



Experimental Aspects of Grinding Hardened Mo40 Steel Under Different Machining and Dressing Parameters Using Mounted Point Grinding Tool



ARTICLE INFO

Authors

Gholampour Darzi J¹,
Hadad MJ^{1*},
Rahmani AS¹

¹ School of Mechanical Engineering,
College of Engineering, University of
Tehran, Tehran, Iran

* Correspondence

Address:
mjhadad@ut.ac.ir

How to cite this article

Gholampour Darzi J, Hadad MJ, Rahmani AS. Experimental Aspects of Grinding Hardened Mo40 Steel Under Different Machining and Dressing Parameters Using Mounted Point Grinding Tool. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT).2022;22(10):25-30.

ABSTRACT

Mounted point grinding is a machining method to reduce surface roughness and improve surface finishing on workpiece walls and hard-to-reach areas. This process is usually used without preparing the grinding wheel before and during the grinding operation, which reduces the proper performance of the process. Environmental contamination, surface integrity, coolant-lubricant-related diseases that affect workers' health, and machining costs heavily depend on the appropriate dressing and proper coolant-lubricant usage. In this study, as a novel approach, the effects of dressing conditions (depth of dressing and dressing feed rate) and the feed rate of the workpiece during the grinding of a hardened Mo40 steel workpiece in two traditional cooling-lubricant minimum lubrication environments have been investigated. Surface roughness and wheel loading are two significant outputs in every grinding operation. The experimental result of this study reveals an improvement in enhancing the surface roughness in a soft dressing. Moreover, another aim of this study was to achieve proper surface roughness by implementing minimum quantity lubrication to significantly reduce total cutting fluid usage compared to traditional continuous coolant-lubricant. In this study, higher wheel loading in the Minimum Quantity Lubrication (M.Q.L.) technique was observed compared to the traditional continuous coolant-lubricant technique.

Keywords Dressing, Grinding Wheel Loading, Surface Roughness, Mo40 Steel, Finger Milling

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژهنامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۲۵-۳۰.



بررسی اثر پارامترهای درسینگ تک لبه بر عملکرد سنگ‌زنی فولاد سخت‌کاری شده Mo40 با استفاده از ابزار سنگ انگشتی



چکیده

سنگ‌زنی انگشتی روشی مناسب برای بهبود زبری سطح در دیواره‌های قطعات و مناطق با دسترسی دشوار می‌باشد. معمولاً این فرایند بدون آماده‌سازی سنگ قبل و در هنگام انجام عملیات سنگ‌زنی مورد استفاده قرار می‌گیرد که باعث کاهش عملکرد مناسب فرایند می‌گردد. انجام درسینگ و استفاده از محیط خنک‌کار - روان‌کار مناسب اما تا حد زیادی بر خصوصیات سطحی، آلودگی‌های زیست‌محیطی، سلامت کارگران و هزینه‌های ماشین‌کاری اثرگذار است. در این پژوهش، برای اولین بار، اثر شرایط درسینگ (عمق درسینگ و سرعت پیشروی ابزار درسر) و نیز سرعت پیشروی قطعه‌کار در هنگام سنگ‌زنی قطعه‌کار فولاد سخت Mo40 در دو محیط خنک‌کار - روان‌کار سنتی و روان‌کاری کمینه مورد بررسی قرار گرفته است. زبری سطح و بارگذاری سنگ در شرایط گوناگون سنگ‌زنی از خروجی‌های حائز اهمیت می‌باشد. نتایج آزمایش‌های عملی نشان‌دهنده بهبود زبری سطح در شرایط درسینگ نرم می‌باشد. همچنین ایجاد یک زبری سطح مطلوب با استفاده از تکنیک روان‌کاری کمینه در مقابل روش سنتی استفاده پیوسته از خنک‌کار - روان‌کار همراه با کاهش چشمگیر مصرف سیال برشی از نتایج آزمایش‌های عملی می‌باشد. بارگذاری بیشتر چرخ سنگ در محیط روان‌کاری کمینه نسبت به روش سنتی خنک‌کار - روان‌کار از دیگر نتایج به‌دست‌آمده می‌باشد.

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها

جواد غلام‌پور درزی^۱
محمدجعفر حداد^{۱*}
امیرسجاد رحمانی^۱

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه
تهران، تهران، ایران

* نویسنده مسئول

آدرس:

mjhadad@ut.ac.ir

۱- مقدمه

فرایند سنگ‌زنی به دلیل دارا بودن ماهیت و شرایط فنی خاص، یکی از فرایندهای اصلی و کاربردی در عملیات نهایی بر روی قطعه‌کار و پرداخت سطوح می‌باشد. از همین رو کنترل شرایط سنگ‌زنی اثر قابل‌توجهی بر خصوصیات جامع سطحی نظیر زبری سطح، سوختگی و تغییرات متالورژیکی سطح قطعه‌کار دارد[1]. یکی از مهم‌ترین متغیرهایی که بر خصوصیات ذکرشده اثر دارد، محیط خنک‌کار - روان‌کار می‌باشد که فرایند سنگ‌زنی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. به دلیل حجم براده برداری کم در سنگ‌زنی نسبت به روش‌های دیگر ماشین‌کاری نظیر تراشکاری و فرزکاری، میزان قابل‌توجهی از حرارت تولیدی در منطقه سنگ‌زنی به داخل قطعه‌کار نفوذ می‌کند. از همین رو بیشترین دفع حرارت از منطقه سنگ‌زنی توسط سیال برشی انجام می‌شود. سیالات برشی سنتی ترکیبی از آب و سیالات پایه نفتی می‌باشند که از قابلیت دفع حرارت بالایی برخوردار هستند. بروز بیماری‌های پوستی و تنفسی در هنگام استفاده از این سیالات و همچنین افزایش هزینه تمام شده، باعث انجام تحقیقاتی در حوزه روان‌کاری کمینه (MQL) شده است. ترکیب هوا و روغن در نازل و اعمال آن به منطقه سنگ‌زنی، کاهش اصطکاک و بهبود زبری سطح را به دنبال دارد. تکنیک روان‌کاری کمینه می‌تواند تولید گرمای اصطکاکی را کاهش دهد و تا حدودی با خنک‌کاری فصل مشترک ابزار - قطعه‌کار، دمای قطعه را پایین‌تر از ماشین‌کاری خشک نگه دارد. مشخصه دیگر این تکنولوژی، خشک بودن براده‌ها و قطعه‌کار بعد از ماشین‌کاری است که منجر به حمل‌ونقل آسان‌تر آن‌ها می‌شود. بیش‌ترین کاربرد روان‌کاری کمینه در فرایندهای تولید انبوه، در سوراخ‌کاری قطعات آلومینیومی می‌باشد که منجر به کاهش هزینه‌ها، بهینه شدن کیفیت قطعات و کاهش اثرات زیست‌محیطی قطعات تولیدی شده است. از آنجاکه سنگ‌زنی یک فرایند سایشی است، بنابراین انرژی زیادی در فصل مشترک ابزار - قطعه‌کار ایجاد می‌کند. کاربرد روان‌کاری کمینه در سنگ‌زنی مشکلات بیشتری نسبت به دیگر فرایندهای برشی دارد و بنابراین تحقیقات کمی در این زمینه انجام شده است. نتایج حاصل از پژوهش مرجع [2] نشان می‌دهد علی‌رغم اینکه میزان مصرف سیال در روش روان‌کاری کمینه نسبت به سیال‌های برشی سنتی کمتر است، نرخ براده برداری در هر دو روش به یک اندازه است و روش روان‌کاری کمینه اثر منفی روی سرعت سنگ‌زنی ندارد، اما دمای قطعه و سنگ در حین استفاده از سیال برشی سنتی با حجم بالا، کمتر از حالت استفاده از روان‌کاری کمینه است و در نتیجه نیروهای ایجاد شده بین سنگ و قطعه نیز کمتر است.

حداد و همکاران[3] فولاد سخت شده 100Cr6 را تحت شرایط مختلف سنگ‌زنی مورد بررسی قرار دادند تا تأثیر روش روان‌کاری کمینه را بر روند زبری سطح قطعه‌کار بررسی کنند. در این پژوهش

مشخص شد استفاده از روان‌کاری کمینه میزان نیروهای وارد شده بر قطعه را نسبت به حالت سنگ‌زنی خشک، کاهش می‌دهد و از ایجاد عیوب سطحی در قطعه‌کار جلوگیری می‌کند. همچنین مشخص شد با بهینه کردن تعدادی از پارامترهای سنگ‌زنی، روان‌کاری کمینه می‌تواند جایگزینی برای استفاده از سیالات برشی سنتی باشد.

در چرخ سنگ‌های سنتی با ذرات ساینده آلومینا و سیلیکون کارباید، جهت ایجاد پروفیل دلخواه روی سطح چرخ سنگ استوانه‌ای، یک درس در راستای شعاعی در چرخ سنگ نفوذ کرده و سپس با حرکت عرضی پروفیل موردنظر روی چرخ سنگ ایجاد می‌شود. در هر پاس سنگ‌زنی لایه‌ای به عمق a_d از سطح چرخ سنگ برداشته می‌شود. پیشروی درس در راستای عرضی به ازاء هر دور دوران چرخ سنگ، گام درسینگ نامیده می‌شود.

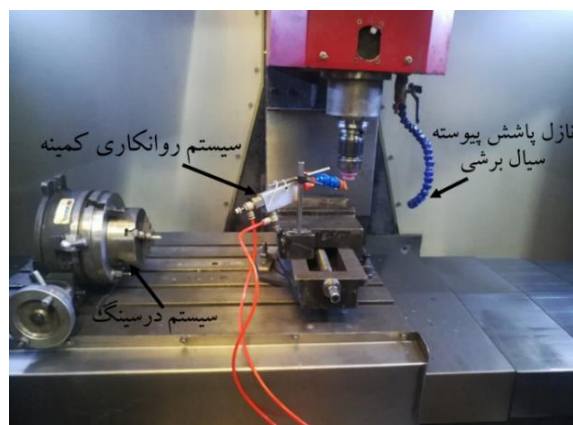
افزایش در ضریب هم‌پوشانی، منجر به ایجاد یک مورفولوژی نرم بر روی سطح سنگ و در نتیجه کاهش زبری سطح قطعه‌کار می‌شود. درسینگ مکانیکی ممکن است به‌صورت دستی یا به‌صورت اتوماتیک انجام شود. در پژوهش حاضر با استفاده از یک سیستم کنترلی، میزان سرعت پیشروی درس و در نتیجه ضریب هم‌پوشانی سطح سنگ کنترل شده است [4].

هونگ و همکاران[5] تأثیر مقدار عمق برش و سرعت پیشروی عملیات را نسبت به نیروی نرمال و تیزی درسینگ پیدا کرده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که پس از درسینگ با افزایش ضریب هم‌پوشانی، زبری مؤثر کوچک همراه با تعداد لبه‌های برنده زیاد مشاهده شده است[6]. در هنگام سنگ‌زنی برخی مواد، براده‌ها ممکن است در فضای بین دانه‌های ساینده قرار گیرند و یا به بالای دانه‌های برشی جوش بخورند، به این رخداد، بارگذاری سنگ گفته می‌شود. این پدیده، دانه‌های ساینده را کند می‌کند که در نتیجه، سایش فراوان و ارتعاشات در فرایند سنگ‌زنی رخ خواهد داد. همچنین این پدیده، نیروی برشی و درجه حرارت را افزایش و عمر سنگ را کاهش می‌دهد. این تغییرات، تأثیرات بسیاری بر فرایند می‌گذارند. دو نوع تقسیم‌بندی کلی برای بارگذاری وجود دارد که بارگذاری چسبنده و بارگذاری پرکننده نام‌گرفته‌اند. تحقیقات بسیاری برای توضیح و بررسی مکانیزم بارگذاری انجام شده است که باتوجه به آن‌ها می‌توان علت اصلی بارگذاری سنگ در سنگ‌زنی مواد نرم را چسبندگی بین دانه‌های فعال و براده‌ها بیان نمود. علاوه بر تمیز کردن سطح سنگ در هنگام فرایند سنگ‌زنی با استفاده از پاشش پیوسته سیال برشی، یکی دیگر از روش‌های حذف براده‌های بارگذاری شده بر روی سطح سنگ، فرایند درسینگ است.

کاربرد فراوان فولاد Mo40 در صنعت و از طرفی وجود دیواره‌ها و مناطق غیرقابل‌دسترس به‌ویژه در صنایع قالب‌سازی، دلیلی برای استفاده از فرایند سنگ‌زنی انگشتی می‌باشد. مطالعه و بهینه‌سازی

جدول ۱) شرایط سنگ زنی انگشتی

متغیرها	مقادیر	واحدها
ابعاد قطعه کار	۳۰ × ۲۰۰	میلی متر
سرعت پیشروی درسر (Vd)	۱۰۰ - ۵۰ - ۱۰	میلی متر بر دقیقه
دبی سیال برشی	۳	لیتر بر دقیقه
دبی روغن در روش روان کاری کمینه	۲۰۰	میلی لیتر بر ساعت
فشار هوا در روش روان کاری کمینه	۵	بار
عمق سنگ زنی (ap)	۲۰	میکرون
سرعت پیشروی قطعه کار	۲۰۰ - ۶۰	میلی متر بر دقیقه
سرعت چرخ سنگ (Vs)	۲۵	متر بر ثانیه
جنس سنگ	اکسید آلومینیوم	WA60K9V
نوع درسر	تک لبه	-
زاویه قرارگیری درسر	۱۰	درجه
عمق درسینگ (ad)	۴۰ - ۳۰ - ۲۰	میکرون
تعداد پاس های درسینگ	۳	-
عمق درسینگ کل (adt)	۱۲۰ - ۹۰ - ۶۰	میکرون



شکل ۱) چیدمان آزمایش های تجربی

۳- تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش ها

اثر پارامترهای درسینگ و سنگ زنی در محیط های مختلف خنک کار - روان کار در شکل های ۲ و ۳ ارائه شده است. همان طور که در این شکل ها نشان داده شده، در شرایط درسینگ نرم، هنگام سنگ زنی با سرعت های پیشروی ۶۰ و ۲۰۰ میلی متر بر دقیقه، سطح قطعه کار دچار سوختگی می شود. با انجام درسینگ نرم، افزایش در تعداد ریز لبه های برنده فعال بر روی سطح سنگ، به علت شکست ظریف دانه ها و تبدیل آن به چند ریز لبه رخ می دهد. به همین دلیل هنگام سنگ زنی، تعداد لبه های فعال و اصطکاک دانه ها با سطح قطعه بیشتر شده و در نتیجه حرارت بالا رفته است. از آنجایی که قابلیت دفع حرارت و خنک کاری در روش روان کاری کمینه نسبت به پاشش پیوسته سیال برشی پایین است، لذا حرارت به وجود آمده باعث سوختگی سطح قطعه کار شده است. باین حال، با افزایش عمق درسینگ و یا سرعت پیشروی درسر، از ایجاد سوختگی در قطعه کار جلوگیری شده است.

تکنیک سنگ زنی انگشتی و بررسی پارامترهای اثرگذار شرایط درسینگ بر زبری سطح قطعه کار، از مباحث مدنظر در پژوهش حاضر می باشد که تاکنون در این زمینه بررسی تجربی عمیقی انجام نشده است. زبری و مورفولوژی سطح قطعات سنگ زنی شده و نیز میزان بارگذاری سطح سنگ از موارد مهم در این فرایند می باشد. بر همین اساس درسینگ سطح سنگ های انگشتی بسیار حائز اهمیت می باشد. کوچک بودن قطر این دسته از سنگ ها بارگذاری بیشتر سطح سنگ را به دنبال دارد و عدم توجه به این متغیر، افزایش در زبری سطح را به دنبال دارد.

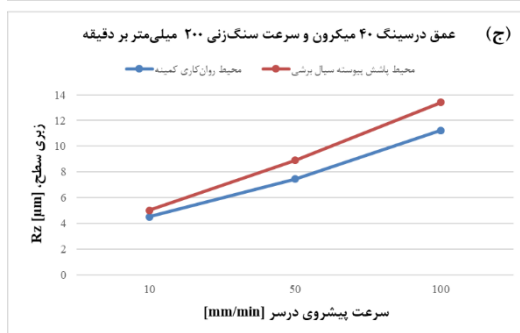
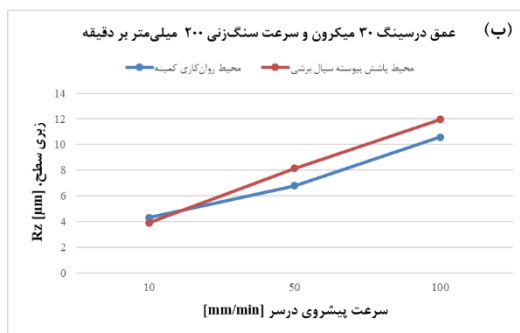
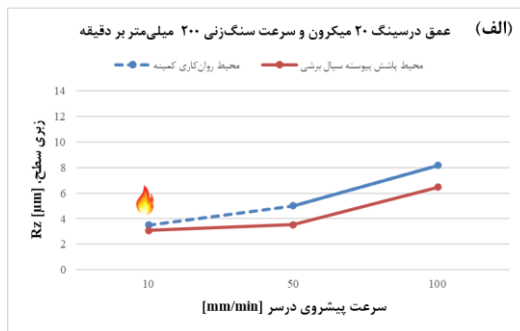
۲- مشخصات تجهیزات و روش انجام آزمایش ها

به منظور بررسی اثر پارامترهای فرایند نظیر عمق درسینگ، سرعت پیشروی ابزار درسر، محیط خنک کار - روان کار و نیز سرعت پیشروی قطعه کار در هنگام انجام فرایند سنگ زنی، آزمایش های عملی بر روی فولاد Mo40 صورت گرفته است. شرایط انجام آزمایش های پژوهش حاضر در جدول ۱ ارائه شده است.

کلیه آزمایش های مورد بررسی در مطالعه حاضر، بر روی دستگاه فرز سی ان سی سه محوره مدل R-MAN6B انجام شده است. سنگ انگشتی به جای ابزار فرز بر روی ماشین نصب و برای درسینگ آن از ابزار درسر الماس که توسط سه نظام در موقعیت مشخص گیربندی و ثابت شده استفاده گردید. عمق و پیشروی درسینگ با تنظیم حرکت خطی دستگاه سی ان سی با کنترل حرکت ابزار در مقابل درسر اعمال شده است. کلیه آزمایش های سنگ زنی جدول ۱، به صورت روان کاری کمینه با استفاده از روغن موتور نیمه سنتتیک خودرو اسپیدی مدل Power 10W-40 و نیز با استفاده از پاشش پیوسته سیال برشی و به صورت چیدمان شکل ۱ انجام شده است. در هنگام فرایند درسینگ برای کلیه آزمایش های پژوهش حاضر، از پاشش پیوسته سیال برشی و با دبی سه لیتر بر دقیقه استفاده شده است.

در عملیات درسینگ دو پارامتر عمق درسینگ و سرعت پیشروی درسر مورد ارزیابی قرار گرفت، همچنین سرعت سنگ زنی به عنوان پارامتر متغیر در نظر گرفته شده تا تأثیر آن بر زبری سطح بررسی گردد. برای بررسی تأثیر پارامترهای درسینگ بر روی زبری سطح، با تغییر هر پارامتر درسینگ، یک عملیات سنگ زنی در طی دو پاس انجام شده است. پس از انجام هر آزمایش، زبری سطح قطعه کار در جهت عمود بر مسیر سنگ زنی و در پنج نقطه متفاوت توسط دستگاه زبری سنج Mitutoyo SJ-210 اندازه گیری شد و میانگین آن ها به عنوان عدد زبری بیان شده است. مورفولوژی سطح قطعات، توپوگرافی سطح سنگ قبل و بعد از عملیات سنگ زنی و نیز بارگذاری سطح سنگ توسط میکروسکوپ نوری Olympus مدل BH2-UMA بررسی و ارائه شده است. به دلیل کاربرد این فولاد در صنعت به صورت سخت کاری شده، در مطالعه حاضر قطعات پس از ماشین کاری اولیه، تحت عملیات حرارتی و تمپرینگ قرار گرفتند تا به سختی پنجاه راکول سی برسند.

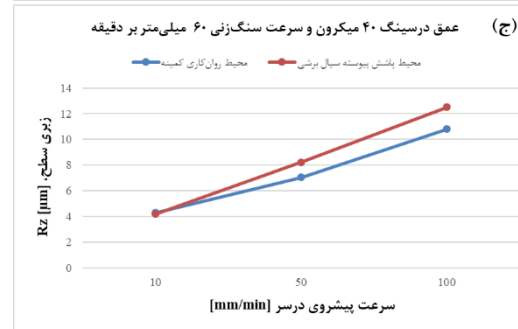
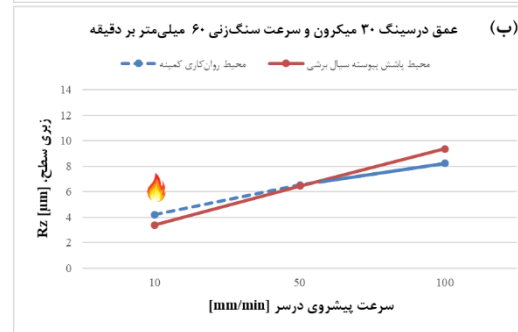
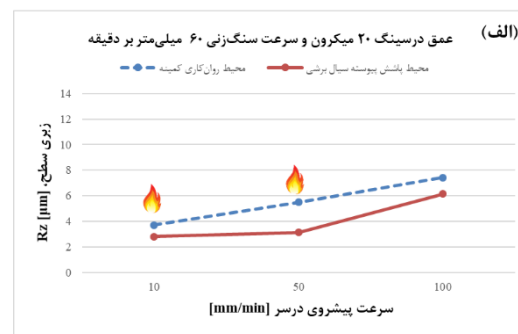
تغییر شکل کمتر اتفاق می‌افتد، به همین دلیل پس از انجام درسینگ خشن، سطح سنگ تیزتر و خشن‌تر خواهد بود.



شکل ۳ اثر محیط خنک‌کار - روان‌کار بر زبری سطح در شرایط مختلف عمق درسینگ، (الف) عمق درسینگ ۲۰ میکرون، (ب) عمق درسینگ ۳۰ میکرون، (ج) عمق درسینگ ۴۰ میکرون

توپوگرافی سطح سنگ پس از انجام درسینگ			
	$a_d = 20 \mu m$	$a_d = 30 \mu m$	$a_d = 40 \mu m$
$V_d = 10 \text{ mm/min}$			
$V_d = 50 \text{ mm/min}$			
$V_d = 100 \text{ mm/min}$			

شکل ۴ تصویر توپوگرافی سطح سنگ‌انگشتی پس از انجام درسینگ با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر



شکل ۲ اثر محیط خنک‌کار - روان‌کار بر زبری سطح در شرایط مختلف عمق درسینگ، (الف) عمق درسینگ ۲۰ میکرون، (ب) عمق درسینگ ۳۰ میکرون، (ج) عمق درسینگ ۴۰ میکرون

با افزایش عمق درسینگ، میزان شکست دانه‌ها از محل اتصال به یکدیگر افزایش یافته که منجر به کاهش تعداد دانه‌های فعال در منطقه سنگ‌زنی و هم‌پوشانی کمتر دانه‌ها در زمان برخورد دانه‌ها به سطح قطعه‌کار می‌شود که سبب می‌شود زبری سطح افزایش و از سوختگی سطح قطعه‌کار جلوگیری شده است. به علت شکل لبه برشی، زاویه بین کانتور لبه برشی و سطح قطعه‌کار در ابتدا خیلی کوچک بوده و در نتیجه هیچ براده‌ای تشکیل نخواهد شد. فقط مواد قطعه‌کار به اطراف و زیرسطح سایشی دانه فشرده خواهد شد. توپوگرافی سطح سنگ بعد از درسینگ با پارامترهای مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. در شکل ۴ مشاهده می‌شود که در حالت درسینگ نرم (در مقادیر عمق و سرعت درسینگ پایین)، هنگام برخورد ابزار درسر با دانه‌ها، تغییر شکل پلاستیک دردانه‌ها اتفاق می‌افتد و این مسئله باعث صاف شدن نوک دانه‌ها می‌شود و شکست دانه کمتر اتفاق می‌افتد. در هنگام درسینگ خشن رفتار دینامیکی فرایند درسینگ متفاوت است و همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این حالت شکست ترد دانه‌ها پدیده غالب است و

روان کاری کمینه، میزان بارگذاری سطح سنگ نسبت به سنگ زنی سیال برشی افزایش یافته است.

۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، اثر درسینگ و محیط خنک کار - روان کار بر کیفیت سطحی قطعه سنگ زنی شده از جنس فولاد Mo40 که در فرایند سنگ زنی انگشتی ماشین کاری شده اند بررسی شده است. از مهم ترین نتایج مطالعه حاضر می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- عملکرد فرایند سنگ زنی با استفاده از سنگ انگشتی متأثر از توپوگرافی سطح سنگ است، به طوری که با انجام درسینگ مناسب فرایند بهینه می شود.

- ۲- با انجام درسینگ با سرعت پیشروی دسر و عمق درسینگ کم (درسینگ نرم)، تعداد لبه های برشی فعال در منطقه سنگ زنی بیشتر شده و در نتیجه نیروهای ماشین کاری و حرارت ایجاد شده افزایش خواهد یافت. در این حالت انتخاب روش روان کاری کمینه به عنوان سیال برشی باتوجه به توانایی پایین در خنک کاری در این روش، موجب سوختگی سطح قطعه کار می شود.

- ۳- کاهش حرارت تولیدی در انجام فرایند سنگ زنی با سنگ دارای توپوگرافی خشن (کاهش دانه های فعال در منطقه درگیری)، استفاده از تکنیک روان کاری کمینه با راندها بالاتر را ممکن می سازد.

- ۴- افزایش سرعت پیشروی درسینگ باعث کاهش ضریب هم پوشانی و تعداد ریز لبه های فعال می شود و در نتیجه افزایش زبری سطح را به دنبال دارد.

- ۵- بارگذاری سطح سنگ در شرایط درسینگ نرم به دلیل افزایش تعداد ریز لبه های برنده، افزایش حرارت تولید شده و کاهش تخلخل سطح سنگ، به مراتب بیشتر از درسینگ خشن می باشد.

- ۶- روان کاری کمینه به علت کمبود میزان سیال برای دفع براده ها و نیز خاصیت خنک کاری پایین، باعث چسبندگی براده ها به سطح سنگ شده و در نتیجه بارگذاری سطح سنگ افزایش پیدا می کند.

مراجع

- 1- Malkin S, Guo C. Grinding technology: theory and application of machining with abrasives. Industrial Press Inc.; 2008.
- 2- de Jesus Oliveira D, Guermandi LG, Bianchi EC, Diniz AE, de Aguiar PR, Canarim RC. Improving minimum quantity lubrication in CBN grinding using compressed air wheel cleaning. Journal of Materials Processing Technology. 2012 1;212(12):2559-68.
- 3- Hadad MJ, Tawakoli T, Sadeghi MH, Sadeghi B. Temperature and energy partition in minimum quantity lubrication-MQL grinding process. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2012 1;54:10-7.
- 4- Wegener K, Hoffmeister HW, Karpuschewski B, Kuster F, Hahmann WC, Rabiey M. Conditioning and monitoring of grinding wheels. CIRP annals. 2011 1;60(2):757-77.

شکل ۵ براده های چسبیده به محیط سنگ انگشتی پس از انجام فرایند سنگ زنی را نشان می دهد. این در حالی است که با انجام درسینگ خشن (افزایش عمق و یا سرعت درسینگ) با کاهش تعداد لبه های برشی فعال در محیط سنگ، نفوذ روغن و نیز اثر روان کاری آن در تکنیک روان کاری کمینه نسبت به پاشش پیوسته سیال برشی افزایش یافته و در نتیجه مقدار زبری سطح قطعات سنگ زنی شده با تکنیک روان کاری کمینه نسبت به روش پاشش پیوسته سیال برشی کمتر است. باتوجه به نمودارهای شکل ۲ و نیز مورفولوژی سطح قطعات، می توان نتیجه گرفت که افزایش سرعت درسینگ، اثر بیشتری بر توپوگرافی سطح سنگ داشته و بنابراین روان کاری کمینه در این شرایط مؤثرتر خواهد بود.

بارگذاری سطح سنگ در عمق درسینگ ۲۰ میکرون			
(الف)	$V_d = 10 \text{ mm/min}$	$V_d = 50 \text{ mm/min}$	$V_d = 100 \text{ mm/min}$
پاشش پیوسته سیال برشی			
روان کاری کمینه			
بارگذاری سطح سنگ در عمق درسینگ ۳۰ میکرون			
(ب)	$V_d = 10 \text{ mm/min}$	$V_d = 50 \text{ mm/min}$	$V_d = 100 \text{ mm/min}$
پاشش پیوسته سیال برشی			
روان کاری کمینه			
بارگذاری سطح سنگ در عمق درسینگ ۴۰ میکرون			
(ج)	$V_d = 10 \text{ mm/min}$	$V_d = 50 \text{ mm/min}$	$V_d = 100 \text{ mm/min}$
پاشش پیوسته سیال برشی			
روان کاری کمینه			

شکل ۵) بارگذاری سطح سنگ در شرایط مختلف درسینگ و محیط خنک کار - روان کار

هنگامی که در فرایند از پاشش پیوسته سیال برشی استفاده گردد، به دلیل ویسکوزیته پایین و نیز پایین بودن دمای منطقه سنگ زنی به علت بالا بودن ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال برشی، براده های جدا شده از قطعه کار به خوبی از ناحیه سنگ زنی دور شدند و بارگذاری سطح سنگ بسیار کم است. اما هنگام سنگ زنی روان کاری کمینه، به دلیل ویسکوزیته بالای روغن و نیز بالا بودن دمای منطقه سنگ زنی به علت پایین بودن انتقال حرارت توسط

- 5- Huang H. Effects of truing/dressing intensity on truing/dressing efficiency and grinding performance of vitrified diamond wheels. *Journal of Materials Processing Technology*. 2001 2;117(1-2):9-14.
- 6- Klocke F, Kuchle A. *Manufacturing processes*. Berlin: Springer; 2009.