



Investigating the Effect of Optimal Selection of Vibration and Cutting Parameters on Cutting Forces and Temperature in the Ultrasonic Vibration Assisted Machining Process



ARTICLE INFO

Authors

Movahedian S.¹,
Nategh MJ.^{1*}

¹ Mechanical Engineering Department,
Tarbiat Modares University, Tehran,
Iran.

* Correspondence

Address: Mechanical Engineering
Department, Tarbiat Modares
University, Tehran, Iran.
Nategh@modares.ac.ir

How to cite this article

Movahedian S, Nategh MJ.
Investigating the Effect of Optimal
Selection of Vibration and Cutting
Parameters on Cutting Forces and
Temperature in the Ultrasonic Vibration
Assisted Machining Process. Modares
Mechanical Engineering. Proceedings
of 2nd Iranian National Conference on
Advanced Machining and Machine
Tools (CAMMT). 2022;22(10):105-111.

ABSTRACT

In this article, the effect of optimal selection of vibration and cutting parameters on cutting forces in the machining process with ultrasonic vibration assistance has been investigated and the results have been compared in two modes of conventional machining and of ultrasonic vibration assisted machining. In the investigation of the effect of ultrasonic vibration assistance on the machining process, analyzes have been carried out in different cutting speeds, and the effect of changing the cutting speed in relation to the tool's oscillation speed has been investigated. Finite element modeling and simulation has been done with DEFORM finite element software. The results show that the application of ultrasonic vibration in the machining process leads to the reduction of tangential and axial cutting and the reduction of heat resulting from the cutting process. By examining the results, it was found that in the machining process with ultrasonic vibration assistance, when the cutting speed is at least 30% lower than the vibration speed of the tool tip, the process has a favorable efficiency, and the favorable effects of applying ultrasonic vibration on the process include reducing shear forces, reducing the heat generated from cutting, reducing the friction coefficient between the tool and the workpiece, helping to improve the chip flow, etc.

Keywords Machining, Cutting Temperature, Cutting Force, Ultrasonic Vibration, Inconel 718 Superalloy

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین کاری و ماشین های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۰۵-۱۱۱.



بررسی تاثیر انتخاب بهینه پارامترهای ارتعاشی و برشی بر نیروهای برش در فرایند ماشین کاری به کمک ارتعاش التراسونیک



چکیده

در این مقاله به بررسی تاثیر انتخاب بهینه پارامترهای ارتعاشی و برشی بر نیروهای برش در فرایند ماشین کاری به کمک ارتعاش التراسونیک پرداخته شده است و نتایج حاصل در دو حالت ماشین کاری سنتی و ماشین کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با هم مقایسه شده اند. در بررسی اثر اعمال ارتعاش التراسونیک بر فرایند ماشین کاری، تحلیل ها در شرایط مختلف پارامترهای ارتعاشی و برشی انجام شده اند و تاثیر تغییر سرعت نوسان ابزار نسبت به سرعت برشی، مورد بررسی قرار گرفته اند. مدل سازی و شبیه سازی المان محدود به کمک نرم افزار المان محدود دیفرم (DEFORM) انجام شده است. نتایج حاصل نشان دادند که اعمال ارتعاش التراسونیک در فرایند ماشین کاری، منجر به کاهش نیروهای برشی مماسی و محوری وارد بر ابزار برشی و قطعه کار و کاهش حرارت حاصل از فرایند برش می شود. با بررسی نتایج حاصل مشخص شد که در فرایند ماشین کاری به کمک ارتعاش التراسونیک وقتی که سرعت برشی حداقل ۳۰ درصد کمتر از سرعت ارتعاش نوک ابزار باشد، فرایند بازدهی مطلوبی دارد و اثرات مطلوب اعمال ارتعاش التراسونیک بر فرایند شامل کاهش نیروهای برشی، کاهش حرارت ناشی از برش، کاهش ضریب اصطکاک بین ابزار و قطعه کار، کمک به بهبود جریان براده و غیره حاصل می شوند.

مشخصات مقاله

نویسندگان

سعید موحیدیان^۱
محمدجواد ناطق^{۱*}

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه
تربیت مدرس، تهران

* نویسنده مسئول

Nategh@modares.ac.ir

کلیدواژه ها ماشین کاری، دمای برش، نیروی برشی، ارتعاش التراسونیک، سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸

۱- مقدمه

ماشین‌کاری سوپرآلیاژها بدلیل حضور فازهای بین فلزی و داشتن ویژگی حفظ سختی در دمای بالا، غلظت بالای کاربیدها و کارسختی سریع حین فرایند برش، مشکل است و بنا به دلایل ذکر شده، جزو مواد سخت ماشین‌کاری شونده محسوب می‌شوند^[1]. ماشین‌کاری قطعات از جنس سوپرآلیاژها، مشکلاتی دارد که به سختی می‌توان بر آنها غالب شد. سرعت‌های برشی برای رسیدن به بهره‌وری و عمر ابزار بهینه در ماشین‌کاری سوپرآلیاژها یک دهم تا یک بیستم فولادهای معمولی است. علاوه بر این گاهی ماشین‌کاری حتی در سرعت‌های برشی کم هم منجر به صافی سطح مطلوب و دقت ابعادی قابل قبول نمی‌شود. عامل مشکل زای بعدی ناتوانی ماشین‌های ابزار است، چراکه به همراه سرعت‌های برشی پایین، ماشین ابزار باید تحمل گشتاور بالا، دارای صلیبیت بالا و امکان یک عملکرد یکنواخت ارتعاشی باشد^[2]. افزایش دامنه کاربرد سوپرآلیاژها در صنعت، مشکلات ماشین‌کاری این مواد را افزایش داده است. قابلیت ماشین‌کاری خوب برخی از قطعات قبل از عملیات حرارتی و قابلیت ماشین‌کاری بسیار ضعیف آنها بعد از عملیات حرارتی، ایجاب می‌کند تا روش‌ها و فناوری‌های جدیدی بکار گرفته شوند تا دقت ابعادی قطعات بعد از عملیات حرارتی بهم نخورد. از این‌رو مناسب‌ترین روش ماشین‌کاری برای تولید قطعات از جنس سوپرآلیاژ مهم بوده و هنوز موضوع مورد توجه محققان است. یکی از بهترین روش‌ها برای ماشین‌کاری سوپرآلیاژها، ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک است که در این روش اعمال ارتعاش التراسونیک به فرایند ماشین‌کاری باعث کاهش نیروهای برشی، کاهش حرارت ناشی از برش، بهبود جریان براده، کاهش اصطکاک بین ابزار و قطعه کار و بهبود صافی سطح و افزایش عمر ابزار برشی می‌شود^[3]. ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ میلادی انجام شد^[4]. طی سال‌های گذشته پژوهش‌هایی در مورد تأثیرات و کاربردهای اعمال ارتعاش التراسونیک در فرایندهای ماشین‌کاری انجام شده‌اند که در ادامه برخی از مهم‌ترین پژوهش‌ها بطور مختصر شرح داده شده‌اند. کومابه^[5] برای اولین بار ارتعاش التراسونیک را با ماشین‌ابزارهای معمولی ادغام نمود. نتایج حاصل از تحقیق نشان دادند که نیروی تراش متناوب منجر به کاهش نیروی تراش، انتقال حرارت سریع‌تر و افزایش عمر ابزار برشی شد. در سال ۱۹۶۰ ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک (RUM) در ماشین‌ابزارهای دورانی برای اولین بار بررسی شد و در ادامه در سال ۱۹۶۴ پرسلیک این موضوع را به عنوان اختراع ثبت کرد^[4]. سو و همکاران^[6] به بررسی فرزکاری به کمک ارتعاش التراسونیک با ابزار کف تراش پرداختند. آن‌ها از سه مبدل برای ارتعاش قید و بند و قطعه کار استفاده کردند و ابزار مناسب برای ماشین‌کاری سوپر آلیاژ پایه

نیکل را تعیین کردند. بابتسکی و همکاران^[7] با روش اجزا محدود اثر اعمال روانکار و تغییر پارامترهایی مثل سرعت برشی، عمق برش و نرخ پیشروی را بر چگونگی تشکیل براده بررسی کردند. مدل ارائه شده توزیع تنش، کرنش، نیروهای برشی و درجه حرارت ناشی از برش را ارائه می‌کند. زیائو و همکاران^[8] تأثیر هندسه ابزار شامل زاویه براده و زاویه آزاد را بر پایداری فرایند ماشین‌کاری بررسی کردند و نتایج حاصل نشان دادند که تأثیر هندسه ابزار بر پایداری فرایند در ماشین‌کاری معمولی بیشتر از ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک است. ما و همکاران^[9] مدلی تئوری برای کاهش ارتعاش خودانگیخته با اعمال ارتعاش التراسونیک بر ابزار برشی ارائه کردند. آزمون‌های تجربی نشان دادند که در فرایند تراش معمول، ارتعاش خودانگیخته با اعمال ارتعاش التراسونیک بیضوی بطور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. زیائولیانگ و همکاران^[10] یک سیستم میکرو فرزکاری با اعمال ارتعاش دو بعدی ارائه کردند و اثر اعمال ارتعاش التراسونیک با فرکانس بالا را بر ارتعاش خودانگیخته در فرایند میکرو فرزکاری بررسی کردند. بابتسکی و همکاران^[11] نشان دادند که اعمال ارتعاش التراسونیک به فرایند ماشین‌کاری باعث افزایش دو برابری نرخ براده برداری (MRR) در ماشین‌کاری آلیاژهای تیتانیوم و نیکل می‌شود. ناطق و همکاران^[12] به بررسی ماشین‌کاری سوپرآلیاژ اینکونل ۷۳۸ به کمک ارتعاش التراسونیک با کمک نرم‌افزار انسیس (ANSYS) پرداخته‌اند. نیروهای ماشین‌کاری و تنش‌های اعمالی به قطعه کار در طول فرایند ماشین‌کاری، تأثیر پارامترهای فرایند مثل سرعت برشی، هندسه ابزار و دامنه ارتعاش التراسونیک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ناطق و سلیمانی مهر^[13] به بررسی تأثیر نیروی برشی بر خطای ابعادی در قطر در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک پرداخته‌اند و نتایج را با فرایند ماشین‌کاری سنتی مقایسه و تحلیل کرده‌اند. ناطق و همکاران^[14] به بررسی تأثیر اعمال ارتعاش التراسونیک به ابزار برشی در کاهش خطای ابعادی ناشی از برگشت فنری قطعه کار پرداختند و در ادامه یک مدل برای پیش‌بینی خطای قطری در تراشکاری به کمک ارتعاش التراسونیک بصورت بین مرگک و سه نظام ارائه کردند و نتایج را با روش المان محدود مقایسه و صحت‌سنجی کردند. محققین در همان سال به منظور بررسی صافی سطح و نیروهای برشی، بصورت تجربی این موضوع را بررسی کردند. موحیدیان و ناطق^[3] اثر اعمال ارتعاش التراسونیک را بر نیروهای برشی و دمای منطقه برش در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک آلیاژ تیتانیوم پرداختند که نشان داده شد که اعمال ارتعاش التراسونیک منجر به کاهش نیروها، حرارت، ضریب اصطکاک و طول ناحیه تماس ابزار با براده شده است.

مشخص شده به طرف ابزار برشی حرکت می‌کند. در تحلیل ماشین‌کاری سنتی ابزار برشی در هر دو راستای x و y ثابت شده و در تحلیل ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک ابزار در جهت محور y ثابت و در جهت محور x بصورت هارمونیک نوسان می‌کند که در معادله ۱ نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} u_x &= -a \cos \omega t \\ u_y &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

که در رابطه فوق $\omega = 2\pi f$ و f فرکانس ارتعاش التراسونیک و a دامنه ارتعاش التراسونیک هستند. معادله ۲ بیان‌گر سرعت ارتعاش لبه برنده ابزار برشی است.

$$V_t = a \omega \sin \omega t \quad (2)$$

بمنظور تعیین خواص ماده قطعه کار، از مدل تنش جریان جانسون-کوک استفاده شده است که در معادله ۳ آورده شده است.

$$\bar{\sigma} = \left[A + B \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^n \right] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_f}{T_m - T_f} \right)^m \right] \quad (3)$$

در رابطه فوق A استحکام تسلیم، B مدول کرنش سختی، C ضریب حساسیت به نرخ کرنش، n نمای کار سختی، m نمای نرم شوندگی حرارتی، $\bar{\sigma}$ تنش جریان معادل، $\dot{\epsilon}$ کرنش معادل، $\dot{\epsilon}_0$ نرخ کرنش پلاستیک، T دما، T_m درجه حرارت ذوب و T_f دمای مرجع هستند [15].

۴- تحلیل نتایج

در این پژوهش به بررسی اثر انتخاب صحیح پارامترهای ارتعاشی نسبت به پارامترهای برشی در فرایند ماشین‌کاری بصورت دوبعدی پرداخته شده است و نیروهای برشی در جهت سرعت برشی و در جهت ضخامت براده تغییر شکل نیافته در نظر گرفته شده‌اند که این دو نیرو به ترتیب با نام‌های نیروی برشی مماسی (F_t) و نیروی برشی پیشروی (F_f) بیان شده‌اند. ابتدا فرایند ماشین‌کاری مرسوم بر روی سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ تحلیل شده و سپس به ازای نسبت‌های مختلف پارامترهای ارتعاشی به پارامترهای برشی فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک تحلیل شده و نتایج حاصل مقایسه شده‌اند. در شکل ۱ نیروهای برشی حاصل و در شکل ۲ حرارت ناشی از برش در نقاط مختلف منطقه برش در فرایند ماشین‌کاری مرسوم نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در نمودار نیروی برشی حاصل مشاهده می‌شود، تماس ابزار با قطعه کار پیوسته است و انقطاع رخ نمی‌دهد. شکل ۱ الف نیروی برشی محوری برابر با ۳۴۴ نیوتن و شکل ۱ ب نیروی برشی مماسی برابر با ۱۲۵ نیوتن را نشان می‌دهند.

در شکل ۳ نیروهای برشی حاصل و در شکل ۴ حرارت ناشی از برش در نقاط مختلف منطقه برش در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با فرکانس ارتعاش ۲۰ کیلوهرتز و دامنه ۲۰ میکرومتر و سرعت برشی ۱۰ متر بر دقیقه نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در نمودار نیروی برشی حاصل مشاهده

۲- شرح مسئله

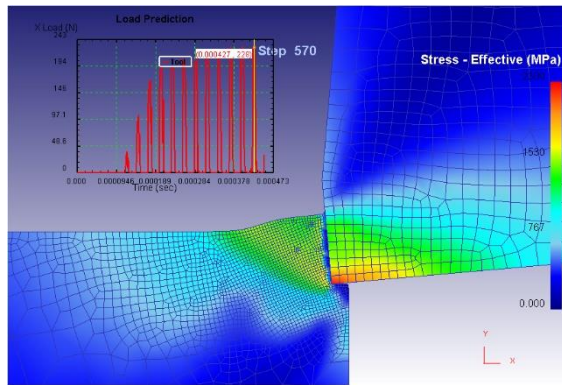
در این مقاله به بررسی تاثیر انتخاب صحیح نسبت پارامترهای ارتعاشی به پارامترهای فرایند ماشین‌کاری بر نیروهای برش در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک پرداخته شده است و نتایج مربوط به نیروهای برشی مماسی و محوری و همین‌طور حرارت ناشی از برش در دو حالت ماشین‌کاری سنتی و ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک بدست آمده و با هم مقایسه شده‌اند. در بررسی اثر اعمال ارتعاش التراسونیک بر فرایند ماشین‌کاری، تحلیل‌ها در شرایط مختلف پارامترهای فرایند ماشین‌کاری انجام شده‌اند و تاثیر تغییر نسبت سرعت نوسان ابزار به سرعت برشی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مدل‌سازی شبیه‌سازی المان محدود به کمک نرم افزار المان محدود دیفرم (DEFORM) انجام شده است. نتایج حاصل نشان دادند که اعمال ارتعاش التراسونیک در فرایند ماشین‌کاری، منجر به کاهش نیروهای برشی مماسی و نیروهای برشی محوری وارد بر ابزار برشی و قطعه کار و کاهش حرارت حاصل از فرایند برش می‌شود. با بررسی نتایج حاصل مشخص شد که در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک وقتی که سرعت برشی حداقل ۳۰ درصد کمتر از سرعت ارتعاش نوک ابزار باشد، فرایند بازدهی مطلوبی دارد و اثرات مطلوب اعمال ارتعاش التراسونیک بر فرایند شامل کاهش نیروهای برشی، کاهش حرارت ناشی از برش، کاهش ضریب اصطکاک بین ابزار و قطعه کار، کمک به بهبود جریان براده و ... حاصل می‌شوند و در نتیجه نسبت پارامترهای ارتعاش التراسونیک به سرعت برشی بر نتایج حاصل تاثیر مستقیم دارد.

۳- روش حل

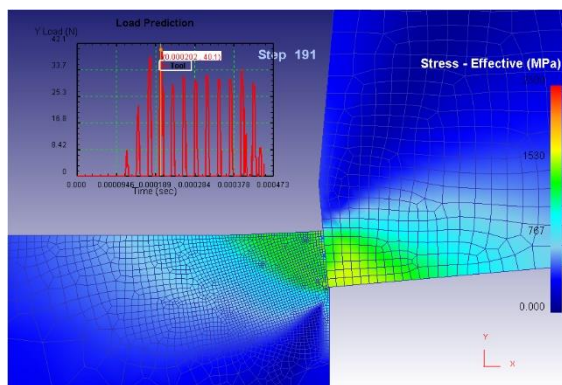
مدل‌سازی اجزا محدود بصورت دوبعدی توسط نرم‌افزار دیفرم انجام شده است و از آنجایی که یکی از متداول‌ترین ابزارها در ماشین‌کاری، کارباید تنگستن می‌باشد، در شبیه‌سازی هم جنس کارباید تنگستن برای ابزار برشی و قطعه کار اینکونل ۷۱۸ تعیین شدند. ارتعاش التراسونیک با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و دامنه ارتعاشی ۲۰ میکرومتر در جهت پیشروی به ابزار برشی اعمال شده است. عمق برش ۰/۱ میلی‌متر و در شبیه‌سازی فرایند ماشین‌کاری مرسوم سرعت برشی ۱۰ متر بر دقیقه و در شبیه‌سازی های مربوط به ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک، سرعت های برشی ۱۰ و ۵۰ و ۱۰۰ متر بر دقیقه در نظر گرفته شده‌اند. برای افزایش تعداد المان‌ها در طول تحلیل در منطقه برش، دستور مش بندی مجدد تعیین شده است. استقلال نتایج حاصل از تحلیل‌ها نسبت به اندازه المان‌ها، با تغییر تعداد المان‌ها بررسی شد و این اطمینان حاصل شد که نتایج تحلیل‌ها مستقل از تعداد المان‌ها هستند. در تعیین شرایط مرزی، قطعه کار در جهت محور y ثابت و در جهت محور x برابر با سرعت برشی

حرارت در نقاط مختلف منطقه برش نسبت به ماشین‌کاری مرسوم کاهش یافته‌اند. در ادامه اثر افزایش سرعت برشی بر نتایج حاصل بررسی شده است.

در شکل ۵ نیروهای برشی حاصل و در شکل ۶ حرارت ناشی از برش در نقاط مختلف منطقه برش در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با فرکانس ارتعاش ۲۰ کیلوهرتز و دامنه ۲۰ میکرومتر و سرعت برشی ۵۰ متر بر دقیقه نشان داده شده‌اند.

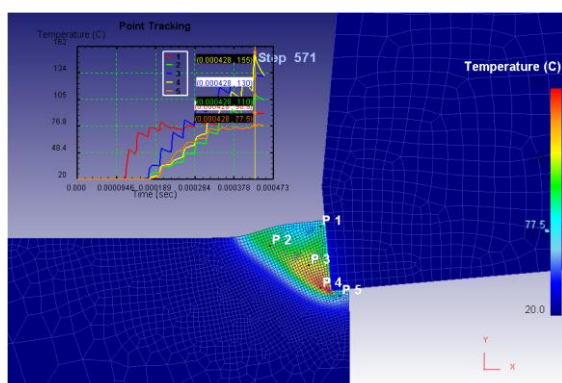


(الف)



(ب)

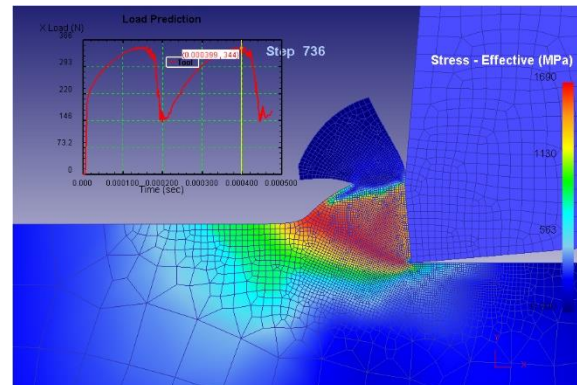
شکل ۳) نیروهای برشی در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با سرعت برشی ۱۰ متر بر دقیقه، (الف) نیروی برشی محوری، (ب) نیروی برشی مماسی



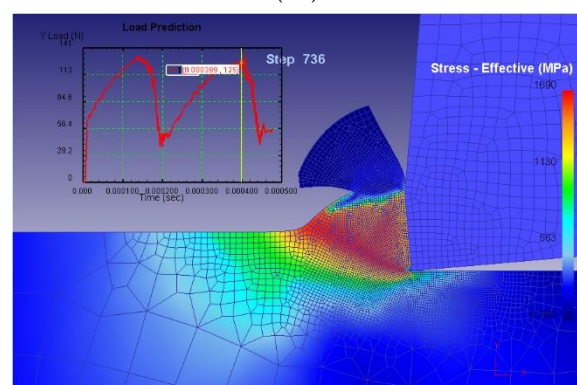
شکل ۴) حرارت ناشی از برش در نقاط مختلف منطقه برش در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با سرعت برشی ۱۰ متر بر دقیقه

همان طور که در نمودار نیروی برشی حاصل مشاهده می‌شود، تماس ابزار با قطعه کار منقطع است و تماس ابزار با قطعه کار در

می‌شود، تماس ابزار با قطعه کار منقطع است و تماس ابزار با قطعه کار در منطقه برش در اثر ارتعاش التراسونیک، قطع می‌شود. سرعت ارتعاش در لبه برنده ابزار برشی بیشتر از سرعت برشی اعمالی به قطعه کار است که این موضوع علت بوجود آمدن جدایش حین ماشین‌کاری در بین لبه برنده و قطعه کار در منطقه برشی است. شکل ۳ الف نیروی برشی محوری برابر با ۲۲۸ نیوتن و شکل ۳ ب

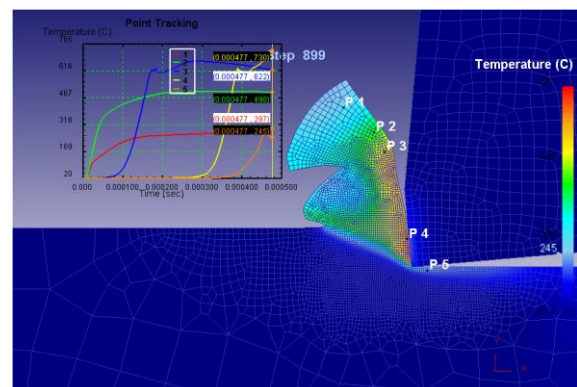


(الف)



(ب)

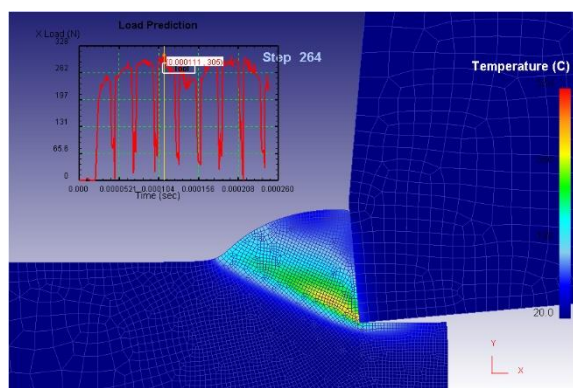
شکل ۱) نیروهای برشی در فرایند ماشین‌کاری مرسوم، (الف) نیروی برشی محوری، (ب) نیروی برشی مماسی



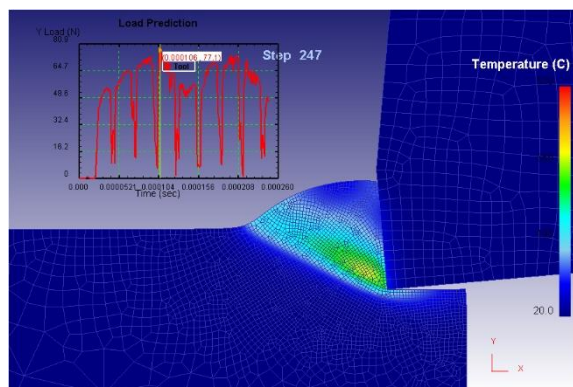
شکل ۲) حرارت ناشی از برش در فرایند ماشین‌کاری مرسوم در نقاط مختلف منطقه برش

نیروی برشی مماسی برابر با ۴۰/۱ نیوتن را نشان می‌دهند. با بررسی نتایج مشخص می‌شود که مقادیر نیروهای برشی و درجه

همان طور که در نمودار نیروی برشی حاصل مشاهده می‌شود، تماس ابزار با قطعه کار منقطع است و تماس ابزار با قطعه کار در منطقه برش در اثر ارتعاش التراسونیک، قطع می‌شود. شکل ۷ الف نیروی برشی محوری برابر با ۳۰۵ نیوتن و شکل ۷ ب نیروی برشی مماسی برابر با ۷۷/۱ نیوتن را نشان می‌دهند که مشخص است که مقادیر نیروها و دما نسبت به سرعت برشی ۱۰ و ۵۰ متر بر دقیقه افزایش یافته است.

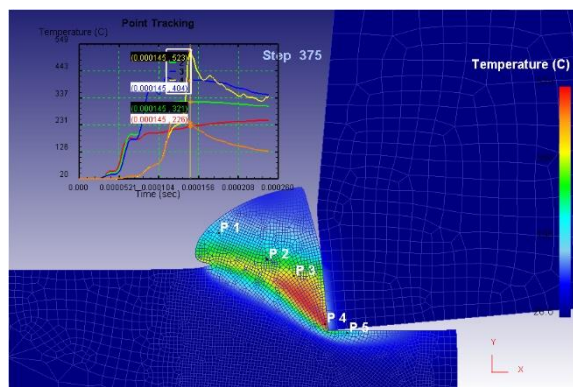


(الف)



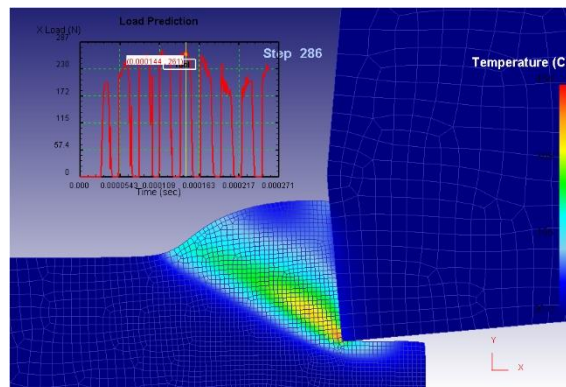
(ب)

شکل ۷) نیروهای برشی در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با سرعت برشی ۱۰۰ متر بر دقیقه، الف) نیروی برشی محوری، ب) نیروی برشی مماسی

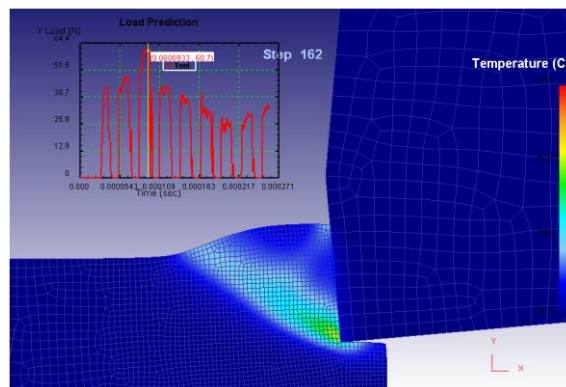


شکل ۸) حرارت ناشی از برش در نقاط مختلف منطقه برش در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با سرعت برشی ۱۰۰ متر بر دقیقه

منطقه برش در اثر ارتعاش التراسونیک، قطع می‌شود. شکل ۵ الف نیروی برشی محوری برابر با ۲۶۱ نیوتن و شکل ۵ ب نیروی برشی مماسی برابر با ۶۰/۷ نیوتن را نشان می‌دهند که مشخص است که مقادیر نیروها و دما نسبت به سرعت برشی ۱۰ متر بر دقیقه افزایش یافته است.

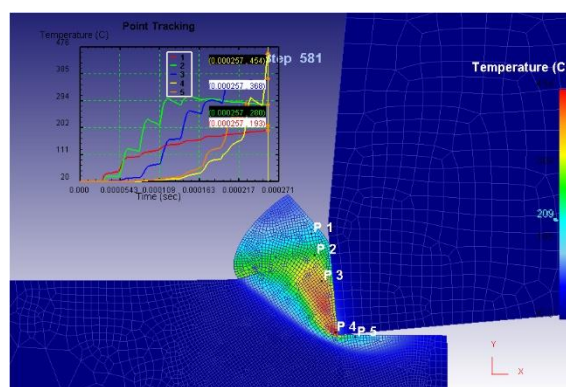


(الف)



(ب)

شکل ۵) نیروهای برشی در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با سرعت برشی ۵۰ متر بر دقیقه، الف) نیروی برشی محوری، ب) نیروی برشی مماسی



شکل ۶) حرارت ناشی از برش در نقاط مختلف منطقه برش در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با سرعت برشی ۵۰ متر بر دقیقه

در شکل ۷ نیروهای برشی حاصل و در شکل ۸ حرارت ناشی از برش در نقاط مختلف منطقه برش در فرایند ماشین‌کاری به کمک ارتعاش التراسونیک با فرکانس ارتعاش ۲۰ کیلوهرتز و دامنه ۲۰ میکرومتر و سرعت برشی ۱۰۰ متر بر دقیقه نشان داده شده‌اند.

علامه یونانی	
تنش جریان معادل (MPa)	$\bar{\sigma}$
کرنش معادل	$\bar{\epsilon}$
نرخ کرنش پلاستیک	$\dot{\epsilon}$
نرخ کرنش پلاستیک مرجع	$\dot{\epsilon}_0$
زیرنویس ها	
مماسی (مولفه نیرو)	t
پیشروی (مولفه نیرو)	f
مرجع	r

تأییدیه اخلاقی: این مقاله تاکنون در نشریه دیگری چاپ نشده است.
تعارض منافع: این مقاله تعارض منافی با نتایج سایر محققان ندارد.
منابع مالی: منابع مالی در این پژوهش استفاده نشده است.

مراجع

- 1- Geddes B, Leon H, Huang X. Superalloys: alloying and performance. Asm International; 2010.
- 2- Donachie MJ, Donachie SJ. Superalloys: a technical guide. ASM international; 2002.
- 3- Movahedian S, Nategh MJ. Investigating the effect of ultrasonic vibration assistance on cutting forces and cutting zone temperature in machining of Ti6Al4V alloy. Manufacturing and Production Conference. 2021; 1-5 (In Persian).
- 4- Pei ZJ, Ferreira PM. An experimental investigation of rotary ultrasonic face milling. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1999;39(8):1327-44.
- 5- Kumabe J, Hachisuka M. Super-precision cylindrical machining. Precision engineering. 1984;6(2):67-72.
- 6- Hsu CY, Huang CK, Wu CY. Milling of MAR-M247 nickel-based superalloy with high temperature and ultrasonic aiding. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2007;34(9):857-66.
- 7- Mitrofanov AV, Babitsky VI, Silberschmidt VV. Thermomechanical finite element simulations of ultrasonically assisted turning. Computational materials science. 2005;32(3-4):463-71.
- 8- Xiao M, Wang QM, Sato K, Karube S, Soutome T, Xu H. The effect of tool geometry on regenerative instability in ultrasonic vibration cutting. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2006;46(5):492-9.
- 9- Ma C, Ma J, Shamoto E, Moriwaki T. Analysis of regenerative chatter suppression with adding the ultrasonic elliptical vibration on the cutting tool. Precision Engineering. 2011;35(2):329-38.
- 10- Jin X, Poudel A. Experimental study on high frequency chatter attenuation in 2-D vibration assisted micro milling process. Journal of Vibroengineering. 2015;17(6):2743-54.
- 11- Maurotto A, Muhammad R, Roy A, Babitsky VI, Silberschmidt VV. Comparing machinability of Ti-15-3-3-3 and Ni-625 alloys in UAT. Procedia Cirp. 2012;1:330-5.
- 12- Amini S, Soleimanimehr H, Nategh MJ, Abudollah A, Sadeghi MH. FEM analysis of ultrasonic-vibration-

نتایج حاصل نشان دادند که با افزایش سرعت برشی اثر انقطاع ناشی از ارتعاش التراسونیک، بر نیروها و حرارت ناشی از برش تضعیف شده و مقادیر نیروها و حرارت با افزایش سرعت برشی افزایش می یابند که نشان دهنده اهمیت انتخاب سرعت برشی مناسب در فرایند جهت افزایش راندمان فرایند را نشان می دهد.

۵- نتیجه گیری

ماشین کاری سوپرآلیاژ اینکونل ۷۱۸ بدلیل حرارت بالای ناشی از برش و نیروهای برشی بالا، مشکلاتی مثل سایش ابزار و لزوم استفاده از ماشین ابزار با صلیبیت بالا را به همراه دارد. در این پژوهش به بررسی اثر اعمال ارتعاش التراسونیک بر فرایند ماشین کاری و همین طور اثر انتخاب صحیح پارامترهای برشی شامل نسبت سرعت نوسان لبه برنده به سرعت برشی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دادند که اعمال ارتعاش التراسونیک منجر به کاهش حرارت ناشی از برش و همین طور کاهش نیروهای برشی می شود. از طرفی انتخاب صحیح سرعت برشی در فرایند ماشین کاری به کمک ارتعاش التراسونیک، بر نتایج حاصل تاثیر زیادی دارد. بطوریکه در یک فرکانس و دامنه ثابت ارتعاش التراسونیک، با افزایش سرعت برشی، اثر اعمال ارتعاش التراسونیک تضعیف می شود و فرایند به سوی ماشین کاری مرسوم نزدیک می شود. نتایج تحلیل ها نشان دادند که با افزایش سرعت برشی انقطاع بین ابزار برشی و قطعه کار در منطقه برش کمتر شده و این اثر منجر به افزایش نیروهای برشی محوری و مماسی و همین طور افزایش حرارت ناشی از برش می شود. هرچه سرعت نوسان لبه برنده نسبت به سرعت برشی بیشتر باشد، انقطاع بین ابزار و قطعه کار بیشتر شده و منجر به کاهش نیروهای برشی و حرارت و بطور کلی منجر به کسب مزایای حاصل از اعمال ارتعاش التراسونیک به فرایند برش خواهد شد.

فهرست علائم

A	استحکام تسلیم (MPa)
B	مدول کرنش سختی
C	ضریب حساسیت به نرخ کرنش
n	نمای کارسختی
m	نمای نرم شوندگی حرارتی
f	فرکانس ارتعاش التراسونیک (Hz)
a	دامنه ارتعاش التراسونیک (μm)
V_t	سرعت ارتعاش لبه برنده ابزار
F_t	نیروی برشی مماسی (N)
F_r	نیروی برشی محوری (N)

- assisted turning and the vibratory tool. *Journal of materials processing technology*. 2008;201(1-3):43-7.
- 13- Soleimanimehr H, Nategh MJ. An Investigation on the Influence of Cutting-Force's Components on the Work-piece Diametrical Error in Ultrasonic-Vibration-Assisted Turning. In *AIP Conference Proceedings 2011* (Vol. 1315, No. 1, pp. 1145-1150). American Institute of Physics.
- 14- Soleimanimehr H, Nategh MJ, Amini S. Analysis of diametrical error of machined workpieces in ultrasonic vibration assisted turning. In *Advanced Materials Research 2011* (Vol. 264, pp. 1079-1084). Trans Tech Publications Ltd.
- 15- Kobayashi T, Simons JW, Brown CS, Shockey DA. Plastic flow behavior of Inconel 718 under dynamic shear loads. *International Journal of Impact Engineering*. 2008;35(5):389-96.