



Experimental Study of Tool Texture on Machining Forces in Hard Steel Turning Process



ARTICLE INFO

Authors

Sadr M.¹,
Rasti A.^{2*}
Sadeghi M.H.³
Yazdani Khameneh M¹

¹ Master's student at the Faculty of Mechanical Engineering, Tarbiat modares University, Tehran, Iran.

² Assistant Professor at the Faculty of Mechanical Engineering, Tarbiat modares University, Tehran, Iran.

³ Professor at the Faculty of Mechanical Engineering, Tarbiat modares University, Tehran, Iran.

* Correspondence

Address: a.rasti@modares.ac.ir

How to cite this article

Sadr M, Rasti A, Sadeghi M.H, Yazdani Khameneh M. Experimental Study of Tool Texture on Machining Forces in Hard Steel Turning Process. Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2023;23(10):189-194.

ABSTRACT

In this article, the effect of creating a surface pattern on the expression of cutting has been studied. More precisely, the effect of the texture created by laser engraving on the values of machining forces was investigated in different states, and these tests were performed both in the presence of lubricant and in its absence. The parameters of depth, pitch, texture diameter and distance from Cutting edges were considered as tool texture parameters. A total of 9 experiments were conducted using the Taguchi test design method. Lubrication in both textured and non-textured tools reduced the machining force by 30-35%. In the end, the machining forces obtained from the test were compared with textured and non-textured tools in the presence of lubricant, and it was observed that due to texturing of the tool, the machining force decreased by about 28%.

Keywords Texture Tool, Hard Machining, Lubrication

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی ماشینکاری و ماشینهای ابزار پیشرفته
مهر ۱۴۰۲، دوره ۲۳، شماره ۱۰، صفحه ۱۸۹-۱۹۴



مطالعه تجربی بافت ابزار بر نیروهای ماشینکاری در فرایند تراشکاری فولاد سخت



چکیده

در این مقاله تاثیر ایجاد الگوی سطح بر روی ابزار تراش، مورد مطالعه قرار گرفته است. به طور دقیق تر، تاثیر بافت ایجاد شده بوسیله حکاکی با لیزر بر مقادیر نیروهای ماشینکاری در حالت های مختلف بررسی گردید که این آزمایش ها هم در حضور روانکار و هم در غیاب آن انجام گردید. پارامترهای عمق، گام، قطر بافت و فاصله از لبه برش، به عنوان پارامترهای بافت ابزار در نظر گرفته شدند. در مجموع ۹ آزمایش با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی انجام شد. روانکار در هر دو ابزار دارای بافت و بدون بافت باعث کاهش حدود ۳۰ الی ۳۵ درصدی نیروی برآیند ماشینکاری شد. در انتها نیروهای ماشینکاری حاصل از آزمایش با ابزار دارای بافت و بدون بافت در حضور روانکار مقایسه شدند که مشاهده شد در اثر بافت دار کردن ابزار، نیروی برآیند ماشینکاری، حدود ۲۸ درصد کاهش یافت.

مشخصات مقاله

نویسنده ها

محسن صدر^۱

امیر راستی^{۲*}

محمد حسین صادقی^۳

محمد یزدانی خامنه^۱

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی

مکانیک-ساخت و تولید، دانشگاه

تربیت مدرس تهران

^۲ استادیار، مهندسی مکانیک-ساخت و

تولید، دانشگاه تربیت مدرس تهران

^۳ استاد تمام، مهندسی مکانیک-

ساخت و تولید، دانشگاه تربیت مدرس

تهران

* نویسنده مسئول

آدرس: آزمایشگاه طراحی و ساخت به

کمک کامپیوتر، دانشگاه تربیت

مدرس تهران

a.rasti@modares.ac.ir

کلیدواژه ها بافت ابزار، تراشکاری سخت، روانکاری

۱- مقدمه

تقریباً ۲۵ تا ۶۰ درصد انرژی در نواحی تعامل ابزار-براده و ابزار-قطعه کار تلف می شود. اتلاف عمده انرژی در مناطق برهم کنش به دلیل اصطکاک است. استفاده از روان کننده ها و یا خنک کننده ها به طور بالقوه می تواند این مشکل را حل کند، لکن عملاً نفوذ سیال بین رابط ها در طول ماشین کاری دشوار است. برای رفع این مشکل، ایجاد ریزبافت بر روی سطح ابزار پیشنهاد شده است. این راه حل از دو جهت سودمند است. اولاً بافت به عنوان یک مخزن روان کننده در ناحیه برهم کنش عمل می کند و ثانیاً سطح تماس واقعی را کاهش می دهد. بنابراین، خواص تریبولوژیکی با بافت سطحی اصلاح می شود و با کاهش تلفات انرژی ناشی از اصطکاک عملکرد ابزار برش را بهبود می بخشد [1].

تکنیک های مختلفی برای ایجاد بافت سطحی در سال های اخیر توسعه یافته که بافت سطحی لیزری (LST) به دلیل انعطاف پذیری بالا، دقت بافت دهی برتر و کنترل پذیری خوب در میان این روش ها مختلف، قابل توجه است. در این کار، بافت بر روی سطوح بسیار نزدیک به لبه برش، در سطح براده-ابزار با استفاده از لیزر ایجاد شده اند.

بو مائو و همکاران در یک مطالعه مروری بافت سطح لیزری و تکنیک های مرتبط برای افزایش عملکرد تریبولوژیکی مواد مهندسی بررسی نموده و پیشرفت های اخیر LST برای بهبود خواص تریبولوژیکی مواد مهندسی را بررسی نمودند. طرح های فرآیند LST با استفاده از فرسایش مستقیم لیزر، تداخل لیزر، و پردازش شوک لیزری مورد بحث قرار گرفت و اثرات پارامترهای لیزر بر ویژگی های بافت نشان داده شد [2].

بافت سطح و روان کننده های جامد توانایی کاهش قابل ملاحظه اصطکاک و سایش در شرایط خشک را دارند. در دهه های اخیر، این دو فناوری ترکیب شده اند تا از مزایای هر دو برای عملکرد تریبولوژیکی برتر استفاده کنند. آندریاس روزنکرانز و همکاران در یک مطالعه مروری اثرات هم افزایی بافت سطح و روان کننده های جامد را برای تنظیم اصطکاک و سایش بررسی نمودند. در ابتدا بطور خلاصه آخرین دستاوردها در مورد بافت سطح و روان کننده های جامد، از جمله فلزات نرم، پلی تترا فلوراتیلن و مواد لایه ای دوبعدی پرداخته شد. سپس، هم افزایی بین بافت های سطحی و روان کننده های جامد، با تاکید ویژه بر مکانیسم های زیربنایی مورد بحث قرار گرفت [3].

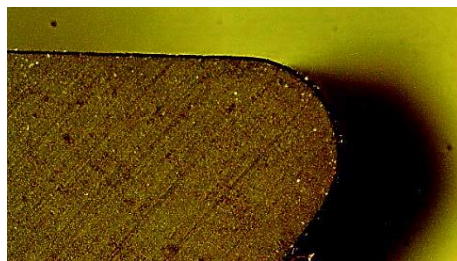
پینگ لو و همکاران در یک مطالعه مروری، عملکرد تریبولوژیکی بافت سطح در کاربردهای مکانیکی را بررسی نمودند. شکی نیست که برخی از سطوح بافت دار می توانند تأثیر مفیدی بر عملکرد تریبولوژیکی داشته باشند، اما لازم است که بهینه سازی بافت ها باید بر اساس نیازهای خاص برنامه انجام شود. کاهش اصطکاک تا ۳۴/۵ درصد در ابزارهای برش، ۸۲ درصد در رینگ پیستون و

سیلندر، ۱۸ درصد در یاتاقان ها با آزمایش های تجربی مشاهده شده است [4].

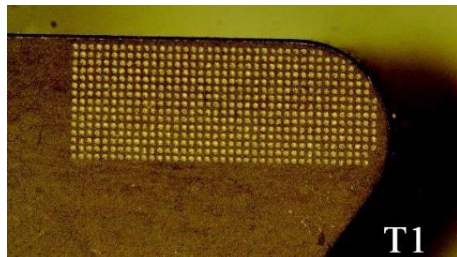
پریا رنجان و همکاران در یک مطالعه مروری نقش بافت ابزار را در بهبود عملکرد ماشینکاری بررسی نمودند. ثابت شد که بافت سطحی یکی از تکنیک هایی است که به بهبود خواص تریبولوژیکی ابزارهای بافت دار کمک می کند. بافت های سطح دارای اندازه، شکل هندسی متفاوتی هستند و به طور کلی یا در سطح پهلوی یا روی سطح ابزار برش ایجاد می شوند. کیفیت بافت تا حد زیادی به فرآیندهای تولیدی که استفاده شده است بستگی دارد. بنابراین داشتن درک کامل از پارامترهای مرتبط هر فرآیند بسیار ضروری است. بافت ابزار در بهبود خواص تریبولوژیکی، به دام افتادن براده، کاهش طول تماس و بهبود ظرفیت روانکاری موثر است که در نهایت به کاهش نیروهای برشی، بهبود سایش ابزار و زبری سطح قطعه کار کمک می کند [5].

تحقیقات زیادی در مورد استفاده از ابزارهای دارای بافت برای برش فولادها و آلیاژهای تیتانیوم وجود دارد که نشان دهنده اثرات مفید ابزار بافتی است. بافت های سطحی به طور موثر در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند. بافت سطح می تواند برای اصلاح مکانیسم های برش و در نتیجه بهبود خواصی مانند اصطکاک، ترشوندگی، بازتاب پذیری، جذب، چسبندگی و آب گریزی مورد استفاده قرار گیرد. از جمله مزایای ایجاد بافت سطحی می توان به بهبود ظرفیت باربرداری [6]، کاهش اصطکاک [۷]، کاهش آسیب سطح [۸] و افزایش عمر مفید [۹] اشاره کرد.

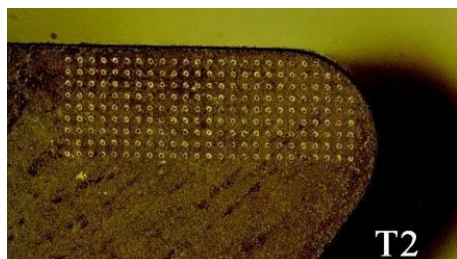
سیویه و بودیچرل، به مطالعه اثرات ابزارهای دارای بافت سطحی و اثرات روغن کاری حداقلی (MQL) بر سایش ابزار و زبری سطح در تراشکاری CNC فولاد AISI 52100 پرداختند. در بررسی تجربی، سه نوع ابزار برش در نظر گرفته شد که از میان آنها دو نوع ابزار یکی دارای بافتی با شیارهای ۴۵ درجه در لبه برش اصلی و دیگری با حفره های دایره ای در سطح بودند، و سومین ابزار، غیر بافتی بود. تجزیه و تحلیل تاگوچی برای مطالعه اثر ابزارهای مختلف دارای بافت سطحی و پارامترهای فرآیند بر عملکرد تراشکاری در طول ماشینکاری فولاد AISI 52100 تحت شرایط خنک کاری MQL انجام شد. از تجزیه و تحلیل تاگوچی، شرایط بهینه برش برای به دست آوردن کاهش زبری سطح و سایش کناره ابزار به ترتیب تعیین شد. همچنین نتیجه گرفته شد که شیارهای ۴۵ درجه شیبدار در لبه برش اصلی ابزار به ترتیب زبری سطح و سایش کناره ابزار را کاهش دادند. هنگامی که سرعت برشی افزایش یافت، زبری سطح کاهش یافت در حالی که سایش کناره ابزار افزایش پیدا کرد. با این حال، هر دو سایش کناره ابزار و زبری سطح با افزایش مقدار نرخ تغذیه مقدارشان افزایش پیدا کرد [۱۰].



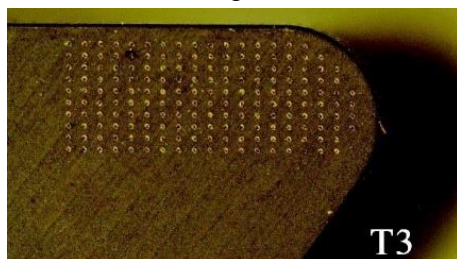
الف



ب



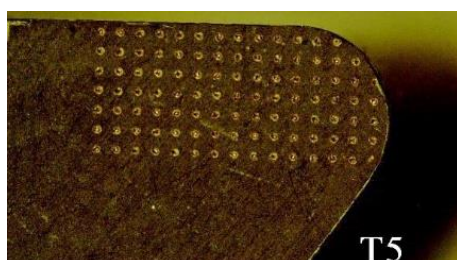
ج



د



ه



و

۲- شرح مساله

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر بافت بر نیروهای برش و ایجاد ریزبافت بر روی سطح ابزار برش نزدیک به لبه برش بدون کاهش استحکام لبه ابزار برش است. به این منظور بوسیله لیزر بافت هایی بر روی ابزار ایجاد شد. به این منظور ۹ نوع بافت مختلف بر روی ابزار ایجاد شد که در جدول ۱ ابعاد و موقعیت حفره های ایجاد شده، نشان داده شده است. در ادامه تأثیر بافت در فرآیند برش، از طریق مطالعات تجربی بررسی شده است.

جدول (۱) ابعاد و موقعیت حفره های ایجاد شده بر حسب میکرومتر

نام ابزار	قطر حفره	عمق حفره	فاصله حفره ها	فاصله از لبه برش
T1	۵۰	۱۰	۵۰	۷۵
T2	۵۰	۲۵	۱۰۰	۱۲۵
T3	۵۰	۵۰	۱۵۰	۱۷۵
T4	۱۰۰	۱۰	۱۵۰	۱۷۵
T5	۱۰۰	۲۵	۱۰۰	۷۵
T6	۱۰۰	۵۰	۵۰	۱۲۵
T7	۱۵۰	۱۰	۱۵۰	۱۲۵
T8	۱۵۰	۲۵	۵۰	۱۷۵
T9	۱۵۰	۵۰	۱۰۰	۷۵

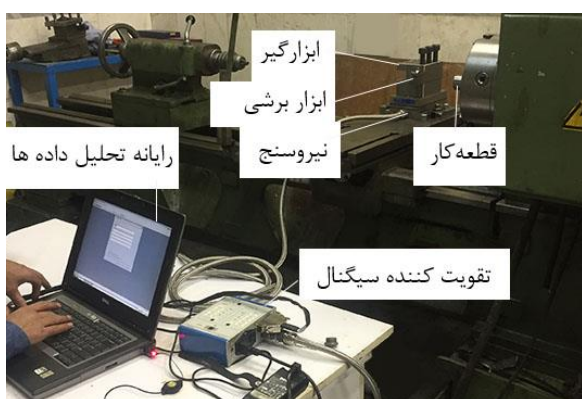
۲-۱- ابزار برش

ابزار دارای جنس کاربید تنگستن عرضه شده توسط CPX_ZCC مورد استفاده قرار گرفته که فاقد براده شکن و دارای سطح براده صاف است.

۲-۲- ایجاد بافت ابزار توسط لیزر

پردازش لیزری برای ساخت بافت های مقیاس میکرو برای سطح ابزار برش استفاده شده است. در بیشتر مطالعه های گزارش شده در مورد اثر میکرو بافت بر ابزار برش، از لیزر فمتوثانیه برای تولید ریزبافت استفاده شده است. در این تحقیق نیز، بافت بر روی سطح براده ابزارهای برش با استفاده از دستگاه لیزر فمتوثانیه فایبر ایجاد شد. پارامترهای لیزر برای به دست آوردن ترکیبی مناسب تغییر می کنند که بافت های با هندسه یکسان را با ابعادی از قطر ۵۰ تا ۱۵۰ میکرومتر و با عمق های مختلف در محدوده ۱۰-۵۰ میکرومتر تولید شدند. قطر بافت تولید شده توسط دستگاه لیزر به اندازه نقطه اسکنر لیزر محدود شد. توان لیزر بین ۱/۳ تا ۱/۵ وات در فرکانس ۱۰۰ کیلوهرتز و ۳۰۰ کیلوهرتز برای تولید بافت متغیر بود و در ادامه سرعت علامت گذاری لیزر ۱ میلی متر بر ثانیه، ۱۰۰ کیلوهرتز در هر پالس برای بافت سطح ابزار به ازای هر ۵ میکرومتر انتخاب شد. شکل ۱ انواع مختلف بافت های ایجاد شده بر روی ابزار کار را نشان داده است.

سطوح و عوامل، استفاده می‌شود. در حالت فاکتوریل کامل (حالت عمومی)، اگر ۴ عامل وجود داشته باشد، که در ۳ سطح تغییر کنند، تعداد حالت‌های آزمایش در کل برابر با $3^4 = 81$ خواهند بود. با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی، تنها ۹ حالت از ۸۱ حالت ممکن در نظر گرفته می‌شود. با این روش تغییرات پارامتر خروجی را با توجه به پارامترهای ورودی مختلف بهتر و واضح تر می‌توان نشان داد. برای انجام تحلیل‌های آماری از نرم افزار مینی تب (Minitab 21) بهره گرفته شد. روش اندازه گیری نیروهای تراشکاری در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲) سیستم اندازه گیری نیروی ماشین کاری

۴- ارائه نتایج و بحث

۴-۱- اثر بافت بر نیروی برشی

بافت دار کردن ابزار، نیروهای ماشینکاری را کاهش می دهد که جدول ۳ نتایج حاصل از آزمایش های تجربی می باشد. که البته نیروهای برشی اندازه گیری شده در حالت ماشینکاری با استفاده از روانکار بدست آمده است.

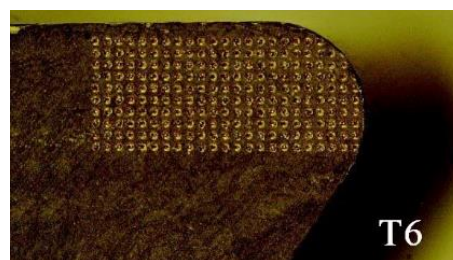
جدول ۲) مقایسه نیروهای ماشینکاری در حالت ابزار بدون بافت و بافت دار در حالت ماشینکاری با روانکار

نام ابزار	F_z	F_r	F_t	F_{total}
بدون بافت	۳	۱۳/۹	۲۰	۲۴/۶
میانگین مقادیر در ابزار بافت دار	۲/۰۳	۱۰/۷۶	۱۵/۸	۱۹/۲۵

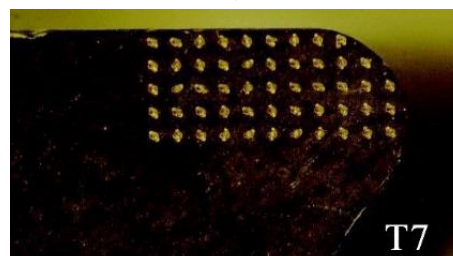
مطابق داده های خروجی جدول ۳، در اثر بافت دار کردن ابزار، میزان برآیند نیروها ۲۷/۸ درصد کاهش یافت.

۴-۲- اثر هندسه بافت بر نیروهای برشی

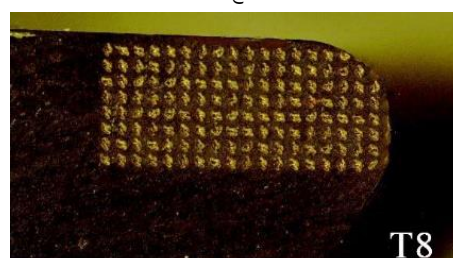
میزان تغییرات پاسخ نیروی برآیند در ماشینکاری با روانکار و برای هر سطح پارامترهای برشی در جدول ۴ نشان داده شده است.



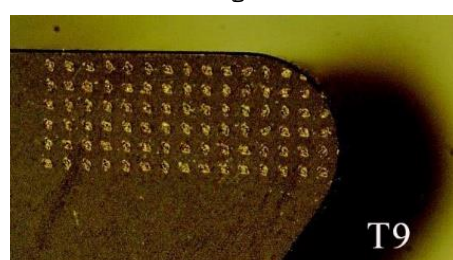
ز



ح



ط



ی

شکل ۱) انواع مختلف بافت‌های ایجاد شده بر روی ابزار (الف- ابزار بدون بافت / ب، ج، د، ه، و، ز، ح، ط، ی- ابزارهای بافت دار با ویژگی های تعیین شده در آزمایش های مختلف)

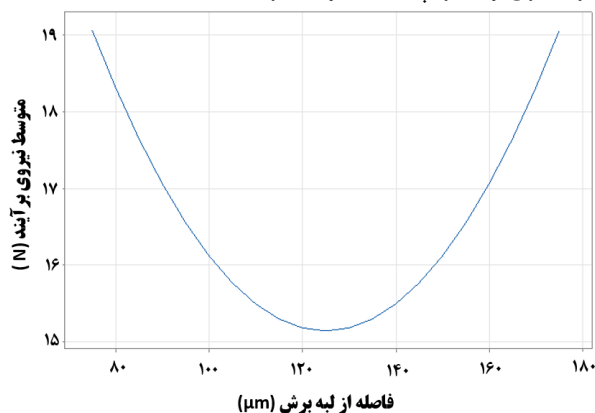
۳-۲- قطعه کار

قطعه کار انتخاب شده در این مطالعه فولاد سخت شده به میزان ۴۵ راکول است. در ماشین کاری سخت به دلیل کاهش هزینه‌ها مراحل آنیل کردن و سنگ زنی پس از سخت کاری، حذف میگردد. انتظار می‌رود ابزار بافتی موجب سهولت ماشینکاری گردد.

۳- روش انجام آزمایش

به منظور بررسی تاثیر بافت دار کردن ابزار بر نیروهای ماشینکاری چهار فاکتور قطر بافت، عمق بافت، گام و فاصله از لبه برش به عنوان اصلی ترین پارامترها، در سه سطح تغییر داده شده‌اند. در این تحقیق، طرح آزمایش تاگوچی برای طرح ریزی آزمایش‌ها بکار گرفته شد. در این روش از تعدادی آزمایش‌های ثابت با توجه به

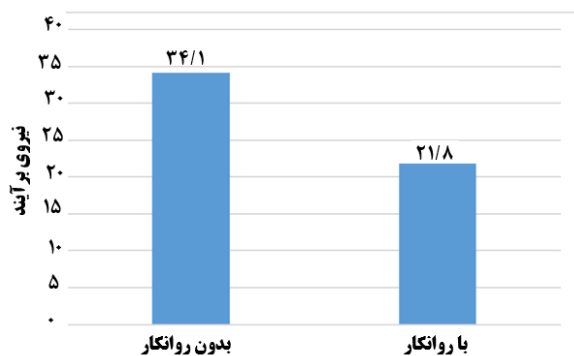
تاثیر فاصله بافت از لبه برش در نمودار شکل 5 نمایش داده شده است. این نمودار نیز دارای یک مقدار کمینه در نزدیکی ۱۲۰ میکرومتری است که البته این فاصله بستگی به جنس ماده مورد تراشکاری و اندازه پلیسه ها و ... دارد.



شکل 5) تاثیر فاصله از لبه برش بر نیروی برآیند ماشینکاری

3-4- اثر روانکار بر نیرو های برش

برای بررسی اثر روانکار بر نیروی های برشی، برای ابزار بافت دار، نیروی برآیند را با استفاده از روانکار و بدون آن اندازه گیری نموده که طبق شکل 6، کاهش ۳۶ درصدی نیروی برآیند برشی در اثر استفاده از روانکار مشاهده شد.



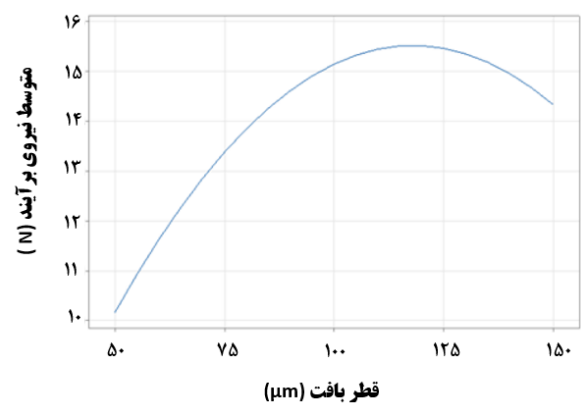
شکل 6) مقایسه نیروی برآیند در ابزار بافت دار در دو حالت با روانکار و بدون آن

شکل 7، مقایسه نیروی برآیند برشی در ابزار بدون بافت در شرایط با روانکاری و بدون روانکاری را نشان می دهد. در این نمودار کاهش ۳۰ درصدی نیرو در اثر استفاده از روانکار مشاهده شد.

جدول ۳) ماتریس طراحی آزمایش تاگوشی به همراه نتایج

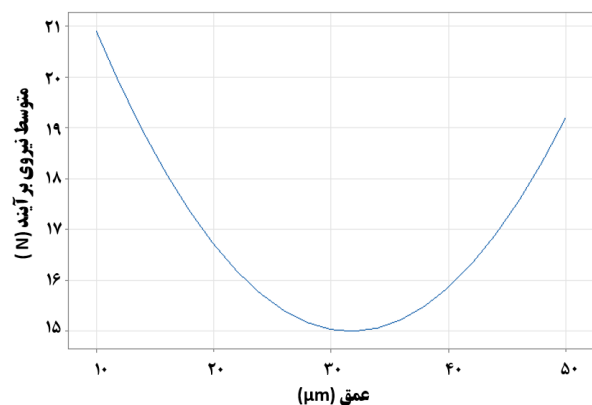
نیروی های ماشینکاری								
ردیف	عمق (μm)	گام (μm)	فاصله از لبه برش (μm)	F_z	F_r	F_t	F_{total}	
۱	۵۰	۱۰	۷۵	۱۸	۱۱/۳	۱۶/۹	۲۰/۴	
۲	۵۰	۲۵	۱۲۵	۰/۹	۵/۲	۸/۶	۱۰/۱	
۳	۵۰	۵۰	۱۷۵	۲/۲	۱۰/۱	۱۴/۸	۱۸/۱	
۴	۱۰۰	۱۰	۱۷۵	۳/۹	۱۴/۲	۱۹/۴	۲۴/۳	
۵	۱۰۰	۲۵	۷۵	۰/۷	۱۱	۱۶	۱۹/۴	
۶	۱۰۰	۵۰	۱۲۵	۲/۱	۱۰/۸	۱۶/۴	۱۹/۸	
۷	۱۵۰	۱۰	۱۲۵	۲/۷	۱۰/۹	۱۶/۶	۲۰	
۸	۱۵۰	۲۵	۱۷۵	۱/۳	۱۱/۵	۱۵/۴	۱۹/۳	
۹	۱۵۰	۵۰	۷۵	۲/۷	۱۱/۸	۱۸/۱	۲۱/۸	

در شکل 3 تاثیر قطر بافت بر نیروهای ماشین کاری نشان داده شده است. با افزایش قطر بافت متوسط نیروی برآیند افزایش پیدا می کند و در اندازه ۱۲۰ میکرومتر اکسترمم خود را می بیند. پس از این نقطه متوسط نیروی برش کاهش پیدا می کند.



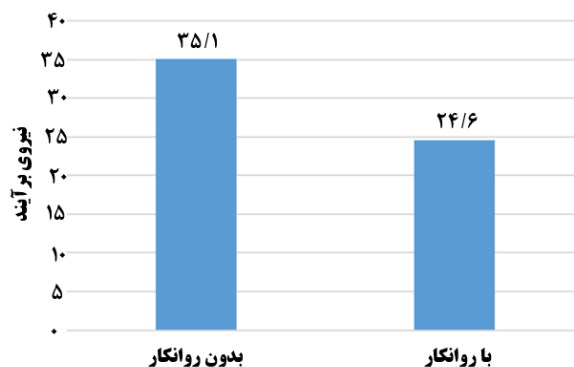
شکل 3) تاثیر قطر بافت بر نیروی برآیند ماشینکاری

تاثیر عمق بافت بر نیروی برآیند در نمودار شکل 4 نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود این نمودار دارای یک کمینه در نزدیکی ۳۰ میکرومتر است. البته این نمودار برای یک حالت خاص از مقدار بارگذاری، سرعت برش و جنس قطعه است ولی به طور کلی تقریباً همه نمونه ها نموداری شبیه این نمودار داشتند.



شکل 4) تاثیر عمق بر نیروی برآیند ماشینکاری

- 9- Chyr, A., et al., A patterned microtexture to reduce friction and increase longevity of prosthetic hip joints. *Wear*, 2014. 315(1-2): p. 51-57.
- 10- Sivaiah, P. and U. Bodicherla, *Effect of surface texture tools and minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in CNC turning of AISI 52100 steel*. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 2020. 101: p. 85-95.
- ۱۱- خامنه، ی.، محمد، و راستی، توسعه مدل تحلیلی و عددی تخمین گشتاور در فرایند سوراخکاری فولاد سخت. *مهندسی مکانیک دانشگاه تربیت مدرس*. ۲۰۲۲. ۲۲(۱۰): p. 73-79.
- 12- Saadatbakhsh, M.H., et al., Compare and study of hole quality characteristics in helical milling and conventional drilling. *Modares Mechanical Engineering*, 2015. 14(16): p. 332-338.
- 13- Hamrock, B.J., S.R. Schmid, and B.O. Jacobson, *Fundamentals of fluid film lubrication*. 2004: CRC press.



شکل 7) مقایسه نیروی برآیند در ابزار بدون بافت در دو حالت با روانکار و بدون آن

5- جمع بندی

- در این مقاله اثر بافت ابزار با هندسه های متفاوت، بر عملکرد روانکاری و نیروی های برشی در فرایند تراشکاری فولاد سخت به صورت تجربی، بررسی گردید و و نتایج زیر حاصل شد:
- بافت ابزار باعث کاهش نیروی برآیند در فرایند ماشینکاری شد.
 - استفاده از روانکار در فرایند ماشینکاری با ابزارهای بافتی و غیر بافتی باعث کاهش نیروهای ماشینکاری به میزان ۳۰ الی ۳۵ درصد شد.
 - افزایش قطر بافت، باعث افزایش متوسط نیروی برآیند شد.

مراجع

- 1- Torabi, A., et al., Transient numerical modeling and experimental investigation of the effect of surface texture on elastohydrodynamic lubrication. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, 2021. 53(5 (Special Issue): p. 3201-3212.
- 2- Mao, B., Siddaiah, A., Liao, Y. and Menezes, P.L., "Laser surface texturing and related techniques for enhancing tribological performance of engineering materials: A review". *Journal of Manufacturing Processes*, 53, pp.153-173. 2020.
- 3- Rosenkranz, A., Costa, H.L., Baykara, M.Z. and Martini, A., 2021. Synergetic effects of surface texturing and solid lubricants to tailor friction and wear—a review. *Tribology International*, 155, p.106792, 2021.
- 4- Ping, Lu., Robert, J.K, Wood., "Tribological performance of surface texturing in mechanical applications—a review". *IOP Publishing*, 10.1088/2051-672X/abb6d0, 2020.
- 5- Ranjan, P. and Hiremath, S.S., "Role of textured tool in improving machining performance: A review". *Journal of Manufacturing Processes*, 43, pp.47-73. 2019.
- 6- Torabi, A., et al., Transient numerical modeling and experimental investigation of the effect of surface texture on elastohydrodynamic lubrication. *Amirkabir Journal of Mechanical Engineering*, 2021. 53(5 (Special Issue): p. 3201-3212.
- 7- Etsion, I., et al., Experimental investigation of laser surface textured parallel thrust bearings. *Tribology Letters*, 2004. 17(2): p. 295-300.
- 8- Enomoto, T., et al., Highly wear-resistant cutting tools with textured surfaces in steel cutting. *CIRP annals*, 2012. 61(1): p. 571-574.