

بررسی نرخ فرسایش ابزار فولاد تندبر حین تراشکاری فولاد ۱۰۴۵ تحت شرایط خنک کاری به وسیله مبرد R410a در مقایسه با سیال آب-صابون

چکیده: در این تحقیق با استفاده از مبرد R410a در خنک کاری لبه برنده ابزار و مقایسه آن با سیال سنتی آب صابون، عمر ابزار و میزان فرسایش لبه برنده ابزار بررسی شد. نرخ سایش ابزار فولاد تندبر (HSS) در براده برداری فولاد 1045 (ck45) در سرعت های برشی ۱۵، ۲۵، ۴۰ و ۵۵ متر بر دقیقه، عمق های براده برداری ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلیمتر و مقادیر پیشروی ۰/۰۵، ۰/۱۲ و ۰/۲ میلیمتر بر دور در دو حالت خنک کاری سیال آب صابون و مبرد R410a بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که خنک کاری به وسیله مبرد R410a به علت قدرت سرمایش بالا و کنترل بهتر دمای محل برش نسبت به سیال آب صابون در فرآیند ماشینکاری، سبب کاهش میزان فرسایش ابزار گردیده و می تواند به عنوان یکی از سیالات مناسب خنک کاری به کار گرفته شود. بر اساس کمینه های مقدار فرسایش ابزار در شرایط مختلف، با استفاده از مبرد R410a می توان سرعت برشی را ۶۰ درصد افزایش داد و از ۲۵ به ۴۰ متر بر دقیقه رساند. همچنین در بهینه ترین حالت میزان فرسایش ابزار تا ۲۰ برابر بهبود می یابد و در سرعت برشی ۴۰ بر دقیقه، عمق براده برداری ۱ میلیمتر و مقدار پیشروی ۰/۰۵ میلیمتر بر دور، پس از گذشت ۶۰ دقیقه از زمان براده برداری، از ۴۰۰ به ۲۰ میکرومتر کاهش می یابد.

واژه های راهنما: فرسایش ابزار، خنک کاری تبریدی، زبری سطح، فولاد تندبر

محمد صادق سالاری
کارشناس ارشد

علیرضا مطهری

استادیار،
گروه مهندسی مکانیک،
دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه،
ساوه

غلامرضا خلج*

دانشیار، گروه مهندسی مواد،
دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه،
ساوه

مقاله علمی پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۵

Mohammad
Sadegh Salari
MSc.

Alireza Motahari
Assistant Professor,
Department of
Mechanical
Engineering, Saveh
Branch, Islamic Azad
University, Saveh

Gholamreza
Khalaj*
Associate Professor,
Department of
Material Engineering,
Saveh Branch, Islamic
Azad University,
Saveh

A study on tool wear rate of HSS cutting tool in turning 1045 steel using R410A as a cutting fluid over traditional wet machining

Abstract: In this research, using R410a coolant in cooling the cutting edge of the tool and comparing it with the traditional fluid of soapy water, the life of the tool and the wear rate of the cutting edge of the tool were investigated. The wear rate of high speed steel (HSS) tool in steel cutting (ck45) 1045 at cutting speeds of 15, 25, 40, and 55 meters per minute, cutting depths of 0.5, 1, and 1.5 mm and feed rate of 0.05, 0.12, and 0.2 mm /rev was investigated in two modes of liquid cooling, soapy water and R410a coolant. The obtained results show that cooling with R410a coolant, due to its high cooling power and better control of the temperature of the cutting area compared to the soapy water fluid in the machining process, has reduced the amount of tool wear and can be used as one of the suitable cooling fluids. Based on the minimum amount of tool wear in different conditions, by using R410a coolant, the cutting speed can be increased by 60% from 25 m/min to 40 m/min. Also, in the most optimal mode, the amount of tool wear is improved up to 20 times, and at a cutting speed of 40/min, the cutting depth is 1 mm and the feed rate is reduced from 400 to 20 micrometers.

Keywords: Tool wear, Cryogenic cooling, Surface roughness, Tool steel

۱- مقدمه

مختلفی با استفاده از سیال خنک‌کننده به کار گرفته شود که از آن جمله می‌توان به پیش‌خنک‌کاری قطعه کار، خنک‌کاری براده، خنک‌کاری ابزار برش و محدوده برشکاری اشاره کرد [۱۱ و ۱۲]. در این روش‌ها؛ ابزار برش و محدوده برشکاری با انتقال دما به صورت فوق سرد، خنک می‌شوند و این کار به وسیله هدایت سیال خنک‌کننده به سمت محدوده برش و اسپری کردن به صورت جت سیال با کمک نازل صورت می‌پذیرد. دماهای سرد همچنین برای مستحکم کردن ابزارهای برش به وسیله عملیات تبریدی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵-۱۳].

بسیاری از مطالعات صورت گرفته برای یافتن بهترین نتایج و مقایسه‌ای بین روش‌های متداول برشکاری و روش‌های خنک‌کاری فوق سرد انجام شده است، به عنوان مثال استفاده از جت نیتروژن مایع [۱۶ و ۱۷]، استفاده از خنک‌کاری فوق سرد غیر مستقیم نسبت به اسپری کردن نیتروژن مایع و خنک‌کردن ابزار نسبت به خنک‌کاری قطعه کار در سرعت‌های بالای برش در ماشینکاری فوق سرد [۱۸-۲۰].

آلودگی‌های زیست محیطی به وجود آمده به واسطه تجزیه سیالات برش در دماهای بالا، آلودگی آب و خاک هنگام دفع، تهدید بروز بیماری‌های بیولوژیکی برای اپراتور بر اثر بخارات سیالات، تماس فیزیکی و باکتری‌های موجود و بوی نامطبوع سیالات برش از جمله معایب استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده سنتی است که نیازمند فضای وسیع کاری و سیستم‌های متعددی برای پمپاژ، ذخیره، تصفیه کردن، بازیافت، خنک‌سازی و غیره می‌باشد [۲۱ و ۲۲]. افزایش عمر ابزار، خرد شدن بهتر براده‌ها، جابجا کردن راحت‌تر براده‌ها، قابلیت تولید بیشتر، کاهش هزینه‌های تولید، کیفیت سطح بهتر، محیط زیست پاک‌تر و سالم‌تر برای کارگران، از جمله مزایای خنک‌کاری فوق سرد (مانند نیتروژن مایع) نسبت به روش‌های خنک‌کاری سنتی هستند [۲۳].

یکی از مزایای اصلی خنک‌کاری فوق سرد، سرد کردن محدوده تماس ابزار و براده در سطح براده ابزار می‌باشد که از تولید حرارت بیش از حد به صورت ویژه جلوگیری به عمل می‌آورد که این موضوع در تحلیل‌های تنش تحت شرایط خنک‌کاری فوق سرد مشهود بوده و نشان داد که کاهش بیش از حد دما سبب کاهش چشمگیر تنش‌های اعمالی در سطح آزاد لبه ابزار برشی می‌شود و هیچ ترکی ایجاد نمی‌گردد [۲۴]. در پژوهش دیگر با تراشکاری فولاد تحت شرایط خنک‌کاری فوق سرد کیفیت سطح فوق العاده‌ای به دست آمد [۲۵]. در تحقیق دیگری انواع فولاد با ابزارهای مختلف تحت شرایط خنک‌کاری فوق سرد ماشینکاری شدند و نتایج حاکی از بهبود عمر ابزار در فرآیندهای ماشینکاری

یکی از پارامترهای مهم و موثر در فرآیندهای ماشینکاری عمر ابزار است که از دیدگاه آکادمیک بیانگر مدت زمانی است که می‌توان پس از تیز کردن ابزار، به وسیله آن عملیات براده برداری را انجام داد. مهم‌ترین موضوع در این زمینه اتلاف زمان و هزینه‌هایی است که در اثر کوتاه بودن عمر ابزار به فرآیند تولید لطمه می‌زند [۱ و ۲]. بنابراین بررسی روش‌های افزایش عمر ابزار همواره مورد توجه پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا بوده است [۳ و ۴]. یکی از رایج‌ترین روش‌های افزایش این پارامتر استفاده از سیالات خنک‌کننده می‌باشد که به سبب کاهش دمای ابزار از افزایش حرارت در لبه‌های برنده جلوگیری به عمل آمده و در نتیجه عمر ابزار افزایش می‌یابد [۵ و ۶].

گرمای بیش از حد و فرسایش ابزار مهم‌ترین فاکتورهای موثر بر بهره‌وری و قابلیت تولید فلزات به روش براده برداری می‌باشند. روش‌های مختلفی همچون ماشینکاری داغ [۱]، اعمال سیال خنک‌کننده با فشار بالا [۲]، روش سیال حداقل [۳] به وسیله محققان مختلف به منظور بهبود فرایندهای ماشینکاری مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یکی از این روش‌ها، استفاده از سیالات برش می‌باشد [۴]. روغن‌های برش خالص مستقیماً از روغن‌های معدنی و در بعضی موارد به همراه افزودنی‌هایی تولید می‌شوند و کاربرد آنها بیشتر در مواردی است که نیروی برشی بین ابزار و براده زیاد بوده و روان‌کاری در اولویت باشد [۵]. ولی مایعات حل‌شونده در آب برای سرعت‌های برشی بالاتر و زمانی که فشار روی ابزار نسبتاً کم باشد مناسب‌تر هستند این در حالی است که برای سرعت‌های برشی بسیار زیاد سیالات برش برای نفوذ به فضای بین ابزار و براده دچار مشکل می‌شوند [۶]. بنابراین از آنجایی که روانکارهای گازی این مشکل را ندارند، در مواردی که نفوذ سیال به فضای بین ابزار و براده سخت بوده و یا امکان پذیر نباشد از این نوع روانکار استفاده می‌شود [۷ و ۸].

وجود اصطکاک بین ابزار و قطعات کار حین عملیات ماشینکاری سبب افزایش دما و تاثیر منفی بر پارامترهای ماشینکاری به خصوص عمر ابزار است. خنک‌کاری ابزار در فرآیند ماشینکاری در افزایش سرعت برشی موثر بوده و امکان انجام فرآیند ماشینکاری در سرعت‌های بالاتر را فراهم می‌سازد. از ویژگی‌های قابل توجه خنک‌کاری فوق سرد در عملیات ماشینکاری می‌توان به بهبود چشمگیر عمر ابزار و پرداخت سطحی و دقت ابعادی با کاهش فرسایش ابزار و کنترل دمای ماشینکاری در محدوده برش در حد مطلوب اشاره کرد [۹ و ۱۰]. خنک‌کاری فوق سرد در عملیات برش می‌تواند با روش‌های

۲- مواد و روش کار

۲-۱- مواد مورد آزمایش

میلگرد فولاد ۱۰۴۵ (CK45) با قطر اولیه ۵۰ میلیمتر و طول اولیه ۵۰۰ میلیمتر به عنوان جنس قطعه جهت آزمایش، انتخاب شد. قطعات در قطرهای ۵۰ میلیمتر و طولهای ۳۵۰ میلیمتر آماده شده و یک سمت آنها سوراخ مته مرغک زده شد. در هر مرحله قطعات به اندازه ۴۰ میلیمتر داخل سه نظام قرار گرفته و در سمت مقابل آن توسط دستگاه مرغک مهار گردیدند. ابزارهای HSS با ابعاد ۱۲ در ۱۲، تحت زاویه براده ۱۴ درجه و زوایای آزاد پیشانی و جانبی ۸ درجه سنگ زنی و آماده شدند. از دستگاه تراش تبریز TN50 مجهز به دو عدد استپ موتور و گیربکس برای کنترل مقادیر حرکات سوپرتها به صورت الکترونیکی و مجهز به اینورتور سه فاز AC به منظور رساندن تعداد دوران دستگاه به مقادیر دقیق مورد آزمایش استفاده شد. از میکروسکوپ دستگاه CNC امکو برای بررسی وضعیت نوک ابزار بهره گرفته شد.

۲-۲- روش تحقیق

با اعمال تغییراتی بر روی ماشین تراش TN50 تبریز امکان اندازه گیری پارامتر سایش ابزار فراهم گردید. این تغییرات عبارتند از:

- استفاده از دو استپ موتور و دو درایو راه انداز برای آنها و اتصال آنها به سیستم رایانه و نصب موتورها بر روی سوپرت عرضی و طولی به منظور کنترل محورهای دستگاه توسط رایانه
- استفاده از یک اینورتور ۳ فاز به منظور دستیابی به عده دوران و سرعت برشی دقیق و کنترل عده دوران از پشت گلوبی دستگاه توسط دورسنج دیجیتالی

- نصب دوربین عکاسی بر روی میکروسکوپ دستگاه تراش سی-ان سی امکو و نصب این مجموعه بر روی ابزارگیر دستگاه تراش
- نصب نازل اعمال آب صابون بر روی ابزارگیر و ارتباط آن با پمپ و مخزن آب صابون
- نصب نازل اعمال سیال تبریدی R410a و اتصال آن به کپسول حاوی سیال

در نهایت پس از آماده سازی پیش نیازهای تحقیق به ترتیب با در نظر گرفتن سرعت های برشی مختلف و عمق بارهای متفاوت و پیشروی های خودکار متفاوت به ثبت نرخ فرسایش ابزار پرداخته شد.

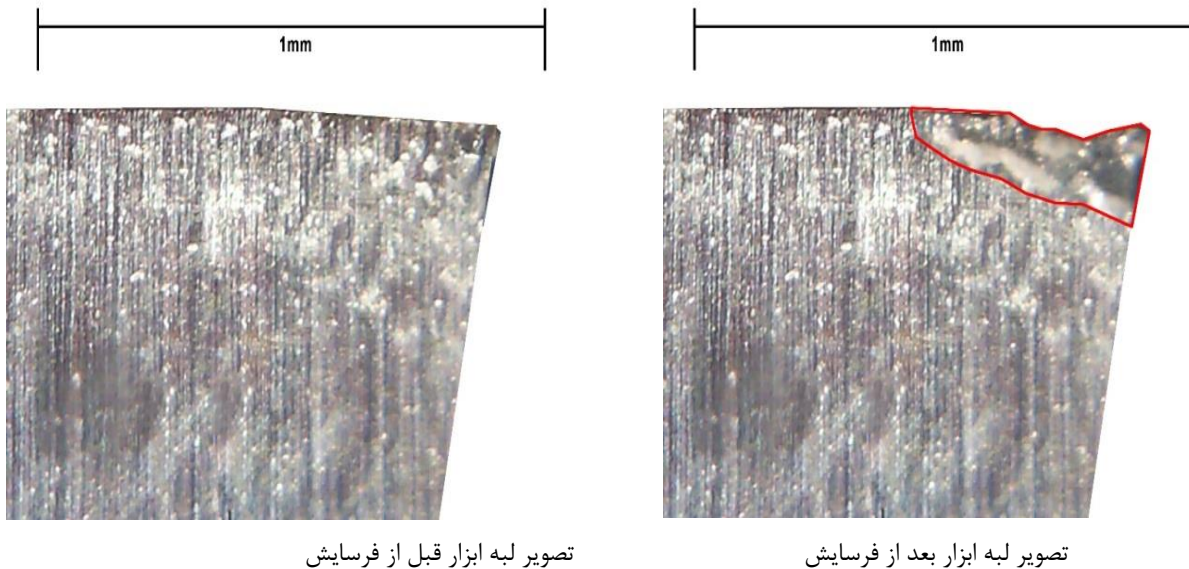
فوق سرد فلزات آهنی سخت بود که علت آن انتقال بهتر حرارت از ناحیه برش اینسرت و کاهش حرارت ابزارهای برش در دماهای بالا بود [۲۶]. همچنین عمر ابزار با استفاده از اسپری نیتروژن مایع بر روی سطح براده و سطح آزاد ابزار حدود ۵ برابر بیشتر گردیده است [۲۷].

در شرایط برشکاری خشک، احتمال چسبندگی قوی و لبه انباشته روی سطح براده وجود دارد در حالی که دماهای پایین می تواند ماده را سخت تر نماید و چسبندگی بین سطوح در تماس را کاهش دهد و بنابراین اصطکاک را کاهش دهد [۲۸]. با توجه به تحقیقات محققان، دماهای پایین برش سبب سخت تر و مستحکم تر شدن ماده قطعه کار می شود و این موضوع سبب افزایش نیروهای برش می گردد. در مطالعات مشخص شد که امکان کاهش نیروهای برش به وسیله تشکیل براده مطلوب در تراشکاری فولاد به وسیله خنک کاری فوق سرد با جت نیتروژن مایع وجود دارد [۲۹]. همچنین در تحقیق مشابهی، بهبودی حدود ۱۵ درصد در خنک کاری اسپری فوق سرد با نیتروژن مایع نسبت به حالت برش خشک برای فولاد مشاهده گردید [۳۰].

با توجه به این که فولاد 1045 با نام تجاری CK45 یکی از فلزات سخت تراش صنعت می باشد و همواره ماشینکاری آن توام با صدمات به ابزار و کاهش عمر ابزار و زمان عملکرد ابزار است و همچنین به علت مقاومت به سایش بالای خود یکی از پر کاربردترین فلزات در حوزه های مختلف صنعتی است، افزایش عمر ابزار در ماشینکاری این فولاد اهمیت به سزایی دارد [۳۱ و ۳۲]. البته از آنجایی که تامین نیتروژن مایع و روش اعمال آن بسیار هزینه بر و نیازمند تجهیزات پیشرفته می باشد، در این تحقیق با استفاده از مبرد R410A که گازی در دسترس و بدون نیاز به تجهیزات هزینه بر برای اعمال است، به کاهش فوق العاده دمای لبه های برنده ابزار فولاد تندبر (HSS) پرداخته می شود تا اثرات این ماده خنک کننده بر عمر ابزار حین عملیات تراشکاری فولاد 1045 مورد بررسی قرار گیرد. گاز مبرد R410A مخلوطی از ۵۰ درصد گاز مبرد دی فلئورو متان (R32) و ۵۰ درصد گاز پنتا فلئورو اتان (R125) می باشد. این گاز کاملاً بی رنگ، غیر سمی، غیر قابل اشتعال و دوست دار محیط زیست است. کاربرد اصلی مبرد R410a در صنعت تاسیسات سرمایشی می باشد و قابلیت کاهش دما تا ۵۰- درجه سانتیگراد را در محل اعمال دارد. انتخاب مواد در این تحقیق با توجه به اهمیت فولاد CK45 و ماشینکاری آن در صنعت و همچنین قیمت مناسب ابزار فولاد تندبر نسبت به سایر ابزارهای ماشینکاری است.

در هر مرحله از سیکل روتراشی نوع سیال خنک‌کاری، سرعت برشی، مقدار پیشروی و عمق بار مشخص و ثابت می‌باشد. ضمناً داده‌های مربوط به میزان فرسایش ابزار توسط دوربین میکروسکوپ دستگاه سی‌ان‌سی امکو در محدوده‌های زمانی مدنظر از روی مدل اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. به این ترتیب در هر سیکل آزمایش در زمان‌های ۵ دقیقه‌ای (تا ۶۰ دقیقه)، میزان فرسایش ابزار اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. برای این منظور، تصاویر ثبت شده توسط دوربین دیجیتال که بر روی میکروسکوپ دستگاه سی‌ان‌سی امکو نصب گردیده، به رایانه منتقل و توسط نرم افزار Digimizer تحلیل می‌شود. شکل (۱) نمونه‌ای از تصاویر بررسی شده در نرم افزار Digimizer را نشان می‌دهد.

نمونه‌های آماده شده بعد از بسته شدن در داخل سه نظام تحت عملیات روتراشی قرار گرفتند. عملیات روتراشی از ابتدای قطعه آغاز و همزمان زمان سنجی شروع به شمردن دقیق می‌کند و عملیات تا ۶۰ دقیقه ادامه پیدا می‌کند. در این مرحله چنانچه قبل از رسیدن به طول ۳۰۰ میلیمتری زمان به پایان برسد، اندازه‌گیری در طول مربوطه و با توجه به بازه‌های زمانی ۵ دقیقه در موقعیتی که ابزار در بازه‌های زمانی ذکر شده داشته است اندازه‌گیری می‌شود و چنانچه با وجود رسیدن به انتهای مسیر ۳۰۰ میلیمتری زمان به پایان نرسیده باشد؛ ابزار به ابتدای مسیر برگشته و عملیات تا رسیدن به زمان ۶۰ دقیقه ادامه پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که در چنین حالتی ابزار بدون سنگ‌زنی باید تا طی شدن کامل زمان به ماشینکاری ادامه دهد.



تصویر لبه ابزار قبل از فرسایش

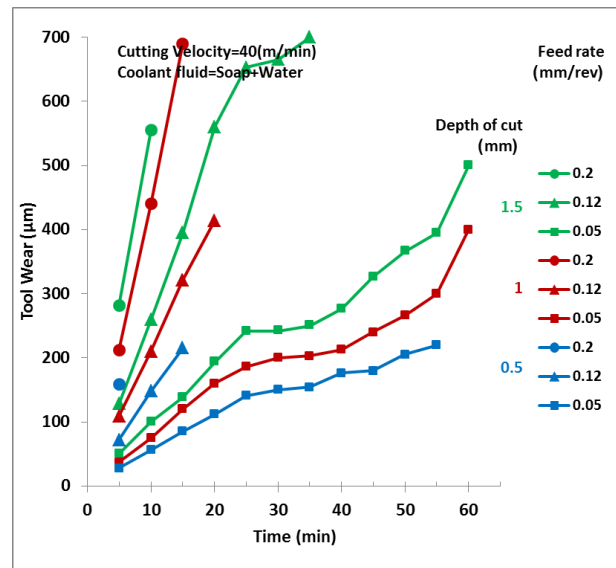
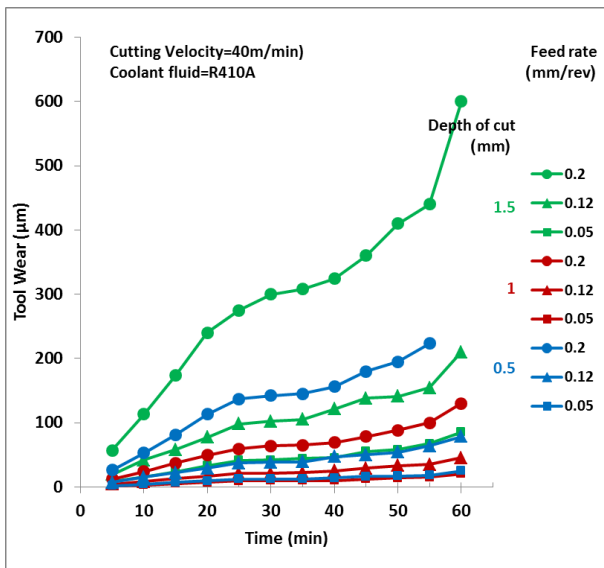
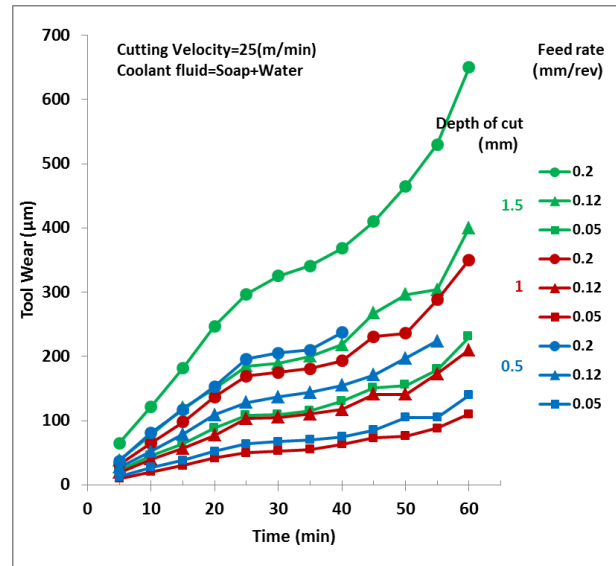
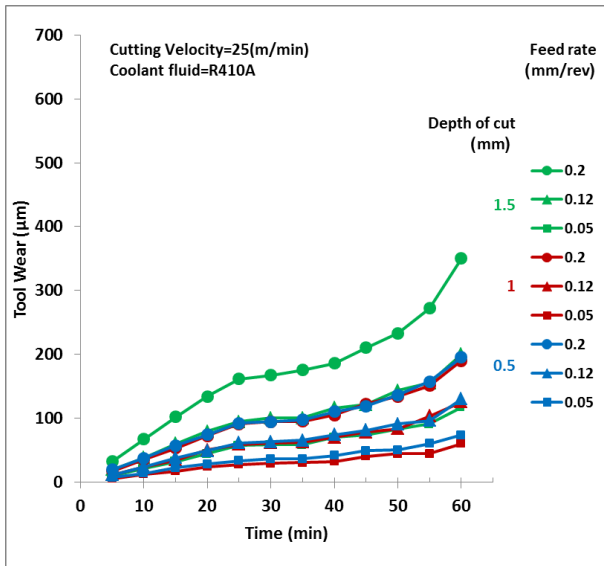
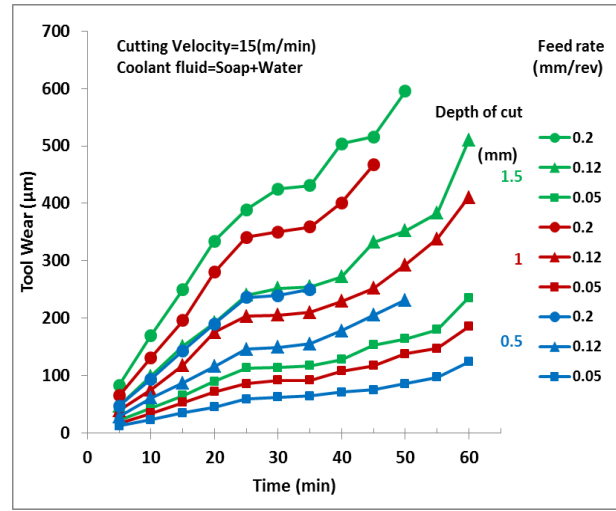
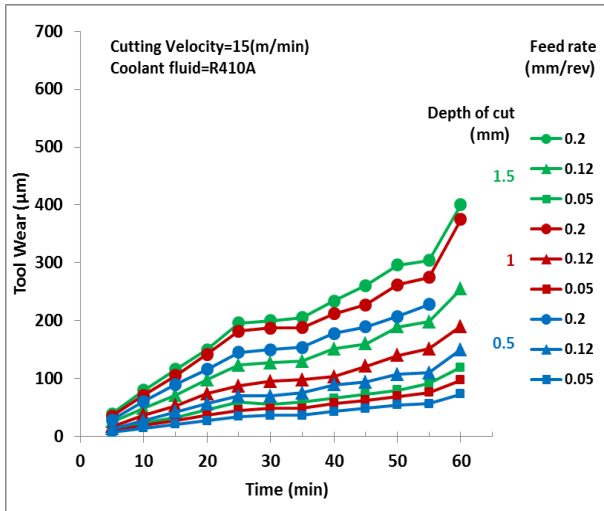
تصویر لبه ابزار بعد از فرسایش

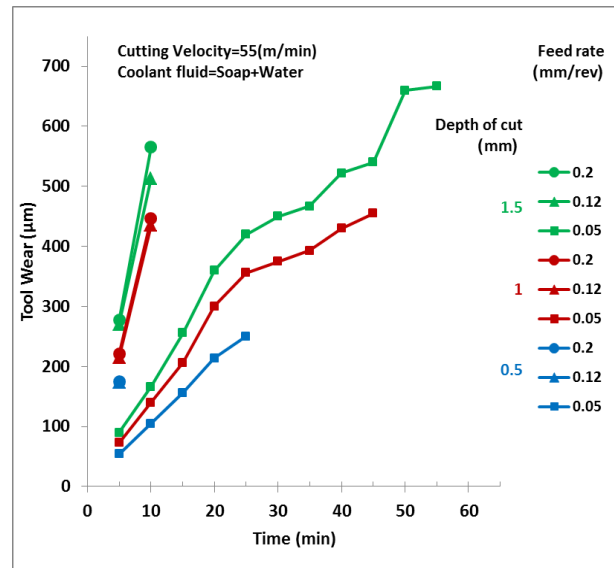
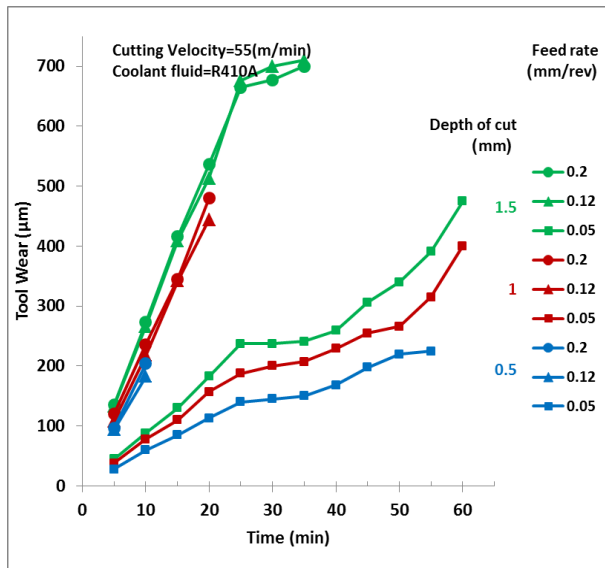
شکل ۱ نمونه‌ای از تصاویر بررسی شده در نرم افزار Digimizer

۳- نتایج و بحث

در جداول (۱ تا ۸) که به پیوست آمده است و شکل (۲) نتایج برای چهار سرعت برش، سه عمق بار مختلف و سه سرعت پیشروی ابزار و مقادیر فرسایش ابزار در زمان‌های ۵ دقیقه‌ای تا زمان نهایی ۶۰ دقیقه (مرحله ۱۲) ثبت گردیده است. در جداول علامت (-) به معنای از بین رفتن کامل لبه برنده ابزار در آن زمان مشخص می‌باشد.

سرعت‌های برشی در نظر گرفته شده برای آزمایش برابر ۱۵، برای آزمایش، سرعت‌های برشی ۱۵، ۲۵، ۴۰، ۵۵ متر بر دقیقه، عمق بارهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلیمتر و پیشروی‌های ۰/۰۵، ۰/۱۲ و ۰/۲ میلیمتر در هر دور در نظر گرفته شدند. بنابراین با توجه به اینکه کلیه پارامترها یک مرحله برای سیال آب-صابون و مرحله دیگر برای سیال R410a ثبت گردیدند مفهوم عمق برش (Depth of Cut) نصف کاهش قطر قطعه کار در هر مرحله از روتراشی است.





شکل ۲ فرسایش ابزار در شرایط مختلف سرعت برشی، عمق بار و سرعت پیشروی برای دو خنک کننده

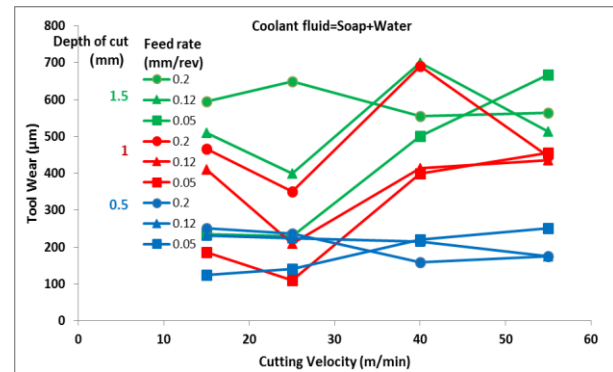
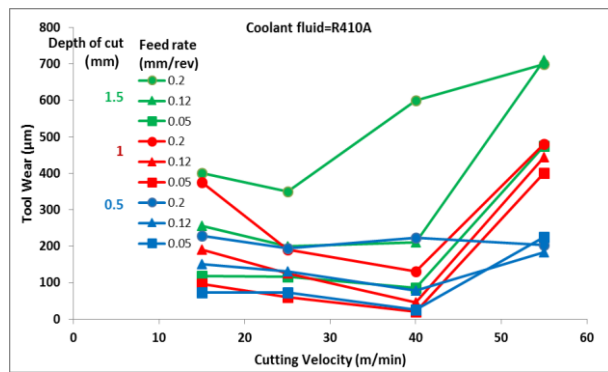
دقیقه رخ می‌دهد. تحلیل آماری نتایج با نرم افزار Minitab نیز این مطلب را تایید می‌کند (شکل ۴ و ۵).

در شکل (۴) متوسط سایش ابزار برحسب سرعت برشی در عمق بار و سرعت پیشروی متغیر برای دو خنک‌کننده نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که به جز در سرعت برشی ۵۰ متر بر دقیقه و عمق بار ۰/۵ میلی‌متر، متوسط فرسایش ابزار با خنک‌کننده R410a، کاهش بسیار چشمگیری نسبت به خنک‌کننده سنتی آب-صابون دارد.

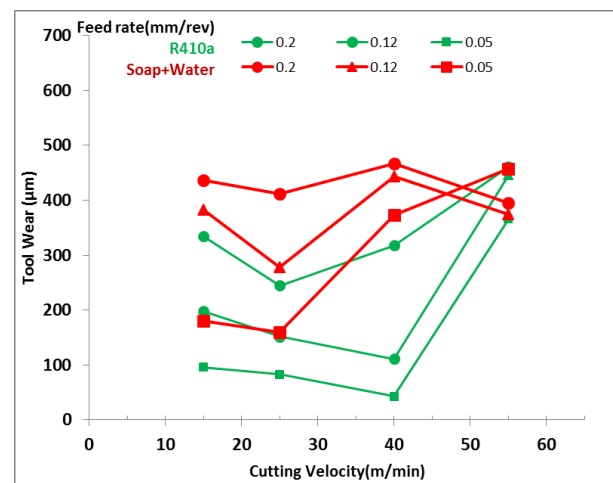
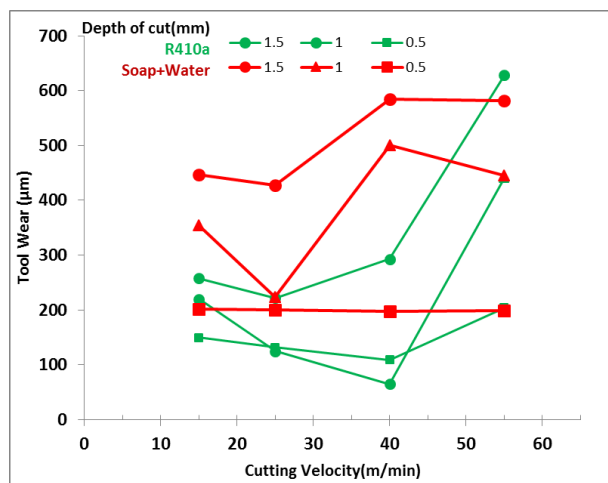
در شکل (۵) تحلیل آماری بر مبنای عوامل موثر بر سایش ابزار نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در مجموع متوسط سایش ابزار با خنک‌کننده R410a با ۲۳۸ میکرون، ۳۵ درصد کمتر از خنک‌کننده آب-صابون (۳۶۴ میکرون) است. در شکل (۵ الف) در هر دو خنک‌کننده با تغییر سرعت‌های برشی، کمینه فرسایش ابزار مشاهده می‌شود که این مقدار برای خنک‌کننده R410a و آب-صابون به ترتیب در سرعت‌های ۴۰ و ۲۵ متر بر دقیقه است. از طرفی با افزایش عمق بار و پیشروی در هر دو خنک‌کننده، مقدار سایش ابزار افزایش می‌یابد. در شکل (۵ ب) با افزایش عمق برش از ۰/۵ به ۱ میلی‌متر، میزان سایش ابزار در خنک‌کننده R410a کمتر از آب-صابون است و پس از آن شیب (سرعت) افزایش سایش ابزار در هر دو خنک‌کننده تقریباً برابر است. در شکل (۵ ج) با افزایش سرعت پیشروی از ۰/۵ به ۰/۱۲ میلی‌متر بر دور، شیب (سرعت) افزایش سایش ابزار در هر دو خنک‌کننده تقریباً موازی یکدیگر است و پس از آن در حالی که سایش ابزار در خنک‌کننده R410a با روند خطی افزایش می‌یابد، این تغییرات در خنک‌کننده آب-صابون کمی کاهش یافته است.

مشاهده می‌شود فرسایش ابزار با استفاده از خنک‌کننده R410a در همه حالات سرعت برشی ۱۵ متر بر دقیقه زیر میکرومتر ۴۰۰ اندازه گیری شده است. همین شرایط در سرعت برشی ۲۵ و ۴۰ متر بر دقیقه (به جز در عمق بار ۱/۵ میلی‌متر و سرعت پیشروی ۰/۰۲ میلی‌متر بر دور) هم وجود دارد. از طرفی در سیال آب-صابون با افزایش سرعت برشی در همه حالات، نرخ فرسایش ابزار با گذشت زمان به صورت تصاعدی افزایش یافته است و حتی در مواردی (سرعت برشی ۵۵ و ۴۰ متر بر دقیقه و عمق بار ۰/۵ میلی‌متر و سرعت پیشروی ۰/۲ میلی‌متر بر دور؛ سرعت برشی ۵۵ متر بر دقیقه و عمق بار ۰/۵ میلی‌متر و سرعت پیشروی ۰/۱۲ میلی‌متر بر دور) ابزار در ۵ دقیقه نخست، کارایی خود را از دست داده است. ابزار در خنک‌کننده آب-صابون در سرعت‌های برشی ۱۵، ۲۵، ۴۰ و ۵۰ متر بر دقیقه به ترتیب در ۴، ۲، ۷ و ۹ حالت، از بین رفته و تا ۶۰ دقیقه کارایی نداشته است. در حالی که در R410a این موضوع در ۱، ۰، ۱ و ۷ مورد رخ داده است. در خنک‌کننده R410a کمترین و بیشترین نرخ سایش در ابزار به ترتیب ۰/۳۳ و ۲۴ میکرومتر بر دقیقه به ترتیب برای (سرعت برشی- عمق بار - سرعت پیشروی) ۰/۵-۱-۴۰ و ۰/۲-۱-۵۵ و در خنک‌کننده آب-صابون کمترین و بیشترین نرخ سایش در ابزار به ترتیب ۱/۸۳ و ۵۶/۵ میکرومتر بر دقیقه برای ۰/۵-۱-۲۵ و ۰/۲-۱/۵-۵۵ حاصل می‌شود.

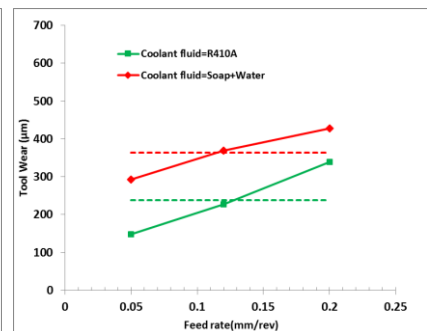
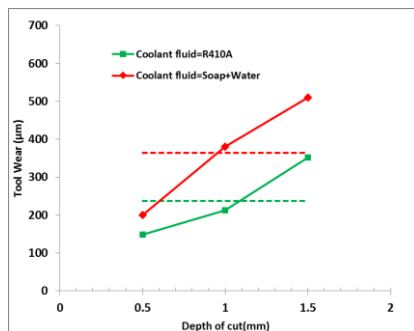
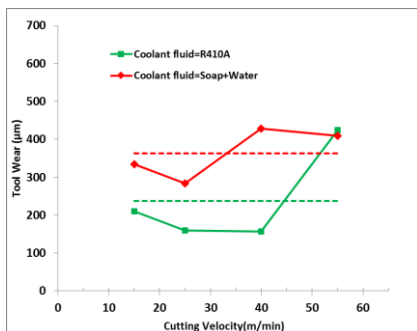
شکل (۳) سایش ابزار برحسب سرعت برشی در عمق بار و سرعت پیشروی متغیر را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در خنک‌کننده R410a سایش ابزار در اکثر موارد در سرعت برشی ۴۰ متر بر دقیقه حالت کمینه‌ای دارد در حالی که در خنک‌کننده آب-صابون حالت کمینه عمدتاً در سرعت برشی ۲۵ متر بر



شکل ۳ سایش ابزار بر حسب سرعت برشی در عمق بار و سرعت پیشروی متغیر



شکل ۴ متوسط سایش ابزار بر حسب سرعت برشی در عمق بار و سرعت پیشروی متغیر



شکل ۵ تحلیل آماری نتایج برای خنک کننده R410a و آب-صابون

۴- نتیجه گیری

در هر دور ثبت گردیدند. نتایج نشان می‌دهد که خنک‌کاری به- وسیله مبرد R410a به علت قدرت سرمایش بالا و کنترل بهتر دمای محل برش نسبت به سیال آب-صابون در فرآیند ماشینکاری، سبب کاهش میزان فرسایش ابزار گردیده و می‌تواند به عنوان سیال مناسب خنک‌کاری به کار گرفته شود. در خنک- کننده R410a نرخ سایش تا ۰/۳۳ میکرومتر بر دقیقه کاهش می‌یابد. براساس کمینه فرسایش ابزار در حالات مختلف، با استفاده از مبرد R410a می‌توان سرعت برشی را ۶۰ درصد افزایش داد و از ۲۵ متر بر دقیقه تا ۴۰ متر بر دقیقه رساند.

در این تحقیق با بهره‌گیری از مبرد R410a و مقایسه آن با سیال سنتی آب-صابون در خنک‌کاری لبه برنده ابزار، به تاثیر اعمال این سیال بر عمر ابزار و کاهش فرسایش لبه برنده ابزار پرداخته شد. با در نظر گرفتن مدل‌هایی از جنس فولاد AISI45 و تراشکاری آنها به‌وسیله ابزار HSS؛ اثرات سیال خنک‌کننده در سرعت‌های برشی ۱۵، ۲۵، ۴۰، ۵۵ متر بر دقیقه، عمق بارهای ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌متر و پیشروی‌های ۰/۰۵، ۰/۱۲ و ۰/۲ میلی‌متر

Cutting parameters determination in milling of AISI 1045 steel, *Universidad y Sociedad*, Vol. 12(6), pp. 207-214, (2020).

- [11] Hernández González, L.W., Seid Ahmed, Y., Pérez Rodríguez, R., Zambrano Robledo, P.D.C., and Guerrero Mata, M.P., Selection of machining parameters using a correlative study of cutting tool wear in high-speed turning of AISI 1045 steel, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, Vol. 2(4), pp. 66, (2018).
- [12] Shnfir, M., Olufayo, O.A., Jomaa, W., and Songmene, V., Machinability study of hardened 1045 steel when milling with ceramic cutting inserts, *Materials*, Vol. 12(23), pp. 3974, (2019).
- [13] Bartarya, G., and Choudhury, S.K., State of the art in hard turning, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 53(1), pp. 1-14, (2012).
- [14] Chinchankar, S., and Choudhury, S.K., Machining of hardened steel-experimental investigations, performance modeling and cooling techniques: a review, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 89, pp. 95-109, (2015).
- [15] Krolczyk, G.M., Maruda, R.W., Krolczyk, J.B., Wojciechowski, S., Mia, M., Nieslony, P., and Budzik, G., Ecological trends in machining as a key factor in sustainable production—a review, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 218, pp. 601-615, (2019).
- [16] Ajaja, J., Jomaa, W., Bocher, P., Chromik, R.R., Songmene, V., and Brochu, M., Hard turning multi-performance optimization for improving the surface integrity of 300M ultra-high strength steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 104(1), pp. 141-157, (2019).
- [17] Li, B., Zhang, S., Yan, Z., and Zhang, J., Effect of edge hone radius on chip formation and its microstructural characterization in hard milling of AISI H13 steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 97(1), pp. 305-318, (2018).
- [18] Cui, X., Jiao, F., Zhao, B., and Guo, J., A review of high-speed intermittent cutting of hardened steel, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 93(9), pp. 3837-3846, (2017).
- [19] Muñoz-Escalona, P., Díaz, N., and Cassier, Z., Prediction of tool wear mechanisms in face milling AISI 1045 steel, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 21(6), pp. 797-808, (2012).
- [20] Costa, D.M.D., Brito, T.G., de Paiva, A.P., Leme, R.C., and Balestrassi, P.P., A normal boundary intersection with multivariate mean square error

همچنین در بهینه‌ترین حالت، میزان فرسایش ابزار تا ۲۰ برابر بهبود می‌یابد و در سرعت برشی ۴۰ بر دقیقه، عمق براده برداری ۰/۰۵ میلیمتر و پیشروی ۰/۰۵ میلیمتر بر دور از ۴۰۰ به ۲۰ میکرومتر کاهش می‌یابد.

۵- مراجع

- [1] Yildiz, Y., and Nalbant, M., A review of cryogenic cooling in machining processes, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 48(9), pp. 947-964, (2008).
- [2] Rahman, M., and Senthil Kumar, A., Evaluation of minimal of lubricant in end milling, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 18(4), pp. 235-241, (2001).
- [3] Adler, D.P., Hii, W.S., Michalek, D.J., and Sutherland, J.W., Examining the role of cutting fluids in machining and efforts to address associated environmental/health concerns, *Machining Science and technology*, Vol. 10(1), pp. 23-58, (2006).
- [4] Diniz, A.E., and Micaroni, R., Cutting conditions for finish turning process aiming: the use of dry cutting, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 42(8), pp. 899-904, (2002).
- [5] Paul, S., and Chattopadhyay, A.B., The effect of cryogenic cooling on grinding forces, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 36(1), pp. 63-72, (1996).
- [6] Paul, S., and Chattopadhyay, A.B., Environmentally conscious machining and grinding with cryogenic cooling, *Machining Science and Technology*, Vol. 10(1), pp. 87-131, (2006).
- [7] Abukhshim, N.A., Mativenga, P.T., and Sheikh, M.A., Heat generation and temperature prediction in metal cutting: A review and implications for high speed machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 46(7-8), pp. 782-800, (2006).
- [8] Majumdar, P., Jayaramachandran, R., and Ganesan, S., Finite element analysis of temperature rise in metal cutting processes, *Applied thermal engineering*, Vol. 25(14-15), pp. 2152-2168, (2005).
- [9] Ahmed, M.I., Ismail, A.F., Abakr, Y.A., and Amin, A.N., Effectiveness of cryogenic machining with modified tool holder, *Journal of materials processing technology*, Vol. 185(1-3), pp. 91-96, (2007).
- [10] Hernández-González, L.W., Dumitrescu, L., Quesada-Estrada, A.M. and Reyes-Camareno, R.,

- [26] Debnath, S., Reddy, M.M., and Yi, Q.S., Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: a review, *Journal of cleaner production*, Vol. 83, pp. 33-47, (2014).
- [27] El-Hossainy, T.M., Tool wear monitoring under dry and wet machining, *Materials and Manufacturing processes*, Vol. 16(2), pp. 165-176, (2001).
- [28] Ghosh, S., and Rao, P.V., Application of sustainable techniques in metal cutting for enhanced machinability: a review, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 100, pp. 17-34, (2015).
- [29] Lawal, S.A., Choudhury, I.A., and Nukman, Y., 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).
- [30] Fnides, M., Yallese, M.A., Khattabi, R., Mabrouki, T., and Girardin, F., Modeling and optimization of surface roughness and productivity thru RSM in face milling of AISI 1040 steel using coated carbide inserts, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 8(4), pp. 493-512, (2017).
- [31] Masmiami, N., and Sarhan, A.A., Optimizing cutting parameters in inclined end milling for minimum surface residual stress-Taguchi approach, *Measurement*, Vol. 60, pp. 267-275, (2015).
- [32] Masmiami, N., Sarhan, A.A., Hassan, M.A.N., and Hamdi, M., Optimization of cutting conditions for minimum residual stress, cutting force and surface roughness in end milling of S50C medium carbon steel, *Measurement*, Vol. 86, pp. 253-265, (2016).
- approach for dry end milling process optimization of the AISI 1045 steel, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 135, pp. 1658-1672, (2016).
- [21] Brito, T.G., Paiva, A.P., Paula, T.I., Dalosto, D.N., Ferreira, J.R., and Balestrassi, P.P., Optimization of AISI 1045 end milling using robust parameter design, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 84(5), pp. 1185-1199, (2016).
- [22] Junior, A.S.A., Sales, W.F., da Silva, R.B., Costa, E.S., and Machado, Á.R., Lubri-cooling and tribological behavior of vegetable oils during milling of AISI 1045 steel focusing on sustainable manufacturing, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 156, pp. 635-647, (2017).
- [23] Iqbal, S.A., Mativenga, P.T., and Sheikh, M.A., Characterization of machining of AISI 1045 steel over a wide range of cutting speeds, Part 2: evaluation of flow stress models and interface friction distribution schemes, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 221(5), pp. 917-926, (2007).
- [24] Iqbal, S.A., Mativenga, P.T., and Sheikh, M.A., Characterization of machining of AISI 1045 steel over a wide range of cutting speeds. Part 1: Investigation of contact phenomena, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 221(5), pp. 909-916, (2007).
- [25] Iqbal, S.A., Mativenga, P.T., and Sheikh, M.A., Contact length prediction: mathematical models and effect of friction schemes on FEM simulation for conventional to HSM of AISI 1045 steel, *International journal of machining and machinability of materials*, Vol. 3(1-2), pp. 18-33, (2008).

پیوست ها

جدول ۱ داده های ثبت شده برای فرسایش ابزار در سرعت برشی ۱۵ متر بر دقیقه و برای سیال R410a

سرعت برش m/min	عمق بار mm	پیشروی mm/rev	مقدار فرسایش ابزار در دقیقه با خنک کننده R410a											
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
15	0.5	0.05	7	14	21	27	34	36	36	43	48	54	56	73
		0.12	13	27	42	56	70	70	75	89	94	107	110	150
		0.2	28	60	90	116	145	150	154	178	189	207	228	-
	1	0.05	9	19	27	36	45	48	48	57	62	69	76	97
		0.12	17	37	53	74	87	95	98	103	121	140	151	190
		0.2	35	71	105	142	182	187	188	212	227	262	275	375
	1.5	0.05	11	23	33	46	59	55	59	66	73	80	91	119
		0.12	25	48	71	98	123	127	130	151	160	189	198	255
		0.2	39	80	116	150	196	200	205	234	261	296	304	400

جدول ۲ داده های ثبت شده برای فرسایش ابزار در سرعت برشی ۱۵ متر بر دقیقه و برای سیال آب - صابون

سرعت برش m/min	عمق بار mm	پیشروی mm/rev	مقدار فرسایش ابزار در دقیقه با خنک کننده آب - صابون											
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
15	0.5	0.05	12	23	35	45	59	62	64	71	75	86	97	124
		0.12	28	61	87	116	146	149	155	178	205	231	-	-
		0.2	47	94	143	190	236	239	250	-	-	-	-	-
	1	0.05	17	34	53	72	86	92	92	108	117	138	147	185
		0.12	39	75	118	175	203	205	210	229	252	293	338	410
		0.2	65	131	196	280	341	350	359	401	467	-	-	-
	1.5	0.05	22	43	65	90	113	114	117	128	153	164	180	235
		0.12	47	99	151	192	240	252	255	272	332	352	383	510
		0.2	83	170	250	334	389	425	431	504	516	595	-	-

جدول ۳ داده های ثبت شده برای فرسایش ابزار در سرعت برشی ۲۵ متر بر دقیقه و برای سیال R410a

سرعت برش m/min	عمق بار mm	پیشروی mm/rev	مقدار فرسایش ابزار در دقیقه با خنک کننده R410a											
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
25	0.5	0.05	7	13	22	28	33	36	36	41	49	50	60	73
		0.12	11	24	38	49	61	63	65	74	81	91	96	130
		0.2	19	37	57	74	92	94	97	110	119	136	157	195
	1	0.05	5	12	17	24	27	29	30	32	40	44	44	60
		0.12	11	24	34	50	59	61	62	70	78	83	103	125
		0.2	17	35	53	72	91	94	95	105	122	134	151	190
	1.5	0.05	10	21	32	44	57	58	58	70	74	83	91	117
		0.12	19	38	60	79	94	100	100	116	121	143	155	200
		0.2	32	67	102	134	161	167	175	186	210	233	272	350

جدول ۴ داده های ثبت شده برای فرسایش ابزار در سرعت برشی ۲۵ متر بر دقیقه و برای سیال آب - صابون

سرعت برش m/min	عمق بار mm	پیشروی mm/rev	مقدار فرسایش ابزار در دقیقه با خنک کننده آب - صابون											
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
25	0.5	0.05	13	27	38	52	64	67	70	75	85	105	105	140
		0.12	27	52	79	109	128	137	144	155	171	197	224	-
		0.2	37	81	117	153	196	205	210	237	-	-	-	-
	1	0.05	10	20	30	42	50	53	55	63	73	76	88	110
		0.12	19	40	57	77	103	105	110	117	141	141	173	210
		0.2	32	65	98	137	169	175	181	193	231	236	288	350
	1.5	0.05	22	45	64	88	108	109	115	130	151	155	179	230
		0.12	38	78	120	150	185	189	200	218	267	296	304	400
		0.2	65	122	182	247	297	325	341	368	410	465	530	650

جدول ۵ داده های ثبت شده برای فرسایش ابزار در سرعت برشی ۴۰ متر بر دقیقه و برای سیال R410a

سرعت برش m/min	عمق بار mm	پیشروی mm/rev	مقدار فرسایش ابزار در دقیقه با خنک کننده R410a											
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
40	0.5	0.05	2	4	7	9	12	12	12	14	16	17	18	25
		0.12	7	15	22	29	37	38	39	47	50	54	64	78
		0.2	26	53	81	113	137	142	145	156	180	195	223	-
	1	0.05	1	3	5	7	9	10	10	10	12	14	15	20
		0.12	4	8	13	16	21	21	22	25	29	33	35	45
		0.2	12	24	37	49	59	64	65	69	78	88	100	130
	1.5	0.05	8	15	24	33	41	42	44	45	55	58	67	85
		0.12	19	42	58	77	98	102	105	121	138	141	154	210
		0.2	57	113	174	240	275	300	308	324	360	410	440	600

جدول ۶ داده های ثبت شده برای فرسایش ابزار در سرعت برشی ۴۰ متر بر دقیقه و برای سیال آب - صابون

سرعت برش m/min	عمق بار mm	پیشروی mm/rev	مقدار فرسایش ابزار در دقیقه با خنک کننده آب - صابون											
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
40	0.5	0.05	28	56	85	112	141	150	154	176	180	205	220	-
		0.12	72	148	215	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.2	158	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	0.05	37	75	120	160	186	200	203	213	240	266	300	400
		0.12	109	210	321	414	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.2	212	440	690	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.5	0.05	50	100	138	193	241	242	250	276	326	366	394	500
		0.12	128	259	395	560	653	665	700	-	-	-	-	-
		0.2	282	555	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول ۷ داده های ثبت شده برای فرسایش ابزار در سرعت برشی ۵۵ متر بر دقیقه و برای سیال R410a

سرعت برش m/min	عمق بار mm	پیشروی mm/rev	مقدار فرسایش ابزار در دقیقه با خنک کننده R410a											
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
55	0.5	0.05	28	60	85	113	140	145	150	168	198	220	225	-
		0.12	94	183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.2	96	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	0.05	38	78	110	157	188	200	207	229	255	266	315	400
		0.12	108	218	342	444	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.2	120	236	345	480	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.5	0.05	45	88	130	183	237	237	241	259	306	340	391	475
		0.12	133	266	409	513	676	700	710	-	-	-	-	-
		0.2	135	273	416	536	665	677	700	-	-	-	-	-

جدول ۸ داده های ثبت شده برای فرسایش ابزار در سرعت برشی ۵۵ متر بر دقیقه و برای سیال آب - صابون

سرعت برش m/min	عمق بار mm	پیشروی mm/rev	مقدار فرسایش ابزار در دقیقه با خنک کننده آب - صابون											
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
55	0.5	0.05	54	105	156	214	250	-	-	-	-	-	-	-
		0.12	174	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.2	175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	0.05	73	140	206	300	356	375	393	430	455	-	-	-
		0.12	215	435	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.2	221	446	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.5	0.05	90	166	256	360	420	450	467	522	540	660	667	-
		0.12	270	513	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.2	277	565	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-