



## بررسی و ارائه یک سیال خنک‌کار- روان کار جدید در جهت کاهش پدیده کور شدن در سنگ‌زنی سوپرآلیاژهای پایه نیکل

علی قربانی کنگرشاهی<sup>۱</sup>، عبدالحمید عزیزی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران  
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، واحد علوم و تحقیقات کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران  
۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه ایلام، ایلام  
\*ایلام، صندوق پستی ۵۱۶-۶۹۳۱۵، ah.azizi@ilam.ac.ir

### چکیده

یکی از چالش‌های اساسی در سنگ‌زنی سوپرآلیاژهای پایه نیکل به‌عنوان قطعات مورد استفاده در صنایع پیشرفته و هوافضا، پدیده کور شدن چرخ‌سنگ می‌باشد. در این تحقیق سوپرآلیاژ اینکونل ۷۳۸ برای نمونه مورد آزمایش انتخاب شده و ابزار ساینده نیز چرخ سنگ CBN با باند رزینی انتخاب گردید. جهت بررسی و انتخاب سیال مناسب برش به منظور کاهش کور شدن چرخ‌سنگ، روش کار بدین گونه بود که ابتدا چند اجابت مخصوص سوپرآلیاژها انتخاب شده و پس از سنگ زنی نمونه‌ها در حضور سیال مورد تحقیق و با در نظر گرفتن زمان مشخص ماشین‌کاری با تصویربرداری از سطح چرخ‌سنگ و تحلیل تصاویر، پدیده کور شدن چرخ‌سنگ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها بیانگر این موضوع بود که استفاده از سیال‌های پیشنهادی منجر به کاهش پدیده کور شدن چرخ‌سنگ می‌شوند و این در حالیست که با استفاده از سیال ترکیبی از اسید هیدروکلریک، اسید نیتریک، اسید استیک و اسید هیدروفلوریک به میزان یکسان، منجر به بیشترین کاهش کور شدن چرخ‌سنگ شده که این میزان اثر بخشی در عمق برش‌های متفاوت نیز قابل دستیابی است.  
کلید واژگان: سنگ‌زنی، کور شدن، سوپرآلیاژ پایه نیکل، چرخ‌سنگ CBN، ماشین‌کاری

## Investigation and introducing a new coolant-lubricant in order to reducing the loading in the Nickel based super alloy grinding

Ali Ghorbani Kangarshahi<sup>1</sup>, Abdolhamid Azizi<sup>2\*</sup>

1- Department of Mechanical Engineering, Collage of Engineering and Technology, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran  
2- Mechanical Engineering Department, Ilam University, Ilam, Iran  
\*P.O.B. 69315-516, Ilam, Iran, ah.azizi@ilam.ac.ir

### ABSTRACT

One of the great challenges in nickel based super alloy machining used in aeronautics industries is grinding wheel loading. In this paper, the Inconel 738 and vitrified CBN super abrasive grinding wheel was selected as a workpiece and grinding tool, respectively. To investigate the effect of coolant-lubricant on loading, different new cutting fluids have been introduced. Grinding operation was conducted in the presence of new cutting fluids. Grinding loading was studied by means of grinding wheel surface optical topography. Findings showed that the new proposed cutting fluids result in the reduced loading. In different depths of cut, the fluid mixed up of hydrochloride acid, nitric acid, acetic acid and hydrofluoric acid cause the most reducing in grinding wheel loading.

**Keywords:** CBN Grinding Wheel, Grinding, Loading, Machining, Nickel Based Super Alloy.

برای رسیدن به یک شرایط مطلوب در سنگ‌زنی نیاز است تا این پدیده مورد مطالعه و بررسی بیشتر قرار گیرد و راهکارهایی در جهت کاهش و یا حذف آن ارائه شود.

سوپرآلیاژهای پایه نیکل در صنایع هوافضا، کشتی‌سازی و نیروگاه‌های هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صنایع هوافضا از این آلیاژها برای ساخت اجزا چرخان توربین‌های گازی مانند پرها و دیسک‌ها، بدنه اصلی توربین، موتور راکت‌ها و پمپ‌ها استفاده می‌کنند. آلیاژهای پایه نیکل بطور متوسط ۳۰٪ اجزا موتور هواپیماها را تشکیل می‌دهند. دلیل استفاده از سوپرآلیاژها در صنایع پیشرفته به خاطر بالا بودن استحکام و تنش حد نهایی، استحکام بالای خستگی و مقاومت در مقابل فرسایش در دماهای بالا می‌باشد. این آلیاژها در محدوده دمایی بین ۲۱۷- تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد مورد استفاده قرار می‌گیرند. ماشین‌کاری و سنگ‌زنی فرایندی اجتناب‌ناپذیر در

### ۱- مقدمه

سنگ‌زنی یک فرایند ماشین‌کاری سنتی بوده که در پرداخت‌کاری انواع قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابزار سنگ‌زنی (چرخ‌سنگ) دارای بی نهایت لبه برنده بوده که توسط یک باند و چسب به سطح چرخ‌سنگ نگه داشته شده‌اند. در اثر برخورد این ذرات ساینده با سطح قطعه‌کار عملیات براده‌برداری و ماشین‌کاری رخ می‌دهد. این ابزار همانند دیگر ابزارهای ماشین‌کاری ممکن است که در اثر عملیات ماشین‌کاری کند شده و نیاز به آماده‌سازی و تیز کردن‌های مجدد داشته باشد. یکی از اتفاقاتی که ممکن است منجر به کند شدن چرخ‌سنگ شود پدیده کور شدن<sup>۱</sup> است. در این حالت و در شرایط خاص ماشین‌کاری براده‌ها به سطح چرخ‌سنگ و در فواصل بین دانه‌های ساینده چسبیده شده و موجب لودینگ چرخ سنگ می‌گردد.

1. Loading

Please cite this article using:

A. Ghorbani Kangarshahi, A. Azizi, Investigation and introducing a new coolant-lubricant in order to reducing the loading in the Nickel Based Super Alloy grinding, Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference, Vol. 15, No. 13, pp. 338-343, 2015 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

اکسیداسیون، و با توجه به توانایی یک سطح فلز تازه، گرم، و آلوده نشده به سطح دیگر رخ می‌دهد [۸]. کوماندوری و شاو تغییر در مکانیزم اکسیداسیون را به ثبت رساندند، آن‌ها پیشنهاد دادند که شباهت در اندازه فلز و یون‌های اکسیژن و تفاوت در حجم برداشته شده باید صحیح و مناسب باشد و باند الکترواستاتیک قوی ایجاد کنند. همچنین نفوذ را به عنوان مکانیسم دیگری برای لودینگ چرخ سنگ ثبت نمودند [۹].

همان‌گونه که در قبل ذکر شد پدیده لودینگ در سنگ‌زنی سوپرآلیاژهای پایه نیکل به عنوان یک چالش و مشکل مطرح بوده و نیازمند توجه بیشتر در راستای کاهش این پدیده می‌باشد. در این تحقیق سعی می‌شود تا با استفاده از یک سری سیال‌های پیشنهادی خاص، سطح قطعه‌کار را ابتدا پیش ماشین- کاری کرده و سپس عملیات سنگ‌زنی نهایی روی قطعه صورت گیرد. اساس کار این‌گونه است که وقتی قطعه‌کار در معرض سیال اسیدی قرار می‌گیرد، در سطح آن تا حدودی فرسایش ایجاد شده (پیش ماشین‌کاری) و سپس با اعمال سنگ‌زنی براده‌برداری به راحتی و با کمترین حالت لودینگ همراه خواهد بود. لازم به ذکر است که پس از بررسی تعدادی سیال از بین آن‌ها سیالی با بهترین کارایی در راستای کاهش لودینگ انتخاب می‌گردد.

## ۲- طراحی و انجام آزمایش‌ها

با توجه به نتایج گفته شده در قبل استفاده از چرخ سنگ CBN با باند رزینی و درصد تخلخل بالا با مشخصات 1A1 150 10 B 126 NV 100 که در شکل ۱ نشان داده شده است مورد استفاده قرار می‌گیرد. قطعه‌کار مورد استفاده در این آزمایش سوپرآلیاژ اینکونل ۷۳۸ با ابعاد  $30 \times 30 \times 10$  میلی‌متر می‌باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین مشخصات شیمیایی آلیاژ مذکور در جدول ۱ مشخص شده است. هدف از انجام این تحقیق بررسی و ارائه یک سیال مناسب در جهت کاهش پدیده لودینگ در سنگ‌زنی سوپرآلیاژهای پایه نیکل می‌باشد. لذا ابتدا سعی شد تا با مطالعه منابع مختلف، سیال‌هایی که می‌توانند در حصول به این هدف ما را یاری کنند، انتخاب شود که نتیجه این مطالعه گسترده به تعدادی سیال پیشنهادی به همراه ویسکوزیته آن‌ها که در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند، گردید [۱۰-۱۲]. این سیال‌ها شامل ترکیبی از چند نوع اسید و ماده شیمیایی می‌باشند. سپس جهت بررسی اولیه آن‌ها، ترکیبی از سیال‌های انتخاب شده مطابق شکل ۳ در فضای آزمایشگاهی با استفاده از تجهیزات و رعایت نکات ایمنی بر روی ده نمونه اینکونل ۷۳۸ با ابعاد سطح  $10 \times 10$  میلی‌متر اعمال شدند. در جدول ۴ میزان حجم ماده برداشته شده براساس عمق فرسایش نشان داده شده است.



شکل ۱ چرخ سنگ فوق ساینده مورد استفاده

تولید قطعات ساخته شده از سوپرآلیاژهاست. مشکل مهم در سنگ‌زنی سوپرآلیاژها، رخ دادن پدیده کور شدن است. با توجه به مکانیزم این پدیده که در قبل بحث شد، می‌توان گفت که یکی از راهکارهای تأثیرگذار جهت کم کردن اثر این مشکل، استفاده از سیال مناسب برش است. در سنگ‌زنی سوپرآلیاژها، استفاده از چرخ‌سنگ‌های آلومینا با سایش شدید چرخ‌سنگ و آسیب‌های حرارتی همراه خواهد بود اما چرخ‌سنگ‌های فوق ساینده بدلیل مقاومت به سایش و همچنین مشخصات حرارتی خاص امکان بروز مشکلات ذکر شده را به حداقل می‌رسانند. در سنگ‌زنی با چرخ سنگ‌های الماس بدلیل بالا رفتن حرارت در منطقه سنگ‌زنی و امکان تبدیل الماس به گرافیت و همچنین میل بالای آهن به ترکیب شیمیایی با کربن الماس، این چرخ سنگ‌ها مقاومت به سایش کمتری نسبت به چرخ‌سنگ‌های فوق ساینده CBN<sup>۱</sup> دارند. چرخ‌سنگ‌های CBN با باند الکتروپلیتد، امکان رسیدن به دقت و تلرانس‌های ابعادی بسته را فراهم می‌کنند اما بدلیل عدم امکان درسینگ<sup>۲</sup> آن‌ها و همچنین شدید بودن پدیده لودینگ در سنگ‌زنی سوپرآلیاژها، استفاده از آن‌ها در این مورد محدود می‌شود. در چرخ‌سنگ‌های CBN ویتریفاید به دلیل متخلخل بودن باند و امکان درسینگ آن‌ها به همراه درسینگ تماسی به‌عنوان بهترین گزینه برای سنگ‌زنی سوپرآلیاژهای پایه نیکلی معرفی می‌شوند. همچنین چرخ‌سنگ‌های CBN با باند رزینی نیز به دلیل قیمت پایین، تخلخل مناسب باند و امکان درسینگ آن‌ها در سنگ‌زنی سوپرآلیاژهای پایه نیکلی کاربرد دارند [۱].

فرسایش و کور شدن چرخ سنگ دو فاکتور وابسته به زمان هستند که بر دقت و کیفیت سطح قطعه‌کار تأثیر می‌گذارند. وضعیت پایداری چرخ سنگ با فرسایش دانه‌ها و تجمع براده در فواصل بین دانه‌ها تغییر می‌کند. تجمع براده یا کور شدن یک مسئله خاص و مرتبط با صاف شدن دانه‌های چرخ سنگ می‌باشد و زمانی اتفاق می‌افتد که براده‌های برداشته شده به دانه‌های ساینده چسبیده شده و یا در فواصل دانه‌ها فرو می‌روند [۳،۲]. با کور شدن چرخ سنگ لبه‌های دانه‌ها کند شده و سطح خارجی چرخ سنگ صاف و براق می‌شود و در نتیجه به سایش بیش از حد نسبت به حالت معمولی و افزایش بیش از حد حرارت منجر می‌شود. این اتفاق معمولاً نتایج زیان بار و جدی مانند کاهش کیفیت سطح نهایی، کاهش نرخ برداشت ماده، افزایش ارتعاشات و نیروهای سنگ‌زنی، افزایش دما و کاهش عمر چرخ سنگ را به همراه خواهد داشت، از این رو انجام عملیات سنگ‌زنی مستقیماً تحت تأثیر میزان لودینگ چرخ‌سنگ است. کور شدن چرخ سنگ به دو دسته تقسیم می‌شود: ۱- کورشدگی به‌صورت چسبیدن براده‌ها به دانه‌های ساینده ۲- کورشدگی به صورت پر شدن فواصل بین دانه‌ها توسط براده‌ها. در لودینگ به‌صورت چسبندگی، براده‌های سنگ‌زنی به دانه‌های سخت و باند چرخ‌سنگ می‌چسبند. در لودینگ به‌صورت پر شدن فواصل، براده‌ها در حفره‌های سطح چرخ سنگ نفوذ کرده و آن‌ها را پر می‌کنند. بیشترین کارهای تحقیقاتی انجام شده قبلی بر چسبندگی براده‌ها به دانه‌های ساینده متمرکز بوده است [۴-۶].

ادیبی و همکارانش تأثیر وجود خنک‌کاری تحت فشار را بر روی کاهش میزان لودینگ چرخ سنگ بررسی نمودند، همچنین مدل تحلیلی از فرایند لودینگ چرخ سنگ را ارائه دادند [۷].

کاووس به بررسی لودینگ چرخ‌سنگ در نبود یک عامل از اکسیداسیون پرداخت و پیشنهاد داد که لودینگ چرخ‌سنگ به آسانی در نبود یک عامل از

1. Cubic Boron Nitride  
2. Dressing

جهت برداشت و حذف سطح کور شده، بعد از هر مرحله آزمایش فرایند درسینگ یا تیز کردن با استفاده از درسر الماسه نشان داده در شکل ۶ انجام گرفت. روش کار بدین صورت بود که پس از آماده‌سازی چرخ‌سنگ، با انتخاب پارامترهای ماشین‌کاری مشخص، عملیات سنگ‌زنی سوپراآلیاژ تا برداشت حجم مشخصی از براده ادامه می‌یافت و سپس از چند نقطه از چرخ سنگ تصاویری جهت بررسی پدیده لودینگ انتخاب می‌شد و این عملیات برای هر کدام از سیال‌های مشخص شده پنج بار تکرار می‌شد و مقدار میانگین درصد کور شده ثبت گردید.

### ۳- نتایج و بحث

پس از نصب تجهیزات بر روی ماشین سنگ‌زنی و انجام آزمایش‌ها و تهیه تصاویر از سطح چرخ‌سنگ توسط میکروسکوپ، نتایج توسط نرم‌افزار متلب مورد آنالیز قرار گرفت. استفاده از امولسیون باعث روان‌کاری سطح تماس چرخ‌سنگ و قطعه‌کار شده و همچنین باعث کاهش حرارت ایجاد شده در منطقه تماس و قطعه‌کار می‌شود. علاوه بر این، استفاده از امولسیون باعث کاهش لودینگ چرخ سنگ شده و در نتیجه منجر به بهبود فرایند سنگ‌زنی



شکل ۳ اچانت‌های مورد استفاده (الف) نمونه‌های اولیه برای انتخاب بهترین اچانت (ب)



شکل ۴ نمایی از ماشین سنگ‌زنی و تجهیزات نصب شده



شکل ۵ میکروسکوپ مورد استفاده (الف) نمونه تصویر تهیه شده از سطح چرخ‌سنگ (ب)



شکل ۶ درسر مورد استفاده جهت آماده‌سازی چرخ‌سنگ



شکل ۷ قطعه‌کار اینکونل ۷۳۸ مورد استفاده

محلول اچانت (سیال ۱) بدون استفاده از جریان الکتریسیته، با سطح نمونه واکنش می‌دهد. در اچ کردن الکتروشیمیایی پتانسیل الکتریکی برای نمونه به وسیله یک منبع پتانسیل خارجی تامین می‌گردد. انحلال ماده بدون تشکیل لایه در این فاصله صورت می‌گیرد. یونه‌ای فلزی که از ماده خارج می‌شوند با یون‌های غیرفلزی الکتروولت واکنش داده و لایه‌های رسوبی با ضخامت‌های گوناگون بر روی سطح نمونه ایجاد خواهد شد. ضخامت این لایه‌ها تابعی از ترکیب مایع اچ می‌باشد. این ضخامت رسوب شده دارای عمق مشخصی می‌باشد. کلرید آهن (III) یک ماده شیمیایی می‌باشد که در بعضی اچانت‌ها نقش اساسی دارد. اسید هیدرو فلوریک یک اسید بسیار خطرناک و قوی می‌باشد که در حکاکی روی فلزات و حتی شیشه کاربرد فراوانی دارد. استفاده از این دو ماده و ترکیب آن‌ها با سیال اول که یک اچانت مخصوص سوپراآلیاژهای پایه نیکلی می‌باشد می‌تواند موثر واقع گردد [۱۴،۱۳].

ابتدا هر سیال برای زمان مشخص بر سطح نمونه اعمال گردید و فرسایش ایجاد شد. این مقدار فرسایش توسط ساعت اندازه‌گیری با دقت ۰/۰۱ میکرومتر اندازه‌گیری شد. بدین‌گونه که قسمتی از سطح که در آن فرسایش ایجاد شده توسط سنباده برداشته شده سپس با حرکت ساعت اندازه‌گیری بر روی سطح نمونه میزان اختلاف سطحی ک فرسایش در آن ایجاد شده با سطح تازه نمونه، مقدار عمق فرسایش اندازه‌گیری شد. مقادیر بدست آمده نشان داد که در عمق ۱۰ و ۲۰ میکرومتر بیشترین فرسایش ایجاد شده اما در عمق ۳۰ و ۴۰ میکرومتر مقدار کمتری فرسایش مشاهده شد. بنابراین عمق بار ۲۰ میکرومتر در سنگ‌زنی به همراه سیال‌های مورد بررسی آزمایش شد و سپس جهت مطالعه بیشتر دو سیالی که بیشترین کمترین میزان لودینگ را ایجاد کرده بودند تحت آزمایش و مقایسه در عمق بارهای متفاوت نیز قرار گرفتند. علاوه بر مقایسه سیال‌های مذکور، جهت بررسی بیشتر، از امولسیون ۳٪ با نام تجاری اکوکول<sup>۱</sup> و سپس مقایسه نتایج حاصل شده نیز استفاده گردید.

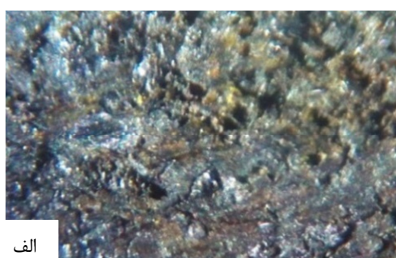
با در نظر گرفتن تجهیزات ایمنی، مکانیزمی جهت پاشش سیال به محدوده ماشین‌کاری مطابق شکل ۴ بر روی ماشین سنگ‌زنی مدل NESI 350 نصب گردید. با توجه به مطالعات انجام شده ابتدا فرایند سنگ‌زنی با پارامترهای ثابت عمق بار ۲۰ میکرومتر، سرعت پیشروی ۲۰ میلی‌متر بر ثانیه و سرعت برشی ۲۳/۵۰ m/s انجام شد. برای بدست آوردن درصد لودینگ از روش‌های نوری استفاده گردید. بدین صورت که ابتدا چهار نقطه بر روی چرخ سنگ مشخص شد که پس از پایان هر مرحله آزمایش، سه تصویر از هر نقطه توسط میکروسکوپ دیجیتال همانند شکل ۵ با بزرگنمایی صد برابر تهیه شد. تصاویر تهیه شده با استفاده از تکنیک پردازش تصویر در نرم‌افزار متلب مورد تحلیل قرار گرفت. مقدار کور شدن سنگ برحسب درصد با استفاده از نسبت مساحت نواحی روشن به مجموع مساحت‌های نواحی روشن و تاریک از تصاویر اخذ شده را می‌توان بدست آورد [۱۵].

1. Eco cool

سنگ‌زنی این دانه‌ها عملیات برداشت براده را انجام می‌دهند. شکل ۷- ب نشان دهنده سطح چرخ سنگ بعد از عملیات سنگ‌زنی می‌باشد که در آن بخش‌هایی به صورت روشن نمایان شده‌اند، این قسمت‌ها براده‌های برداشته شده از سطح نمونه می‌باشند که در پستی‌های سطح چرخ سنگ چسبیده و پدیده لودینگ را سبب می‌شود که در نتیجه منجر به کاهش تیزی و عملکرد چرخ سنگ می‌گردد.

جهت محاسبه میزان درصد لودینگ چرخ سنگ، تصاویر گرفته شده در نرم‌افزار متلب پردازش شده و درصد لودینگ چرخ سنگ محاسبه می‌شود. در شکل ۸ تصاویر تحلیل شده توسط نرم‌افزار نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود قسمت‌های تیره به عنوان باند و قسمت‌های روشن به عنوان نقاط کور شده مشخص شده‌اند. این تصویر نشان می‌دهد که وجود امولسیون باعث بهبود فرایند سنگ‌زنی و کاهش لودینگ در سطح چرخ سنگ شده است. پس از پردازش تصویر توسط نرم‌افزار متلب نوبت‌های تصویر گرفته شده و قسمت‌های روشن توسط تکنیک لبه‌یابی سوبل از زمینه تصویر جدا شده و زمینه تصویر به عنوان باند و دانه‌های ساینده با رنگ مشکی مطابق شکل ۸- ب مشخص گردید.

در این مرحله با محاسبه مقادیر مساحت‌های سطوح سفید و سیاه، میزان لودینگ چرخ سنگ برحسب درصد مشخص گردید که میزان آن ۶/۳۴ درصد محاسبه گردید. در مرحله اول جهت بررسی میزان تغییرات لودینگ در فرایند سنگ‌زنی یک اچانت که در متالوگرافی سوپرآلیاژ اینکونل ۷۲۸ کاربرد دارد مورد استفاده قرار گرفت (سیال اول). این سیال شامل سه ماده شیمیایی، اسید نیتریک، اسید استیک و اسید هیدروکلریک می‌باشد که با یکدیگر ترکیب شده‌اند. پس از تحلیل تصویر مشاهده شد که میزان لودینگ چرخ سنگ با سیال جدید ۵/۳۰۹ درصد می‌باشد. در مرحله دوم جهت بررسی میزان لودینگ چرخ سنگ از سیال دوم که شامل ترکیبی از اسید هیدروکلریک، اسید نیتریک، اسید استیک و کلرید آهن (III) بود، استفاده گردید. انجام فرایند سنگ‌زنی در حضور سیال شماره سه منجر به ثبت میزان لودینگ چرخ سنگ برابر با ۵/۸۹۹ درصد گردید. در مرحله بعد از سیال چهارم که شامل اسید هیدروکلریک، اسید نیتریک، اسید استیک و اسید



الف



ب

شکل ۷ سطح چرخ‌سنگ قبل از سنگ‌زنی در حضور امولسیون (الف) بعد از سنگ‌زنی (ب)

جدول ۱ ترکیب شیمیایی سوپر آلیاژ اینکونل ۷۲۸

عناصر	درصد حداکثر	درصد حداقل
کرم	۱۶/۳	۱۵/۷
کبالت	۹	۸
آلومینیوم	۳/۷	۳/۲
کربن	۰/۱۳	۰/۹
برنز	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷
زیرکونیوم	۰/۰۶	۰/۰۳
مولیبدن	۲	۱/۵
تانتالیوم	۲	۱/۵
آهن	۰/۳	-
سیلیسیوم	۰/۰۵	-
منگنز	۰/۰۵	-
سولفور	۰/۰۰۳	-
نیوبیوم	۱/۱	۰/۶
تنگستن	۲/۸	۲/۴
تیتانیوم	۷/۳	۳/۲
نیکل	(فلز پایه)	(فلز پایه)

جدول ۲ سیال‌های مورد بررسی به همراه ترکیب و درصد حجمی آن‌ها

نوع سیال	ترکیب
امولسیون	آب (پایه)-روغن حل شونده ۳٪
سیال ۱	اسیداستیک ۳۳٪، اسیدنیتریک ۳۳٪ و اسید هیدروکلریک ۳۳٪
سیال ۲	اسید هیدروکلریک ۲۵٪، اسیدنیتریک ۲۵٪، اسیداستیک ۲۵٪ و کلرید آهن III ۲۵٪
سیال ۳	اسید هیدروکلریک ۲۵٪، اسیدنیتریک ۲۵٪، اسیداستیک ۲۵٪ و اسید هیدروفلوریک ۲۵٪
سیال ۴	اسید هیدروکلریک ۲۰٪، اسیدنیتریک ۲۰٪، اسید استیک ۲۰٪، کلرید آهن III ۲۰٪ و اسید هیدروفلوریک ۲۰٪

جدول ۳ مقدار ویسکوزیته اسیده‌های مورد استفاده در دمای محیط

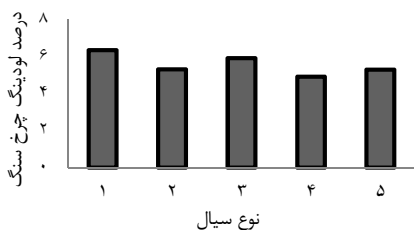
سیال	ویسکوزیته (mPa.s)
اسید استیک	۱/۰۴۷
اسیدنیتریک	۲/۷۵۰
اسید هیدروفلوریک	۰/۹۰۳
اسید هیدروکلریک	-

جدول ۴ مقدار حجم ماده برداشته شده در نمونه های اولیه

عمق فرسایش (μm)	مقدار حجم ماده برداشته شده (mm <sup>3</sup> )
۰/۰۴	۰/۰۳
۱	۱/۹۲
۲	۲/۰۳
۳	۲/۹۸
۴	۲/۱۶

می‌گردد. در این تحقیق ابتدا تأثیر امولسیون بر کاهش لودینگ بررسی شد که در شکل ۷ تصاویر تهیه شده از سطح چرخ‌سنگ توسط میکروسکوپ، قبل و بعد از انجام فرایند سنگ‌زنی نشان داده شده است. در شکل ۷-الف مشاهده می‌شود که سطح چرخ‌سنگ قبل از فرایند سنگ‌زنی دارای پستی و بلندی‌هایی بوده که شامل باند و دانه‌های ساینده می‌باشد که در طول فرایند

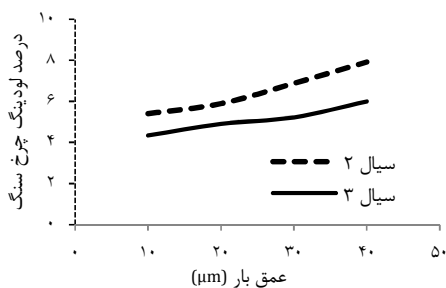
براده‌ها به میزان کمتری در فواصل دانه‌های ساینده چسبیده و یا قفل می‌شوند. در نتیجه به دلیل استفاده از سیال‌ها با میزان فرسایش‌های متفاوتی که در سطح اینکونل ۷۳۸ ایجاد می‌کنند مشاهده می‌شود که میزان کورشدگی تغییر می‌کند. بعد از بدست آوردن نتایج حاصل از سیال‌های مختلف، دو سیال که کمترین و بیشترین میزان درصد لودینگ را ایجاد نمودند انتخاب می‌گردند (به ترتیب سیال ۳ و ۲). در ادامه به بررسی تاثیر پارامتر عمق بار روی پدیده لودینگ و در حضور این دو سیال پرداخته می‌شود. جدول ۵ مقادیر مختلف عمق بار و حجم ماده برداشته شده را نشان می‌دهد. ابتدا سیال دوم با عمق بارهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. بعد از پردازش تصویر در عمق ۱۰ میکرومتر درصد لودینگ چرخ سنگ برابر با ۵/۴۰۳ درصد بدست آمد. در عمق بار ۳۰ میکرومتر میزان لودینگ ۶/۸۸۰ محاسبه گردید، این میزان لودینگ در عمق بار ۴۰ میکرومتر برابر با ۷/۶۱۹ بود. در مرحله دوم میزان عمق بارهای ذکر شده برای سیال سوم مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. در عمق بار ۱۰ میکرومتر مقدار محاسبه شده برای لودینگ ۴/۳۴۱ درصد بود. در حالت دوم با عمق بار ۳۰ میکرومتر مقدار ۵/۲۲۳ درصد برای کاهش لودینگ محاسبه گردید و در عمق بار ۴۰ میکرومتر این مقدار به ۵/۹۸۹ درصد می‌رسد. نتایج حاصل از تاثیر استفاده از این دو سیال روی لودینگ و در عمق بارهای متفاوت در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با بررسی مقادیر بدست آمده نتیجه گرفته می‌شود که سیال دوم به دلیل عمق فرسایش کمتر در سطح نمونه، افزایش درصد لودینگ در عمق بار بیشتر را به همراه داشته است. در صورتی که کاهش درصد لودینگ در سیال سوم تا عمق بیشتری ادامه داشته و این حاکی از تاثیر بیشتر سیال سوم بر سطح نمونه و در نتیجه کاهش لودینگ است.



شکل ۹ تاثیر سیال‌های مختلف بر میزان کورشدگی چرخ سنگ

جدول ۵ مقادیر مختلف عمق بار و حجم ماده برداشته شده

عمق بار (mm)	حجم ماده برداشته شده (mm <sup>3</sup> )
۰/۰۱	۳
۰/۰۲	۶
۰/۰۳	۹
۰/۰۴	۱۲



شکل ۱۰ مقادیر محاسبه شده برای لودینگ در عمق بارهای متفاوت



الف



ب

شکل ۸ سطح چرخ سنگ بعد از سنگ‌زنی در حضور امولسیون (الف) تصویر پردازش شده (درصد لودینگ ۶/۳۴۰) (ب)

هیدروفلوریک بود، استفاده شد. با تحلیل نتایج درصد کورشدگی چرخ‌سنگ در حضور سیال گفته شده برابر با ۴/۹۰۳ درصد بوده که نسبت به سیال‌های قبلی درصد کمتری را نشان می‌دهد. در آخر عملیات سنگ‌زنی در حضور ترکیبی که شامل اسید هیدروکلریک، اسید نیتریک، اسید استیک، کلرید آهن (III) و اسید هیدروفلوریک می‌باشد استفاده شد و هرکدام به میزان یکسان با هم ترکیب شده‌اند. پس از تحلیل تصویر و محاسبه درصد لودینگ در نرم‌افزار مشاهده شد که میزان لودینگ چرخ سنگ با این سیال ۵/۲۹۰ درصد می‌باشد. مقادیر لودینگ چرخ سنگ در فرایند سنگ‌زنی در حضور سیال‌های نامبرده، در جدول ۴ نشان داده شده است. علاوه بر آن در شکل ۹ مقایسه تاثیر استفاده از سیال‌های پیشنهادی در کاهش پدیده لودینگ در سنگ‌زنی سوپرآلیاژهای پایه نیکل نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده گردید در حالت استفاده از امولسیون به عنوان سیال در فرایند سنگ‌زنی، میزان لودینگ چرخ‌سنگ ثبت شد. در آزمایش دوم که اجانت به عنوان سیال انتخاب گردید میزان لودینگ نسبت به امولسیون کاهش بیشتری یافته و باعث بهبود و افزایش عمر چرخ‌سنگ گردید. در آزمایش سوم، با بررسی‌های انجام شده مشاهده شد که استفاده از سیال دوم باعث کاهش لودینگ چرخ سنگ نسبت به حالت امولسیون گردیده اما نسبت به سیال اول بیشتر می‌باشد. با بررسی سیال سوم به این نتیجه می‌رسیم که میزان کورشدگی چرخ سنگ کاهش چشمگیری داشته که این کاهش ناشی از افزودن اسید هیدروفلوریک به سیال می‌باشد. در سیال چهارم مشاهده شد که این سیال نسبت به حالت استفاده از سیال سوم باعث افزایش پدیده کورشدگی شده اما در مقایسه با حالت امولسیون و سیال اول میزان کاهش اندکی در کورشدگی چرخ سنگ مشاهده می‌گردد. در سیال پنجم میزان لودینگ نسبت به آزمایش اول تا سوم افزایش داشته و نسبت به آزمایش چهارم کاهش داشت.

این تغییرات در لودینگ چرخ‌سنگ با استفاده از اجانت، به دلیل خاصیت اسیدیته بودن سیال است که منجر به فرسایش لایه‌ای از سطح نمونه می‌گردد، این فرسایش یک پیش ماشین‌کاری می‌باشد و زمانی که چرخ‌سنگ شروع به برداشت براده از سطح می‌کند، این لایه به راحتی از سطح نمونه برداشته شده و به دلیل پیش ماشین‌کاری که از قبل بر روی آن انجام شد،

## ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی میزان لودینگ چرخ‌سنگ CBN در سنگ‌زنی سوپرآلیاژ اینکونل ۷۳۸ در حضور چند نوع سیال پرداخته شده است، با توجه به تأثیر سیال در میزان لودینگ، پنج ماده به‌عنوان سیال ماشین‌کاری انتخاب گردید. بعد از انجام آزمایش‌ها و بررسی تأثیر هر کدام نتایج زیر حاصل گردید:

- در اچانت‌های مورد استفاده به دلیل وجود پیش ماشین‌کاری که قبل از فرآیند سنگ‌زنی ایجاد می‌شود به‌طور کلی پدید لودینگ در مقایسه با استفاده از امولسیون کاهش می‌یابد.
- در حالت استفاده از ترکیب اسید هیدروکلریک، اسید نیتریک، اسید استیک و کلرید آهن (III) مشاهده می‌شود که میزان کورشدگی نسبت به حالت استفاده از اچانت به میزان اندکی کاهش داشته است. با اضافه کردن اسید هیدروکلریک مشاهده شد که به دلیل پیش ماشین‌کاری بیشتری که توسط اسید هیدروکلریک ایجاد می‌شود میزان کورشدگی بسیار کاهش می‌یابد. در بررسی‌های انجام شده برای بررسی تأثیر سیال چهارم شامل اسید هیدروکلریک، اسید نیتریک، اسید استیک، کلرید آهن (III) و اسید هیدروکلریک مشاهده گردید که این سیال در مقایسه با سیال سوم باعث افزایش میزان کورشدگی شده اما در مقایسه با سایر سیال‌های مورد بررسی میزان لودینگ را کاهش می‌دهد.
- در مورد سیال‌های پیشنهادی می‌توان گفت که سیال سوم به دلیل وجود اسید هیدروکلریک تأثیر بیشتری بر کاهش کور شدن چرخ سنگ دارد. علاوه بر موارد ذکر شده می‌توان اضافه کرد که تغییر عمق ماشین‌کاری و سایر پارامترهای ماشین‌کاری منجر به تغییر درصد لودینگ چرخ‌سنگ شده که در این‌جا با افزایش عمق برش این درصد نیز افزایش می‌یابد.
- به طور کلی می‌توان دریافت که با استفاده از سیال‌های بررسی شده در آزمایش‌های می‌توان میزان کورشدگی را کاهش داد که با توجه به تأثیرات منفی این سیال‌ها باز هم می‌توان از آنها به عنوان سیال‌های مفید در ماشین‌کاری نام برد.

## ۵- تشکر و قدردانی

از آزمایشگاه شیمی دانشگاه رازی کرمانشاه، همچنین از آزمایشگاه خواص مواد و دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی اصفهان به جهت در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی و کارگاهی تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

## ۶- مراجع

- [1] A. Azizi, S.M. Rezaei, A. Rahimi, Study on the rotary cup dressing of CBN grinding wheel and the grinding performance, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 47, pp. 1053-1063, 2010.
- [2] P. Zhang and M.H. Miller, Grinding wheel loading with and without vibration assistance, *The Eighteenth Proceeding of the ASPE Annual Meeting, Portland Oregon*, pp. 529-533, 2003.
- [3] R. Cai, W.B. Rowe, M.N. Morgan, The effect of porosity on the grinding performance of vitrified CBN wheels, *Key Engineering Material*, Vol. 238, pp. 295-300, 2003.
- [4] A. Cameron, R. Bauer, A. Warkentin, An investigation of the effects of wheel-cleaning parameters in creep-feed grinding, *International Journal of Machine Tools Manufacture*, Vol. 50, No.1, pp. 126-130, 2010.
- [5] Z. Shi, A. Elfizy, B. St-Pierre, H. Attia, Grinding characteristics of a nickel-based alloy using vitrified CBN wheels, *International Journal of Abrasive Technology*, Vol. 5, pp. 1-16, 2012.
- [6] D.G. Thakur, B. Ramamoorthy, L. Vijayaraghavan, Machinability investigation of Inconel 718 in high-speed turning, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 45, pp. 421-429, 2009.
- [7] H. Adibi, S.M. Rezaei, A.D. Sarhan, Analytical modeling of grinding wheel loading phenomena, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 68, pp. 473-485, 2013.
- [8] L. Coes, *Abrasives*, pp. 120-154, Wien, New York: Springer-Verlag, 1971.
- [9] R. Komanduri, and M. C. Ahow, The Mechanism of Metal Built-Up on Aluminum Oxide Abrasive, *Annual of CRIP*, Vol. 25, p. 191-168, 1976.