ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2023;23(05):293-298

Investigation Of the Cutting Force in Ultrasonic Vibration Assisted Drilling of Thin Wall Workpiece

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Zandipour M.[1],
Soleimanimehr H.[1*],
Amini S.[2]

How to cite this article
Zandipour M, Soleimanimehr H, Amini S. Investigation Of the Cutting Force in Ultrasonic Vibration Assisted Drilling of Thin Wall Workpiece. Modares Mechanical Engineering. 2023;23(05):293-298.

[1] Department of Mechanics, Electrical Power and Computer, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2] Faculty of Engineering, Kashan University, Kashan, Iran.

Correspondence
Address: Department of Mechanics, Electrical Power and Computer, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

soleimanimehr@srbiau.ac.ir

Article History
Received: February 10, 2023
Accepted: April 02, 2023
ePublished: May 20, 2023

ABSTRACT

Ultrasonic vibration assisted drilling is a new technique, and one of the modern and promising processes for drilling metals, especially metal alloys with low machinability. In this paper, a set of laboratory tests is used to investigate the effect of using ultrasonic vibrations on the force required for drilling of the thin aluminum specimens. For this purpose, three aluminum workpieces with different thickness are drilled under three different rotation speeds, and four different penetration rates. The results showed that in two aluminum workpieces, 1 and 1.5 mm, the use of ultrasonic vibrations generally reduced the axial force, but in the 2 mm workpiece, it is impossible to understand a meaningful effect of applying ultrasonic vibrations. In other words, it can be said that adding ultrasonic vibrations with constant amplitude and frequency does not have the same effect on drilling in different conditions, and to reach the most efficient drilling; the characteristics of optimal vibration should be studied.

Keywords Drilling, Ultrasonic Vibration, Thin Aluminum Workpieces, Axial Force

CITATION LINKS

1- Analysis of the cutting ratio and investigating its influence on the workpiece's diametrical error in ultrasonic-vibration assisted turning 2- An Investigation on the Influence of Cutting-Force's Components on the Work-piece Diametrical Error in Ultrasonic-Vibration-Assisted Turning 3- Ultrasonic superposition vibration cutting of ceramics 4- Burrless drilling by means of ultrasonic assistance 5- Investigation of chip in vibration drilling 6- Machining accuracy analysis for step multi-element varying-parameter vibration drilling of laminated composite materials 7- Vibration excitation and energy transfer during ultrasonically assisted drilling 8- Burr size reduction in drilling by ultrasonic assistance 9- Investigation on thrust in vibration drilling of fiber-reinforced plastics10- Ultrasonic-assisted drilling of Inconel 738-LC 11-Analysis of ultrasonic-assisted drilling of Ti6Al4V 12- Study on the drill skidding motion in ultrasonic vibration microdrilling13- Feasibility study of the ultrasonic vibration assisted drilling of Inconel superalloy14- Drilling assisted by ultrasonic elliptical vibration15- Using workpiece vibration cutting for micro-drilling 16- Burr height model for vibration assisted drilling of aluminum 6061-T6.17- Attempt to increase step feed by adding ultrasonic vibrations in micro deep drilling18- Microstructure modification of 2024 aluminum alloy produced by friction drilling 19- Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN-and TiAlN-coated tungsten carbide tools

Copyright© 2020, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

بررسی نیروی برش در سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات آلتراسونیک قطعات جدار نازک

مرتضی زندی پور[۱]، حمید سلیمانی مهر[۱]*، سعید امینی [۲]

[۱] دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۲] دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده

سوراخ‌کاری به کمک ارتعاش آلتراسونیک یک روش جدید و یکی از فرآیندهای نوین و نویدبخش، برای ماشین‌کاری فلزات به‌خصوص آلیاژهای فلزی با قابلیت ماشین‌کاری پایین می‌باشد. در این تحقیق، با استفاده از یک مجموعه مطالعات آزمایشگاهی، تأثیر استفاده از ارتعاشات آلتراسونیک روی نیروی لازم برای سوراخ‌کاری قطعه‌کارهای جدار نازک آلومینیوم با سه ضخامت متفاوت در سه سرعت دوران مختلف و چهار نرخ پیشروی متفاوت بررسی شده است. نتایج نشان داد که در دو قطعه‌کار آلومینیوم ۱ و ۱/۵ میلی‌متر، استفاده از ارتعاشات آلتراسونیک عموماً باعث کاهش نیروی محوری شده است اما در قطعه‌کار ۲ میلی‌متری در مورد اثر اضافه کردن ارتعاشات آلتراسونیک نمی‌توان اظهارنظر قطعی نمود. به بیان دیگر می‌توان گفت که اضافه کردن ارتعاشات آلتراسونیک با دامنه و فرکانس ثابت اثر یکسانی بر سوراخ‌کاری در شرایط متفاوت ندارد و برای رسیدن به مطلوب‌ترین حالت سوراخ‌کاری باید مشخصات ارتعاش بهینه مورد مطالعه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: سوراخ‌کاری، ارتعاشات آلتراسونیک، قطعه کار جدار نازک آلومینیوم، نیروی محوری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲
*نویسنده مسئول: soleimanimehr@srbiau.ac.ir

۱- مقدمه

ماشین‌کاری به کمک آلتراسونیک یک تکنیک جدید و یکی از فرآیندهای نوین و نویدبخش، برای ماشین‌کاری فلزات به‌خصوص آلیاژهای فلزی با قابلیت ماشین‌کاری پایین می‌باشد[1]. بنای فرآیند سوراخ‌کاری ارتعاشی مانند سوراخ‌کاری معمولی است با این تفاوت که برای بهبود شرایط ماشین‌کاری، ارتعاشات آلتراسونیک نیز به حرکت ابزار اضافه می‌شود. ارتعاشات آلتراسونیک برای تحریک ابزار یا قطعه‌کار، اغلب با فرکانس بالا و بیشتر از ۱۶ کیلوهرتز به صورت طولی یا بیضوی به کار می‌رود؛ به‌طوری که درگیری ابزار با قطعه‌کار حین پیشروی محوری، قطع و وصل می‌گردد. با ترکیب مناسب سرعت برش و بسامد ارتعاش، ابزار به‌صورت تناوبی تماس با براده را از دست می‌دهد درنتیجه نیروهای ماشین‌کاری می‌توانند کمتر و براده‌هایی با ضخامت کوچک‌تری تولید شود که در مقایسه با ماشین‌کاری مرسوم، پرداخت سطح و دقت فرم بهتری حاصل می‌شود[2].

استفاده از ارتعاشات آلتراسونیکی در فرآیندهای مختلف ماشین‌کاری مورد توجه محققین قرار گرفته است. از این روش در فرآیندهای ماشین‌کاری نظیر تراشکاری، سوراخ‌کاری، فرزکاری استفاده شده است. پژوهش‌های متنوعی روی فرآیند سوراخ‌کاری ارتعاشی انجام شده است. فرآیند ترکیب امواج آلتراسونیک با ماشین‌ابزارهای معمولی توسط کومابه و همکاران در حدود سال ۱۹۵۸ شروع شد. او نشان داد که نیروی برشی پالسی مزیت‌های زیادی را از جمله جابجایی گرمای برش و افزایش عمر ابزار به دنبال دارد[3] . تاکیاما و کاتو فرآیند اعمال ارتعاش آلتراسونیک به قطعه‌کار را در سوراخ‌کاری ارتعاشی بررسی نمودند. آنها بهبود در سوراخ‌کاری ارتعاشی با فرکانس بالا روی آلومینیوم را نشان دادند و گزارش کردند که ارتفاع براده تا ۷۵درصد کاهش یافت[4] . جانگ و وانگ با آنالیز مسیر براده در سوراخ‌کاری به کمک آلتراسونیک با ارتعاش محوری روی مواد چقرمه و نرم یک روش جدید را برای شکستن براده با کمک آلتراسونیک پیشنهاد کردند[5] . لی و همکاران یک کنترل شرایط ارتعاشی چندمرحله‌ای برای سوراخ‌کاری ارتعاشی مواد کامپوزیتی لایه‌ای به‌وجود آوردند[6] . بابیستکی و همکاران سوراخ‌کاری موادی چون صفحات نازک فلزی و شیشه را مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که سوراخ‌کاری صفحات نازک آلومینیومی بدون استفاده از پشتبند در سوراخ‌کاری ارتعاشی امکان‌پذیر است در حالی که صفحات نازک آلومینیومی در سوراخ‌کاری معمولی خم شدند. همچنین کیفیت سطح شیشه در سوراخ‌کاری ارتعاشی بهبود چشمگیری نسبت به سوراخ‌کاری معمولی داشت[7] . چنگ و بون نشان دادند که کاهش اندازه براده در سوراخ‌کاری آلومینیوم از طریق روش VD امکان‌پذیر است[8] . وانگ و همکارانش به طور عملی سوراخ‌کاری ارتعاشی با فرکانس کم را روی فیبر تقویت شده بررسی کردند. نتایج نشان داد که سوراخ‌کاری ارتعاشی با فرکانس کم می‌تواند نیروهای محوری را کاهش دهد، اما شرایط ارتعاشی مطلوب برای شرایط برشی خاصی وجود دارد[9] . آذرهوشنگ و اکبری سوراخ‌کاری ارتعاشی اینکونل LC۷۳۸ را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که کیفیت سطح در استفاده از این روش بهبود می‌یابد[10] . پوجانا و همکارانش نشان دادند که در سوراخ‌کاری ارتعاشی با قطعه‌کار Ti6Al4V براده‌ها تمایل به خرد شدن دارند درصورتی‌که سوراخ‌کاری معمولی براده‌های پیوسته ایجاد می‌کند. آنها دلیل این امر را اثرات آلتراسونیک و برخوردهای مداوم سر مته با براده‌ها بیان کردند[11] . ژانگ و همکاران ثابت کرد که کاربرد ارتعاش با فرکانس ۱۶ KHz روی قطعه اثرات افزایش صلبیت سوراخ‌کاری، کاهش لغزش مته و کاهش خطاهای اندازه سوراخ و افزایش عمر مته را دارد[12] . لین و همکاران سوراخ‌کاری به کمک آلتراسونیک اینکونل ۷۱۸ را مورد مطالعه قرار دادند که نتیجه آن کاهش اندازه براده و تغییرات کمتر گشتاور بود. همچنین با تغییر فرکانس‌ها توانایی سوراخ‌کاری بهبود کمی و در مقابل عمر مته به‌طور چشمگیری در کاربرد ارتعاشات با دامنه کم افزایش یافت. آنها همچنین تحت شرایط خاصی عمر ابزار ۲/۷ برابر بیشتر از فرآیند سوراخ‌کاری معمولی را گزارش کردند[13] . ما و همکاران سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات

دوبعدی یا بیضوی را بر روی قطعه‌کار آلومینیوم S52 مورد بررسی قرار دادند. بر طبق گزارش‌های آنها نیروی محوری تا یک سوم، نیروی شعاعی تا یک دوم و ضخامت براده از یک دوم تا یک سوم کاهش یافتند[14] . گوو و همکارش سوراخکاری ارتعاشی قطعاتی از جنس ٦Al6061-T و فولاد ٤١SS را مورد بررسی قرار دادند. بر طبق نتایج آنها لغزش سر مته و کیفیت سطح سوراخ در سوراخکاری ارتعاشی نسبت به سوراخکاری معمولی بهبود یافت اما عمر مته در سوراخکاری ارتعاشی بدتر شد[15] . چنگ و بون مدلی برای ارتفاع براده در سوراخکاری Al6061-T6 ارائه کردند که بر اساس آن استفاده درست از ارتعاشات آلتراسونیک باعث کاهش ارتفاع براده می‌شود [16]. یوهایی و همکاران نشان دادند که می‌توان در فرآیند میکروسوراخکاری ارتعاشی با افزایش نرخ پیشروی به زمان ماشین‌کاری کمتری رسید در حالی که عمر ابزار حفظ می‌گردد[17] . نوجبایر و استول از طریق آزمایش نشان دادند که در سوراخکاری ارتعاشی آلیاژهای آلومینیوم عمر ابزار نسبت به روش معمولی بیشتر می‌گردد. سیمون و همکاران به این نتیجه رسیدند که با اضافه کردن ارتعاشات آلتراسونیک به سوراخکاری نیروی محوری کاهش می‌یابد اما اضافه شدن ارتعاشات آلتراسونیک سبب افزایش مقدار درجه حرارت فرآیند سوراخکاری می‌گردد[8] . این افزایش دما سبب تبلور مجدد دوباره ساختار دانه و سبب افزایش میکرو سختی نیز می‌گردد[18] . همچنین این تلفیق، سبب انتقال تنگستن و کبالت از ابزار به سطح قطعه می‌شود[19] . همان‌طور که مرور شد مطالعات زیادی در رابطه با استفاده از ارتعاشات آلتراسونیک در فرآیندهای مختلف سوراخکاری انجام شده است اما تأثیر این امواج بر نیروی محوری سوراخکاری قطعه کارهای نازک آلومینیوم در شرایط مختلف بررسی نشده است. لذا در این مقاله، با استفاده از یک مجموعه مطالعات آزمایشگاهی، تأثیر استفاده از ارتعاشات آلتراسونیک روی نیروی محوری لازم برای سوراخکاری قطعه‌کارهای نازک آلومینیوم با سه ضخامت متفاوت در سه سرعت دوران مختلف و چهار نرخ پیشروی متفاوت بررسی شده است.

۲- روش، تجهیزات

در این مطالعه برای بررسی تأثیر استفاده از ارتعاشات آلتراسونیک بر نیروی محوری لازم برای سوراخکاری قطعه‌کارهای آلومینیوم، نتایج سوراخکاری بر روی قطعه‌کار آلومینیوم با سه ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر با استفاده از سوراخکاری آلتراسونیک و سوراخکاری معمولی با هم مقایسه شده است. در این مجموعه آزمایش، سوراخکاری در هر قطعه‌کار با ضخامت معین، در سه سرعت دوران متفاوت شامل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و در چهار نرخ پیشروی مختلف شامل ۰/۰۸، ۰/۱۶، ۰/۲۴ و ۰/۳۲ میلی‌متر در دور انجام شده است. دستگاه مورد استفاده در این مقاله، دستگاه تراش اونیورسال با سرمته فولاد ۱۳H با قطر ۱۰ میلی‌متر بوده است. دامنه و فرکانس ارتعاش آلتراسونیک در تمامی آزمایش‌ها به ترتیب ۲۰ میکرومتر و ۲۰ کیلوهرتز ثابت نگه داشته شده است. برای تولید و انتقال ارتعاشات آلتراسونیک به ناحیه هدف، از یک سیستم آلتراسونیک شامل ژنراتور، ترانسدیوسر و متمرکزکننده استفاده می‌شود. قرص‌های پیزوالکتریک برای تحریک شدن و ایجاد ارتعاش نیاز به انرژی الکتریکی دارند که این انرژی توسط مولد تولید می‌گردد. ژنراتور یا مولد، برق شهری با بسامد ۵۰ هرتز و ولتاژ ۲۲۰ ولت را به بسامدهایی در حد آلتراسونیک و ولتاژی در حد کیلوولت تبدیل می‌کند. عموماً مولدها قابلیت تنظیم بسامد و توان مورد استفاده در هر شرایط مورد استفاده را دارا می‌باشند. ترانسدیوسر یکی از مهم‌ترین اجزای سیستم آلتراسونیک می‌باشد که برای تولید و حفظ ارتعاشات آلتراسونیک در یک ماده، به‌طور معمول از آن استفاده می‌شود تا سیگنال‌های الکتریکی را به حرکات مکانیکی و ارتعاشات مکانیکی را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل کند. در این مقاله برای تولید ارتعاشات آلتراسونیک از ترانسدیوسر پیزوالکتریک ساخت شرکت mpi با توان ۱/۲ کیلووات استفاده شده است. ترانسدیوسرهای پیزوالکتریک معمولاً حاوی دو تا چهار پیزوسرامیک به شکل حلقه‌ای یا دیسکی هستند که با اعمال ولتاژ متناوب، دیسکهای پیزوسرامیک شروع به انقباض و انبساط کرده و ارتعاشات را به بلوکهای فلزی دو سمت خود منتقل می‌کنند. ترانسدیوسرهای پیزوالکتریک به دلیل خاصیت پیزو الکتریسیته، از خود رفتاری نسبتاً خطی نشان می‌دهند. به خاطر تبدیل مستقیم سیگنال‌های الکتریکی به ارتعاشات مکانیکی در پیزوسرامیکها، بازدهی این ترانسدیوسرها بسیار بالاتر از ترانسدیوسرهای مگنتواستریکتیو است. بخش نهایی سیستم، تمرکزدهنده یا هورن است که نقش انتقال انرژی و تمرکز ارتعاشات بر یک حجم کوچک را دارد. در این مقاله از هورن نمایی استفاده شده که با استفاده از پیچ به مته متصل شده است. این نوع اتصال که رایج ترین روش اتصال هورن به مته است ضمن ارزانی، از مزایایی از جمله سرعت و سهولت تعویض مته، کارایی بالا در انتقال ارتعاش، عدم لنگی مته، اتصال محکم و سفت را نیز دارا می‌باشد. نحوه اتصال مته و هورن در این مقاله در شکل ۱ ارائه شده است.

شکل ۱) اتصال هورن و مته به‌وسیله پیچ

همچنین داده‌های آزمایش به‌وسیله دینامومتر پیزوالکتریک که در پشت قطعه بسته شده جمع‌آوری شده است. سیگنال‌های دریافتی از دینامومتر تقویت و در رایانه جمع‌آوری و ذخیره شده است. مجموعه ابزار سوراخکاری ارتعاشی استفاده شده در این

تحقیق شامل ترانسدیوسر، هورن، مته، قطعه‌کار و پشت بند و دینامومتر به صورت شکل ۲ مونتاژ شده است.

شکل ۲) مجموعه ابزار سوراخ‌کاری ارتعاشی

۳- نتایج مطالعات آزمایشگاهی

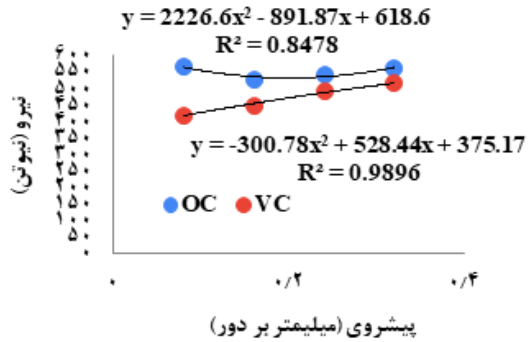
آزمایش سوراخکاری روی سه قطعه‌کار آلومینیومی با ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر در سرعت دوران و نرخ پیشروی مختلف، در دو حالت سوراخکاری معمولی (OC) و سوراخکاری به کمک ارتعاشات آلتراسونیک (VC) انجام شد. نمونه‌ای از نتیجه سوراخکاری در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳) نمونه‌ای از سوراخ‌های ایجادشده

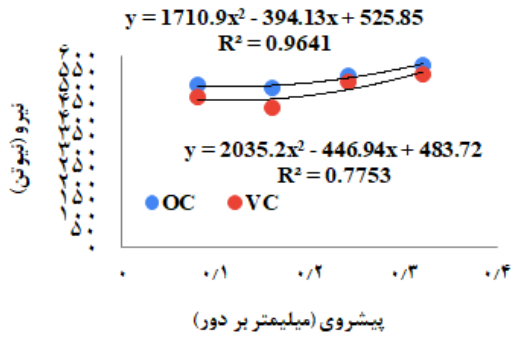
پس از انجام سوراخکاری در شرایط مختلف، حداکثر نیروی محوری سوراخکاری ثبت شده توسط دینامومتر در هر آزمایش به عنوان خروجی استخراج شد. در شکل ٤ مقدار حداکثر نیروی محوری در برابر نرخ پیشروی برای سوراخکاری در سرعت‌های دورانی مختلف را نشان می‌دهد.

برازش نمودارهای شکل ۴ نشان می‌دهد که بهترین معادله نیروی برش نسبت به پیشروی در سوراخکاری معمولی و به کمک ارتعاشات آلتراسونیک، رابطه چندجمله‌ای درجه دو است. بیشترین R^2 تنها در این شکل معادله و با مرتبه ۲ بدست آمد.

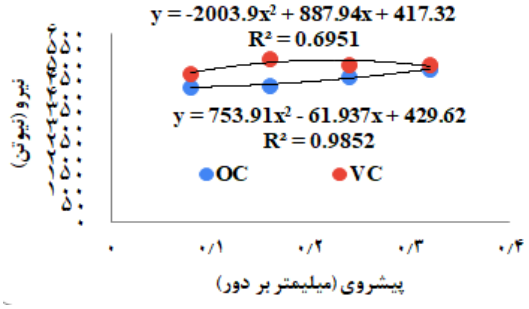
در جدول ۱ اختلاف نیروی برش در دو حالت سوراخکاری معمولی و با آلتراسونیک در ضخامت ۱/۵ میلی‌متر آمده است.



الف)۲۵۰ دور بر دقیقه



ب)۵۰۰ دور بر دقیقه



ج)۱۰۰۰ دور بر دقیقه

شکل ۴) حداکثر نیروی محوری سوراخکاری ضخامت قطعه کار ۱ میلی متر به همراه روابط برازش شده

جدول ۱) اختلاف میان نیروی برش معمولی و با آلتراسونیک در ضخامت ۱/۵ میلی‌متر

۱۰۰۰ دور بر دقیقه	۵۰۰ دور بر دقیقه	۲۵۰ دور بر دقیقه	پیشروی
۲۸/۹	۱۳۸/۱	-۶۵/۵	۰/۰۸
۶۹/۴	۱۰۵/۲	-۴۶/۶	۰/۱۶
۱۸۰/۳	۱۵۱/۶	۱۴۸/۲	۰/۲۴
۱۲۰	۷۴/۵	۵۷/۹	۰/۳۲

در جدول ۲ اختلاف نیروی برش در دو حالت سوراخ‌کاری معمولی و با آلتراسونیک در ضخامت ۲ میلی‌متر آمده است.

جدول ۲) اختلاف میان نیروی برش معمولی و با آلتراسونیک در ضخامت ۲ میلی‌متر

۱۰۰۰ دور بر دقیقه	۵۰۰ دور بر دقیقه	۲۵۰ دور بر دقیقه	پیشروی
۰/۲	۰/۵۹۳	-۰/۰۴۱	۰/۰۸
-۱/۴۰۶	-۰/۹۴۴	-۲/۱۴۹	۰/۱۶
۱/۹۸۸	-۰/۴۰۲	۱/۱۸۵	۰/۲۴
۶/۰۶۵	-۴/۱۹۷	۹/۲۷۸	۰/۳۲

عدد منفی در دو جدول ۱ و ۲ نشانگر این است که در بعضی مواقع نیروی حداکثر سوراخ‌کاری با آلتراسونیک از معمولی بیشتر شده است. با مقایسه این جداول و شکل ٦ مشخص می‌شود که با افزایش ضخامت قطعه کار، تفاوت میان نیروی برش در دو نوع ماشین‌کاری کم‌تر می‌گردد.

مشاهده می‌شود که در همه حالات سوراخ‌کاری معمولی و سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات آلتراسونیک بیشترین نیروی محوری متناظر با بیشترین نرخ پیشروی و کمترین سرعت دوران است. همچنین حداکثر نیروی محوری در سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات آلتراسونیک تقریباً در همه حالات نسبت به سوراخ‌کاری معمولی کمتر است. به طور عمومی می‌توان گفت که در سوراخ‌کاری با افزایش ضخامت قطعه کار، افزایش سرعت پیشروی و کاهش سرعت دوران، حداکثر نیروی محوری ثبت شده افزایش و با اضافه کردن ارتعاشات اولتراسونیک مقدار نیروی محوری کاهش می‌یابد. در دو قطعه‌کار آلومینیوم با ضخامت ۱ و ۱/۵ میلی‌متر، استفاده از ارتعاشات آلتراسونیک در هر نرخ پیشروی عموماً باعث کاهش نیروی محوری شده است که تأثیر کاهشی بر نیروی محوری در سرعت پیشروی پایین‌تر بیشتر است. در قطعه‌کار ۲ میلی‌متری استفاده از ارتعاشات آلتراسونیک در سرعت دوران ۵۰۰ دور بر دقیقه، تقریباً هیچ تأثیری بر نیروی محوری نداشته است و در سرعت دوران ۲۵۰ و ۱۰۰۰ دور در دقیقه، در سرعت پیشروی کمتر از ۰/۰۲ اثر افزایشی و در سرعت پیشروی بیشتر از ۰/۰۲ اثر کاهشی بر نیروی محوری داشته است. این تغییرات در حداکثر نیروی محوری را می‌توان مرتبط با اثر متفاوت امواج اولتراسونیک با مشخصات یکسان بر براده‌های حاصل از حفاری در شرایط مختلف دانست. از آنجا که مشخصات و ابعاد براده‌های تولید شده به نرخ پیشروی، سرعت دوران و ضخامت قطعه کار وابسته است، ارتعاشات اولتراسونیک با فرکانس و دامنه ثابت تأثیر متفاوتی بر پارامترهای حفاری می گذارد. لذا در مورد اثر قطعی اضافه کردن ارتعاشات آلتراسونیک بر نیروی محوری در حالت‌های مختلف سوراخ‌کاری کار نمی‌توان اظهارنظر نمود. به بیان دیگر در حالت کلی می‌توان گفت که اضافه کردن ارتعاشات آلتراسونیک با دامنه و فرکانس ثابت بر سوراخ‌کاری در شرایط متفاوت اثر یکسانی ندارد و برای رسیدن به مطلوب‌ترین حالت سوراخ‌کاری باید مشخصات ارتعاش بهینه نیز مورد مطالعه قرار گیرد. در تحقیق حاضر، اگر حالت بهینه سوراخ‌کاری حالتی در نظر گرفته شود که کمترین نیرو به دستگاه وارد شود آنگاه بر اساس نتایج می‌توان گفت که حالت بهینه برای حفاری قطعه کار ۱ میلی‌متر، سوراخ‌کاری اولتراسونیک در سرعت دوران ۲۵۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۰/۰۸ میلی‌متر بر دور و برای قطعه کار ۱/۵ و ۲ میلی‌متری برای شرایط سرعت دوران ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و سرعت پیشروی ۰/۰۸ میلی‌متر بر دور اتفاق می‌افتد.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله تأثیر استفاده از ارتعاشات آلتراسونیک بر نیروی محوری لازم برای سوراخ‌کاری قطعه‌کارهای آلومینیوم به‌وسیله مقایسه نتایج حاصل از سوراخ‌کاری آلتراسونیک و سوراخ‌کاری معمولی بر روی قطعه‌کار آلومینیوم با سه ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر بررسی شده است. آزمایش‌ها در سه سرعت دوران متفاوت شامل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ دور بر دقیقه و در چهار نرخ پیشروی مختلف شامل ۰/۰۸، ۰/۱۶، ۰/۲۴ و ۰/۳۲ میلی‌متر در دور انجام شد. نتایج به صورت زیر خلاصه شده است:

- در همه حالات سوراخ‌کاری، چه معمولی و چه به کمک ارتعاشات آلتراسونیک، بیشترین نیروی محوری متناظر با بیشترین نرخ پیشروی است.
- در هر قطعه‌کار با افزایش سرعت دوران، حداکثر نیروی ثبت شده نیز افزایش می‌یابد.
- استفاده از ارتعاشات آلتراسونیک در دو قطعه‌کار آلومینیوم ۱ و ۱/۵ میلی‌متر، عموماً باعث کاهش نیروی محوری شده است اما در قطعه‌کار ۲ میلی‌متری در مورد اثر اضافه کردن ارتعاشات آلتراسونیک نمی‌توان اظهارنظر قطعی نمود.
- اضافه کردن ارتعاشات آلتراسونیک با دامنه و فرکانس ثابت اثر یکسانی بر سوراخ‌کاری در شرایط متفاوت ندارد و برای رسیدن به مطلوب‌ترین حالت سوراخ‌کاری باید مشخصات ارتعاش بهینه مورد مطالعه قرار گیرد.

تاییدیه اخلاقی: نویسندگان تایید می‌نمایند در ایده، طراحی، اجرا، تجزیه- تحلیل و تالیف مقاله با یکدیگر همکاری داشته‌اند و اعلام می‌دارند دست‌نوشته حاضر برداشت مستقیم از نوشته‌های چاپ

شده یا در حال چاپ دیگر تحقیقات نمی‌باشد و این مقاله به زبان انگلیسی یا فارسی در مجله داخلی یا خارجی به چاپ نرسیده است و یا تحت بررسی نمی‌باشد

تعارض منافع: هیچگونه تعارض منافعی بین نویسندگان مقاله وجود ندارد.

منابع مالی: کلیه منابع مالی این مقاله توسط نویسندگان تامین شده است.

منابع

1- Soleimanimehr, H. Analysis of the cutting ratio and investigating its influence on the workpiece's diametrical error in ultrasonic-vibration assisted turnin,. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 2021. 235(4): p. 640-649.

2- Soleimanimehr H, Nategh M. J. An Investigation on the Influence of Cutting-Force's Components on the Work-piece Diametrical Error in Ultrasonic-Vibration-Assisted Turning. AIP Conference Proceedings 1315. 2011: 1145. https://doi.org/10.1063/1.3552335

3- Kumabe, J., Fuchizawa, K., Soutome, T., & Nishimoto, Y. Ultrasonic superposition vibration cutting of ceramics. Precision Engineering, 1989. 11(2): p. 71-77.

4- Takemaya, H., & Kato, S. Burrless drilling by means of ultrasonic assistance. Annals of CIRP, 1991. 40(1): p. 83-86.

5- Deyuan, Z., & Lijiang, W. Investigation of chip in vibration drilling. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1998. 38(3): p. 165-176.

6- Li, Z., Hong, M., Su, H., & Wei, Y. Machining accuracy analysis for step multi-element varying-parameter vibration drilling of laminated composite materials. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2003. 21(10): p. 760-768.

7- Babitsky, V., Astashev, V., & Meadows, A. Vibration excitation and energy transfer during ultrasonically assisted drilling. Journal of sound and vibration, 2007. 308(3-5): p. 805-814.

8- Chang, S. S., & Bone, G. M. Burr size reduction in drilling by ultrasonic assistance. Robotics and computer-integrated manufacturing, 2005. 21(4-5): p. 442-450.

9- Wang, X., Wang, L., & Tao, J. Investigation on thrust in vibration drilling of fiber-reinforced plastics. Journal of Materials Processing Technology, 2004. 148(2): p. 239-244.

10- Azarhoushang, B., & Akbari, J. Ultrasonic-assisted drilling of Inconel 738-LC. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2007. 47(7-8): p. 1027-1033.

11- Pujana, J., Rivero, A., Celaya, A., & De Lacalle, L. L. Analysis of ultrasonic-assisted drilling of Ti6Al4V. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2009. 49(6): p. 500-508.

12- Zhang, D.-y., Feng, X.-j., Wang, L.-j., & Chen, D.-c. Study on the drill skidding motion in ultrasonic vibration microdrilling. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1994. 34(6): p. 847-857.

13- Liao, Y., Chen, Y., & Lin, H. Feasibility study of the ultrasonic vibration assisted drilling of Inconel superalloy. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2007. 47(12-13): p. 1988-1996.

14- Ma, C. X., Shamoto, E., & Moriwaki, T. Drilling assisted by ultrasonic elliptical vibration. Paper presented at the Key engineering materials, 2005.

15- Chern, G.-L., & Lee, H.-J. Using workpiece vibration cutting for micro-drilling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2006. 27(7): p. 688-692.

16- Chang, S. S., & Bone, G. M. Burr height model for vibration assisted drilling of aluminum 6061-T6. Precision Engineering, 2010. 34(3): p. 369-375.

17- Nambu, Y., Ochiai, K., Horio, K., Kaneko, J., Watanabe, T., & Matsuda, S. Attempt to increase step feed by adding ultrasonic vibrations in micro deep drilling. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 2011. 5(2): p. 129-138.

18- Eliseev, A., Fortuna, S., Kolubaev, E., & Kalashnikova, T. Microstructure modification of 2024 aluminum alloy produced by friction drilling. Materials Science and Engineering: A, 2017. 691: p. 121-125.

19- Lee, S. M., Chow, H. M., Huang, F. Y., & Yan, B. H. Friction drilling of austenitic stainless steel by uncoated and PVD AlCrN-and TiAlN-coated tungsten carbide tools. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2009. 49(1): p. 81-88.