

## طراحی و ساخت دستگاه پرداخت سطوح منحنی با استفاده از سیال حاوی ذرات ساینده‌ی مغناطیسی

حمید منتظرالقائم<sup>1</sup>، رضا قیصری<sup>2</sup>، علی اصغر قاسمی<sup>2</sup>، اسماعیل سلطانی<sup>4</sup>

<sup>1</sup>گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، h\_montazerghaem@me.iut.ac.ir  
<sup>2</sup>دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، reza.gheisari@gmail.com  
<sup>3</sup>دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ali\_00178@yahoo.com  
<sup>4</sup>گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، es\_soltani@iaun.ac.ir

### چکیده

استفاده از روش پرداخت سطوح توسط سیال حاوی ذرات ساینده‌ی مغناطیسی<sup>1</sup> یکی از فرایندهای نویدبخش جهت دستیابی به سطوح پرداخت با دقت بسیار بالا می باشد. این روش یکی از تکنیکهای جدید و مناسب برای پرداخت سطوح منحنی با دقت بالا می باشد. قطعاتی که با این روش پرداخت می شوند بایست فاقد خاصیت مغناطیسی باشند. زیرا در صورت وجود خاصیت مغناطیسی برای قطعه کار امکان جذب ذرات ساینده‌ی درون سیال به سطح قطعه کار وجود دارد.

در استفاده از این روش جهت پرداخت سطوح نیاز است که سطح قطعات به طور نیمه پرداخت باشد تا بتوان عملیات بعدی و پرداخت های بالاتری را به این روش نسبت به روش های معمول بدست آورد. در این مقاله نحوه طراحی و ساخت دستگاه مناسب و کاربردی با قابلیت ساخت و مونتاژ آسان و قابلیت تغییر پارامترهای موثر بر فرایند ارائه شده است. در طراحی این دستگاه دو رویکرد اساسی مدنظر قرار داده شده است، رویکرد اول پرداخت به روش غوطه وری قطعه کار در سیال می باشد و رویکرد دوم روش شارژ پیوسته‌ی سیال است. در طراحی انجام شده برای ساخت دستگاه ساخته شده، تلاش شده است که دستگاه هردو رویکرد را به طور همزمان جهت پرداخت قطعه کار داشته باشد. دستگاه قابلیت تغییر پارامترهای موثر بر فرایند مانند سرعت دورانی و استفاده از ابزارهای با فرم خاص جهت ایجاد اغتشاش بیشتر در جریان سیال را دارا است. به کمک این دستگاه علاوه بر آشنایی با مکانیزم براده برداری به کمک جریان سیال مگنتورئولوژیک می توان به بررسی پارامترهای موثر بر فرایند نیز پرداخته شود. یکی دیگر از موارد مهم که در ساخت این دستگاه مورد توجه قرار گرفته است، قابلیت بکارگیری برای سنگ زنی سطوح پیچیده مانند سطح قالب های تزریق پلاستیک و ایجاد سطح پرداخت و یکنواخت است.

### واژه های کلیدی

طراحی دستگاه پرداخت سطح با سیال واسطه، سیال مغناطیسی<sup>2</sup>، ذرات ساینده‌ی مغناطیسی، سطوح بسیار دقیق، سطوح منحنی.

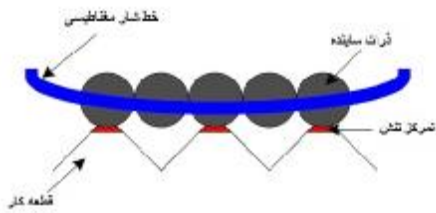
### مقدمه

استفاده از روش پرداخت با سیال واسطه یک فرایند تماس غیر مستقیم است که مزیت استفاده از آن بدست آوردن دقت بالا در کیفیت سطح و آسیب کمتر به سطح پرداخت شده است. به علاوه این روش پرداخت، فواید بسیار دیگری را در خصوص پرداخت مدل‌های سه بعدی نیز دارد [1]. بسیاری از قطعات مورد استفاده در صنعت به یک کیفیت سطح بسیار خوب نیاز دارند که جهت پاسخ به این تقاضاها فرایندهای متنوعی توسعه داده شده اند مانند لپینگ فوق دقیق [2]، سنگ زنی [3]، مسطح سازی مکانیکی شیمیایی<sup>3</sup> و... [4].

لپینگ فوق دقیق، سنگ زنی، سنگ زنی مکانیکی شیمیایی و سایر روشها بیشتر به منظور پرداخت و صیقل دادن سطوح تخت استفاده می شود برای سطوح پیچیده و غیر مسطح مناسب نیستند [5]. عملیات پرداخت با سیال واسطه یکی از فرایندهای امیدوارکننده جهت افزایش کیفیت چنین سطوحی است، زیرا در صورت انتخاب سیال مناسب (به همراه ذرات ساینده) امکان سنگ زنی سطوح غیر تخت بوجود می آید. به دلیل عدم تماس مستقیم سطح با ابزار مخصوصاً در مدل های 3بعدی، آسیب کمتری به سطح پرداخت شده وارد می شود و برای بدست آوردن کیفیت سطح بالا این روش نسبت به سایر روشها ارجحیت دارد [6].

در حال حاضر دو نوع سیال در فرایند پرداخت با سیال واسطه استفاده می شود. نوع اول از پودر نانو اکسید سریم با اندازه میکرونی به صورت معلق در محلول مغناطیسی پودر آهن که برای فرایند پرداخت هر جنس قطعه کار اعم از شیشه های اپتیکی سخت و نرم و سرامیکهای شیشه ای مناسب استفاده می شود. نوع دوم پودر نانو الماس است که برای پرداخت سطوحی از جنس کلسیم فلورید، سیلیکون سخت و پلی کریستالهای بسیار سخت مانند سیلیکون کارباید مناسب می باشد [7,8].

گیس و همکارانش با استفاده از سیلیکون کارباید و سیلیکون نیتريد که جزء آن دسته از سرامیکهای محسوب می شوند که دارای بیشترین سختی و شکنندگی هستند قطعات شیشه ای فوق دقیق تولید کردند و از روش پرداخت با سیال واسطه برای از بین بردن ناهمواریهای بسیار ریز در سطح آن بهره بردند [9,10]. ذرات ساینده‌ی غیرمغناطیسی، برای فرایند پرداختی بکار می روند که

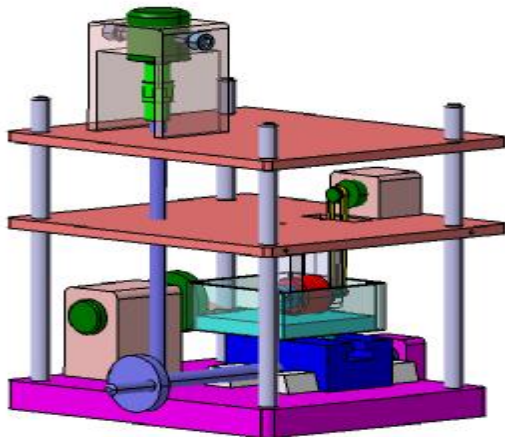


شکل 2: مکانیزم سایش در پرداخت با سیال واسطه

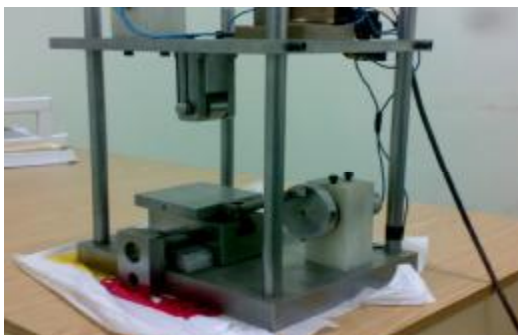
در قسمت بعدی در مورد مکانیزم دستگاه و پارامترهای مؤثر در این فرایند بحث خواهد شد.

### شرح مکانیزم دستگاه ساخته شده

در طراحی این دستگاه، ابزار پرداخت از نوع دورانی انتخاب شده است. در دستگاه های دیگر روشهای متفاوتی جهت پرداخت سطوح با استفاده از فرایند سیال مگنتورئولوژیک استفاده شده است مانند استفاده از تویی صیقل دهنده ارتعاشی، ولی مزیت روش ابزار دورانی از سایر روشها بیشتر است زیرا پس از پرداخت، تنش کمتری در سطح قطعه کار ایجاد می شود و دلیل این امر عدم تماس مستقیم ابزار با سطح قطعه کار است، در شکل 3 و 4 شماتیک و دستگاه ساخته شده ارائه شده است.



شکل 3: دستگاه طراحی شده در نمای ایزومتریک



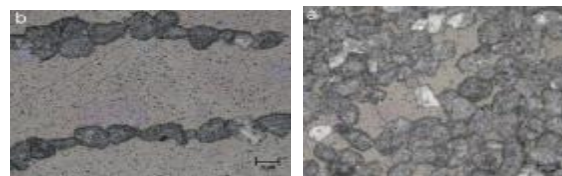
شکل 4: دستگاه ساخته شده (محفظه دور میز برداشته شده است)

سیال مگنتورئولوژیک (MR fluid) بصورت پیوسته بر روی سطح است و این امر توسط یک نیروی شناوری مغناطیسی که توسط یک میدان مغناطیسی خارجی تولید می گردد امکان پذیر می شود. فرایند پرداخت با سیال واسطه که در گذشته انجام می شد به دلیل داشتن محدودیت ها، نتایج رضایت بخشی را در زمینه ی پرداخت مواد سخت که دارای شکل های پیچیده بودند نداشت.

جهت بر طرف کردن مشکلات فرایند ذکر شده در دستگاه طراحی شده کلیه محدودیت های مربوط به عملکرد دستگاه های مشابه مدنظر قرار گرفته است. در این دستگاه جهت بهبود شرایط فرایند امکان تغییر و تنظیم دقیق سرعت دوران ابزار، فاصله ابزار تا سطح قطعه کار و امکان استفاده از ساینده های سخت که دارای خاصیت مغناطیسی می باشند وجود دارد.

### اصول فرایند پرداخت با سیال واسطه

در روش پرداخت سطوح با استفاده از سیال واسطه به کمک اعمال یک میدان مغناطیسی، ذرات آهن کربونیل معلق در سیال به شکل یک ساختار ستونی زنجیروار در خواهند آمد، (شکل 1 (الف و ب)) تصاویر گرفته شده توسط یک میکروسکوپ متالورژیکی هستند که نشان دهنده ساختار آهن کربونیل همراه و یا بدون استفاده از میدان مغناطیسی می باشد. نیروی مغناطیسی بین ذرات آهن باعث ایجاد مقاومت زنجیره ای در آنها می شود و میزان این مقاومت به عواملی از قبیل غلظت ذرات آهن، شدت میدان مغناطیسی، نفوذ پذیری مغناطیسی ذرات و سایز آنها بستگی دارد [11]. این مسئله بخوبی اثبات شده است که زنجیره های ذرات معلق در سیال همیشه در راستای خطوط جریان مغناطیسی قرار می گیرند [12].

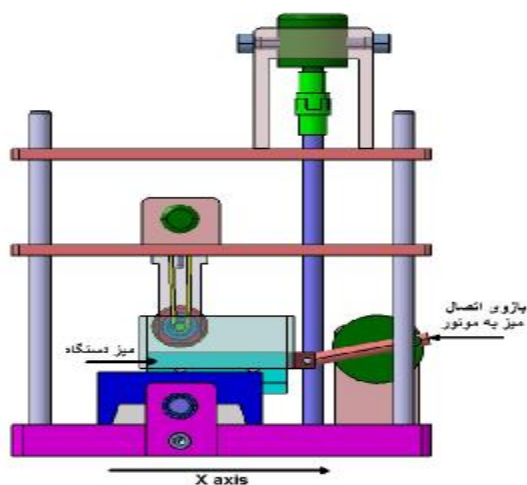


شکل 1: (الف) آرایش ذرات آهن کربونیل بدون استفاده از میدان مغناطیسی (ب): آرایش ذرات آهن کربونیل با استفاده از میدان مغناطیسی

زمانی که این زنجیره ها دارای حرکات مرتبط با یکدیگر هستند (با توجه به سطح قطعه کار)، عملیات براده برداری از سطح اتفاق می افتد. این باور وجود دارد که هنگامی که سطح قطعه کار توسط ذرات ساینده ی درون سیال ساییده می شود، کلیه ی ناهمواریهای سطح از بین می رود و دلیل این امر تغییر شکل پلاستیکی در سر ناهمواریهاست که به دلیل تمرکز تنش بالا ایجاد می شود (شکل 2) [13].

میز نگهدارنده‌ی قطعه کار قابلیت حرکت در دو جهت  $X$  و  $Y$  را داراست. حرکت میز در راستای محور  $X$  به صورت رفت و برگشتی و پیوسته می باشد، این کار بواسطه ی یک موتور DC که توسط یک بازو به میز متصل شده است انجام می شود، در طراحی این قسمت از مکانیزم چرخ لنگ استفاده شده است (سرعت حرکت میز توسط یک دیمر الکتریکی قابل تنظیم است)، (شکل 7). این کار به نوبه ی خود به دلیل ایجاد اغتشاش در جریان و حرکت آسان تر ذرات ساینده یکی دیگر از پارامترهای بهبود دهنده شرایط فرایند می باشد. حرکت میز در راستای محور  $Y$  به دلیل اهمیت نه چندان زیاد بصورت دستی انجام می شود.

در طراحی این دستگاه محفظه ای در دور میز نگهدارنده‌ی قطعه کار تعبیه شده است که بتواند قابلیت پرداخت قطعات به صورت غوطه وری و به صورت شارژ پیوسته‌ی سیال داشته باشد، بدین معنی که سیال بر خلاف روش غوطه وری که تا اتمام کامل عملیات در درون محفظه باقی می ماند توسط یک نازل به درون محفظه وارد شده و سپس از طرف دیگر محفظه خارج می شود.



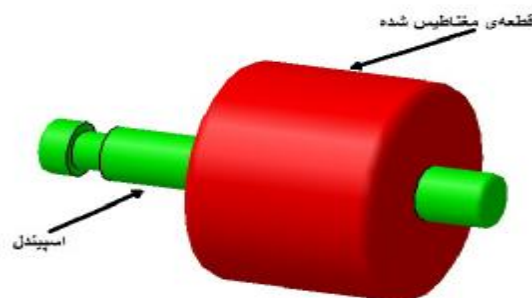
شکل 7: نمای دستگاه از پشت

در صورت استفاده از روش شارژ مجدد سیال، باید در کنار دستگاه از یک مخزن حاوی سیال مگنتورئولوژیک که توانایی تامین سیال تا زمان اتمام فرایند را داشته باشد استفاده نمود. سیال توسط یک پمپ به درون محفظه ی دستگاه انتقال داده می شود.

از دیگر اهداف ساخت این دستگاه پرداخت سطوح منحنی با استفاده از سیال سیال مگنتورئولوژیک می باشد. جنس قطعاتی که به این روش پرداخت می شوند باید فاقد قابلیت مغناطیسی باشد زیرا در غیر اینصورت تمامی ذرات ساینده موجود در سیال که دارای قابلیت مغناطیسی می باشند جذب سطح قطعه کار شده و در عملیات پرداخت اختلال ایجاد می کنند. همچنین قطعاتی که توسط این روش پرداخت می شوند باید دارای یک پرداخت سطح اولیه ی مناسب باشند.

قطعه‌ی مغناطیسی دوار (دارای قطر خارجی 40 میلی متر) که وظیفه‌ی اصلی پرداخت سطح به همراه ذرات ساینده به عهده ی آن است و قابلیت ایجاد یک میدان مغناطیسی نه چندان قوی جهت جذب ذرات ساینده را دارد. این قطعه بر روی یک اسپیندل سوار شده است و توسط یک موتور جریان مستقیم DC توانایی چرخش در سرعت‌های 1800، 1500، 1000، 750، 500، 250 دور بر دقیقه را داراست، (مطابق شکل 5). جنس اسپیندل باید فاقد قابلیت مغناطیسی باشد، در غیر اینصورت در اثر تماس با قطعه ی دوار مغناطیسی سوار شده بر روی آن، ذرات ساینده را به خود جذب کرده و در عملیات پرداخت اختلال ایجاد می کند، جنس اسپیندل در دستگاه طراحی شده از برنج می باشد. این ابزار مغناطیسی موظف است تا با جذب ذرات ساینده ی معلق به سمت خود و هدایت آنها بر روی سطح قطعه کار عملیات پرداخت را انجام دهد. شکل 6 شماتیکی از روش شارژ پیوسته‌ی سیال را نشان می دهد، در این تصویر نحوه ی پاشش سیال حاوی ذرات ساینده و هدایت آن بر روی سطح قطعه کار توسط قطعه دوار مغناطیسی و انجام عملیات پرداخت تا حدودی مشخص شده است.

دستگاه مورد نظر دارای 3 محور حرکتی  $X, Y, Z$  می باشد. حرکت در راستای محور  $Z$  توسط مکانیزم پیچ و مهره قابل تنظیم است، اسپیندل نیز توسط دو نگهدارنده به صفحه ی متحرک متصل می باشد.



شکل 5: قطعه‌ی دوار مغناطیسی سوار شده بر روی اسپیندل



شکل 6: نحوه‌ی پاشش سیال و هدایت آن توسط قطعه دوار مغناطیسی بر روی سطح قطعه کار در روش شارژ پیوسته

- [3] J.H. Liu, Z.J. Pei, G.R. Fisher, Grinding wheels for manufacturing of silicon wafers: a literature review, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 47 (2007) 1–13.
- [4] P.B. Zantye, A. Kumar, A.K. Sikder, Chemical mechanical planarization for microelectronics applications, *Materials Science and Engineering R* 45 (2004) 89–220.
- [5] B. Jung, K. Injang, B. KwonnMin, S. Lee, J.Seok, Magnetorheological finishing process for hard, materials, using sintered iron-CNT compound abrasives, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 49 (2009) 407–418
- [6] W.-B. Kim, S.-H. Lee, B.-K. Min, Surface finishing and evaluation of three- dimensional silicon microchannel using magnetorheological fluid, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 126 (2004) 772–778.
- [7] M. Tricard, A. Shorey, B. Hallock, P. Murphy, Cost-effective subaperture approaches to finishing and testing astronomical optics, in: *Proceedings of the SPIE, Optical Testing and Metrology for Large Telescopes*, 2006, p. 62730L.
- [8] M. Schinhaerl, G. Smith, A. Geiss, L. Smith, R. Rascher, P. Sperber, E. Pitschke, R. Stamp, Calculation of MRF influence functions, in: *Proceedings of SPIE, Optical Manufacturing and Testing VII*, 2007, pp. 1–12.
- [9] A. Geiss, M. Schinhaerl, E. Pitschke, F. Kader, R. Rascher, P. Sperber, J. Slabeycius, Correcting silicon carbide and silicon nitride moulds by Magnetorheological Finishing, in: *Proceedings of the Seventh Euspen International Conference*, 2007, pp. 360–363.
- [10] A. Geiss, M. Schinhaerl, R. Rascher, P. Sperber, J. Slabeycius, F. Kader, C. Vogt, Magnetorheological Finishing of silicon nitride moulds, in: *Proceedings of the 10th Euspen International Conference*, 2008, pp. 66–67.
- [11] T. Simon, F. Reitich, Modeling and computation of the overall magnetic properties of magnetorheological fluids, in *Proceedings of the 36th Conference on Decision & Control*, San Diego, CA, 1997, pp. 3721–3726.
- [12] S. Jha, V.K. Jain, Design and development of the magnetorheological abrasive flow finishing (MRAFF) process, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44 (2004) 1019–1029.
- [13] J.F. Archad, Contact and rubbing of flat surfaces, *Journal of Applied Physics* 24 (1953) 981–988.

ابزار دورانی به گونه ای طراحی شده است که قابلیت تعویض و استفاده از قطره های مختلف به عنوان ابزار دورانی را دارا باشد.

### نتیجه گیری و جمع بندی

فرایند پرداخت به وسیله سیال مگنتورئولوژیک یکی از روشهای پرداخت سطوح است که هنوز بخوبی شناخته نشده است زیرا هزینه های این روش تقریباً زیاد می باشد ولی بطور کلی یکی از روشهای مؤثر جهت دست یافتن به سطوح با دقت بسیار بالا می باشد. در فرایند پرداخت با سیال واسطه پارامترهای متعددی بر کیفیت سطح نهایی تاثیر می گذارند از جمله نوع ذرات ساینده، سرعت دورانی، فاصله ی قطعه ی دوار مغناطیسی با سطح قطعه کار، حرکت میز نگهدارنده ی قطعه کار و استفاده از روشهای غوطه وری یا شارژ پیوسته. در این مقاله به طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی دستگاه پرداخت سطوح پیچیده با استفاده از سیال مگنتورئولوژیک پرداخته شده است. از جمله خصوصیات دستگاه قابلیت انعطاف برای بکارگیری در سیستم های مختلف پاششی و غوطه وری و نصب ساده و سریع دستگاه است. از مزایای دیگر این دستگاه امکان بکارگیری برای پرداخت سطوح قطعات مینیاتوری و امکان انجام مدل سازی و بررسی پارامترهای مؤثر بر فرایند پرداخت کاری با دقت بالا برای سطوح منحنی می باشد. هدف از ساخت این دستگاه بررسی و شناخت بیشتر فرایند سنگ زنی با دقت بالا توسط سیال واسطه مگنتورئولوژیک جهت پرداخت سطوح غیر تخت می باشد.

### تشکر و قدردانی

نگارندگان مقاله بر خود لازم می دانند از حمایت های دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد کمال تشکر را بجا آورند همچنین لازم است تا از زحمات و کمک های جناب آقای محمد علی قیصری جهت کمک در زمینه ی ساخت این دستگاه تشکر شود.

### مراجع

- [1] J.Seok, Y.J.Kim, K.I.Jang, B.K.Min, S.J.Lee, A study on the fabrication of curved surfaces using magnetorheological fluid finishing, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 47 (2007) 2077–2090.
- [2] C. Zhang, R. Rentsch, E. Brinksmeier, Advances in micro ultrasonic assisted lapping of microstructures in hard-brittle materials: a brief review and outlook, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 45 (2005) 881–890.