ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):1-6.

Experimental Study of Cutting Force and Temperature in the Machining Process of Waspaloy

ARTICLE INFO

Authors
Esrafili H.R.[1]
Amirabadi H.[2*]
Akbari J.[3]
Jafarian F.[4]

[1] Mechanical Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.
[2] University of Neyshabur, Neyshabur, Iran.
[3] Dep. of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
[4] Faculty of Engineering, Mahallat Institute of Higher Education, Mahallat, Iran.

*** Correspondence**
Address: University of Neyshabur, Neyshabur, Iran.
hamirabadi@neyshabur.ac.ir

How to cite this article
Esrafili H, Amirabadi H, Akbari J, Jafarian F., Experimental Study of Cutting Force and Temperature in the Machining Process of Waspaloy. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools. 2022;22(10):1-6.

ABSTRACT

Waspaloy is a type of nickel-based superalloy that is mainly used in aircraft turbine parts, compressor disks, shafts, and turbine parts. Waspaloy, like many nickel-base superalloys, is difficult to a machine at room temperature (conventional machining). In this paperwork, the cutting force and temperature created in the cutting area of the workpiece by changing different cutting parameters: cutting speed, feed rate, and constant depth of cut, in the dry oblique turning process of Waspaloy investigated. The hardness of the tested workpiece was 382±3 Vickers. In order to investigate the cutting force and the temperature of the cutting area, a full factorial experiment design without repetition was used, and a regression model of the influencing factors was presented to estimate the cutting force. Specifically, by an increase in the feed rate from 14 to 42 (mm/min), the most cutting force change occurred when the cutting speed was 1200 (rpm) and the depth of cut was 0.3 (mm). Moreover, except in test 6, the machining temperature increased with the rise of cutting speed and feed rate in all experiments.

Keywords Waspaloy, Turning, Cutting Force, Machining Temperature

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱-۶.

مطالعه تجربی نیروی برش و دما در فرآیند ماشینکاری سوپرآلیاژ پایه نیکل واسپالوی

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها
حمیدرضا اسرافیلی [۱]
حسین امیرآبادی [۲*]
جواد اکبری [۳]
فرشید جعفریان [۴]

[۱] دانشگاه بیرجند، بیرجند
[۲] دانشگاه نیشابور، نیشابور
[۳] دانشگاه صنعتی شریف، تهران
[۴] مرکز آموزش عالی محلات، محلات

*** نویسنده مسئول**
آدرس:
نیشابور، دانشگاه نیشابور
hamirabadi@neyshabur.ac.ir

چکیده

سوپرآلیاژ واسپالوی یک نوع سوپرآلیاژ پایه نیکل است و عمدتاً برای قطعات توربین هواپیما، دیسک‌های کمپرسور و شفت‌ها استفاده می‌شود. تراشکاری سوپرآلیاژ واسپالوی مانند بسیاری از سوپرآلیاژهای پایه نیکل در دمای محیط (تراشکاری مرسوم) دشوار است. در این پژوهش با تغییر در پارامترهای سرعت برشی و نرخ پیشروی، در عمق براده ثابت به بررسی نیروی برش و دمای ایجاد شده در ناحیه برش قطعه‌کار در فرآیند تراشکاری مورب سوپرآلیاژ واسپالوی بدون مواد خنک کاری (ماشینکاری سنتی) پرداخته شد. سختی قطعه‌کار مورد آزمایش ۳۸۲±۳ ویکرز و قطر آن ۲۵ میلی‌متر بود. به منظور بررسی نیروی برش و دمای ناحیه برش از طراحی آزمایش عاملی کامل بدون تکرار استفاده شد و یک مدل رگرسیونی از عوامل تاثیر گذار برای تخمین نیروی برشی ارائه گردید. به طور خاص بیشترین تغییرات نیروی برشی در شرایطی که سرعت برشی ۱۲۰۰ (rpm) و عمق براده ۰/۳ (mm) بود با افزایش نرخ پیشروی از ۱۴ به ۴۲ (mm/min) اتفاق افتاد. همچنین با افزایش سرعت برشی و نرخ پیشروی در تمامی آزمایش‌ها دمای ماشینکاری افزایش یافت.

کلیدواژه‌ها سوپرآلیاژ واسپالوی، تراشکاری، نیروی برشی، دمای ماشینکاری

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.2.5]

۱- مقدمه

سوپرآلیاژهای پایه نیکل به دلیل داشتن خواص مکانیکی منحصر به فرد مانند مقاومت در برابر خستگی، پایداری حرارتی و مقاومت در برابر خوردگی دارای کاربری در صنایع هوافضا، موتورها و توربین‌های گازی، تجهیزات کارخانه‌های پتروشیمی، تجهیزات دریایی دارند [1,2] و در صنعت به عنوان موادی با قابلیت ماشینکاری پایین شناخته شده‌اند [3]. سوپرآلیاژهای پایه نیکل بیش از ۵۰ درصد وزنی موتورهای هواپیما و توربین‌های گازی را به خود اختصاص داده است. و به دلیل ویژگی‌های خاص متالورژیکی و ترمومکانیکی (Thermo-Mechanical) در قسمت داغ توربین‌ها کاربرد دارند [4].

سوپرآلیاژ واسپالوی (Waspaloy) یک نوع سوپرآلیاژ پایه نیکل است که در دهه ۱۹۵۰ توسط شرکت پرات و ویتنی ساخته شد و عمدتاً برای قطعات توربین هواپیما، دیسک‌های کمپرسور و شفت‌ها استفاده می‌شود. ترکیبی از خواص کششی و خستگی خوب در سوپرآلیاژ واسپالوی در دماهای متوسط باعث شده است برای کاربردهای مذکور جذاب باشد و به عنوان یک ماده سخت که دارای ویژگی‌های منحصر به فردی است کاربرد آن را در صنایع پیشرفته همچون صنایع هوایی بسیار گسترده کرده است [2,5]. به علت سخت شدن رسوب جامد در فاز غني شده نیکل، پایداری سوپرآلیاژ واسپالوی در دماي بالا افزایش یافته است همچنین ساختار مکعبی مرکزدار، و وجود فاز گاما که یک فاز آستنیتی پایه نیکل است و درصد زیادی از کروم، کبالت، مولیبدن و تنگستن موجب افزایش سختی این نوع سوپر آلیاژ شده است. با افزایش میزان رسوبات، جابجایی کاهش می‌یابد که این موضوع باعث افزایش سختی سوپرآلیاژ می‌شود [6] از این رو تراشکاری سوپرآلیاژ واسپالوی در دمای محیط (تراشکاری مرسوم) دشوار است. در فرایند تراشکاری تنش بالائی که بین ابزار و قطعه‌کار بوجود می‌آید باعث ایجاد لایه‌ای از فلز تغییر شکل یافته بر روی سطح قطعه‌کار می‌شود این تغییر شکل با ایجاد کارسختی در سطح قطعه‌کار ادامه فرایند تراشکاری را در پاس های بعدی با مشکل مواجه می‌کند [7]. بنابراین، بررسی نیرو و دمای ایجادشده در فرآیند ماشینکاری این ابرآلیاژ، به منظور رسیدن به سطحی مطلوب و بدون ایراد، مورد توجه محققین قرار گرفته است.

کاراگوزل و همکارانش در سال ۲۰۱۴ به بررسی افزایش عمر ابزار در فرایند تراشکاری غیر مرسوم برای سوپرآلیاژهای اینکونل ۷۱۸، واسپالوی و تیتانیوم (Ti6Al4V) (فلزاتی با قابلیت برشکاری پایین) پرداختند. آنها به منظور بررسی عمر ابزار نتایج تجربی دو فرآیند براده برداری تراشکاری-فرزکاری (turn-milling) و تراشکاری چرخشی (rotary turning) با تراشکاری مرسوم در آلیاژهای مذکور را مقایسه کردند. با مطالعه تاثیرات شرایط برش و خنک کاری فرایند، در هر دو روش به دلیل کاهش دمای برش نسبت به روش مرسوم افزایش عمر ابزار مشاهده شد [8]. آمبرلو و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی تاثیرات شرایط برش بر روی یکپارچگی سطح در فرایند تراشکاری متعامد سوپرآلیاژ واسپالوی پرداختند. آنها با هدف حذف مواد خنک‌کاری به بررسی اثرات سرعت برش و پیشروی بر روی یکپارچگی سطح در حین عملیات تراشکاری بر روی سوپرآلیاژ وسپالوی با استفاده از یک نوع ابزار پوشش داده شده پرداختند. به طور خاص، تأثیر شرایط برش در مصرف انرژی مکانیکی، سایش ابزار و برخی از شاخص‌های یکپارچگی سطح شامل: زبری سطح، لایه آسیب دیده، میکروسختی، اندازه دانه و تغییر میکروساختاری مورد بررسی آنها قرار گرفت. نتایج نشان داد که شرایط برش تأثیرات معنی داری بر پارامترهای مربوط به یکپارچگی سطح دارد که بر عملکرد کلی آن تأثیر گذار است [9]. ایسیک در سال ۲۰۱۶ به بررسی تاثیرات خنک‌کاری مستقیم ابزار کاربیدی با استفاده از یک سیکل بسته در فرایند تراشکاری سوپرآلیاژ واسپالوی پرداخت. نتایج به دست آمده با تراشکاری خشک مقایسه شد. نتایج نشان داد به دلیل کاهش دمای ابزار و دمای براده نسبت به ماشینکاری خشک، کیفیت سطح ۱۳ درصد و سایش ابزار ۱۲ درصد بهبود پیدا کرد [10]. کاراسو و همکارانش در سال ۲۰۱۷ به بررسی نتایج تجربی نیروهای برش و شکل براده، سایش ابزار و دما در فرایند تراشکاری متعامد سوپرآلیاژ واسپالوی پرداختند. فرایند تراشکاری به دو روش خشک و روانکار روغن با استفاده از ابزار کاربیدی پوشش داده شده در سرعت‌های برشی و نرخ‌های پیشروی متفاوت انجام شد. نتایج تجربی نشان داد پارامترهای برش و شرایط روانکاری تاثیر معناداری بر نیروهای برشی، نرخ سایش ابزار، دما و مورفولوژی براده دارد [11]. رینالدی و همکارانش در سال ۲۰۱۷ به بررسی قابلیت ماشینکاری سوپرآلیاژ واسپالوی در شرایط مختلف برش، خنک‌کاری و روانکاری پرداختند. این تحقیق با هدف بررسی تاثیر پارامترهای برش بر روی نیروهای برشی، شکل براده، سایش ابزار و درجه حرارت بین ابزار و براده در فرایند تراشکاری متعامد انجام شد [12]. پرزستاک و همکارش در سال ۲۰۱۷ به تجزیه و تحلیل زبری سطح قطعه‌کار در فرایند تراشکاری خشک سوپرآلیاژ واسپالوی پرداختند. هدف اصلی محققین تعیین شرایط بهینه تراشکاری خشک و امکان به حداقل رساندن پارامترهای زبری سطح با استفاده از متغیرهای سرعت برشی، سرعت پیشروی و عمق برش بود [13]. ول مورگان و همکارانش در سال ۲۰۱۹ به بررسی و تحقیق در خصوص پارامترهای تراشکاری سوپرآلیاژهای اینکونل ایکس۷۵۰ و واسپالوی پرداختند. آزمایش‌ها با هدف تحلیل سایش ابزار، نیروهای تراشکاری و صافی سطح بر روی سوپرآلیاژهای اینکونل ایکس۷۵۰ و واسپالوی در حالت تراشکاری خشک انجام شد [14]. با توجه به کمبود پژوهش‌های تجربی در زمینه ماشینکاری ابرآلیاژ واسپالوی، در این تحقیق با تغییر در پارامترهای سرعت برشی (Cutting Speed) و نرخ پیشروی (Feed Rate) با ثابت نگه‌داشتن

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

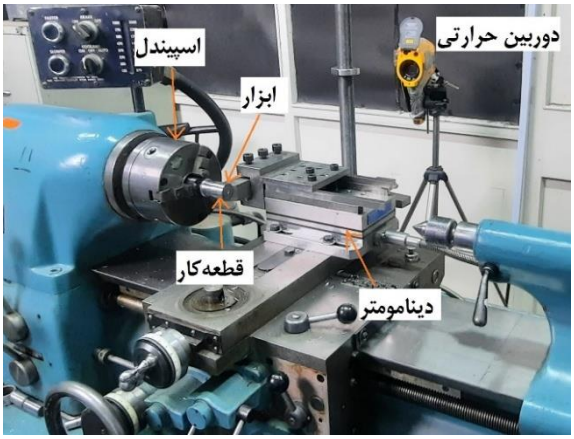
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.2.5]

عمق براده (Depth of Cut) به بررسی نیروی برش و دمای ایجاد شده در ناحیه برش قطعه‌کار در فرایند تراشکاری مورب سوپرآلیاژ واسپالوی بدون خنک کاری (ماشینکاری سنتی) پرداخته شد. سختی قطعه‌کار مورد آزمایش ۳۸۲±۳ ویکرز و قطر آن ۲۵ میلی‌متر بود. به منظور بررسی نیروی برش و دمای ناحیه برش از طراحی آزمایش عاملی کامل بدون تکرار استفاده شد و یک مدل رگرسیونی از عوامل تاثیر گذار برای تخمین نیروی برشی ارائه گردید.

۲- آزمایش‌های تجربی

جنس قطعه‌کار سوپر آلیاژ پایه نیکل واسپالوی بود. واسپالوی به دلیل خواص خوب مکانیکی، شیمیایی و عملکرد مناسب در درجه حرارت‌های بالا، به عنوان ماده‌ای با قابلیت ماشینکاری پایین در صنعت شناخته شده است. ترکیبات شیمیایی و مشخصات فیزیکی قطعه‌کار در جدول ۱ و جدول ۲ آورده شده است. قطعه کار مورد استفاده میلگرد به قطر ۲۵ میلی‌متر بود. در ابتدا میلگرد واسپالوی با عملیات حرارتی مطابق با استاندارد AMS 5708 از سختی حدود ۲۷۰±۵ ویکرز به سختی حدود ۳۸۲±۳ ویکرز افزایش یافت و سپس عملیات ماشینکاری انجام شد. عملیات حرارتی جهت ایجاد رسوب فاز گاما پریم γ' انجام شد که شامل: عملیات حرارتی انحلال، عملیات پیر سازی، عملیات رسوب سختی و عملیات پیرسازی بود [15]. پس از انجام عملیات حرارتی آزمایش سختی سنجی ویکرز (۱۰ کیلوگرم نیرو) در ۵ ناحیه به صورت تصادفی روی سطح قطعه کار انجام شد میانگین سختی بدست آمده ۳۸۲±۳ ویکرز بود [16].

در این پژوهش از دستگاه ماشین تراش هاردینگ (Harding) مدل HLV-H ساخت کشور انگلستان، با حداکثر توان اسپیندل ۱/۱۲ کیلووات و دور متغیر از ۱۲۵ الی ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، نرخ پیشروی متغیر از ۲/۵ الی ۱۳۶ میلی‌متر بر دقیقه مستقل از یکدیگر و پیشروی شعاعی ابزار با دقت ۰/۰۲ میلیمتر استفاده شد. نیروهای ماشینکاری توسط دینامومتر کیستلر مدل 9121 اندازه‌گیری شد. به منظور داده برداری نیروهای ماشینکاری از آمپلی‌فایر 5070 کیستلر به همراه کارت داده‌برداری A5697 کیستلر و نرم افزار داینور (DynoWare) استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری دمای براده در محل تماس قطعه کار با ابزار، از دوربین حرارتی (فروسرخ) فلوک (Fluke) مدل TI400 استفاده شد. عملیات تراشکاری با استفاده ابزار برشی کاربیدی بدون پوشش و بدون براده شکن ساخت شرکت سندویک (Sandvik) انجام شد. شعاع نوک ابزار ۰/۴ میلی متر بود. عدم وجود براده شکن در ابزار، امکان بررسی هندسه لبه برشی ابزار را با دقت بیشتری فراهم می‌کند [19]. هر آزمایش منحصراً با یک لبه ابزار انجام شد. چیدمان آزمایش‌های تجربی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱) چیدمان آزمایش‌های تجربی

۳- طراحی آزمایش

به منظور بررسی تاثیر پارامترهای سرعت برشی و نرخ پیشروی بر روی نیروی برش و دمای ماشینکاری از طراحی آزمایش عاملی کامل با سه بار تکرار مطابق جدول ۳ استفاده شد.

جدول ۳) پارامترهای طراحی آزمایش

پارامترها	سطوح		
	سطح۱	سطح۲	سطح۳
سرعت برشی (دور بر دقیقه)	۴۰۰	۸۰۰	۱۲۰۰
نرخ پیشروی (میلی‌متر بر دقیقه)	۱۴	۲۸	۴۲

۴- نتایج و بحث

برای بررسی نتایج، از دو پارامتر سرعت برشی و نرخ پیشروی استفاده شد. با در نظر گرفتن این دو پارامتر و طراحی آزمایش، تعداد ۲۷ آزمون انجام شد که در جدول ۴ آورده شده است. حاصل نتایج این آزمایش دو خروجی شامل نیروی برش (مولفه مماسی) و دمای ماشینکاری بود.

جدول ۱) عناصر تشکیل دهنده سوپر آلیاژ واسپالوی [17]

عناصر تشکیل دهنده	درصد وزنی (حد بالا)	درصد وزنی (حد پایین)
Nickel	فلز پایه	فلز پایه
Chromium	21.0	18.0
Cobalt	15.0	12.0
Molybdenum	5.00	3.50
Aluminum	1.60	1.00
Titanium	3.25	2.60
Iron	2.00	—
Manganese	1.00	—
Silicon	0.75	—
Carbon	0.10	0.02
Boron	0.01	0.003
Zirconium	0.12	0.02
Copper	0.50	—
Sulfur	0.030	—

جدول ۲) مشخصات فیزیکی سوپر آلیاژ واسپالوی [18]

مشخصات فیزیکی	دما (سانتیگراد)	مقدار	واحد
چگالی	۲۱	۸/۱۹	g/cm^3
محدوده ذوب	۱۳۶۰-۱۳۳۰	-	-
مدول الاستیسیته	۲۰	۲۱۱	GPa

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

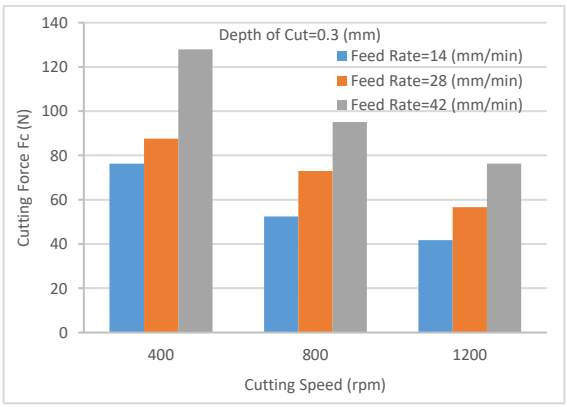
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.2.5]

جدول ۴) نتایج آزمایش‌ها

آزمایش	سرعت برشی (rpm)	نرخ پیشروی (mm/min)	نیروی برش (N)	دمای ماشینکاری (C°)
۱	۸۰۰	۲۸	۷۱٫۹۶	۱۱۷
۲	۸۰۰	۱۴	۵۳٫۳۳	۱۱۱
۳	۸۰۰	۴۲	۹۳٫۳۵	۱۲۲
۴	۸۰۰	۱۴	۵۱٫۳۵	۱۱۲
۵	۱۲۰۰	۴۲	۷۳٫۸۸	۱۳۴
۶	۴۰۰	۴۲	۱۲۸٫۰۰	۱۱۴
۷	۱۲۰۰	۴۲	۷۶٫۸۴	۱۳۵
۸	۸۰۰	۴۲	۹۵٫۱۳	۱۲۱
۹	۱۲۰۰	۱۴	۳۹٫۱۰	۱۲۵
۱۰	۴۰۰	۴۲	۱۲۸٫۷۰	۱۱۲
۱۱	۸۰۰	۱۴	۵۲٫۵۳	۱۱۲
۱۲	۴۰۰	۲۸	۸۶٫۵۶	۱۰۸
۱۳	۴۰۰	۱۴	۷۶٫۸۰	۱۰۵
۱۴	۴۰۰	۴۲	۱۲۷٫۲۰	۱۱۵
۱۵	۴۰۰	۱۴	۷۶٫۲۱	۱۰۳
۱۶	۱۲۰۰	۲۸	۵۳٫۶۰	۱۲۹
۱۷	۸۰۰	۴۲	۹۶٫۷۳	۱۲۱
۱۸	۴۰۰	۲۸	۸۸٫۵۶	۱۱۰
۱۹	۱۲۰۰	۴۲	۷۸٫۰۹	۱۳۵
۲۰	۸۰۰	۲۸	۷۲٫۹۶	۱۱۷
۲۱	۱۲۰۰	۲۸	۵۷٫۷۸	۱۳۰
۲۲	۱۲۰۰	۱۴	۴۲٫۷۰	۱۲۲
۲۳	۱۲۰۰	۱۴	۴۳٫۵۰	۱۲۴
۲۴	۴۰۰	۲۸	۸۷٫۵۵	۱۰۹
۲۵	۱۲۰۰	۲۸	۵۸٫۴۵	۱۳۰
۲۶	۴۰۰	۱۴	۷۵٫۸۹	۱۰۵
۲۷	۸۰۰	۲۸	۷۳٫۹۰	۱۱۸

۴-۱- نیروهای ماشینکاری

به کمک دینامومتر امکان اندازه‌گیری و ثبت مولفه‌های نیرو در فرایندهای ماشینکاری وجود دارد. در فرایند تراشکاری نیروی برش (F_c) (مولفه مماسی) در راستای Y، نیروی پیشروی (F_f) (مولفه محوری) در راستای X، و در نهایت نیروی پسیو (passive) (F_p) (مولفه شعاعی) در راستای Z ماشین تراش جانمائی می‌شوند[19]. شکل ۲ میانگین نتایج آزمایش‌های تجربی و تاثیر پارامترهای ماشینکاری شامل سرعت برشی و نرخ پیشروی بر نیروی برش در فرایند ماشینکاری سنتی (شرایط خشک) برای نرخ‌های پیشروی ۱۴، ۲۸ و ۴۲ (mm/min) و عمق براده برداری ۰/۳ میلی‌متر (mm) را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش سرعت برشی، حرارتی که به براده وارد می‌شود بیشتر شده و با افزایش دمای براده تغییر شکل نیافته نیروی برشی کاهش می‌یابد. در نرخ پیشروی ۱۴ (mm/min) با افزایش سرعت برشی از ۴۰۰ به ۸۰۰ دور بر دقیقه (rpm) نیروی برشی ۳۱ درصد و از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ (rpm)، نیروهای برشی ۲۱ درصد کاسته می‌شود. با افزایش سرعت برشی و افزایش دمای براده تغییر شکل نیافته دمای ناحیه صفحه برش و دمای ناحیه اصطکاکی براده–ابزار افزایش می‌یابد و این افزایش دما منتج به کاهش تنش جریان برشی در صفحه برش و ناحیه اصطکاکی براده و ابزار می‌شود. با افزایش نرخ پیشروی به ۲۸ (mm/min)کاهش نیرو برشی برای سرعت‌های برشی ۸۰۰ و ۱۲۰۰ (rpm) به ترتیب ۱۶ و ۲۲ درصد و برای نرخ پیشروی ۴۲ (mm/min) به ترتیب ۲۵ و ۱۹ درصد مشاهده می‌شود. به طور خاص در شرایطی که سرعت برشی ۱۲۰۰ (rpm) و عمق براده ۰/۳ (mm) باشد با افزایش نرخ پیشروی از ۱۴ به ۴۲ (mm/min) نیروهای برشی ۸۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. در واقع با افزایش سرعت برشی دمای بالاتری در ناحیه تماس ابزار و قطعه کار و براده تغییر شکل نیافته بوجود می‌آید. افزایش دما باعث کاهش مقاومت به تسلیم ماده قطعه‌کار شده و نیروی برشی کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود با افزایش نرخ پیشروی در سرعت‌های برشی ثابت نیروی برشی افزایش می‌یابد. می‌توان این واقعیت را مطرح کرد که افزایش نیروی برشی ناشی از افزایش نرخ براده برداری به دلیل افزایش طول تماس ابزار و قطعه کار و اثر کرنش سختی بین ماده قطعه کار و ابزار برشی در زمان ماشینکاری است.



شکل ۲) تاثیر سرعت برشی و نرخ پیشروی بر نیروهای برشی با عمق براده ۰/۳ میلیمتر

جدول ۵ واریانس متغیرهای ورودی جهت بررسی نیروی برش در این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۵ نشان می‌دهد مقدار پی (P) از سطح معنا داری (0.05) کمتر است که می‌توان نتیجه گرفت تمامی اثرات سرعت برشی و نرخ پیشروی دارای تاثیرات معنادار بر روی نیروی ماشینکاری می‌باشند. در این مطالعه یک مدل رگرسیونی درجه یک مطابق رابطه ۱ با ضریب همبستگی (R^2) برابر با 0.95 جهت تخمین مناسب نیروی برش به دست آمد.

$$Fc\ (N) = 72.43 - 0.04882\ Vc\ (rpm) + 1.5338\ af\ (mm/min) \quad (1)$$

در رابطه ۱ متغیر V_c سرعت برشی (دور بر دقیقه) و a_f نرخ پیشروی (میلی‌متر بر دقیقه) می‌باشد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

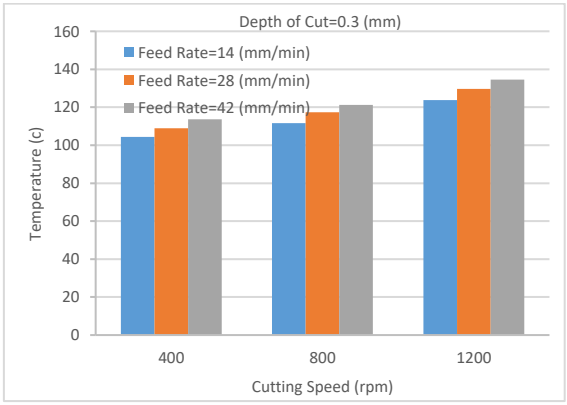
[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.2.5]

جدول ۵) تاثیرات سرعت برشی و نرخ پیشروی بر نیروی ماشینکاری

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار فیشر	مقدار پی
سرعت برشی	6974.8	2	3487.39	1327.47	0.000
نرخ پیشروی	8510.2	2	4255.12	1619.70	0.000
سرعت برشی x نرخ پیشروی	448.1	4	112.04	42.65	0.000
خطا	47.3	18	2.63		
مجموع	15980.5	26			

۴-۲- دمای ماشینکاری

اندازه‌گیری و مقایسه دمای ماشینکاری اغلب بر اساس حداکثر دمای اندازه‌گیری شده بر روی صفحه براده‌ی ابزار است [20]. شکل۲ نشان می‌دهد با افزایش سرعت برشی در نرخ پیشروی و عمق برش ثابت، دمای ماشینکاری رفتار قابل پیشبینی از خود نشان می‌دهد.



شکل ۳) تاثیر سرعت برشی و نرخ پیشروی بر دمای ماشینکاری با عمق براده ۰/۳ میلیمتر

با افزایش سرعت برشی دمای ماشینکاری در نرخ پیشروی ۱۴ (mm/min) افزایش یافته و زمانیکه نرخ پیشروی از ۱۴ به ۲۸ (mm/min) افزایش می‌یابد با افزایش سرعت برشی این روند ادامه می‌یابد همچنین افزایش نرخ پیشروی از ۲۸ به ۴۲ (mm/min) و افزایش سرعت برشی افزایش دما مشاهده می‌شود. با این وجود می‌توان گفت در سرعت‌های برش یکسان با افزایش نرخ پیشروی از ۱۴ به ۲۸ (mm/min) دمای ماشینکاری افزایش می‌یابد. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش نرخ پیشروی و سرعت برشی دمای ماشینکاری از دمای ۱۰۴ به ۱۳۵ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی تاثیر پارامترهای ماشینکاری شامل سرعت برشی و نرخ پیشروی بر نیروی برش و دمای ماشینکاری پرداخته شد.

مشاهده شد تأثیر پارامترهای سرعت برشی و نرخ پیشروی بر روی نیروی برش معنادار و قابل توجه است. در این راستا یک مدل رگرسیونی جهت تخمین مناسب نیروی برش با متغیرهای سرعت برشی و نرخ پیشروی پیشنهاد شد. رابطه رگرسیونی با ضریب همبستگی 0.95 نشان داد تغییرات سرعت برشی و نرخ پیشروی بر روی نیروی برش به صورت خطی و درجه یک تغییر می‌کند.

افزایش سرعت برشی، باعث افزایش دمای براده تغییر شکل نیافته و دمای ناحیه صفحه برش و ناحیه اصطکاکی براده–ابزار می‌شود، این افزایش دما منتج به کاهش تنش جریان برشی در صفحه برش و ناحیه اصطکاکی براده و ابزار می‌شود که باعث کاهش نیروی برش می‌گردد.

با افزایش نرخ پیشروی به دلیل افزایش نرخ براده برداری و افزایش طول تماس ابزار و قطعه کار و اثر کرنش سختی بین ماده قطعه کار و ابزار برشی در زمان ماشینکاری نیروی برشی افزایش می‌یابد. به طور خاص بیشترین تغییرات نیرو در شرایطی که سرعت برشی ۱۲۰۰ (rpm) و عمق براده ۰/۳ (mm) بود با افزایش نرخ پیشروی از ۱۴ به ۴۲ (mm/min) اتفاق افتاد.

با افزایش سرعت برشی و نرخ پیشروی در تمامی آزمایش‌ها دمای ماشینکاری افزایش یافت. افزایش دمای ماشینکاری به واسطه افزایش سرعت برشی به دلیل افزایش دمای براده تغییر شکل نیافته و افزایش دما در ناحیه صفحه برش است. همچنین با افزایش نرخ پیشروی به دلیل افزایش طول تماس ابزار و قطعه کار و افزایش نرخ براده برداری دمای بیشتری در ناحیه صفحه برش ایجاد می‌شود که باعث افزایش دمای ماشینکاری می‌گردد.

این مطالعه با هدف بررسی پارامترهای ماشینکاری سنتی (بدون استفاده از مواد خنک کاری) و مقایسه آن با ماشینکاری به کمک لیزر (آینده پژوهش) انجام شد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان این پژوهش بدینوسیله کمال تشکر و سپاسگزاری خود را از جناب آقای مهندس علیدادی مدیر عامل محترم شرکت دانش بنیان مهندسی ارتعاشات نوآوران پایش جهت در اختیار قرار دادن دوربین حرارتی، جناب آقای مهندس اکبری مدیر عامل محترم شرکت دانش بنیان المان صنعت سیستم بابت انجام عملیات حرارتی سوپرآلیاژ وسپالوی، جناب آقای مهندس بیات (دانشجوی محترم مقطع دکتری مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف) و جناب آقای مهندس اعظمی (مسئول محترم کارگاه ماشینکاری دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف) بابت همکاری در انجام آزمایش‌ها به عمل می‌آورند.

تاییدیه اخلاقی: نویسندگان این تحقیق اقرار می‌نمایند که تمامی نتایج مندرج در این مقاله حاصل تحقیق صورت گرفته توسط ایشان و نتایج به دست آمده از آن می‌باشد.

منابع مالی: کلیه هزینه‌ای انجام شده جهت انجام این تحقیق از منابع شخصی صورت گرفته است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.2.5]

مراجع

1- Del Prete A, Primo T, Franchi R. Super-nickel orthogonal turning operations optimization. Procedia CIRP. 2013;8:164-9.
2- Imbrogno S, Rinaldi S, Umbrello D, Filice L, Franchi R, Del Prete A. A physically based constitutive model for predicting the surface integrity in machining of Waspaloy. Materials & Design. 2018;152:140-55.
3- del Prete A, de Vitis AA, Filice L, Caruso S, Umbrello D, editors. Tool engage investigation in nickel superalloy turning operations. Key Engineering Materials; 2012: Trans Tech Publ.
4- Kishawy H, Becze C, McIntosh D. Tool performance and attainable surface quality during the machining of aerospace alloys using self-propelled rotary tools. Journal of materials processing technology. 2004;152(3):266-71.
5- Olovsjö S, Nyborg L. Influence of microstructure on wear behaviour of uncoated WC tools in turning of Alloy 718 and Waspaloy. Wear. 2012;282:12-21.
6- Schaffer JP, Saxena A, Antolovich SD, Sanders TH, Warner SB. The science and design of engineering materials: Irwin Chicago; 1995.
7- Ding H, Shin YC. Improvement of machinability of Waspaloy via laser-assisted machining. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2013;64(1-4):475-86.
8- Karaguzel U, Olgun U, Uysal E, Budak E, Bakkal M. Increasing tool life in machining of difficult-to-cut materials using nonconventional turning processes. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015;77(9-12):1993-2004.
9- Umbrello D, editor The effects of cutting conditions on surface integrity in machining Waspaloy. Key Engineering Materials; 2014: Trans Tech Publ.
10- Isik Y. Using internally cooled cutting tools in the machining of difficult-to-cut materials based on Waspaloy. Advances in Mechanical Engineering. 2016;8(5):1687814016647888.
11- Caruso S, Rinaldi S, Franchi R, Del Prete A, Umbrello D, editors. Experimental analysis of influence of cutting conditions on machinability of waspaloy. AIP Conference Proceedings; 2017: AIP Publishing.
12- Rinaldi S, Caruso S, Umbrello D, Filice L, Franchi R, Del Prete A. Machinability of Waspaloy under different cutting and lubri-cooling conditions. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018;94(9-12):3703-12.
13- Przestacki D, Chwalczuk T, editors. The analysis of surface topography during turning of Waspaloy with the application of response surface method. MATEC Web of Conferences; 2017: EDP Sciences.
14- Velmurugan KV, Venkatesan K, Devendiran S, Mathew AT. Investigation of Parameters for Machining a Difficult-to-Machine Superalloy: Inconel X-750 and Waspaloy. Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018): Springer; 2019. p. 199-215.
15- International S. SAE International, Aerospace Material Specification AMS 5708L, 2015. 2015.
16- Herrmann K. Hardness testing: principles and applications: ASM international; 2011.
17- Ezugwu E, Wang Z, Machado A. The machinability of nickel-based alloys: a review. Journal of Materials Processing Technology. 1999;86(1-3):1-16.
18- [Available from: Document Prepared by Special Metals on Waspaloy Accessed from http://www.specialmetals.com/documents/Waspaly.
19- Polvorosa R, Suárez A, de Lacalle LL, Cerrillo I, Wretland A, Veiga F. Tool wear on nickel alloys with different coolant pressures: Comparison of Alloy 718 and Waspaloy. Journal of Manufacturing Processes. 2017;26:44-56.
20- Davies M, Cooke A, Larsen E. High bandwidth thermal microscopy of machining AISI 1045 steel. CIRP annals. 2005;54(1):63-6.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-05-10]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1401.22.10.2.5]