بررسی تجربی تأثیر میراکننده سیال مغناطیسی بر ارتعاشات ابزار در عملیات برشکاری

محسن امامی1\*، وحید حسن نسب2

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان

2- کارشناس ارشد مهندسی ساخت و تولید

\* بهبهان، صندوق پستی 63616-47189، dr.emami@bkatu.ac.ir

چکیده

ارتعاشات چتر یکی از پدیده­های نامطلوب در فرآیندهای ماشینکاری به شمار می­آید. بروز چتر در براده­برداری معمولاً سبب ایجاد سر و صدای شدید، کاهش کیفیت سطح قطعه­کار، کاهش عمر ابزار، و کاهش قابل ملاحظه در راندمان ماشینکاری می­گردد. به منظور مهار لرزشهای ابزار در فرآیندهای ماشینکاری، توسعه روش­های مناسب که باعث افزایش پایداری و همچنین بهبود عملکرد برش می شود، ضروری است. میراکننده­های سیال مغناطیسی از جمله تجهیزاتی هستند که به منظور استهلاک انرژی ارتعاشات در صنایع مختلف توسعه داده­ شده­اند و توانایی بالقوه­ای جهت بکارگیری در فرآیندهای ماشینکاری دارند. در این پژوهش، یک میراکننده سیال مغناطیسی حاوی نانوذرات Fe2O3 جهت میراکردن ارتعاشات چتر در فرآیند تراشکاری، طراحی و ساخته شد. سپس میراکننده ساخته شده به طور تجربی در عملیات برش نمونه قطعه­کارهای فولادی، تست شد. در آزمایش­های تجربی با اندازه­گیری شتاب، ارتعاشات ابزار در حالت­های با میراکننده و بدون میراکننده، ارزیابی و مقایسه شدند. نتایج نشان می­دهد که با استفاده از میراکننده سیال مغناطیسی، ارتعاشات ابزار به میزان قابل توجهی کاهش می­یابد.

**کلی**د‌واژگ**ان**

تراشکاری، میراکننده سیال مغناطیسی، ارتعاشات ابزار.

Experimental Investigation of the Effects of Magneto-Rheological (MR) Fluid Damper on Tool Vibrations in Cut-off Operation

Mohsen Emami1\*, Vahid Hasan Nasab2

1- Department of Mechanical Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran.

2- Master of Science in Manufacturing Engineering

\* P.O.B. 63616-47189 Behbahan, Iran, [dr.emami@bkatu.ac.ir](mailto:dr.emami@bkatu.ac.ir)

Abstract

Chatter vibration is one of the undesirable phenomena in machining processes. Chatter in metal cutting typically cause severe noise, reduce workpiece surface quality, reduce tool life, and significantly reduce machining efficiency. In order to control tool vibrations in machining processes, it is necessary to develop suitable methods that increase stability and improve cutting performance. Magneto-Rheological (MR) fluid damper is among the equipment developed to dissipate vibration energy in various industries and has the potential to be used in machining processes. In this study, an MR fluid damper containing Fe2O3 nanoparticles was designed and fabricated to dampen the chatter vibrations during the turning process. The fabricated damper was then experimentally tested in the cut-off operation of the steel work samples. In the empirical experiments, the machinability in damped and non-damped modes was evaluated and compared by measuring tool acceleration. The results show that with the use of MR fluid damper, tool vibrations are significantly reduced.

**Keywords**

Turning Operation, Magneto-Rheological (MR) Damper, Tool Vibrations.

1. مقدمه

ماشینکاری یک فرآیند براده­برداری محسوب می شود که در آن با استفاده از یک ابزار سخت از قطعه­کار دارای جنس نرم­تر، براده به روش مکانیکی جدا می­شود. از جمله مهم­ترین فرآیندهای ماشینکاری می­توان به تراشکاری، فرزکاری، سوراخکاری، و سنگ­زنی اشاره کرد. در این فرآیند با نفوذ ابزار به داخل قطعه­کار، براده­ با مکانیزم برش از ماده قطعه­ جدا می­شود. از آنجا که عملیات برش بواسطه وجود نیروهای مکانیکی بین ابزار و قطعه­کار انجام می­شود، لذا مجموعه ابزار و قطعه­کار یک سیستم دینامیکی را تشکیل می­دهند. گاهی اوقات در فرآیند ماشینکاری یک آشفتگی اولیه رخ داده و در آن حرکت ابزار یا قطعه­کار با حرکات نوسانی (ارتعاشی) توأم می­شود. در این حالت با ایجاد ناپایداری در برش، ضخامت براده تغییر شکل نیافته نیز در اثر ارتعاشات تغییر کرده و یک ضخامت براده موجی شکل بوجود می­آورد که به طور دینامیکی بر نیروهای برش تأثیر می­گذارد. تغییر نیروهای برش به نوبه خود بر دامنه ارتعاشات اثر گذاشته و آن را افزایش می­دهد و پدیده­ای را بوجود می­آورد که به چتر خودتحریک[[1]](#footnote-1) معروف است. چتر خود تحریک در فرآیندهای ماشینکاری به طور مستقیم بر دقت ابعادی و کیفیت سطح قطعه­کار و همچنین بر نرخ براده­برداری تأثیر می­گذارد[1] . ارتعاشات بیش از حد در فرآیندهای ماشینکاری، سبب افزایش سایش ابزار، کاهش صافی سطح قطعه­کار، و آسیب به یاتاقان­های ماشین ابزار می­شود [2-3]. با توجه به اهمیت موضوع ارتعاشات چتر و لزوم ارائه راهکارهایی به جهت جلوگیری از رخ دادن یا کاهش اثرات مخرب حاصل از آن، تاکنون پژوهش­های مختلفی انجام شده است، که از جمله آن­ها می­توان به کنترل فعال، غیر فعال و نیمه فعال چتر جهت میراندن ارتعاشات ابزار یا قطعه­کار اشاره کرد [4].

میراکننده­های سیال مغناطیسی از جمله میراکننده­هایی هستند که معمولاً به روشهای غیر فعال یا نیمه فعال جهت کاهش دامنه ارتعاشات استفاده می­شوند و تاکنون در کنترل ارتعاشات سازه­های عمرانی، ماشین­های لباسشویی، و اتومبیل­ها کاربرد پیدا کرده­اند. این میراکننده­ها به دلیل سادگی، مصرف کم انرژی، مقیاس پذیری و توانایی دستیابی به پاسخ­های کوتاه مدت، پتانسیل بالقوه­ای برای کاربرد در فرآیندهای ماشینکاری دارند [5-6]. در این پژوهش با استفاده از میراکننده سیال مغناطیسی، تکنیکی جهت میرایی ارتعاشات چتر در عملیات برش در فرآیند تراشکاری ارائه می­شود. برای این منظور ابتدا یک میراکننده سیال مغناطیسی متناسب با فرآیند برشکاری طراحی و ساخته شده و به طور تجربی تست می­شود. در این آزمایش­ها با استفاده از شاخص­هایی چون منحنی ارتعاشات ابزار، انحراف معیار داده­های شتاب ابزار، و نمودار FFT قابلیت ماشینکاری در دو حالت با میراکننده و بدون میراکننده مورد بررسی قرار می­گیرد.

2- طراحی و ساخت میراکننده سیال مغناطیسی

در این بخش ابتدا یک دمپر سیال مغناطیسی جهت کاربرد در عملیات تراشکاری طراحی و ساخته می­شود. شکل 1 نمای برش دو بعدی و نام قطعات این دمپر که در نرم افزار SolidWorks ترسیم شده­اند را نشان می­دهد. با توجه به شکل، دمپر طراحی شده از قسمت های زیر تشکیل شده است: 1- محفظه داخلی (محفظه سیال)، 2- محفظه بیرونی، 3- شفت، 4- پیستون، 5- سیم پیچ، 6- راهنما و درپوش، 7-کاسه نمد، 8-خار و 9- فلنج.

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(9)

(7)

(8)

|  |
| --- |
| C:\فولدر پژوهشی\پژوهش های جاری\پژوهش میراگر چتر با سیال مغناطیسی\Damper SW\damper with spring.png |

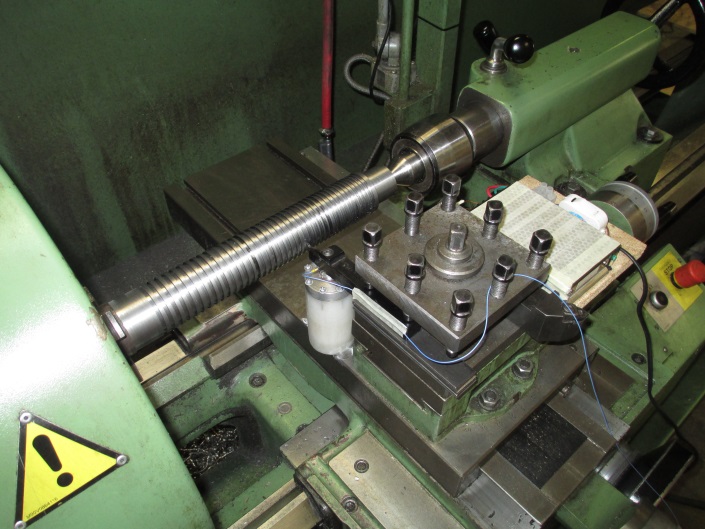
**Fig. 1** Two-dimensional model of the designed damper with names of body parts

**شكل 1** مدل دو بعدی میراکننده طراحی شده به همراه نام قطعات بدنه

فولاد ضد زنگ L316 به دلیل خاصیت مغناطیسی بالا برای ساخت محفظه داخلی استفاده شد. سایر قسمتهای این میراکننده از آلیاژ آلومینیوم 7075 یا پلاستیک ساخته شد تا وزن کل آن کاهش یابد. میدان مغناطیسی تولید شده در میراکننده توسط کویل پیچیده شده در اطراف محفظه سیال تولید می­شود. این میراکننده به گونه­ای طراحی شده که به راحتی در زیر ابزار برش روی میز سوپورت ماشین تراش نصب می­شود. از­این­رو، ارتفاع پیستون دمپر مطابق با محل نصب آن تعیین شده است. قطعات میراکننده پس از ساخت مونتاژ می­شوند، سپس میراکننده در زیر ابزار نصب می­گردد.

3- آزمایش­های تجربی

ستاپ آزمایشگاهی این پژوهش در شکل 2 نشان داده شده است.



منبع تغذیه ولتاژ

ابزار برش

ماشین تراش

قطعه­کار

****

میراکننده

شتاب سنج

**Fig. 2** Experimental setup including the turning machine, workpiece, tool, MR damper, and power supply.

**شکل 2** ستاپ آزمایشگاهی شامل ماشین تراش، قطعه­کار، ابزار، میراکننده سیال مغناطیسی، شتاب­سنج و منبع تغذیه ولتاژ.

در اینجا تست های ماشینکاری با استفاده از ماشین تراش اونیورسال مدل TOS SN 50 انجام شد. همچنین از یک میله­ استوانه­ای از جنس فولاد کربنی ST50 با قطر mm50 به عنوان قطعه­کار استفاده شد. قبل از شروع تست­های اصلی، ابتدا روی قطعه­کار شیارهایی با فواصل متفاوت ایجاد شد به گونه­ای که نمونه برای برشکاری با عمق برش­های مورد نظر در طرح آزمایش آماده شده باشد. از تیغچه برش با کد KGMI-T و پهنای mm 4 ساخت شرکت Korloy و ابزارگیر با کد استاندارد G1011.2020R-4T21GX24 ساخت شرکت Walter برای فرآیند برشکاری استفاده شد. همچنین کلیه آزمایش­ها در شرایط ماشینکاری خشک انجام شدند. از مجموعه چکش ضربه ICP مدل PCB 086C01 به همراه سنسور شتاب­سنج پیزو ساخت شرکت PCB PIEZOTRONICS جهت انجام 1- آنالیز مودال، و 2- ثبت داده­های شتاب ابزار در حین فرآیند ماشینکاری استفاده شد. در اینجا پارامترهای براده­برداری هر آزمایش عبارتند از سرعت اسپیندل ، عمق برش و نرخ پیشروی و وضعیت میراکننده (خاموش/روشن). در جدول 1 تعداد آزمایش­ها و پارامترهای مربوط به هر آزمایش نشان داده شده است.

**Table 1** The parameters of experimental design

**جدول 1** پارامترهای طراحی آزمایش

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **شماره آزمایش** | **سرعت اسپیندل**  rpm | **عمق برش**  mm | **نرخ پیشروی** | **وضعیت میراکننده** |
| 1 | 500 | 3 | 0.08 | خاموش |
| 2 | 500 | 3 | 0.08 | روشن |
| 3 | 500 | 4 | 0.08 | خاموش |
| 4 | 500 | 4 | 0.08 | روشن |
| 5 | 710 | 4 | 0.08 | خاموش |
| 6 | 710 | 4 | 0.08 | روشن |
| 7 | 1000 | 3.5 | 0.08 | خاموش |
| 8 | 1000 | 3.5 | 0.08 | روشن |
| 9 | 1000 | 4 | 0.08 | خاموش |
| 10 | 1000 | 4 | 0.08 | روشن |

4- نتایج و بحث

در این بخش نتایج آزمایش­های انجام شده به صورت نمودار در سه گروه شامل 1- سیگنال شتاب ابزار، 2- نمودارهای FFT و 3- انحراف معیار سیگنال شتاب، ارائه و تشریح شده­اند. در شکل 3 نتایج سیگنال شتاب ابزار و نمودارهای FFT مربوطه در دو حالت بدون میراکننده و با میراکننده برای شرایط برشکاریn=500 rpm ، f= 0.08 mm/rev، a= 3 mm نشان داده شده است. مقایسه سیگنالهای شتاب در این شکل نشان می­دهد که در حالت وجود میراکننده دامنه سیگنالهای شتاب کاهش یافته است. با توجه به اینکه تست مودال (تست چکش) انجام شده در این فرآیند نشان داده است که فرکانس طبیعی سیستم در محدوده 280Hz رخ می دهد، لذا از نمودارهای FFT این شکل این نتیجه بدست می­آید که در این تست چتر اتفاق نیفتاده است. زیرا اگر چتر اتفاق می­افتاد در فرکانس های نزدیک به فرکانس طبیعی سیستم (حدود 280Hz) می­بایست دامنه فرکانس به طور قابل ملاحظه­ای افزایش می­یافت در صورتی که در اینجا افزایش در شدت دامنه فرکانس رخ نداده است. به طور مشابه در شکل های 4 تا 7 نیز سیگنال­های شتاب ابزار و نمودارهای FFT مربوطه، برای شرایط مختلف ماشینکاری (ذکر شده در جدول 1) مقایسه شده­اند. به طور کلی با توجه به شکل­های 3 تا 7، مقایسه سیگنالهای شتاب ابزار در دوحالت بدون میراکننده و با میراکننده برای شرایط مختلف ماشینکاری نشان می­دهد که وجود میراکننده سیال مغناطیسی در کاهش شدت دامنه سیگنال­ موثر است. البته این میزان کاهش دامنه در شتاب ابزار بسته به شرایط ماشینکاری متفاوت است. برای کمی کردن این مقدار کاهش در دامنه سیگنال شتاب از تابع انحراف معیار (standard deviation) استفاده شده است، به طوری که هر چه میزان انحراف معیار سیگنال شتاب کمتر باشد نشان دهنده آن است که ارتعاشات ابزار بیشتر میرا شده است. به منظور مقایسه بهتر انحراف معیار سیگنال های شتاب ابزار در دو حالت با میراکننده و بدون میراکننده، در شکل 8 برای هر کدام از تست های انجام شده این داده ها استخراج و در نمودار ستونی نمایش داده شده است. مشاهده می شود که در کلیه تستهای انجام شده، میراکننده به طور قابل ملاحظه ای مقادیر انحراف معیار سیگنالهای شتاب ابزار را کاهش داده است.

از طرف دیگر مشاهده نتایج نمودارهای FFT در شکل­های 3 تا 7 نشان می­دهد که تنها در شرایط ماشینکاری بدون میراکننده شکل­های 6 و 7 چتر رخ داده است و در سایر موارد چتر اتفاق نیفتاده است. گراف های شکل های 6 و 7 نشان می دهند که در حالت "بامیراکننده" دامنه سیگنالهای شتاب کاهش قابل توجهی داشته­اند و نمودارهای FFT نیز حاکی از عدم رخداد چتر هستند. در نمودار ستونی شکل 8 مقادیر کمی انحراف معیار سیگنال­های شتاب برای این حالات قابل مشاهده و ارزیابی هستند.

|  |  |
| --- | --- |
| **شتاب ابزار بدون میراکننده** | **شتاب ابزار با میراکننده** |
| **نمودار FFT بدون میراکننده** | **نمودار FFT با میراکننده** |
| **Fig. 3** Comparison of the tool acceleration signals and their corresponding FFT graphs obtained for two modes” without damper” and “with damper”- (machining parameters n=500 rpm f= 0.08 mm/rev, a= 3 mm)  **شکل 3** مقایسه نتایج سیگنال­های شتاب ابزار و نمودارهای FFT مربوطه در دو حالت بدون میراکننده و با میراکننده- (شرایط برشکاریn=500 rpm ، f= 0.08 mm/rev، a= 3 mm) | |

|  |  |
| --- | --- |
| **شتاب ابزار بدون میراکننده** | **شتاب ابزار با میراکننده** |
| **نمودار FFT بدون میراکننده** | **نمودار FFT با میراکننده** |
| **Fig. 4** Comparison of the tool acceleration signals and their corresponding FFT graphs obtained for two modes” without damper” and “with damper”- (machining parameters n=500 rpm f= 0.08 mm/rev, a= 4 mm)  **شکل 4** مقایسه نتایج سیگنال­های شتاب ابزار و نمودارهای FFT مربوطه در دو حالت بدون میراکننده و با میراکننده- (شرایط برشکاریn=500 rpm ، f= 0.08 mm/rev، a= 4 mm) | |

|  |  |
| --- | --- |
| **شتاب ابزار بدون میراکننده** | **شتاب ابزار با میراکننده** |
| **نمودار FFT بدون میراکننده** | **نمودار FFT با میراکننده** |
| **Fig. 5** Comparison of the tool acceleration signals and their corresponding FFT graphs obtained for two modes” without damper” and “with damper”- (machining parameters n=710 rpm f= 0.08 mm/rev, a= 4 mm)  **شکل 5** مقایسه نتایج سیگنال­های شتاب ابزار و نمودارهای FFT مربوطه در دو حالت بدون میراکننده و با میراکننده- (شرایط برشکاریn=710 rpm ، f= 0.08 mm/rev، a= 4 mm) | |

|  |  |
| --- | --- |
| **شتاب ابزار بدون میراکننده** | **شتاب ابزار با میراکننده** |
| Chatter frequency  **نمودار FFT بدون میراکننده** | **نمودار FFT با میراکننده** |
| **Fig. 6** Comparison of the tool acceleration signals and their corresponding FFT graphs obtained for two modes” without damper” and “with damper”- (machining parameters n=1000 rpm f= 0.08 mm/rev, a= 3.5 mm)  **شکل 6** مقایسه نتایج سیگنال­های شتاب ابزار و نمودارهای FFT مربوطه در دو حالت بدون میراکننده و با میراکننده- (شرایط برشکاریn=1000 rpm ، f= 0.08 mm/rev، a= 3.5 mm) | |

|  |  |
| --- | --- |
| **شتاب ابزار بدون میراکننده** | **شتاب ابزار با میراکننده** |
| Chatter frequency  **نمودار FFT بدون میراکننده** | **نمودار FFT با میراکننده** |
| **Fig. 7** Comparison of the tool acceleration signals and their corresponding FFT graphs obtained for two modes” without damper” and “with damper”- (machining parameters n=500 rpm f= 0.08 mm/rev, a= 3 mm)  **شکل 7** مقایسه نتایج سیگنال­های شتاب ابزار و نمودارهای FFT مربوطه در دو حالت بدون میراکننده و با میراکننده- (شرایط برشکاریn=500 rpm ، f= 0.08 mm/rev، a= 3 mm) | |

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

شکل 8 مقایسه انحراف معیار محاسبه شده برای سیگنال­های شتاب ابزار در دوحالت با میراکننده و بدون میراکننده برای شرایط مختلف تستهای ماشینکاری ذکر شده در جدول 1

5- نتیجه گیری

در این پژوهش یک میراکننده سیال مغناطیسی حاوی نانوپودر Fe2O3 جهت بکارگیری در فرآیند برشکاری طراحی و تست شد. مهمترین نتایج بدست آمده در این پژوهش را می­توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- مقایسه سیگنالهای شتاب ابزار در دوحالت بدون میراکننده و با میراکننده برای شرایط مختلف ماشینکاری نشان می­دهد که وجود میراکننده سیال مغناطیسی در کاهش شدت دامنه سیگنال­ موثر است. البته این میزان کاهش دامنه در شتاب ابزار بسته به شرایط ماشینکاری متفاوت است.

- در آزمایش­های این پژوهش در حالت­های "بامیراکننده"، نمودارهای FFT حاکی از عدم رخداد چتر هستند.

6- مراجع

[1] M. Siddhpura, R. Paurobally, A review of chatter vibration research in turning, *International Journal of Machine tools and manufacture,* Vol. 61, pp. 27-47, 2012.

[2] Y. Altintas, *Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design,* Second Edition, Cambridge university press, 2012.

[3] M. Eynian, and Y. Altintas, Chatter stability of general turning operations with process damping, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 131, No. 4, 041005, 2009.

[4] Yuan, L., Sun, S., Pan, Z., Ding, D. and Li, W., 2017, July. Semi-Active Chatter Reduction for Robotic Machining Using Magnetorheological Elastomers (MREs). In 2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER) (pp. 349-354). IEEE.

[5] Mei, D., Kong, T., Shih, A.J. and Chen, Z., 2009. Magnetorheological fluid-controlled boring bar for chatter suppression. journal of materials processing technology, 209(4), pp.1861-1870.

[6] Sathianarayanan, D., Karunamoorthy, L., Srinivasan, J., Kandasami, G.S. and Palanikumar, K., 2008. Chatter suppression in boring operation using magnetorheological fluid damper. Materials and Manufacturing processes, 23(4), pp.329-335.

1. Self-excited chatter [↑](#footnote-ref-1)