



# Manufacturing of Structured Surface by Grinding Technology



## ARTICLE INFO

### Authors

Musavi SH.<sup>1</sup>,  
Adibi H.<sup>1</sup>,  
Rezaei SM.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

### \* Correspondence

Address: Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.  
Smrezaei@aut.ac.ir

### How to cite this article

Musavi SH, Adibi H, Rezaei SM. Manufacturing of Structured Surface by Grinding Technology. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2<sup>nd</sup> Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022;22(10):65-71.

## ABSTRACT

Given the current demand for surfaces with non-polished morphology like structured surface that enhance its tribological properties, providing a method with minimal production cost and high performance has attracted attention. The present study focuses on presenting a new method for producing structured surfaces with hydrophobic performance. In this method, using the grinding process with a special grinding wheel, an attempt has been made to produce these widely used surfaces. By modifying the topography of the wheel surface and changing the arrangement of abrasive particles from random to arranged distribution with the diamond particles in predefined locations, an attempt was made to design and manufacture a special grinding wheel for the production of structured surfaces. A segment with 1\*1 cm<sup>2</sup> including diamond particles with mesh size of 40/50 were manufactured during the electroplating process in a nickel bath medium and by installing the segment on the wheel hub and performing the grinding process with this developed wheel, surfaces containing continuous and discontinuous scratches with the same geometry were produced. Static contact angle test for the unstructured surface was about 37 degrees that improved to 141 degrees with the structured surface, which is an impressive improvement.

**Keywords** Grinding process, Structured Diamond Wheel, Structured Surface, Hydrophobicity

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه‌نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته. مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۶۵-۷۱.



## تولید سطوح ساختاریافته با استفاده از تکنولوژی سنگ‌زنی



### چکیده

با توجه به تقاضای فعلی برای تولید سطوحی با مورفولوژی غیرپرداخت مانند سطوح ساختاریافته که منجر به تقویت خواص تریبولوژیکی سطح می‌شود، ارائه روشی با حداقل هزینه و عملکرد بالا توجهات زیادی را به خود جلب کرده است. پژوهش حاضر با محوریت ارائه روشی جدید برای تولید سطوح ساختاریافته با عملکرد آب‌گریزی صورت پذیرفته است. در این روش با استفاده از فرآیند سنگ‌زنی به کمک چرخ‌سنگی خاص، سعی به تولید این سطوح پرکاربرد شده است. با اصلاح توپوگرافی سطح چرخ‌سنگ و تغییر در چینش ذرات ساینده از حالت تصادفی (چرخ‌سنگ تجاری) به حالت منظم با چینش ذرات ساینده الماس در محل‌هایی از پیش تعریف شده، تلاش شد تا چرخ‌سنگی مختص تولید سطوح ساختاریافته، طراحی و ساخته شود. المانی با ابعاد ۱×۱ سانتی‌متر مربع حاوی ذرات ساینده الماس با مش سایز ۴۰/۵۰ طی فرآیند الکتروپلیتینگ در محیط حمام نیکل ساخته شد و با اتصال سگمنت بر روی هاب چرخ‌سنگ و اجرای فرآیند سنگ‌زنی با این چرخ توسعه یافته، سطوحی حاوی خراش‌هایی با هندسه یکسان بصورت پیوسته و ناپیوسته تولید شد. زوایه تماس استاتیکی برای سطح بدون ساختار حدوداً ۳۷ درجه بوده که با ساختاریافته کردن سطح تا مقدار ۱۴۱ درجه بهبود یافته است که مقدار چشمگیر است.

### مشخصات مقاله

#### نویسنده‌ها

سید حسن موسوی<sup>۱</sup>  
حامد ادیبی<sup>۱</sup>  
سید مهدی رضاعی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

#### \* نویسنده مسئول

آدرس: دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

Smrezaei@aut.ac.ir

**کلیدواژه‌ها** فرآیند سنگ‌زنی، چرخ‌سنگ الماس ساختاریافته، سطح ساختاریافته، آب‌گریزی

## ۱- مقدمه

با توجه به تقاضای فعلی برای محصولات و فرآیندهایی که نیاز به مصرف حداقل منابع تحت روش پایدار (Sustainable method) دارند، عملکرد اجزای ماشین و عملکرد انرژی توجهات زیادی به خود جلب کرده است. در این میان سطوح ساختار یافته با توجه به عملکرد منحصر به فردی که دارند از مواردی هستند که در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است [1]. هر سطحی که شامل شیارهای هم‌شکل و هم‌سایز در مقیاس میکرو یا نانو بصورت ممتد یا منقطع باشد و بتواند در کنار همچنین توپوگرافی سطحی، یک عملکرد خاص از خود نشان دهد را سطح ساختار یافته می‌گویند. سطوحی از قبیل سطوح آب‌گریز (ابرآب‌گریز)، سطوح آب‌دوست (ابرآب‌دوست)، سطوح بهبود یافته از نقطه نظر شرایط روانکاری، سطوح ضد چسبندگی، ضد یخ، ضد مه، ضد خوردگی، سطوح بهبود یافته از نقطه نظر انتقال حرارت (چگالش قطره‌ای)، سطوحی با کاهش نیروی پسا در صنایع دریایی و سطوح جاساز آب-نفت مثال‌هایی کاربردی از سطوح ساختار یافته می‌باشند [2].

فاکتور اصلی و مشترک در تمامی سطوح ساختار یافته فوق‌الذکر، توپوگرافی خاص سطح خارجی آن است. در مواردی که سطح جامد با یک فاز مایع در تماس است، وجود شیارهای ممتد یا منقطع طولی در سطح مشترک جامد-مایع که به زبری سلسله مراتبی (Hierarchical) معروف است موجب شده که فاز مایع درگیر شده با سطح، توانایی ایجاد پیوند با آن را نداشته باشد. با توجه به ابعاد شیارهای ایجاد شده بر روی سطح ساختار یافته، این سطوح به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول دارای شیارهایی در مقیاس ماکروسکوپی بوده که از مهمترین کاربردهای آن می‌توان به سطوح مستهلک‌کننده ارتعاشات و همچنین سطوح اصلاح شده به منظور بهبود شرایط روانکاری اشاره کرد. گروه دوم از این سطوح دارای شیارهایی در مقیاس میکرو یا میکرو-نانو بوده که کاربرد آن به مراتب بیشتر از گروه قبلی است. سطوح آب‌دوست، آب‌گریز، ضد یخ، ضد مه و غیره نمونه‌هایی از سطوح ساختار یافته در گروه دوم هستند. این سطوح با روش‌هایی از قبیل کاشت یون، اکسیداسیون، رسوب‌دهی الکتریکی، سل-ژل، ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی، لیتوگرافی نوری یا لیتوگرافی به وسیله اشعه ایکس، اچ شیمیایی و حکاکی از طریق لیزر تولید می‌شوند که سه روش آخر، از پرکاربردترین روش‌های موجود می‌باشند [3]. هرچند روش‌های ایجاد سطوح ساختار یافته، توانایی تولید سطوح موردنظر را دارند ولی از نظر عملکردی، دارای بازده قابل قبول نمی‌باشند که موجب کاهش تمایل به تولید انبوه این سطوح در عین کاربرد زیاد آن‌ها می‌شوند. از این رو ارائه روشی با بازدهی بالا منجر به کاربرد بیشتر این سطوح در صنایع مختلف خواهد شد. از این رو، محور اصلی پژوهش حاضر امکان‌سنجی جایگزینی یک روش ساده مهندسی با روش‌های موجود خواهد بود.

از میان روش‌های ذکر شده در بالا جهت تولید سطوح ساختار یافته، حکاکی به کمک اشعه لیزر با توجه به دسترسی بالا در محیط‌های صنعتی از کاربرد بسیار بالایی برخوردار است. اگرچه این روش کاربرد زیادی دارد ولی محدودیت‌های مربوط به پیاده سازی این روش منجر به پیچیده شدن تولید این سطوح می‌شود. از آنجاییکه این روش ماهیت ذوبی دارد، تولید عناصر ناخواسته که عموماً اکسیدهای فلزی طی حکاکی بر روی فلزات است دور از انتظار نیست [4,5]. طی ماشینکاری با اشعه لیزر، جرمی از مواد از سطح تبخیر شده و خراش‌ها پدیدار می‌شوند. با اینحال بخشی از مواد ذوب شده، مجدداً بر روی سطح ساختار یافته می‌چسبند. بعد از فرآیند انجماد، مواد ناخواسته به شکل فاز اکسیدی ظاهر می‌شوند. این مواد اکسیدی ذاتاً آب‌دوست هستند و اگر هدف از تولید سطوح ساختار یافته خاصیت آب‌گریزی باشد، این پدیده شبیه به یک عیب عمل می‌کند. برای حل این مشکل، عموماً روکش‌دهی سطح با استفاده از موادی با انرژی سطحی پایین پیشنهاد می‌شود. بنابراین، برای تولید سطوح ساختار یافته آب-گریز طی فرآیند لیزر، به یک روش دو مرحله‌ای نیاز است که علاوه بر هزینه و زمان بیشتر، از پیچیدگی بیشتری نیز نسبت به فرآیند تک مرحله‌ای برخوردار است [6].

در میان روش‌های دیگر، اگرچه روش سل-ژل کم هزینه و از نظر اقتصادی به صرفه‌تر است ولی سطوح تولید شده به این روش محدودیت عمر دارند خصوصاً اگر تحت بار دینامیکی-خوردگی قرار بگیرند. روش اچ شیمیایی نیز یک روش خوردگی سطح است که تاثیر منفی بسزایی بر خواص سطحی سطوح ساختار یافته دارد. لیتوگرافی نیز که بنحوی در گروه فرآیندهای اچ قرار می‌گیرد، یک روش بسیار پرهزینه است و صرفاً برای محصولات با تکنولوژی بالا و گروه خاصی از مواد پیشنهاد می‌شود. بنابراین این روش، انعطاف‌پذیری مناسب نداشته و از نظر اقتصادی برای تولید انبوه مناسب نیست [6].

وقتی روش‌های موجود جهت تولید سطوح ساختار یافته باهم مقایسه می‌شوند، بنظر می‌رسد که فرآیند سنگ‌زنی از آنجاییکه هزینه اضافی برای تجهیزات کارگاهی و مراحل تولید نیاز ندارد یک روش جایگزین قابل قبول باشد. فرآیند سنگ‌زنی یک روش تولیدی است و حضور این فرآیند در زنجیره تولید محصولات غیرقابل انکار است. از آنجاییکه سطوح ساختار یافته، یک محصول صنعتی است و نیاز به فرآیند سنگ‌زنی دارد، هزینه تولید کاهش یافته و زنجیره تولید نیز ساده‌تر می‌شود [7] همانگونه که پیش‌تر سطوح ساختار یافته تعریف شدند، این سطوح شامل خراش‌های بسیار زیادی هستند که آن را به یک سطح غیر پرداخت تبدیل می‌کند. به عبارت دیگر، زبری سطح مهندسی، یک پیش‌نیاز اساسی برای سطوح ساختار یافته است درحالیکه فرآیند سنگ‌زنی ماهیت پرداخت سطحی دارد [8]. این فرآیند منجر به تولید سطوح صاف با حداقل زبری سطح می‌شود که کاملاً در تضاد با منطق

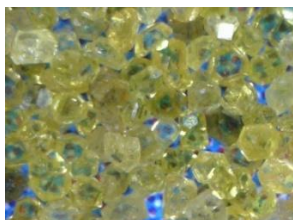
در این روش محلولی از سولفات نیکل و کلرید نیکل به همراه مواد افزودنی از قبیل اسید بوریک (متعادل کننده PH محلول آبکاری)، مواد نرم کننده روکش و غیره تهیه شده است و با قرار دادن الکتروود نیکلی به عنوان آند و الکتروود مسی به عنوان کاتد و برقرار کردن جریان الکتریسیته، فرآیند الکتروپلیتینگ آغاز می‌شود. با ایجاد جریان الکتریسیته، سولفات نیکل در محلول به یون تبدیل شده که یون نیکل به سمت کاتد حرکت کرده و در سطح آن عمل احیا صورت می‌گیرد و یون‌های نیکل بر روی کاتد مسی به آرامی می‌نشینند. به طور همزمان عمل اکسیداسیون در قطب آند اتفاق افتاده و آند به آرامی خورده شده و یون نیکل وارد محیط محلول می‌شود. با کاهش یافتن سطح یون‌های آزاد شده در محیط محلول، خوردگی آند شدت می‌یابد تا فرآیند متوقف نشود. البته برای جلوگیری از آسیب شدید به قطب آند بهتر است محلول آبکاری بعد از گذشت زمان کوتاه تعویض شود.

بنابراین، گروه اول از تجهیزات بکار گرفته شده در ساخت چرخ-سنگ مورد نظر، مربوط به تجهیزات آبکاری می‌باشد. این تجهیزات شامل منبع جریان مستقیم، آند، کاتد، حمام آبکاری، گرمکن مگنت، دستگاه PH سنج، دماسنج جیوه‌ای و بشر می‌باشد. شکل ۱ تصویری از چیدمان آزمایش برای فرآیند الکتروپلیتینگ با استفاده از دو الکتروود آند و کاتد را نمایش می‌دهد.



شکل ۱) چیدمان آزمایش برای فرآیند الکتروپلیتینگ

پودر ذرات ساینده مورد استفاده در این پژوهش شامل پودر الماس با مش سایز ۵۰/۴۰ می‌باشد. ذرات ساینده الماس به صورت مستقیم بر روی سطح کاتد چسبانده شدند. ذرات الماس در شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲) تصویر ذرات الماس استفاده شده در پژوهش حاضر

ورقی از جنس مس خالص با ضخامت ۱ میلی‌متر به عنوان قطعه-کار مورد استفاده قرار گرفته است. برای نگهداری بهتر قطعه‌کار بر

سطوح ساختاریافته است. توزیع تصادفی ذرات ساینده بر روی چرخ‌سنگ منجر به هم‌پوشانی بین ذرات ساینده کنار هم می‌شود که نتیجه آن تشکیل خراش با بیشترین سطح مشترک است. با ادامه فرآیند سنگ‌زنی با این حجم از هم‌پوشانی بین خراش‌ها، توده ذرات ساینده موجود بر روی چرخ‌سنگ شبیه به جارو عمل کرده و یک لایه از سطح را برمی‌دارد. این پدیده منجر به برداشت پیوسته براده از سطح و تولید سطح پرداخت شده با حداقل زبری سطح می‌شود. برای حل این مشکل، توزیع تصادفی ذرات ساینده باید به توزیع از پیش تعریف شده با چینش کاملاً مرتب در مکان-هایی که بین آنها یک فاصله مشخص وجود داشته باشد تغییر یابد. با اجرای فرآیند سنگ‌زنی با چنین چرخ‌سنگی، ساختار چرخ-سنگ بر روی نمونه تکثیر می‌شود که این سطح، همان ویژگی‌های سطح ساختاریافته را خواهد داشت. با هر تغییری در چینش ذرات ساینده، سطح ساختاریافته‌ای با همان تغییرات تولید خواهد شد که می‌تواند عملکرد متنوعی داشته باشد.

این مطالعه با هدف ارائه یک استراتژی جدید برای تولید سطوح آب‌گریز ساختار یافته صورت پذیرفته است. با توجه به پیشینه پژوهش، مطالعات اندکی در مورد آب‌گریزی سطوح فلزی از طریق تغییر توپوگرافی سطح طی فرآیند یک مرحله‌ای در دسترس است. در میان تکنیک‌های موجود، اکثراً ماهیت ذوبی در طول فرآیند اجرا دارند که منجر به تشکیل فازهای اکسید فلزی بر روی سطح می‌شود که اغلب ذاتاً آب‌دوست هستند و دستیابی به آب‌گریزی را مختل می‌کنند. در نتیجه، فرآیند اصلاحی تحت عنوان پوشش سطح با مواد کم انرژی برای دستیابی به سطح مورد نظر نیاز است. علاوه بر این، هیچ مطالعه‌ای به منظور اصلاح سطح برای افزایش آب‌گریزی از طریق تکنیک سنگ‌زنی صورت پذیرفته است. بنابراین، امکان ساخت چرخ سنگ‌زنی با آرایش منظم ذرات ساینده الماس به عنوان اولین هدف این کار بررسی شد. سپس تست تجربی به منظور ارزیابی قدرت آب‌گریزی سطوح مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج آن با سطح بدون ساختار مقایسه گشت.

## ۲- مواد و تجهیزات

با توجه به محوریت اصلی پژوهش حاضر، تجهیزات استفاده شده در این قسمت را می‌توان به دو گروه کلی تقسیم‌بندی کرد که عبارتند از: تجهیزات الکتروپلیتینگ و تجهیزات مربوط به فرآیند سنگ‌زنی.

### ۲-۱- تجهیزات الکتروپلیتینگ

برای اتصال ذرات ساینده به سطح الماس چرخ‌سنگ می‌بایست از یک چسب فلزی که بتواند ذرات را با استحکام بالا در کنار هم قرار دهد استفاده گردد. برای این منظور از فرآیند الکتروپلیتینگ یا آبکاری فلزی استفاده شده است. در میان فلزات مختلف برای انجام فرآیند الکتروپلیتینگ، فرآیند آبکاری نیکل به علت استحکام بالای لایه تشکیل شده بر روی سطح کاتد استفاده گردید.

روی میز دستگاه سنگ‌زنی، این ورق بر روی یک بلوک آهنی با استفاده از چسب اپوکسی رزین چسبانده شد.

### ۲-۲- تجهیزات سنگ‌زنی

مهمترین قسمت پژوهش حاضر ساخت چرخ‌سنگ خاص پیشنهاد شده در کار حاضر است. این چرخ از سه قسمت تشکیل شده که شامل: بدنه اصلی، قطعه واسط و المان چرخ سنگ است. بدنه چرخ سنگ از یک دیسک آهنی با قطر خارجی ۲۲۰ میلی‌متر ساخته شده است و المان چرخ سنگ نیز حاوی ذرات ساینده الماس در موقعیت‌های از پیش تعریف شده است که به قطعه واسط چسبانده شده و نهایتاً به کمک یک پیچ به بدنه رینگ چرخ‌سنگ متصل شده و فرآیند سنگ‌زنی با استفاده از این چرخ‌سنگ صورت پذیرفته است.

### ۳- ساخت چرخ‌سنگ

در این مطالعه، ذرات ساینده در کل محیط چرخ تعبیه نشدند، اما دسته ای از ذرات الماس به طور منظم به المانی با مساحت  $1 \times 1$  سانتی‌متر مربع چسبانده شدند. المان ساخته شده نیز به یک قطعه واسط چسبانده شد و کل مجموعه به یک رینگ فولادی پیچ شد. از آنجایی که چیدمان باید در محیط حمام الکتروپلیتینگ قرار گیرد و اندازه ذرات الماس بسیار کوچک است، نیروی شناوری اعمال شده به ذرات مطمئناً آنها را از موقعیت از پیش تعریف شده برای آنها جابجا خواهد کرد. برای حل این مشکل از دو تکنیک زیر به طور همزمان استفاده شد:

- تثبیت تمام ذرات توسط یک نیروی خارجی
- موقعیت دهی ذرات توسط یک ماسک سوراخ دار

از آنجایی که فرآیند الکتروپلیتینگ به حضور هر ماده اضافی بر روی سطح حساس است، نمی‌توان از چسب برای تثبیت ذرات ساینده بر روی کاتد استفاده کرد. نیروی مغناطیسی به عنوان یک نگهدارنده خارجی برای این موضوع پیشنهاد شد. برای القای خواص مغناطیسی در ذرات الماس، آنها بصورت جزئی در قسمت انتهایی آن با عنصر نیکل روکش داده شدند. اگر کل ذره ساینده پوشش داده شود، اندازه ذرات ساینده به دلیل وجود پوشش رسانا بر روی الماس در طول فرآیند آبکاری به شدت افزایش می‌یابد.

دسته‌ای از ذرات الماس به طور تصادفی بر روی یک نمونه مس پرداخت شده توزیع شد و فرآیند الکتروپلیتینگ به مدت ۳ ساعت انجام شد. با توجه به مشخصات فرآیند، حدود ۵ تا ۱۰ میکرون به ازای هر یک ساعت به ضخامت پوشش اضافه می‌شود. بنابراین، ذرات به طور نامنظم به کاتد متصل شدند. سپس نمونه برای مدت کوتاهی در معرض محلول تیزآب حاوی اسید نیتریک غلیظ و اسید هیدروکلریک با نسبت ۱ تا ۳ قرار گرفت. از آنجایی که تیزآب قدرت خوردگی بسیار بالایی دارد، باند بین ذرات، خورده

شده و این ذرات از هم جدا می‌شوند، در حالی که پوشش نیکل تا حدی در قسمت‌هایی از سطح تحتانی آنها باقی می‌ماند.

یک ماسک پلی اتیلن نازک سوراخ شده با حفرات ۵۰۰ میکرونی و با در نظر گرفتن یک گپ کوچک بین آن و کاتد مسی متصل شد. با نصب ماسک بر روی کاتد و مغناطیس کردن ساینده‌های الماس، یک آهنربای نئودیمیم در سمت پایین کاتد مسی قرار گرفت. توسط یک میکروسکوپ دیجیتال، ذرات ساینده الماس با اندازه مساوی در داخل سوراخ‌های ماسک قرار داده شد. با افزودن یک قطب نیکل به عنوان آند و اتصال الکتریسیته، واکنش آبکاری در شار جریان، دما و مدت زمان ۱۰ میلی‌آمپر، ۶۰-۵۵ درجه سانتی‌گراد و ۴۸ ساعت انجام شد. با اتصال برق، سولفات نیکل در حمام به یون تجزیه می‌شود و به قطب مسی منتقل می‌گردد. بنابراین، پدیده کاهش بر روی قطب کاتد اتفاق می‌افتد و یون‌های نیکل به آرامی روی سطح آن می‌نشینند. به طور همزمان پدیده اکسیداسیون روی الکتروکود نیکل اتفاق می‌افتد و به آرامی خورده می‌شود و الکترون‌ها وارد حمام نیکل می‌شوند. با کاهش میزان یون‌های سولفات نیکل منتشر شده در محلول، خوردگی نیکل افزایش می‌یابد به طوری که پروسه الکتروپلیتینگ متوقف نمی‌شود. شکل ۳ تصویر شماتیک از چرخ‌سنگ پیشنهاد شده در کار حاضر و شکل ۴ تصویر واقعی از توزیع ذرات الماس را نشان می‌دهد.

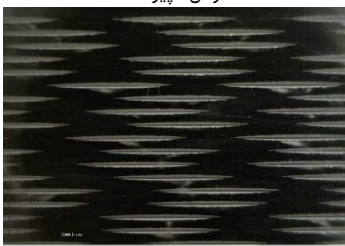
### ۴- مکانیزم برش مواد شکل‌پذیر

شکل ۵ مکانیزم و مراحل برش مواد شکل‌پذیر را با جزئیات نشان می‌دهد. این مراحل برای حذف مواد شکل‌پذیر شامل تغییر شکل الاستیک، شخم زنی و میکرو برش است [۹]. ذره ساینده‌ای که به اندازه کافی به سطح نفوذ می‌کند، براده را سطح جدا می‌کند در حالی که ساینده‌ای که سطح را به آرامی مالش می‌دهد و نمی‌تواند به قطعه کار نفوذ کند. ساینده‌ای که بدون نفوذ به مواد قطعه کار فقط بر روی سطح مالیده می‌شود، باعث ایجاد ساییدگی جزئی و خط اثر بر روی سطح می‌شود که ممکن است به سختی قابل تشخیص باشد. به این مکانیزم از برداشت مواد، تغییر شکل الاستیک می‌گویند. در حالت سوم، ذره ساینده به آرامی به مواد نفوذ کرده و منجر به شخم زدن سطح شده و در نتیجه برآمدگی بدون برداشت مواد در دو طرف خراش ایجاد می‌شود. در نتیجه، برخی از ذرات ساینده بدون پدیده شخم زنی، مالش یا تغییر شکل الاستیک را تجربه می‌کنند. برخی از آنها شخم زنی را بدون برش تجربه می‌کنند و برخی از ساینده‌ها هر سه مرحله را پشت سر می‌گذارند. انتقال از هر مرحله کاملاً به عمق برش بستگی دارد و برای دستیابی به کیفیت سطح قابل قبول، ضخامت براده تغییر شکل نیافته باید در یک حوزه خاص کنترل شود. در این مطالعه، مالش می‌تواند بر عمق واقعی خراش تأثیر بگذارد، شخم زنی می‌تواند بر حجم مواد تجمیع شده بر روی دیواره خراش تأثیر

بر تراکم خراش‌ها تأثیر بگذارد. صرف نظر از تکنیک سنگ زنی، همپوشانی خراش‌ها با افزایش دوران چرخ و کاهش سرعت میز تشدید می‌یابد. علاوه بر این، تأثیر عمق برش نیز چشمگیر است زیرا تأثیر مستقیمی بر مدت زمان درگیری ذره ساینده با سطح دارد. بنابراین افزایش عمق برش احتمال تغییر حالت خراش را از حالت ناپیوسته به پیوسته افزایش می‌دهد. با این وجود، علاوه بر سینماتیک فرآیند، تراکم ذرات ساینده موجود بر روی المان چرخ-سنگ و همچنین فاصله بین آنها تأثیر زیادی بر کسری سطح یا چگالی سطحی خراش دارد. همپوشانی سینماتیکی ذرات ساینده الگوهای مختلفی را با تنها یک چرخ سنگ ساختار یافته ارائه می‌دهد. با این توضیحات، حالت مخالف بار می‌تواند سطحی با کسری سطح خراش بالاتر در مقایسه با تکنیک موافق بار ایجاد کند.



خراش پیوسته

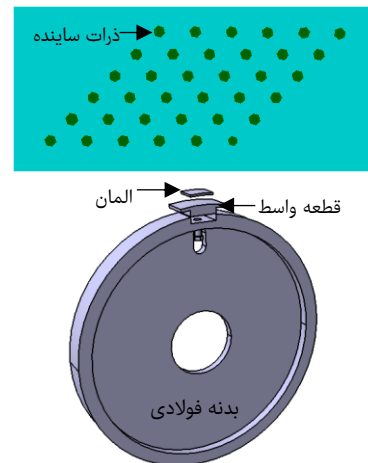


خراش ناپیوسته

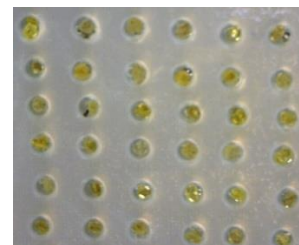
شکل ۶) تصاویر میکروسکوپ دیجیتالی از سطح ساختاریافته

شکل ۷ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح ساختاریافته حاوی شیارهای پیوسته و ناپیوسته تولید شده توسط فرآیند سنگ زنی را نشان می‌دهد. خراش منظم و موازی در یک عمق ثابت با مواد انباشته شده در سمت قله تولید گردید. با مشاهده سطح چرخ سنگ ساختار یافته، نمی‌توان دو ذره ساینده الماس را پیدا کرد که از نظر هندسی و ابعادی کاملاً یکسان باشند، در حالی که ابعاد خراش‌های ایجاد شده توسط این چرخ-سنگ در یک محدوده است. المان تولید شده در پژوهش حاضر دارای ۱۲ سطر و ستون است. اگرچه همه ۱۴۴ ذره ساینده دقیقاً شبیه هم نیستند، ولی در هر ستون ذراتی وجود دارد که اندازه آنها به ذرات ستون کناری نزدیک است. از طرف دیگر، ۱۲ ذره ساینده در یک ستون مانند یک سوزن خانکشی با ۱۲ لبه فعال عمل می‌کنند که در بین آنها بسته به اندازه ذرات، ممکن است ذرات غیرفعال در فرآیند براده‌برداری وجود داشته باشند. بنابراین، وجود بزرگترین ذرات در هر ستون، عدم براده‌برداری توسط ذرات غیرفعال را جبران می‌کند. به عبارت دیگر بزرگترین ذره، ابعاد هندسی هر شیار را تعیین می‌کند. از آنجایی که اندازه بزرگترین ذره ساینده

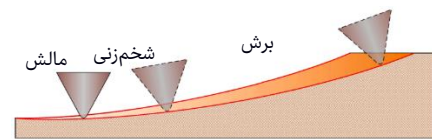
بگذارد<sup>[10,11]</sup>، و برش می‌تواند بر روی مشخصات بافت سطح تأثیر بگذارد.



شکل ۳) تصویر شماتیک از چرخ سنگ به همراه توزیع فرضی ذرات



شکل ۴) توزیع ذرات ساینده الماس بر روی المان چرخ سنگ



شکل ۵) مکانیزم برش مواد شکل‌پذیر

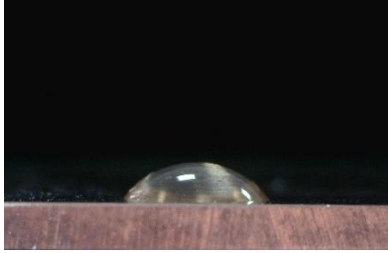
## ۵- نتایج و بحث

### ۵-۱- تولید سطوح ساختاریافته

شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ دیجیتالی از دو سطح ساختاریافته متفاوت، از جمله حالت‌های پیوسته و ناپیوسته تولید شده توسط فرآیند سنگ زنی را نشان می‌دهد. عواملی مانند پارامترهای برش (سرعت دورانی، سرعت میز، عمق برش و غیره)، مشخصات ذرات ساینده (ارتفاع برآمدگی) و حالت سنگ زنی تعیین کننده نوع خراش است. به طور کلی هر عاملی که بتواند مدت تماس ذره ساینده و سطح را تغییر دهد می‌تواند بر هندسه و نوع آن تأثیر بگذارد. سرعت دورانی بالاتر و سرعت میز پایین‌تر منجر به ایجاد خراش طولانی‌تر در حالت سنگ زنی موافق بار می‌شود زیرا مدت زمان تماس بین ذره ساینده الماس و سطح بیشتر است. با این وجود، در سنگ زنی مخالف بار، طول خراش با کاهش دوران چرخ-سنگ و افزایش سرعت خطی میز (قطعه کار) بزرگتر می‌شود. باید به این نکته هم توجه داشت که دوران چرخ و سرعت میز می‌تواند



سطح بدون ساختار (معمولی-پرداخت شده)



سطح ساختاریافته



شکل ۸) وضعیت قرارگیری قطره آب بر روی سطح بدون ساختار و سطح ساختاریافته تولید شده به کمک پروسه سنگ‌زنی

### ۶- نتیجه‌گیری

از آنجایی که فرآیند سنگ‌زنی یک عملیات غیرقابل انکار در محیط صنعتی امروز است، رویکرد موثر برای تقویت عملکرد آن، توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است. در کار حاضر، برای تقویت عملکرد سطح، سعی شده است سطوح ساختاریافته به کمک تکنیک سنگ‌زنی تولید گردد. نتایج اصلی این کار به شرح زیر است:

- چرخ‌سنگ ساختار یافته با توزیع از پیش تعریف شده برای ذرات ساییده الماس طراحی و ساخته شد.
- ذرات الماس ابتدا پوشش داده شدند و توسط یک ماسک سوراخ‌کاری شده موقعیت دهی شدند و توسط یک آهنربای نئودیمیم به عنوان نگهدارنده بدون تماس، ثابت شدند.
- با استفاده از فرآیند الکتروپلیتینگ نیکل، ذرات الماس به بدنه المان چسبانده شدند.
- سطوح ساختاریافته حاوی خراش‌هایی با هندسه پیوسته و ناپیوسته توسط فرآیند سنگ‌زنی تولید شد.
- زوایه تماس استاتیکی برای سطح بدون ساختار حدوداً ۳۷ درجه محاسبه گشت که با ساختاریافته کردن سطح تا مقدار ۱۴۱ درجه بهبود یافته است.

### مراجع

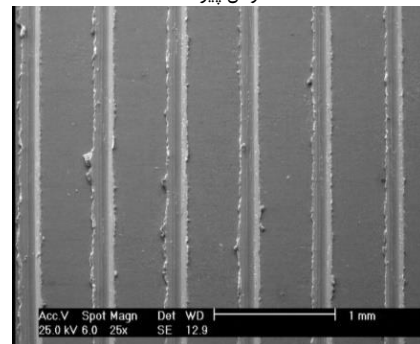
- 1- Liu X, Wang Y, et al. A selfmodification approach towards transparent superhydrophobic glass for rainproofing and superhydrophobic fiberglass mesh for oil-water separation. *Applied Surface Science*. 2016; 360:789-797.
- 2- Silva E, Kirsch B, et al. Manufacturing of structured surfaces via grinding. *Journal of Materials Processing Technology*. 2016; 243:170-183.
- 3- Carre A, Mittal K. *Superhydrophobic Surfaces*, 1<sup>st</sup> edition. Published April 24, 2009.
- 4- Musavi SH, Sepehriki M, et al. Performance analysis of developed micro-textured cutting tool in machining

هر ستون به دلیل فرآیند الک ذرات قبل از فرآیند الکتروپلیتینگ با بزرگترین ذرات ستون‌های دیگر برابر است، بنابراین کانال‌های تولید شده، مشابه و در یک اندازه هستند. باید به این نکته توجه داشت که پدیده فوق زمانی رخ می‌دهد که خراش‌های پیوسته ایجاد شود، در حالی که در خراش‌های ناپیوسته مکانیزم براده- برداری کمی تغییر می‌کند. در تحقیق حاضر، با تثبیت تمامی پارامترهای ورودی، پدیده انتقال در سرعت میز ۲ متر بر ثانیه رخ داده است، به طوری که در سرعت‌های پایین‌تر، خراش پیوسته و سرعت‌های بالاتر منجر به تولید خراش‌های ناپیوستگی شده است.

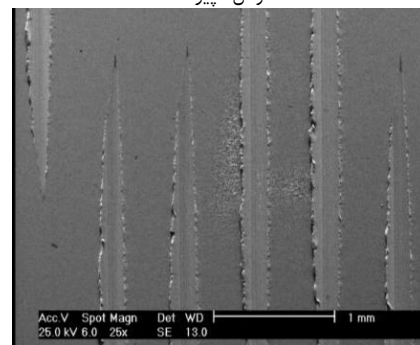
### ۵-۲- خواص کاربردی سطوح ساختاریافته

همانطور که پیش‌تر بیان شده، سطوح ساختاریافته کاربردهای بسیار زیادی دارند که در بین آنها خاصیت آب‌گریزی یکی از مهمترین ویژگی‌های این سطوح است [12, 13]. آب‌گریزی به معنای عدم چسبیدن مولکول‌های آب به مولکول‌های سطح جامد است که این ویژگی منجر شده که قطره آب بر روی سطح از حالت لایه‌ای به حالت قطره‌ای تبدیل شود [14]. این ویژگی سطح تماس قطره-قطعه‌کار را کاهش داده و آب به راحتی بر روی سطح حرکت آزادانه خواهد داشت. شکل ۸ تصویر از نمای برش خورده عرضی از سیستم قطره-سطح را برای دو سطح ساختاریافته و ساختار نیافته (معمولی) را نشان می‌دهد. همانطور که از این تصاویر مشخص است، با ساختاریافته کردن سطح به کمک سنگ‌زنی با چرخ‌سنگ خاص پیشنهاد شده در کار حاضر، خواص ترشوندگی سطح از حالت آب‌دوستی به آب‌گریزی بهبود می‌یابد.

خراش پیوسته



خراش ناپیوسته



شکل ۷) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح ساختاریافته

- aluminum alloy 7075-T6: assessment of tool wear and surface roughness. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022; 119:3343–3362.
- 5- Musavi, SH, Davoodi, B, Nankali, M. Assessment of Tool Wear and Surface Integrity in Ductile Cutting Using a Developed Tool. *Arab J Sci Eng*. 2021; 46:7773–7787.
- 6- Musavi, SH, Davoodi, B. Risk assessment for hazardous lubricants in machining industry. *Environ Sci Pollut Res*. 2021; 28:625–634.
- 7- Musavi SH, Adibi H, Rezaei SM. Development of an innovative grinding process for producing functional surfaces. *Tribology International*. 2022; 173:107652.
- 8- Zhang Zh, Yao P, Wang J. The mechanisms of high-efficiency grinding for micro/meso-structural arrays on ceramic moulds through an innovative wheel truing technology. *Ceramics International*. 2021; 47:27624–27638.
- [9- Yuan Y, Zhang W, et al. Porous grinding wheels toward alleviating the pre-fatigue and increasing the material removal efficiency for rail grinding. *Tribology International*. 2021; 154:106692.
- 10- Musavi SH, Davoodi B, Niknam SA. Effects of reinforced nanofluid with nanoparticles on cutting tool wear morphology. *J. Cent. South Univ*. 2019; 26:1050–64.
- 11- Musavi SH, Davoodi B, Eskandari B. Evaluation of surface roughness and optimization of cutting parameters in turning of AA2024 alloy under different cooling-lubrication conditions using RSM method. *Journal of Central South University*. 2020; 27:1714–1728.
- 12- Shi Z, Wang Q, Li X et al. Utilization of superhydrophobic steel slag in mortar to improve water repellency and corrosion resistance. *Journal of Cleaner Production*. 2022; 341:130783.
- 13- Musavi, SH, Davoodi, B, Niknam SA. Environmental-friendly turning of A286 superalloy, *Journal of Manufacturing Processes*. 2018; 32: 734-743.
- 14- Liu Y, Zhao Zh, et al. Preparation of a superhydrophobic coating based on polysiloxane modified SiO<sub>2</sub> and study on its anti-icing performance. *Surface and Coatings Technology*. 2022; 437:128359.