



## توسعه ابزار برشی جدید با تغییر بافت سطح به منظور افزایش کارایی فرآیند ماشین کاری

بهنام داودی<sup>1\*</sup>، سید حسن موسوی<sup>2</sup>، محمد نانکلی<sup>3</sup>

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

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

3- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

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

## اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 21 اردیبهشت 1396

پذیرش: 08 تیر 1396

ارائه در سایت: 31 مرداد 1396

کلید واژگان:

ابزار میکروباخت

زبری سطح

حداقل مقدار روانکار

ماشین کاری

آلومینیم 6061

## چکیده

فرآیندهای ماشین کاری یکی از مهمترین روش‌های تولید قطعات صنعتی است. در این نوع از فرآیندها اصطکاک در سطح تماس ابزار- براده یکی از فاکتورهای اثرگذار بر کیفیت سطح نهایی قطعه کار است. گرمای تولید شده بر اثر اصطکاک، مکانیزم سایش را قوت بخشیده و سرعت سایش لبه برش را افزایش می‌دهد و موجب کاهش کیفیت سطح می‌شود. استعداد بالای تشکیل براده با لبه انباشته در ماشین کاری آلومینیم تاثیر نامطلوبی بر کیفیت سطح نهایی این‌گونه قطعات دارد. پژوهش حاضر به منظور بهبود شرایط روان کاری-خنک کاری در ماشین کاری آلومینیم 6061، به توسعه ابزار جدید با ایجاد میکروشیارهایی بر روی سطح ابزار با هدف بهبود انتقال سیال برش به منطقه ماشین کاری و کاهش اصطکاک سطح ابزار-براده پرداخته است. دو میکروشیار یکی موازی و دیگری عمود بر لبه برش توسط فرآیند ماشین کاری لیزر بر روی سطح ابزار ایجاد شده‌اند. با تغییر پارامترهای ماشین کاری (سرعت برش، پیشروی و عمق برش) و نحوه عرضه سیال به منطقه ماشین کاری، قطعات تراش کاری شدند. نتایج حاصل از زبری سنجی همراه با تصاویر تهیه شده از سطح قطعه کار با میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ نوری نشان داد که وجود میکروشیارها شرایط انتقال سیال برش به منطقه ماشین کاری را بهبود بخشیده و تاثیر آن به وضوح در کاهش زبری سطح قابل مشاهده است. مقایسه نتایج حاصل از دو نوع میکروشیار نشان داد که راستای شیارها یکی از مهمترین پارامترها در طراحی آن‌ها است به نحوی که بافت عمود بر لبه برش نه تنها موجب بهبود کیفیت سطح ماشین کاری شده نمی‌شود بلکه زبری سطح را نسبت به حالت استفاده از ابزار معمولی افزایش می‌دهد.

## Development of a new cutting tool by changing the surface texture for increasing the machining performance

Behnam Davoodi\*, Seyed Hasan Musavi, Mohammad Nankali

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

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

## ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper

Received 11 May 2017

Accepted 29 June 2017

Available Online 04 August 2017

## Keywords:

Micro-texture tool

Surface roughness

Minimum quantity lubrication

Machining

6061 aluminum alloy

## ABSTRACT

Machining processes are the most important method used in production in the industry. In these processes, the friction in tool-chip surface during the machining is one of the affecting factors on surface quality of work piece. The generated heat by friction augments the tool wear mechanism and increases the wear rate of cutting edge, which leads to reducing surface quality. The high ability of aluminum to built-up edge formation during machining has the undesirable effect on the surface quality. In the present study in order to improve the cooling-lubrication conditions in machining of 6061 aluminum alloy, a new cutting tool created with micro-grooves on its rake face was developed to improve the cutting fluid transfer to machining zone and reduce the friction between tool-chip surfaces. Two types of micro-grooves have been created by laser machining process. Specimens by changing the machining parameters and types of the applied cutting fluid to machining zone were machined. The experimental results obtained from surface roughness survey and prepared images of work piece surface by scanning electron microscope (SEM) and optical microscope showed that by creating the micro-grooves, the delivery conditions of cutting fluid to machining zone has improved and its effect on reduction of surface roughness is clearly visible. By comparison of the results of two micro-grooves it was shown that direction of grooves is the most important parameter in its design, so that the perpendicular texture not only improves the surface quality but also increases the surface roughness compared to non-texture tool.

## 1- مقدمه

صنایع استراتژیک خصوصاً صنعت هوافضا دارند [1]. ویژگی‌هایی از قبیل

استحکام خوب، وزن کم و هزینه تولید پایین از دلایل اصلی کاربرد گسترده

آلومینیم و آلیاژهای آن با دارا بودن ویژگی‌های خاص، کاربرد فراوانی در

## Please cite this article using:

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)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

بنابراین، کاهش در اصطکاک ناشی از بافت در مقیاس بسیار کوچک به معنای بهبود موثر در قابلیت ماشین کاری است [11]. گزارش شده است که بافت با ابعاد زیر میلی متر بر روی سطح ابزار موجب بهبود ویژگی تریبولوژیکی سطح مورد نظر می شود. اثر کاهش اصطکاک به شدت به شکل بافت ایجاد شده بر روی ابزار وابسته است و زمانی که مقیاس این شیارها از محدوده میلی متر به مقیاس میکرومتر و نانومتر تغییر کند می توان به کاهش قابل توجهی در اصطکاک دست یافت. بنابراین، استفاده از بافت در مقیاس میکرو یا نانو بر روی سطح یک ابزار می تواند بهبود عمده ای در ویژگی های تریبولوژیکی بین سطح ابزار و براده را موجب شود [12].

پژوهش حاضر به توسعه یک ابزار جدید با ایجاد شیارهایی عمود و موازی با لبه برش بر روی سطح براده آن به منظور بررسی تجربی تاثیر میکروباخت بر کیفیت سطح نهایی قطعه ماشین کاری شده از جنس آلومینیم آلیاژی 6061 اختصاص دارد. همچنین تاثیر ابعاد و جهت بافت بر روی سطح ابزار نسبت به راستای لبه برش اصلی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش با هدف حصول ویژگی های ذیل انجام شده است:

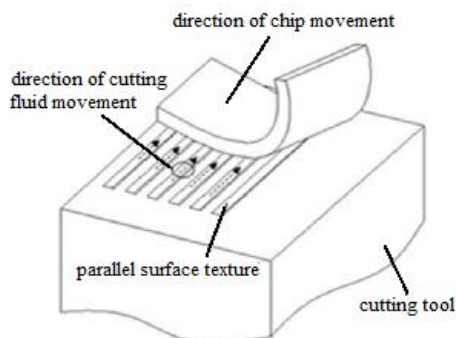
- ✓ توانایی نگه داری سیال برش در شیارهای ابزار برای افزایش خاصیت روان کاری (و همچنین خنک کاری) در هنگام ماشین کاری.
- ✓ ایجاد فشار هیدرودینامیک به منظور کاهش چسبیدن براده به سطح ابزار.
- ✓ کاهش سطح تماس فلز با فلز (ابزار و قطعه کار) جهت کاهش میزان اصطکاک و حرارت.

## 2- مواد و تجهیزات

آلومینیم آلیاژی 6061 با ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی که به ترتیب در جدول 1 و 2 نشان داده شده اند به عنوان قطعه کار مورد استفاده قرار گرفته است. میله های آلومینیمی داری سطح مقطع دایروی با قطر 65 میلی متر می باشند که 60 میلی متر از آن تحت عملیات ماشین کاری قرار گرفته است.

اینسرت برشی اولیه (قبل از ایجاد بافت بر روی سطح آن) از نوع کاربرد تنگستن و بدون پوشش می باشد. اینسرت برشی بدون براده شکن با هندسه چهارگوش از شرکت ابزار سازی سندویک با کد SNMA 120408 انتخاب شد. ابزار مورد نظر از گرید 3205، توصیه شده برای تراش کاری آلیاژهای آلومینیم می باشد. از ابزارگیر با کد PSBNR 2525 M12 استفاده گردید. "شکل 2" چیدمان آزمایش را نشان می دهد.

دستگاه زبری سنج مورد استفاده در این پژوهش از مدل TR-200plus بوده و از معیار  $R_a$  برای گزارش نتایج استفاده شده است مقدار آن برابر با



**Fig. 1** Schematic illustration of the cutting tool along with texture created on it

شکل 1 تصویر شماتیک ابزار برش به همراه بافت ایجاد شده بر روی آن

آلومینیم و آلیاژهای آن در صنعت است [2]. خواص غیرمغناطیسی، هدایت الکتریکی و حرارتی بالا و همچنین مقاومت شیمیایی خوب دلایلی دیگر برای انتخاب آلومینیم و آلیاژهای آن در کاربردهای خاص از این فلز می باشد [3]. علاوه بر این، سهولت ساخت، غیرسمی بودن و مقاومت خوب در برابر خوردگی، باعث شده که در صنایع هواپیمایی، دریایی و خودروسازی به یک فلز محبوب در مهندسی تبدیل شود. با این حال، ماشین کاری این آلیاژها به دلیل تشکیل براده با لبه انباشته<sup>1</sup> که محصول سایش تحت مکانیزم چسبندگی است موجب شده که کیفیت سطح نامناسب برای قطعه کار حاصل شود [4].

استفاده از سیالات برش در فرایندهای ماشین کاری نقش بسیار مهمی در بهبود دقت ابعادی، افزایش کیفیت سطح قطعه کار و عمر ابزار ایفا می کند به نحوی که در بسیاری از عملیات ماشین کاری، وجود این سیالات به اندازه ای بر بازده فرآیند موثر است که نبود آن موجب عملی نشدن فرآیند و یا کیفیت بسیار پایین برای سطح پایانی قطعه کار می شود [5]. حرارت بالا تولید شده در منطقه برش بر روی لبه ابزار موجب سخت شدن کنترل نرخ سایش ابزار و اصطکاک بین سطح ابزار-براده در طول فرآیند ماشین کاری می شود [6]. در این حالت ابزار حرارت را از منطقه برش جذب کرده و با ایجاد یک گرادپان حرارتی مناسب، حرارت را از این منطقه به محیط و ابزارگیر منتقل می کند. میزان دفع حرارت از منطقه برش به هدایت حرارتی ابزار، هندسه ابزار، نوع سیال برش مورد استفاده و روش روان کاری-خنک کاری (روش اعمال سیال برش) بستگی دارد [7].

ایجاد بافت با یک الگوی مشخص بر روی سطح براده ابزار، باعث کاهش سطح واقعی تماس براده و ابزار شده و خواص ضدسایشی و تریبولوژیکی سطح ابزار را بهبود می بخشد. این تکنیک توسط پیشرفت های اخیر در تکنولوژی ماشین کاری با لیزر و حکاکی بر روی فلزات و یا از طریق ماشین کاری شیمیایی میسر شده است. از لحاظ فیزیکی، با ایجاد یک بافت مناسب در ابعاد زیر میلی متر، می توان سطحی از ابزار که در تماس با سطح براده است را کاهش داد و متعاقباً میزان اصطکاک این سطوح را به مقادیر کمتر سوق داد [8]. با ایجاد بافت بر روی سطح ابزار برش و کاهش اصطکاک، حرارت تولید شده در حین براده برداری کاهش یافته و سایش ابزار نیز که محصول حرارت بالا است کاهش می یابد. با حذف سایش تحت مکانیزم چسبندگی (و همچنین کاهش میزان سایش ساییدگی) که مهمترین نوع سایش در ماشین کاری آلیاژهای آلومینیم می باشد کیفیت سطح قطعه کار نیز بهبود می یابد [9]. این پدیده را می توان به تولید فشار هیدرودینامیک در حین ذخیره سازی سیال برش در بافتها نسبت داد. این تکنیک برای کاهش تشکیل براده با لبه انباشته و براده با لایه انباشته<sup>2</sup> که از مهم ترین معایب ماشین کاری آلیاژهای آلومینیم است بسیار موثر به نظر می رسد [10]. "شکل 1" تصویر شماتیک ابزار برش به همراه بافت ایجاد شده بر روی آن و همچنین نمای برش خورده مقطع ابزار را نشان می دهد. در شکل فوق مشاهده می شود با تزریق سیال برش به سطح ابزار، توانایی نفوذ آن به منطقه برش به علت وجود شیارهای ریز امکان پذیر می باشد. از آنجایی که ابعاد این شیارها در اندازه میکرون می باشد تاثیری بر کاهش استحکام ابزار ندارد.

گرمای تولید شده بر اثر وجود اصطکاک در سطح براده ابزار در فرایندهای ماشین کاری، تغییر شکل پلاستیک مواد ابزار در لبه برش را به دنبال دارد و یک عامل تعیین کننده برای قابلیت ماشین کاری مواد است.

<sup>1</sup> Built-up edge

<sup>2</sup> Built-up layer

جدول 2 خواص مکانیکی AA6061

پارامتر	مقدار
استحکام کششی (MPa)	260-310
استحکام تسلیم (MPa)	240-276
سختی (برینل)	95-97
درصد کاهش سطح مقطع (%)	9-13

جدول 3 مشخصات سیستم MQL

پارامتر	مقدار
دبی خروجی سیال (cm <sup>3</sup> /h)	150
فشار تزریق (bar)	6
زاویه نازل نسبت به محور ابزار (درجه)	60

استفاده قرار گرفته است. برای ایجاد بافت سطحی بر روی سطح براده ابزار از تکنیک ماشین کاری با لیزر استفاده شده است. به دلیل الگودهی با سرعت و دقت بالا و همچنین به دلیل کوچک بودن ابعاد بافت موردنظر، از لیزر برای ایجاد بافت استفاده شده است. شیارهای دقیق با استفاده از تابش صدها پالس بسیار کوتاه با طول موج یکسان و انرژی برابر در کسری از ثانیه بر روی سطح ابزار ایجاد می‌شود. این روش اجازه ساخت بافت‌های بسیار ظریف بدون ایجاد آسیب‌های حرارتی در مناطق مجاور را می‌دهد. ابزار استفاده شده در آزمایش‌ها از جنس کاربید سمانته با کیفیت سطح 0.1 میکرون می‌باشد.

تصویر شماتیک دو نوع از میکرو بافت ایجاد شده بر روی سطح براده ابزار در "شکل 3" نشان داده شده است. (a) شیار تک جهته با زاویه 90 درجه نسبت به لبه برش و (b) شیار تک جهته با زاویه 0 درجه نسبت به لبه برش. شیارهای ایجاد شده به ترتیب با نام‌های بافت عمود و موازی با لبه برش تعریف و در متن مورد استفاده قرار گرفته اند.

به منظور تمیز کردن سطح ابزار از هرگونه چربی و ناخالصی، قبل از ایجاد بافت، ابزارهای موردنظر به مدت 30 دقیقه در ظرفی شامل اتانول در حمام التراسونیک قرار گرفته‌اند بعد از آن به مدت 30 دقیقه در محیط استون غوطه‌ور شده و به ارتعاش درآمده‌اند. بعد از ایجاد بافت، به‌منظور زدودن مواد به‌جای مانده در شیارها به‌علت ماهیت ذوب شدن مواد ابزار در فرآیند ماشین کاری با لیزر، دوباره ابزار میکروباخت در حمام التراسونیک حاوی اتانول و بعد استون به مدت یک ساعت غوطه‌ور شده است.

تنظیمات دستگاه لیزر برای تمام نمونه‌ها یکسان بوده و از 80% توان دستگاه با سرعت پیشروی 85mm/s به همراه فرکانس 25KHz استفاده گردید. میکرو بافت‌های ایجاد شده بر سطح ابزار دارای پهنای میانگین 130 میکرون هستند که فاصله هر شیار با شیار کناری به‌طور متوسط 65 میکرون است که اگر این ابزار از مقطع عرضی برش زده شود شاهد یک موج منظم مربعی شکل خواهیم بود. "شکل 4" تصویر اینسرت برشی بعد از ایجاد میکروباخت بر روی سطح آن را نمایش می‌دهد. مناطق تیره رنگ در گوشه‌های اینسرت برش در "شکل 4" نشان‌دهنده منطقه ماشین کاری شده به کمک لیزر جهت ایجاد بافت است. برای حصول اطمینان از ایجاد بافت بر روی سطح ابزار، از تصویر میکروسکوپ نوری استفاده گردید. "شکل 5" تصویر میکروسکوپ نوری تهیه شده از سطح ابزار به همراه میکروباخت را نشان می‌دهد.

برای بررسی تاثیر پارامترهای برش بر کیفیت سطح از پنج سطح سرعت برش به همراه پنج سطح سرعت پیشروی و عمق برش استفاده شد. انتخاب

مجموع سطح 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.

به‌منظور کاهش حجم مصرف سیال برش و همچنین افزایش قدرت نفوذ آن به منطقه ماشین کاری از سیستم حداقل مقدار روان کار<sup>1</sup> برای تزریق سیال برش استفاده شده است. این سیستم که توسط نویسندگان در آزمایشگاه سیستم‌های تولید پایدار طراحی و ساخته شده است، عملکرد بسیار مناسبی در آزمایش‌ها نشان داد. در سیستم MQL با ترکیب حجم بالایی از هوای فشرده شده با مقدار جزئی سیال برش و عبور این ترکیب از نازل دستگاه با خروجی بسیار ریز موجب شده که ذرات سیال برش اتمیزه شده و با فشار و سرعت بالا به منطقه ماشین کاری اسپری شود. ابعاد بسیار ریز روانکار به‌همراه سرعت و فشار بالای آن موجب می‌شود قدرت نفوذ آن به منطقه ماشین کاری به نحو چشمگیری افزایش یابد و با حجم بسیار کم سیال برش بتواند روان کاری و خنک کاری خوبی ارائه دهد [5]. جدول 3 مشخصات سیستم MQL مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

از دستگاه لیزر حکاکی مدل FBL20 برای ایجاد میکروباخت بر روی سطح ابزار استفاده شده است. منبع تغذیه این دستگاه در ولتاژ 220 ولت و فرکانس 50 کیلوهرتز و آمپراژ 4 کار می‌کند. حداکثر توان آن 20 وات بوده و طول موج اشعه لیزر تولید شده در آن 1065 نانومتر است.

برای بررسی تاثیر جهت بافت نسبت به راستای لبه برش، دو بافت با زوایای 0 و 90 درجه به همراه ابزار بدون بافت به‌عنوان ابزار برش مورد



Fig. 2 Setup of experiment

شکل 2 چیدمان آزمایش

جدول 1 ترکیب شیمیایی AA6061

عنصر	درصد وزنی (%)
آلومینیم	95.85-98.56
سیلیسیوم	0.4-0.8
آهن	0.7
مس	0.15-0.4
منگنز	0.15
منیزیم	0.8-0.12
کروم	0.04-0.35
روی	0.25
تیتانیوم	0.15
عناصر دیگر	0.05-0.15

<sup>1</sup> Minimum quantity lubrication (MQL)

به بررسی‌های صورت گرفته 70 آزمایش انجام شد. جدول 5 مقادیر زبری سطح به دست آمده در آزمایشات انتخابی را نشان می‌دهد.

**3-1-تاثیر جهت بافت**

"شکل 6" تاثیر زوایای مختلف بافت ابزار (جهت بافت نسبت به راستای لبه برش) بر زبری سطح تحت پارامترهای برش یکسان را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از دو نوع میکرو بافت (موازی لبه برش و عمود بر لبه برش) نشان دهنده رفتاری متفاوت است. به عبارت دیگر، زبری سطح اندازه‌گیری شده قطعه با ابزار با بافت سطحی موازی با لبه برش نسبت به ابزار بدون بافت بهبود یافته است ولی در حالتی که جهت شیارها عمود بر جهت لبه برش بوده‌اند موجب تغییر شرایط برش شده و مقادیر زبری سطح نسبت به دو حالت قبل افزایش یافته است. بنابراین نتیجه می‌شود که استفاده از ابزار با میکرو بافت مناسب، به بهبود کیفیت سطح نسبت به ابزارهای معمولی در ماشین کاری آلیاژهای آلومینیم منجر خواهد شد. این امر نشان دهنده اهمیت جهت شیارهای ایجاد شده نسبت به راستای لبه برش ابزار است.

نتایج نشان داد که بافت موازی راستای لبه برش باشد زبری سطح را کاهش می‌دهد. علت این رخداد را می‌توان به سه پدیده زیر نسبت داد:

الف) کاهش سطح تماس ابزار-براده به علت وجود شیارهای منظم و عمود بر جهت جریان براده وجود این شیارها، سطح تماس فلز با فلز را کاهش داده و ضریب اصطکاک را به مقادیر کمتر سوق می‌دهد. کاهش میزان اصطکاک منجر به کاهش حرارت تولید شده در منطقه برش می‌شود و میزان سایش ابزار کمتر خواهد شد. از طرفی، کاهش مقدار ضریب اصطکاک موجب می‌شود که حرارت تولید شده در منطقه برش در محدوده دمایی تشکیل براده با لبه انباشته قرار نگیرد و کاهش چشمگیر براده با لبه انباشته بر روی ابزار و متقابلاً بر روی سطح ماشین کاری شده قطعه‌کار مشاهده شود.

ب) انتقال بهتر سیال برش به منطقه ماشین کاری به علت تماس شدید براده با سطح ابزار، وجود شیار همانند کانال‌هایی عمل کرده که شرایط انتقال سیال برش به منطقه ماشین کاری (نوک ابزار) را آسان کرده و خنک کاری بهتری ارائه می‌دهد. در "شکل 1" نحوه انتقال سیال برش به سمت نوک ابزار به صورت شماتیک نشان داده شده است.

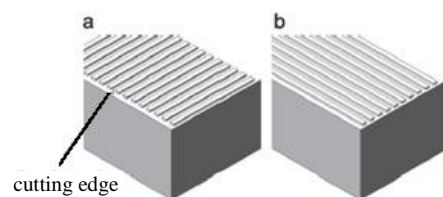
ج) بهبود شرایط روان کاری با ایجاد بافت مناسب بر روی سطح براده ابزار، توانایی نگه‌داری سیال

مقادیر پارامترهای برش با توجه به مقادیر توصیه شده شرکت سازنده ابزار صورت پذیرفته است. جدول 4 پارامترهای مورد آزمایش، تعداد سطوح و مقادیر آن‌ها را نشان می‌دهد.

**3- نتایج و بحث**

پس از ماشین کاری قطعات با پارامترهای از قبل انتخاب شده، مقادیر زبری سطح ناحیه ماشین کاری شده تحت معیار  $R_a$  اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار زبری سطح در هر نمونه، زبری سنجی در پنج قسمت مختلف صورت پذیرفت و میانگین این پنج مقدار اندازه‌گیری شده، به‌عنوان زبری سطح متوسط سطح قطعه‌کار گزارش شد.

با توجه به تعداد پارامترهای متغیر و سطوح آن، تعداد آزمایشات به روش فاکتوریل کامل 1125 عدد خواهد بود که بسیار زیاد است. از این‌رو، با توجه



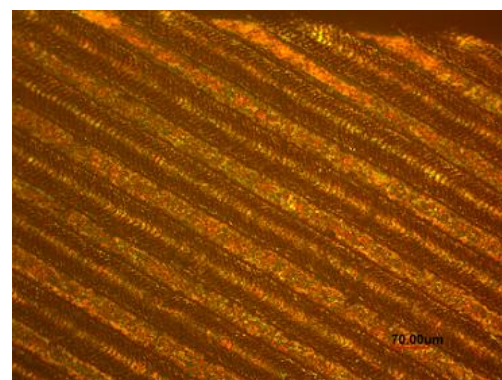
**Fig. 3** Schematic image of the two types of micro-texture on the tool rake face a) perpendicular to the cutting edge (90°) b) parallel to the cutting edge (0°)

شکل 3 تصویر شماتیک از دو نوع میکرو بافت بر روی سطح براده ابزار (a) عمود بر لبه برش (90 درجه) (b) موازی لبه برش (0 درجه)



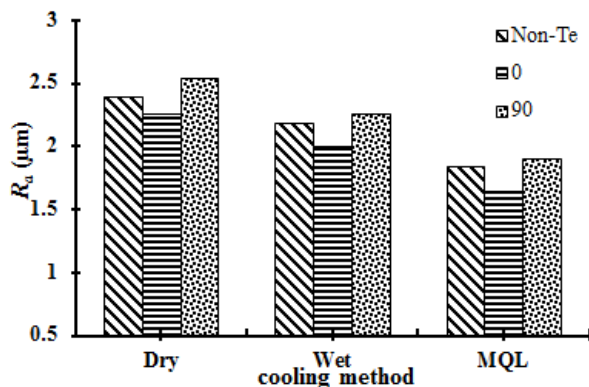
**Fig. 4** Cutting insert image after creating the micro-texture

شکل 4 اینسرت برشی بعد از ایجاد میکرو بافت



**Fig. 5** Optical microscope image of the tool rake face along with micro-texture

شکل 5 تصویر میکروسکوپ نوری از سطح براده ابزار به همراه میکرو بافت



**Fig. 6** Effect of different types of micro-texture along with different cooling-lubrication methods on surface roughness

شکل 6 تاثیر انواع میکرو بافت به همراه روش‌های مختلف روان کاری-خنک کاری بر زبری سطح



جدول 4 پارامترهای مورد آزمایش و سطوح آن

Table 4 Parameters and levels tested

سطوح					فاکتورها
سطح 5	سطح 4	سطح 3	سطح 2	سطح 1	
---	---	بدون بافت	90	0	جهت بافت (درجه)
120	100	80	60	40	سرعت برش (m/min)
0.20	0.18	0.16	0.14	0.12	سرعت پیشروی (mm/rev)
1.5	1.25	1	0.75	0.5	عمق برش (mm)
		حداقل مقدار روانکار	مرطوب	خشک	عرضه سیال برش

جدول 5 نتایج زبری سطح تحت معیار  $R_a$

Table 5 Surface roughness results under  $R_a$  criteria

شماره آزمایش	جهت بافت	سرعت برش (m/min)	سرعت پیشروی (mm/rev)	عمق برش (mm)	زبری سطح (میکرون)	
					خشک	مرطوب
1	بدون بافت	40	0.12	1	2.637	---
2	بدون بافت	60	0.12	1	2.507	---
3	بدون بافت	80	0.12	1	2.365	---
4	بدون بافت	100	0.12	1	2.281	---
5	بدون بافت	120	0.12	1	2.079	---
6	میکروباخت	40	0.12	1	2.586	---
7	میکروباخت	60	0.12	1	2.457	---
8	میکروباخت	80	0.12	1	2.297	---
9	میکروباخت	100	0.12	1	2.164	---
10	میکروباخت	120	0.12	1	1.958	---
11	بدون بافت	80	0.14	1	2.527	---
12	بدون بافت	80	0.16	1	2.677	---
13	بدون بافت	80	0.18	1	2.781	---
14	بدون بافت	80	0.2	1	2.939	---
15	میکروباخت	80	0.14	1	2.457	---
16	میکروباخت	80	0.16	1	2.586	---
17	میکروباخت	80	0.18	1	2.699	---
18	میکروباخت	80	0.2	1	2.838	---
19	بدون بافت	80	0.12	0.5	2.025	1.894
20	بدون بافت	80	0.12	0.75	2.225	2.045
21	بدون بافت	80	0.12	1	2.365	2.185
22	بدون بافت	80	0.12	1.25	2.545	2.486
23	بدون بافت	80	0.12	1.5	2.798	2.781
24	میکروباخت	80	0.12	0.5	---	1.761
25	میکروباخت	80	0.12	0.75	---	1.904
26	میکروباخت	80	0.12	1	---	2.047
27	میکروباخت	80	0.12	1.25	---	2.277
28	میکروباخت	80	0.12	1.5	---	2.492

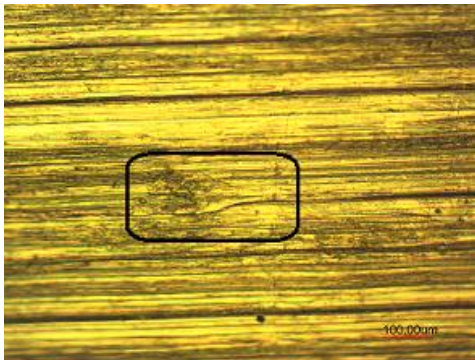
به "شکل 5" مشاهده می‌شود که پیش‌بینی مورد نظر درست بوده است. در حالت بافت عمود بر لبه برش مقدار زبری سطح کمی بیشتر از ابزار بدون بافت است که این امر حاکی از افزایش سطح تماس براده و ابزار است. بنابراین جهت بافت یک پارامتر مهم در ایجاد بافت با هدف بهبود شرایط ماشین کاری است که اگر درست انتخاب نشود حتی موجب بدتر شدن شرایط ماشین کاری شده و کیفیت سطح نهایی محصول را کاهش می‌دهد. تغییر استراتژی روان کاری نیز بر کیفیت سطح تاثیر بسزایی دارد به نحوی که بهبود کیفیت سطح در روش مرطوب و MQL نسبت به روش خشک در

برش در درون این شیارهای افزایش یافته و در حین ماشین کاری این سیال محبوس شده با ایجاد فشار هیدرودینامیک، خاصیت روان کاری را بهبود می‌بخشد.

با افزایش زاویه بین جهت شیارهای بافت و لبه برش اصلی ابزار (کاهش زاویه بین جهت جریان براده و بافت)، سطح تماس براده جدا شده از قطعه کار و سطح براده ابزار به آهستگی افزایش می‌یابد و در حالت بافت عمود بر لبه برش به حداکثر مقدار خود می‌رسد [11]. به این ترتیب انتظار می‌رود که اصطکاک زیاد شده و حرارت افزایش یابد و کیفیت سطح کاهش یابد. با توجه

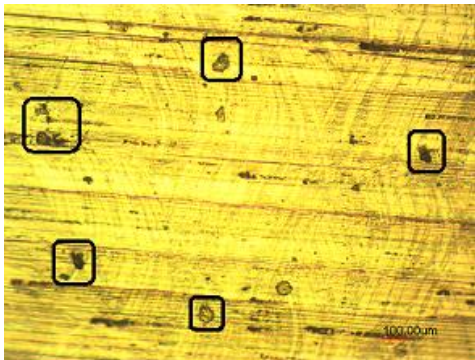
پدیده فقط در شرایط خاصی از دما و پارامترهای برش رخ می‌دهد ولی در ماشین کاری آلیاژهای آلومینیم خصوصاً آلیاژهای گروه 6000 تشکیل براده با لبه انباشته و کیفیت سطح نامناسب قطعه‌کار به شدت اتفاق می‌افتد که با بهبود سطح ابزار برش تحت عنوان میکروباخت به راحتی می‌توان آن را کنترل کرد [13].

با ایجاد میکروباخت علاوه بر بهبود کیفیت سطح، افزایش عمر ابزار نیز حاصل گردید. زمانی که براده با لبه انباشته سطح ابزار را ترک می‌کند و به سطح ماشین کاری شده قطعه‌کار می‌چسبد، مقداری از مواد ابزار را نیز با خود



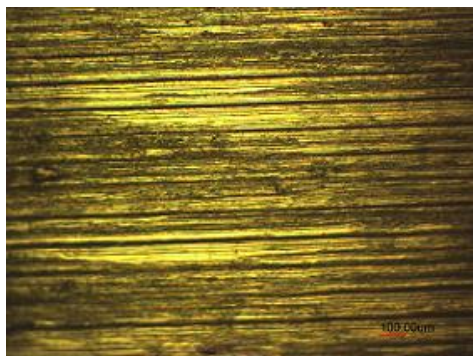
**Fig. 7** Optical microscope image of the workpiece surface after machining process by non-texture tool

**شکل 7** تصویر میکروسکوپ نوری از سطح قطعه‌کار بعد از ماشین کاری با ابزار بدون بافت



**Fig. 8** Optical microscope image of the workpiece surface after machining process by non-texture tool

**شکل 8** تصویر میکروسکوپ نوری از سطح قطعه‌کار بعد از ماشین کاری با ابزار بدون بافت



**Fig. 9** Optical microscope image of the workpiece surface after machining process by micro-texture tool (parallel the cutting edge)

**شکل 9** تصویر میکروسکوپ نوری از سطح قطعه‌کار بعد از فرآیند ماشین کاری با ابزار میکروباخت (موازی لبه برش)

ابزار بدون بافت به ترتیب 8.5% و 22% استفاده از سیال برش دلیل اصلی بر بهبود این پارامتر در روش‌های فوق است. لازم به ذکر است که در روش MQL با تزریق سیال برش با سرعت و فشار بالا قدرت نفوذ ذرات سیال برش به منطقه ماشین کاری به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد و کیفیت سطح بهتری حاصل می‌شود. میزان بهبود کیفیت سطح برای ابزار با میکروباخت موازی با لبه برش در روش‌های روان کاری مرطوب و MQL نسبت به روش خشک به ترتیب 11 و 28 درصد می‌باشد.

با توجه به نتایج زبری‌سنجی، میزان بهبود زبری سطح در ابزار میکروباخت موازی لبه برش نسبت به ابزار بدون بافت برای حالت‌های روان کاری خشک، مرطوب و MQL به ترتیب 5%، 9% و 11% است.

"شکل‌های 7 و 8" تصاویر میکروسکوپ نوری از نمونه‌های تهیه شده از سطح ماشین کاری شده قطعه‌کار با ابزار بدون بافت را نشان می‌دهند. در هر دو تصویر ارائه شده در "شکل‌های 7 و 8" حضور مواد چسبیده شده به سطح قطعه‌کار به وضوح قابل مشاهده است. این مواد چسبیده شده، از پدیده براده با لبه انباشته<sup>1</sup> نشأت گرفته شده است. استعداد بالای جوش خوردگی ذرات براده در ماشین کاری آلومینیم به سطح براده ابزار موجب شده که در حین ماشین کاری و بر اثر پدیده نرم‌شدگی حرارتی مواد جوش خورده به سطح ابزار از آن جدا شده و به سطح ماشین کاری شده قطعه‌کار بچسبد. این پدیده در ماشین کاری این آلیاژها بسیار شایع می‌باشد. "شکل 9" بهبود کیفیت سطح قطعه‌کار از نقطه نظر کاهش حجم براده چسبیده شده به سطح ماشین کاری شده قطعه‌کار در ماشین کاری با ابزار میکروباخت را نشان می‌دهد. با ایجاد میکروباخت بر سطح ابزار، شرایط جوش خوردن مواد براده به سطح ابزار به‌نحو چشمگیری کاهش می‌یابد که تاثیر آن به وضوح در بهبود کیفیت سطح قابل مشاهده است.

در "شکل 8" خطوط منحنی شکل و کم رنگ عمود بر جهت ماشین کاری در سطح قطعه‌کار قابل رویت است. نفوذ بسیار کم سیال برش به سطح تماس ابزار- براده در ابزار بدون بافت موجب شده که روان کاری نامناسبی در حین براده برداری ایجاد شود که به‌علت نیروی زیاد ماشین کاری، ارتعاشاتی در منطقه ماشین کاری بین نوک ابزار و قطعه‌کار اتفاق می‌افتد. تشدید این ارتعاشات در سطح تماس ابزار با قطعه‌کار علت تولید خطوط منحنی شکل بر سطح ماشین کاری شده قطعه‌کار است. این پدیده با بهبود خواص تریبولژیکی سطحی ابزار با ایجاد میکروباخت موازی لبه برش به‌طور کامل مرتفع شده و کیفیت سطح مناسبی تولید می‌شود. لازم به ذکر است که با تشدید ارتعاشات و عبور از حد معین، شکست ابزار هم دور از انتظار نخواهد بود.

"شکل 10" تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه شده از سطح قطعه‌کار بعد از فرآیند تراش کاری با بکارگیری دو روش روان کاری مرطوب با ابزار بدون بافت و روش MQL با ابزار میکروباخت را نمایش می‌دهد که پارامترهای برش در هر دو حالت یکسان بوده است. این شکل یک مقایسه بسیار خوب از تاثیر میکروباخت بر کیفیت نهایی سطح ماشین کاری شده قطعه‌کار را نشان می‌دهد. تشکیل براده با لبه انباشته با حجم بسیار زیاد در حالت ماشین کاری مرطوب با ابزار بدون بافت موجب شده که مقدار زیادی از مواد ابزار به سطح ماشین کاری شده قطعه‌کار بچسبد. این حالت را می‌توان شرایط تشدید شده حالت ماشین کاری در "شکل‌های 7 و 8" دانست. با ایجاد میکروباخت و استفاده از روش روان کاری-خنک کاری MQL این مشکل کنترل و بهبود چشمگیری در کیفیت سطح حاصل شده است. هرچند این

<sup>1</sup> Built-up edge

قطعه کار جدا می‌شوند. این پدیده را می‌توان به تغییر مکانیزم براده برداری از حالت برش به حالت لهیدگی نسبت داد [14]. مکانیزم لهیدگی می‌تواند در اثر سایش شدید ساییدگی و یا تجمع بالای براده پیرامون لبه برش باشد که موجب تغییر زوایای برش شده و براده برداری با افزایش نیرو در سطح قطعه کار اتفاق بیافتد [15]. تحت چنین شرایطی سطوح قطعه کار حاوی مناطق کنده شده بسیاری می‌باشد.

وقتی که از ابزار با میکروباخت برای ماشین کاری استفاده شد مکانیزم روان کاری-خنک کاری به خوبی صورت گرفته و سایش ابزار (خصوصاً سایش تحت مکانیزم چسبندگی) کاهش یافته و سطح با مورفولوژی بهتر حاصل شده است. اگر این قطعات در نقاط حساس از سازه‌های فضایی که تحت بارهای دینامیکی قرار می‌گیرند استفاده شوند، علاوه بر کاهش کیفیت سطح به علت وجود مناطقی با تمرکز تنش بالا، استحکام و مقاومت آن‌ها نیز کاهش می‌یابد و باید مورد توجه بیشتری قرار گیرند.

### 3-2- تاثیر عمق شیارها در ابزار میکروباخت

با افزایش حجم سیال انتقال یافته به منطقه ماشین کاری، می‌توان دمای این منطقه و میزان اصطکاک سطوح درگیر را بهتر کنترل کرد [7]. برای این منظور می‌بایست عرض شیارها و یا عمق آن‌ها افزایش یابد. با افزایش پهنای شیارها نفوذ براده به داخل آن افزایش یافته و در همان ابتدای فرآیند برش، شیارها پر شده و ابزار همانند ابزار بدون بافت عمل خواهد کرد. بنابراین، در پژوهش حاضر سعی شد تا حد امکان پهنای شیارها کاهش یافته و عمق آن‌ها افزایش یابد. با افزایش توان انرژی اشعه لیزر و کاهش پیشروی آن، عمق شیارها افزایش یافتند ولی مشاهده شد که با افزایش بیش از حد انرژی اشعه لیزر، دیواره‌های شیارها ذوب شده و نمی‌توان شیار مناسبی را تولید کرد. "شکل 12" تصویر میکروسکوپ نوری از شیار ایجاد شده با پهنایی برابر شیارهای قبل (شکل 5) ولی با دو عمق کمتر و بیشتر نسبت به آن را نشان می‌دهد. در "شکل 12a" سطح داخلی شیارها با هندسه دنداندار به وضوح نشان‌دهنده سرعت پیشروی بالای اشعه لیزر در حین ایجاد بافت‌ها نسبت به ابزار ارائه شده در "شکل 5" است. سطح صاف و یکپارچه داخل شیارها در "شکل 12b" در مقایسه با "شکل 5 و 12a" گویای تاثیر کاهش سرعت پیشروی اشعه لیزر بر کیفیت سطح داخلی شیارها علاوه بر افزایش عمق آن‌ها است.

"شکل 13" تاثیر عمق شیار بر زبری سطح قطعه کار را نشان می‌دهد. برای بررسی این فاکتور از ابزار با میکروشیارهای موازی لبه برش استفاده گردید. با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته، بهبود 6 درصدی زبری سطح در حالت MQL با ابزار میکروباخت عمیق نسبت به ابزار میکروباخت با عمق متوسط حاصل گردید. یا به عبارت دیگر، میزان بهبود کیفیت سطح با استفاده از ابزار میکروباخت با شیارهای عمیق در حالت ماشین کاری به روش MQL نسبت به ابزار بدون بافت در شرایط MQL تقریباً 16.5% است. این پدیده نشان می‌دهد که افزایش عمق شیارها با هدف بهبود انتقال سیال برش به منطقه ماشین کاری، تاثیر چشمگیری بر بهبود کیفیت سطح قطعه کار دارد.

### 3-3- تاثیر پارامترهای برش بر زبری سطح در ابزار میکروباخت

#### 3-3-1- سرعت برش

"شکل 14" تاثیر سرعت برش بر کیفیت سطح قطعه کار برای ابزار بدون بافت و ابزار میکروباخت با شیارهای موازی لبه برش را نشان می‌دهد. برای بررسی تاثیر سرعت برش از چهار حالت ماشین کاری استفاده گردید که عبارتند از:

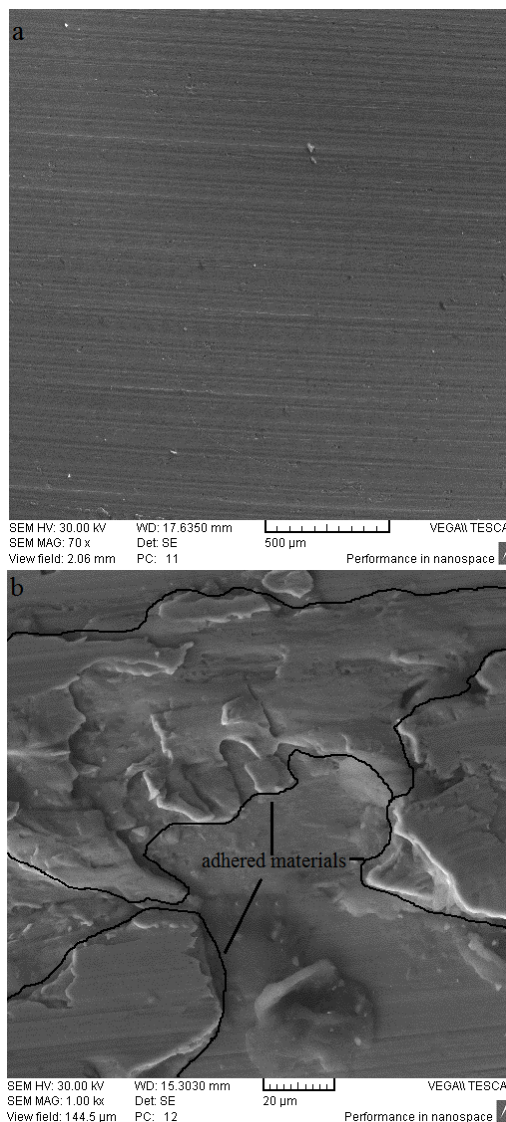


Fig. 10 SEM image of machined surface of workpiece after turning under a) MQL method along with micro-texture tool and b) wet mode along with non-texture tool

شکل 10 تصویر SEM از سطح ماشین کاری شده قطعه کار بعد از فرآیند تراش کاری تحت (a) روش MQL به همراه ابزار میکروباخت (b) حالت مرطوب با ابزار بدون بافت

از سطح ابزار جدا می‌کند. علت این پدیده مکانیزم جوش خوردن مواد قطعه کار به سطح ابزار است و از آنجایی که در اکثر موارد استحکام جوش زیاد است سطح ابزار کنده شده و با گذشت زمان لبه برش تخریب شده و ابزار به سرعت فرسوده می‌شود. از آنجایی که در این پژوهش به بحث بهبود کیفیت سطح قطعه کار پرداخته شده است بر سایش و عمر ابزار تمرکز زیادی صورت نپذیرفته است.

قسمت‌هایی از سطح قطعه کار که تحت شرایط روان کاری مرطوب با ابزار بدون بافت ماشین کاری شد دارای فرورفتگی‌های ریزی است ولی به علت حجم بالای مواد چسبیده شده به سطح قطعه کار در "شکل 10b" قابل رویت نمی‌باشد. "شکل 11" تصویر SEM از سطح ماشین کاری شده قطعه کار با ابزار بدون بافت در پارامترهای برش متفاوت با مقادیر اعمال شده در "شکل 10" را نشان می‌دهد. مناطقی که در "شکل 10b" به علت حضور براده چسبیده شده بر سطح قطعه کار قابل مشاهده نبودند در "شکل 11" به وضوح قابل رویت است. این مناطق در حین جدا شدن براده به همراه آن از سطح



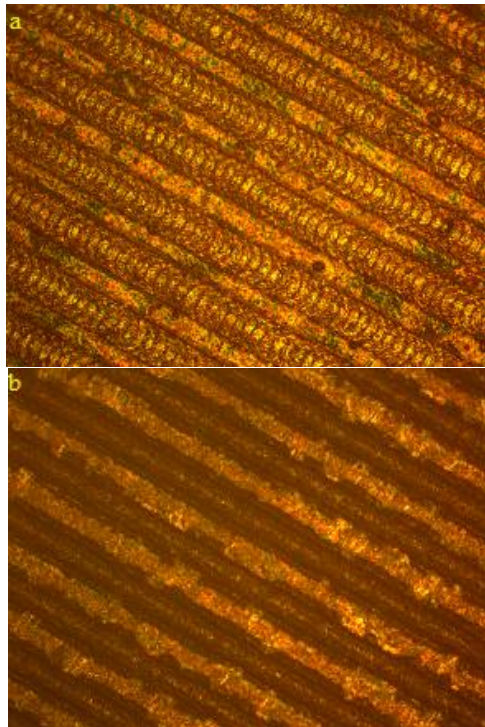


Fig. 12 Optical microscope image of the groove a) shallow b) deep

شکل 12 تصویر میکروسکوپ نوری از شیار (a) کم عمق (b) عمیق

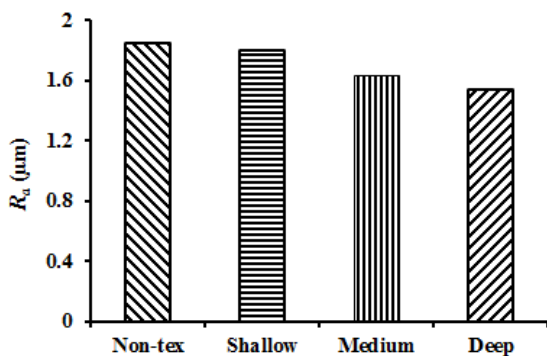


Fig. 13 Effect of texture depth on surface roughness

شکل 13 تاثیر عمق بافت بر زبری سطح

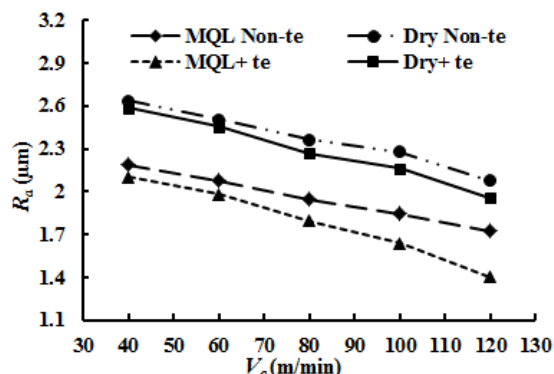


Fig. 14 Effect of cutting speed variation on surface roughness for non-texture and micro texture tools

شکل 14 تاثیر تغییرات سرعت برش بر زبری سطح برای ابزار بدون بافت و با میکروبافت

سرعت خطی بالای نوک ابزار در هنگام تغذیه آن به سمت سه نظام نسبت به

- i. روش ماشین کاری خشک با ابزار بدون بافت (Dry Non-te)
- ii. روش حداقل مقدار روانکار با ابزار بدون بافت (MQL Non-te)
- iii. روش ماشین کاری خشک با ابزار میکروبافت موازی راستای لبه برش (Dry+te)
- iv. روش حداقل مقدار روانکار با ابزار میکروبافت موازی راستای لبه برش (MQL+te)

مقادیر زبری سطح نشان می‌دهد که با کاهش سرعت برش مقادیر حاصل از دو ابزار با بافت و بدون بافت بهم نزدیک می‌شود و با افزایش سرعت برش اختلاف مقادیر شدت می‌یابد. علت این رخداد را می‌توان اینگونه بیان کرد که در سرعت‌های برش کم، مقدار قابل توجهی از مواد برداشته شده قطعه‌کار به داخل شیارها نفوذ کرده و به سطح داخلی آن می‌چسبد و از آن جایی که عمق این شیارها زیاد نمی‌باشد به طور کامل شیارها را پر می‌کند. تحت چنین شرایطی، رفتار سایشی ابزار و براده به حالت ابزار بدون میکروبافت نزدیک می‌شود. ولی به علت تزریق سیال برش با سرعت بالا، تمام شیارها پر نشده و مقادیر زبری سطح در سرعت‌های پایین نیز نسبت به حالت بدون بافت همچنان بهتر است. با افزایش سرعت برش، مقدار مواد قطعه‌کار نفوذ کرده به داخل شیارها کاهش یافته و قسمت بیشتری از میکروبافت‌ها سالم باقی می‌ماند و به این ترتیب شرایط برش بهبود می‌یابد. بنابراین، میکروبافت در سرعت‌های برش بالا، تاثیر خود را بهتر نشان می‌دهد [13].

### 2-3-3- سرعت پیشروی

"شکل 15" تاثیر سرعت پیشروی بر زبری سطح قطعه‌کار برای ابزار بدون بافت و میکرو بافت موازی راستای لبه برش در دو حالت ماشین کاری خشک و حداقل مقدار روانکار را نشان می‌دهد. الگوی تغییرات زبری سطح برای افزایش سرعت پیشروی نسبت به سرعت برش متفاوت است ولی تاثیر وجود یا عدم وجود میکروشیار برای دو پارامتر سرعت پیشروی و سرعت برش بسیار شبیه به هم است. به عبارت دیگر، با افزایش سرعت پیشروی زبری سطح افزایش می‌یابد در صورتی که با افزایش سرعت برش، زبری سطح کاهش یافته است. علت افزایش زبری سطح با افزایش سرعت پیشروی را می‌توان به

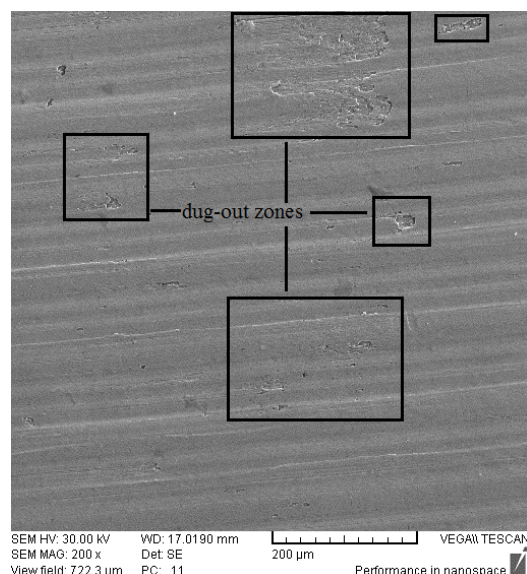


Fig. 11 SEM image of dug-out zones on machined surface of work piece after turning with non-texture tool

شکل 11 تصویر SEM از مناطق کنده شده بر روی سطح ماشین کاری شده قطعه‌کار بعد از فرآیند تراش کاری با ابزار بدون بافت



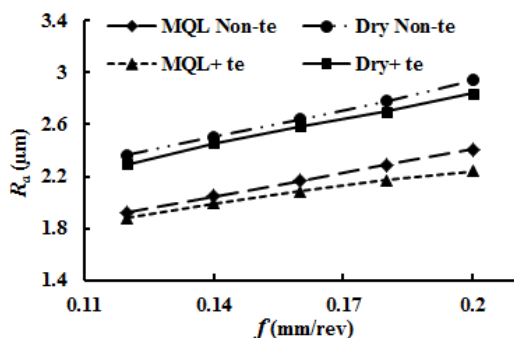


Fig. 15 Effect of feed rate variation on surface roughness for non-texture and micro texture tools

شکل 15 تاثیر تغییرات سرعت پیشروی بر زبری سطح برای ابزار بدون بافت و با میکروبافت

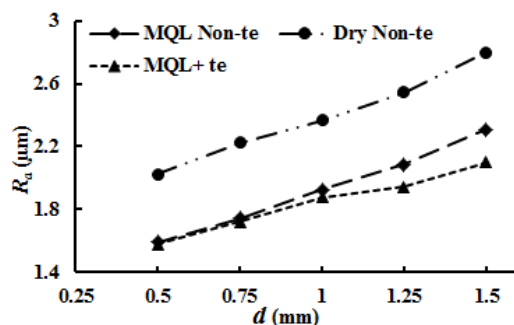


Fig. 16 Effect of depth of cut variation on surface roughness for MQL method with non-texture and micro texture tools

شکل 16 تاثیر تغییرات عمق برش بر زبری سطح برای حالت MQL با ابزار بدون بافت و با میکروبافت

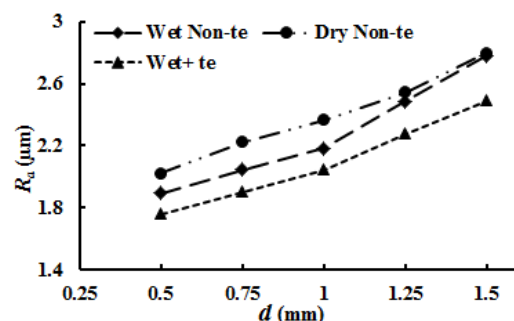


Fig. 17 Effect of depth of cut variation on surface roughness for wet method with non-texture and micro texture tools

شکل 17 تاثیر تغییرات عمق برش بر زبری سطح برای حالت مرطوب با ابزار بدون بافت و با میکروبافت

ماشین کاری در عمق های برش بالا است. به عبارت دیگر به علت تعامل بالای مواد قطعه کار با سطح فلزی ابزار، در حضور سیال برش، ماشین کاری خشک اتفاق می افتد و نتایج حاصل از دو روش به هم نزدیک می شوند.

#### 4- نتیجه گیری

مطالعات زیادی با هدف ارائه روش هایی برای افزایش کیفیت سطح قطعات در فرآیندهای مختلف ماشین کاری صورت پذیرفته است. در پژوهش حاضر به منظور بهبود شرایط روان کاری و خنک کاری در فرآیند ماشین کاری آلومینیم آلیاژی 6061، به بررسی ایجاد میکرو شیارهایی بر روی سطح براده ابزار با هدف بهبود انتقال سیال برش به منطقه ماشین کاری پرداخته شده است.

سطح قطعه کار نسبت داد. به زبان ساده تر، با افزایش نرخ پیشروی میزان درگیری شعاع نوک ابزار با سطح قطعه کار کاهش یافته و یا مدت زمان این درگیری کم بوده و پرداخت کاری مناسبی در سطح ماشین کاری شده قطعه کار اتفاق نمی افتد و شیارهایی (خراشیدگی هایی) بر روی سطح آن ایجاد می شود که این شیارها موجب افزایش زبری سطح می شود. هرچند مقدار زبری سطح با افزایش سرعت پیشروی افزایش می یابد ولی اختلاف این پارامتر برای دو حالت ماشین کاری با ابزار بدون بافت و میکروباخت نیز مانند سرعت برش زیاد می شود و میزان این اختلاف برای سرعت پیشروی کمتر از سرعت برش است.

#### 3-3-3- عمق برش

در مبحث ایجاد شیار در ابزارهای برش، عمق برش را می توان به عنوان مهمترین پارامتر ماشین کاری به منظور بیان بهبود عملکرد فرآیند در این زمینه دانست. به طور کلی با افزایش عمق برش، سطح تماس یا طول درگیری ابزار و براده افزایش می یابد و آشکار است که تحت چنین شرایطی قدرت نفوذ سیال برش به منطقه ماشین کاری به نحو چشمگیری کاهش می یابد و یا حتی در عمق برش بالا در حضور سیال برش ممکن است ماشین کاری خشک اتفاق بیافتد. بنابراین شیارهای سطح ابزار همانند کانال ها عمل کرده و سیال برش را به سهولت به نوک ابزار انتقال می دهد.

"شکل های 16 و 17" نمودار تاثیر عمق برش در ابزار میکروباخت و ابزار بدون بافت را به ترتیب در دو حالت MQL و مرطوب بر زبری سطح نشان می دهد. در هر دو حالت روان کاری ذکر شده، نتایج با روش ماشین کاری خشک به همراه ابزار بدون بافت مقایسه شده است. مطابق نمودارهای ارائه شده در "شکل 15" با افزایش عمق برش، زبری سطح در حالت خشک و MQL با ابزار بدون بافت نیز به صورت یکپارچه و با شیب تقریباً یکنواخت افزایش می یابد که این رخداد مورد انتظار بود چون با افزایش عمق برش شرایط برش بدتر شده و به علت افزایش نیروهای برش میزان ارتعاشات بین ابزار و قطعه کار افزایش می یابد.

در ماشین کاری با استفاده از MQL با ابزار میکروباخت یک ناپیوستگی در تغییرات زبری سطح در عمق های برش بیش از 1mm اتفاق افتاده است. این ناپیوستگی نشان دهنده برتری ابزار میکروباخت در ایجاد کیفیت سطح بهتر برای عمق برش بالا است. علت وقوع این ناپیوستگی را می توان به سه پدیده زیر نسبت داد:

- 1- کاهش حجم سیال برش نفوذ یافته به سطح تماس درگیر ابزار-براده در حالت MQL با ابزار بدون بافت در عمق های برش بالا.
- 2- بهبود تزیق سیال برش در حالت MQL با ابزار میکروباخت به علت وجود شیارها.
- 3- ماهیت روش MQL و انتقال ذرات روانکار- خنک کار با سرعت و فشار بالا به همراه ابعاد بسیار ریز آن به علت عبور از نازل اتمیزه کننده در دستگاه مورد استفاده.

در نمودارهای "شکل 17" برای حالت مرطوب نیز ناپیوستگی در تغییرات زبری سطح وجود دارد ولی نه برای ابزار میکروباخت بلکه برای ابزار بدون بافت. این ناپیوستگی برعکس حالت قبیل (نزول ناگهانی) به صورت صعود ناگهانی مقادیر است. با توجه به شکل ملاحظه می شود که با افزایش عمق برش از مقدار معین 1mm، زبری سطح برای ابزار بدون بافت در حالت مرطوب بسیار افزایش یافته و به سمت مقادیر حاصل از ابزار بدون بافت در روش خشک همگرا می شود. علت این پدیده عدم نفوذ سیال برش به منطقه

پژوهش را از نقطه نظر کاهش حجم ذرات چسبیده شده به سطح ماشین کاری شده قطعه کار و نواحی کنده شده از سطح آن و متعاقباً سلامت سطح بیان می‌دارد.

### 5- مراجع

- [1] 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, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 129, No. 1, pp. 292-304, 2016.
- [2] 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 SiO<sub>2</sub> nano-lubrication system, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 66, No. 1, pp. 655-663, 2014.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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)
- [6] B. Davoodi, B. Eskandari, Investigation of tool life and wear mechanisms in turning of N-155 iron-nickel-base superalloy using response surface methodology, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 15, pp. 51-58, 2015. (In Persian)
- [7] 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.
- [8] D. Arulkirubakaran, V. Senthilkumar, V. Kumawat, Effect of micro-textured tools on machining of Ti-6Al-4V alloy: An experimental and numerical approach, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 54, No. 1, pp. 165-177, 2016.
- [9] J. Kimmel, D. Braun, J. Gibmeier, J. Schneider, Ch. Greiner, V. Schulze, A. Wanner, Study on micro texturing of uncoated cemented carbide cutting tools for wear improvement and built-up edge stabilization, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 215, No. 1, pp. 62-70, 2015.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] T. Obikawa, A. Kamio, H. Takaoka, A. Osada, Micro-texture at the coated tool face for high performance cutting, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 51, No. 12, pp. 966-972, 2011.
- [14] 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.
- [15] S. Atlati, B. Haddag, M. Nouari, A. Moufki, Effect of the local friction and contact nature on the Built-Up Edge formation process in machining ductile metals, *Tribology International*, Vol. 90, No. 1, pp. 217-227, 2015.

هدف اصلی اصلاح سطحی ابزار برش به منظور حصول کیفیت بهتر سطح نهایی قطعه کار بوده است. بافت‌های موردنظر توسط فرآیند ماشین کاری با اشعه لیزر بر روی سطح براده ابزار برش ایجاد شده‌اند. تراش کاری با پارامترهای مختلف برشی انجام و مقدار زبری سطح قطعه کار برای ابزار با سطح میکروباخت در سه حالت روان کاری-خنک کاری شامل روش خشک، مرطوب و حداقل مقدار روانکار اندازه‌گیری شد و نتایج آن با ابزار بدون بافت مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

- ✓ جهت شیارهای ایجاد شده نسبت به لبه برش، مهمترین پارامتر مرتبط با افزایش بازده در این روش است و شیارهایی موازی با لبه برش مناسب‌ترین حالت است. با افزایش زاویه بین جهت شیار و لبه برش، سطح تماس براده با ابزار افزایش یافته و موجب افزایش اصطکاک و حرارت و در نهایت کاهش کیفیت سطح می‌شود. در این پژوهش، شیارهای عمود بر لبه برش بدترین حالت از نقطه نظر کیفیت سطح نهایی نتیجه شده است.
- ✓ با توجه به نتایج زبری‌سنجی، میزان بهبود کیفیت سطح با استفاده از ابزار میکروباخت موازی لبه برش نسبت به ابزار بدون بافت برای حالت‌های روان کاری خشک، مرطوب و MQL به ترتیب 5%، 9% و 11% است.
- ✓ افزایش عمق شیارها تاثیر مثبتی بر عملکرد بهتر ابزارها دارد بنحوی که با افزایش عمق شیارها در روش MQL تا 16.5% بهبود کیفیت سطح نسبت به ابزار بدون بافت حاصل شود.
- ✓ با افزایش سرعت برش و سرعت پیشروی میزان نفوذ مواد برداشته شده از قطعه کار به داخل شیارها کاهش می‌یابد و از این‌رو، ابزار میکروباخت در سطوح بالا از پارامترهای برش عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. در نتیجه کیفیت سطح بهتری ارائه می‌شود.
- ✓ در میان پارامترهای ماشین کاری بررسی تاثیر عمق برش، بهتر می‌تواند عملکرد میکروباخت‌ها را نسبت به ابزارهای معمولی به تصویر بکشد. با افزایش عمق برش بهبود قابل توجهی در عملکرد ابزار میکروباخت در روش MQL نسبت به ابزار معمولی حاصل گردید. این پدیده در حالت روان کاری مرطوب با چهره‌ای دیگر برتری خود را نشان داده است. به عبارت دیگر عدم وجود میکروشیارها موجب شده که در عمق‌های برش بالا، ماشین کاری مرطوب با حضور سیال برش به روش خشک مبدل شده و کیفیت سطح نامناسبی ارائه کند.
- ✓ علاوه بر نتایج عددی که از طریق زبری سنجی حاصل گردید، تصاویر میکروسکوب الکترونی روبشی و میکروسکوب نوری تهیه شده از سطح قطعه کار نیز به وضوح برتری روش ارائه شده در این