



ایجاد میکرو-شیار بر سطح ابزار برشی به منظور بهبود خواص ضدسایشی

سید حسن موسوی¹، بهنام داودی^{2*}، محمد نانکلی¹

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

* تهران، صندوق پستی 163-16765، bdavoodi@aut.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 22 مهر 1396

پذیرش: 16 آذر 1396

ارائه در سایت: 08 دی 1396

کلید واژگان:

آلومینیم آلیاژی 5052

ابزار میکروبافت

روش سیلابی با فشار

کیفیت سطح

سایش چسبندگی

چکیده

با توجه به توانایی بالای تشکیل براده با لبه انباشته در فرآیند ماشین‌کاری آلومینیم، پژوهش حاضر به بررسی تأثیر تغییرات بافت سطحی ابزار تنگستن کار باید با هدف کاهش سایش چسبندگی و افزایش یکپارچگی سطح قطعه کار از جنس آلومینیم آلیاژی 5052 اختصاص یافت. به این منظور چهار نوع میکروبافت شامل موازی و عمود بر لبه برش و همچنین حالت حفره‌ای و صلیبی به کمک ماشین‌کاری با لیزر بر سطح براده ابزار ایجاد شده است. علاوه بر نوع بافت، سه روش روان‌کاری-خنک‌کاری شامل ماشین‌کاری خشک، سیلابی بدون فشار و سیلابی با فشار بالا به همراه ابزارگیر و اینسرت‌های برش مختلف (با براده‌شکن و بدون براده‌شکن) و همچنین سه سطح از سرعت برش با سرعت پیشروی و عمق برش ثابت به عنوان متغیرهای فرآیند در نظر گرفته شده‌اند. نتایج حاصل از زبری‌سنجی قطعات ماشین‌کاری شده به همراه تصاویر میکروسکوپ نوری تهیه شده از سطح قطعه کار نشان داد که وجود میکروشیارهای موازی لبه برش شرایط روان‌کاری-خنک‌کاری در سطح ابزار-براده را به نحو چشمگیری بهبود می‌بخشد و تأثیر آن در کاهش عددی زبری سطح و کاهش چگالی مناطق معیوب در سطح قطعه کار قابل مشاهده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه شده از سطح براده ابزار نشان داد که وجود براده‌شکن در ماشین‌کاری آلیاژ آلومینیم تأثیر چندانی بر کاهش سایش چسبندگی ندارد، ولی میکروبافت می‌تواند مساحت منطقه سایش چسبندگی را تا حد زیادی نسبت به ابزار بدون بافت (با براده شکن و بدون براده شکن) بهبود ببخشد.

Creating the micro-grooves on tool rake face for improving the anti-wear properties

Seyed Hasan Musavi, Behnam Davoodi*, Mohammad Nankali

School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

* P.O.B. 16765-163, Tehran, Iran, bdavoodi@aut.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 14 October 2017
Accepted 07 December 2017
Available Online 29 December 2017

Keywords:

5052 aluminum alloy
Micro texture tool
Flood mode with pressure
Surface quality
Adhesion wear

ABSTRACT

Due to high ability of built-up edge formation during aluminum machining, this study aim to reducing adhesive wear and increasing surface integrity of 5052 aluminum alloy workpiece has been focused on creating different surface texture on tungsten carbide cutting tool. For this purpose, four types of micro-grooves such as parallel and perpendicular to cutting edge and also pit and cross mode have been created on rake face by laser machining process. In addition to the types of texture, three methods of cooling-lubrication condition include: dry machining, flood mode without pressure and flood mode with high-pressure along with various holder and cutting inserts (with chip-breaker and without chip-breaker) as well as three levels of cutting speed (fixed feed rate and depth of cut) were considered as process variables. The experimental results obtained from surface roughness survey of the machined parts along with prepared images of optical microscopy from the workpiece surface showed that the presence of parallel micro-grooves significantly improves the cooling-lubrication conditions of the tool-chip surface and its effect on numerical reduction of surface roughness value and reduction of density of defective regions on the workpiece surface is visible. The prepared images by scanning electron microscope (SEM) of the tool rake face showed that the presence of chip-breaker did not significantly effect on reduction of adhesion wear in the machining of aluminum alloy but micro-texture can be largely improved the adhesion wear area compared to non-textured tool (with chip-breaker or without chip-breaker).

1- مقدمه

داده‌اند [1]. با توجه به این‌که در بیشتر محصولات تولید شده با این روش، فرایند تراش‌کاری به عنوان نخستین انتخاب مطرح شده است، این نوع ماشین‌کاری به یکی از پرکاربردترین و ضروری‌ترین عملیات در صنعت تبدیل شده است. به همین دلیل تحقیقات زیادی برای افزایش بازده تولید و کاهش

فرآیندهای ماشین‌کاری نظیر تراش‌کاری، فرز‌کاری، سوراخ‌کاری، سنگ‌زنی و غیره به دلیل مزایایی چون دقت ابعادی خوب و سرعت بالای تولید سهم چشمگیری از فرآیندهای تولید قطعات فلزی و غیرفلزی را به خود اختصاص

Please cite this article using:

S. H. Musavi, B. Davoodi, M. Nankali, Creating the micro-grooves on tool rake face for improving the anti-wear properties, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 18, No. 01, pp. 1-10, 2018 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

هزینه‌ها در این نوع از فرآیند ماشین‌کاری انجام می‌شود [2].

یکی از روش‌های افزایش بازده در فرآیندهای ماشین‌کاری استفاده از سیالات برش با هدف کاهش مقدار اصطکاک در سطوح تماس ابزار-براده و ابزار-قطعه‌کار است. استفاده از این مواد در فرآیندهای ماشین‌کاری نقش بسیار مهمی در بهبود دقت ابعادی، افزایش کیفیت سطح قطعه‌کار و عمر ابزار ایفا می‌کند [3]. سیالات برش عموماً سه وظیفه اصلی دارند که عبارت از خنک‌کاری ابزار، روان‌کاری سطح ابزار-براده و انتقال و هدایت مواد برداشته شده از سطح ماشین‌کاری شده به سمت خارج از منطقه ماشین‌کاری است. با وجود مزایای بسیار زیاد استفاده از سیالات برش، امکان استفاده از آن تحت روش‌های سنتی برای برخی از مواد قطعه‌کار نتیجه قابل قبولی در پی ندارد. آلیاژهای آلومینیم، گروهی از آلیاژهای پایه آهن-نیکل (مانند آلیاژ A286)، فولادهای کربنی ساده و آلیاژهای پایه تیتانیوم از گروه موادی هستند که به دلیل شدت بالای سایش چسبندگی¹ استفاده از سیال برش تحت شرایط روان‌کاری با مکانیزم سیلابی تأثیری بر بهبود شرایط برش ندارد [4].

آلومینیم و آلیاژهای آن به دلیل وجود برخی ویژگی‌های مکانیکی خاص از جمله وزن کم و استحکام خوب، کاربرد فراوانی در صنایع مختلف دارند. با این وجود ماشین‌کاری این مواد مشکلاتی نیز به دنبال دارد. ویژگی‌های مکانیکی خاص این آلیاژها مانند استحکام کم آن، شرایط چسبندگی یا به تعبیر مناسب‌تر جوش خوردن مواد قطعه‌کار به سطح فلزی ابزار را موجب شده و سایش تحت مکانیزم چسبندگی در آن به نحو چشمگیری شدت می‌یابد. براده با لبه انباشته² و براده با لایه انباشته³ دو محصول اصلی سایش چسبندگی هستند که موجب افت شدید کیفیت سطح قطعه‌کار و عمر ابزار می‌شود [5].

همان‌گونه که بیان شد یکی از مهم‌ترین عامل آسیب ابزار در فرآیندهای ماشین‌کاری آلومینیم و آلیاژهای آن تشکیل براده با لبه انباشته و براده با لایه انباشته است که هنگام جدا شدن از سطح ابزار موجب برداشته شدن لایه‌هایی از سطح ابزار می‌شود. براده با لبه انباشته به طور معمول در سرعت برش پایین تا متوسط، عمق برش بالا، سرعت پیشروی زیاد و زاویه براده کم تشکیل می‌شود. وقوع این نوع براده تأثیر چشمگیری بر نیروهای برش، عمر ابزار، درجه حرارت برش و کیفیت سطح پایانی قطعه‌کار دارد و به همین دلیل بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تشکیل براده با لبه انباشته ماهیتی پویا دارد و پیش‌بینی زمان وقوع آن کار بسیار دشواری است. در حین ماشین‌کاری این نوع براده به تدریج افزایش می‌یابد، می‌شکند و دوباره شکل می‌گیرد [6].

اصطکاک یک فرایند استهلاک انرژی با تغییر ماهیت و سایش نیز یک فرایند استهلاک ماده در سطح درگیر با مواد دیگر است. سایش از مهم‌ترین عوامل استهلاک قطعات مهندسی به ویژه در صنایع ماشین‌کاری است. طبق تحقیقات صورت پذیرفته در زمینه ماشین‌کاری، خسارات ناشی از سایش ابزار در برخی کشورها تا مقدار 2% از تولید ناخالص ملی آن کشور را شامل می‌شود. در مورد ابزارهای کاربرد تنگستن این هزینه مربوط به قیمت اولیه خرید و هزینه تعویض ابزار است؛ بنابراین کاهش میزان سایش و در نتیجه کاهش هزینه‌های تحمیلی ناشی از آن مستلزم بهینه‌سازی خصوصیات مکانیکی و تریبولوژیکی ابزارهای برش به خصوص ابزارهایی از جنس کاربرد تنگستن است؛ چرا که این گروه از ابزارهای برش به میزان عمده‌ای در صنعت ماشین‌کاری برای آلیاژهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد [7].

یکی از روش‌های نوین در کاهش سایش (خصوصاً چسبندگی) و یا کاهش میزان اصطکاک بین سطح ابزار-براده، کاهش میزان تماس آن‌ها با روش‌هایی مانند ایجاد میکروویفت بر سطح براده ابزار و یا استفاده از جت سیال برش به منظور جدا کردن سطح براده از سطح ابزار است. ایجاد شیارهایی منظم بر سطح ابزار بدون براده‌شکن با یک الگوی مشخص موجب کاهش سطح تماس ابزار-براده می‌شود. میزان ضریب اصطکاک با کاهش سطح تماس بین ابزار و براده کاهش یافته و حرارت تولید شده در این ناحیه نیز کم می‌شود. با کاهش حرارت شرایط جوش خوردن مواد قطعه‌کار به سطح ابزار نیز کاهش می‌یابد و به این ترتیب خواص ضدسایشی و تریبولوژیکی سطح ابزار بهبود می‌یابد [8].

به طور کلی ایجاد میکروویفت با جهت‌گیری مناسب نسبت به لبه برش ابزار بر سطح براده آن با توجه به سه پدیده زیر موجب بهبود کیفیت سطح و سایش ابزار در فرآیند براده برداری می‌شود:

- کاهش سطح تماس ابزار و قطعه‌کار (سطح فلز با فلز) به منظور کاهش میزان اصطکاک و حرارت.
- افزایش توانایی ذخیره‌سازی سیال برش در بافت‌های آن به منظور افزایش خاصیت روان‌کاری و خنک‌کاری طی فرآیند ماشین‌کاری.
- ایجاد فشار هیدرودینامیک از سوی سیال برش محبوس شده در داخل شیارها و ایجاد نیروی مخالف و جداکننده براده از سطح ابزار [9].

مطالعه حاضر به بررسی ایجاد بافت سطحی در ابزارهایی از جنس تنگستن کاربرد بدون روکش و بدون براده‌شکن به منظور کاهش سایش ابزار تحت مکانیزم چسبندگی و افزایش یکپارچگی سطح قطعه‌کار در فرآیند ماشین‌کاری آلومینیم آلیاژی 5052 پرداخته است. به این منظور بافت‌هایی موازی و عمود بر لبه برش و همچنین حالت حفره‌ای و صلیبی به کمک ماشین‌کاری با لیزر بر سطح براده ابزار ایجاد گردید. علاوه بر نوع بافت، سه روش روان‌کاری-خنک‌کاری شامل ماشین‌کاری خشک، سیلابی بدون فشار و سیلابی با فشار (در پژوهش حاضر منظور فشار مقدار 7bar است) به همراه سه نوع ابزارگیر و دو نوع اینسرت برش و همچنین سه سطح از سرعت برش به عنوان متغیرهای فرآیند در نظر گرفته شده‌اند.

2- مواد و تجهیزات

2-1- مواد قطعه‌کار

آلیاژ آلومینیم 5052 به عنوان قطعه‌کار مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی آلیاژ مورد نظر به ترتیب در جدول 1 و 2 نشان داده شده است. نمونه‌های مورد آزمایش به صورت میله‌هایی با سطح مقطع دایروی با قطر 65 میلی‌متر و طول 300 میلی‌متر است، سطح آن به طول 60 میلی‌متر تحت عملیات ماشین‌کاری قرار گرفته است.

2-2- ابزار برش و ابزارگیر

ابزار برش اولیه از نوع کاربرد تنگستن با دو هندسه مختلف شامل هندسه چهارگوش و سه گوش ساخت شرکت سندویک انتخاب شده است. ابزار با هندسه چهارگوش با کد SNMA 120408 شناخته می‌شود. این ابزار بدون پوشش بوده و سطح صاف و بدون براده‌شکن دارد. با توجه به توصیه شرکت ابزارسازی سندویک برای ماشین‌کاری آلیاژ آلومینیم از ابزار موجود در گرید 3205 استفاده شده است. ابزارگیر استفاده شده برای ابزار بالا با کد PSBNR 2525 M12 نام‌گذاری شده است.

¹ Adhesive wear

² Built-up edge

³ Built-up layer

سیستم‌های تولید پایدار طراحی و ساخته شد. در سیستم بالا سیال برش تحت مکانیزمی با هوای فشرده شده ترکیب می‌شود و با فشار بالا جریان می‌یابد. برای حالت ماشین‌کاری به روش سیلابی با فشار تجهیزات سیستم حداقل مقدار روان‌کار کمی تغییر یافته است. با اتصال خروجی دستگاه MQL به ابزارگیر مخصوص سیستم فشار بالا (به جای اتصال به نازل) و افزایش دبی سیال (تا 10l/min)، مکانیزم حداقل مقدار روان‌کار به سیستم سیلابی با فشار تبدیل شده است. همچنین سیال برش مصرفی در این پژوهش از گروه سیالات برش پایه معدنی بوده که از خانواده سیالات محلول در آب است. سیال برش پایه با کسر حجمی 5% به آب اضافه گردید و مورد استفاده قرار گرفت. شکل 1 چیدمان آزمایش را برای حالت سیلابی با فشار به همراه ابزارگیر خاص و خروجی سیستم MQL متصل به آن را نشان می‌دهد.

3- ایجاد میکروباخت

به منظور ایجاد میکروباخت بر سطح ابزار از ماشین‌کاری با اشعه لیزر استفاده گردید. این روش با استفاده از تابش اشعه متمرکز شده با طول موج یکسان و انرژی برابر اجازه ساخت بافت‌های دقیق و ظریف بدون ایجاد آسیب‌های حرارتی در مناطق مجاور را می‌دهد [11]. به این منظور از دستگاه لیزر حکاکی مدل FBL20 که منبع تغذیه آن به ترتیب در ولتاژ، فرکانس و آمپراژ 220 ولت، 50 کیلوهرتز و 4 آمپر کار می‌کند استفاده گردید. حداکثر توان این دستگاه 20 وات بوده و طول موج اشعه لیزر تولید شده 1065 نانومتر است.

پیش از اجرای فرآیند ماشین‌کاری با لیزر بر سطح ابزار، سطح آن باید عاری از هرگونه چربی و ناخالصی باشد. به این منظور دو فرآیند زیر پیش و پس از ایجاد بافت صورت می‌پذیرد:

- پیش از اجرای فرآیند به منظور پاک کردن سطح ابزار از هرگونه چربی، ابزارهای خام (بدون بافت) به مدت 30 دقیقه در ظرفی شامل اتانول در حمام التراسونیک قرار گرفته‌اند. تحت چنین شرایطی هرگونه چربی و ناخالصی از سطح ابزار جدا شده و ابزار برای ماشین‌کاری لیزر آماده خواهد شد.
- در مرحله دوم، پس از ایجاد بافت، با توجه به مکانیزم براده برداری ذوبی در روش ماشین‌کاری با لیزر موادی از ابزار که ذوب شده‌اند به مقدار ناچیز در بین شیارها باقی می‌مانند. به منظور زدودن این مواد اضافی در بین شیارهای ایجاد شده، ابزار شامل میکروباخت به مدت یک ساعت در ظرفی حاوی استون در حمام التراسونیک غوطه‌ور و به ارتعاش درآمده‌اند.

شکل 2 مراحل ساخت میکروباخت حفره‌ای شامل چربی‌زدایی، ماشین‌کاری با لیزر (حکاکی) و تمیزکاری پس از ایجاد بافت را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

شماتیک ابزارهای ساخته شده شامل میکرو بافت در شکل 3 نشان داده شده است.

- (a) شیارهای عمود بر لبه برش
- (b) شیارهای موازی لبه برش
- (c) حالت حفره‌ای یا گودالی
- (d) حالت صلیبی یا ضربدری

ابعاد میکرو بافت‌های ایجاد شده روی سطح ابزار با استفاده از تصاویر تهیه شده از سطح آن به کمک میکروسکوپ نوری و الکترونی

ابزار انتخابی دوم دارای هندسه سه‌گوش و فاقد روکش است. کد تجاری این اینسرت TCGX 16T304 بوده و شامل براده‌شکن است. ابزار مورد نظر با توجه به توصیه شرکت ابزارساز برای ماشین‌کاری آلیاژهای آلومینیم با گرید H13A گزینش شده است. ابزارگیر استفاده شده برای اینسرت مورد نظر با کد STGCX 1616H16 است.

با توجه به روش‌های مختلف اعمال سیال برش به منطقه ماشین‌کاری که در ادامه توضیح داده خواهد شد از دو نوع ابزارگیر برای اینسرت با هندسه چهارگوش استفاده شده است. ابزارگیر نوع اول حالت ساده بوده که در بالا یاد شده است (PSBNR 2525 M12) و ابزارگیر نوع دوم از گروه ابزارگیرهای فشار بالا¹ به منظور هدایت سیال برش از داخل آن بوده که با کد C4-DSRNR/L-22050-12 نام‌گذاری می‌شود. در ابزارگیر نوع دوم با وجود سوراخ‌های تعبیه شده در بدنه آن، سیال برش از طریق چندین منفذ به نوک ابزار هدایت می‌شوند.

3-2- دستگاه زبری سنج

دستگاه زبری‌سنج مورد استفاده مدل TR-200plus بوده و از معیار زبری سطح میانگین (R_a) برای گزارش نتایج زبری سطح قطعه‌کار استفاده شده است. مقدار این پارامتر برابر با مجموع سطوح پروفیل زبری در بالا و پایین خط مرکزی است. محدوده اندازه‌گیری این دستگاه برای معیار R_a از 0.025 تا 12.5 میکرون است. به منظور ارائه نتایج دقیق‌تر از هر قطعه پنج تست در نقاط مختلف قطعه‌کار به طول 3.2 میلی‌متر گرفته شده و مقدار میانگین این مقادیر گزارش شده است.

4-2- سیستم تزریق سیال در حالت سیلابی با فشار

به منظور افزایش قدرت نفوذ ذرات سیال برش به منطقه ماشین‌کاری از سیال پرفشار استفاده شده است. برای دستیابی به این هدف از سیستم حداقل مقدار روان‌کار² استفاده گردید. سیستم فوق توسط نویسندگان در آزمایشگاه

جدول 1 ترکیب شیمیایی AA5052

عنصر	درصد وزنی (%)
منگنز	2.4
مس	0.1
منیزیم	0.1
آهن	0.4
سیلیسیوم	0.25
روی	0.1
کروم	0.2
آلومینیم	based

جدول 2 خواص مکانیکی AA5052 [10]

پارامتر	مقدار
سختی (Brinell)	68
مدول یانگ (GPa)	70.3
تنش تسلیم (MPa)	214
چگالی (Kg/m^3)	2680
هدایت حرارتی ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	138
دمای ذوب ($^\circ\text{C}$)	607

¹ High pressure

² Minimum quantity lubrication (MQL)

شکل 4 چهار ابزار برش بعد از فرآیند ماشین‌کاری با لیزر و ایجاد میکروبافت بر سطح آن را نمایش می‌دهد. در چهار لبه برش هر اینسرت مناطق تیره رنگی با مساحت 5×5 میلی‌متر مربع قابل رویت است که نشان‌دهنده منطقه میکروبافت است. برای حصول اطمینان از دقت ایجاد میکروبافت بر سطح ابزار از تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده گردید.

4- نتایج و بحث

به منظور بررسی کیفیت سطح قطعه‌کار ماشین‌کاری شده و سایش ابزار از سه سطح سرعت برش، چهار نوع میکروبافت، دو نوع ابزار برش، سه نوع ابزارگیر به همراه سه روش روان‌کاری- خنک‌کاری مختلف به عنوان پارامترهای متغیر استفاده گردید. جدول 3 پارامترهای برش، تعداد سطوح و مقادیر آن‌ها به همراه روش‌های مختلف روان‌کاری- خنک‌کاری، نام ابزارها و ابزارگیرها را نشان می‌دهد. پس از فرآیند ماشین‌کاری مقادیر زبری سطح ناحیه ماشین‌کاری شده قطعات تحت معیار R_a اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار درست زبری سطح در هر نمونه، عملیات زبری‌سنجی در پنج ناحیه مختلف صورت پذیرفت و مقدار میانگین آن به عنوان زبری سطح نهایی گزارش گردید.

اگر برای طرح ریزی آزمایشات از روش فکتوریل کامل استفاده می‌شد با توجه به تعداد پارامترهای متغیر (7 پارامتر) و سطوح آن، تعداد کل آزمایشات 270 عدد خواهد شد که انجام این حجم تست تجربی نیاز به هزینه و زمان بالایی دارد، از این‌رو با توجه به مقایسه‌های صورت گرفته، 26 آزمایش به نمایندگی از کل آزمایشات صورت پذیرفت. جدول 4 مقادیر زبری سطح به دست آمده در آزمایشات انتخابی را نشان می‌دهد.

4-1- تأثیر نوع میکروبافت

شکل 5 تأثیر هندسه مختلف میکروبافت بر زبری سطح در روش‌های روان‌کاری مختلف تحت پارامترهای برش یکسان را نشان می‌دهد. روش‌های روان‌کاری ارائه شده در شکل 5 عبارت از موارد زیر است.

- روش خشک² یا بدون سیال برش
- روش سیلابی بدون فشار³
- روش سیلابی با فشار⁴



Fig. 4 Cutting inserts after creating the micro-texture

شکل 4 اینسرت‌های برشی بعد از ایجاد میکرو بافت

² Dry method

³ Flood mode without pressure

⁴ Flood mode with pressure

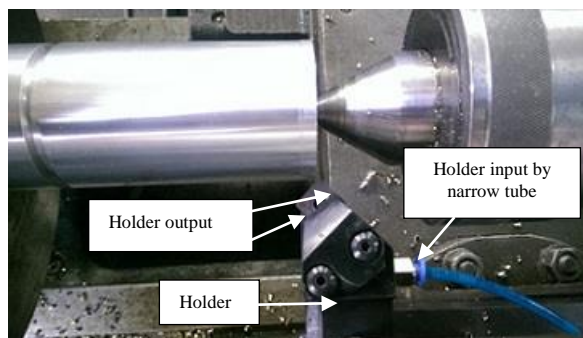


Fig. 1 Setup of experiment for flood mode with pressure

شکل 1 چیدمان آزمایش برای حالت سیلابی با فشار

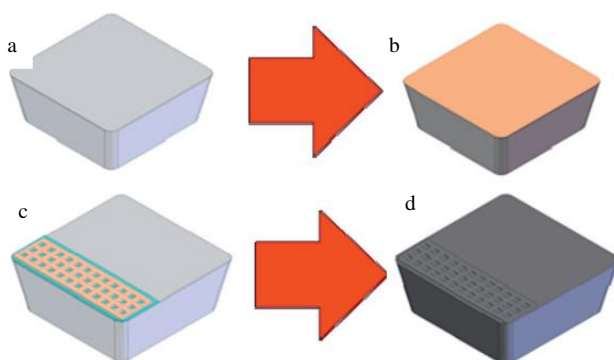


Fig. 2 Schematic of the fabrication process of micro-texture tool: a- initial cutting tool, b- degreasing, c- creating of texture, d- cleaning

شکل 2 شماتیک فرآیند ساخت ابزار میکروبافت الف- ابزار اولیه، ب- چربی‌زدایی، ج- ایجاد بافت، د- تمیزکاری

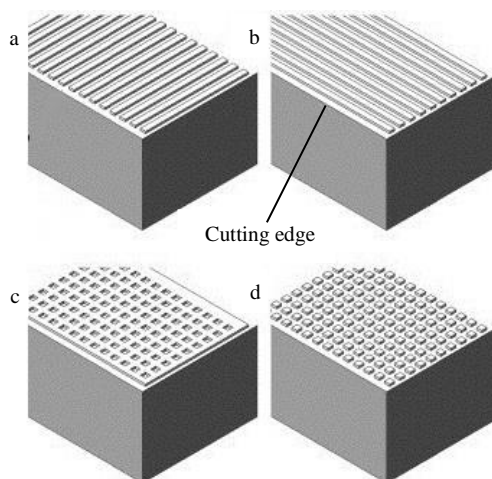


Fig. 3 Schematic images of the four types of micro-texture: a- perpendicular (90°), b- parallel (0°), c- pit, d- cross [9]

شکل 3 تصاویر شماتیک از چهار نوع میکرو بافت الف- عمود (90 درجه)، ب- موازی (0 درجه)، ج- حفره‌ای، د- صلیبی [9]

رویشی¹ محاسبه شده‌اند. در دو حالت شیارهای موازی لبه برش و عمود بر جهت آن و همچنین حالت صلیبی، فاصله بین شیارهای مجاور با یکدیگر حدود 70 میکرون بوده و عرض هر شیار به طور میانگین 120 میکرون است. در حالت حفره‌ای نیز ابعاد هر حفره 65 میکرون و به صورت مربع است. برای ایجاد شیارهایی با ابعاد فوق از 80% توان دستگاه با سرعت پیشروی 85mm/s و فرکانس 25KHz استفاده گردید.

¹ Scanning Electron Microscope (SEM)

میکروبافت‌های ارائه شده در شکل 5 عبارت از موارد زیر است.

- ابزار بدون بافت و بدون براده‌شکن (Non-te+ Non Ch-B)
- ابزار بدون بافت به همراه براده شکن (Non-te+ Ch-B)
- میکروبافت موازی لبه برش (Par)
- میکروبافت عمود بر لبه برش (Per)
- میکروبافت حفره‌ای (Pit)
- میکروبافت صلیبی (Cro)

از مقایسه نتایج حاصل از میکروبافت‌های مختلف با نتایج حاصل از

ابزار بدون بافت (با چشم پوشی از مکانیزم روش روان کاری) رفتاری چندگانه در تغییرات زبری سطح مشاهده شده است. به عبارت دیگر، وجود میکروبافت دلیل قطعی برای بهبود شرایط ماشین کاری و کیفیت سطح و سایش ابزار نیست [11].

مقادیر زبری سطح اندازه‌گیری شده مطابق با شکل 5 نشان داده است که این پارامتر از کیفیت سطح با ابزار میکروبافت در حالت‌های عمود بر لبه برش، حالت صلیبی و حفره‌ای نسبت به ابزار اولیه و بدون بافت بهبود قابل قبولی حاصل نشده و حتی در حالت شیپارهای عمود بر لبه برش تا

جدول 3 پارامترهای مورد آزمایش و سطوح آن

Table 3 Parameters and levels tested

فاکتورها	سطح 1	سطح 2	سطح 3	سطح 4	سطح 5
نوع بافت	موازی لبه برش	عمود بر لبه برش	حفره‌ای	صلیبی	بدون بافت
ابزار برش	SNMA 120408	TCGX 16T304	---	---	---
ابزار گیر	PSBNR 2525 M12	STGCX 1616H16	C4-DSRNR/L-22050-12	---	---
سرعت برش (m/min)	100	150	200	---	---
سرعت پیشروی (mm/rev)	0.12	---	---	---	---
عمق برش (mm)	1	---	---	---	---
روش روان کاری	خشک	سیلابی بدون فشار	سیلابی با فشار	---	---

جدول 4 طراحی آزمایش و زبری سطح تحت معیار R_a

Table 4 Experimental design plan and surface roughness results under R_a criterion

شماره آزمایش	نوع ابزار	سرعت برش (m/min)	ابزار گیر	ابزار برش	روش روان کاری	زبری سطح (میکرون)
1	موازی لبه برش	100	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	1.308
2	موازی لبه برش	150	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	1.212
3	موازی لبه برش	200	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	0.976
4	بدون بافت	100	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	1.534
5	بدون بافت	150	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	1.437
6	بدون بافت	200	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	1.306
7	بدون بافت	100	STGCX 1616H16	TCGX	سیلابی با فشار	1.496
8	بدون بافت	150	STGCX 1616H16	TCGX	سیلابی با فشار	1.414
9	بدون بافت	200	STGCX 1616H16	TCGX	سیلابی با فشار	1.244
10	موازی لبه برش	200	PSBNR 2525 M12	SNMA	خشک	1.478
11	موازی لبه برش	200	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی بدون فشار	1.358
12	عمود بر لبه برش	200	PSBNR 2525 M12	SNMA	خشک	1.655
13	عمود بر لبه برش	200	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی بدون فشار	1.527
14	عمود بر لبه برش	200	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	1.318
15	بدون بافت	200	STGCX 1616H16	TCGX	خشک	1.565
16	بدون بافت	200	STGCX 1616H16	TCGX	سیلابی بدون فشار	1.421
17	بدون بافت	200	STGCX 1616H16	TCGX	سیلابی با فشار	1.244
18	حفره‌ای	200	PSBNR 2525 M12	SNMA	خشک	1.588
19	حفره‌ای	200	PSBNR 2525 M12	SNMA	سیلابی بدون فشار	1.457
20	حفره‌ای	200	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	1.207
21	صلیبی	200	PSBNR 2525 M12	SNMA	خشک	1.621
22	صلیبی	200	PSBNR 2525 M12	SNMA	سیلابی بدون فشار	1.477
23	صلیبی	200	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	1.238
24	بدون بافت	200	PSBNR 2525 M12	SNMA	خشک	1.604
25	بدون بافت	200	PSBNR 2525 M12	SNMA	سیلابی بدون فشار	1.514
26	بدون بافت	200	C4-DSRNR/L	SNMA	سیلابی با فشار	1.306

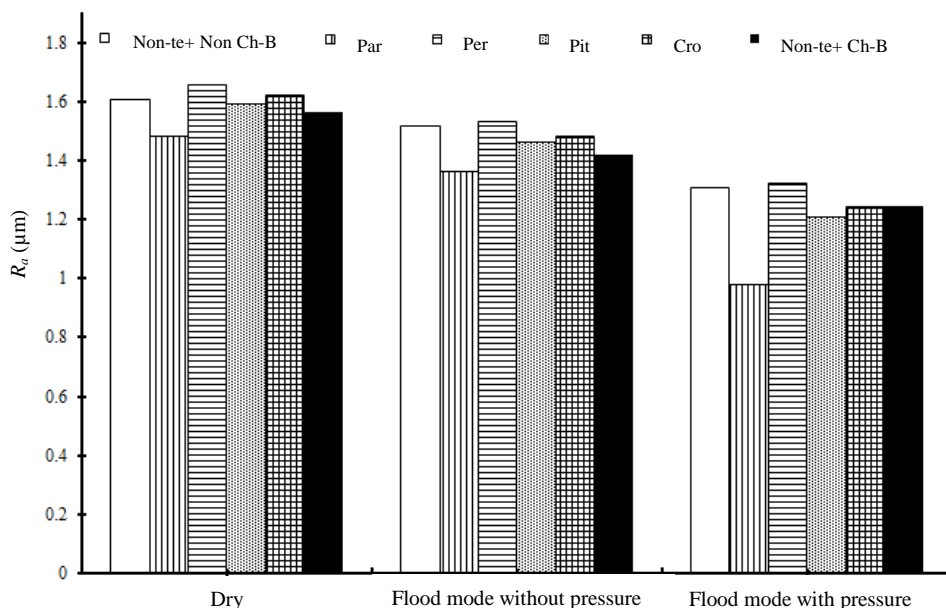


Fig. 5 Effect of different types of micro-texture along with different cooling-lubrication methods on surface roughness

شکل 5 تأثیر انواع میکروبافت به همراه روش‌های مختلف روان‌کاری-خنک‌کاری بر زبری سطح

موازی لبه برش بوده و ایجاد این نوع شیار موجب کاهش سطح تماس شده و اصطکاک را کاهش می‌دهد. از طرفی با ایجاد فشار هیدرودینامیک به بلند کردن براده و جدا شدن آن از سطح ابزار کمک می‌کند و موجب کاهش سایش تحت مکانیزم سائیدگی¹ می‌شود [14]. با توجه به شکل 6 مشاهده می‌شود که هر چه تعداد میکروشیارها در واحد سطح افزایش یابد (پهنای شیارها کاهش یابد) به نحوی که عمق آن زیاد شود تا حجم سیال برش محبوس شده در آن کاهش نیابد شرایط اصطکاکی سطوح درگیر بهبود می‌یابد و نتایج بهتری حاصل می‌شود [15]. البته با افزایش پهنای شیارها نیز می‌توان به کاهش میزان تماس این دو سطح رسید، ولی دو عیب زیر حاصل خواهد شد.

برش بوده و ایجاد این نوع شیار موجب کاهش سطح تماس شده و اصطکاک را کاهش می‌دهد. از طرفی با ایجاد فشار هیدرودینامیک به بلند کردن براده و جدا شدن آن از سطح ابزار کمک می‌کند و موجب کاهش سایش تحت مکانیزم سائیدگی² می‌شود [14]. با توجه به شکل 6 مشاهده

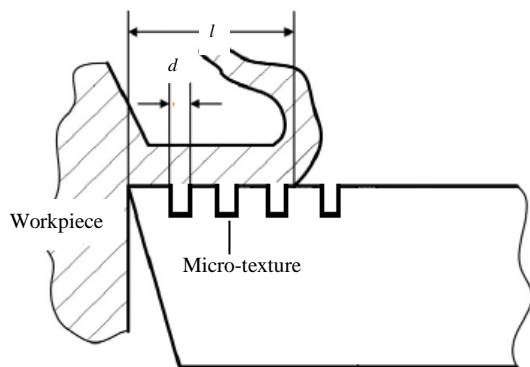


Fig. 6 Schematic image of chip-tool surface in parallel micro-texture [15]

شکل 6 تصویر شماتیک از سطح ابزار-براده در ابزار میکروبافت موازی لبه برش [15]

¹ Abrasion wear

² Abrasion wear

حدودی افزایش نیز یافته است، اما ابزار با میکروشیارهای همراستا با لبه برش موجب تغییر شرایط برش شده و مقادیر زبری سطح نسبت به ابزار بدون بافت کاهش یافته است. می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ابزار با میکروبافت نامناسب نه تنها موجب بهبود شرایط ماشین‌کاری نمی‌شود، بلکه می‌تواند موجب افت تدریجی ماشین‌کاری می‌شود. این امر نشان‌دهنده اهمیت هندسه بافت‌های ایجاد شده بر سطح ابزار است [12]. با توجه به مقادیر عددی حاصل از آزمایشات، میکروشیارهای موازی با لبه برش در هر سه حالت روان‌کاری بهتر از میکروبافت‌های دیگر و همچنین بهتر از ابزار بدون بافت بوده است. دلیل این پدیده را می‌توان با دلایل زیر توجیه کرد:

- تمایل بالای آلیاژهای آلومینیوم به تشکیل براده با لبه انباشته با توجه به خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیوم مانند نرمی و استحکام کم آن، شرایط جوش خوردن مواد قطعه‌کار با سطح ابزار افزایش می‌یابد و تشکیل براده با لبه انباشته در سطح ابزار موجب می‌شود که زبری سطح طبیعی قطعه‌کار نیز افزایش یابد. میکروبافت‌های عمود بر جهت لبه برش و حالت صلیبی به دلیل وجود شیارهای همراستا با جهت حرکت براده موجب می‌شود که سطح تماس ابزار با سطح زیرین براده افزایش یابد و این پدیده موجب افزایش اصطکاک در بین این سطوح شده و شرایط جوش خوردن مواد قطعه‌کار به سطح ابزار نیز قوت بخشیده و زبری سطح افزایش می‌یابد [13]. این شرایط برای ابزار با میکروبافت موازی لبه برش صادق نبوده و کیفیت سطح بهتری ارائه می‌شود.

- انتقال بیشتر سیال روان‌کار-خنک‌کار به منطقه برش با ایجاد میکروبافت مناسب، شرایط انتقال سیال برش به منظور خنک‌کاری نوک ابزار و روان‌کاری سطح ابزار-براده (با ایجاد فشار هیدرودینامیک) بهبود می‌یابد. به عبارت دیگر، میکروشیارها مانند کانال‌های ریزی عمل کرده و موجب انتقال بیشتر و سریع‌تر روان‌کار به منطقه برش می‌شوند [11].

شکل 6 تصویر شماتیک از دو سطح درگیر هنگام ماشین‌کاری شامل سطح زیرین براده و سطح بالایی ابزار را نشان می‌دهد. در این شکل شیارها

می‌شود که هر چه تعداد میکروشیارها در واحد سطح افزایش یابد (پهنای شیارها کاهش یابد) به نحوی که عمق آن زیاد شود تا حجم سیال برش محبوس شده در آن کاهش نیابد شرایط اصطکاکی سطوح درگیر بهبود می‌یابد و نتایج بهتری حاصل می‌شود [15]. البته با افزایش پهنای شیارها نیز می‌توان به کاهش میزان تماس این دو سطح رسید، ولی دو عیب زیر حاصل خواهد شد.

با افزایش پهنای شیارها شرایط نفوذ مواد ابزار به داخل آن زیاد شده و به سرعت این شیارها پر می‌شوند و ابزار میکروبافت به ابزار بدون بافت نزدیک شده و خواص ضدسایش خود را از دست داده و کیفیت سطح قابل قبولی ارائه نخواهد شد.

همچنین برای افزایش پهنای شیارها باید توان دستگاه لیزر را افزایش داد که این امر موجب افزایش عمق شیارها نیز می‌شود که تحت چنین شرایطی استحکام لبه برش کاهش یافته و احتمال شکست ابزار افزایش می‌یابد.

پدیده دیگری که در شکل 5 قابل تأمل است اختلاف بین مقادیر زبری سطح در حالت ابزار میکروبافت موازی لبه برش و ابزار بدون بافت برای سیلابی با فشار نسبت به دو روش خشک و سیلابی بدون فشار است. این پدیده به دلیل مکانیزم روان کاری در حالت سیلابی فشار بالا نسبت به دو روش دیگر است. در روش سیلابی با فشار، سیال برش با فشار و سرعت بالاتری به منطقه برش تزریق شده و تحت چنین شرایطی قدرت نفوذ سیال برش از طریق میکرو کانال‌ها به نوک ابزار به نحو چشمگیری افزایش یافته و شرایط برش بهبود می‌یابد. انتقال بیشتر سیال برش به منطقه ماشین کاری دلیل اصلی کاهش چشمگیر زبری سطح برای حالت سیلابی با فشار نسبت به دو روش دیگر است [1].

4-2- سایش ابزار

شکل 7 تصویر SEM با بزرگ‌نمایی 70 برابر از سطح ابزار برش به همراه براده‌شکن در روش روان کاری سیلابی با فشار را نشان می‌دهد. تشکیل براده با لبه انباشته و همچنین براده با لایه انباشته که محصول سایش چسبندگی است به وضوح در سطح ابزار مشاهده می‌شود. قرار گرفتن دمای منطقه برش در محدوده دمایی تشکیل براده با لبه انباشته موجب شده که مواد جدا شده از سطح قطعه کار به سطح ابزار که حتی شامل براده شکن نیز است جوش بخورد [16].

از طرفی استعداد زیاد آلیاژهای آلومینیوم به تشکیل این نوع براده به دلیل خواص مکانیکی آن مانند استحکام کم (نرمی) و همچنین نقطه ذوب پایین موجب شده که تشکیل آن شدت یابد. این نوع براده با نفوذ مواد ابزار و قطعه کار در یک دیگر و وجود تنش بالا در سطح ابزار- براده و حرارت به وجود می‌آید که سبب جوش خوردن مواد می‌شود [17]. از آنجایی که در بیشتر موارد استحکام منطقه جوش بیشتر از استحکام فلز پایه است این مواد در اثر اعمال نیروهای برش، سطح ابزار را به همراه قسمتی از مواد ابزار ترک می‌کنند. جدا شدن قسمت‌هایی از سطح ابزار، تغییر در زوایای برش آن را در پی دارد و نیروهای وارد شده به ابزار به شدت افزایش یافته و نرخ فرسایش ابزار تحت مکانیزم سایش ساییدگی شدت می‌یابد و ابزار به سرعت فرسوده می‌شود [18]. هر چند ایجاد براده‌شکن با هدف شکستن براده‌ها و افزایش عمر ابزار است، ولی مشاهده می‌شود که در ماشین کاری آلیاژ آلومینیوم 5052 نقش بسزایی ندارد. سطوح کنده شده ابزار که همراه با مواد جوش خورده به سطح آن جدا شده در شکل 7 در اطراف لبه برش دیده می‌شود که از آثار

شکل 8 تصویر SEM با بزرگ‌نمایی 70 برابر از سطح ابزار برش بدون براده‌شکن در روش روان کاری سیلابی با فشار را نشان می‌دهد. در این تصویر نیز براده با لبه انباشته و براده با لایه انباشته بر سطح ابزار برش دیده می‌شود. از مقایسه دو شکل 7 و 8 می‌توان نتیجه گرفت که وجود براده‌شکن تأثیر چندانی بر کاهش تشکیل این نوع از براده در ماشین کاری آلیاژ آلومینیوم ندارد. تمایل به شکستگی کم براده‌های تولید شده در ماشین کاری آلیاژهای آلومینیوم موجب شده که وجود یا عدم وجود براده‌شکن تأثیری بر رفتار سایشی ابزار نداشته باشد [16]. در شکل 8 به وضوح مناطق تشکیل براده با لبه انباشته و براده با لایه انباشته مشخص است که جدا از هم ایجاد شده‌اند، ولی با ایجاد میکروشیار بر سطح ابزار بدون براده‌شکن شرایط به طور کامل تغییر می‌کند. شکل 9 تصویر SEM با بزرگ‌نمایی 70 برابر از سطح ابزار میکروبافت در حالت روان کاری سیلابی با فشار را نشان می‌دهد. در این حالت منطقه تشکیل براده با لبه انباشته به نحو چشمگیری کاهش یافته است. همان‌طور که در بخش پیشین توضیح داده شد این پدیده به دلیل وجود میکروشیارهای تعبیه شده بر سطح ابزار است. ضخامت این منطقه جدای از کاهش مساحت منطقه سایشی به حدی کم است که حتی می‌توان شیارهای زیر آن را تا حدودی تشخیص داد. از مقایسه سه شکل 7، 8 و 9 می‌توان برتری ایجاد میکروشیار در بهبود سایش چسبندگی ابزار برش را مشاهده کرد.

4-3- یکپارچگی سطح

شکل 10 تصویر میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی 10 برابر از سطح قطعه کار بعد از فرآیند ماشین کاری به روش سیلابی با فشار با ابزار میکروبافت تحت پارامترهای برشی ثابت در دو قطعه کار مختلف را نشان می‌دهد. این نمونه‌ها به فاصله 10 میلی‌متر از پیشانی قطعه کار و به کمک ماشین کاری تخلیه الکتریکی با سیم از سطح قطعه کار جدا شده‌اند. در هر دو تصویر ارائه شده در

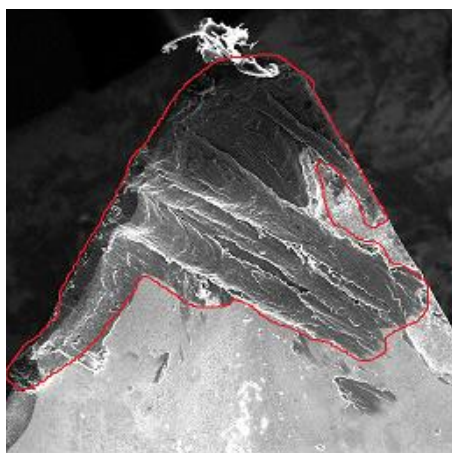


Fig. 7 SEM image of tool rake face with chip breakage in flood mode with pressure

شکل 7 تصویر SEM از سطح ابزار برش با براده‌شکن در روش روان کاری سیلابی با فشار

چشمگیری افزایش نیافته و این مواد از سطح ابزار جدا نشده، بلکه با وجود این مواد، زوایای برش تغییر می‌کند. با تغییر زوایای برش

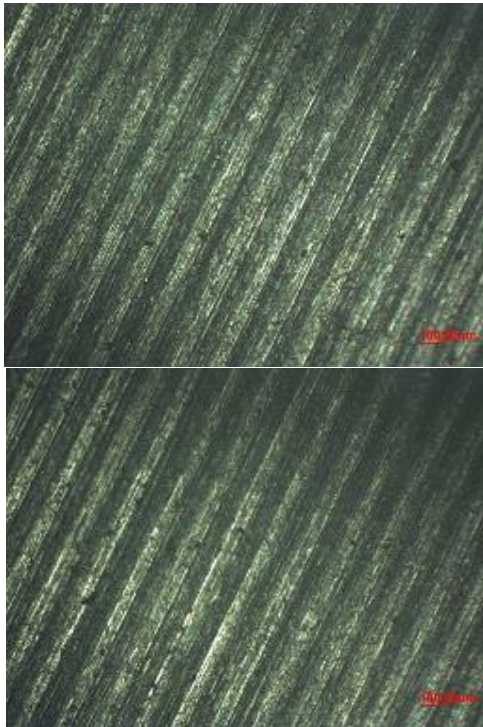


Fig. 10 Optical microscope image of workpiece surface in flood mode with pressure by micro-texture tool

شکل 10 تصویر میکروسکوپ نوری از سطح قطعه‌کار به روش سیلابی با فشار با ابزار میکروبافت

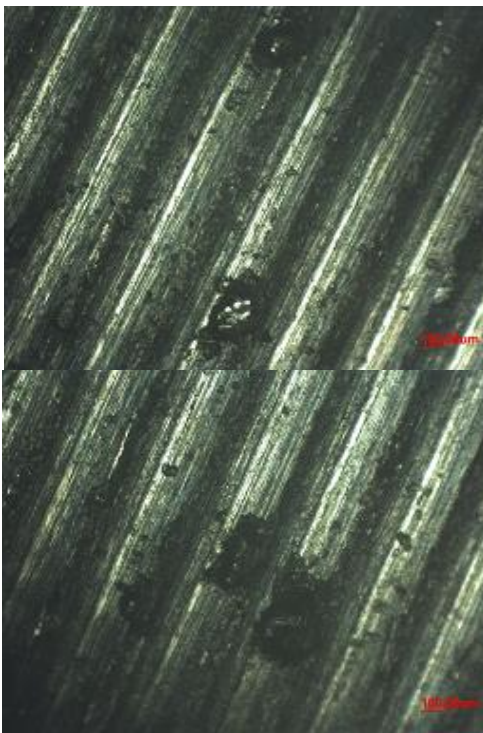


Fig. 11 Optical microscope image of workpiece surface in flood mode with pressure by non-texture tool

شکل 11 تصویر میکروسکوپ نوری از سطح قطعه‌کار به روش سیلابی با فشار با ابزار بدون بافت

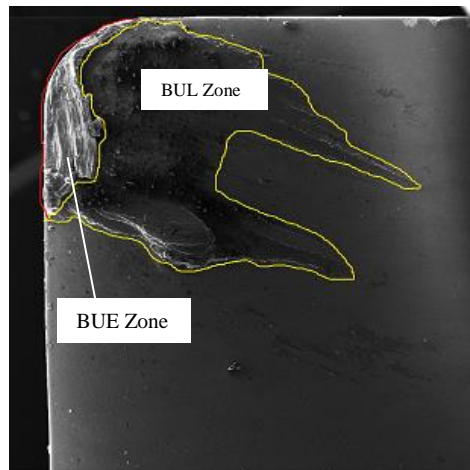


Fig. 8 SEM image of tool rake face without chip breakage in flood mode with pressure

شکل 8 تصویر SEM از سطح ابزار برش بدون براده‌شکن در روش روان کاری سیلابی با فشار

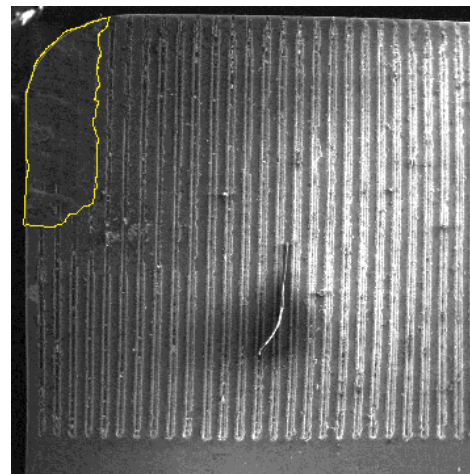


Fig. 9 SEM image of micro-texture tool in flood mode with pressure

شکل 9 تصویر SEM از سطح ابزار میکروبافت در روش روان کاری سیلابی با فشار

شکل 10 کیفیت سطح مناسبی مشاهده می‌شود. به دلیل وجود میکروشیارها، روان کاری و خنک‌کاری مناسبی ایجاد شده و شرایط برش بهبود یافته است. ولی در شکل 11 که سطح قطعه‌کار ماشین‌کاری شده با بزرگ‌نمایی 20 برابر با ابزار بدون بافت و بدون براده‌شکن تحت شرایط روان کاری سیلابی با فشار را نشان می‌دهد، مناطق حفره‌ای مانند در اثر کنده شدن در سطح مشاهده می‌شود. دلیل کنده شده قسمت‌هایی از سطح قطعه‌کار را می‌توان به دو دلیل زیر نسبت داد:

- در اثر چسبیدن (یا به تعبیر درست‌تر جوش خوردن) مواد قطعه‌کار به سطح ابزار که عموماً در نزدیکی لبه برش است، توده‌های ضخیمی در این نواحی ایجاد می‌شود که در ادامه ماشین‌کاری و افزایش نیروهای برش، این نقاط به همراه مواد ابزار از سطح آن جدا شده و تیزی لبه برش از بین رفته و مکانیزم برش ابزار تغییر یافته و مواد قطعه‌کار تحت مکانیزم کششی و یا لهیدگی از سطح آن برداشته می‌شود که کنده شدن مواد قطعه‌کار از سطح آن و تولید مناطق حفر شده بر آن و یا چسبیدن مواد براده به آن نتیجه این پدیده است [8].
- در حالت دوم هم به دلیل جوش خوردن مواد ابزار به سطح قطعه‌کار و در حالتی که این مواد حجیم نباشد نیروهای برش به نحو

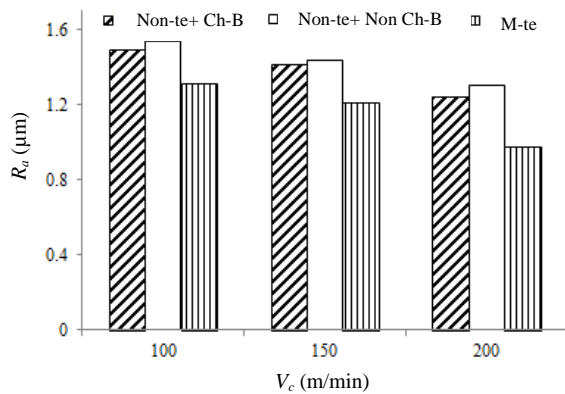


Fig. 12 Effect of cutting speed on surface roughness

شکل 12 تأثیر سرعت برش بر زبری سطح

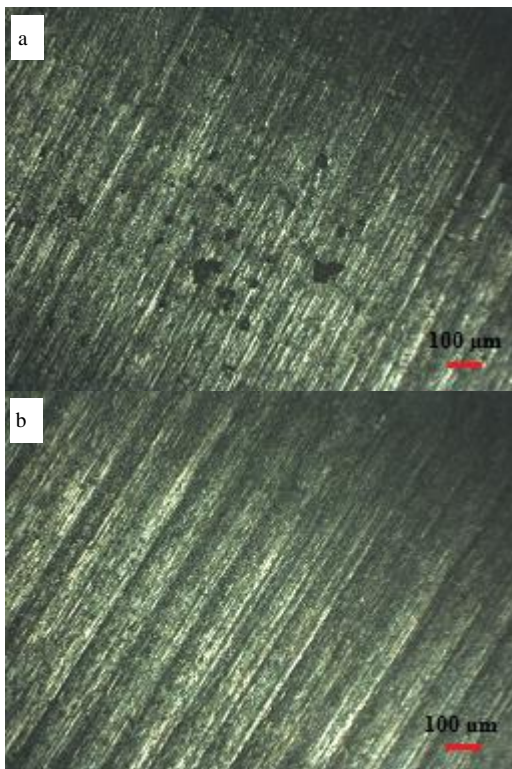


Fig. 13 Optical microscope image of workpiece surface under flood mode with pressure by cutting speed of a- 100 and b- 200 m/min

شکل 13 تصویر میکروسکوپ نوری از سطح قطعه کار تحت شرایط روان کاری سیلابی با فشار در سرعت برش الف- 100 و ب- 200m/min

مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌های صورت پذیرفته عبارت از موارد زیر است.

- با توجه به خواص مکانیکی آلیاژ آلومینیم 5052، وجود براده شکن تأثیر چندانی بر شکست براده، کاهش سایش چسبندگی و بهبود کیفیت سطح ندارد.
- در ابزار میکروبافت با شیارهای موازی لبه برش، بهبود زبری سطح تا مقدار 25% نسبت به ابزار بدون بافت (ابزار معمولی) مشاهده شده است.
- راستای شیارها تأثیر چشمگیری بر نتایج زبری سطح دارد، به نحوی که شیارهای عمود بر لبه برش موجب افزایش زبری سطح نسبت به حالت ابزار بدون بافت شده است.

مکانیزم برش تغییر کرده و مواد از سطح قطعه کار بریده نمی‌شود، بلکه کنده می‌شود و سطح آن از کیفیت نامناسبی برخوردار خواهد شد [19].

وجود این مناطق با تمرکز تنش بالا بر سطح ماشین کاری شده برای قطعات حساسی که تحت بارهای دینامیکی قرار دارند به شدت مضر است. این مناطق با کاهش مقاومت به خستگی موجب کاهش عمر مفید قطعه کار می‌شود [8].

4-4- تأثیر پارامترهای برش بر زبری سطح در روش سیلابی با فشار

شکل 12 نمودار تأثیر سرعت برش بر کیفیت سطح قطعه کار برای ابزار بدون بافت در دو حالت با براده شکن و بدون براده شکن و ابزار بدون براده شکن همراه میکروشیار تحت شرایط روان کاری سیلابی با فشار را نشان می‌دهد. برای نام گذاری آن‌ها از تعاریف زیر استفاده گردید.

- ماشین کاری با ابزار بدون بافت و با براده شکن (Non-t+Ch-B)

- ماشین کاری با ابزار بدون بافت و بدون براده شکن (Non-t+Non Ch-B)

- ماشین کاری با ابزار میکروبافت (M-te)

مطابق با نمودار ارائه شده مشاهده می‌شود که بدون در نظر گرفتن نوع ابزار برش، با افزایش سرعت برش زبری سطح کاهش می‌یابد، ولی در سطوح بالا از سرعت برش مقدار اختلاف زبری سطح برای ابزار میکروبافت با دو ابزار دیگر افزایش می‌یابد. همان‌گونه که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد تمایل چسبندگی مواد قطعه کار به سطح ابزار و به دنبال آن به سطح ماشین کاری شده قطعه کار زیاد است. در حالتی که از ابزار میکروبافت استفاده شده است در سطوح کم سرعت برش مقداری از مواد قطعه کار وارد شیارهای تعبیه شده بر سطح ابزار می‌شود. با پر شدن این شیارها سطح ابزار به حالت ابزار بدون بافت نزدیک شده و عملاً ماشین کاری با ابزار ساده صورت می‌پذیرد ولی با افزایش سرعت برش، سرعت خطی مواد جدا شده از سطح قطعه کار نسبت به سطح ابزار افزایش یافته و تمایل نفوذ آن به داخل شیارهای ابزار کاهش می‌یابد و تحت چنین شرایطی ابزار میکروبافت به راحتی انتقال سیال برش به زیر براده را فراهم کرده و کیفیت سطح بهتری تولید می‌شود [20]. این مطلب با توجه به شکل 13 که تصویر میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی 10 برابر از سطح قطعه کار تحت شرایط روان کاری با فشار با دو سرعت برش 100 و 200m/min قابل تأیید است. در شکل 13-a سطح قطعه کار بعد از ماشین کاری با سرعت برش 100m/min مناطق کنده شده در قسمت میانی تصویر قابل مشاهده است. همان‌گونه که بیان شد در سرعت برش پایین، شرایط نفوذ مواد ابزار به داخل شیارها فراهم شده و ابزار میکروبافت به ابزار بدون بافت نزدیک می‌شود و این پدیده موجب کنده شدن سطوح قطعه کار و افزایش زبری سطح می‌شود. این عیب در سرعت برش بالا مطابق شکل 13-b رفع می‌شود.

5- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به منظور بهبود سایش ابزار و کیفیت سطح در فرآیند ماشین کاری آلومینیم آلیاژی 5052 به بررسی تأثیر هندسه میکروبافت بر سطح براده ابزار با هدف بهبود شرایط روان کاری و خنک کاری پرداخته شده است. میکروبافت‌های مختلف شامل شیارهای موازی و عمود بر لبه برش، حالت صلیبی و حفره‌ای توسط فرآیند ماشین کاری با لیزر بر سطح ابزار حکاکی گردید، همچنین سه سطح سرعت برش، سه روش روان کاری-خنک کاری، سه نوع ابزارگیر و دو نوع ابزار برش به عنوان پارامترهای متغیر

- 15, No. 13, pp. 223-227, 2015. (in Persian فارسی)
- [7] X. Zhang, W. Chen, Review on corrosion-wear resistance performance of materials in molten aluminum and its alloys, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol. 25, No. 6, pp. 1715-1731, 2015.
- [8] B. Davoodi, S. H. Musavi, M. Nankali, Development of a new cutting tool by changing the surface texture for increasing the machining performance, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 7, pp. 441-450, 2017. (in Persian فارسی)
- [9] D. Arulkirubakaran, V. Senthikumar, Vijay Kumawat, Effect of micro-textured tools on machining of Ti-6Al-4V alloy: An experimental and numerical approach, *Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 54, No. 1, pp. 165-177, 2016.
- [10] *Source for Materials Information*, Accessed 1996; <http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx>.
- [11] T. Obikawa, A. Kamio, H. Takaoka, A. Osada, Micro-texture at the coated tool face for high performance cutting, *Machine Tools & Manufacture*, Vol. 51, No. 12, pp. 966-972, 2011.
- [12] N. Kawasegi, K. Ozaki, N. Morita, K. Nishimura, M. Yamaguchi, Development and machining performance of a textured diamond cutting tool fabricated with a focused ion beam and heat treatment, *Precision Engineering*, Vol. 47, No. 1, pp. 311-320, 2017.
- [13] B. Liu, X. Zhou, X. Zhang, Orthogonal machining introduced microstructure modification in AA7150-T651 aluminum alloy, *Materials Characterization*, Vol. 123, No. 1, pp. 91-98, 2017.
- [14] W. Ze, D. Jianxin, S. Chun, L. Chen, X. Dan, Performance of the micro-texture self-lubricating and pulsating heat pipe self-cooling tools in dry cutting process, *Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 45, No. 1, pp. 238-248, 2014.
- [15] K. Zhang, J. Deng, Y. Xing, Sh. Li, H. Gao, Effect of microscale texture on cutting performance of WC/Co-based TiAlN coated tools under different lubrication conditions, *Applied Surface Science*, Vol. 326, No. 1, pp. 107-118, 2015.
- [16] A. Gomez-Parra, M. Alvarez-Alco, J. Salguero, M. Batista, M. Marcos, Analysis of the evolution of the Built-Up Edge and Built-Up Layer formation mechanisms in the dry turning of aeronautical aluminum alloys, *Wear*, Vol. 302, No. 1-2, pp. 1209-1218, 2013.
- [17] B. Wang, Zh. Liu, Investigations on deformation and fracture behavior of workpiece material during high speed machining of 7050-T7451 aluminum alloy, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 14, No. 1, pp. 43-54, 2016.
- [18] S. Atlati, A. Moufki, M. Nouari, B. Haddag, Interaction between the local tribological conditions at the tool-chip interface and the thermomechanical process in the primary shear zone when dry machining the aluminum alloy AA2024-T351, *Tribology International*, Vol. 105, No. 1, pp. 326-333, 2017.
- [19] X. Cui, J. Guo, Effects of cutting parameters on tool temperatures in intermittent turning with the formation of serrated chip considered, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 110, No. 1, pp. 1220-1229, 2017.
- [20] K. Zhang, J. Deng, J. Sun, Ch. Jiang, Y. Liu, Sh. Chen, Effect of micro/nano-scale textures on anti-adhesive wear properties of WC/Co-based TiAlN coated tools in AISI 316 austenitic stainless steel cutting, *Applied Surface Science*, Vol. 355, No. 1, pp. 602-614, 2015.

- تصاویر SEM تهیه شده از سطح ابزار نشان داد که میکروشیارهای موازی لبه برش سایش چسبندگی ابزار را نسبت به ابزارهای بدون بافت به نحو چشمگیری کاهش داده است.
- با افزایش سرعت برش حجم مواد قطعه‌کار نفوذ یافته به داخل شیارها کاهش یافته و این امر نشان‌دهنده بازده بهتر میکروشیارها در سرعت‌های برش بالاست.
- در میان روش‌های روان‌کاری - خنک‌کاری مختلف مورد بررسی، روش سیلابی با فشار به دلیل فشار و حجم بالای سیال برش مصرفی نتایج بهتری از نقطه نظر کیفیت سطح قطعه‌کار و سایش ابزار ارائه داده است.
- علاوه بر نتایج عددی حاصل از زبری سطح، تصاویر میکروسکوب نوری تهیه شده از سطح قطعه‌کار یکپارچگی سطح بهتر قطعات ماشین‌کاری شده با ابزار میکروباخت نسبت به ابزار بدون بافت را نشان داده است (کاهش مناطق کنده شده بر سطح ابزار که سبب ایجاد تمرکز تنش می‌شود).

6- مراجع

- [1] B. Davoodi, S. H. Musavi, An experimental investigation of the effect of lubrication method on surface roughness and cutting fluid consumption in machining of super alloys, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 10, pp. 343-352, 2016. (in Persian فارسی)
- [2] S. Chinchankar, S. K. Choudhury, Hard turning using HiPIMS-coated carbide tools: Wear behavior under dry and minimum quantity lubrication (MQL), *Measurement*, Vol. 55, No. 1, pp. 536-548, 2014.
- [3] N. A. Ch. Sidik, S. Samion, J. Ghaderian, M. N. Yazid, Recent progress on the application of nanofluids in minimum quantity lubrication machining: A review, *Heat and Mass Transfer*, Vol. 108, No. 1, pp. 79-89, 2017.
- [4] B. Wang, Zh. Liu, Q. Song, Y. Wan, Zh. Shi, Proper selection of cutting parameters and cutting tool angle to lower the specific cutting energy during high speed machining of 7050-T7451 aluminum alloy, *Cleaner Production*, Vol. 129, No. 1, pp. 292-304, 2016.
- [5] M. Sayuti, O. M. Erh, A. Sarhan, M. Hamdi, Investigation on the morphology of the machined surface in end milling of aerospace AL6061-T6 for novel uses of SiO₂ nano-lubrication system, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 66, No. 1, pp. 655-663, 2014.
- [6] E. Hakimi, S. Amini, M. Aghaei, Investigation of Built-up edge in rotary vibration turning for aluminum 7075, *Modares Mechanical Engineering*, Vol.