مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1396، دوره 17، شماره 7، ص‌ص 441-450

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

توسعه ابزار برشی جدید با تغییر بافت سطح به منظور افزایش کارایی فرآیند ماشین‌کاری

بهنام داودی[1*]، سید حسن موسوی[2]، محمد نانکلی[3]

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 میکروبافت
زبری سطح
حداقل مقدار روانکار
ماشین‌کاری
آلومینیم آلیاژی 6061

چکیده

فرآیندهای ماشین‌کاری 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 قطعه‌کار 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 ماشین‌کاری آلومینیم تاثیر نامطلوبی بر کیفیت سطح نهایی این‌گونه قطعات دارد. پژوهش حاضر به منظور بهبود شرایط روان‌کاری-خنک‌کاری در ماشین‌کاری آلومینیم آلیاژی 6061، به توسعه ابزار جدید با ایجاد میکروشیارهایی بر روی سطح ابزار با هدف بهبود انتقال سیال برش به منطقه ماشین‌کاری و کاهش اصطکاک سطح ابزار-براده پرداخته است. دو میکروشیار یکی موازی و دیگری عمود بر لبه برش توسط فرآیند ماشین‌کاری لیزر بر روی سطح ابزار ایجاد شده‌اند. با تغییر پارامترهای ماشین‌کاری (سرعت برش، پیشروی و عمق برش) و نحوه عرضه سیال به منطقه ماشین‌کاری، قطعات تراش‌کاری شدند. نتایج حاصل از زبری‌سنجی همراه با تصاویر تهیه شده از سطح قطعه‌کار با میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ نوری نشان داد که وجود میکروشیارها شرایط انتقال سیال برش به منطقه ماشین‌کاری 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 به‌نحوی که بافت عمود بر لبه برش نه تنها موجب بهبود کیفیت سطح ماشین‌کاری 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

آلومینیم و آلیاژهای آن با دارا بودن ویژگی‌های خاص، کاربرد فرآوانی در صنایع استراتژیک خصوصا صنعت هوافضا دارند [1]. ویژگی‌هایی از قبیل استحکام خوب، وزن کم و هزینه تولید پایین از دلایل اصلی کاربرد گسترده

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

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)

آلومینیوم و آلیاژهای آن در صنعت است [2]. خواص غیرمغناطیسی، هدایت الکتریکی و حرارتی بالا و همچنین مقاومت شیمیایی خوب دلایلی دیگر برای انتخاب آلومینیوم و آلیاژهای آن در کاربردهای خاص از این فلز می‌باشد [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، ماشین‌کاری این آلیاژها به دلیل تشکیل براده با لبه انباشته[1] که محصول سایش تحت مکانیزم چسبندگی است موجب شده که کیفیت سطح نامناسب برای قطعه‌کار حاصل شود [4].

استفاده از سیالات برش در فرایندهای ماشین‌کاری نقش بسیار مهمی در بهبود دقت ابعادی، افزایش کیفیت سطح قطعه‌کار و عمر ابزار ایفا می‌کند به نحوی که در بسیاری از عملیات ماشین‌کاری، وجود این سیالات به اندازه‌ای بر بازده فرآیند موثر است که نبود آن موجب عملی نشدن فرآیند و یا کیفیت بسیار پایین برای سطح پایانی قطعه‌کار می‌شود [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 ماشین‌کاری می‌شود [6]. در این حالت ابزار حرارت را از منطقه برش جذب کرده و با ایجاد یک گرادیان حرارتی مناسب، حرارت را از این منطقه به محیط و ابزارگیر منتقل می‌کند. میزان دفع حرارت از منطقه برش به هدایت حرارتی ابزار، هندسه ابزار، نوع سیال برش مورد استفاده و روش روان‌کاری-خنک‌کاری (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 پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی ماشین‌کاری با لیزر و حکاکی بر روی فلزات و یا از طریق ماشین‌کاری شیمیایی میسر شده است. از لحاظ فیزیکی، با ایجاد یک بافت مناسب در ابعاد زیر میلی‌متر، می‌توان سطحی از ابزار که در تماس با سطح براده است را کاهش داد و متعاقبا 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 براده‌برداری کاهش یافته و سایش ابزار نیز که محصول حرارت بالا است کاهش می‌یابد. با حذف سایش تحت مکانیزم چسبندگی (و همچنین کاهش میزان سایش ساییدگی) که مهمترین نوع سایش در ماشین‌کاری آلیاژهای آلومینیم می‌باشد کیفیت سطح قطعه‌کار نیز بهبود می‌یابد [9]. این پدیده را می‌توان 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[2] که از مهم‌ترین معایب ماشین‌کاری آلیاژهای آلومینیم است بسیار موثر به‌نظر می‌رسد [10]. "شکل 1" تصویر شماتیک ابزار برش به‌همراه بافت ایجاد شده بر روی آن و همچنین نمای برش خورده مقطع ابزار را نشان می‌دهد. در شکل فوق مشاهده می‌شود با تزریق سیال برش به سطح ابزار، توانایی نفوذ آن به منطقه برش به علت وجود شیارهای ریز امکان‌پذیر می‌باشد. از آن‌جایی که ابعاد این شیارها در اندازه میکرون می‌باشد تاثیری بر کاهش استحکام ابزار ندارد.

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

بنابراین، کاهش در اصطکاک ناشی از بافت در مقیاس بسیار کوچک به معنای بهبود موثر در قابلیت ماشین‌کاری است [11]. گزارش شده است که بافت با ابعاد زیر میلی‌متر بر روی سطح ابزار موجب بهبود ویژگی تریبولوژیکی سطح مورد نظر می‌شود. اثر کاهش اصطکاک به شدت به شکل بافت ایجاد شده بر روی ابزار وابسته است و زمانی که مقیاس این شیارها از محدوده میلی‌متر به مقیاس میکرومتر و نانومتر تغییر کند می‌توان به کاهش قابل توجهی در اصطکاک دست یافت. بنابراین، استفاده از بافت در مقیاس میکرو یا نانو بر روی سطح یک ابزار می‌تواند بهبود عمده‌ای در ویژگی‌های 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 میکروبافت بر کیفیت سطح نهایی قطعه ماشین‌کاری 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 نگه‌داری سیال برش در شیارهای ابزار برای افزایش خاصیت روان‌کاری (و همچنین خنک‌کاری) در هنگام ماشین‌کاری.
- ✓ ایجاد فشار هیدرودینامیک به منظور کاهش چسبیدن براده به سطح ابزار.
- ✓ کاهش سطح تماس فلز با فلز (ابزار و قطعه‌کار) 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 شده‌اند به عنوان قطعه‌کار مورد استفاده قرار گرفته است. میله‌های آلومینیمی داری سطح مقطع دایروی با قطر 65 میلی‌متر می‌باشند که 60 میلی‌متر از آن تحت عملیات ماشین‌کاری قرار گرفته است.

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

دستگاه زبری‌سنج 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

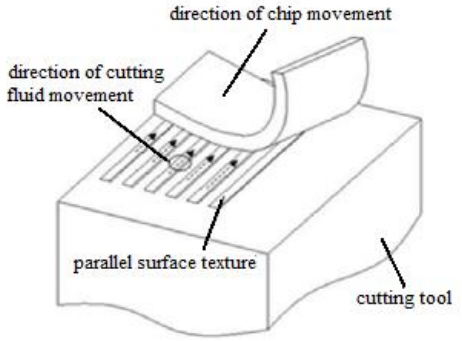

Fig. 1 Schematic illustration of the cutting tool along with texture created on it

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

[1] Built-up edge
[2] Built-up layer

نسخه پیش از انتشار برای تایید نویسنده

مجموع سطح پروفیل زبری در بالا و پایین خط مرکزی است. محدوده اندازه‌گیری این دستگاه برای معیار Ra 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 ماشین‌کاری از سیستم حداقل مقدار روان‌کار[1] 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 ماشین‌کاری اسپری شود. ابعاد بسیار ریز روانکار به‌همراه سرعت و فشار بالای آن موجب می‌شود قدرت نفوذ آن به منطقه ماشین‌کاری به نحو چشمگیری افزایش یابد و با حجم بسیار کم سیال برش بتواند روان‌کاری و خنک‌کاری 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 میکروبافت 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

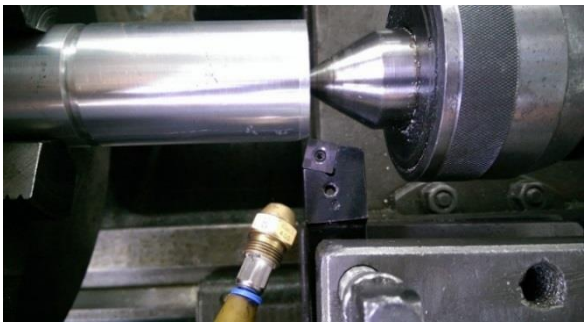

Fig. 2 Setup of experiment

شکل 2 چیدمان آزمایش

جدول 1 ترکیب شیمیایی AA6061

Table 1 Chemical composition of 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

[1] Minimum quantity lubrication (MQL)

جدول 2 خواص مکانیکی AA6061

Table 2 Mechanical properties of 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

Table 3 Characteristics of MQL system

پارامتر	مقدار
دبی خروجی سیال (cm^3/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 ماشین‌کاری با لیزر استفاده شده است. به‌دلیل 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 ماشین‌کاری با لیزر، دوباره ابزار میکروبافت 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 میکروبافت بر روی سطح آن را نمایش می‌دهد. مناطق تیره رنگ در گوشه‌های اینسرت برش در "شکل 4" نشان‌دهنده منطقه ماشین‌کاری 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 میکروبافت 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

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 ماشین‌کاری قطعات با پارامترهای از قبل انتخاب شده، مقادیر زبری سطح ناحیه ماشین‌کاری شده تحت معیار R_a اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار زبری سطح در هر نمونه، زبری‌سنجی 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

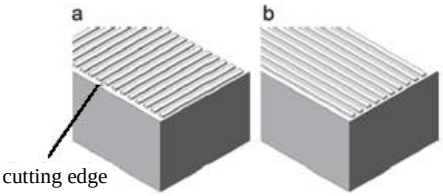

Fig. 3 Schematic image of the two types of micro-texture on the tool rake face a) perpendicular to the cutting edge (90°) b) parallel to the cutting edge (0°)

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)

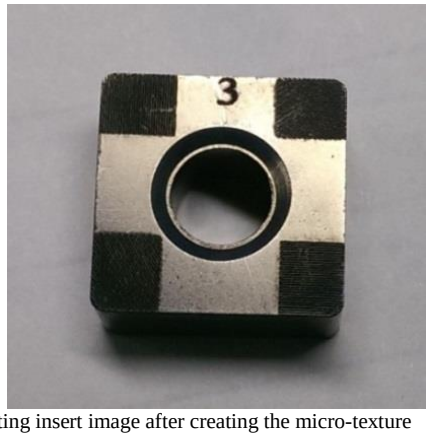

Fig. 4 Cutting insert image after creating the micro-texture

شکل 4 اینسرت برشی بعد از ایجاد میکروبافت

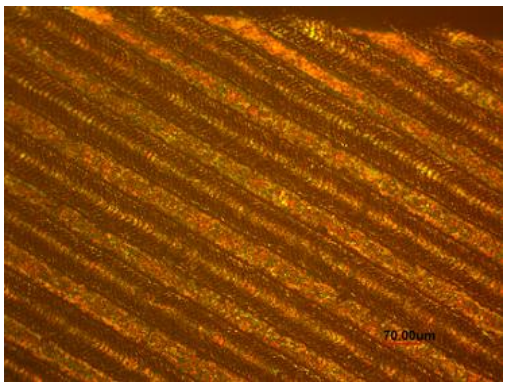

Fig. 5 Optical microscope image of the tool rake face along with micro-texture

شکل 5 تصویر میکروسکوپ نوری از سطح براده ابزار به همرا میکروبافت

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 میکروبافت مناسب، به بهبود کیفیت سطح نسبت به ابزارهای معمولی در ماشین‌کاری 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 می دهد. 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 متقابلا بر روی سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار مشاهده شود.

ب) انتقال بهتر سیال برش به منطقه ماشین‌کاری

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

ج) بهبود شرایط روان‌کاری

با ایجاد بافت مناسب بر روی سطح براده ابزار، توانایی نگه‌داری سیال

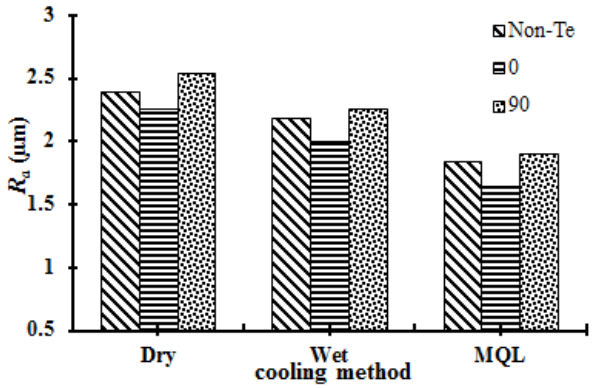

Fig. 6 Effect of different types of micro-texture along with different cooling-lubrication methods on surface roughness

شکل 6 تاثیر انواع میکروبافت به همراه روش‌های مختلف روان‌کاری-خنک‌کاری بر زبری سطح

نسخه پیش از انتشار برای تایید نویسنده

جدول 4 پارامترهای مورد آزمایش و سطوح آن

Table 4 Parameters and levels tested

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

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	حداقل مقدار روانکار
1	بدون بافت	40	0.12	1	2.637	---	2.186
2	بدون بافت	60	0.12	1	2.507	---	2.078
3	بدون بافت	80	0.12	1	2.365	---	1.925
4	بدون بافت	100	0.12	1	2.281	---	1.847
5	بدون بافت	120	0.12	1	2.079	---	1.725
6	میکروبافت	40	0.12	1	2.586	---	2.102
7	میکروبافت	60	0.12	1	2.457	---	1.981
8	میکروبافت	80	0.12	1	2.297	---	1.878
9	میکروبافت	100	0.12	1	2.164	---	1.639
10	میکروبافت	120	0.12	1	1.958	---	1.401
11	بدون بافت	80	0.14	1	2.527	---	2.048
12	بدون بافت	80	0.16	1	2.677	---	2.166
13	بدون بافت	80	0.18	1	2.781	---	2.287
14	بدون بافت	80	0.2	1	2.939	---	2.405
15	میکروبافت	80	0.14	1	2.457	---	1.991
16	میکروبافت	80	0.16	1	2.586	---	2.082
17	میکروبافت	80	0.18	1	2.699	---	2.169
18	میکروبافت	80	0.2	1	2.838	---	2.241
19	بدون بافت	80	0.12	0.5	2.025	1.894	1.594
20	بدون بافت	80	0.12	0.75	2.225	2.045	1.745
21	بدون بافت	80	0.12	1	2.365	2.185	1.925
22	بدون بافت	80	0.12	1.25	2.545	2.486	2.086
23	بدون بافت	80	0.12	1.5	2.798	2.781	2.310
24	میکروبافت	80	0.12	0.5	---	1.761	1.581
25	میکروبافت	80	0.12	0.75	---	1.904	1.722
26	میکروبافت	80	0.12	1	---	2.047	1.878
27	میکروبافت	80	0.12	1.25	---	2.277	1.944
28	میکروبافت	80	0.12	1.5	---	2.492	2.102

برش در درون این شیارهای افزایش یافته و در حین ماشین‌کاری این سیال محبوس شده با ایجاد فشار هیدرودینامیک، خاصیت روان‌کاری 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 قطعه‌کار 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 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 ماشین‌کاری است که اگر درست انتخاب نشود حتی موجب بدتر شدن شرایط ماشین‌کاری شده و کیفیت سطح نهایی محصول را کاهش می‌دهد.

تغییر استراتژی روان‌کاری نیز بر کیفیت سطح تاثیر بسزایی دارد به‌نحوی که بهبود کیفیت سطح در روش مرطوب و MQL نسبت به روش خشک در

ابزار بدون بافت به ترتیب 8.5% و 22% است. 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 ماشین‌کاری به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد و کیفیت سطح بهتری حاصل می شود. میزان بهبود کیفیت سطح برای ابزار با میکروبافت موازی با لبه برش در روش‌های روان‌کاری 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 میکروبافت موازی لبه برش نسبت به ابزار بدون بافت برای حالت‌های روان‌کاری خشک، مرطوب و MQL به ترتیب 5%، 9% و 11% است.

"شکل‌های 7 و 8" تصاویر میکروسکوپ نوری از نمونه‌های تهیه شده از سطح ماشین‌کاری 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[1] نشئات گرفته شده است. استعداد بالای جوش خوردگی ذرات براده در ماشین‌کاری آلومینیم به سطح براده ابزار موجب شده که در حین ماشین‌کاری و بر اثر پدیده نرم‌شدگی حرارتی مواد جوش خورده به سطح ابزار از آن جدا شده و به سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار بچسبد. این پدیده در ماشین‌کاری این آلیاژها بسیار شایع می‌باشد. "شکل 9" بهبود کیفیت سطح قطعه‌کار از نقطه نظر کاهش حجم براده چسبیده شده به سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار در ماشین‌کاری با ابزار میکروبافت را نشان می‌دهد. با ایجاد میکروبافت 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 ماشین‌کاری در سطح قطعه‌کار قابل رویت است. نفوذ بسیار کم سیال برش به سطح تماس ابزار- براده در ابزار بدون بافت موجب شده که روان‌کاری نامناسبی در حین براده برداری ایجاد شود که به‌علت نیروی زیاد ماشین‌کاری، ارتعاشاتی در منطقه ماشین‌کاری بین نوک ابزار و قطعه‌کار اتفاق می‌افتد. تشدید این ارتعاشات در سطح تماس ابزار با قطعه‌کار علت تولید خطوط منحنی شکل بر سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار است. این پدیده با بهبود خواص تریبولوژیکی سطحی ابزار با ایجاد میکروبافت 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 میکروسکوب الکترونی روبشی تهیه شده از سطح قطعه‌کار بعد از فرآیند تراش‌کاری با بکارگیری دو روش روان‌کاری مرطوب با ابزار بدون بافت و روش MQL با ابزار میکروبافت را نمایش می‌دهد که پارامترهای برش در هر دو حالت یکسان بوده است. این شکل یک مقایسه بسیار خوب از تاثیر میکروبافت بر کیفیت نهایی سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار را نشان می‌دهد. تشکیل براده با لبه انباشته با حجم بسیار زیاد در حالت ماشین‌کاری مرطوب با ابزار بدون بافت موجب شده که مقدار زیادی از مواد ابزار به سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار بچسبد. این حالت را می‌توان شرایط تشدید شده حالت ماشین‌کاری در "شکل‌های 7 و 8" دانست. با ایجاد میکروبافت و استفاده از روش روان‌کاری-خنک‌کاری MQL این مشکل کنترل و بهبود چشمگیری در کیفیت سطح حاصل شده است. هرچند این پدیده فقط در شرایط خاصی از دما و پارامترهای برش رخ می‌دهد ولی در ماشین‌کاری آلیاژهای آلومینیم خصوصا 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 میکروبافت به راحتی می‌توان آن را کنترل کرد [13].

با ایجاد میکروبافت علاوه بر بهبود کیفیت سطح، افزایش عمر ابزار نیز حاصل گردید. زمانی‌که براده با لبه انباشته سطح ابزار را ترک می‌کند و به سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار می‌چسبد، مقداری از مواد ابزار را نیز با خود

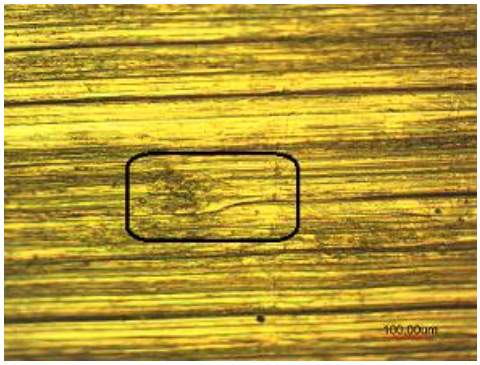

Fig. 7 Optical microscope image of the workpiece surface after machining process by non-texture tool

شکل 7 تصویر میکروسکوپ نوری از سطح قطعه‌کار بعد از ماشین‌کاری با ابزار بدون بافت

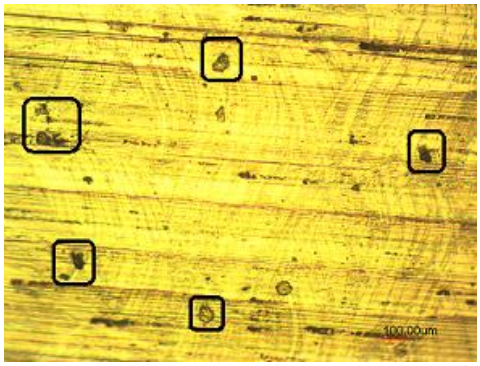

Fig. 8 Optical microscope image of the workpiece surface after machining process by non-texture tool

شکل 8 تصویر میکروسکوپ نوری از سطح قطعه‌کار بعد از ماشین‌کاری با ابزار بدون بافت

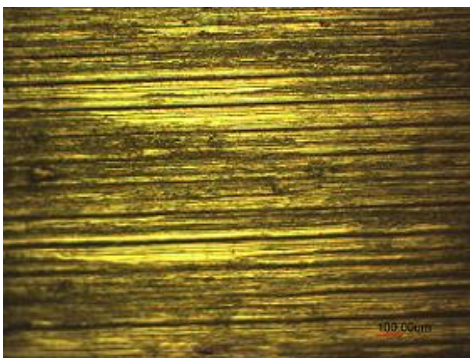

Fig. 9 Optical microscope image of the workpiece surface after machining process by micro-texture tool (parallel the cutting edge)

شکل 9 تصویر میکروسکوپ نوری از سطح قطعه‌کار بعد از فرآیند ماشین‌کاری با ابزار میکروبافت (موازی لبه برش)

[1] Built-up edge

نسخه پیش از انتشار برای تایید نویسنده

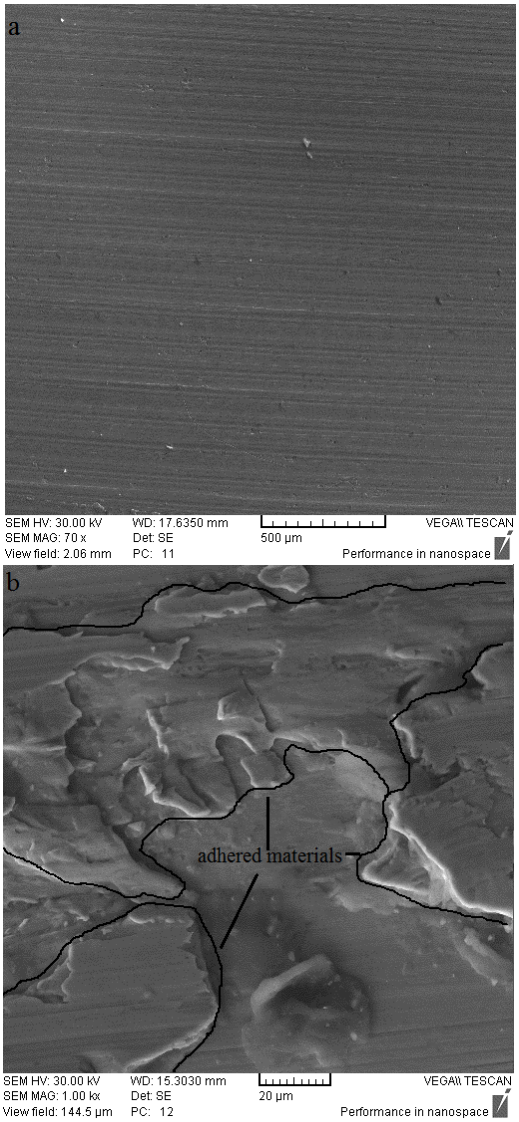

Fig. 10 SEM image of machined surface of workpiece after turning under a) MQL method along with micro-texture tool and b) wet mode along with non-texture tool

شکل 10 تصویر SEM از سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار بعد از فرآیند تراش‌کاری تحت a) روش MQL به‌همراه ابزار میکروبافت b) حالت مرطوب با ابزار بدون بافت

از سطح ابزار جدا می‌کند. علت این پدیده مکانیزم جوش خوردن مواد قطعه‌کار 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 قطعه‌کار پرداخته شده است بر سایش و عمر ابزار تمرکز زیادی صورت نپذیرفته است.

قسمت‌هایی از سطح قطعه‌کار که تحت شرایط روان‌کاری مرطوب با ابزار بدون بافت ماشین‌کاری شد دارای فرورفتگی‌های ریزی است ولی به علت حجم بالای مواد چسبیده شده به سطح قطعه‌کار در "شکل 10b" قابل رویت نمی‌باشد. "شکل 11" تصویر SEM از سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار 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 قطعه‌کار قابل مشاهده نبودند در "شکل 11" به وضوح قابل رویت است. این مناطق در حین جدا شدن براده به همراه آن از سطح قطعه‌کار 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 تجمیع بالای براده پیرامون لبه برش باشد که موجب تغییر زوایای برش شده و براده برداری با افزایش نیرو در سطح قطعه‌کار اتفاق بیافتد [15]. تحت چنین شرایطی سطوح قطعه‌کار حاوی مناطق کنده شده بسیاری می‌باشد.

وقتی که از ابزار با میکروبافت برای ماشین‌کاری استفاده شد مکانیزم روان‌کاری-خنک‌کاری به خوبی صورت گرفته و سایش ابزار (خصوصا 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 میکروبافت

با افزایش حجم سیال انتقال یافته به منطقه ماشین‌کاری، 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 دندانه‌دار 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 قطعه‌کار را نشان می‌دهد. برای بررسی این فاکتور از ابزار با میکروشیارهای موازی لبه برش استفاده گردید. با توجه به آزمایش های صورت گرفته، بهبود 6 درصدی زبری سطح در حالت MQL با ابزار میکروبافت عمیق نسبت به ابزار میکروبافت با عمق متوسط حاصل گردید. یا به عبارت دیگر، میزان بهبود کیفیت سطح با استفاده از ابزار میکروبافت با شیارهای عمیق در حالت ماشین‌کاری به روش MQL نسبت به ابزار بدون بافت در شرایط MQL تقریبا 16.5% است. این پدیده نشان می‌دهد که افزایش عمق شیارها با هدف بهبود انتقال سیال برش به منطقه ماشین‌کاری، تاثیر چشمگیری بر بهبود کیفیت سطح قطعه‌کار دارد.

3-3- تاثیر پارامترهای برش بر زبری سطح در ابزار میکروبافت

3-3-1- سرعت برش

"شکل 14" تاثیر سرعت برش بر کیفیت سطح قطعه‌کار برای ابزار بدون بافت و ابزار میکروبافت با شیارهای موازی لبه برش را نشان می‌دهد. برای بررسی تاثیر سرعت برش از چهار حالت ماشین‌کاری استفاده گردید که عبارتند از:

i. روش ماشین‌کاری خشک با ابزار بدون بافت (Dry Non-te)
ii. روش حداقل مقدار روانکار با ابزار بدون بافت (MQL Non-te)
iii. روش ماشین‌کاری 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 می یابد. 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 آن‌جایی 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].

3-3-2- 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 ماشین‌کاری 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. به‌عبارت دیگر، با افزایش سرعت پیشروی زبری سطح افزایش می‌یابد درصورتی که با افزایش سرعت برش، زبری سطح کاهش یافته است. علت افزایش زبری سطح با افزایش سرعت پیشروی را می‌توان به

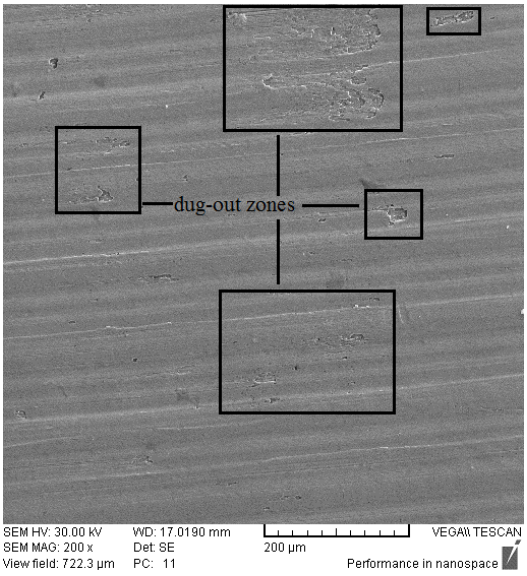

Fig. 11 SEM image of dug-out zones on machined surface of work piece after turning with non-texture tool

شکل 11 تصویر SEM از مناطق کنده شده بر روی سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار بعد از فرآیند تراش‌کاری با ابزار بدون بافت

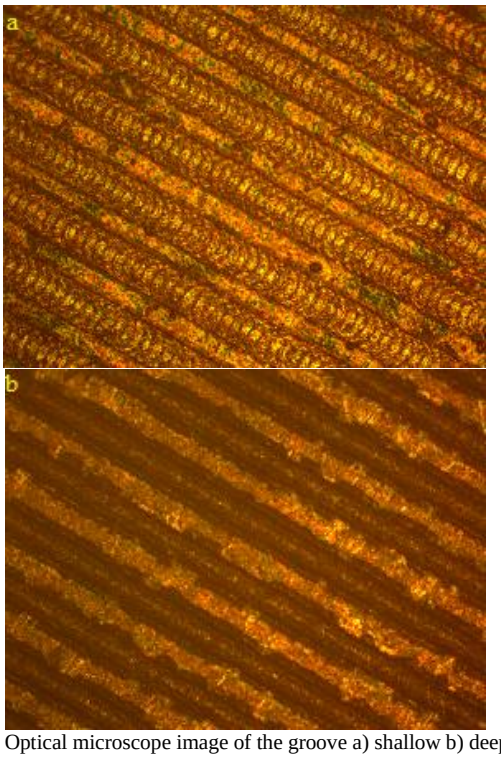

Fig. 12 Optical microscope image of the groove a) shallow b) deep

شکل 12 تصویر میکروسکوپ نوری از شیار a) کم‌عمق b) عمیق

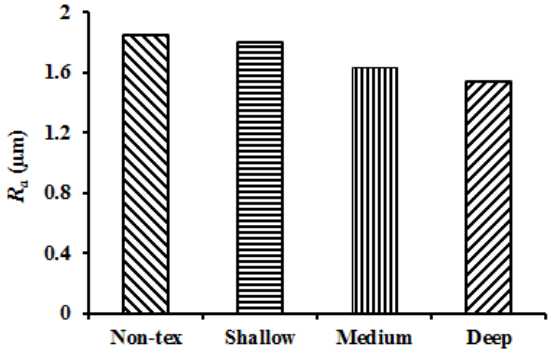

Fig. 13 Effect of texture depth on surface roughness

شکل 13 تاثیر عمق بافت بر زبری سطح

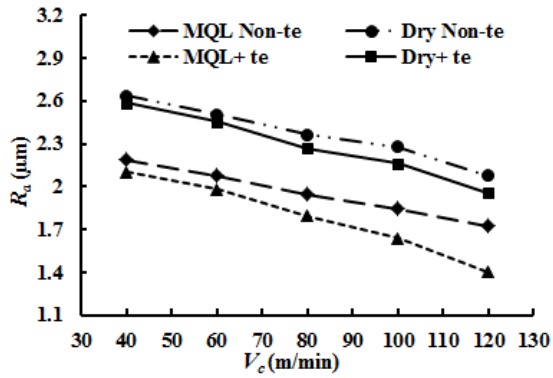

Fig. 14 Effect of cutting speed variation on surface roughness for non-texture and micro texture tools

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

نسخه پیش از انتشار برای تایید نویسنده

سطح قطعه‌کار نسبت داد. به زبان ساده‌تر، با افزایش نرخ پیشروی میزان درگیری شعاع نوک ابزار با سطح قطعه‌کار کاهش یافته و یا مدت زمان این درگیری کم بوده و پرداخت‌کاری مناسبی در سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار اتفاق نمی‌افتد و شیارهایی (خراشیدگی‌هایی) بر روی سطح آن ایجاد می‌شود که این شیارها موجب افزایش زبری سطح می‌شود. هرچند مقدار زبری سطح با افزایش سرعت پیشروی افزایش می‌یابد ولی اختلاف این پارامتر برای دو حالت ماشین‌کاری با ابزار بدون بافت و میکروبافت نیز مانند سرعت برش زیاد می‌شود 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 می‌توان به‌عنوان مهمترین پارامتر ماشین‌کاری به‌منظور بیان بهبود عملکرد فرآیند در این زمینه دانست. به‌طور کلی با افزایش عمق برش، سطح تماس یا طول درگیری ابزار و براده افزایش می‌یابد و آشکار است که تحت چنین شرایطی قدرت نفوذ سیال برش به منطقه ماشین‌کاری به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد و یا حتی در عمق برش بالا در حضور سیال برش ممکن است ماشین‌کاری خشک اتفاق بیافتد. بنابراین شیارهای سطح ابزار همانند کانال‌ها عمل کرده و سیال برش را به سهولت به نوک ابزار انتقال می‌دهد.

"شکل‌های 16 و 17" نمودار تاثیر عمق برش در ابزار میکروبافت و ابزار بدون بافت را به ترتیب در دو حالت MQL و مرطوب بر زبری سطح نشان می‌دهد. در هردو حالت روان‌کاری ذکر شده، نتایج با روش ماشین‌کاری خشک به‌همراه 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 به‌صورت یکپارچه و با شیب تقریبا یکنواخت افزایش می‌یابد 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 قطعه‌کار افزایش می‌یابد.

در ماشین‌کاری با استفاده از MQL با ابزار میکروبافت یک ناپیوستگی در تغییرات زبری سطح در عمق‌های برش بیش از 1mm اتفاق افتاده است. این ناپیوستگی نشان‌دهنده برتری ابزار میکروبافت در ایجاد کیفیت سطح بهتر برای عمق برش بالا است. علت وقوع این ناپیوستگی را می‌توان 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 عمق‌های برش بالا.
2- بهبود تزریق سیال برش در حالت MQL با ابزار میکروبافت به علت وجود شیارها.
3- ماهیت روش MQL و انتقال ذرات روانکار- خنک‌کار با سرعت و فشار بالا به‌همراه 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 میکروبافت بلکه برای ابزار بدون بافت. این ناپیوستگی برعکس حالت قبل (نزول ناگهانی) به صورت صعود ناگهانی مقادیر است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود 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 می‌شود. علت این پدیده عدم نفوذ سیال برش به منطقه

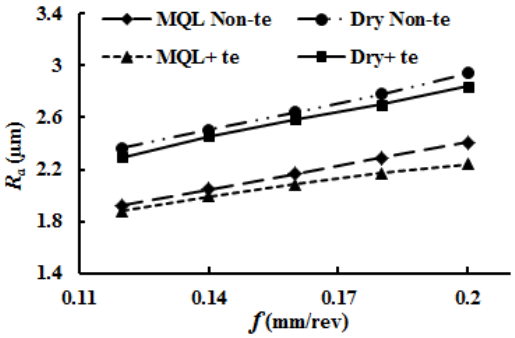

Fig. 15 Effect of feed rate variation on surface roughness for non-texture and micro texture tools

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

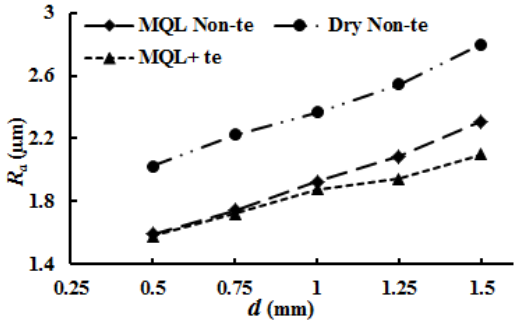

Fig. 16 Effect of depth of cut variation on surface roughness for MQL method with non-texture and micro texture tools

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

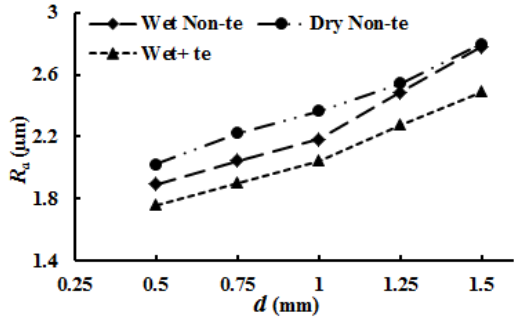

Fig. 17 Effect of depth of cut variation on surface roughness for wet method with non-texture and micro texture tools

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

ماشین‌کاری در عمق‌های برش بالا است. به عبارت دیگر به علت تعامل بالای مواد قطعه‌کار با سطح فلزی ابزار، در حضور سیال برش، ماشین‌کاری خشک اتفاق می‌افتد و نتایج حاصل از دو روش به هم نزدیک می‌شوند.

4- نتیجه‌گیری

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

هدف اصلی اصلاح سطحی ابزار برش به منظور حصول کیفیت بهتر سطح نهایی قطعه‌کار بوده است. بافت‌های موردنظر توسط فرآیند ماشین‌کاری با اشعه لیزر بر روی سطح براده ابزار برش ایجاد شده‌اند. تراش‌کاری با پارامترهای مختلف برشی انجام و مقدار زبری سطح قطعه‌کار برای ابزار با سطح میکروبافت در سه حالت روان‌کاری-خنک‌کاری 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 وشیارهایی 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 میکروبافت موازی لبه‌برش نسبت به ابزار بدون بافت برای حالت‌های روان‌کاری 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 قطعه‌کار به داخل شیارها کاهش می‌یابد و از این‌رو، ابزار میکروبافت در سطوح بالا از پارامترهای برش عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. در نتیجه کیفیت سطح بهتری ارائه می‌شود.
- ✓ در میان پارامترهای ماشین‌کاری بررسی تاثیر عمق برش، بهتر می‌تواند عملکرد میکروبافت‌ها را نسبت به ابزارهای معمولی به تصویر بکشد. با افزایش عمق برش بهبود قابل توجهی در عملکرد ابزار میکروبافت در روش MQL نسبت به ابزار معمولی حاصل گردید. این پدیده در حالت روان‌کاری مرطوب با چهره‌ای دیگر برتری خود را نشان داده است. به عبارت دیگر عدم وجود میکروشیارها موجب شده که در عمق‌های برش بالا، ماشین‌کاری 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 قطعه‌کار نیز به وضوح برتری روش ارائه شده در این پژوهش را از نقطه نظر کاهش حجم ذرات چسبیده شده به سطح ماشین‌کاری شده قطعه‌کار و نواحی کنده شده از سطح آن و متعاقبا 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_2 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 فارسی)

[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 فارسی)

[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. Kümmel, 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.