Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۳۰۱-۳۰۵

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران
Society of Manufacturing Engineering of Iran

# تأثیر نوع سیال برشی در روان‌کاری کمینه حین سنگ‌زنی در حضور ارتعاشات فراصوت

میرمجید مولائی[۱]، محمد زارعی[۲]، جواد اکبری[۳*]، محمدرضا موحدی[۴]

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
۲- کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
۳- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
۴- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
* تهران، صندوق پستی ۹۵۶۷-۱۱۱۵۵، akbari@sharif.edu

## چکیده

در پژوهش‌هایی که برای افزایش بازدهی فرآیند سنگ‌زنی انجام شده، اثبات شده است که استفاده از ارتعاشات فراصوت در حین فرآیند سنگ‌زنی و یا روان‌کاری کمینه کمک شایانی به بهبود کارائی و افزایش راندمان فرایند سنگ‌زنی می‌کند. ولی تاکنون پژوهش‌های کمی برای مطالعه حضور هم‌زمان این دو روش بر فرآیند سنگ‌زنی انجام شده است. بنابرین در این پژوهش به بررسی تأثیر تغییر سیال روان‌کاری کمینه بر نیروهای مماسی و عمودی سنگ‌زنی پاندولی فولاد ای‌آی‌اس‌آی۵۲۱۰۰ سخت‌کاری شده در حضور ارتعاشات افقی فراصوت، به دلیل سهولت اندازه‌گیری نیروها و کارایی آن‌ها در تحلیل شرایط سنگ‌زنی، پرداخته شده است. نتایج بیان‌گر این هستند که حضور ارتعاشات افقی، باعث کاهش قابل ملاحظه‌ی نیروی مماسی و عمودی و افزایش نسبت نیروی مماسی به نیروی عمودی می‌شود. هم‌چنین استفاده از روان‌کاری کمینه با سیال برشی آب تأثیر چندانی بر نیروهای سنگ‌زنی ندارد. ولی دیگر سیال‌های برشی مورد آزمایش، نیروها را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهند، که در این بین استفاده از روغن سویا بیش‌ترین کاهش را در نیروهای سنگ‌زنی به دنبال دارد. اما در حضور ارتعاشات فراصوت، همه‌ی سیال‌های برشی مورد بررسی، نیروها را نسبت به عدم حضور این ارتعاشات میزان بیش‌تری کاهش می‌دهند.

***کلید واژگان:*** سنگ‌زنی، ارتعاشات فراصوت، سیال برشی، روان‌کاری کمینه

# Cutting Fluid effect in Minimum Quantity Lubrication (MQL) of Ultrasonic – Assisted Grinding (UAG)

**MirMajid Molaie, Mohammad Zarei, Javad Akbari*, MohammadReza Movahhedy**

Mechanical Engineering Department, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
*P.O.B. 11155-9567, Tehran, Iran, akbari@sharif.edu

## ABSTRACT

In the previous researches on grinding, it was proven that the ultrasonic-assisted grinding and minimum quantity lubrication enhances the material removal and grinding efficiency. So far not many researches have studied the simultaneous use of these two methods. This research investigates the effect of the different lubricants in minimum quantity lubrication of reciprocatory grinding of AISI52100 hardened steel in the presence of horizontal ultrasonic vibrations on grinding forces and tangential to normal force ratio due to their measurement simplicity and convenience to analyze the grinding conditions. Results showed that the presence of the horizontal vibrations causes dramatic decrement of grinding forces and increment of force ratio. Also, using water and lubricant in minimum quantity lubrication won't cause significant change of grinding forces, while other fluids in this research (soluble oil, paraffin, and soybean oil) cause grinding force reduction among which soybean oil causes the most grinding force reduction. Applying the two methods simultaneously reduces the grinding forces moreover.

***Keywords:*** Cutting fluid, Grinding, Minimum Quantity Lubrication (MQL), Ultrasonic Vibrations.

## ۱- مقدمه

سنگ‌زنی روشی پرکاربرد می‌باشد، به‌طوری که اکثر قطعات صنعتی یا توسط این روش و یا توسط دستگاه‌هایی که دارای قطعات سنگ‌خورده هستند، ساخته می‌شوند. در این روش به دلیل زاویه‌ی براده‌ی منفی اکثر دانه‌های منفرد که به زوایای کم صفحه‌ی برش براده و کرنش بالا منجر می‌شود، عدم درگیری تمام ذرات ساینده، بزرگ‌تر بودن ابعاد ناحیه‌ی ساییده شده در دانه‌های فعال نسبت به ابعاد مشابه در قلم‌های تک‌لبه‌ای و نیز به دلیل اثر اندازه- اندازه‌ی براده‌ی بسیار کوچک- انرژی مورد نیاز برای برداشت حجم واحد ماده حدود ۱۰ برابر بیش‌تر از ماشین‌کاری مرسوم است [۱]. این انرژی مصرفی به‌صورت حرارت در منطقه‌ی سنگ‌زنی تخلیه می‌گردد، بنابرین استفاده از سیال خنک‌کننده اجتناب‌ناپذیر است؛ ولی این سیالات که اکثراً پایه‌ی شیمیایی دارند، دارای مخاطرات زیست‌محیطی هستند و از طرف دیگر استفاده‌ی گسترده‌ی آن‌ها هزینه‌ی بالایی را در پی دارد. بنابرین استفاده از روش‌های جایگزین اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

کارایی سنگ‌زنی به کمک ارتعاشات فراصوت[1] طی پژوهش‌های متعددی اثبات شده است. به طوری که این روش با تغییر مکانیزم براده‌برداری و تبدیل آن از حالت برش- سایش به ضربه- برش- سایش نتایج قابل قبولی در کاهش نیروهای سنگ‌زنی ارائه داده است. در نتایج گزارش شده توسط بادوری و هم‌کاران [۲] که تأثیر ارتعاشات فراصوت بر سنگ‌زنی سوپرآلیاژهای پایه‌نیکل

1. Ultrasonic-Assisted Grinding (UAG)

**برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:**

**Please cite this article using:**

M.M. Molaie, M. Zarei, J. Akbari, MohammadReza Movahhedy, Cutting Fluid effect in Minimum Quantity Lubrication (MQL) of Ultrasonic –Assisted Grinding (UAG), *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 301-305, 2015 (in Persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID



بررسی شده است، آمده است که افزودن ارتعاشات فراصوتی سبب ۲۳٪ کاهش نیروی عمودی و ۴۵٪ کاهش نیروی مماسی شده است. لیانگ و وانگ [۳] با طراحی و ساخت یک سیستم با قابلیت ارتعاش دو بعدی، گزارش نموده‌اند که ارتعاشات در راستای محور چرخ سنگ‌زنی تأثیر کمی بر نیروها داشته است. همچنین اکبری و هم‌کاران در سنگ‌زنی سرامیک‌های مهندسی به کمک ارتعاشات فراصوت، کاهش چشم‌گیر مؤلفه‌های نیروی سنگ‌زنی را گزارش کرده‌اند [۴].

در روش‌های معمول روان‌کاری، به مقدار زیادی سیال روان‌کار برای روان‌کاری مؤثر در فرآیند سنگ‌زنی نیاز است. اما هزینه‌ی زیاد تهیه، نگه‌داری و دفن این سیالات برشی، در کنار قوانینی که به‌دلیل تأثیرات مخرب زیست محیطی این مواد، روزبه‌روز سخت‌گیرانه‌تر می‌شوند، صنعت را به سمت استفاده‌ی هرچه کم‌تر از سیال‌های برشی سوق می‌دهد [۵]. استفاده از سنگ‌زنی خشک به دلیل تأثیرات نامطلوب آن بر محصول نهایی جایگزین مناسبی برای این منظور نیست [۶] در حالی که روان‌کاری کمینه[1] جایگزین مناسبی برای خنک‌کاری مناسب در فرآیند ماشین‌کاری‌ست [۷-۱۰]. در این روش مخلوط هوای فشرده و سیال برشی اصطلاحاً افشانه به ناحیه‌ی ابزار با قطعه‌کار پاشیده می‌شود. براساس مطالعات انجام شده، افزایش تأثیر روان‌کاری کمینه در فرآیندهایی با شرایط اصطکاکی بالا هم‌چون سنگ‌زنی، مستلزم استفاده از سیال برشی با خاصیت روان‌کاری بالا می‌باشد.

در این پژوهش به بررسی تأثیر استفاده‌ی هم‌زمان از دو روش روان‌کاری کمینه حین فرآیند سنگ‌زنی و سنگ‌زنی در حضور ارتعاشات فراصوت، بر نیروهای مماسی و عمودی سنگ‌زنی و نسبت نیروی مماسی به نیروی عمودی، پرداخته می‌شود. با توجه به مؤثر بودن هر دو فرآیند و تفاوت مکانیزم آن‌ها در افزایش راندمان، انتظار می‌رود اعمال هم‌زمان آن‌ها باعث افزایش هرچه بیش‌تر راندمان فرآیند سنگ‌زنی شود.

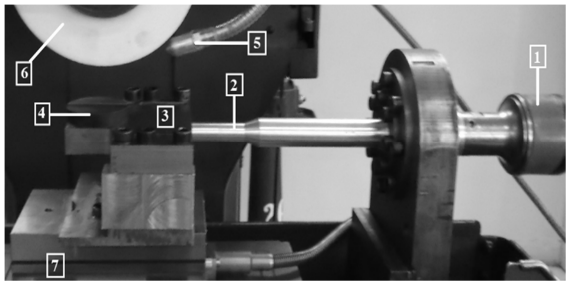
در آزمایش‌ها از آب، روغن حل‌شونده در آب (آب‌صابون)، پارافین و روغن سویا به عنوان سیال روان‌کاری کمینه استفاده شده‌است. ارتعاشات نیز به صورت هم‌جهت با پیش‌روش قطعه‌کار و به صورت افقی اعمال شده‌اند. نیروی مماسی، نیروی عمودی و نسبت نیروی مماسی به نیروی عمودی به عنوان پارامتر خروجی و معیار قضاوت عمل‌کرد فرآیند در نظر گرفته شده است.

## ۲- تجهیزات و روش آزمایش

### ۲-۱- سیستم ارتعاشات فراصوت

برای اعمال ارتعاشات با بسامد زیاد و دامنه‌ی کم به قطعه‌کار، تجهیزات[2]، مطابق شکل ۱ طراحی شد که مبدل ارتعاشات[3] برای تولید ارتعاشات با بسامد مشخص، هورن[4] برای انتقال ارتعاشات، تقویت‌کننده‌ی[5] ارتعاشات و سازه‌ی قابل انعطاف برای نصب قطعه‌کار روی آن، را شامل می‌شود.

آزمایش‌های سنگ‌زنی بدون حضور ارتعاشات فراصوت و در حضور ارتعاشات فراصوت انجام شده‌اند. ارتعاشات فراصوت توسط یک سیگنال‌ساز و مبدل ارتعاشات مدل مسترسونیک ام‌اس‌جی ۲۰۰۰[6] با فرکانس ۲۱/۹ کیلوهرتز از فرکانس برق شهری (۵۰ هرتز) تولید و به قطعه‌کار اعمال شدند. برای ساخت هورن و تقویت‌کننده، از آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵[7] و برای سازه‌ی قابل انعطاف از




**شکل ۱** سیستم مولد ارتعاشات فراصوت: ۱.مبدل ارتعاشات ۲. انتقال‌دهنده و تقویت‌کننده‌ی ارتعاشات ۳. سازه‌ی قابل انعطاف ۴. قطعه‌کار ۵. نازل روان‌کاری کمینه ۶. چرخ سنگ‌زنی ۷. نیروسنج

آلیاژ معمولی فولاد استفاده شده‌است. جزئیات بیش‌تر طراحی سیستم ارتعاشات فراصوت در [۱۱] دیده می‌شود.

### ۲-۲- شرایط ماشین‌کاری و تجهیزات اندازه‌گیری

آزمایش‌های سنگ‌زنی به صورت تخت و با استفاده از ماشین جونز شیپمن[8] مدل ۶۹۵۶۹ انجام شده است. پارامترهای سنگ‌زنی در جدول ۱ آورده شده‌اند. نیروهای سنگ‌زنی توسط نیروسنج سه‌مؤلفه‌ای کیستلر مدل بی ۹۲۵۷[9] ثبت و توسط نرم‌افزار داینوور[10] تحلیل شده‌اند. برای به دست آوردن شرایط مشابه برای همه‌ی آزمایش‌ها، چرخ سنگ‌زنی قبل از هر آزمایش دِرِس[11] شد. شرایط دِرِسر در جدول ۱ آورده شده است. برای بهینه کردن کیفیت افشانه، دبی سیال روان‌کار، فشار هوا و پارامترهای نازل (قطر، زاویه با افق و فاصله تا منطقه‌ی سنگ‌زنی) آزمایش‌هایی از قبل انجام شد و بهترین مقادیر پارامترها برای انجام آزمایش‌های اصلی انتخاب شدند که در جدول ۱ آورده شده‌اند.

**جدول ۱** شرایط سنگ‌زنی و پارامترهای روان‌کاری کمینه

| | |
|---|---|
| چرخ سنگ | نورتون ۵اس‌جی۴۶-جِی‌وی‌اس ۱۷۷×۱۵[12] |
| سرعت برشی | ۳۵ متر بر ثانیه |
| سرعت پیش‌روی | ۵ متر بر ثانیه |
| عمق برش | ۱۵ میکرومتر |
| سیال غوطه‌وری | آب‌صابون ۵ درصد حجمی |
| دبی سیال غوطه‌وری | ۲/۵ لیتر بر دقیقه |
| دبی سیال برشی روان‌کاری کمینه | ۳۰۰ میلی‌لیتر بر ساعت |
| فشار هوای سیستم روان‌کاری کمینه | ۳ بار |
| زاویه‌ی نازل | ۲۰ درجه نسبت به افق |
| جنس قطعه‌کار | فولاد ای‌آی‌اس‌آی ۵۲۱۰۰[13] سخت‌کاری‌شده با سختی ۲±۵۵ راکول سی |
| درسر | الماس تک‌نقطه‌ای |
| عمق درسینگ | ۴۰ میکرومتر |
| سرعت درسینگ | ۴۰ متر بر ثانیه |

1. Minimum Quantity Lubrication (MQL)
2. Setup
3. Transducer
4. Horn
5. Booster
6. Mastersonic MSG 2000
7. Al7075
8. Jones-Shipman
9. Kistler Type 9257
10. Dynoware
11. Dress
12. Norton 5SG46-JVS 177×15
13. AISI52100



www.SID.ir

Archive of SID



## ۳- داده‌ها و بحث

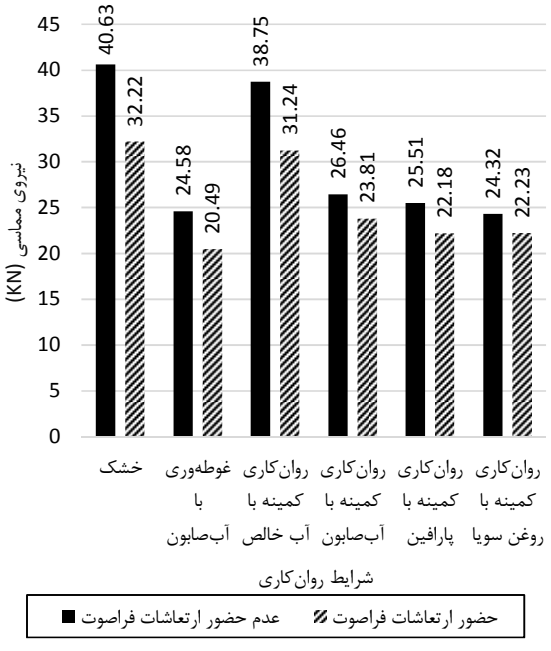
### ۳-۱- نیروهای مماسی و عمودی

در شکل‌های ۲ و ۳ نیروهای مماسی و عمودی سنگ‌زنی در شرایط مختلف روان‌کاری (غوطه‌وری و روان‌کاری کمینه با سیال‌های مختلف) بدون حضور ارتعاشات فراصوت و با حضور ارتعاشات فراصوت دیده می‌شود.

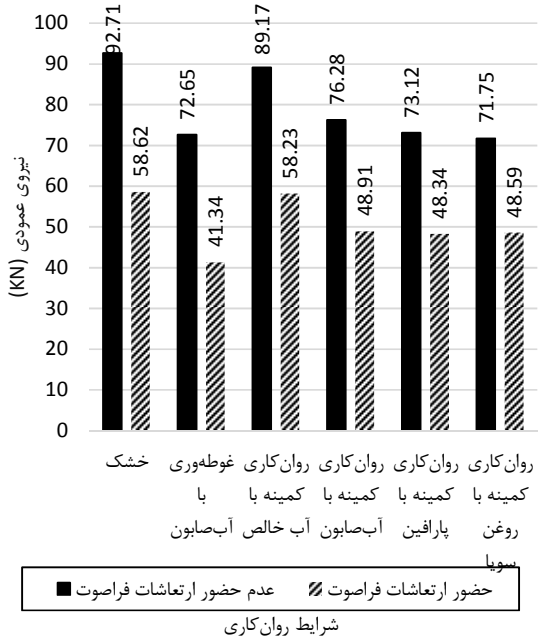
#### ۳-۱-۱- سنگ‌زنی بدون حضور ارتعاشات فراصوت

همان‌گونه که در شکل ۲ و ۳ دیده می‌شود، در این حالت، نیروهای مماسی و عمودی سنگ‌زنی بدون روان‌کاری بیش‌ترین مقدار خود را دارند. روان‌کاری کمینه با آب خالص نیز، تأثیر قابل توجهی بر نیروهای سنگ‌زنی ندارد. اما با تغییر سیال برشی در روان‌کاری کمینه از آب خالص به آب‌صابون، پارافین و یا روغن سویا، نیروهای سنگ‌زنی به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد به‌ حدی که بسیار نزدیک به روان‌کاری غوطه‌وری با آب‌صابون است. دلیل این موضوع این است که با افزایش لزجت سیال برشی، خواص روان‌کاری بهتری دیده می‌شود اما افزایش بیش‌از حد روان‌کاری (استفاده از روان‌کار با لزجت بسیار بالا) می‌تواند منجر به افزایش نیروهای سنگ‌زنی و کاهش بازدهی فرآیند شود [۱۲].

قابل توجه است که روغن سویا به‌عنوان سیال برشی روان‌کاری کمینه استفاده می‌شود، نیروهای سنگ‌زنی کم‌تر از حالت روان‌کاری غوطه‌وری با آب‌صابون است. به تعبیری، روان‌کاری کمینه با روغن سویا در فرآیند سنگ‌زنی از نظر نیروهای سنگ‌زنی، نه تنها بهتر از روان‌کاری سنتی با آب‌صابون عمل می‌کند، بلکه از نظر مصرف سیال برشی، از آن نیز بسیار به صرفه‌تر است. یعنی کاهش هزینه‌ی روان‌کاری و افزایش عمر ابزار هم‌زمان حاصل می‌شوند که تضمین‌کننده‌ی بازگشت هزینه‌ی راه‌اندازی تجهیزات روان‌کاری کمینه در کوتاه مدت، حتی برای کارگاه‌های کوچک است.




**شکل ۲** نیروی مماسی سنگ‌زنی در شرایط مختلف روان‌کاری، بدون حضور و با حضور ارتعاشات فراصوت




**شکل ۳** نیروی عمودی سنگ‌زنی در شرایط مختلف روان‌کاری، بدون حضور و با حضور ارتعاشات فراصوت

#### ۳-۱-۲- سنگ‌زنی در حضور ارتعاشات فراصوت

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ دیده می‌شود که حضور ارتعاشات فراصوت به تنهایی باعث کاهش ۲۱ درصدی نیروی مماسی و کاهش ۳۷ درصدی نیروی عمودی می‌شود که حاکی از تأثیر به سزای این روش در کاهش نیروهای سنگ‌زنی است. تأثیر حضور ارتعاشات فراصوت افقی بیش‌تر در کاهش نیروی عمودی سنگ‌زنی مشهود است تا نیروی مماسی سنگ‌زنی [۱۳].

در حضور ارتعاشات فراصوت، برای کاهش نیروهای سنگ‌زنی، نوع روان‌کاری اهمیتی بیش‌تر از نوع روان‌کار دارد. بدین صورت که، در حالت عدم حضور ارتعاشات فراصوت، درصد کاهش نیروها تحت روان‌کاری کمینه با آب صابون (۳۵٪ برای نیروی مماسی و ۱۸٪ برای نیروی عمودی) اختلاف چندانی با غوطه‌وری با آب‌صابون (۴۰٪ برای نیروی مماسی و ۲۲٪ برای نیروی عمودی) ندارد، ولی در حضور ارتعاشات فراصوت، درصد کاهش نیروها تحت روان‌کاری کمینه با آب صابون (۲۶٪ برای نیروی مماسی و ۱۷٪ برای نیروی عمودی) نسبت به حالت غوطه‌وری با آب‌صابون (۳۷٪ برای نیروی مماسی و ۳۰٪ برای نیروی عمودی) اختلاف قابل توجه‌تری دارد.

به تعبیری، در حالت عدم حضور ارتعاشات فراصوت، غوطه‌وری نیروها را تنها ۵٪ بیش‌تر روان‌کاری کمینه کاهش می‌دهد ولی در حضور ارتعاشات فراصوت این عدد به ۱۲٪ می‌رسد. این در حالی است که در حضور ارتعاشات فراصوت اختلاف چشم‌گیری بین کاهش نیروهای ناشی از روان‌کاری کمینه با آب‌صابون، پارافین و روغن سویا، دیده نمی‌شود.

استفاده‌ی هم‌زمان از دو روش روان‌کاری کمینه و سنگ‌زنی به کمک ارتعاشات فراصوت با بهترین شرایط روان‌کاری (استفاده از پارافین به عنوان سیال برشی)، کاهش ۴۵ درصدی نیروی مماسی و کاهش ۴۸ درصدی نیروی عمودی سنگ‌زنی را به دنبال دارد. که عملاً باعث کاهش ۴۷ درصدی کل نیروی سنگ‌زنی می‌شود. به تعبیری، نیروهای سنگ‌زنی تقریباً به نصف کاهش می‌یابند. که حاکی از کارایی استفاده‌ی هم‌زمان از دو روش سنگ‌زنی به کمک ارتعاشات فراصوت و روان‌کاری کمینه است.



www.SID.ir

Archive of SID



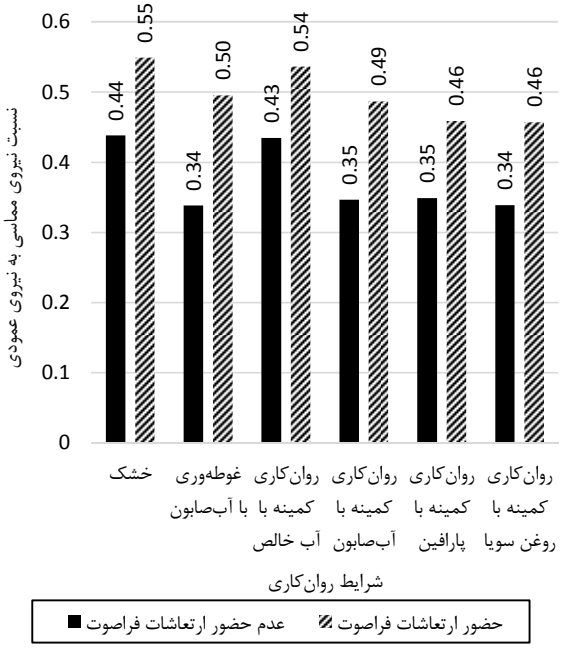
اگر بخواهیم سهم هر یک از دو روش فوق را به‌صورت جداگانه در کاهش نیروهای سنگ‌زنی بررسی کنیم، متوجه خواهیم شد که در مورد کاهش نیروی مماسی، سهم حضور ارتعاشات فراصوت (۲۱٪) و روان‌کاری کمینه (۲۴٪) تقریباً برابر است اما در مورد کاهش نیروی عمودی، سهم حضور ارتعاشات فراصوت (۳۷٪) بیش از سه برابر سهم روان‌کاری کمینه (۱۱٪) است. که با این حقیقت که حضور ارتعاشات فراصوت از خود تأثیر بیش‌تری در کاهش نیروی عمودی نشان می‌دهد تا نیروی مماسی، هم‌خوانی کامل دارد. دلیل آن‌که سهم حضور ارتعاشات فراصوت در کاهش نیروی عمودی بسیار بیش‌تر از سهم آن در کاهش نیروی مماسی است، را باید در نسبت نیروها جستجو کرد.

### ۳-۲- نسبت نیروی مماسی به نیروی عمودی

در شکل ۴ نسبت نیروی مماسی به نیروی عمودی سنگ‌زنی در شرایط مختلف روان‌کاری بدون حضور ارتعاشات فراصوت و با حضور ارتعاشات فراصوت دیده می‌شود.

نسبت نیروها پارامتری است که معیاری از وضعیت سایشی و ضریب اصطکاک است و برای فرآیند سنگ‌زنی معمولاً از ۰/۲ تا ۰/۷ تغییر می‌کند [۱۴]:

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (۱)$$




**شکل ۴** نسبت نیروی مماسی به نیروی عمودی در شرایط مختلف روان‌کاری، بدون حضور و با حضور ارتعاشات فراصوت

از طرفی می‌دانیم که رابطه‌ی (۲) عنوان یک رابطه‌ی متداول برای محاسبه‌ی انرژی مخصوص سنگ‌زنی مطرح است:

$$u = \frac{P}{Q_m} = \frac{V_s F_t}{v_w w d} \quad (۲)$$

بدین ترتیب با مقایسه‌ی روابط (۱) و (۲) متوجه می‌شویم که با افزایش نسبت نیروی مماسی به نیروی عمودی، می‌توان انتظار داشت که به دلیل افزایش ضریب اصطکاک، انرژی مخصوص سنگ‌زنی نیز افزایش یافته که باعث کاهش بازدهی فرآیند سنگ‌زنی می‌شود [۱۴].

#### ۳-۲-۱- عدم حضور ارتعاشات فراصوت

در این حالت، روان‌کاری کمینه با آب خالص تأثیر قابل توجهی بر نسبت نیروها ندارد، زیرا آب خالص در صنعت بیش‌تر به‌عنوان یک خنک‌کار شناخته می‌شود نه یک روان‌کار. روان‌کاری با آب صابون چه در حالت غوطه‌وری و چه در حالت روان‌کاری کمینه، نتایج مشابهی از نظر نسبت نیروها دارد. روان‌کاری کمینه با روغن‌های روان‌کار نیز، نتایج بسیار مشابهی را در بر دارد (کاهش نسبت نیروی مماسی به نیروی عمودی از ۰/۴۴ به حدود ۰/۳۴).

#### ۳-۲-۲- حضور ارتعاشات فراصوت

حضور ارتعاشات فراصوت به تنهایی باعث افزایش نسبت نیروها می‌شود که از نظر ضریب اصطکاک نامطلوب است و می‌تواند به دلیل تولید حرارت زیاد، بر کیفیت سطح سنگ‌خورده تأثیر نامطلوب داشته باشد. اما کاهش زیاد نیروی عمودی، به دلیل افزایش تعداد دانه‌های فعال است که نیروی لازم برای دست‌یابی به عمق براده‌ی مشخص را کاهش می‌دهد و این موضوع می‌تواند با کاهش انرژی کل مصرف شده به افزایش کیفیت سطح سنگ‌خورده منجر شود [۱۵]. در این حالت برای کاهش ضریب اصطکاک، می‌توان از روان‌کاری استفاده کرد که بهترین نتیجه را روغن‌های روان‌کار (پارافین و روغن سویا) دارند. به گونه‌ای که روان‌کاری کمینه با روغن‌های روان‌کار، می‌تواند افزایش نسبت نیروی مماسی به نیروی عمودی (اصطکاک) در اثر حضور ارتعاشات فراصوت، را جبران کند.

## ۴- خلاصه‌ی نتایج

در سنگ‌زنی سنتی[1]، روان‌کاری تأثیر به سزایی در کاهش نیروی مماسی و نیروی عمودی دارد. در این حالت روان‌کاری کمینه با روغن سویا با کاهش ضریب اصطکاک، باعث کاهش نیروهای سنگ‌زنی می‌شود. به گونه‌ای که از نظر مقدار کاهش نیروها و ضریب اصطکاک قابل رقابت با روان‌کاری سنتی با روغن حل‌شونده در آب است، در حالی که از نظر هزینه‌ها بسیار به صرفه‌تر است.

سنگ‌زنی به کمک ارتعاشات فراصوت در مقایسه با سنگ‌زنی سنتی، نیروهای بسیار کم‌تری را دارد که از نظر عمر ابزار، گرمای تولید شده و تأثیرات سوء حرارتی بر سطح سنگ‌خورده بسیار مناسب است ولی ایجاد اصطکاک بیش‌تری بین دانه‌های سنگ و سطح قطعه‌کار می‌نماید.

استفاده از روان‌کاری کمینه حین سنگ‌زنی در حضور ارتعاشات فراصوت، باعث کاهش هرچه بیش‌تر نیروهای سنگ‌زنی می‌شود و حتا با انتخاب سیال برشی مناسب، می‌توان افزایش اصطکاک ناشی از حضور ارتعاشات فراصوت را جبران کرد.

بدین ترتیب استفاده‌ی هم‌زمان از دو روش سنگ‌زنی به کمک ارتعاشات فراصوت و روان‌کاری کمینه باعث کاهش مؤثر نیروهای سنگ‌زنی، افزایش قابل توجه بازدهی فرآیند سنگ‌زنی و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود.

## ۵- فهرست علائم

| | |
|---|---|
| $\mu$ | ضریب اصطکاک |
| $F_t$ | نیروی مماسی سنگ‌زنی (N) |
| $F_n$ | نیروی عمودی سنگ‌زنی (N) |
| $u$ | انرژی مخصوص سنگ‌زنی ($J/m^3$) |
| $P$ | توان سنگ‌زنی (J/s) |

1. Conventional Grinding (CG)



www.SID.ir

Archive of SID



$Q_m$ حجم براده‌ی برداشته شده در واحد زمان ($m^3/s$)

$V_s$ سرعت محیطی چرخ سنگ (m/s)

$v_w$ سرعت پیش‌روی قطعه‌کار (m/s)

$w$ عرض ناحیه‌ی سنگ‌زنی (m)

$d$ عمق برش (m)

## ۶- مراجع

[1] M.P. Grover, *Fundamentals of modern manufacturing materials, processes, and systems*, Fourth Edition, pp. 604-621,New York: John Wiley, 2010.

[2] D. Bhaduri, S.L. Soo, D.K. Aspinwall, D. Novovic, P. Harden, S. Bohr, D. Martin, A study on Ultrasonic Assisted Creep Feed Grinding of Nickel Based Superalloys, *Procedia CIRP*, Vol. 1, pp. 376–381, 2012.

[3] Z. Liang, X. Wang, Y. Wu, L. Xie, Z. Liu, W. Zhao, An investigation on wear mechanism of resin-bonded diamond wheel in Elliptical Ultrasonic Assisted Grinding (EUAG) of monocrystal sapphire, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 212 (4),pp. 868–876, 2012.

[4] J. Akbari, H. Borzui, M.H. Mamduhi, Using Ultrasonic Vibration for Increasing the Performance of Grinding Process of Fine Ceramics, *The XVIIth Processing and Fabrication of Advanced Materials International Symposium (PFAM17)*, Delhi, India, 2008.

[5] S.A. Lawal, I.A. Choudhury, Y. Nukman, A critical assessment of lubrication techniques in machining processes: a case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 41, pp. 210-221, 2013.

[6] E. Uhlmann, C. Sammler, Influence of coolant conditions in ultrasonic assisted grinding of high performance ceramics, *Production Engineering*, Vol. 4 (6), pp. 581-587, 2010.

[7] M. Hadad, B. Sadeghi, Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 54 , pp. 332-343, 2013.

[8] D. Fratila, C. Caizar, Application of Taguchi method to selection of optimal lubrication and cutting conditions in face milling of $AlMg_3$, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19 (6-7), pp. 640-645, 2011

[9] T. Tawakoli, M. Hadad, M.H. Sadeghi,A. Daneshi,B. Sadeghi, Minimum quantity lubrication in grinding: effects of abrasive and coolant–lubricant types, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19 (17-18), pp. 2088-2099, 2011.

[10] M. Sarıkaya, A. Güllü, Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 65, pp. 604-616, 2014.

[11] M. Ghahramani Nik, M.R. Movahhedy, J. Akbari, Ultrasonic-assisted grinding of Ti6Al4V alloy, *Procedia CIRP* , Vol. 1, pp. 353-358, 2012

[12] E. Brinksmeier, C. Heinzel, M. Wittmann, Friction, cooling and lubrication in grinding, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 48 (2), pp. 581-598, 1999.

[13] T. Tawakoli, B. Azarhoushang, Influence of ultrasonic vibrations on dry grinding of soft steel, *Internaional Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 48 (14), pp. 1585-1591, 2008.

[14] P. Kalita, A.P. Malshe, S. A. Kumar, V.G. Yoganath, T. Gurumurthy, Study of specific energy and friction coefficient in minimum quantity lubrication grinding using oil-based nanolubricants, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 14(2), pp. 160-166, 2012.

[15] A. Modgil, *Effects of high speed machining on surface topography of titanium Alloy (TI-2A1-2V),* M.S. Thesis, Mechanical Engineering Department, University of Florida, 2003.



www.SID.ir