مجله مهندسی مکانیک مدرس، فروردین ۱۳۹۳، دوره ۱۴، شماره ۱، ص‌ص ۸۳-۸۸

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

# بررسی عمر ابزار سرامیکی ساده و وایپر با روانکاری کمینه در تراشکاری با سرعت بالای سوپرآلیاژ مونل K500

سعید امینی[۱*]، حسین خاکباز[۲]

۱- استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان

* کاشان، صندوق پستی ۸۷۳۱۷۵۱۱۶۷ amini.s@kashanu.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۰۹ شهریور ۱۳۹۲

پذیرش: ۱۵ مهر ۱۳۹۲

ارائه در سایت: ۰۱ بهمن ۱۳۹۲

*کلید واژگان:*

روانکاری کمینه

تراشکاری

سایش ابزار

زبری سطح

**چکیده**

استفاده از روانکاری کمینه در فرایند ماشینکاری یکی از روش های جدید در روانکاری فرایندهای ماشینکاری است که باعث بهبود فرایند می‌گردد. در این تحقیق، نقش روانکاری کمینه در سایش ابزار در تراشکاری مونل K500 بررسی می‌شود. ابزارهای مورد استفاده شامل ابزار سرامیکی ساده و ابزار سرامیکی وایپر می‌باشد. با آماده‌سازی فرایند بر روی دستگاه تراش آزمایش‌های لازم انجام می‌گیرد. در طول انجام آزمایش‌ها نیرو و زبری سطح و سایش ابزار اندازه‌گیری می‌شود و مقایسه این پارامترها براساس طول ماشینکاری انجام می‌گیرد. نتایج نشان داد که روانکاری کمینه باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در نرخ سایش ابزار می‌شود. همچنین ابزار سرامیکی وایپر نرخ سایش کمتری نسبت به ابزار سرامیکی معمولی دارد.

# Investigation of tool life with simple and viper ceramic tools in near dry machining in high speed turning

**Said Amini[1*], Hosein Khakbaz[2]**

1- Department of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran.
* P.O.B. 8731751167, Kashan, amini.s@kashanu.ac.ir

**ARTICLE INFORMATION**

Original Research Paper
Received in Revised Form 31 August 2013
Accepted 07 October 2013
Available Online 21 January 2014

*Keywords:*
Near dry lubrication
Turning
Tool wear
Surface roughness

**ABSTRACT**

Using of minimum quantity of lubricant in near dry machining is one the new method in machining processes that causes improvement of process. In this study, the role of near dry lubrication is investigated on tool wear in turning of Monel K500. The used tools are consisted of simple and viper ceramic tools. After preparation of process on lathe machine, the designed experiments are done. During the experiments force, surface roughness and tool wear are measured. The obtained results confirm that near dry lubrication causes the reduction of tool wear considerably. Also, viper ceramic tool has less tool wear rather than simple ceramic tool.

## ۱- مقدمه

عملکرد اصلی روانکارها، خنک‌کاری و روانکاری و سپس کاهش سختی فرآیند در ارتباط براده با ابزار و قطعه‌کار با ابزار است. یک روانکار تأثیر قابل توجهی بر درجه حرارت منطقه ماشینکاری، تنش‌های نرمال، برشی و توزیع آن‌ها در طول محل ارتباط ابزار-براده و ابزار-قطعه‌کار، سایش ابزار، یکپارچگی سطح ماشینکاری‌شده و تنش‌های پسماند در قطعات ماشینکاری شده می‌گذارد. با توجه به معایب روانکارها، که عمدتا هزینه بالا و مسائل زیست‌محیطی می‌باشد، استفاده از روش حداقل مقدار روانکار (در ماشینکاری با روانکاری کمینه) با روانکار گیاهی به‌عنوان جایگزین روش روانکاری سنتی به‌عنوان یکی از راهکارهای موجود مطرح است. در ماشینکاری نیمه‌خشک سیال خنک‌کننده مخلوطی از هوا و روغن به‌صورت اسپری است که به‌صورت پریودیک به منطقه ماشینکاری پاشش می‌شود. قطرات کوچک روغن که در اندازه چند میکرون می‌باشد به‌طور مستقیم به سر ابزار منتقل می‌شود و هر دو عمل خنک‌کاری و روانکاری انجام می‌گیرد. بررسی نشان می‌دهد استفاده از این نوع ماشینکاری صافی سطح قطعه تولیدی را بهبود می‌دهد. یکی از روانکارهای مورد استفاده در این روش روغن گیاهی است که اثرات مخرب روانکارهای معدنی و شیمیایی را ندارد[۱]. پارامترهای موثر در کاربرد روانکاری کمینه عبارت‌اند از: دبی سیال، موقعیت نازل، جهت پاشش اسپری و فشار هوای خروجی نازل. شرایط بهینه این پارامترها به نوع ابزار و فرآیند مورد استفاده بستگی دارد. در این زمینه در فرآیندهای مختلف تحقیقات

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

**Please cite this article using:**

S. Amini, H. Khakbaz, Investigation of tool life with simple and viper ceramic tools in near dry machining in high speed turning, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 1, pp. 83-88, 2014 (In Persian)

متعددی انجام شده است.

ابی کاوا و همکارانش در سال ۲۰۰۶[۲] روانکاری کمینه، روانکاری معمولی و شرایط خشک را در شیار تراشی با سرعت بالا روی فولاد کم کربن مقایسه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند روانکاری کمینه سایش ابزار را کاهش می‌دهد. همچنین مکانیزم انتقال بخار روغن به منطقه ماشینکاری نقش مهمی در روانکاری این منطقه و کاهش سایش ابزار دارد. برونی و همکارانش در سال ۲۰۰۶[۳] تراشکاری فولاد زنگ نزن AISI 420B را تحت شرایط روانکاری معمولی، روانکاری کمینه و خشک مورد بررسی قرار دادند. ابزار مورد استفاده در ۲ نوع اینسرت معمولی و وایپر و بستر ماشین مورد استفاده در آزمایش‌ها نیز از ۲ جنس چدن و بتن پلیمری بود. نتایج حاصل از این تحقیق از این قرار است: روش خنک‌کاری تاثیر چندانی روی سایش ابزار نداشت در حالی که روانکاری معمولی بدترین زبری سطح را داشت؛ اینسرت وایپر کیفیت سطح بهتری نسبت به نوع معمولی داشت و استفاده از بستر پلیمری باعث کاهش سایش ابزار و زبری سطح می‌شود. دار و همکارانش در سال ۲۰۰۶[۴] اثر روانکاری کمینه را روی سایش ابزار و زبری سطح در تراشکاری فولاد AISI 4340 بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که روانکاری کمینه باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در نرخ سایش ابزار و زبری سطح همچنین دمای منطقه ماشین‌کاری می‌شود. کاماتا و ابی کاوا در سال ۲۰۰۷[۵] تاثیر حداقل مقدار روانکار را در تراشکاری سوپر آلیاژ اینکونل ۷۱۸ با سه نوع اینسرت کاربایدی بررسی کردند. پوشش اینسرت‌های انتخاب شده TiCN/Al2O3/TiN (CVD)، TiN/AlN (PVD) و TiAlN (PVD) بود. مقایسه نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها در شرایط روانکاری معمولی، خشک و روانکاری کمینه نشان داد که اینسرت با پوشش TiCN/Al2O3/TiN در شرایط روانکاری کمینه بهترین عملکرد را داشت و بعد از آن اینسرت با پوشش TiN/AlN با روانکاری کمینه عملکرد خوبی داشت. بیشترین عمر ابزار از اینسرت با پوشش TiCN/Al2O3/TiN در شرایط روانکاری معمولی بود اما کیفیت سطح مطلوبی نداشت. همچنین مشخص شد استفاده از گاز آرگون به‌جای هوای فشرده در روانکاری کمینه نتایج بهتری در خنک‌کاری منطقه برش دارد. لیائو و همکارانش در سال ۲۰۰۷[۶] فرزکاری سرعت بالا با ابزار کاربایدی روی فولاد سخت شده NAK 80 را در شرایط روانکاری معمولی، خشک و روانکاری کمینه مقایسه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که عمر ابزار در روانکاری معمولی کمترین می‌باشد و روانکاری کمینه بهترین عملکرد روی عمر ابزار را دارد. همچنین روانکاری کمینه در مقایسه با برش خشک تشکیل لبه انباشته را به‌تاخیر انداخته و در سرعت برش بالاتر عمر ابزار را بهبود می بخشد. داویم و همکارانش در سال ۲۰۰۸[۷] براساس مطالعاتی که در مورد تراشکاری برنج داشتند پارامترهای ماشین‌کاری و روانکاری کمینه را بهینه‌سازی کرده‌اند. آن‌ها این گونه نتیجه گرفتند که با انتخاب درست سیستم روانکاری کمینه می‌توان به نتایجی بهتر از شرایط روانکاری مرطوب رسید. با مقدار دبی ۲۰۰ میلی‌لیتر بر ساعت و سرعت برش ۲۰۰ متر بر دقیقه و سرعت پیشروی ۰/۰۵ میلی‌متر بر دور کمترین مقدار زبری سطح و نیروی ماشین کاری به‌دست آمد. رونان اترت و همکارانش در سال ۲۰۰۸ تراشکاری روی فولاد سخت شده بیرینگ را در شرایط خشک و روانکاری کمینه مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد روانکاری کمینه زبری سطح، سایش ابزار و دمای ماشینکاری را کاهش می‌دهد و همچنین کاهش کمی را در نیروی ماشینکاری دارد. آن‌ها نتیجه گرفتند که روانکاری کمینه دمای منطقه ماشینکاری را حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد. نیروهای ماشینکاری در ۲ حالت روانکاری کمینه و خشک تفاوتی چندانی ندارد. در سال ۲۰۰۸ تاسدلن و همکارانش[۹] تاثیر شرایط مختلف روانکاری (روانکاری معمولی، روانکاری کمینه و بدون روانکار) را در تراشکاری فولاد در زمینه طول سطح تماس براده و ابزار و تشکیل براده مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که روانکاری کمینه نسبت به تراشکاری خشک طول تماس کمتری دارد. روانکاری معمولی با امولوسیون کمترین طول تماس را دارد. در تراشکاری خشک براده‌ها پهن‌تر بود. اثر روغن و هوای فشرده روانکاری کمینه روی طول تماس نقش آن‌ها را در فرآیند روشن می‌سازد. آن‌ها نتیجه گرفتند حداقل مقدار روانکار روش مناسبی برای روانکاری در ماشینکاری است. خان و همکارانش در سال ۲۰۰۹[۱۰] دریافتند که ماشینکاری نیمه‌خشک با روغن گیاهی می‌تواند نیروهای برش در تراشکاری فولاد AISI ۹۳۱۰ را تقریباً ۵ تا ۱۵ درصد کاهش دهد. آن‌ها این کاهش و همچنین بهبود عمر ابزار و کیفیت سطح ماشینکاری شده را به کاهش دمای ناحیه برش نسبت دادند که می‌تواند به‌عنوان دلیل عمده برای بهبود عملیات براده‌برداری تلقی شود. به گفته آن‌ها دمای منطقه ماشینکاری در شرایط روانکاری کمینه نسبت به شرایط روانکاری معمولی ۱۰ درصد کاهش دارد. در سال ۲۰۰۹ آسانو و همکارانش[۱۱] شرایط روانکاری کمینه را در تراشکاری اینکونل ۷۱۸ شبیه‌سازی کردند. تغییرات دبی روغن و سرعت جریان هوای فشرده برای سه نوع نازل اعمال شد. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی با مشاهدات تجربی مقایسه شد و نتایج مشابه به‌دست آمد. از بین نازل‌های طراحی شده نازل با پاشش مایل بهترین عملکرد را داشت. عبدالحصیب و همکارانش در سال ۲۰۱۰[۱۲] تاثیر روانکاری کمینه را در فرآیند تراشکاری فولاد با درصد کربن متوسط بررسی کردند. آن‌ها آزمایش‌های خود را در شرایط روانکاری معمولی, خشک و روانکاری کمینه انجام دادند. مقایسه نتایج نشان داد روانکاری کمینه دمای ماشینکاری را ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد همچنین باعث کاهش سایش ابزار و بهبود عمر ابزار می‌شود. در سال ۲۰۱۱ آلبردی و همکارانش [۱۳] تاثیر روانکاری کمینه را در سنگ‌زنی بررسی کردند. آن‌ها نوعی نازل جدید را طراحی و در سنگ‌زنی به‌کار گرفتند. نتایج آزمایش‌های انجام گرفته نشان داد روانکاری کمینه عمر ابزار را بهبود و زبری سطح را کاهش می‌دهد.

در این تحقیق با بررسی عمر ابزار سرامیکی معمولی و وایپر بر روی سوپر آلیاژ و همچنین تنظیم موقعیت نازل آن کار جدیدی انجام شده است. ابتدا آماده‌سازی فرآیند شامل طراحی و ساخت ابزار و قید و بندهای مربوطه، آماده‌سازی دستگاه روانکاری کمینه و نصب مجموعه بر روی دستگاه تراش انجام می‌گیرد. آزمایش‌های اولیه انجام و شرایط بهبود یافته برای موقعیت نازل به‌دست می‌آید. برای اندازه‌گیری عمر ابزار آزمایش‌های مربوطه انجام و نیروی ماشین‌کاری، زبری سطح و سایش ابزار در ماشینکاری خشک و نیمه‌خشک بر روی سوپر آلیاژ مونلK500 اندازه‌گیری می‌شود. آزمایش‌ها با دو ابزار سرامیکی وایپر و معمولی انجام می‌شود. در نهایت با نمودارها و تصاویر مقایسه بین فرایندها با ابزار سرامیکی معمولی و وایپر انجام می‌شود.

## ۲- ماشینکاری با روانکاری کمینه

در ماشینکاری با روانکاری کمینه، حجم بسیار کمی از روانکار در هر لحظه با هوا مخلوط شده و به محل ماشینکاری پاشیده می‌شود. دبی روانکار در این روش، نسبت به استفاده سنتی از سیال برشی و استفاده از سیال برشی تحت فشار، بسیار کمتر است.

جهت تولید سیال روانکار در روانکاری کمینه، که مخلوط هوا روغن به‌صورت اسپری است، نیاز به یک وسیله ریزساز می‌باشد. توسط این دستگاه قطرات کوچک روغن به‌اندازه ۱۰ تا ۵۰ میکرون تولید می‌شود. روش مورد

استفاده در تحقیق انتقال روانکار با نازل خارجی می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، قسمت‌های اصلی دستگاه مورد استفاده در این تحقیق عبارت‌اند از: کنترل فشار هوای ورودی، کنترل فشار هوای خروجی، کنترل دبی روغن و شیر فرکانسی.

شیر فرکانسی دفعات ارسال روانکار توسط پمپ را تنظیم می‌کند. روانکار توسط یک لوله مویین تا نازل هدایت شده و توسط هوایی که به‌وسیله شیلنگ بیرونی تا سر نازل هدایت شده است، ریزسازی شده و به لبه ابزار پاشیده می‌شود. به کمک این دستگاه لبه ابزار با فیلم نازک و پایداری از روانکار پوشیده می‌شود که ایجاد گرما در ابزار و قطعه کار را کاهش می‌دهد. پمپ دقیق طراحی شده برای این دستگاه مقدار قابل تنظیمی ( کمتر از ۸۰۰ میلی‌لیتر بر ساعت) از روانکار را به نازل ارسال می‌کند.

## ۳- آماده‌سازی فرایند

تجهیزات مورد استفاده برای انجام آزمایش عبارت‌اند از:

قطعه‌کار: میل‌گرد به قطر ۱۰۸ میلی‌متر و طول ۵۰۰ میلی‌متر از جنس سوپر آلیاژ مونل K500 می‌باشد. مونل یک آلیاژ نیکل-مس می‌باشد که استحکام بالا و مقاومت در برابر خوردگی عالی از ویژگی‌های آن می‌باشد. ازجمله موارد مصرف مونل K500 ساخت زنجیر، کابل و فنر برای صنایع دریایی، اجزای پمپ و شیر برای فرآیندهای شیمیایی، صنایع تولید کاغذ، ابزار حفاری برای چاه‌های نفت، سنسور و قطعات الکترونیک می‌باشد.

دستگاه تراش مدل TN50A و ساخت ماشین‌سازی تبریز می‌باشد. این دستگاه جهت انجام آزمایش‌های تراشکاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دینامومتر پیزوالکتریک مدل 9257B و ساخت شرکت کیستلر است. این وسیله جهت اندازه‌گیری نیروهای ماشینکاری استفاده می‌شود.

زبری‌سنج مدل PS1 و ساخت شرکت ماهر است. این وسیله جهت اندازه‌گیری زبری سطح استفاده می‌شود. زبری میانگین سطوح ماشینکاری در سه نقطه از قطعه‌کار اندازه‌گیری و میانگین مقادیر زبری متوسط ثبت می‌شود.

اینورتر VFD-B و ساخت شرکت دلتا می‌باشد. برای ثابت بودن سرعت برش باید سرعت اسپیندل در عمق‌های برش متفاوت تغییر کند. از طرفی به‌دلیل پله‌ای بودن دور اسپیندل دستگاه تراش نمی‌توان سرعت پیوسته‌ای داشت. برای رفع این مشکل از این وسیله استفاده می‌شود، به‌طوری که بتوان شرایط ماشینکاری (سرعت برشی) را در عمق‌های برش مختلف ثابت نگه داشت.

دستگاه روانکاری کمینه مدل رویال R50 جهت ایجاد اسپری مخلوط هوا و روغن همراه با نازل بیرونی. این دستگاه برای ایجاد شرایط ماشینکاری نیمه‌خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دو نوع اینسرت سرامیکی استفاده شده در جدول ۱ آمده است.

شکل ۲، آماده سازی فرایند روانکاری کمینه بر روی دستگاه تراش را نشان می‌دهد.

از خصوصیات آلیاژهای پایه نیکل تنش تسلیم بالا، استحکام کششی بالا، مقاومت به خستگی، مقاومت به خوردگی و اکسید شدن حتی در دماهای بالا می‌باشد.

**جدول ۱** اینسرت و هولدر تراشکاری

| | |
|---|---|
| 12 04 08 T01020 – 650 DNGA | اینسرت سندویک |
| DNGA 12 04 08 T01020WG – 650 | اینسرت سندویک |
| DCLNR 2525 M12 | هولدر سندویک |

**شکل ۱** دستگاه تولید مخلوط هوا روغن

**شکل ۲** آماده‌سازی فرایند روانکاری کمینه

ویژگی‌های مکانیکی این آلیاژها باعث سخت تراش شدن آن‌ها برای ساخت قطعات مورد استفاده در صنایع مختلف می‌شود و این آلیاژها را در رده مواد با خواص ماشینکاری ضعیف قرار می‌دهد. سختی و استحکام بالا در دمای ماشینکاری و دمای بالا در منطقه برش موجب تغییر شکل پلاستیک لبه برشی ابزار می‌گردد. علاوه بر این تمایل به کارسختی در حین ماشینکاری موجب سایش ابزار می‌شود. در سوپر آلیاژ مونل k۵۰۰ به‌علت چقرمگی بالای ماده شرایط براده‌شکن در تراشکاری بسیار سخت انجام می‌گیرد. به‌علاوه کارسختی در طول ماشینکاری باعث می‌شود شرایط براده‌شکنی سخت‌تر شود. در زمان ماشینکاری، به‌علت قابلیت هدایت حرارتی پایین، درجه حرارت ابزار سریعاً افزایش می‌یابد. جوش خوردن ماده به نوک ابزار منجر به شکل-گیری لبه انباشته می‌شود. همه این موارد منجر به سایش ابزار زیاد، نرخ براده‌برداری پایین و کیفیت سطح پایین می‌شود. بالا رفتن دما بر روی شکل-گیری براده، نیروهای برشی و عمر ابزار تاثیر می‌گذارد. بنابراین، کاهش این دما اهمیت بسیار زیادی دارد. با توجه به اینکه براده در محل تماس با ابزار به‌شدت به ابزار فشرده می‌شود، امکان نفوذ روانکار به این منطقه بسیار کم است. با افزایش سرعت برش امکان نفوذ روانکار به این منطقه غیر ممکن می-شود. استفاده از روانکاری کمینه اگر در جهت مناسب به‌کار گرفته شود باعث می‌شود تا روانکار به طور مناسب به منطقه برش نفوذ داشته، روانکاری و خنک‌کاری موثر انجام پذیرد.

## ۴- انجام آزمایش‌ها

ابتدا آزمایش‌های اولیه جهت به‌دست آوردن شرایط بهبود یافته برای پارامترهای روانکاری کمینه انجام شد. عوامل متعددی در تاثیر مناسب روش روانکاری

کمینه روی فرآیند دخالت دارد؛ ازجمله: مقدار دبی روغن، فشار هوای خروجی، موقعیت نازل نسبت به ابزار، فاصله نازل از سر ابزار، تعداد دفعات ارسال روانکار در دقیقه و طراحی نازل. حداکثر دبی روغن دستگاه MQL (روانکاری کمینه) مورد استفاده در تحقیق ۸۰۰ میلی‌لیتر در ساعت است که جهت رسیدن به دبی مناسب در آزمایش‌های مختلف برای رسیدن به حداقل زبری سطح مقدار دبی ۱۱۰ میلی‌لیتر بر ساعت به‌دست آمده است. بعد از آن آزمایش تعداد دفعات ارسال روانکار به منطقه ماشین‌کاری انجام می‌شود. عملکرد شیر فرکانسی به این صورت است که در یک دقیقه تعداد دفعات ارسال روغن به محفظه اختلاط را تنظیم می‌کند. حالت پیوسته آن به‌طور مداوم روغن ارسال می‌کند و مخلوط روغن و هوا پیوسته و بدون قطع روغن به منطقه برش ارسال می‌شود. در تمام حالت‌ها فقط روغن قطع و وصل می‌شود و هوای فشرده از این شیر کنترل نشده و مدام جریان دارد. پس از انجام آزمایش با تواترهای مختلف، شرایط بهبود یافته زبری سطح برای تواتر سیال ۱۰ سیکل بر دقیقه به‌دست آمده است.

سپس تاثیر جهت پاشش روانکار و فاصله نازل تا منطقه ماشینکاری بررسی شد و با تنظیم زاویه نازل و فاصله نازل از سر ابزار، شرایط بهبود یافته زبری سطح با فاصله نازل ۵ سانتی‌متر از سر ابزار و زاویه آن مطابق شکل ۳ به‌دست آمد.

زوایای به‌دست آمده منحصرا مربوط به هولدر استفاده شده و فرآیند تراشکاری است. در فرآیندهای مختلف شرایط روانکاری کمینه متفاوت می‌باشد. به‌علت نفوذ مناسب روانکار به منطقه برش نازل سمت چپ با زاویه ۶۰ درجه نسبت به محور کار قرار می‌گیرد. این امر باعث می‌شود روانکار از جهت مقابل و موافق حرکت براده به حد فاصل ابزار قطعه‌کار وارد گردد. با توجه به هندسه ابزار بهترین زاویه حدود ۶۰ درجه به‌دست آمده است. همچنین، توسط نازل سمت راست روانکار از بالای ابزار به منطقه ماشینکاری ارسال می‌شود. توسط این نازل روانکاری در فصل مشترک ابزار و براده صورت می‌گیرد. زوایای مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و در زوایای ۴۰ تا ۵۵ درجه نتایج مشابه در زبری سطح به‌دست آمده است. پس از آن با توجه به شرایط فوق آزمایش عمر ابزار بر روی قطعه کار مونل K500 انجام می‌شود. در معیار عمر ابزار، اندازه‌گیری سایش کناره ابزار $V_B$ مهم‌تر است به این دلیل که باعث افزایش نیروهای برش و زبری سطح می‌شود. پس از این که مقدار متوسط $V_B$ به یک میزان محدود مثل ۳۰۰ میکرومتر می‌رسد عمر ابزار، که معمولا در اثر سایش می‌شکند با زمان یا طول ماشینکاری ارزیابی می‌شود. بنابراین، انجام آزمایش‌های عمر ابزار برمبنای سایش کناری $V_B$ می‌باشد. در این تحقیق، سعی بر آن شده که با انتخاب پارامترهای برش بهینه برای ابزار سرامیکی ساده و وایپر و جنس مواد سوپر آلیاژ مونل K500 با شرایط روانکار و بدون روانکار عمر ابزار اندازه‌گیری و مقایسه شود. با توجه به ثابت بودن سرعت برش، پس از هر بار تراش، چون قطر قطعه کم می‌شود، باید سرعت دورانی قطعه‌کار افزایش یابد و با انجام محاسبه، سرعت دورانی توسط اینورتر تنظیم و اصلاح می‌گردد. پارامترهای برش طبق جدول ۲ می‌باشد. پس از هر پاس ماشینکاری زبری سطح طول قطعه در ۸ قسمت و هر قسمت ۳ بار اندازه‌گیری و میانگین هر قسمت یادداشت می‌گردد. همچنین سایش ابزار پس از هر پاس ماشینکاری اندازه‌گیری و تصویربرداری می‌شود.

در جدول ۲، $Vc$ سرعت برش، $ap$ عمق برش و $f$ سرعت پیشروی می‌باشد. پس از انجام آزمایش عمر ابزار سرامیکی ساده و وایپر در تراشکاری خشک شرایط آزمایش برای انجام آزمایش با شرایط روانکاری کمینه مهیا شد.

**جدول ۲** شرایط آزمایش عمر ابزار در تراشکاری خشک

| | |
|---|---|
| $Vc$ | ۲۰۰m/min |
| $ap$ | ۰/۲mm |
| $f$ | ۰/۱۸mm/rev |

**جدول ۳** شرایط آزمایش عمر ابزار در تراشکاری با روانکاری کمینه

| | |
|---|---|
| $Vc$ | ۲۰۰m/min |
| $ap$ | ۰/۲mm |
| $f$ | ۰/۱۸mm/rev |
| $Pair$ | ۴bar |
| $Q$ | ۱۱۰ml/h |
| $F$ | ۱۰/min |
| موقعیت نازل | مطابق شکل ۳ |

پارامترهای برش طبق جدول ۳ می‌باشد. آزمایش مانند حالت قبل با اندازه‌گیری زبری سطح و سایش ابزار تکرار گردید و نتایج حاصله ثبت گردید.

در جدول ۳، $Vc$ سرعت برش، $ap$ عمق برش، $f$ سرعت پیشروی، $Pair$ فشار هوای خروجی نازل، $Q$ دبی روغن و $F$ تواتر ارسال روانکار می‌باشد.

## ۵- نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها نتایج نیرو، زبری و سایش ابزار در طول ماشینکاری حاصل گردید. نتایج آزمایش‌های عمر ابزار سرامیکی در تراشکاری سوپر آلیاژ مونل K500 به‌صورت شکل‌های ۴ تا ۶ در زمینه زبری سطح، نیروی ماشینکاری و سایش کناری ابزار نشان داده شده است.

در شکل ۴، زبری سطح حاصل از مراحل مختلف آزمایش عمر ابزار در تراشکاری سوپر آلیاژ نشان داده شده است. نقش روانکاری کمینه به‌خوبی در شکل مشخص است.

**شکل ۳** تنظیم بهبود یافته نازل‌ها

**شکل ۴** مقایسه زبری سطح در تراشکاری سوپر آلیاژ با اینسرت‌های سرامیکی معمولی (C)، وایپر (W) در شرایط خشک (D) و روانکاری کمینه (M)

نمودار زبری سطح حاصل از ابزار سرامیکی وایپر و شرایط نیمه‌خشک کمترین مقدار را نشان می‌دهد. در نمودار زبری متوسط حاصل از ابزار سرامیکی معمولی و شرایط روانکاری کمینه نیز روند افزایش با شیب ملایم و بدون تغییرات شدید است، اما مقدار متوسط زبری نسبت به وایپر بیشتر است. با توجه به شکل، می‌توان نتیجه گرفت روش روانکاری کمینه علاوه بر کاهش زبری سطح در ادامه فرآیند نقش موثری در ثابت نگه داشتن شرایط برش دارد که این مورد در کاهش هزینه‌های ابزار موثر است.

پس از شروع ماشینکاری رفته رفته تیزی لبه ابزار کم می‌شود و لبه ابزار کند می‌شود در نتیجه سطح درگیر ابزار با قطعه‌کار بیشتر شده و موجب افزایش اصطکاک می‌شود. افزایش اصطکاک موجب افزایش نیروی ماشینکاری شده، همچنین، دمای سر ابزار نیز افزایش می‌یابد.

در شکل ۵، نیروی ماشینکاری در تراشکاری سوپر آلیاژ مونل با اینسرت‌های سرامیکی معمولی و وایپر در شرایط خشک و نیمه‌خشک نشان داده شده است. نیروی ماشینکاری اینسرت سرامیکی وایپر و تراشکاری نیمه‌خشک در شکل ۵ بهترین شرایط را دارد. افزایش نیرو با شیب کم و بدون تغییرات تا پایان آزمایش ادامه دارد و در پایان آزمایش کمترین مقدار را دارد.

در شکل ۶، سایش اینسرت‌های سرامیکی در تراشکاری سوپر آلیاژ پایه نیکل در شرایط خشک و روانکاری کمینه نشان داده شده است. با استفاده از روانکاری کمینه سرعت رشد $V_B$ به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. علت آن کاهش دمای سطح آزاد ابزار است. با کاهش دما، مقاومت به سایش و گرما سختی ابزار بیشتر می‌شود. بنابراین، سرعت فرسایش ابزار کاهش می‌یابد. این کاهش در سرعت رشد فرسایش، باعث افزایش عمر ابزار می‌شود. تا طول برش ۳۷۰ متر سایش در اینسرت‌ها با اختلاف کم تقریباً برابر است. روانکاری کمینه باعث می‌شود شرایط سایش ابزار به‌طور کنترل شده افزایش یابد.

شرایط سایش ابزارهای مورد استفاده در آزمایش عمر ابزار در شکل‌های ۷ تا ۱۰ نشان داده شده است.

در شکل ۷، سایش گوشه و کناری ابزار سرامیکی معمولی در تراشکاری خشک سوپر آلیاژ مونل K۵۰۰ نشان داده شده است. پدیده شکست ابزار در شکل به‌خوبی رویت می‌شود. در تراشکاری سوپر آلیاژ پایه نیکل به‌علت خصوصیات مکانیکی خاص این آلیاژها شرایط سایش ابزار خیلی شدید است. در تراشکاری این آلیاژها انتخاب جنس ابزار کمی مشکل‌تر است. اگر گرید سختی مناسب نداشته باشد، نتیجه سایش شدید ابزار است و اگر چقرمگی مناسب نداشته باشد، نتیجه شکست ابزار است. علاوه بر این، پایداری سیستم مخصوصاً در سرعت‌های برش بالا بسیار حائز اهمیت است. ارتعاش سیستم ماشینکاری در گریدهای بسیارسخت، مثل ابزارهای سرامیکی، منجر به شکست یا لب‌پریدگی ابزار می‌شود.

در شکل ۸، سایش گوشه و کناری ابزار سرامیکی معمولی در تراشکاری نیمه‌خشک سوپر آلیاژ مونل K۵۰۰ نشان داده شده است. روی شکل فقط سایش مشخص است و شکست ابزار حذف شده است. نقش روش روانکاری کمینه در پایداری سیستم در اینجا مشخص می‌شود.

در شکل ۹، سایش گوشه و کناری ابزار سرامیکی وایپر در تراشکاری خشک سوپر آلیاژ مونل K۵۰۰ نشان داده شده است. اثر سایش و لب‌پریدگی روی اینسرت مشخص است.

در شکل ۱۰، سایش گوشه و کناری ابزار سرامیکی وایپر در تراشکاری نیمه خشک سوپر آلیاژ مونل K۵۰۰ نشان داده شده است. اثر سایش روی اینسرت مشخص است. عمر ابزار در اثر سایش تدریجی بدون هیچگونه شکست به پایان رسیده است.

**شکل ۵** مقایسه نیروی ماشینکاری در تراشکاری سوپر آلیاژ با اینسرت‌های سرامیکی معمولی (C)، وایپر (W) در شرایط خشک (D) و روانکاری کمینه (M)

**شکل ۶** مقایسه سایش در تراشکاری سوپر آلیاژ با اینسرت‌های سرامیکی معمولی (C)، وایپر (W) در شرایط خشک (D) و روانکاری کمینه (M)

**شکل ۷** سایش گوشه و کناری ابزار سرامیکی معمولی در تراشکاری خشک سوپر آلیاژ مونل K500 با طول برش ۱۱۰۰ متر

**شکل ۸** سایش گوشه و کناری ابزار سرامیکی معمولی در تراشکاری با روانکاری کمینه سوپر آلیاژ مونل با طول برش ۱۱۰۰ متر

**شکل ۹** سایش گوشه و کناری ابزار سرامیکی وایپر در تراشکاری خشک سوپر آلیاژ مونل با طول برش ۱۱۰۰ متر

**شکل ۱۰** سایش گوشه و کناری ابزار سرامیکی وایپر در تراشکاری با روانکاری کمینه سوپر آلیاژ مونل با طول برش ۱۱۰۰ متر

## ۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سایش ابزار در فرایند تراشکاری سوپر آلیاژ مونل K500 با ابزار سرامیکی ساده و وایپر در دو فرایند ماشینکاری با روانکاری کمینه و ماشینکاری خشک بررسی شد. با آماده‌سازی فرایند، ابتدا آزمایش‌هایی با تغییر پارامترهای دبی سیال، تواتر سیال، زاویه نازل و فاصله نازل از ابزار انجام و شرایط بهبود یافته پارامترهای فوق در روانکاری کمینه حاصل گردید. سپس آزمایش عمر ابزار انجام و در نهایت نتایج زیر حاصل گردید:

پارامترهای دبی سیال، تواتر سیال، زاویه نازل و فاصله نازل در روش روانکاری کمینه تاثیر دارند.

با توجه به آزمایش‌های انجام شده شرایط بهبود یافته برای پارامترهای روانکار عبارت‌اند از: دبی سیال ۱۱۰ ml/h، تواتر سیال ۱۰/min، فاصله نازل از سر ابزار ۵ سانتی‌متر و زاویه نازل مطابق شکل ۳ می‌باشد.

تراشکاری با روانکاری کمینه سایش ابزار را کاهش می‌دهد و باعث بهبود عمر ابزار و کیفیت سطح می‌شود. همچنین، کاربرد سرعت برش و پیشروی بالاتر را امکان‌پذیر می‌سازد.

استفاده از ابزار سرامیکی وایپر سایش ابزار را کاهش می‌دهد و باعث بهبود عمر ابزار و کیفیت سطح می‌شود.

## ۷- مراجع


[1] S. A. Lawal, I. A. Choudhury, Y. Nukman, Application of vegetableoil-based metal working fluids in machining ferrous metals-A review, *Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol. 52, pp. 1–12, 2012.

[2] T. Obikawa, Y. Kamata, J. Shinozuka, High-speed grooving with applying MQL, *Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46, pp. 1854–1861, 2006.

[3] C. Bruni, A. Forcellese, F. Gabrielli, M. Simoncini, Effect of the lubrication-cooling technique, insert technology and machine bed material on the workpart surface finish and tool wear in finish turning of AISI 420B, *Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46 , pp. 1547–1554, 2006.

[4] N. R. Dhar, M. Kamruzzaman, A. Mahiuddin, Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel, *Journal Materials Processing Technology*, Vol. 172 , pp. 299–304, , 2006.

[5] Y. Kamata, T. Obikawa, High speed MQL finish-turning of Inconel 718 with different coated tools, *Journal Materials Processing Technology*, Vol. 192, pp. 281–286, 2007.

[6] Y. S. Liao, H. M. Lin, Y. C. Chen, Feasibility study of the minimum quantity lubrication in high-speed end milling of NAK80 hardened steel by coated carbide tool, *Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol. 47, pp. 1667–1676, 2007.

[7] J. Davim, V. N. Gaitonde, S. R. Karnik, Selection of optimal MQL and cutting conditions for enhancing machinability in turning of brass, *Journal Materials Processing Technology*, Vol. 204 ,pp. 459–464, 2008.

[8] B. Tasdelen, H. Thordenberg, D. Olofsson, An experimental investigation on contact length during minimum quantity lubrication (MQL) machining, *Journal materials processing technology*, Vol. 203 , pp. 221–231, 2008.

[9] A. Khan, M. A. H. Mithu, N. R. Dhar, Effects of minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oilbased cutting fluid, Journal Materials Processing Technology, Vol. 209 , pp. 5573–5583, 2009.

[10] Y. Asano, T. Obikawa, Y. Kamata, Computer fluid dynamics analysis for efficient spraying of oil mist in finish-turning of Inconel 718, *Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol. 49, pp. 971–978, 2009.

[11] Md. Abdul Hasib, A. Al-Faruk, N. Ahmed, Mist application of cutting fluid, *Journal Mechanical & Mechatronics Engineering*, Vol. 10, No. 4, 2010.

[12] R. Alberdi, J. A. Sanchez, I. Pombo, N. Ortega, B. Izquierdo, S. Plaza, D. Barrenetxea, Strategies for optimal use of fluids in grinding, *Journal Machine Tools & Manufacture*, Vol. 51 , pp. 491–499, 2011.