ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2024;24(01):31-40.

Study of Surface Roughness, Topography, and Cutting Forces in Finish Turning of 1.1191 Hardened Steel Using Textured Cutting Tool

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Khameneh M. Y.[1],
Sadr M.[1],
Rasti A.[1]*,
Sadeghi M. H.[1],

How to cite this article
Khameneh M Y, Sadr M, Rasti A, Sadeghi M H, , Study of Surface Roughness, Topography, and Cutting Forces in Finish Turning of 1.1191 Hardened Steel Using Textured Cutting Tool. Modares Mechanical Engineering; *2024;24(01):31-40*.

[1] Mechanical Engineering Deparment, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

***Correspondence**
Address: Mechanical Engineering Deparment, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
a.rasti@modares.ac.ir

Article History
Received: March 6, 2024
Accepted: April 16, 2024
ePublished: April 26, 2024

ABSTRACT

The effect of texturing the tool rake surface on the surface quality in hard turning of 1191/1 steel with a surface hardness of 45 HRC was studied in this research. The pattern parameters including, cavity diameter, pitch, and depth, as well as the pattern distance from the main cutting edge were changed in 3 levels, assuming the cutting tool with regular cavity texture. Nine tests were designed using the Taguchi DOE and conducted in dry and lubricated conditions with 2 repeats. Machining forces during the tests and surface roughness of the machined workpieces were measured in machining under lubricated and dry conditions. The results showed that in turning with a textured tool under lubrication, changing the parameters of the texture pitch and the distance from the cutting edge increased the surface roughness of the workpiece by 57.6% and 39.2%, respectively. This is while the increase in the diameter of the tissue cavity, due to the reduction of the contact area in the tool-chips interface and better lubrication near the cutting region, improved the surface roughness up to 40.7%. The cavities depth of also did not have a significant effect on improving lubrication and reducing the roughness of the final surface. In dry turning, increasing the cavities diameter in texture and decreasing the pattern pitch, reduced the surface roughness by 10.6% and 29%, respectively. Examining the SEM images also indicated the production of the workpiece surface with smoothed texture when turning using optimized textured tool.

Keywords Tool Texture, Hard Turning, Lubricating, Surface Integrity, Cutting Forces.

CITATION LINKS

1- Experimental Analysis of Residual Stresses Distribution Using Nano indentation Method in Hole Making Strategies. 2- Femtosecond laser surface structuring of carbide tooling for modifying contact phenomena. 3- Cutting performance of cemented-carbides-based self-lubricated tool embedded with different solid lubricants. 4- Performance of the self-lubricating textured tools in dry cutting of Ti-6Al-4V. 5- Cutting performance and wear characteristics of Al2O3/TiC ceramic cutting tools with WS2/Zr soft-coatings and nano-textures in dry cutting. 6- Experimental comparative study of conventional, micro-textured and coated micro-textured tools during machining of hardened AISI 1040 alloy steel.
7- Experimental studies on the cryogenic machining of biodegradable ZK60 Mg alloy using micro-textured tools. 8- Comparative study of the effect of surface texturing on cutting tool in dry cutting. 9- Influence of laser parameters on the machining performance of textured cutting tools. 10- Performance improvement through textured cutting tool during machining hard-to-cut materials: A review. 11- Solid Lubricants Used in Extreme Conditions Experienced in Machining: A Comprehensive Review of Recent Developments and Applications. 12- Machinability Aspects of Non-Textured and Micro-Textured Cutting Inserts in Turning of Titanium gr 2. 13- Vibration-Assisted Turning Simulation With Textured Tools: A Numerical Investigation. 14- An investigation into the effect of surface integrity on the fatigue failure of AISI 4340 steel in different drilling strategies.

Copyright© 2020, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

مطالعه زبری، بافت سطح و نیروهای برشی در تراشکاری پرداخت فولاد سخت‌کاری شده ۱/۱۱۹۱ با استفاده از ابزار برشی بافت‌دار

محمد یزدانی خامنه[۱]، محسن صدر[۱]، امیر راستی[۱*]، محمدحسین صادقی[۱]
[۱] گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش، اثر روش بافت‌دار کردن سطح براده ابزار در بهبود کیفیت سطح در فرایند تراشکاری فولاد ۱/۱۱۹۱ با سختی ۴۵ راکول‌سی (ماشین‌کاری سخت) مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور، با فرض بافت حفره‌ای منظم ابزار، پارامترهای قطر، گام و عمق حفره و همچنین فاصله الگو از لبه برش اصلی ابزار در سه سطح، تغییر داده شد. با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی، نه آزمایش (ابزار) طراحی شد و به منظور اطمینان از نتایج بدست آمده، آزمایش‌ها در حالت خشک و روانکاری شده در دو مرتبه تکرار شدند. نیروهای ماشین‌کاری در حین انجام آزمایش‌ها و زبری سطح قطعه نهایی در دو حالت ماشین‌کاری با روانکار و خشک اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که در تراشکاری با ابزار بافت‌دار به همراه روانکار، تغییر پارامترهای گام الگوی بافت و فاصله الگو از لبه برش در بازه مورد بررسی، به ترتیب تا ۵۷/۶٪ و ۳۹/۲٪ زبری سطح قطعه‌کار را افزایش دادند. این درحالی است که افزایش قطر حفره بافت، به‌واسطه کاهش سطح تماس ابزار با براده تولیدی و روان‌کاری بهتر موضع برش، توانست تا ۴۰/۷٪ زبری سطح قطعه‌کار را بهبود بخشد. پارامتر عمق حفره‌های بافت ابزار نیز تاثیر معنی‌داری بر بهبود روان‌کاری و کاهش زبری سطح نهایی نداشت. در حالت تراشکاری خشک، افزایش قطر بافت سطح و کاهش گام الگوی حفره‌ها، به‌ترتیب زبری سطح را تا ۱۰/۶٪ و ۲۹٪ کاهش دادند. بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز حاکی از تولید سطحی یکنواخت‌تر در تراشکاری با ابزار بافت‌دار بهینه بود.

کلیدواژه‌ها: بافت ابزار، تراشکاری سخت، روانکاری، سلامت سطح، نیروهای برشی.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۸
*نویسنده مسئول: a.rasti@modares.ac.ir

۱- مقدمه

تا کنون تلاش‌های زیادی برای افزایش عمر ابزار از جمله بهبود در مواد ابزار، هندسه ابزار، روان‌کاری، خنک‌کاری، ماشین‌کاری محیط کنترل‌شده، پوشش دهی و غیره انجام شده است. اگرچه این تلاش‌ها تا حدی کارآمد هستند، اما مشکل به طور کامل حل نشده است. اصطکاک، دلیل افزایش دما در نواحی تماس ابزار با براده و قطعه‌کار است. استفاده از روان‌کننده‌ها و یا خنک‌کننده‌ها تا حدودی به حل این مشکل کمک می‌کند، اما عملاً رسیدن سیال به ناحیه برش همیشه با چالش همراه می‌باشد. این مشکل در فرایند تراشکاری سخت دوچندان است. در واقع، فرایند تراشکاری مواد سخت علیرغم مزایای بسیار، دارای محدودیت‌هایی از قبیل بالا بودن حرارت و نیروهای ماشین‌کاری در ناحیه برش و در نتیجه، عمر پایین‌تر ابزار می‌باشد[1]. اخیراً تحقیقات زیادی در استفاده از بافت‌های سطحی روی ابزار در مقیاس میکرو و نانو برای ایجاد مزیت تریبولوژیکی در عملیات ماشین‌کاری انجام شده است که در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره شده است.

فاطمه انیس و همکاران[2]، از ماشین‌کاری لیزری برای ساخت بافت‌های میکرو و نانو روی سطح براده ابزار برای بهبود تماس ابزار و براده استفاده کردند. آنها مطالعاتی بر روی پارامترهای لیزر برای شناسایی بهترین ترکیب پارامتری برای تولید بافت روی ابزار کاربایدی انجام داده و نشان دادند که ایجاد بافت روی سطح ابزار در مقایسه با ابزار بدون بافت، باعث کاهش نیروهای برشی می‌گردد.

ونلانگ و همکاران[3] عملکرد ابزار برشی کاربایدی با روان‌کننده جامد را مورد بررسی قرار دادند. چهار سوراخ ریز با استفاده از میکروماشین‌کاری تخلیه الکتریکی روی سطح برش ابزار کاربایدی ایجاد شد. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از این گونه ابزارها، روشی موثر برای کاهش نیروهای برش و سایش ابزار است.

زی و همکاران[4] عملکرد ابزارهای بافت‌دار دارای روان‌کننده جامد را در برش خشک Ti6Al4V مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در مقایسه با ابزار بدون بافت، نیروهای برش و دمای برش ابزارهای بافت‌دار خود روانکار کاهش یافته است. از طرف دیگر، استفاده از ابزار خود روانکار با بافت شیارهای بیضوی روی سطح براده آن، می‌تواند ضریب اصطکاک ابزار و براده و نسبت ضخامت براده را کاهش دهد. عمر ابزارهای بافت‌دار در مقایسه با ابزار معمولی بهبود یافته است.

زینک و همکاران[5] عملکرد برش و ویژگی‌های سایشی ابزارهای برش سرامیکی Al2O3/TiC دارای پوشش WS2/Zr را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که هندسه بافت‌های نانو تأثیر عمیقی بر روان‌کاری دارد، ابزار برش پوشش‌داده شده با WS2/Zr به همراه بافت‌های نانو بیشترین تأثیر را در بهبود عملکرد برش و کاهش سایش ابزار دارند.

گاجرانی و همکاران[6] به مطالعه تجربی ابزارهای بافت‌دار معمولی و پوشش داده شده با MoS2 در حین ماشین‌کاری فولاد آلیاژی AISI 1040 پرداختند. به دلیل وجود ریزبافت‌ها بر روی ابزارهای برش، تفاوت‌های ناچیزی در مورد تنش‌ها و کرنش‌های برآیند ایجاد شده، مشاهده شد. نتایج نشان‌دهنده کاهش قابل‌توجه نیروهای برش، نیروهای پیشروی و ضریب اصطکاک توسط ابزارهای برش ریز بافت و روکش دار نسبت به ابزار معمولی بود.

دینش و همکاران[7] مطالعه‌ای بر فرایند تراشکاری متعامد آلیاژ منیزیم ZK60 با ابزار بافت‌دار در شرایط خشک و در حضور نیتروژن مایع انجام دادند. آنها دریافتند که بافت ابزار در شرایط برودتی مایع نیتروژن به طور قابل توجهی سطح تماس بین ابزار و براده را کاهش می‌دهند.

توماس و کالایچلوان[8] به بررسی مقایسه ای اثر بافت سطحی ابزار در برش خشک پرداختند. تراشکاری با ابزار برش بافت‌دار و بدون بافت برای محدوده ثابت پیشروی، عمق برش و برای محدوده‌های

مختلف سرعت برش اعمال شد. نتایج، حاکی از کاهش نیروهای برش و دمای برش در ماشین‌کاری با ابزارهای بافت‌دار در مقایسه با ابزار بدون بافت بود.

روشن[9] تأثیر پارامترهای لیزر بر عملکرد ماشین‌کاری ابزارهای برش بافت‌دار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده توسط ابزارهای بافت‌دار در مقایسه با ابزار بدون بافت نشان داد که ابزارهای بافت‌دار با کاهش نیروهای برش، دمای برش، زبری سطح و سایش ابزار، به بهبود عملکرد ماشین‌کاری کمک می‌کنند.

سامانت و همکاران[10] مروری بر مقالات در زمینه عملکرد ابزار برشی بافت‌دار حین ماشین‌کاری مواد سخت انجام دادند. بررسی‌ها نشان از کاهش قابل توجه زبری سطح، نیروی برش، سایش ابزار و دمای برش و افزایش عمر ابزار دارند. آن‌ها بیان داشتند که ابزارهای برش بافت‌دار، پتانسیل بالایی در بهبود عملکرد تریبولوژیکی داشته و سطح مشترک براده و ابزار را کاهش می دهند.

هدایتی و همکاران[11] استفاده از روانکار جامد به عنوان پوشش ابزار را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند که سایش و شکست ابزار در اثر اصطکاک و بارهای حرارتی و مکانیکی در طول ماشین‌کاری کاهش می‌یابد. آنها نشان دادند که استفاده از این روش به حذف سیال‌های برشی مرسوم و اثرات منفی زیست محیطی می‌تواند توسعه پیدا کند.

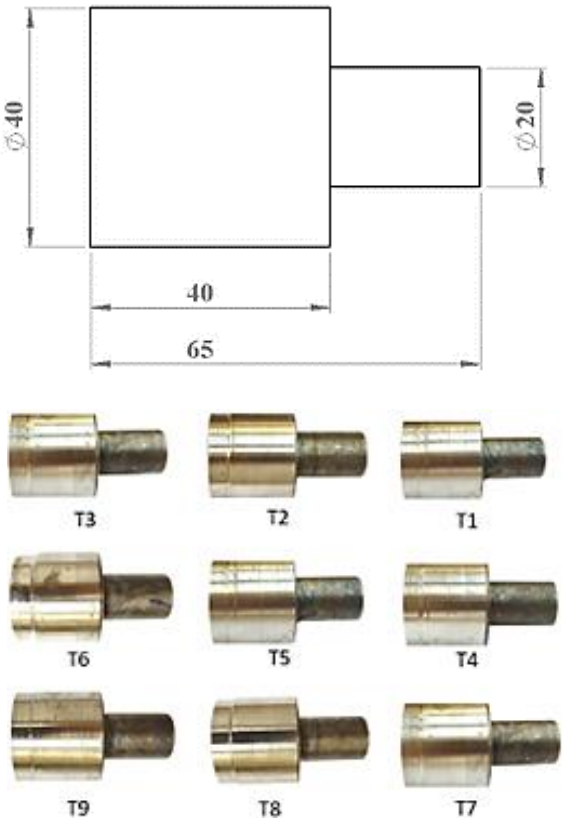
شارما و همکاران[12] قابلیت تراشکاری ابزارهای برش بدون بافت و بافت‌دار را بر روی تیتانیوم گرید ۲ مورد بررسی قرار دادند. کاهش قابل توجهی در دمای ابزار برش و زبری سطح با استفاده از ابزارهای برش بافت‌دار مشاهده شد. حداقل دمای برش با ابزار برش دارای بافت ۲۱۰ درجه سانتیگراد بود که سبب بهبود ۷۶٪ پرداخت سطح گردید.

روی و میتی[13] به بررسی عددی تراشکاری نوعی آلیاژ تیتانیوم به کمک ارتعاش بوسیله ابزارهای بافت‌دار پرداختند. این مطالعه نشان داد که ابزارهای بافت‌دار، قابلیت ماشین‌کاری را در هر دو حالت سنتی و به کمک ارتعاش بهبود می بخشند.

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که مطالعه‌ای بر عملکرد و قابلیت ابزارهای بافت‌دار در فرایند ماشین‌کاری سخت گزارش نشده است. لذا در این پژوهش، اثر بافت ابزار و الگوی آن روی سطح براده بر زبری سطح، بافت سطح و نیروی برش در فرایند تراشکاری سخت فولاد ۱/۱۱۹۱ مورد مطالعه قرار گرفته است.

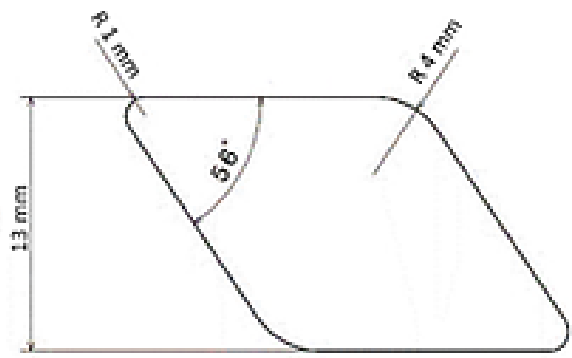
۲- مواد، تجهیزات و روش انجام آزمایش

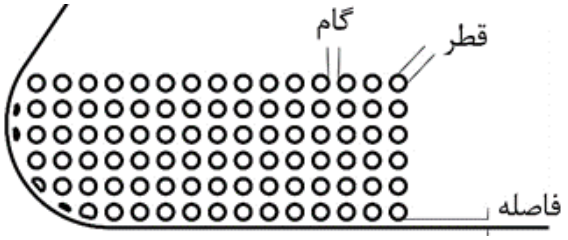
جنس ماده قطعه‌کار در این تحقیق، فولاد ۱/۱۱۹۱ با سختی ۵ ± ۴۵ راکول‌سی بود. آزمایش‌های طرح‌ریزی شده روی نمونه‌هایی با قطر و طول ۴۰ میلیمتر انجام گردید (شکل ۱). به منظور افزایش سختی قطعه‌کار تا ۴۵ راکول‌سی، نمونه‌ها در کوره با دمای ۸۷۰ درجه سانتیگراد آستنیته گشته و سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۲۵ درجه سانتیگراد برگشت داده شدند و در نهایت در حمام روغن، به دمای محیط رسیدند. برای انجام آزمایش ها، از ماشین تراش TN50 ماشین‌سازی تبریز استفاده گردید.



شکل ۱) نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش‌های تجربی

به منظور انجام آزمایش‌های تراشکاری پرداخت، از ابزار کاربایدی CPX بهره گرفته شد. با توجه به جلوگیری از اثرات منفی خرابی پوشش پس از بافت‌دار کردن ابزار و محدودیت‌های موجود جهت پوشش‌دهی مجدد، از ابزار بدون پوشش استفاده گردید. شکل ۲ ابعاد اینسرت مورد استفاده در آزمایش‌ها را نشان داده است. در این پژوهش با هدف بررسی اثر بافت ابزار بر شرایط برش و کیفیت سطح قطعه‌کار ایجاد شده در فرایند تراشکاری سخت، چهار پارامتر قطر بافت، عمق، گام و فاصله از لبه برش مطابق شکل ۲ درنظرگرفته شد. به منظور حساسیت‌سنجی و تاثیر تغییرات بافت ابزار، پارامترهای ذکر شده مطابق جدول ۱ در سه سطح تغییر داده شدند. لازم به ذکر است که برای ایجاد میکروبافت روی سطح براده ابزار، از لیزر فمتوثانیه فایبر W50 استفاده گردید. مقادیر قطر، گام و فاصله از لبه برش با اندازه‌گیری روی نمونه آزمایشی و تنظیم پارامترهای لیزر بدست آمد. به‌منظور اطمینان از عمق بافت ایجاد شده، با استفاده از توان‌های مختلف، روی یک اینسرت آزمایشی چند سوراخ توسط لیزر ایجاد گردید. سپس با برش اینسرت توسط فرایند وایرکات، عمق سوراخ‌های ایجاد شده روی سطح جانبی برش خورده توسط میکروسکوپ نوری اندازه‌گیری شد. در ادامه بر همین اساس پارامترهای لیزر تنظیم گردید.





شکل ۲) نمای شماتیک پارامترهای بافت ابزار روی سطح براده اینسرت برشی

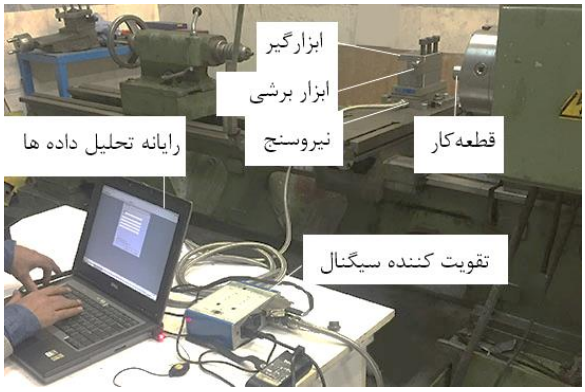
جدول ۱) پارامترهای هندسی بافت سطح براده ابزار به همراه سطوح مورد بررسی

پارامترهای بافت ابزار	سطوح تغییرات پارامترها		
	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
قطر بافت (µm)	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
عمق (µm)	۱۰	۲۵	۵۰
گام (µm)	۵۰	۱۰۰	۱۵۰
فاصله از لبه برش (µm)	۷۵	۱۲۵	۱۷۵

جهت ایجاد قابلیت مقایسه پارامترهای بافت سطح ابزار، پارامترهای برشی بر اساس توصیه سازنده ابزار برش و تست‌های اولیه، انتخاب گردید و در طول انجام تمامی آزمایش‌ها، ثابت درنظرگرفته شد. سرعت برشی ۱۵۰ متربردقیقه، عمق برشی ۱۰۰ میکرومتر و سرعت پیشروی برابر با ۰/۱ میلیمتر بر دور درنظرگرفته شدند. حالت‌های آزمایش در کل برابر با ۸۱ =۳٤ خواهند بود. با استفاده از روش تاگوچی، تنها ۹ حالت از ۸۱ حالت ممکن درنظرگرفته می‌شود. برای انجام آزمایش با هر ابزار، ۱۰ میلیمتر از طول قطعه‌کار تراشکاری شد و برای هر ابزار دو بار تکرار صورت گرفت. بر این اساس، در مجموع ۳٦ آزمایش در حالت خشک و روانکاری شده با تکرار صورت گرفت. تراشکاری در دو حالت به همراه روانکار با استفاده از سیال برشی بهران برش ۱۱ (نسبت ترکیب ۱:۱۰ با آب دیونیزه شده) و خشک انجام شد.

در این تحقیق، طرح آزمایش تاگوچی براي طرح‌ریزي آزمایش‌ها بکار گرفته شد. در حالت فاکتوریل کامل (حالت عمومی)، اگر ٤ عامل وجود داشته باشد، که در سه سطح تغییر کنند، تعداد

نیروهای برش توسط دینامومتر ساخت شرکت کیستلر با مدل BA9257 اندازه‌گیری گردید. شکل ۳ چیدمان انجام آزمایش‌های تجربی را نشان می‌دهد. اندازه‌گیري زبري سطح با استفاده از دستگاه زبري‌سنج پرتابل ماهر مدل PS۱ انجام گرفت. زبري بر اساس معیار زبري متوسط گزارش شد. پس از انجام ماشین‌کاری، زبری سطح ناحیه تراش خورده نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. برای تعیین مقدار زبری سطح در هر نمونه، زبری سنجی محوری در ۳ موقعیت محیطی متفاوت و هرکدام به طول ۵/۷۵ میلیمتر صورت پذیرفت و میانگین این سه اندازه‌گیری به عنوان زبری متوسط سطح ماشین‌کاری شده گزارش شد[14].



شکل ۱) چیدمان انجام آزمایش‌های تجربی و اندازه‌گیری نیرو

۳- نتایج و بحث

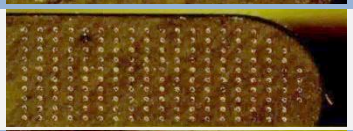
همان طور که اشاره شد، در کل ۳٦ آزمایش انجام گرفت. مقادیر پارامترهای بافت ابزار، ابزارهای بافت‌دار شده، پارامترهای برشی به همراه تمامی مقادیر اندازه‌گیری شده زبری سطح (میانگین) در دو حالت دارای روان‌کاری و خشک در هر آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. ابزارهای برشی به‌صورت T1 تا T9 نامگذاری شده‌اند. ابزار ساده و بدون بافت نیز با کد T0 علامت‌گذاری گردید. در ادامه خروجی‌های اندازه‌گیری‌شده مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱- زبری سطح

همانطور که ذکر شد زبری سطح ناحیه ماشین‌کاری شده نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. برای تعیین مقدار زبری سطح در هر نمونه، زبری سنجی در ۳ ناحیه و هرکدام به طول ۵/۷۵ میلیمتر صورت پذیرفت و میانگین این سه اندازه‌گیری به عنوان زبری متوسط سطح ماشین‌کاری شده در جدول ۲ گزارش شد. جدول ۳ تحلیل واریانس مدل توسعه داده شده نهایی را پس از حذف پارامترهاي بی معنی نشان می‌دهد. مطابق جدول، مقادیر P با بزرگی کمتر از ۰/۰۵ (قابلیت اطمینان بالاتر از ۹۵%) نشان‌دهنده احتمال معنی‌دار

بودن بالای ۹۵٪ تاثیرگذاری پارامترها می‌باشد. همچنین مقدار R۲ براي مدل توسعه داده شده نهایی، در حالت تراشکاری با روانکار، برابر با ۹۸/۸٤٪ به دست آمد، به این معنی که مدل برازش شده تا ۹۸/۸٤٪ از کل تغییرات زبري سطح را در حالت تراشکاری با روانکار پوشش می‌دهد. بر اساس تحلیل واریانس، قطر بافت، گام بافت و فاصله از لبه برش به ترتیب دارای سهم تاثیر ٤۱/۸٪، ۳۹/۲٪ و ۱۷/۸٪ روي زبري سطح تأثیر بودند. این درحالی است که عمق بافت از تاثیر معنی‌داری بر تغییرات زبری سطح قطعه نهایی برخوردار نبود.

جدول ۲) ماتریس طراحی آزمایش رویه پاسخ به همراه نتایج

ردیف	شماره ابزار	قطر بافت (µm)	عمق (µm)	گام (µm)	فاصله از لبه برش (µm)	$Ra_{avg.}$ (µm) با روانکار	$Ra_{avg.}$ (µm) خشک
۰	T0	۰	۰	–	–	۰/۹۳۰	۱/۱۴۱
۱	T1	۵۰	۱۰	۵۰	۷۵	۰/۵۷۲	۰/۹۰۹
۲	T2	۵۰	۲۵	۱۰۰	۱۲۵	۰/۶۰۳	۰/۹۷۳
۳	T3 	۵۰	۵۰	۱۵۰	۱۷۵	۰/۹۹۶	۱/۱۹۲
۴	T4	۱۰۰	۱۰	۱۰۰	۱۷۵	۰/۵۹۶	۱/۰۲۰
۵	T5	۱۰۰	۲۵	۱۵۰	۷۵	۰/۵۹۲	۱/۱۱۵
۶	T6	۱۰۰	۵۰	۵۰	۱۲۵	۰/۳۹۵	۰/۹۰۳
۷	T7	۱۵۰	۱۰	۱۵۰	۱۲۵	۰/۵۹۲	۱/۰۶۹
۸	T8	۱۵۰	۲۵	۵۰	۱۷۵	۰/۴۱۶	۰/۸۰۵
۹	T9	۱۵۰	۵۰	۱۰۰	۷۵	۰/۲۷۹	۰/۸۷۴

جدول ۳) تحلیل واریانس اثر پارامترهای بافت بر زبري سطح در حالت تراشکاری سخت در حضور روانکار

عامل	مجموع مربعات	درجه آزادي	مقدار F	مقدار P	سهم تأثیر (%)
قطر بافت	۰/۱۳۴۸	۲	۳۶/۱۹	۰/۰۲۶۹	۴۱/۸۰
گام بافت	۰/۱۲۶۲	۲	۳۳/۸۸	۰/۰۲۸۷	۳۹/۲۰
فاصله بافت از لبه برش	۰/۰۵۷۵	۲	۱۵/۴۱	۰/۰۶۰۹	۱۷/۸۰
باقیمانده (عمق بافت)	۰/۰۰۳۷	۲			۱۱/۴۸
کل	۰/۳۲۲۲	۸			۱۰۰
	Pred. R^2= ۰/۷۶		Adj. R^2= ۰/۹۵		R^2= ۰/۹۸

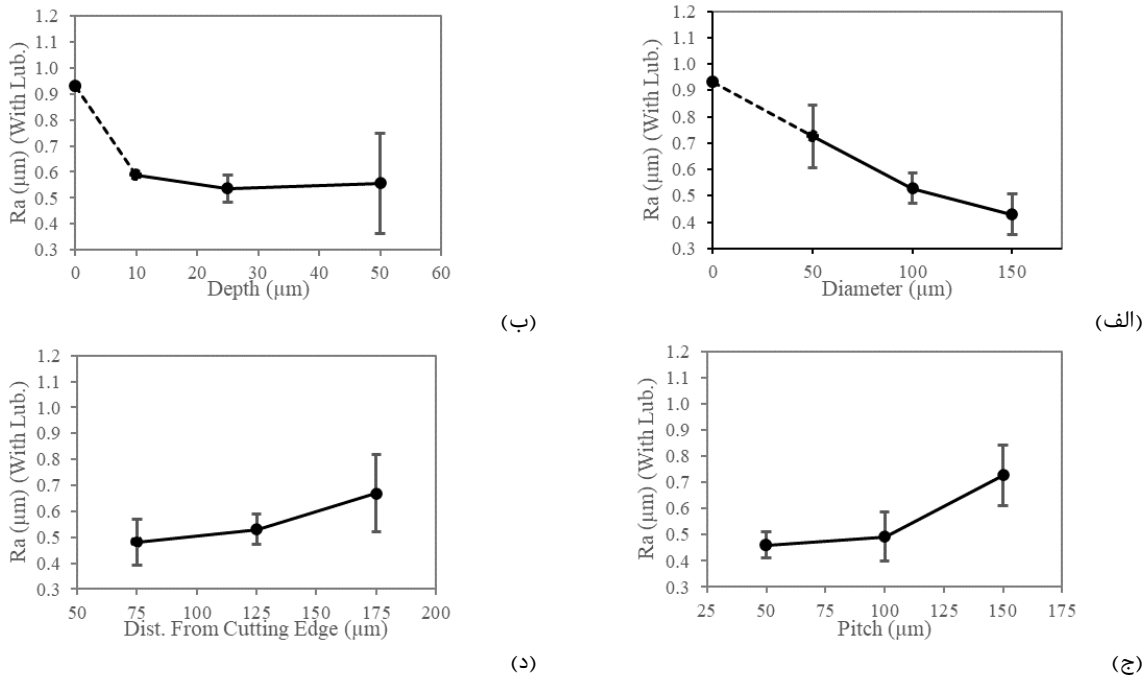
شکل ٤ تغییرات زبری سطح در حالت ماشین‌کاری با روانکار را بر اساس پارامترهای بافت سطح براده ابزار نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که در تمامی آزمایش‌های صورت گرفته با ابزار بافت‌دار، زبری سطح پایینتری نسبت به قطعه تولیدشده با ابزار بدون بافت بدست آمده است. بافت‌دار کردن سطح براده ابزار توسط دو مکانیزم می‌تواند باعث کاهش نیروهای اصطکاکی و برشی شود که در نهایت، پایداری فرایند را به دنبال دارد. در حالت اول، بافت ابزار باعث کاهش سطح تماس بین ابزار و براده‌های تولیدی گردیده که باعث کاهش نیروهای اصطکاک می‌گردد. از سوی دیگر، بافت‌های ایجاد شده در سطح براده، نقش مخزن‌های مینیاتوری ذخیره سیال را ایفا کرده و در زمانی که سیال قابلیت نفوذ به ناحیه برش را ندارد، وظیفه روان‌کاری و خنک‌کاری بین ابزار و براده را بر عهده می‌گیرد که منجر به کاهش نیروهای برش می‌گردد. کاهش نیروهای برش نیز به پایداری فرایند کمک کرده که نتیجه آن سطحی یکنواخت‌تر با زبری سطح کمتر خواهد بود. به‌صورت خلاصه، کاهش نیروهای برش در ابزار بافت‌دار، توسط دو مکانیزم کاهش سطح تماس و افزایش سطح روان‌کاری موثر ممکن می‌گردد. لازم به ذکر است که میزان و سهم تاثیر این مکانیزم‌ها وابستگی قابل توجهی به نوع سیال برشی و نحوه پاشش آن به ناحیه برش دارد. در این پژوهش همانطور که اشاره گردید به منظور مقایسه بهتر با روش سنتی، از سیال بهران برش ۱۱ به عنوان یکی روان‌کارهای متداول در فرایند ماشین‌کاری استفاده گردید که با نسبت ۱:۱۰ با آب دیونیزه شده ترکیب گردید. مطابق شکل ٤-(الف)، با افزایش قطر حفره بافت ابزار، زبری سطح به اندازه ٤٠/٧٪ کاهش پیدا کرد. در واقع وقتی که قطر بافت ابزار افزایش پیدا می‌کند، مطابق مکانیزم‌های مطرح شده، سطح موثر روان‌کاری-خنک‌کاری افزایش یافته و همزمان سطح تماس نیز کاهش پیدا می‌کند که منجر به کاهش نیروهای برشی و پیرو آن، کاهش زبری سطح گردید. لازم به ذکر است این سیر کاهشی زبری سطح با افزایش قطر حفره‌های الگو تا ۱۵۰ میکرومتر کمتر می‌شود. این کاهش شیب، بواسطه خطای ایجاد بافت سطح ابزار و غیریکنواخت‌تر شدن هندسه حفره‌های بزرگتر روی سطح ابزار می‌باشد که اثر مثبت روان‌کاری ابزار بافت‌دار را تحت تاثیر قرار می‌دهد. وقتی که عمق بافت ابزار افزایش پیدا می‌کند، مطابق شکل ٤-(ب) و تحلیل واریانس، تغییر معنی‌داری در زبری سطح نمونه‌های تراشکاری شده مشاهده نگردید. در واقع پراکندگی داده‌های اندازه‌گیری شده در سطوح مختلف (نوار خطا)، روند تغییرات نمودار زبری را تحت تاثیر قرار داده است و روندی قطعی قابل استخراج نیست. این عدم تاثیر می‌تواند به‌واسطه عدم تغییر سطح تماس و عدم روان‌کاری سطح باشد. با این حال بافت‌دار کردن ابزار، طبق شکل ۳-(الف) و ۳-(ب) به ترتیب سبب حداقل کاهش ۲۲٪ و ۳٦٪ زبری سطح نسبت به ابزار بدون بافت گردید.

شکل ٤-(ج) تغییرات گام الگوی بافت را بر زبری سطح نشان می‌دهد و بیان می‌دارد که افزایش گام الگوی بافت، زبری سطح را می‌تواند تا ٥٧/٦٪ افزایش دهد. این افزایش قابل توجه زبری به تعریف الگوی ایجاد شده روی سطح براده ابزار مرتبط است. از آنجایی که مساحت مشخصی از ابزار بافت‌دار گردید، افزایش گام حفره‌ها، سبب کاهش قابل توجه تعداد آن‌ها شده و افزایش سطح تماس را موجب می‌گردد. (مشابه دلایل شکل ٤-(الف)). لازم به ذکر است که نتایج زبری در سطوح بالاتر گام الگو، پراکندگی بیشتری را از خود نشان دادند که بیانگر شرایط متغیر و ناپایدار روان‌کاری-خنک‌کاری در نواحی بدون بافت می‌باشد. نمونه‌ها در فاصله‌های مختلفی از لبه برش بافت‌دار شده‌اند که با افزایش فاصله از لبه برش، میزان زبری سطح مطابق شکل ٤-(د) به میزان ۳۹/۲٪ افزایش پیدا کرد. این موضوع به علت افزایش سطح تماس و کاهش سطح روان‌کاری است. از طرف دیگر، در فاصله بیشتر از لبه برش، میزان تغییرات نوار خطا نسبت به تغییرات نمودار بزرگتر شده و بی‌معنی بودن اثر این پارامتر را در فواصل بالای الگو از لبه برش را نشان می‌دهد.

آزمایش‌ها با ابزار بافت‌دار جهت بررسی تمایز بین مکانیزم‌های سطح روان‌کاری و سطح تماس ابزار با براده، به صورت خشک نیز تکرار گردید. جدول ۴ تحلیل واریانس مدل زبري سطح در حالت تراشکاری خشک را نشان می‌دهد. بر این اساس، قطر بافت با ۱۶/۹٪ و گام الگو با ۷۹/۶٪ دارای بیشترین سهم تاثیر بر زبري سطح در حالت خشک بودند.

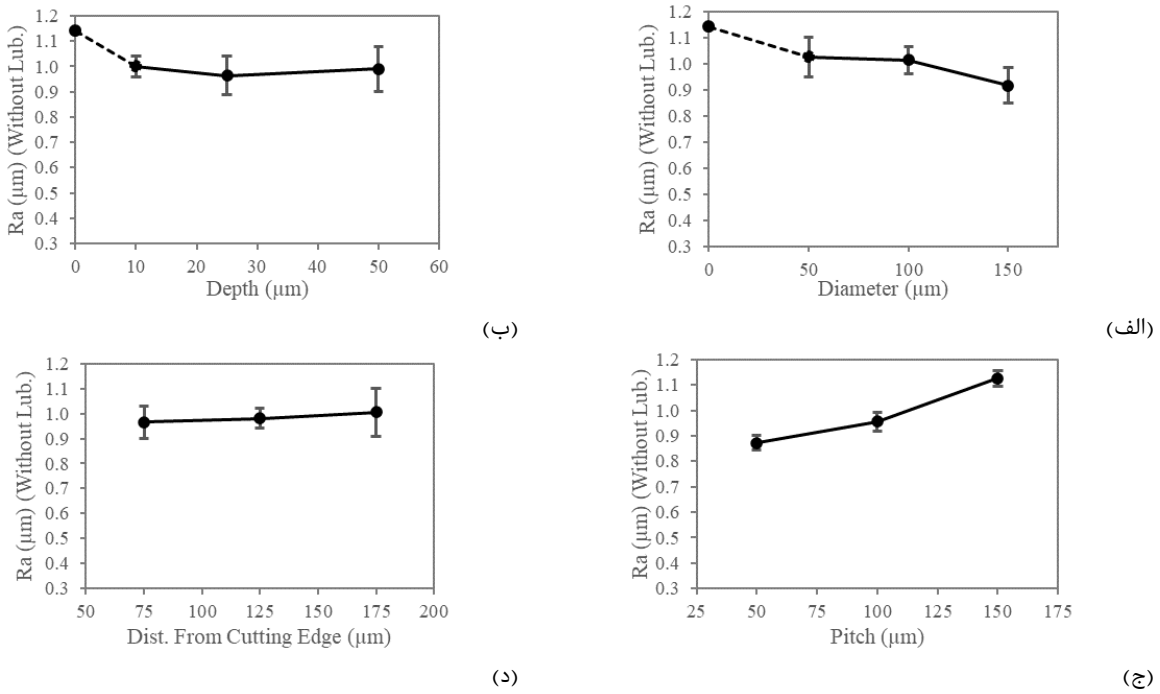
جدول ۴) تحلیل واریانس اثر پارامترهای بافت بر زبري سطح در حالت تراشکاری سخت بدون روانکار

عامل	مجموع مربعات	درجه آزادي	مقدار F	مقدار P	سهم تأثیر (%)
قطر بافت	۰/۰۲۱۳	۲	۹/۷۱	۰/۰۲۹۲	۱۶/۹
گام بافت	۰/۰۹۹۸	۲	۴۵/۵۸	۰/۰۰۱۸	۷۹/۶
باقیمانده (عمق بافت و فاصله از لبه برش)	۰/۰۰۴۴	۴	۰/۰۰۱۱		۳/۵
کل	۰/۱۲۵۴	۸			۱۰۰
	Pred. R2=۰/۸۲		Adj. R2=۰/۹۳		R2=۰/۹۶



شکل ۲) اثر پارامترهای بافت ابزار بر زبری سطح در پرداخت با استفاده از فرایند تراشکاری سخت در حضور روانکار الف) قطر بافت، ب) عمق بافت، ج) گام بافت، د) فاصله بافت از لبه برش

شکل ۵ نشان‌دهنده تغییرات زبری سطح در حالت ماشین‌کاری خشک بر اساس پارامترهای بافت سطح می‌باشد. مطابق شکل ۵ (الف)، با افزایش قطر، زبری سطح به مقدار ۱۰٪ کاهش پیدا کرد. همانطور که اشاره گردید، افزایش قطر حفره‌های بافت در حالت خشک، تنها می‌تواند با کاهش سطح تماس ابزار با براده، نیروی برش را اندکی کاهش داده که نتیجه آن، کاهش ناچیز زبری سطح می‌باشد. مقایسه نمودار تاثیر این پارامتر با حالت روان‌کاری (شکل ٤-(الف))، سهم هر دو مکانیزم کاهش سطح تماس و روان‌کاری را مشخص می‌کند.



شکل ۳) اثر پارامترهای بافت ابزار بر زبری سطح در پرداخت با استفاده از فرایند تراشکاری سخت در حالت خشک الف) قطر بافت، ب) عمق بافت، ج) گام بافت و د) فاصله بافت از لبه برش

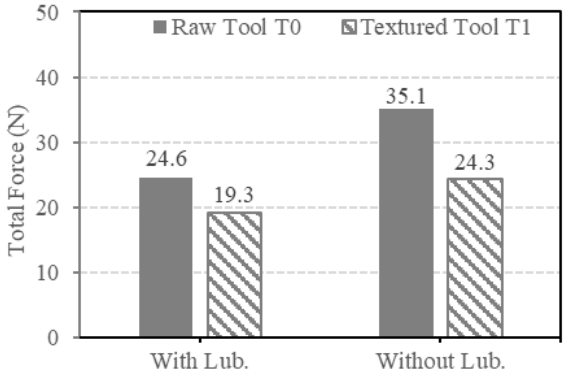
بر این اساس، تاثیر بسیار بیشتر سطح روان‌کاری (تغییرات ٤٠٪ زبری) نسبت به سطح تماس (تغییرات ١٠٪) بر زبری سطح مشهود است. این پدیده در شکل ٥-(ج) نیز مشخص است. در واقع، افزایش گام بافت ابزار، سطح تماس را افزایش داده و سبب افزایش زبری سطح تا ٢٩٪ می‌گردد. شکل ٥-(ب) و ٥-(د) نیز مطابق تحلیل واریانس، اثر غیرمعنی‌دار عمق حفره‌های بافت و فاصله بافت از لبه برش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که علی‌رغم انجام فرایند در حالت خشک، بازهم زبری سطح ابزار بافت‌دار در مقایسه با ابزار بدون بافت و در حضور سیال برشی حداقل تا حدود ١٠/٦٪ بهتر شده است (نقطه صفر در شکل ٥-(الف) و ٥-(ب)).

۳-۲- نیروهای برش

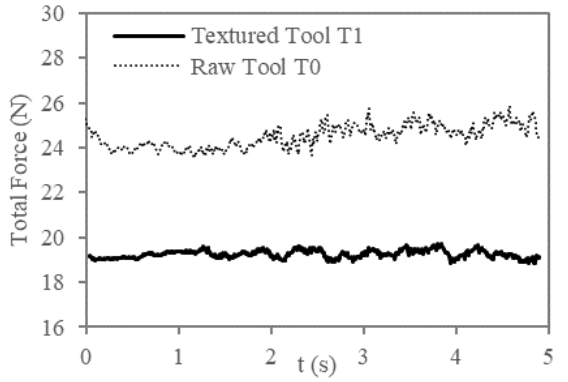
به منظور مقایسه و تاثیر بافت ابزار، نیروهای برآیند برش در ابزارهای بدون بافت و بافت‌دار T1 (ریزترین بافت ابزار) در دو حالت حضور روانکار و خشک، اندازه‌گیری گردید (شکل ٦). مشاهده می‌شود که بافت‌دار کردن ابزار در ماشین‌کاری با روانکار و خشک، به ترتیب سبب کاهش ٢١/٦٪ و ٣٠/٨٪ نیرو گردید. سطح نیروی برآیند ایجاد شده در حالت بافت‌دار حتی بدون حضور روانکار نیز در حدود نیروی برآیند ایجاد شده توسط ابزار بدون بافت و روانکاری شده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است عمده تاثیر بافت ابزار بر کاهش نیروی اصطکاک روی سطح براده بوده و تاثیر آن بر سایر منابع ایجاد نیرو کمتر می‌باشد. بر اساس شکل ٧ که تغییرات زمانی نیروی برآیند را برای دو ابزار بافت‌دار و بدون بافت نشان می‌دهد، می‌توان سطح تغییرات و نوسان بالاتر نیروهای برش در حالت بدون بافت و یکنواختی بیشتر نیروی برش در حالت ابزار بافت‌دار مشاهده نمود. این همواری نمودار نشان‌دهنده ارتعاش کمتر ابزار و پایداری بیشتر فرایند می‌باشد.

۳-۳- بافت سطح

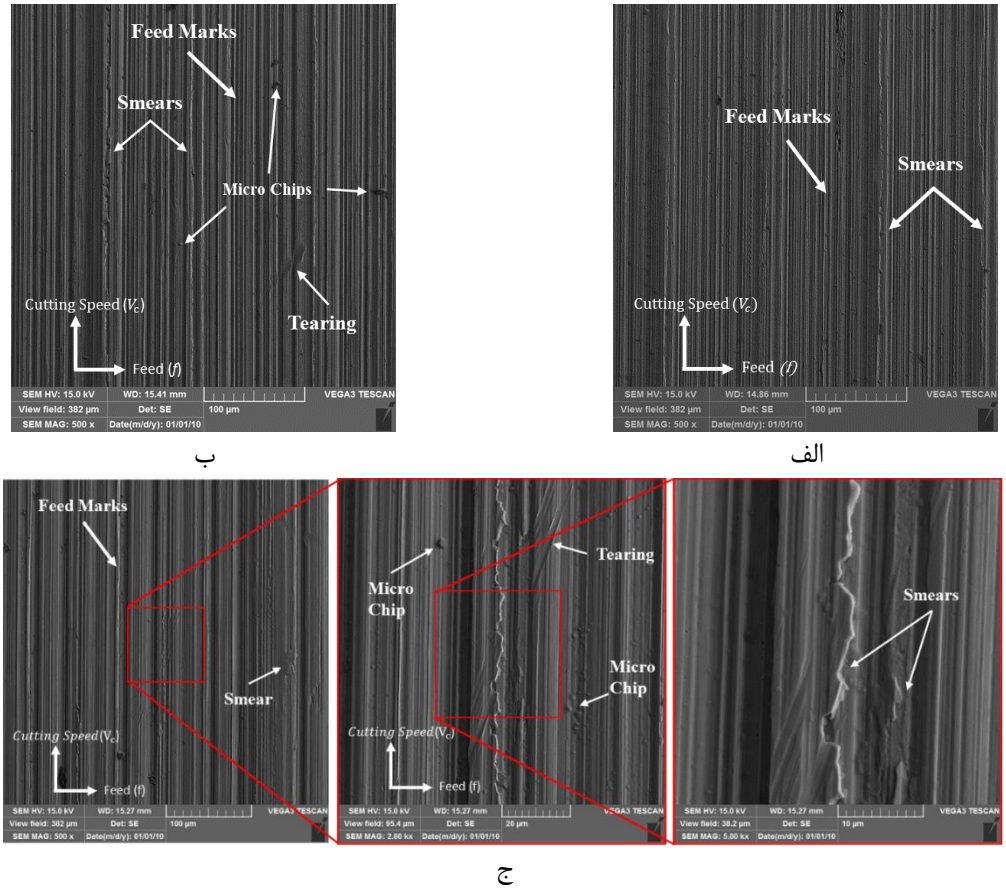
شکل ٨-(الف) و ٨-(ب)، تصویر SEM از سطح نمونه تراشکاری شده با ابزار بافت‌دار شماره ٩ را به ترتیب در دو حالت با روانکار و خشک نشان می‌دهد. خطوط موازی ناشی از اثر ابزار تراشکاری در تصاویر کاملاً مشخص است. در تمامی حالات لهیدگی سطحی مشاهده گردید. با این حال در حالت استفاده از روانکار، خطوط مسیر ابزار دارای نظم و یکنواختی بیشتری بوده که موید حرکت پایدارتر ابزار نسبت به حالت تراشکاری خشک می‌باشد. همچنین لهیدگی شدیدتر در مسیر ابزار، تاثیر عدم دفع براده از ناحیه برش با چسبیدن میکروبراده‌ها به سطح و ایجاد خراش سطحی در شکل ٨-(ب) مشهود است. شکل ٨-(ج) تصویر SEM از سطح نمونه تراشکاری شده با ابزار بدون بافت در حالت با روانکار را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص می‌باشد، به واسطه بالاتر بودن نیرو و ارتعاش در ابزار بدون بافت در مقایسه با حالت بافت‌دار، سطح غیریکنواخت‌تر شده و عیوبی همچون لهیدگی شدید ناشی از شخم‌زنی، پارگی سطحی ناشی از کشیده شدن براده‌ها روی سطح و میکروبراده‌های چسبیده به سطح به راحتی قابل مشاهده می‌باشد. لازم به ذکر است که یکپارچگی و یکنواختی سطح در ابزار بافت‌دار و بدون روانکار در مقایسه با سطح ایجاد شده در شکل ٨-(ج) بهتر بود، که بیانگر تاثیر قابل قبول بافت ابزار در پرداخت سطح بدست‌آمده از تراشکاری سخت می‌باشد.



شکل ۴) مقایسه نیروی برآیند ابزار بافت‌دار و بدون بافت در تراشکاری سخت توسط روانکار و در حالت خشک



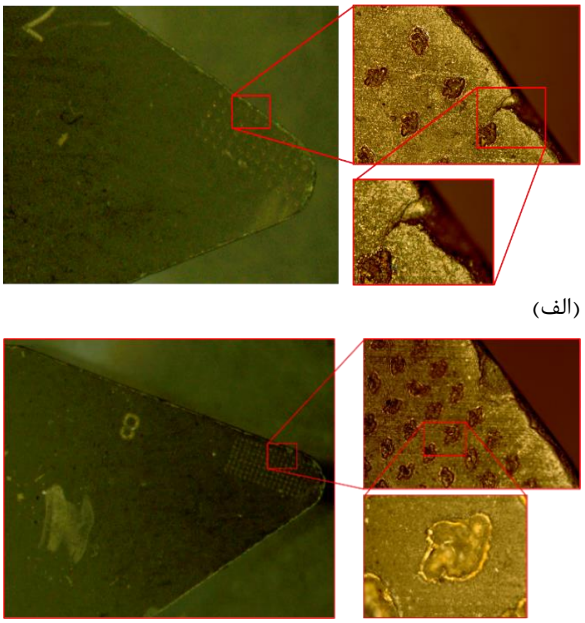
شکل ۵) تغییرات نیروی برآیند بر حسب زمان برای ابزار بافت‌دار و بدون بافت در تراشکاری سخت در حضور روانکار



شکل ۶) تصویر SEM سطح نمونه تراشکاری شده الف) با ابزار بافت‌دار شماره ۹ در حالت تراشکاری با روانکار، ب) با ابزار بافت‌دار شماره ۹ در حالت تراشکاری خشک، ج) با ابزار بدون بافت با روانکار

۳-۴- سایش ابزار

علیرغم دستیابی به سطحی بهتر در رژیم تراشکاری پرداخت، ابزارهای بافت‌دار دارای حفره‌های درشت و گام کمینه به علت تمرکز تنش ایجاد شده دچار ترک و بروز شکست غیرقابل انتظار روی لبه برش شدند. شکل ۹ بافت ابزار را بعد انجام آزمایش‌ها نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، لبه برش اصلی ابزار دچار ترک شده که به سرعت به ناحیه بافت‌دار رسیده و خرابی ابزار را به‌دنبال داشته است. این خرابی‌های پیش‌بینی نشده ابزار در حالت استفاده از بافت با بیشترین قطر حفره مشهود بود.



(الف)

(ب)

شکل ۷) تصویر میکروسکوپی اینسرت بافت‌دار پس از خرابی لبه برشی الف) ابزار شماره T7 ب) ابزار شماره T8

۴- نتیجه گیری و جمع‌بندی

در این پژوهش تراشکاری پرداخت فولاد ۱/۱۱۹۱ در حالت سخت‌کاری شده با سختی ۴۵ راکول‌سی در حضور روانکار و خشک مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از روش طراحی آزمایش تاگوچی، اثر پارامترهاي بافت ابزار بر روي زبري سطح، نیروهای برش، توپوگرافی سطح و عمر ابزار به صورت کیفی مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این پژوهش به صورت خلاصه در ادامه آمده است:

- در حالت روانکاری شده، زبری سطح در با استفاده از ابزار بافت‌دار، با افزایش قطر بافت سطح کاهش ۴۰/۷٪ و با افزایش گام و فاصله از لبه برش به ترتیب ۵۷/۶٪ و ۳۹/۲٪ افزایش پیدا نمود.
- در حالت خشک، پارامترهای عمق و فاصله بافت از لبه برش بی‌تأثیر بودند. سایر پارامترها نیز در مقایسه با حالت روانکاری شده تاثیر ناچیزی داشتند. بیشترین تاثیر مربوط به گام بافت با سهم تاثیر ۲۹٪ بود.
- تصاویر بافت سطح بیانگر یکپارچگی بیشتر سطح در حالت بافت‌دار (هر دو حالت خشک و روانکاری) بود سطح ایجاد شده توسط ابزار بدون بافت‌دارای پارگی و لهیدگی سطح بود و اثر ارتعاش ابزار روی مسیر حرکت مشهود بود.
- بافت‌دار کردن ابزار سبب کاهش ۳۰٪ نیروهای برش و از طرف دیگر کاهش ارتعاش ابزار و دامنه تغییرات نیرو می‌گردد.
- فارغ از نتایج بدست آمده در بهبود سطح توسط ابزار بافت‌دار، در برخی از ابزارهای دارای بافت با بیشترین قطر حفره (در محدوده بررسی شده)، شکست غیرقابل انتظار روی لبه برش مشاهده گردید.

تاییدیه اخلاقی: محتویات علمی این مقاله حاصل پژوهش نویسندگان است و در هیچ نشریه ایرانی و غیر ایرانی منتشر نشده است.

تعارض منافع: این مقاله تعارض منافعی ندارد.

منابع

1- Rasti A, Yazdani Khameneh M. Experimental Analysis of Residual Stresses Distribution Using Nano indentation Method in Hole Making Strategies. Modares Mechanical Engineering. 2023 Jul 10;23(7):405-14.

2- Fatima A, Whitehead DJ, Mativenga PT. Femtosecond laser surface structuring of carbide tooling for modifying contact phenomena. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. 2014 Nov;228(11):1325-37.

3- Wenlong S, Jianxin D, Ze W, Hui Z, Pei Y, Jun Z, Xing A. Cutting performance of cemented-carbides-based self-lubricated tool embedded with different solid lubricants. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2011 Feb;52:477-85.

4- Ze W, Jianxin D, Yang C, Youqiang X, Jun Z. Performance of the self-lubricating textured tools in dry cutting of Ti-6Al-4V. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012 Oct;62:943-51.

5- Xing Y, Deng J, Li S, Yue H, Meng R, Gao P. Cutting performance and wear characteristics of Al2O3/TiC ceramic cutting tools with WS2/Zr soft-coatings and nano-textures in dry cutting. Wear. 2014 Oct 15;318(1-2):12-26.

6- Gajrani KK, Reddy RP, Sankar MR. Experimental comparative study of conventional, micro-textured and coated micro-textured tools during machining of hardened AISI 1040 alloy steel. International Journal of Machining and Machinability of Materials. 2016;18(5-6):522-39.

7- Dinesh S, Senthilkumar V, Asokan P. Experimental studies on the cryogenic machining of biodegradable ZK60 Mg alloy using micro-textured tools. Materials and Manufacturing Processes. 2017 Jul 4;32(9):979-87.

8- Jesudass Thomas S, Kalaichelvan K. Comparative study of the effect of surface texturing on cutting tool in dry cutting. Materials and Manufacturing Processes. 2018 Apr 26;33(6):683-94.

9- Roushan A. Influence of laser parameters on the machining performance of textured cutting tools. Optics & Laser Technology. 2023 Oct 1;165:109569.

10- Samant A, Sahoo AK, Kumar R, Panda A. Performance improvement through textured cutting tool during machining hard-to-cut materials: A review. InAIP Conference Proceedings 2024 Feb 20 (Vol. 3007, No. 1). AIP Publishing.

11- Hedayati H, Mofidi A, Al-Fadhli A, Aramesh M. Solid Lubricants Used in Extreme Conditions Experienced in Machining: A Comprehensive Review of Recent Developments and Applications. Lubricants. 2024 Feb 23;12(3):69.

12- Sharma R, Pradhan S, Bathe RN. Machinability Aspects of Non-Textured and Micro-Textured Cutting Inserts in Turning of Titanium gr 2. Surface Review and Letters (SRL). 2024;31(02):1-4.

13- Roy RS, Maity K. Vibration-Assisted Turning Simulation With Textured Tools: A Numerical Investigation. Surface Review and Letters (SRL). 2024;31(01):1-8.

14- Rasti A, Sadeghi MH, Farshi SS. An investigation into the effect of surface integrity on the fatigue failure of AISI 4340 steel in different drilling strategies. Engineering Failure Analysis. 2019 Jan 1;95:66-81.