سرعت دورانی، سرعت پیشروی، عمق بار و دمای سیال) که قبلا طراحی شده بود، مورد بررسی و تفسیر قرار گرفته‌اند و آزمایش‌های بهینه که نرم‌افزار دیزاین اکسپرت معرفی نموده، در شرایط خشک و عمق بار 2 میلی‌متر مقایسه شده است. در این تحقیق به منظور استخراج مدل و یافتن بیشترین تأثیر از روش سطح پاسخ استفاده می‌شود. این روش با معیار قرار دادن تعداد متغیرها و حدود بیشینه و کمینه تعیین شده برای هر متغیر، ماتریس آزمایش را طراحی می‌کند. بدین ترتیب تعداد آزمون‌ها و سطوح هر متغیر در هر آزمون مشخص می‌شود. در روش سطح پاسخ دامنه انتخاب شده برای هر فاکتور اهمیت زیادی دارد. دامنه هر فاکتور باید کدبندی شده و در محدوده 1- تا 1+ قرار گیرد تا تحلیل رگرسیون به خوبی انجام پذیرد زیرا واحد متغیرهای مستقل، یکسان نبوده و حتی در صورت یکسان بودن، دامنه انتخاب شده آن‌ها یکسان نمی‌باشد.

جدول 4 پارامترهای مورد مطالعه

Table 4 The studied parameters

عمق برش mm	دمای سیال °C	سرعت پیشروی mm/rev	عده دوران rpm
0/1	20	0/05	710
0/6	0	0/11	1400
1/1	-20	0/18	2000

جدول 5 آنالیز واریانس برای زبری سطح

Table 5 Analysis of variance for surface roughness

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	1/50	9	0/1665	39/09	< 0/0001	significant
A-Speed	0/0585	1	0/0585	13/74	0/0017	
B-Feed	0/8592	1	0/8592	201/74	< 0/0001	
C-Temperature Fluid Lubrication	0/3599	1	0/3599	84/50	< 0/0001	
D-Cutting Depth	0/0019	1	0/0019	0/4566	0/5083	
AB	0/0437	1	0/0437	10/27	0/0052	
AC	0/0076	1	0/0076	1/79	0/1986	
BC	0/0033	1	0/0033	0/7704	0/3923	
BD	0/0057	1	0/0057	1/34	0/2631	
B^2	0/1197	1	0/1197	28/11	< 0/0001	
Residual	0/0724	17	0/0043			
Lack of Fit	0/0715	15	0/0048	11/00	0/0864	not significant
Pure Error	0/0009	2	0/0004			
Cor Total	1/57	26				

در نهایت درصد تأثیر هر یک از عوامل و تأثیر همزمان چند عامل ورودی با نمودار سه بعدی روی نتایج خروجی با توجه به تحلیل واریانس[4] بیان می‌گردد. مدل بدست آمده با در نظر گرفتن شرط معنادار بودن (P-value کمتر از 0/05 درصد) و با بررسی معنادار و تأثیرگذاری هر یک از پارامترها مشخص شده است. بر همکنش‌هایی که اثرات منفی روی مدل داشتند، حذف

[1] Response Surface Model (RSM)
[2] Central Composite Design (C.C.D)
[3] Turning
[4] Analysis of variance (ANOVA)

کرده و مدل اصلاح شده[1] پاسخ زبری سطح آماده شده است. با توجه به جدول 5 آنالیز واریانس نشان داد که سرعت پیشروی، دمای سیال و سرعت دورانی بیشترین تأثیر را بر روی زبری سطح دارند. میزان عمق برش در این تحلیل بسیار ناچیز است. همان‌طور که در جدول 6 مشاهده می‌گردد، صحت و دقت روابط آماری برای هر سه عبارت ذکر شده نزدیک به عدد 1 می‌باشد.

بنابراین با توجه به مقادیر R-Squared و Adj R-Squared، مدل فوق، مدلی مناسب برای پاسخ ارائه کرده است. همان‌طور که جدول 7 نشان می‌دهد، مدل نهایی ارائه شده برای پاسخ زبری سطح که توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت به صورت Quadratic بوده به صورت معادله زیر می‌باشد، که در آن A سرعت دورانی، B سرعت پیشروی، C دمای سیال و D عمق برش می‌باشد.

جدول 6 مشخصه های آماری مدل پیش‌بینی شده برای زبری سطح

Table 6 Statistical characteristics of the predicted model for surface roughness

Std. Dev.	0/0635	R^2	0/9539
Mean	0/5619	Adjusted R^2	0/9295
C.V. %	11/62	Predicted R^2	0/8576
		Adeq Precision	21/9444

جدول 7 فرمول پیش‌بینی زبری سطح

Table 7 Surface roughness prediction formula

Surface roughness	=
+0/4737	
-0/0570	A
+0/2185	B
+0/1414	C
+0/0104	D
+0/0523	AB
-0/0218	AC
+0/0143	BC
-0/0189	BD
+0/1423	B^2

$$SR = 0.4737 - 0.0570*A + 0.2185*B + 0.1414*C + 0.0104*D + 0.0523*AB - 0.0218*AC + 0.0143*BC - 0.0189*BD + 0.1423*B^2$$

با توجه به شکل 5 در بازه 0/2 تا 1/04 بعد از اعمال تابع تبدیل همان‌طور که مشاهده می‌گردد، در نمودار احتمال نرمال بودن توزیع مانده‌ها، داده‌ها تقریباً برخط مربوطه منطبق هستند، پس در اینجا توزیع نرمال برقرار می‌باشد.

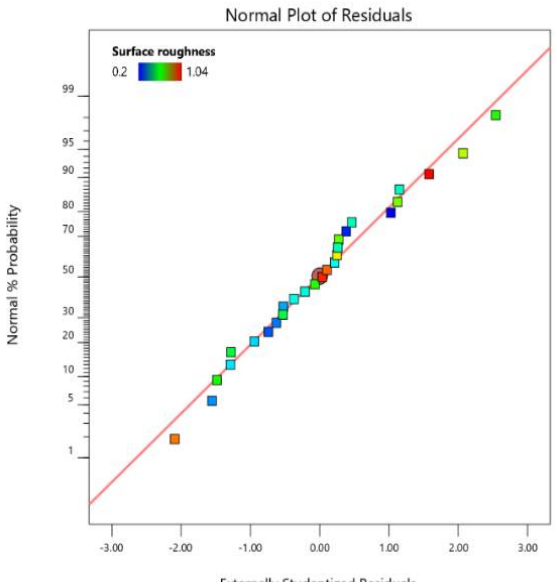

Fig. 5 The diagram of normal probability for surface roughness response

شکل 5 نمودار پراکندگی احتمال داده ها برای پاسخ زبری سطح

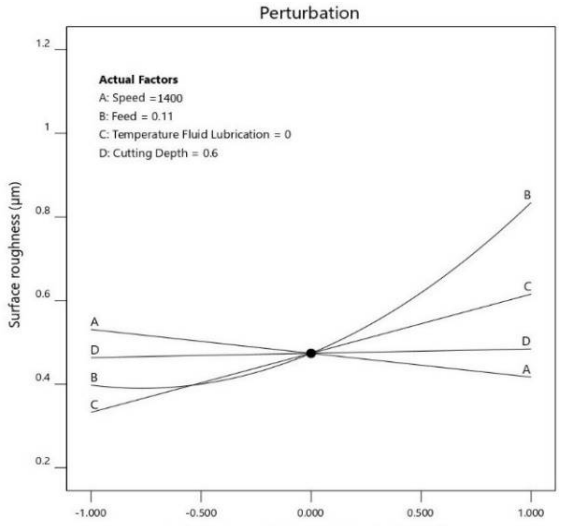

Fig. 6 The diagram of perturbation for surface roughness response

شکل 6 نمودار انحراف پارامترها برای پاسخ زبری سطح

در شکل 6 نمودار نحوه تأثیر پارامترهای متغییر طراحی شده بر روی زبری سطح ماشینکاری آلومینیوم 7075-T6 به روش کمینه با شرایط دمایی سیال نشان داده است که سرعت پیشروی یک رابطه غیرخطی ایجاد کرده که تأثیر افزایش شدید میزان زبری سطح با افزایش میزان سرعت پیشروی را نشان می‌دهد، تأثیر سرعت دورانی و دما بر زبری سطح به صورت خطی است. به طوریکه افزایش دما باعث افزایش زبری سطح و افزایش سرعت دورانی سبب کاهش زبری سطح می‌شود.

در شکل‌های 7 و 8 با توجه به نمودار دو بعدی و سطح سه بعدی با طیف رنگی مشخص است، کاهش درجه حرارت و

[1] Modified

کاهش سرعت پیشروی سبب کاهش زبری سطح ماشینکاری شده است. به طوریکه کمترین میزان زبری سطح در سرعت پیشروی 0/05 و درجه حرارت 20- درجه سانتی‌گراد به دست آمده است. علت این است که کاهش سرعت پیشروی سبب می‌شود میزان ارتفاع پستی و بلندی های سطح قطعه کار کاهش یابد که در نتیجه منجر به کاهش زبری سطح می‌شود. همچنین کاهش درجه حرارت سیال با کاهش حرارت ایجاد شده در هنگام ماشینکاری امکان ایجاد براده با لبه انباشته را کاهش داده و سبب می‌شود تا کیفیت سطح قطعه کار افزایش یابد.

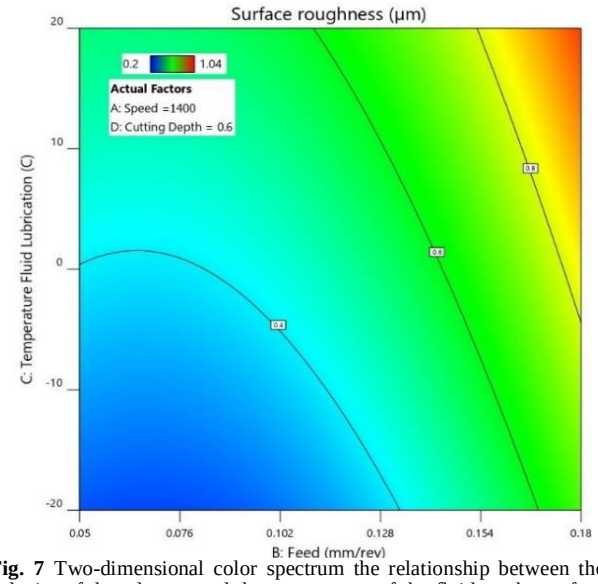

Fig. 7 Two-dimensional color spectrum the relationship between the velocity of the advance and the temperature of the fluid on the surface roughness

شکل 7 طیف رنگی دو بعدی رابطه بین سرعت پیشروی و دمای سیال روی زبری سطح

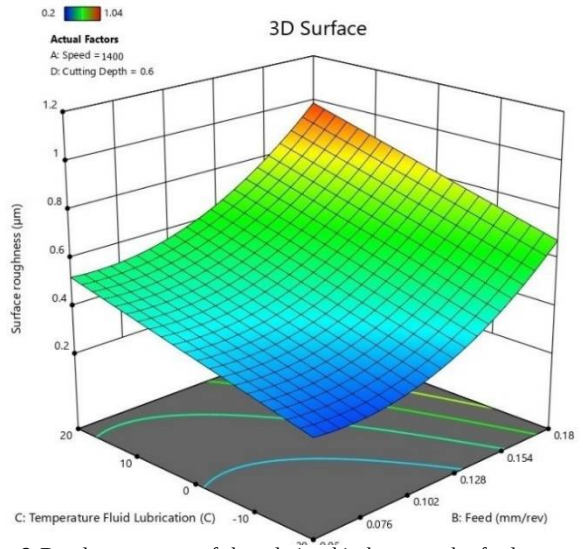

Fig. 8 D color spectrum of the relationship between the feed rate and the temperature on the surface roughness

شکل 8 طیف رنگی سه بعدی رابطه بین سرعت پیشروی و دمای سیال روی زبری سطح

همچنین از نمودار دو بعدی و سطح سه بعدی با طیف رنگی شکل‌های 9 و 10 مشخص است که تأثیر سرعت دورانی در سرعت پیشروی بالا تقریباً ناچیز است.

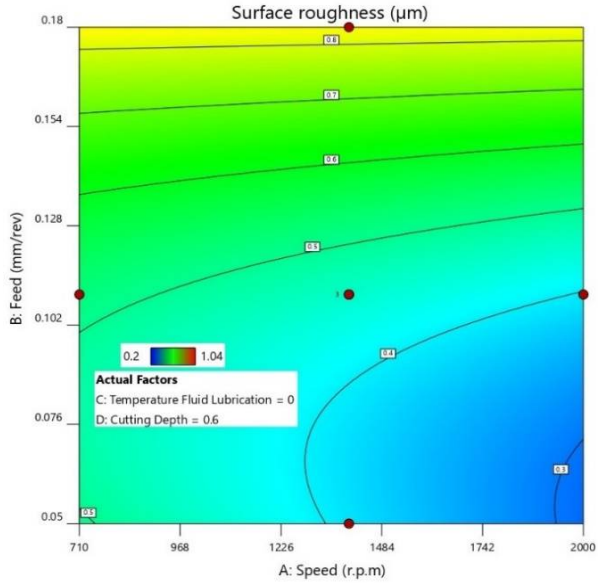

Fig. 9 2D color spectrum of the relationship between the feed rate and the rotational speed on surface roughness

شکل 9 طیف رنگی دو بعدی رابطه بین دو پارامتر سرعت پیشروی و سرعت دورانی روی زبری سطح

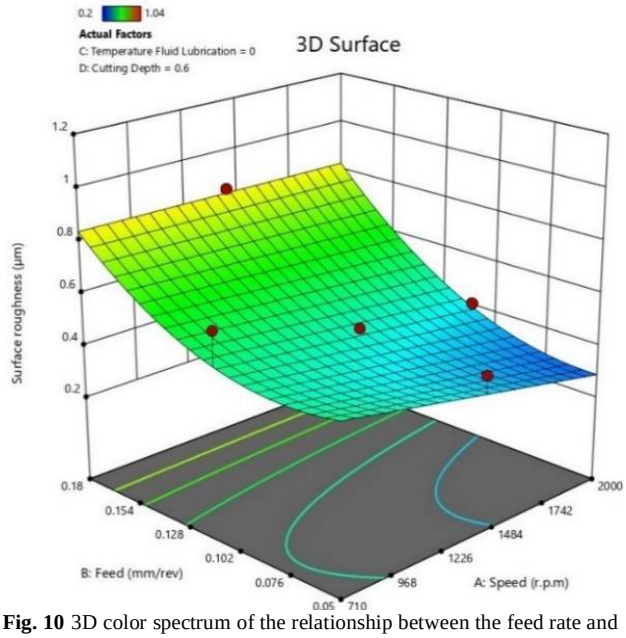

Fig. 10 3D color spectrum of the relationship between the feed rate and the rotational speed on surface roughness

شکل 10 طیف رنگی سه بعدی از تأثیر دو پارامتر سرعت پیشروی و سرعت دورانی روی زبری سطح

به عبارتی در سرعت پیشروی زیاد (0/18) فاکتور سرعت پیشروی غالب بوده و اثر سرعت دورانی بسیار ناچیز است. اما در

سرعت پیشروی کم (0/05) تأثیر سرعت دورانی بالاتر بوده و افزایش سرعت دورانی سبب کاهش زبری سطح شده است. به عبارتی افزایش سرعت دورانی سبب می‌شود زمان لازم برای انتقال حرارت به ابزار داده نشود و در نتیجه امکان ایجاد براده با لبه انباشته که از پدیده های نتایج در ماشینکاری آلومینیوم در سرعت‌های دورانی پایین است، داده نشود.

حالت بهینه به دست آمده با هدف کم کردن زبری سطح ماشینکاری به ترتیب با سرعت دورانی 2000 دور بر دقیقه، سرعت پیشروی 0/05 میلی‌متر در دور، دمای 20- درجه سانتی‌گراد و عمق برش 0/1 میلی‌متر بوده است. پس از انتخاب حالت بهینه، نتایج آزمایش های پیش بینی شده و مقدار تجربی زبری سطح با حداقل 2/5% خطا بدست آمده است. برای آزمایش ماشینکاری این نتایج با دقت خوبی انجام گرفته و با نتایج پیش بینی شده، خروجی با درصد خطای کمتر از 5% بررسی شده است. مطالعه دیگری جهت مقایسه شرایط خشک، روانکاری کمینه و سیال سرد صورت گرفت. در این مطالعه آزمایش جدیدی طرح ریزی شد که آزمایش‌ها در شرایط خنک‌کاری (20+، 0، 20- و خشک) عمق برش (0/1 و 2) در نظر گرفته شد. علت انتخاب عمق برش متفاوت برای مطالعه شرایط خشن و پرداخت بوده است. سایر پارامترها از مقادیر بهینه به دست آمده در طرح آزمایش اولیه انتخاب شدند. در این طراحی آزمایش پارامتر زبری سطح مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شکل 11، شرایط روانکاری با سیال سرد 20- در مورد میزان زبری سطح چه در حالت پرداخت و چه در حالت خشن مقادیر کمتری را نشان می‌دهد و بیانگر افزایش کیفیت سطح با استفاده از روانکاری با سیال سرد می‌باشد. شاید بتوان گفت، این خروجی یک نتیجه بسیار مناسب در مورد لزوم استفاده از سیال سرد در حین ماشینکاری جهت افزایش کیفیت سطح می‌باشد. نمودار میله‌ای برای زبری سطح ماشینکاری در حالت بهینه این تحقیق با دماهای مختلف سیال و مقایسه با حالت خشک و عمق بار 2 میلی‌متر ترسیم شده است.

5- نتیجه‌گیری

- استفاده از روش روانکاری کمینه با سیال سرد باعث افزایش صافی سطح در مقایسه با روش خشک و روش روانکاری کمینه نرمال شده است. میزان زبری سطح به ترتیب 38/7% و 68/3% نسبت به روانکاری نرمال و خشک، کاهش یافته است.

- همچنین در ماشینکاری با روانکاری کمینه 20- با عمق بار 0/1 میلی‌متر نسبت به ماشینکاری با روانکاری کمینه 20- با عمق بار 2 میلی‌متر، زبری سطح 44/11% کاهش یافته است.

- بیشترین زبری سطح 1/04 میکرومتر در عده دوران 2000 دور بر دقیقه، سرعت پیشروی 0/18 میلی‌متر بر دور، دمای کمینه 20+ و عمق بار 0/1 میلی‌متر، همچنین کمترین زبری سطح 0/20 میکرومتر در عده دوران 2000 دور بر دقیقه، سرعت پیشروی 0/05 میلی‌متر بر دور، دمای کمینه 20- و عمق بار 0/1 میلی‌متر مشاهده گردید.

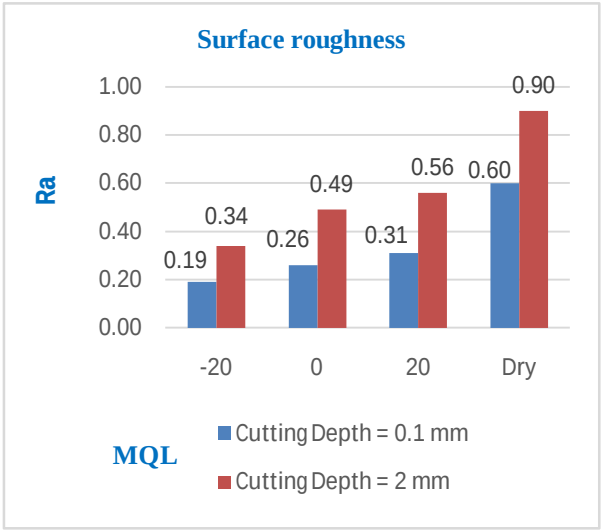

Fig. 11 The optimal condition of surface roughness for different fluid temperatures and dry state

شکل 11 نمودار میله‌ای زبری سطح در حالت بهینه برای دماهای مختلف سیال و حالت خشک

6- مراجع

[1] V. P. Astakhov, S. Joksch, 2012. “Metalworking fluids (Mwfs) for cutting and grinding”, *fundamentals and recent advances, Elsevier*.

[2] Y. Su, N. He, L. Li, A. Iqbal, M.H. Xiao, S. Xu, B.G. Qin, 2007 “Refrigerated cooling air cutting of difPcult-to-cut materials”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, No. 9, pp. 927-933.

[3] R. Sanjeevi, R. Nagaraja, B. Radha Krishnan, 2020, “Vision-based-surface-roughness-accuracy-prediction-in-the-CNC-milling-process-Al6061-using-ANN”, *Elsevier*.

[4] Kishor Kumar Gajrani, 2020, “Assessment of cryo-MQL environment for machining of Ti-6Al-4V”, *Elsevier*.

[5] M.S. Najiha, M.M. Rahman, K. Kadirgama, M.M. Noor and D. Ramasamy, 2015, “Multi-objective optimization of minimum quantity lubrication in end milling of aluminum alloy AA6061T6”, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)*.

[6] Kouam J, Songmene V, Balazinski M, Hendrick P, 2015, “Effects of minimum quantity lubricating

(MQL) conditions on machining of 7075-T6 aluminum alloy". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* .

[7] Soumikh Roy, Ramanuj Kumar, Anurag, Ashok Kumar Sahoo and Rabin Kumar Das, 2018, "A Brief Review on Machining of Ti-6Al-4V under Different Cooling Environments", *Materials Science and Engineering* .

[8] K. Nimel Sworna Ross G. Manimaran, 2019, Effect of cryogenic coolant on machinability of difficult-to-machine Ni–Cr alloy using PVD-TiAlN coated WC tool", *The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering.*

[9] S. Masudi, S.A. Mirsoleymani, A.Najafi, 2017, "Experimental study of steel turning (AISI 5401) using minimum lubrication technique", *The Second International Conference on Mechanical Engineering.*

[10] R. Azarafza, H. Sohrabi, 2014, "Experimental study of the effect of lubricant on surface roufness in turning 7075 aluminum alloy", *14th International Aerospace Conference of Iran.*