

شبیه‌سازی المان محدود فرایند فرزکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک

عباس قاسمی مبارکه
دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک
دانشگاه یزد
a2g2.mech86@yahoo.com

محمد مهدی ابوترابی زارچی*
استادیار گروه مهندسی مکانیک
دانشگاه یزد
abootorabi@yazd.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۴

چکیده

کاهش نیروی برشی در یک فرایند ماشینکاری دارای مزایای فراوانی چون افزایش عمر ابزار و بهبود کیفیت سطح قطعه کار است. از جمله روش‌های مؤثر برای کاهش نیروی برشی در چند دهه اخیر، اعمال ارتعاش اولتراسونیک به ابزار یا قطعه کار در فرایندهای ماشینکاری است. از بین فرایندهای اصلی براده‌برداری، تحقیقات کمتری در مورد فرایند فرزکاری به کمک اولتراسونیک^۱ انجام شده است. در این مقاله، تحلیل المان محدود فرایند فرزکاری به کمک اولتراسونیک برای نخستین بار انجام و نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی با نتایج تجربی موجود در مقالات دیگر مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که بیشینه نیروی برشی در فرایند فرزکاری به کمک اولتراسونیک بزرگتر از فرایند فرزکاری معمولی^۲ است، اما میانگین نیروها در روش فرزکاری اولتراسونیکی کمتر از روش فرزکاری معمولی است. در فرزکاری اولتراسونیکی، افزایش دامنه ارتعاش باعث افزایش بیشینه نیرو و کاهش میانگین نیروی برشی می‌شود. افزایش فرکانس ارتعاش روی بیشینه نیروی برشی در فرزکاری اولتراسونیکی اثری ندارد، اما میانگین نیروی برشی را کاهش می‌دهد.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی المان محدود، فرزکاری معمولی، فرزکاری به کمک اولتراسونیک، دامنه ارتعاش، فرکانس

۱. مقدمه

سایش سریع لبه‌های برشی، صافی سطح نامناسب و تغییرات ابعادی می‌شود. نیاز روزافزون به ماشینکاری این مواد موجب توسعه روش‌های جدید در فرزکاری شده است.

فرزکاری یکی از مهمترین روش‌های براده‌برداری در صنعت است. ماشینکاری آلیاژهای مستحکم، کامپوزیت‌ها و سرامیک‌ها سبب به وجود آمدن نیروهای برشی بزرگ،



یک روش جدید و مؤثر برای غلبه بر محدودیت‌های ذکر شده، فرزکاری به کمک اولتراسونیک نام دارد که در آن، ارتعاشی با فرکانس بالا (۱۶ تا ۴۰ کیلوهرتز) و دامنه کم (۲ تا ۳۰ میکرومتر) همزمان با حرکت اصلی برش در فرزکاری، به ابزار یا قطعه کار اعمال می‌شود [۱].

ویژگی اساسی ماشینکاری به کمک اولتراسونیک، جدایش متناوب ابزار و قطعه کار از یکدیگر در هر سیکل ارتعاشی است [۲]. محققان تاکنون بهبود قابل توجهی در نیروهای برشی، سایش ابزار، صافی سطح، پایداری برش، اندازه پلیسه و نوع براده‌های تشکیل شده در فرایندهای متنوع ماشینکاری به کمک ارتعاش اولتراسونیک گزارش کرده‌اند [۳-۵].

تعداد مطالعات منتشر شده در زمینه فرایند فرزکاری به کمک اولتراسونیک بسیار اندک است و حالت‌های خاصی در این تحقیقات بررسی شده‌اند [۲ و ۶]. دینگ و همکاران [۷] یک مدل سه‌بعدی برای نیروی برشی در فرایند میکروفرزکاری به کمک ارتعاش دوبعدی ارائه کرده‌اند که نیروهای برشی را با دقت مناسبی تخمین می‌زند. ابوترابی و همکاران [۸ و ۹] به صورت تحلیلی و تجربی نشان دادند که میانگین نیروی برشی در فرزکاری به کمک اولتراسونیک کمتر از فرزکاری معمولی است. در تحقیقات منتشر شده تاکنون، شبیه‌سازی المان محدود فرایند فرزکاری به کمک اولتراسونیک انجام نشده است.

در این مقاله، برای نخستین بار شبیه‌سازی المان محدود فرزکاری به کمک اولتراسونیک در نرم‌افزار آباکوس^۳ انجام و نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرایند فرزکاری معمولی مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که بیشینه نیروی برشی در هر سیکل ارتعاشی در فرایند فرزکاری به کمک اولتراسونیک بزرگتر از فرزکاری معمولی و میانگین نیروی برشی در فرزکاری اولتراسونیک کمتر از فرزکاری معمولی است.

۲. شبیه‌سازی المان محدود فرایندهای فرزکاری معمولی و فرزکاری به کمک اولتراسونیک

شبیه‌سازی فرایندهای فرزکاری معمولی و فرزکاری به کمک اولتراسونیک به صورت دوبعدی در نرم‌افزار آباکوس نسخه ۶/۱۰ انجام شده است. خواص مکانیکی قطعه کار از جنس فولاد ضدزنگ AISI 304 در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱. خواص مکانیکی قطعه کار [۱۰]

ضریب پواسون	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	مدول یانگ (گیگاپاسکال)	استحکام تسلیم (مگاپاسکال)	استحکام نهایی (مگاپاسکال)
۰/۲۸۵	۷۸۰۰	۱۹۳	۲۰۵	۵۱۵

ابزار برشی به صورت صلب و دارای شش لبه است. پیش‌روی به‌ازای هر دندان ۰/۱ میلی‌متر بر دندان و سرعت اسپیندل ۱۰۰۰ دور بر دقیقه فرض شده است. مقدار ضریب اصطکاک در شبیه‌سازی‌ها $\mu=0$ است. برای شبیه‌سازی فرزکاری اولتراسونیک، یک ارتعاش سینوسی به صورت زیر به قطعه کار اعمال شده است:

$$X(t) = a \sin(\omega t) = a \sin(2\pi f t) \quad (1)$$

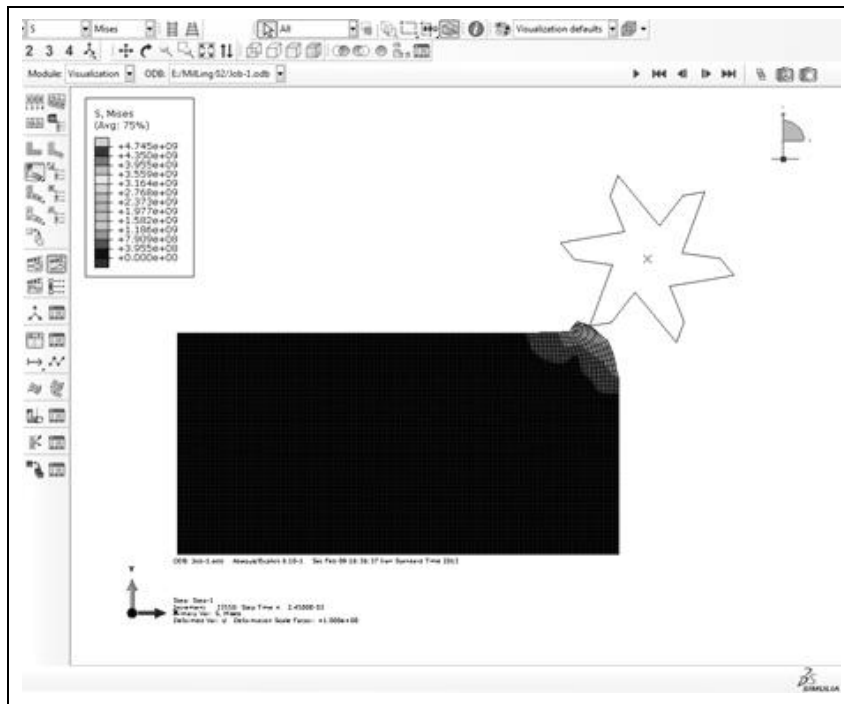
به طوری که در این رابطه a دامنه ارتعاش، ω فرکانس زاویه‌ای و f فرکانس ارتعاش است. شکل ۱ شروع درگیری ابزار و قطعه کار در فرایند فرزکاری به کمک اولتراسونیک با دامنه ارتعاش ۱۵ میکرومتر و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز را نشان می‌دهد.

۳. نتایج شبیه‌سازی و بحث

نمونه‌ای از نیروهای برشی به دست آمده از شبیه‌سازی فرایندهای فرزکاری معمولی و اولتراسونیک در زمان لازم برای یک سیکل ارتعاشی در شکل ۲ آمده است. بیشینه نیروی برشی در فرزکاری اولتراسونیک به دلیل ضربه‌های

جانبی قطعه‌کار به ابزار، بزرگتر از فرزکاری معمولی و میانگین نیروی برشی در فرزکاری اولتراسونیکی کمتر از فرزکاری معمولی است. این نتایج با یافته‌های تجربی ذکر شده در مراجع [۸ و ۹] مطابقت دارد. در شکل ۲، میانگین نیروی برشی فرزکاری اولتراسونیکی نیز نشان داده شده‌است. کاهش میانگین نیروی برشی در فرزکاری

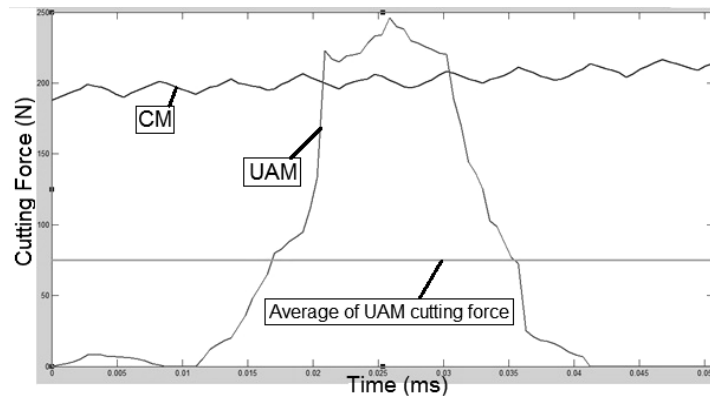
اولتراسونیکی نسبت به فرزکاری معمولی به دلیل جدایش ابزار و قطعه‌کار در قسمتی از هر سیکل ارتعاشی است که در آن نواحی می‌توان به‌صورت تئوری، نیروی وارد بر ابزار برشی را صفر فرض نمود. اگر دامنه ارتعاش ۲۵ میکرومتر و سایر پارامترها مشابه شکل ۲ باشد، نمودارهای موجود در شکل ۳ برای فرایند فرزکاری اولتراسونیکی به‌دست می‌آید.



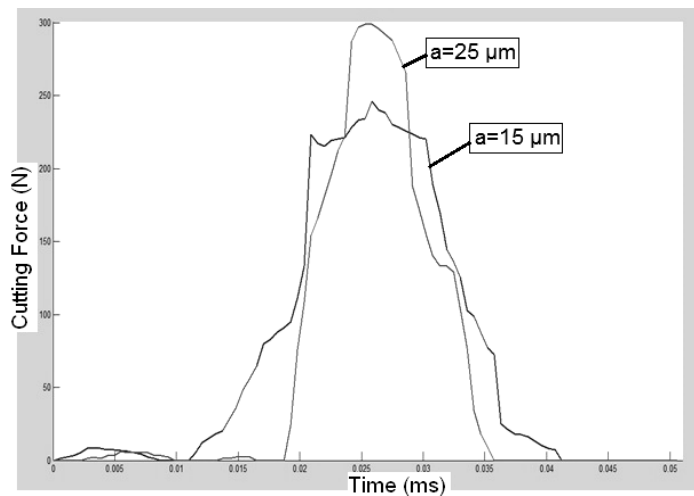
شکل ۱. شروع درگیری ابزار و قطعه‌کار در فرزکاری اولتراسونیکی با دامنه ۱۵ میکرومتر و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز

افزایش دامنه ارتعاش باعث افزایش بیشینه نیروی برشی و کاهش میانگین نیروی برشی در فرایند فرزکاری اولتراسونیکی شده‌است. با افزایش دامنه ارتعاش، میزان جدایش ابزار و قطعه‌کار در هر سیکل ارتعاشی افزایش می‌یابد و میانگین نیروی برشی را کاهش می‌دهد. نتیجه به‌دست آمده از شکل ۳ با نتایج تجربی موجود در مرجع [۹] مطابقت دارد. افزایش دامنه ارتعاش سبب افزایش نیروی ضربه‌ای^۴ و در نتیجه افزایش بیشینه نیروی برشی می‌شود. اگر فرکانس ارتعاش ۳۰ کیلوهرتز و سایر پارامترها مشابه شکل ۲ باشد، نیروی برشی در یک سیکل ارتعاشی فرایند فرزکاری اولتراسونیکی به‌صورت شکل ۴ خواهد بود.

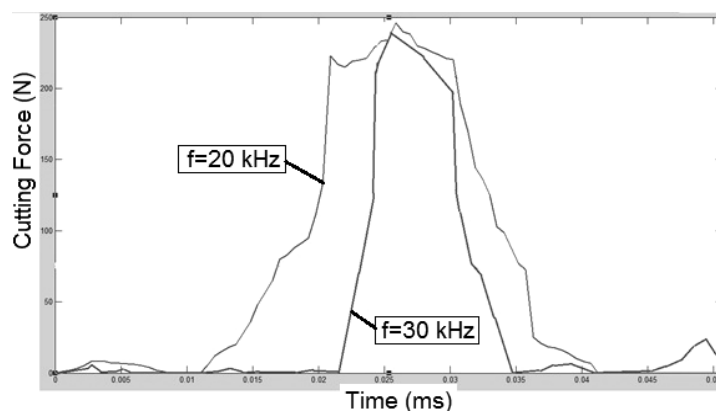
افزایش فرکانس تأثیری بر بیشینه نیروی برشی در فرزکاری اولتراسونیکی ندارد، اما زمان درگیری ابزار و قطعه‌کار در یک سیکل ارتعاشی و میانگین نیروی برشی را کاهش می‌دهد. با زیاد شدن فرکانس ارتعاش قطعه‌کار، میزان درگیری مؤثر ابزار و قطعه‌کار در هر سیکل ارتعاشی کاهش می‌یابد و ابزار و قطعه‌کار در زمان‌های کمتری با یکدیگر درگیر هستند. کاهش میزان درگیری مؤثر ابزار و قطعه‌کار سبب کاهش میانگین نیروی برشی شده‌است. لازم به‌ذکر است که روندهای مشاهده‌شده با تغییر دامنه و فرکانس ارتعاش در شکل‌های ۳ و ۴، درمقادیر دیگر دامنه و فرکانس نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۲. نیروی برشی در فرایندهای فرزکاری معمولی و اولتراسونیک با دامنه ارتعاش ۱۵ میکرومتر و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز در یک سیکل



شکل ۳. نیروی برشی فرایند فرزکاری اولتراسونیک در یک سیکل ارتعاشی در دامنه‌های ارتعاش ۱۵ و ۲۵ میکرومتر



شکل ۴. نیروی برشی فرایند فرزکاری اولتراسونیک در یک سیکل ارتعاشی در فرکانس‌های ارتعاشی ۲۰ و ۳۰ کیلوهرتز

۴. نتیجه‌گیری

برشی در فرزکاری معمولی و فرزکاری اولتراسونیک با یکدیگر مقایسه شده است. بیشینه نیروی برشی در

شبیه‌سازی المان محدود فرایند فرزکاری به کمک اولتراسونیک برای نخستین بار در این مقاله ارائه و نیروی

میکرومتر افزایش یابد، میانگین نیروی برشی نسبت به دامنه ۱۵ میکرومتر، ۱۹ درصد کاهش نشان می‌دهد، ولی بیشینه نیروی برشی ۲۱ درصد افزایش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با افزایش فرکانس ارتعاش از ۲۰ به ۳۰ کیلوهرتز، بیشینه نیروی برشی تغییر نمی‌کند، اما میانگین نیروی برشی ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. مقادیر کاهش یا افزایش ذکر شده، با تغییر پارامترهای برشی و ارتعاشی تغییر می‌کند، ولی روند مشاهده شده از نظر کاهش یا افزایشی بودن یکسان است و با نتایج تجربی ذکر شده در مراجع [۸ و ۹] مطابقت دارد.

فرایند فرزکاری اولتراسونیک بزرگتر از فرزکاری معمولی و میانگین نیروی برشی فرزکاری اولتراسونیک به دلیل جدایش ابزار و قطعه کار در قسمتی از هر سیکل ارتعاشی، کوچکتر از فرزکاری معمولی است. افزایش دامنه و فرکانس ارتعاش به دلیل کاهش درگیری ابزار و قطعه کار سبب کاهش میانگین نیروی برشی فرزکاری اولتراسونیک شده است. در شبیه‌سازی با دامنه ۱۵ میکرومتر و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز، میانگین نیروی برشی در فرزکاری اولتراسونیک نسبت به فرزکاری معمولی ۶۳ درصد کاهش یافته، اما بیشینه نیروی برشی در فرزکاری اولتراسونیک، ۲۲ درصد بیشتر از فرزکاری معمولی است. اگر دامنه ارتعاش به ۲۵

۵. مآخذ

- [1] Azarhoushang, B., J. Akbari. "Ultrasonic-assisted drilling of Inconel 738-LC." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 47(2007): 1027-1033.
- [2] Chern, G.L., Y.C. Chang. "Using two-dimensional vibration cutting for micro-milling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 46 (2006): 659-666.
- [3] T. Tawakoli, B. Azarhoushang. "Influence of ultrasonic vibrations on dry grinding of soft steel", *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 48 (2008): 1585-1591.
- [4] M.R. Razfar, P. Sarvi, M.M. Abootorabi Zarchi. "Experimental investigation of the surface roughness in ultrasonic-assisted milling." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 225(9) (2011): 1615-1620.
- [5] Brehl, D.E., T.A. Dow. "Review of vibration-assisted machining." *Precision Engineering* 32 (2007): 153-172.
- [6] Hsu, C.Y., C.K. Huang, C.Y. Wu. "Milling of MAR-M247 nickel-based super alloy with high temperature and ultrasonic aiding." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 34 (2007): 857-866.
- [7] Ding, H., S.J. Chen, K. Cheng. "Two-dimensional vibration-assisted micro end milling: cutting force modeling and machining process dynamics." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 224(12) 2(010): 1775-1783.



- [8] Abootorabi Zarchi, M.M., M.R. Razfar, A. Abdullah. "Influence of ultrasonic vibrations on side milling of AISI 420 stainless steel." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 66 (2013): 83-89.
- [9] Abootorabi Zarchi, M.M., M.R. Razfar, A. Abdullah. "Investigation of the effect of cutting speed and vibration amplitude on cutting forces in ultrasonic-assisted milling." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 226(7) (2012): 1185-1191.
- [10] KEY to METALS Steel website, <http://www.steel.keytometals.com> (accessed Jan 14, 2014)

پی‌نوشت

1. Ultrasonic assisted milling (UAM)
2. Conventional milling (CM)
3. ABAQUS®
4. Impact Forces

از تمامی خوانندگان و علاقمندان به همکاری با مجله علمی ترویجی مهندسی مکانیک دعوت می‌شود تا دست‌نوشته‌ها، مقاله‌ها و گزارش‌های علمی و فنی خود را به دبیرخانه دائمی مجله مهندسی مکانیک ارسال فرمایند.

هیئت تحریریه مجله مهندسی مکانیک

به اطلاع مخاطبان علاقمند و خوانندگان محترم مجله علمی ترویجی مهندسی مکانیک می‌رساند تمامی فرم‌های مورد نیاز جهت تعامل و همکاری با این مجله در وبگاه انجمن مهندسان مکانیک ایران بارگذاری شده است و در دسترس همگان قرار دارد. شایسته است نویسندگان محترم پیش از هر اقدام جهت ارسال مقاله به دبیرخانه انجمن، این فرم‌ها را دانلود و مطالعه کنند تا از این رهگذر روند ارسال، داوری، پذیرش و چاپ مقاله‌ها و گزارش‌ها دقیق‌تر و در کمترین زمان ممکن انجام شود.

هیئت تحریریه مجله مهندسی مکانیک



شرکت ایتراک

مهندسی و ساخت تجهیزات صنایع ایران

طراحی و ساخت تجهیزات صنایع :

به ویژه برای:

- صنایع غذایی و دارویی
- صنایع شیمیایی و پتروشیمی
- تجهیزات کشتارگاهها و صنایع جنبی گوشت
- سیستم‌های انتقال مواد
- تجهیزات خطوط رنگ کارخانه‌ها
- کوره‌های زباله‌سوز و لاشه سوز
- مخازن تحت فشار و راکتورها
- سازه‌های صنعتی و انواع گریٹینگ با گالوانیزه گرم

تهران - خیابان ظفر - خیابان نصیری - بلوار سیما جنوبی - شماره ۱۶
صندوق پستی ۱۱۲۶ - ۱۹۳۹۵
تلفن: ۰۲۲۲۶۰۷۴۲ - ۲۲۲۷۲۸۲۹ تلفکس: ۰۲۲۲۶۰۹۹۰
web site: www.itrac-co.com
E-mail: info@itrac-co.com

