



بررسی و مقایسه مشخصه‌های کیفی سوراخ تولیدی در فرایند فرزکاری مارپیچ و سوراخ کاری معمولی

محمدحسین سعادت‌بخش^۱، امیر راستی^۲، محمدحسین صادقی^{۳*}، حامد حسن‌پور^۲، احمد رضا امیددودمان^۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* تهران، صندوق پستی ۱۴۱۱۵-۱۴۳ sadeghim@modares.ac.ir

چکیده
روش فرزکاری مارپیچ به عنوان یکی از فرایندهای نوین برای تولید سوراخ با کیفیت بالا مطرح است. در این روش، ابزار فرز با حرکت روی یک مسیر مارپیچ، سوراخی با کیفیت و راندمان بالا تولید می‌کند. قطر سوراخ را می‌توان با تغییر قطر این مسیر مارپیچ تعیین کرد. با توجه به اهمیت کیفیت سوراخ در قطعات صنعتی، نیاز است تا این فرایند با روش سنتی ایجاد سوراخ مقابله شود. به همین منظور، مقایسه فرایندهای دو روش فرزکاری مارپیچ و سوراخ کاری معمولی در این تحقیق صورت پذیرفت. ۸ آزمایش با درنظرگرفتن ۲ سطح سرعت برشی و نزدیکی روی نمونه‌هایی از جنس فولاد AISI 4340 با سختی ۴۵ راکول سی انجام گرفت. نوع سیستم روان کاری با حداقل سیال برشی و دو نازل پاشش بود. از روان کار روغن معدنی برش بهران ۱۱ با دبی روغن ۱۰۰ میلی لیتر بر ساعت، و فشار هوا ۴ بار در این سیستم استفاده شد. خروجی‌های مورد بررسی شامل نیروی ماشین کاری، زبری سطح، اندازه اسامی سوراخ، تلرانس گردی و استوانه‌ای بودند. بر اساس نتایج بدست آمده، سرعت برشی تها پارامتری بود که اثر مثبتی بر تمامی معیارهای کیفیت سوراخ تولیدی داشت. از سوی دیگر، فارغ از پارامترهای برشی، فرایند فرزکاری مارپیچ، نیروهای ماشین کاری کمتر، زبری سطح پایین‌تر و تلرانس‌های هندسی مطلوب‌تری را نسبت به سوراخ کاری معمولی نتیجه داد.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۰۸ شهریور ۱۳۹۳

پذیرش: ۰۷ آبان ۱۳۹۳

ارائه در سایت: ۲۴ آبان ۱۳۹۳

کلید واژگان:

کیفیت سوراخ

فرزکاری مارپیچ

سوراخ کاری

تلرانس‌های ابعادی و هندسی

Compare and study of hole quality characteristics in helical milling and conventional drilling

Mohammad H. Saadatbakhsh¹, Amir Rasti¹, Mohammad H. Sadeghi^{1*}, Hamed Hassanpour¹, Ahmad R. Omiddodman¹

۱- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
* P.O. B. 14115-143, Tehran, Iran. sadeghim@modares.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 30 August 2014
Accepted 29 October 2014
Available Online 15 November 2014

Keywords:
Hole Quality
Helical Milling
Drilling
Geometrical Dimensions and Tolerances

ABSTRACT

Helical milling is known as an innovative method for producing high quality holes. In this method, milling tool efficiently generates a high quality hole by moving along a helical path. The hole diameter can be adjusted through the diameter of this helical path. Regarding accuracy of hole in industrial parts, it is necessary to compare this method with conventional hole drilling. Therefore, in this study helical milling and conventional drilling have been compared. Eight experiments were conducted considering two levels of cutting speed and feed rate on the samples made of AISI 4340 steel at 45 HRC. Minimum quantity lubricant system with two nozzles was used. 100 ml/h of Behran-11 mineral oil at air pressure of 4 bar was employed in this system. Machining forces, surface roughness, nominal diameter, roundness, and cylindricity were output parameters. According to the obtained results, cutting speed was the only one with positive effect on all qualitative parameters of the machined holes. On the other hand, independency of cutting parameters, helical milling lessened machining forces, surface roughness, and geometrical tolerances in comparison with conventional drilling.

برای مثال سنگزنانی جای خود را به ماشین کاری ساخت داده است، بطوری که برخی از مراحل کاری در فرایند ساخت قطعات سخت (چند مرحله عملیات حرارتی و ماشین کاری) حذف شده، در عین حالی که محصولی با کیفیت بهتر و در زمان کمتر قابل تولید می‌باشد [۱].
سوراخ کاری همواره از نظر کیفیت نهایی قطعه به لحاظ ماهیت عملکردی و مباحث انتسابی از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. در فرایند سوراخ کاری

-۱ مقدمه-
در سال‌های اخیر، فرایندهای ماشین کاری با عملکرد بالا^۱ گسترش روزافزونی داشته‌اند. برای دستیابی به اعطاف‌پذیری بالای تولید و افزایش بهره‌وری، تکنولوژی به سمت یکپارچه‌سازی فرایندهای تولید در حال حرکت است.

1- High Performance Machining

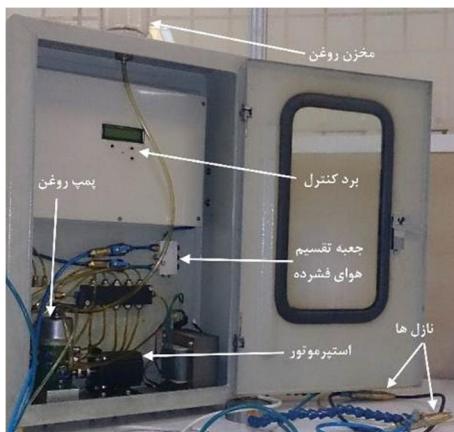
Please cite this article using:

M. H. Saadatbakhsh, A. Rasti, M. H. Sadeghi, H. Hassanpour, A. R. Omiddodman, Compare and study of hole quality characteristics in helical milling and conventional drilling, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 16, pp. 332-338, 2015 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

M. H. Saadatbakhsh, A. Rasti, M. H. Sadeghi, H. Hassanpour, A. R. Omiddodman, Compare and study of hole quality characteristics in helical milling and conventional drilling,

Modares Mechanical Engineering, Vol. 14, No. 16, pp. 332-338, 2015 (In Persian)



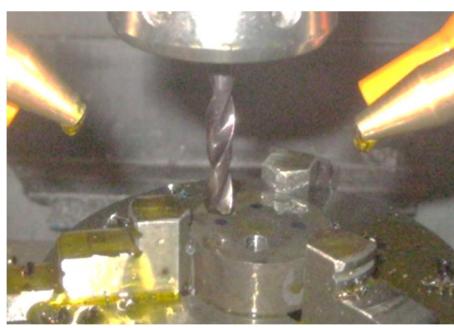
شکل 2 نمایی از MQL بکار رفته در آزمایش‌ها



شکل 3 نمایی از چگونگی چیدمان و سایل آزمایش



شکل 4 نمایی از آزمایش‌های فرزکاری مارپیچ



شکل 5 نمایی از آزمایش‌های سوراخکاری معمولی

می‌شوند. پس از انجام ماشینکاری، زبری دیواره داخلی سوراخ با استفاده از دستگاه زبری‌سنجد ماهر⁵ مدل PS1 اندازه‌گیری شد. زبری‌سنجدی با ۳ بار تکرار و در ۴ ناحیه مختلف سوراخ انجام شد و میانگین به عنوان زبری‌سطح متوسط (R_a) ارائه گردید (شکل 6). برای اندازه‌گیری ترانس‌ها نیز از دستگاه

5- Mahr

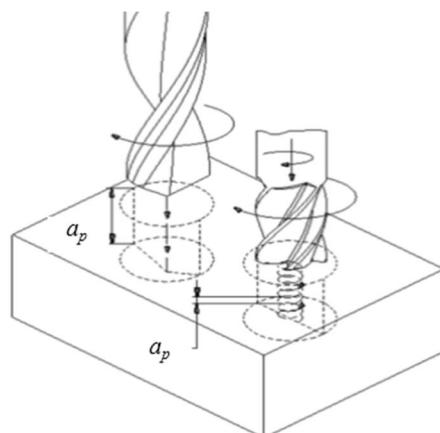
مارپیچ و سوراخکاری معمولی را به تصویر کشیده است. در فرایند فرزکاری سه نوع حرکت هم‌زمان، شامل چرخش ابزار به دور محور خود، چرخش حول دایره مسیر مارپیچ و حرکت محوری وجود دارد.

ماده‌ی بکار رفته در این پژوهش فولاد آلیاژی AISI 4340 با سختی 45 راکول سی بود. به منظور افزایش سختی، نمونه‌ها در کوره با دمای 870 درجه سانتی‌گراد آستینیتی گشته، سپس به مدت 2 ساعت در دمای 425 درجه سانتی‌گراد برگشت داده شدند و در نهایت در حمام روغن به دمای محیط رسیدند. نمونه‌ها به شکل گرده فولادی با قطر 42 میلی‌متر و ارتفاع 15 میلی‌متر انتخاب شد.

تمامی آزمایش‌های فرزکاری مارپیچ و سوراخکاری، روی دستگاه فرز سی‌ان‌سی¹ سه محوره کنترل هم‌زمان مدل S1354A، با کنترلر میتسوبیشی² و حداکثر دوران اسپیندل 8000 دور بر دقیقه انجام شد. برنامه ماشین کاری توسط نرم افزار هایپرمیل³ نوشته و وارد کنترلر دستگاه گردید.

ابزار مته تنگستن کاربایدی با قطر 8 میلی‌متر برای انجام تست‌های سوراخکاری و ابزار فرز از همان جنس، سرتخت یکپارچه‌ی 4 لبه، به قطر 6 میلی‌متر برای تست‌های فرزکاری مارپیچ استفاده شد. روکش هر دو ابزار TiAlN بود. به منظور مقایسه بهتر، جنس، روکش و شرکت سازنده‌ی هر دو ابزار یکسان می‌باشد. شایان ذکر است که نحوه انتخاب جنس و هندسه ابزارها با توجه به مطالعه‌ی پژوهش‌های پیشین و همچنین انجام آزمایش‌های اولیه صورت گرفته است.

نوع سیستم روانکاری MQL با دو نازل پاشهش می‌باشد. از روانکار روغن معدنی برش بهران 11 با دی روغن 100 میلی‌لیتر بر ساعت، و فشار هوای روی 4 بار در این سیستم استفاده شد. شکل 2 دستگاه MQL. شکل 3 نحوه قرارگیری و سایل آزمایش و همچنین شکل 4 و 5 به ترتیب تصویر چیدمان آزمایش در دو حالت فرزکاری مارپیچ و سوراخکاری معمولی را نشان می‌دهد. به منظور اندازه‌گیری نیروها، از دینامومتر کیستلر مدل 9255B استفاده شد. جهت انجام آزمایش‌ها در ابتدا سطح میز ماشین ابزار کاملاً تمیز و دینامومتر دقیقاً تنظیم و ساعت گردید. سپس کلیه اتصالات برقی سیستم برقرار شد و پس از آن عملیات کالیبراسیون دینامومتر انجام گرفت. سیگنال‌های ارسال شده از پیزوالکترونیک دینامومتر، توسط دستگاه تقویت‌کننده، تقویت شده و به وسیله نرم‌افزار دینوور⁴ تحلیل و نمایش داده



شکل 1 شماتیکی از فرزکاری مارپیچ و سوراخکاری معمولی

یک آزمایش در هر دو فرایند نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقادیر و نوسانات زبری برای سوراخ تولید شده به روش سوراخ‌کاری بالاتر از روش دیگر است. کیفیت سطح دیواره تولیدی با هر دو روش را می‌توان در شکل 11 نیز مشاهده کرد. شکل 11 (الف)، بدنه صیقلی و کیفیت بالای سطح بدست آمده در فرزکاری مارپیچ را نشان می‌دهد. شیارهای ایجادشده و کیفیت کمتر سوراخ‌کاری معمولی در اثر برخورد برآوردها با دیواره سوراخ نیز در شکل 11 (ب) قابل مشاهده است.

4-3- اندازه اسمی سوراخ

اندازه اسمی سوراخ را می‌توان مهم‌ترین پارامتر در بررسی کیفیت سوراخ عنوان کرد. شکل 12 مقایسه اندازه اسمی سوراخ را در دو فرایند و در آزمایش‌های مختلف نشان می‌دهد. هدف ایجاد سوراخی به قطر 8 میلی‌متر می‌باشد. مشاهده می‌شود که اندازه قطر سوراخ با توجه به شرایط برشی مختلف، در بازه بین 8/1 میلی‌متر تا 8/1 میلی‌متر متغیر است. در این شرایط آزمایش، روش سوراخ‌کاری معمولی، ترانس ابعادی بهتری را نتیجه داد.

در فرایند فرزکاری مارپیچ، نیاز به حرکت همزمان هر سه محور ماشین ابزار است. درنتیجه لقی تمامی محورها روی همدیگر انباشته شده و اثر

در نتیجه با توجه به بالا بودن مقدار نیروها، اگر بار وارد افزایش یابد، احتمال انحراف ابزار مته و یا شکست آن بیشتر می‌شود. این درحالی است که مولفه‌های نیرو در فرزکاری مارپیچ از لحاظ اندازه، بسیار کوچکتر بوده و همچنین مقادیری نزدیک به هم دارند. از این‌رو، فرایند فرزکاری مارپیچ دارای رژیم ماشین کاری پیوسته و یکنواختی می‌باشد.

لازم به ذکر است که زمان آزمایش‌های فرزکاری مارپیچ در این تحقیق بیشتر از سوراخ‌کاری معمولی است. علت این امر را می‌توان در ماهیت فرزکاری مارپیچ و طولانی تر بودن مسیر حرکت ابزار در این فرایند دانست. اما زمانی که تولید سوراخی با کیفیت بالا مدنظر باشد، با استفاده از این روش، دیگر نیازی به پیش‌متازنی و برگوکاری نخواهد بود. همچنین معمليات باز و بستن ابزار و قطعه‌کار از ماشینی به ماشین دیگر حذف می‌گردد. در نتیجه زمان غیر ماشینکاری کاهش یافته و احتمال بروز خطای ترانسی در تولید کم می‌شود. درواقع به کمک فرایند فرزکاری مارپیچ و تنها با استفاده از یک ابزار برشی، کل عملیات در یک مرحله قابل انجام است.

4-2- زبری سطح سوراخ

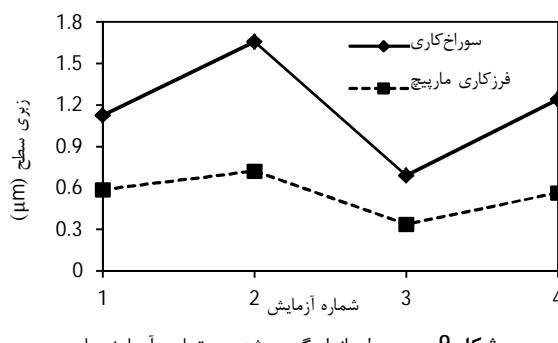
زبری سطح یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های تعیین کیفیت سطح قطعات است و نقش مهمی را در عملکرد آن‌ها تحت بارگذاری‌های دینامیکی ایفا می‌کند [13]. شکل 9 مقادیر زبری اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های مربوط به دو فرایند سوراخ‌کاری و فرزکاری مارپیچ را نشان می‌دهد. پر واضح است که تمامی مقادیر زبری در فرزکاری مارپیچ کمتر از سوراخ‌کاری است و در بهترین حالت، اختلاف ۰/۳ میکرونی بین مقادیر زبری قابل مشاهده است.

دو دلیل عده را می‌توان برای این اختلاف ذکر کرد. اول آن که نیروهای ماشین‌کاری در سوراخ‌کاری معمولی بیشتر بوده و به تبع آن دامنه ارتعاش و ناپایداری این فرایند بالاتر می‌باشد. دلیل دیگر، تفاوت دو روش در ماهیت تشکیل برش و تخلیه آن از محل برش است. درواقع، ضخامت

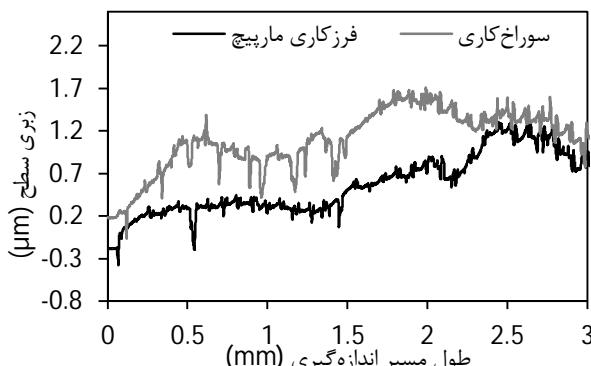
براده نتراشیده¹ در فرزکاری مارپیچ متغیر بوده و به دنبال آن، براده‌هایی منفصل و کوچک تشکیل می‌شود [4]. این براده‌های ریز، به علت خارج از مرکز و مارپیچ بودن مسیر حرکت ابزار، فضای آزاد بیشتری برای خروج داشته، در نتیجه تماس براده با دیواره سوراخ کمتر و تخلیه آن سریع‌تر خواهد بود. از سوی دیگر همین فضای آزاد بیشتر نسبت به سوراخ‌کاری، باعث نفوذ راحت‌تر سیال به ناحیه برش شده و خنک‌کاری و روان‌کاری مطلوب‌تری صورت خواهد گرفت. اما سوراخ‌کاری معمولی، براده‌های پیوسته و بزرگ‌تری تولید می‌کند و تنها مسیر خروج آن‌ها، شیار مارپیچ مته است. بنابراین در این فضای محدود، براده‌های خروجی داغ و برند، روی دیواره سوراخ کشیده شده و سطح ماشینکاری شده را می‌خراسند. همچنین در سوراخ‌کاری معمولی، نفوذ روان‌کار به ناحیه برش سخت‌تر بوده و اثر کمتری بر فرایند دارد.

در هر دو فرایند، کمترین مقدار زبری مربوط به آزمایش شماره 3 (نرخ پیشروی کمینه و سرعت برشی بیشینه) و بیشترین زبری در آزمایش شماره 2 (نرخ پیشروی بیشینه و سرعت برشی کمینه) بدست آمد. مشاهده می‌شود که با افزایش پیشروی، ضخامت براده جدا نشده بیشتر و زبری سطح افزایش می‌یابد. با بالا رفتن سرعت برشی نیز، حرارت منطقه برش بیشتر شده و با افت تنش سیلان، تغییرشکل و برداشت براده، راحت‌تر صورت می‌گیرد. از این‌رو سطح هموارتری بدست خواهد آمد.

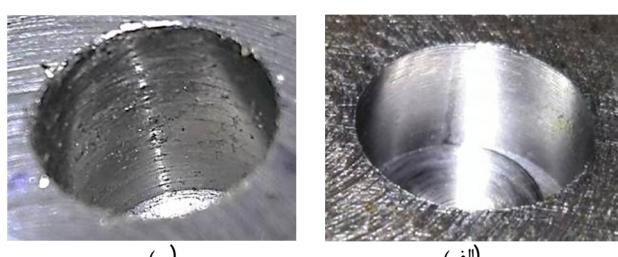
شکل 10 توزیع زبری بدست آمده روی یک مسیر اندازه‌گیری را برای



شکل 9 زبری سطح اندازه‌گیری شده در تمامی آزمایش‌ها



شکل 10 پروفیل زبری سطح اندازه‌گیری شده در آزمایش شماره 1 برای هر فرایند



شکل 11 نمایی از سوراخ تولیدی با استفاده از روش‌های (الف) فرزکاری مارپیچ
(ب) سوراخ کاری معمولی

1- Undeformed Chip Thickness

- [8] H. Wang, X. Qin, C. Ren, Q. Wang, Prediction of cutting forces in helical milling process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 58, No. 9-12, pp. 849-859, 2012.
- [9] R. Iyer, P. Koshy, E. Ng, Helical milling: an enabling technology for hard machining precision holes in AISI D2 tool steel, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, No. 2, pp. 205-210, 2007.
- [10] D. Olvera, L. N. L. de Lacalle, G. Urbikain, A. Lamkiz, P. Rodal, I. Zamakona, Hole making using ball helical milling on titanium alloys, *Machining Science and Technology*, Vol. 16, No. 2, pp. 173-188, 2012.
- [11] M. Sadeghi, M. Haddad, T. Tawakoli, M. Emami, Minimal quantity lubrication-MQL in grinding of Ti-6Al-4V titanium alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 44, No. 5-6, pp. 487-500, 2009.
- [12] H. Sasahara, M. Kawasaki, M. Tsutsumi, Helical feed milling with MQL for boring of aluminum alloy, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 2, pp. 1030-1040, 2008.
- [13] J. P. Davim, *Machining of hard materials*: Springer, 2011.
- [14] H. Tonshoff, T. Friemuth, P. Andrae, M. Groppe, Circular Milling Replacing Drilling and Reaming, in *Proceeding of*.
- [15] M. Vahebi, M. Habibi, B. Arezoo, Bias resulting from the deformation of the geometric errors of machine tools in the milling tools by changing the direction of three-axis machining, *Eleventh National Conference on Manufacturing Engineering*, Tabriz, Iran, 1389. (In persian)
- [16] A. Vahdati, M. Hamed, Identification and separation of all components of three-dimensional machining errors, *the second International Conference of Manufacturing Engineering*, Tehran, Iran, 1386. (In persian)

4- نتایج بدست آمده از بررسی تلرانس‌ها نشان داد که تلرانس ابعادی در سوراخکاری معمولی و تلرانس‌های هندسی در فرزکاری مارپیچ دارای وضعیت مطلوب‌تری هستند.

6- مراجع

- [1] W. Grzesik, *Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications*: Elsevier, 2008.
- [2] H. Tönshoff, W. Spintig, W. König, A. Neises, Machining of holes developments in drilling technology, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 43, No. 2, pp. 551-561, 1994.
- [3] H. Coldwell, R. Woods, M. Paul, P. Koshy, R. Dewes, D. Aspinwall, Rapid machining of hardened AISI H13 and D2 moulds, dies and press tools, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 135, No. 2, pp. 301-311, 2003.
- [4] B. Denkena, D. Boehnke, J. Dege, Helical milling of CFRP-titanium layer compounds, *CIRP Journal of manufacturing Science and Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 64-69, 2008.
- [5] Y. Shan, N. He, L. Li, W. Zhao, X. Qin, Orbital milling hole of aerospace Al-alloy with big pitch, *Transactions of Tianjin University*, Vol. 17, pp. 329-335, 2011.
- [6] H. Li, G. He, X. Qin, G. Wang, C. Lu, L. Gui, Tool wear and hole quality investigation in dry helical milling of Ti-6Al-4V alloy, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1-13, 2014.
- [7] E. Brinksmeier, S. Fangmann, I. Meyer, Orbital drilling kinematics, *Production engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 277-283, 2008.