



Optimization of Tool Wear and Surface Roughness in Machining with Cryogenic Treated Tool Using Genetic Algorithm

Valiollah Panahizadeh^{1*} , Mohammad Mahdi Abootorabi² , Aref Saliminia³ 

¹Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

²Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

³PhD Student, Faculty of Mechanical Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article Type:

Original Research

Received: 10.02.2021

Revised: 11.12.2021

Accepted: 11.21.2022

Keyword:

Cryogenic Treatment
Optimization
Genetic Algorithm
Tool Wear
Surface Roughness

*Corresponding Author:

Valiollah Panahizadeh

Email: v.panahizadeh@sru.ac.ir

Cutting fluids are used to achieve various purposes such as better surface quality, less tool wear, and reduced cutting force. In this paper, the effect of cutting tool cryogenic treatment on tool wear and workpiece surface roughness in comparison with dry and conventional turning of AISI 304 steel was investigated. The Taguchi method was used to design the experiments. The signal-to-noise ratio method was used to analyze the results of the experiments. Genetic algorithm and regression were used to optimize and model tool wear and workpiece surface roughness, respectively. Regression was used to determine the relationship between cutting speed, feed rate, depth of cut, and machining conditions as independent variables with tool wear and surface roughness as the response variables. The results demonstrated that machining AISI 304 stainless steel with cryogenic treated tool reduced the surface roughness of the workpiece compared to dry and conventional turning. Increasing the amount of ETA phase was one of the reasons for reducing wear and increasing the hardness of the cryogenic treated tool. Optimal values for tool wear and workpiece surface roughness were 0.4 mm and 2.8 microns, respectively.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Different criteria exist for dividing machining methods. One of these criteria is cutting fluid. Machining methods can be divided into green, conventional and dry machining based on cutting fluids. Cooling machining and minimal lubrication are among the green machining methods. The efficiency of cutting tools can be increased through various methods such as cooling operations. Conventional cutting fluids, despite their positive effect on reducing friction and temperature, cause breathing problems for the operator. Due to the complications of conventional cooling for the operator and the environment, the tendency to use refrigeration cooling methods has increased. Cryogenic cooling methods include: a) cryogenic treatment b) workpiece pre-cooling c) spray cryogenic cooling and d) indirect cryogenic cooling. The four stages of cryogenic treatment include a) lowering the temperature b) soaking the samples, c) increasing the temperature and d) heat treatment. Gases with high cooling power are used to cool and reduce the temperature. In the cryogenic treatment, the temperature of the samples is slowly reduced between -80 and -196 degrees Celsius using gases with high cooling power, such as helium, and after a certain time halt at that temperature, the samples are then heat treated. In this article, the effect of cooling operation of cutting tools on tool wear and surface quality was investigated in comparison with wet and dry turning of 304 steels under different cutting parameters. After modeling the results of the experimental tests, the experimental values of tool wear and surface roughness were optimized with genetic algorithm.

Methodology

The workpiece used in this research was made of AISI 304 steel with a diameter of 40 mm. Quantometry was used to measure the percentage of alloy elements in the workpiece. In this article, first, the influence of the parameters of soaking time in liquid nitrogen (24 and 72 hours), time (1.5 and 2 hours) and the number of heat treatment steps (1 and 3 steps) on the wear resistance of cutting tools was investigated and then the best observed state was used for comparison with dry and wet machining methods. According to the results, the optimal state of cryogenic treatment parameters included 24 hours of soaking at -196°C and performing 3 stages of heat treatment each for 2 hours at 200°C.

Results and discussion

The microscopic structure of tungsten carbide includes: a) eta phase, b) cobalt or beta phase, c) gamma phase and d) tungsten carbide or alpha phase. Among the four phases of tungsten carbide, the eta phase is the hardest phase. Cryogenic treatment increases the thermal conductivity of tungsten carbide by increasing the amount of eta phase, in addition to the hardness and fracture toughness. Figure 1 shows the signal-to-noise ratio of the effect of machining conditions on tool wear. According to Figure 1, with the change of machining conditions from Cryogenic to wet and from wet to dry, the amount of tool wear increased. The lowest wear was related to the machining mode with the Cryogenic treated tool and the highest tool wear was in the dry machining mode.

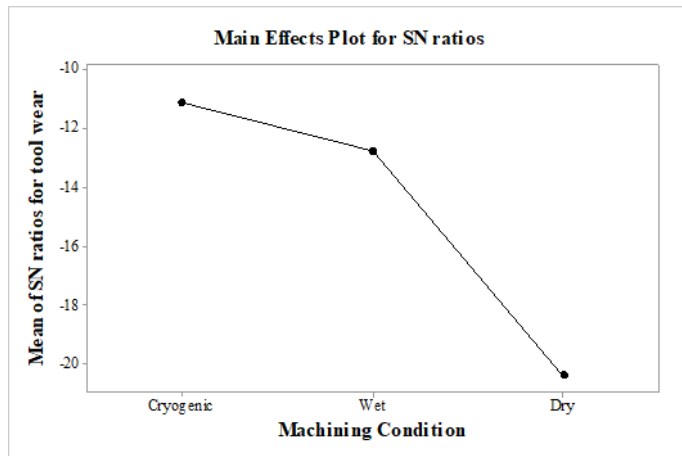


Figure 1. Signal-to-noise ratio diagram of the effect of machining conditions on tool wear.

The average amount of reduction in tool wear in turning of cryogenic treatment tools compared to dry and wet turning were 67% and 50%, respectively. The optimal values obtained from the genetic algorithm for tool wear was equal to 0.4 mm. According to the genetic algorithm, to achieve the least tool wear, the optimal mode was machining with a cryogenic treatment tool, cutting speed of 42 m/min, feed rate of 0.2 mm/rev, and cutting depth of 0.4 mm.

One of the targets of using cutting fluids was to achieve a lower surface roughness. Ideally surface roughness only depends on tool cutting edge radius and feed rate. However, in reality, surface roughness is also dependent on tool wear tool vibration, tool material and cutting fluids. The cutting tool can be mentioned as one of the most important factors affecting the surface roughness of the workpiece. Figure 2 shows the signal-to-noise ratio diagram of the effect of machining conditions on the surface roughness of the workpiece. According to Figure 2 the amount of surface roughness increased with the change from cryogenic to wet machining and from wet to dry. The highest surface roughness was observed in the dry state and the lowest surface roughness was observed in the machining state with cryogenic treated tools. By reducing the wear of the tool and consequently reducing the contact surface between the tool and the workpiece, the penetration of the tool into the workpiece became easier and the amount of vibration of the tool decreased. The reason for improving the roughness of the workpiece surface in machining with cryogenic treated tools was to reduce wear and maintain the sharpness of the cutting edge of the tool.

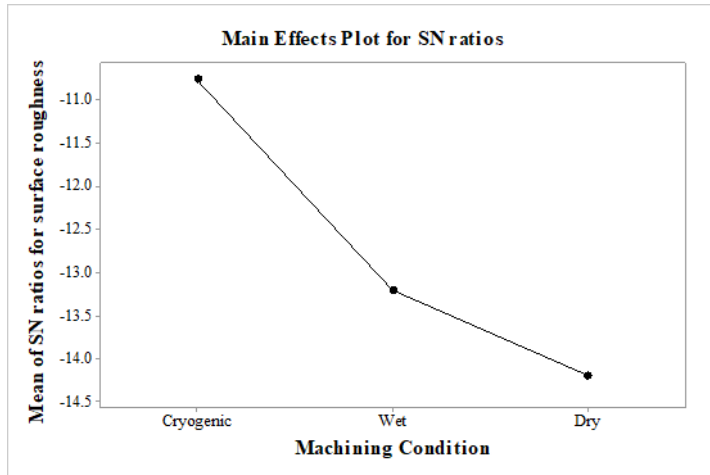


Figure 2. Signal-to-noise ratio diagram of the effect of machining conditions on surface roughness.

The average amount of reduction in tool wear in turning of cryogenic treated tools compared to dry and wet turning were 63% and 46%, respectively. The optimal values obtained from the genetic algorithm for the surface roughness of the workpiece was equal to 2.8 microns. According to the genetic algorithm, the optimal surface roughness was obtained at a cutting speed of 83 m/min, a feed rate of 0.4 mm/rev, a cutting depth of 1.2 mm, and a machining mode with a cryogenic treated tool.

Conclusion

The use of cryogenic treated tools in turning 304 austenitic stainless steels reduced tool wear compared to wet and dry conditions. The reason for this is was the increase in the eta phase, followed by an increase in hardness and a decrease in heat concentration at the cutting edge of the cutting tool.

The optimal values for tool wear and workpiece surface roughness, according to the genetic algorithm, were related to the machining method with cryogenic treated tools and equal to 0.4 and 2.8 mm, respectively.

بهینه‌سازی سایش ابزار و زبری سطح در ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی‌شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ولی‌اله پناهی‌زاده^{۱*}، محمد مهدی ابوترابی^۲، عارف سلیمی‌نیا^۳

- ۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.
- ۲- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- ۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۰

بازنگری مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۲۱

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰

کلید واژگان:

عملیات تبریدی
بهینه‌سازی
الگوریتم ژنتیک
سایش ابزار
زبری سطح

سیالات برشی برای دستیابی به اهداف مختلفی به کار می‌روند. از سیالات برشی برای رسیدن به کیفیت سطح بهتر، سایش ابزار کمتر و کاهش نیروی برشی استفاده می‌شود. در این مقاله، تأثیر عملیات تبریدی ابزار برشی بر سایش ابزار و زبری سطح قطعه‌کار در مقایسه با تراشکاری خشک و معمولی فولاد AISI ۳۰۴ بررسی شده است. روش به‌کاررفته برای طراحی آزمایش‌ها، روش تاگوچی می‌باشد. به‌منظور تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌ها روش نسبت سیگنال به نویز به کار رفته است. از الگوریتم ژنتیک و رگرسیون به‌ترتیب برای بهینه‌سازی و مدل‌سازی سایش ابزار و زبری سطح قطعه‌کار استفاده شده است. از رگرسیون برای تعیین رابطه سرعت برشی، نرخ پیشروی، عمق برش و شرایط ماشین‌کاری به‌عنوان متغیرهای مستقل با سایش ابزار و زبری سطح به‌عنوان متغیر پاسخ استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که تراشکاری فولاد زنگ‌نزن AISI ۳۰۴ با ابزار عملیات تبریدی‌شده در مقایسه با تراشکاری خشک و معمولی، زبری سطح قطعه‌کار را کاهش می‌دهد. افزایش مقدار فاز آنا یکی از دلایل کاهش سایش و افزایش سختی ابزار عملیات تبریدی‌شده می‌باشد. مقادیر بهینه برای سایش ابزار و زبری سطح قطعه‌کار به‌ترتیب ۰/۴ میلی‌متر و ۲/۸ میکرون متر ارائه شده است.

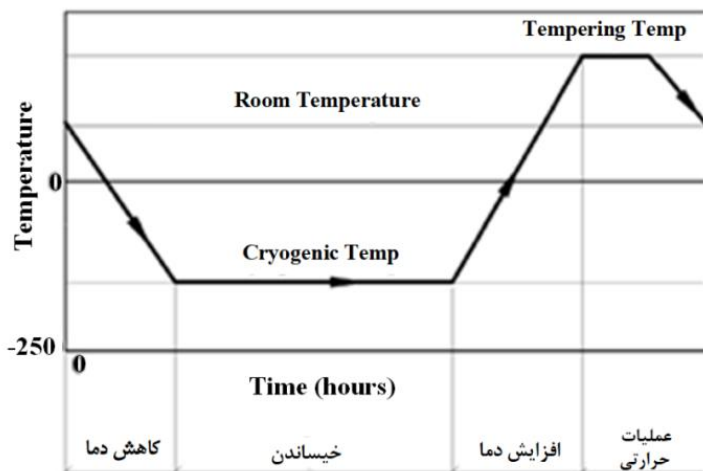
*نویسنده مسئول: ولی‌اله پناهی‌زاده

پست الکترونیکی:

v.panahizadeh@sru.ac.ir

مقدمه

روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی وجود دارد. از جمله روش‌های بهینه‌سازی می‌توان به روش‌های تکاملی - هوشمند اشاره کرد. الگوریتم ژنتیک، یکی از روش‌های بهینه‌سازی تکاملی - هوشمند می‌باشد. جان هالند و همکارانش در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ این الگوریتم را توسعه دادند و یک مدل یا انتزاع از تکامل بیولوژیکی است که براساس نظریه انتخاب طبیعی چارلز داروین ساخته شده است [۱]. معیارهای مختلفی برای تقسیم‌بندی روش‌های ماشین‌کاری وجود دارد. یکی از این معیارها، سیالات برشی است. روش‌های ماشین‌کاری را می‌توان براساس سیالات برشی به ماشین‌کاری سبز، معمولی و خشک تقسیم‌بندی کرد. ماشین‌کاری خشک روشی است که از سیالات برشی استفاده نمی‌شود. در روش ماشین‌کاری معمولی که به روش تر نیز معروف است از سیالات برشی معمول (آب صابون) استفاده می‌شود. ماشین‌کاری سبز شامل روش‌هایی می‌شود که از سیالات برشی سازگار با محیط‌زیست استفاده می‌کنند. ماشین‌کاری تبریدی و روان‌کاری کمینه از جمله روش‌های ماشین‌کاری سبز محسوب می‌شوند. در بین فولادهای سری ۳۰۰، فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۰۴ بیشترین کاربرد را دارد. این فولاد در حالت خشک قابلیت ماشین‌کاری پایینی دارد. سایش زیاد ابزار، قابلیت هدایت حرارتی پایین، کیفیت سطح پایین حساسیت به نرخ تنش و کرنش از مشکلات ماشین‌کاری فولاد ۳۰۴ به‌شمار می‌رود [۲]. کارایی ابزارهای برشی را می‌توان از طریق روش‌های مختلف مثل عملیات تبریدی افزایش داد. سیالات برشی معمول، علی‌رغم تأثیر مثبت بر کاهش اصطکاک و دما، مشکلات تنفسی را برای اپراتور به دنبال دارند. از عوامل ضداکتری در سیالات برشی مبتنی بر آب برای کاهش رشد میکرو ارگانیزم استفاده می‌شود که تحت تأثیر دمای بالای فرایند براده‌برداری گازهایی آزاد می‌کنند که برای سلامت اپراتور مضر است [۳]. با توجه به عوارض خنک‌کاری معمولی برای اپراتور و محیط زیست، گرایش به استفاده از روش‌های خنک‌کاری تبریدی افزایش یافته است. روش‌های خنک‌کاری تبریدی عبارتند از: الف) عملیات تبریدی، ب) پیش‌سرد کردن قطعه‌کار، ج) خنک‌کاری تبریدی پاششی و د) خنک‌کاری تبریدی غیرمستقیم [۴]. عملیات تبریدی تأثیر بسیاری در افزایش عمر ابزار و بهبود نرخ برداشت ماده دارد [۵]. این عملیات علاوه بر افزایش سختی و ثبات ابعادی قادر به بهبود خواص مقاومت در برابر سایش و خوردگی نیز می‌باشد [۶]. مراحل چهارگانه عملیات تبریدی به‌ترتیب شامل الف) کاهش دما، ب) خیساندن نمونه‌ها، ج) افزایش دما و د) انجام عملیات حرارتی می‌شود [۷]. در شکل ۱ فرایند عملیات تبریدی نشان داده شده است. برای سرد کردن و کاهش دما از گازهایی با قدرت خنک‌کنندگی بالا استفاده می‌شود. در عملیات تبریدی، دمای نمونه‌ها با استفاده از گازهایی با قدرت خنک‌کنندگی بالا مانند هلیوم به آرامی بین ۸۰- تا ۱۹۶- درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد و پس از یک توقف زمانی معین در آن دما، نمونه‌ها عملیات حرارتی می‌شوند [۸].



شکل ۱. فرایند عملیات تبریدی [۷].

ساختار میکروسکوپی تنگستن کارباید شامل: الف) فاز اتا (η)، ب) کبالت یا فاز بتا (β)، ج) فاز گاما (γ) و د) تنگستن کارباید یا فاز آلفا (α) می‌شود [۹]. در بین فازهای موجود در ساختار میکروسکوپی تنگستن کارباید، فاز اتا بیشترین مقدار سختی را دارد [۱۰]. انجام فرایند عملیات تبریدی باعث افزایش مقدار فاز اتا (η) می‌شود که علاوه بر افزایش سختی، بهبود چقرمگی شکست را نیز به دنبال دارد. افزایش مقدار فاز اتا باعث بهبود قابلیت هدایت حرارتی تنگستن کارباید می‌شود [۱۱]. بنیکسان و همکاران [۱۲] از عملیات تبریدی ابزار برشی به منظور بررسی تأثیر آن بر سایش ابزار استفاده کردند. آن‌ها بیان کردند که فرزکاری فولاد AISI H13 با ابزار عملیات تبریدی شده در مقایسه با ابزار معمولی دارای سایش ابزار کمتری است. بینکسان و همکاران دلیل کاهش سایش و بهبود عمر ابزار عملیات تبریدی شده را بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی ابزار کاربیدی دانستند. پادماکومار و دیناکاران [۱۳] در بررسی تجربی آستانه فرسایش و سایش نوک ابزار در فرزکاری با ابزار کاربیدی عملیات تبریدی شده و معمولی در عمق برش ۲ میلی‌متر و سرعت‌های برشی ۱۴۰ متر بر دقیقه به این نتیجه رسیدند که انجام عملیات تبریدی روی ابزار برشی در مقایسه با ابزار برش معمولی باعث کاهش ۵ درصدی آستانه فرسایش و ۶/۸ درصدی سایش نوک ابزار می‌شود. ماکوتی و همکاران [۱۴] در بررسی تأثیر عملیات تبریدی بر نیروی برش و توان مصرفی در فرزکاری فولاد P20 نشان دادند که عملیات تبریدی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش نیروی برش و توان مصرفی فرایند فرزکاری دارد. سلیمی‌نیا و ابوترابی [۱۵] به بررسی تأثیر خنک‌کاری تبریدی پاششی ابزار کاربیدی بر نسبت تراش و کیفیت سطح در تراشکاری فولاد AIAI ۳۰۴ پرداختند. آن‌ها بیان کردند که تراشکاری با ابزار عملیات تبریدی شده در مقایسه با ابزار معمولی دارای کیفیت سطح بهتر و نسبت تراش بالاتری است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزایش نسبت تراش در تراشکاری تبریدی و به دنبال آن کاهش نیروی برش و ارتعاشات ابزار، باعث کاهش زبری سطح در طول فرایند براده‌برداری می‌شود.

عملیات تبریدی یکی از روش‌های خنک‌کاری تبریدی است که نسبت به سایر روش‌های خنک‌کاری تبریدی، معمولی (تر) و روانکاری کمین کم‌تر مورد تحقیق و پژوهش قرار گرفته است. در این مقاله، به بررسی تأثیر عملیات

تبریدی ابزار برشی بر سایش ابزار و کیفیت سطح در مقایسه با تراشکاری خشک و معمولی فولاد ۳۰۴ تحت پارامترهای برشی مختلف پرداخته شده است. پس از مدل‌سازی نتایج حاصل از آزمایش‌های تجربی، مقادیر تجربی سایش ابزار و زبری سطح با الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی شده است.

روش انجام آزمایش

قطعه‌کار استفاده شده در این پژوهش، از جنس فولاد AISI ۳۰۴ با قطر ۴۰ میلی‌متر است که خواص آن در جدول ۱ ارائه شده است. از کوانتومتری برای اندازه‌گیری درصد عناصر آلیاژی قطعه‌کار، استفاده شده است. آزمایش کوانتومتری در سه نقطه مختلف از سطح نمونه انجام و میانگین آن‌ها به‌عنوان ترکیب شیمیایی در نظر گرفته شد. در جدول ۲ ترکیب شیمیایی فولاد آستنیتی ۳۰۴ مورد استفاده ذکر شده است.

جدول ۱. خواص فولاد آستنیتی ۳۰۴ [۱۶].

مقدار	پارامتر
۰.۳	ضریب پواسون
۸۰۰۰	چگالی (kg/m ³)
۱۹۳	مدول الاستیک (GPa)
۲۰۵	استحکام تسلیم (MPa)
۵۱۵	استحکام کششی (MPa)
۵۰۰	ظرفیت گرمایی ویژه (J/kg °C)
۱۶.۲	ضریب انبساط حرارت (C ⁻¹)

در این مقاله، ابتدا تأثیر پارامترهای زمان خیساندن در نیتروژن مایع (۲۴ و ۷۲ ساعت)، زمان (۱/۵ و ۲ ساعت) و تعداد مراحل عملیات حرارتی (۱ و ۳ مرحله) بر مقاومت به سایش ابزار برشی بررسی و سپس بهترین حالت مشاهده شده برای مقایسه با روش‌های ماشین‌کاری خشک و تر مورد استفاده قرار گرفته است. مطابق نتایج حاصل، حالت بهینه پارامترهای عملیات تبریدی شامل ۲۴ ساعت خیساندن در دمای ۱۹۶- درجه سانتی‌گراد و انجام سه مرحله عملیات حرارتی هر کدام به مدت زمان ۲ ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود. از اینسرت کاربایدی فاقد براده‌شکن و بدون پوشش استفاده شده است. طبق استاندارد ایزو کد ابزار مورد استفاده ۱۵۰۶۰۴ SNMG می‌باشد. برای اندازه‌گیری مقدار سایش ابزار از میکروسکوپ نوری استفاده شده است. تراشکاری در حالت‌های تبریدی، تر و خشک تحت پارامترهای برشی مختلف انجام شده است. در جدول ۳ پارامترهای ماشین‌کاری مورد استفاده در آزمایش‌های تجربی بیان شده است.

جدول ۲. ترکیب شیمیایی فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴.

مقدار	عنصر
۷۱.۱۰	آهن
۰.۰۶۵	کربن
۰.۳۴۲	سیلیسیم

مقدار	عنصر
۱.۰۰۰	منگنز
۰.۰۰۵	فسفر
۰.۰۱۹	گوگرد
۱۸.۴۰	کروم
۸.۱۶۰	نیکل
۰.۰۱۱	آلومینیوم
۰.۰۰۹	کبالت
۰.۴۳۲	مس
۰.۰۰۷	تیتانیوم
۰.۰۷۰	وانادیوم
۰.۰۱۳	نیوبیم
< ۰.۰۲	تنگستن
۰.۲۳۱	مولیبدن

جدول ۳. پارامترهای ماشین‌کاری در آزمایش‌های تجربی.

مقدار	پارامتر
۴۲, ۶۲, ۸۲	سرعت برشی (m/min)
۰.۲, ۰.۳, ۰.۴	نرخ پیشروی (mm/rev)
۰.۴, ۰.۸, ۱.۲	عمق برش (mm)
عملیات تبریدی، خشک، تر	شرایط ماشین‌کاری

سیال برشی در حالت ماشین‌کاری تر مخلوطی از ۹۵ درصد آب و ۵ درصد روغن برش است. به‌منظور کاهش تعداد آزمایش‌های موردنیاز روش تاگوچی مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول ۴ سطوح پارامترهای ماشین‌کاری مورد استفاده در هر یک از آزمایش‌های تجربی ارائه شده است. طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل نتایج حاصل توسط نرم‌افزار مینی‌تب انجام شده است. در این مقاله از آنالیز واریانس برای بررسی میزان تأثیر سرعت برشی، نرخ پیشروی، عمق برش و شرایط ماشین‌کاری بر سایش ابزار و زبری سطح استفاده شده است. از بین روش‌هایی مختلفی که برای بیان زبری سطح وجود دارد، روش زبری متوسط با نماد Ra انتخاب گردید. برای اندازه‌گیری زبری سطح نمونه‌ها از دستگاه زبری‌سنج مدل TR۱۰۰ طول کورس ۲/۵ میلی‌متر با استفاده شد. زبری سطح در چهار نقطه متفاوت از سطح هر نمونه اندازه‌گیری و میانگین چهار نقطه به‌عنوان زبری سطح متوسط ثبت گردید. در شکل ۲ تعدادی از تجهیزات به‌کاررفته نشان داده شده است.

جدول ۴. سطوح پارامترهای ماشین‌کاری در آزمایش‌های تجربی.

مرحله	شرایط ماشین‌کاری	سرعت برشی (m/mim)	نرخ پیشروی (mm/rev)	عمق برش (mm)
۱	عملیات تبریدی	۴۲	۰.۴	۰.۴
۲	تر	۴۲	۰.۳	۰.۸
۳	خشک	۴۲	۰.۲	۱.۲
۴	خشک	۶۲	۰.۴	۰.۴
۵	عملیات تبریدی	۶۲	۰.۳	۰.۸
۶	تر	۶۲	۰.۲	۱.۲
۷	تر	۸۳	۰.۴	۰.۴
۸	خشک	۸۳	۰.۳	۰.۸
۹	عملیات تبریدی	۸۳	۰.۲	۱.۲



(الف)



(ج)



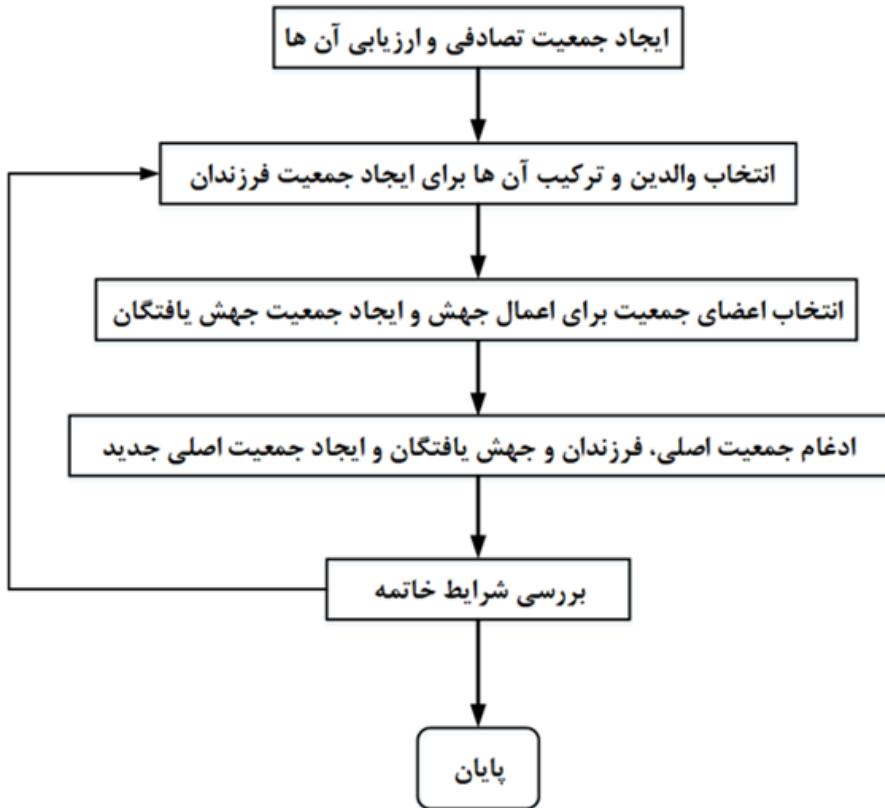
(ب)

شکل ۲. تجهیزات استفاده شده شامل الف) دستگاه تراش، ب) زبری‌سنج و ج) ابزار برشی.

مدل‌سازی و بهینه‌سازی

از مدل‌سازی می‌توان برای تعیین رابطه یک یا چند متغیر مستقل (ورودی)، با متغیر وابسته یا پاسخ استفاده کرد. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی و تعیین رابطه و تأثیر چندین متغیر ورودی بر متغیر پاسخ وجود دارد. در این مقاله از رگرسیون برای تعیین رابطه نرخ پیشروی، سرعت برشی، عمق برش و شرایط ماشین‌کاری به‌عنوان متغیرهای ورودی

با سایش ابزار و زبری سطح به‌عنوان متغیر پاسخ (خروجی) استفاده شده است. منظور از بهینه‌سازی، یافتن بهترین پاسخ برای آزمایش است که پاسخ آزمایش، بسته به هدف آن، کمینه یا بیشینه شود. از جمله روش‌های بهینه‌سازی می‌توان به روش‌های کلاسیک و تکاملی - هوشمند اشاره کرد. الگوریتم‌های ژنتیک، زنبور عسل، حرکت دسته‌ای، مسیریابی، تکامل اجتماعی و تکامل تفاضلی از جمله روش‌های بهینه‌سازی تکاملی-هوشمند می‌باشند. در این تحقیق از ژنتیک الگوریتم برای بهینه‌سازی سایش ابزار و زبری سطح استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک روشی عمومی و پرکاربرد برای بهینه‌سازی مسائل دارای پارامترهای گسسته است. از این الگوریتم به‌عنوان ابزاری قدرتمند در بهینه‌سازی مسائل مهندسی، ریاضیات و سایر زمینه‌ها استفاده می‌شود. مراحل الگوریتم ژنتیک در شکل ۳ نشان داده شده است.

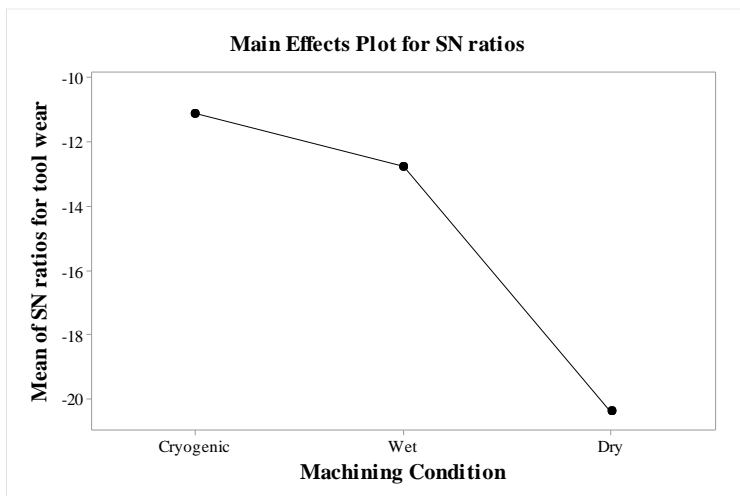


شکل ۳. مراحل الگوریتم ژنتیک.

نتایج و بحث

سایش ابزار

ابزار برشی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای سیستم ماشین‌کاری، تأثیر زیادی بر کارایی فرایند براده‌برداری دارد. دمای ایجاد شده در براده‌برداری، ناشی اصطکاک بین ابزار با براده و قطعه‌کار و تغییر شکل پلاستیک مواد است. ارتفاع آستانه فرسایش و عمق گودال فرسایش از جمله معیارهای اندازه‌گیری عمر ابزار می‌باشند. در این مقاله ارتفاع آستانه فرسایش در حالت‌های مختلف ماشین‌کاری بررسی شده است. برای براده‌برداری از مواد مختلف، از جنس ابزار متناسب با خواص جنس قطعه‌کار استفاده می‌شود. الماس، سرامیک، سمرت و کارباید از جمله جنس‌های مختلف ابزار برشی می‌باشند که در این بین عموماً ابزارهای کاربایدی بیشترین کاربرد را دارند. در بین فازهای چهارگانه تنگستن کارباید، فاز اتا (η) سخت‌ترین فاز است. انجام فرایند عملیات تبریدی با افزایش مقدار فاز اتا (η)، علاوه بر سختی و چقرمگی شکست، قابلیت هدایت حرارتی تنگستن کارباید را نیز افزایش می‌دهد. در شکل ۴ نمودار نسبت سیگنال به نویز تأثیر شرایط ماشین‌کاری بر سایش ابزار را نشان داده شده است. با توجه به اهمیت کاهش سایش ابزار از حالت «کمتر بهتر» استفاده شده است. در حالت کمتر بهتر، هرچه مقدار هر پارامتر موردبررسی کمتر باشد بهتر است. با توجه به شکل ۴ با تغییر شرایط ماشین‌کاری از تبریدی به تر و از تر به خشک، مقدار سایش ابزار بیشتر می‌شود. کمترین سایش مربوط به حالت ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی شده و بیشترین سایش ابزار در حالت ماشین‌کاری خشک می‌باشد. ازدیاد مقدار فاز اتا (η) باعث افزایش قابلیت هدایت حرارتی ابزار برشی و کاهش تمرکز حرارت در ابزار می‌شود. در ماشین‌کاری تبریدی کاهش دمای ابزار و جلوگیری از نرم شدن حرارتی آن دلیل کاهش سایش ابزار عملیات تبریدی شده می‌باشد. افزایش سختی ابزار عملیات تبریدی شده به دلیل افزایش مقدار فاز اتا (η) از دیگر دلایل کاهش سایش ابزار کاربایدی در مقایسه با حالت تراشکاری معمولی و خشک است. روند مشاهده‌شده در مورد تأثیر عملیات تبریدی ابزار برشی بر کاهش سایش ابزار، با نتایج به‌دست‌آمده در سایر پژوهش‌ها [۱۷؛ ۱۸] مطابقت دارد. جدول ۵، آنالیز واریانس برای سایش ابزار را نشان می‌دهد. در جدول ۵، میزان تأثیر سرعت برشی، نرخ پیش‌روی، عمق برش و شرایط ماشین‌کاری بر سایش ابزار برشی به‌ترتیب ۱۰/۵۰، ۳/۱۰ و ۷۸/۲۲ درصد است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین تأثیر را شرایط ماشین‌کاری و کمترین تأثیر را عمق برش بر سایش ابزار دارد. برای تعیین رابطه سرعت برشی (v)، نرخ پیش‌روی (f)، عمق برش (a) و شرایط ماشین‌کاری (m) به‌عنوان متغیرهای مستقل با سایش ابزار (Tw) به‌عنوان متغیر پاسخ در این پژوهش از رگرسیون استفاده شده است. در معادله (۱) مدل رگرسیون برای سایش ابزار نشان داده شده است. مقدار متوسط کاهش سایش ابزار در تراشکاری ابزار عملیات تبریدی شده نسبت به تراشکاری خشک و معمولی به‌ترتیب ۶۷ و ۵۰ درصد است. مقادیر بهینه حاصل از الگوریتم ژنتیک برای سایش ابزار برابر با ۰/۴ میلی‌متر است. مطابق الگوریتم ژنتیک برای دستیابی به کمترین سایش ابزار حالت بهینه عبارت است از: ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی شده، سرعت برشی ۴۲ m/min، نرخ پیش‌روی ۰/۴ mm/rev و عمق برش ۰/۴ mm.



شکل ۴. نمودار نسبت سیگنال به نویز اثر شرایط ماشین‌کاری بر سایش ابزار.

جدول ۵. آنالیز واریانس برای سایش ابزار.

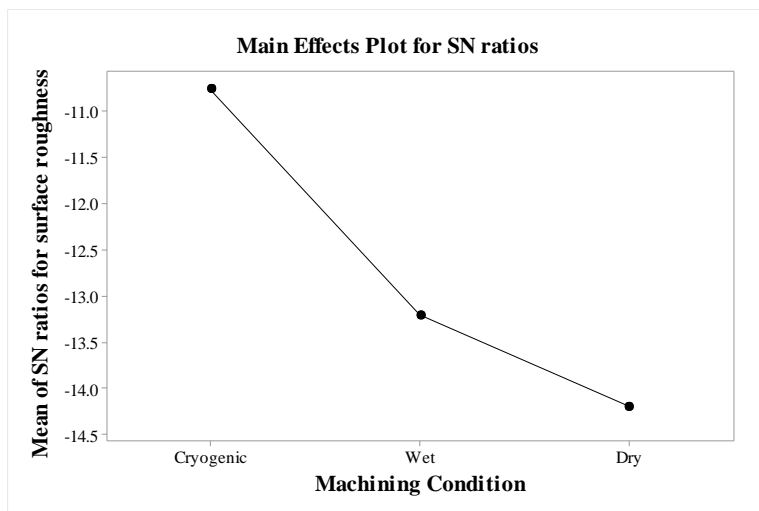
منبع تغییرات	درج آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار تأثیر
سرعت برشی	۲	۲۰۱.۸۴	۱۰۰.۹۲	۱۰.۱۷%
نرخ پیشروی	۲	۱۶۸.۶۰	۸۴.۳۰۲	۸.۵۰%
عمق برش	۲	۶۱.۵۹	۳۰.۷۹	۳.۱۰%
شرایط ماشین‌کاری	۲	۱۵۵۱.۹۸	۷۷۵.۹۸	۷۸.۲۲%
خطا	۷۲	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰%
مجموع	۸۰	۱۹۸۴.۰۲	۹۹۱.۹۹۲	۱۰۰%

$$Tw = -13.50 + 0.0943(v) + 17.67(f) + 2.67(d) + 5.361(m) \quad (1)$$

زبری سطح

در این بخش، به بررسی زبری سطح قطعه‌کار مورد استفاده در آزمایش‌ها تجربی پرداخته شده است. یکی از اهداف استفاده سیالات برشی رسیدن به زبری سطح پایین‌تر است. یکی از موثرترین پارامترهای خروجی فرایند ماشین‌کاری بر زمان و هزینه نهایی تولید، زبری سطح قطعه‌کار می‌باشد. در حالت ایده‌آل زبری سطح، فقط به شعاع لبه برنده ابزار و نرخ پیشروی وابستگی دارد. با افزایش نرخ پیشروی زبری سطح افزایش می‌یابد ولی افزایش شعاع لبه برنده ابزار باعث کاهش آن می‌شود. ولی در واقعیت زبری سطح به سایش ابزار، ارتعاش ابزار، جنس ابزار و سیالات برشی نیز وابسته است. از ابزار برشی می‌توان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زبری سطح قطعه‌کار نام برد. شکل ۵ نمودار نسبت سیگنال به نویز تأثیر شرایط ماشین‌کاری بر زبری سطح قطعه‌کار را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت کاهش زبری سطح از حالت «کمتر بهتر» استفاده شده است. مطابق شکل ۵ مقدار زبری سطح با تغییر حالت

از ماشین‌کاری تبریدی به تر و از تر به خشک بیشتر می‌شود. بیشترین زبری سطح در حالت خشک و کمترین زبری سطح در حالت ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی شده مشاهده می‌شود. با کاهش سایش ابزار و به تبع آن کاهش سطح تماس ابزار و قطعه‌کار، نفوذ ابزار به قطعه‌کار راحت‌تر و میزان ارتعاش ابزار کمتر می‌شود. دلیل بهبود زبری سطح قطعه‌کار در ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی شده کاهش سایش و حفظ تیزی لبه برنده ابزار است. روند مشاهده‌شده در مورد تأثیر عملیات تبریدی ابزار براده‌برداری بر زبری سطح، با نتایج سایر محققان [۱۹؛ ۲۰] مطابقت دارد. در جدول ۶ آنالیز واریانس برای زبری سطح قطعه‌کار نشان داده شده است. طبق آنالیز واریانس، میزان تأثیر شرایط ماشین‌کاری، نرخ پیشروی، عمق برش و سرعت برشی بر زبری سطح قطعه‌کار به ترتیب ۹۹/۶۷، ۰/۰۱، ۰/۲۲ و ۰/۱ درصد است. بیشترین و کمترین تأثیر را بر زبری سطح به ترتیب شرایط ماشین‌کاری و نرخ پیشروی داشته‌اند. برای مدل‌سازی و تعیین رابطه شرایط ماشین‌کاری (m)، عمق برش (a)، نرخ پیشروی (f) و سرعت برشی (v) به‌عنوان متغیرهای چهارگانه ورودی با زبری سطح قطعه‌کار (Ra) به‌عنوان متغیر پاسخ یا خروجی از رگرسیون استفاده شده است. در معادله (۲) مدل رگرسیون برای زبری سطح قطعه‌کار نشان داده شده است. مقدار متوسط کاهش سایش ابزار در تراشکاری ابزار عملیات تبریدی شده نسبت به تراشکاری خشک و معمولی به ترتیب ۶۳ و ۴۶ درصد است. مقادیر بهینه حاصل از الگوریتم ژنتیک برای زبری سطح قطعه‌کار برابر با ۲/۸ میکرون‌متر است. مطابق الگوریتم ژنتیک زبری سطح بهینه در سرعت برشی ۸۳ m/min، نرخ پیشروی ۰/۴ mm/rev، عمق برش ۱/۲ mm و حالت ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی شده به دست می‌آید.



شکل ۵. نمودار نسبت سیگنال به نویز اثر شرایط ماشین‌کاری بر زبری سطح.

جدول ۶. آنالیز واریانس برای زبری سطح.

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار تأثیر
سرعت برشی	۲	۰.۳۸۲	۰.۱۹۱	۰.۱۰%
نرخ پیشروی	۲	۰.۰۲۹	۰.۰۱۴	۰.۰۱%
عمق برش	۲	۰.۸۳۰	۰.۴۱۵	۰.۲۲%
حالت روان‌کاری	۲	۳۹۷.۵	۱۸۹.۷	۹۹.۶۷%
خطا	۷۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰%
مجموع	۸۰	۳۸۰.۷	۱۹۰.۳۲	۱۰۰%

$$Ra = 0.84 - 0.0041(v) + 0.23(f) - 0.31(d) + 2.651(m) \quad (2)$$

نتیجه‌گیری

در این مقاله، به بررسی تأثیر عملیات تبریدی ابزار برشی بر سایش ابزار و زبری سطح و مقایسه آن با حالت‌های تراشکاری خشک و تراشکاری تر یا معمولی روی فولاد آستنیتی ۳۰۴ پرداخته شده است. بنابر نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت:

- ۱- استفاده از ابزار عملیات تبریدی‌شده در تراشکاری فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۰۴ باعث کاهش سایش ابزار نسبت به حالت‌های معمولی و خشک شده است که دلیل این امر افزایش فاز آتا و به دنبال آن افزایش سختی و کاهش تمرکز حرارت در لبه برنده ابزار برشی است.
- ۲- شرایط ماشین‌کاری با ۷۸/۲۲ درصد بیشترین تأثیر و عمق برش با ۳/۱ درصد کمترین تأثیر را بر سایش ابزار داشته است.
- ۳- مقدار بهینه برای سایش ابزار طبق الگوریتم ژنتیک مربوط به حالت ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی‌شده و برابر ۰/۴ میلی‌متر است.
- ۴- در ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی‌شده سایش ابزار به‌طور متوسط به‌ترتیب ۶۷ و ۵۰ درصد نسبت به حالت ماشین‌کاری خشک و خنک‌کاری معمولی کاهش نشان داد.
- ۵- زبری سطح در ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی‌شده نسبت به دو حالت ماشین‌کاری خشک و معمولی به‌طور متوسط به‌ترتیب ۶۳ و ۴۶ درصد بهبود یافته است.
- ۶- علت کاهش زبری سطح در ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی‌شده نسبت به دو حالت ماشین‌کاری معمولی و خشک کاهش سایش است.
- ۷- شرایط ماشین‌کاری با ۹۹/۶۷ درصد بیشترین تأثیر و نرخ پیشروی با ۰/۱۰ درصد کمترین تأثیر را بر زبری سطح داشته است.
- ۸- طبق الگوریتم ژنتیک مقدار بهینه برای زبری سطح قطعه‌کار مربوط به حالت ماشین‌کاری با ابزار عملیات تبریدی‌شده و برابر ۲/۸ میکرون‌متر است.

References

- [1] Yang, X-S. (2010). *Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications*. John Wiley & Sons. https://www.google.com/books/edition/Engineering_Optimization/OU6yTrFj0UEC?hl=en
- [2] Kaladhar, M., Subbaiah, K. V., & Rao, C. S. (2013). Optimization of surface roughness and tool flank wear in turning of AISI 304 austenitic stainless steel with CVD coated tool. *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(2), 165-176. https://www.researchgate.net/profile/Chsrinivasa-Rao-2/publication/282736800_Optimization_of_surface_roughness_and_tool_flank_wear_in_turning_of_AISI_304_austenitic_stainless_steel_with_CVD_coated_tool/links/5645408908aef646e6cc2a8d/Optimization-of-surface-roughness-and-tool-flank-wear-in-turning-of-AISI-304-austenitic-stainless-steel-with-CVD-coated-tool.pdf?origin=publication_detail
- [3] Deshpande, Y. V., Andhare, A. B., & Padole, P. M. (2018). How cryogenic techniques help in machining of nickel alloys? A review. *Machining Science and Technology*, 22(4), 543-584. <https://doi.org/10.1080/10910344.2017.1382512>
- [4] Yildiz, Y., & Nalbant, M. (2008). A review of cryogenic cooling in machining processes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48(9), 947-964. <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2008.01.008>
- [5] Singh, A., & Grover, N. k. (2015). Wear Properties of Cryogenic Treated Electrodes on Machining Of En-31. *Materials Today: Proceedings*, 2(4), 1406-1413. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.060>
- [6] Voglar, J., Novak, Ž., Jovičević-Klug, P., Podgornik, B., & Kosec, T. (2021). Effect of Deep Cryogenic Treatment on Corrosion Properties of Various High-Speed Steels. *Metals*, 11(1), 1-16. <https://doi.org/10.3390/met11010014>
- [7] Akincioglu, S., Gökaya, H., & Uygur, İ. (2015). A review of cryogenic treatment on cutting tools. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(9), 1609-1627. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6755-x>
- [8] Senthilkumar, D., & Rajendran, I. (2011). Influence of Shallow and Deep Cryogenic Treatment on Tribological Behavior of En 19 Steel. *Journal of Iron and Steel Research, International*, 18(9), 53-59. [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60034-X](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60034-X)
- [9] Padmakumar, M., & Dinakaran, D. (2021). A review on cryogenic treatment of tungsten carbide (WC-Co) tool material. *Materials and Manufacturing Processes*, 36(6), 637-659. <https://doi.org/10.1080/10426914.2020.1843668>
- [10] Chopra, S. A., & Sargade, V. G. (2015). Metallurgy behind the Cryogenic Treatment of Cutting Tools: An Overview. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 1814-1824. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.119>
- [11] Gill, S. S., Singh, J., Singh, H., & Singh, R. (2012). Metallurgical and mechanical characteristics of cryogenically treated tungsten carbide (WC-Co). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(1), 119-131. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3369-4>
- [12] Li, B., Zhang, T., & Zhang, S. (2018). Deep cryogenic treatment of carbide tool and its cutting performances in hard milling of AISI H13 steel. *Procedia CIRP*, 71, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.05.019>
- [13] Padmakumar, M., & Dinakaran, D. (2020). Investigation on the effect of cryogenic treatment on tungsten carbide milling insert with 11% cobalt (WC-11%Co). *Springer Nature Applied Sciences*, 2(6), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2872-3>

- [14] Mukkoti, V. V., Sankaraiah, G., & Yohan, M. (2018). Effect of cryogenic treatment of tungsten carbide tools on cutting force and power consumption in CNC milling process. *Production & Manufacturing Research*, 6(1), 149-170. <https://doi.org/10.1080/21693277.2018.1436011>
- [15] Saliminia, A., & Abootorabi, M. M. (2019). Experimental investigation of surface roughness and cutting ratio in a spraying cryogenic turning process. *Machining Science and Technology*, 23(5), 779-793. <https://doi.org/10.1080/10910344.2019.1584821>
- [16] Xavior, M. A., & Adithan, M. (2009). Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(2), 900-909. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.068>
- [17] He, H-B., Han, W-Q., Li, H-Y., Li, D-Y., Yang, J., Gu, T., & Deng, T. (2014). Effect of deep cryogenic treatment on machinability and wear mechanism of TiAlN coated tools during dry turning. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15(4), 655-660. <https://doi.org/10.1007/s12541-014-0384-z>
- [18] Özbek, N. A., Çiçek, A., Gülesin, M., & Özbek, O. (2014). Investigation of the effects of cryogenic treatment applied at different holding times to cemented carbide inserts on tool wear. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 86, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2014.06.007>
- [19] Akıncioğlu, S., Gökkaya, H., & Uygur, İ. (2016). The effects of cryogenic-treated carbide tools on tool wear and surface roughness of turning of Hastelloy C22 based on Taguchi method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(1), 303-314. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7356-z>
- [20] NAS, E., & ÖZBEK, N. A. (2020). Optimization Of The Machining Parameters In Turning Of Hardened Hot Work Tool Steel Using Cryogenically Treated Tools. *Surface Review and Letters*, 27(05), 1-14. <https://doi.org/10.1142/s0218625x19501774>