



## بررسی سایش و کیفیت سطح در فرزکاری کامپوزیت پایه آلومینیومی 520 تقویت شده با ذرات SiC و Sn

محمود علیپور سوگوابر<sup>1</sup>، سیدعلی نیکنام<sup>2\*</sup>، بهنام داودی<sup>3</sup>

1- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک ساخت و تولید، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران  
2- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران  
3- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران  
\* تهران، صندوق پستی 1684613114، [saniknam@iust.ac.ir](mailto:saniknam@iust.ac.ir)

### اطلاعات مقاله:

### چکیده

کامپوزیت‌ها موادی ترکیبی با حداقل دو ماده هستند که یکی به عنوان زمینه و دومی به منظور افزایش خواص مفید به ماده پایه افزوده می‌شود. این مطالعه نیز در مورد یکی از کامپوزیت‌های پر کاربرد تحت عنوان کامپوزیت‌های زمینه فلزی آلومینیوم به همراه مواد تقویت کننده افزودنی شامل ذرات قلع و سیلیکون کارباید SiC, Sn می‌باشد. از جمله مزایای این کامپوزیت‌ها می‌توان به مواردی مثل سختی و استحکام بالا و همینطور وزن سبک اشاره نمود و همچنین معایب آن پایین بودن قابلیت ماشینکاری و سایش بالا در ابزارهای ماشینکاری می‌باشد. در نتیجه برای بهبود شرایط کنونی این مطالعه با رویکرد ماشینکاری کامپوزیت پایه آلومینیومی 520 و تحلیل آماری اثر پارامترهای برشی بر سایش ابزار و کیفیت سطح بعد از ماشینکاری مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های انجام گرفته می‌توان اذعان کرد که پارامترهای برشی تعریف شده اثر ممتاز و خوبی بر سایش ابزار داشتند. در اندازه‌گیری میزان سایش ابزارها حین ماشین کاری کامپوزیت ساخته شده به همراه ذرات تقویت کننده SiC, Sn همواره سرعت برشی بیشترین اثر و سرعت پیشروی و روش روانکاری و همچنین میزان عمق برشی کمترین اهمیت را بر سایش ابزار دارند.

دریافت: 1401/08/15  
پذیرش: 1401/10/13  
**کلیدواژگان**  
کامپوزیت پایه فلزی، آلومینیوم، توانایی ماشینکاری، کیفیت سطح، سایش ابزار

## Study of tool flank wear and surface quality in milling of Al520-MMCs reinforced with SiC and Sn particles

Mahmoud Alipour Sougavabar<sup>1</sup>, Seyed Ali Niknam<sup>2\*</sup>, Behnam Davoodi<sup>2</sup>

1- School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran  
2- School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran  
\* P.O.B. 1684613114, [saniknam@iust.ac.ir](mailto:saniknam@iust.ac.ir)

### Keywords

Metal matrix composite, Aluminium alloys, Machinability, Surface quality, Tool flank wear

### Abstract

Composites are materials with at least two combined materials, one of which is added to the base material to increase its valuable properties. This study is also about one of the widely used composites called aluminum metal matrix composites (Al-MMC) and additional reinforcing materials, including Tin and Silicon carbide (SiC, Sn) particles. These composites have excellent features such as high hardness and strength and are lightweight, while they also pose low machinability. As a result, to improve the current conditions, this study was conducted with the approach of Al520 base composite machining and statistical analysis of the effect of cutting parameters on tool flank wear and surface quality after machining. Based on the investigations, it can be concluded that the defined cutting parameters had an excellent and good effect on tool flank wear. On the other hand, when studying the tool flank wear during the machining of such composites with reinforcing particles of SiC, Sn, the cutting speed always has the most significant effect, and the feed rate and lubrication method, as well as the amount of depth of cut, have the least effects on the flank wear size.

### 1- مقدمه

قطعات باید به مسائل مهمی از قبیل روش ساخت، دقت ابعادی، حفظ شکل صحیح اولیه در حین کاربرد، خواص مورد نظر و حفظ آن خواص برای مدت معین تحت شرایط محیط کار، امکان تعمیر و نگهداری آسان در هنگام کاربرد، سازگاری ماده با دیگر مواد اجزاء سیستم، بازیابی آسان ماده، مسائل زیست‌محیطی ماده در ارتباط با ساخت و تولید، هزینه تولید و در مواردی میزان وزن و نوع سطح ظاهری آن توجه شود [2]. از دیرباز تمام کشورهای صنعتی

پیشرفت‌های وسیع و سریعی که تا کنون در کلیه زمینه‌های صنعتی رخ داده است، مرهون دستیابی به مواد با کیفیت بالاتر است که در ساخت قطعات ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی به کار می‌روند. عموماً اغلب مهندسیین شاغل در واحدهای صنعتی، به ویژه طراحی و ساخت در انتخاب و کاربرد مواد و بررسی و تحلیل شکست قطعات شرکت دارند [1]. عموماً در طراحی و ساخت

Please cite this article using:

برای ارجاع به مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Alipour Sougavabar, M., Niknam, S. A., Davoodi, B., "Study of tool flank wear and surface quality in milling of Al520-MMCs reinforced with SiC and Sn particles," In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 9, No. 2, pp. 1970-1975, 2023.  
<https://doi.org/10.22068/JSTC.2022.1972218.1807>

دریافته‌اند ابزارهای کاربیدی در ماشینکاری کوتاه‌مدت برای کیفیت سطح مؤثر هستند [12]. همچنین پیشنهاد می‌دهند که عمر ابزار کاربیدی برای سرعت‌های برش پایین 20 تا 30 متر بر دقیقه و نرخ پیشروی بالا در ماشین تراش برای ماشینکاری قابل‌قبول هستند و در استفاده از ابزار کاربیدی در سرعت برش 250 متر بر دقیقه مشاهده شده که عمر آن برای تراشکاری کامپوزیت Al/MMC چهل دقیقه است. تحقیقات انجام شده در مورد انواع مختلف ابزار نشان می‌دهد که ابزارهای کاربیدی مقرون به صرفه‌ترین ابزار، برای ماشینکاری کامپوزیت زمینه فلزی هستند [10]. بر اساس بررسی پیشینه پژوهش و بررسی مطالعات انجام یافته، موضوع این مطالعه به اثر پارامترهای برشی بر کیفیت سطح و سایش ابزار در ماشین کاری کامپوزیت پایه آلومینیومی 520 تقویت‌شده با ذرات Sn, SiC می‌باشد. بر اساس این پژوهش می‌توان یک روش به منظور ارتقاء تولید را با توجه به کیفیت مواد اولیه، استحکام و سختی مناسب، وزن سبک و همچنین توانایی ماشینکاری مناسب روی این ماده و عمر بیشتر ابزارهایی که روی این مواد کار براده برداری و تغییر شکل انجام دهند را تعیین نمود [4].

## 2- بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

بر اساس جمع‌آوری اطلاعات و مطالعات انجام یافته پیرامون کامپوزیت پایه آلومینیومی می‌توان اذعان نمود که میزان مطالعات در کامپوزیت‌ها همواره با بررسی افزودن مواد تقویت‌کننده SiC به صورت جامع انجام شده است [11]، اضافه کردن عناصری نظیر Sn به ماده پایه تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. اثر عناصر مختلف ذرات تقویت‌کننده [14، 15] با تفاوت‌های زیادی در میزان نتایج کیفیت سطح و اثر آن بر کیفیت ماشینکاری و همچنین سایش ابزار و تأثیر آن بر عمر ابزار و همچنین میزان نیروها حین فرآیند ماشینکاری با تفاوت‌های زیادی همراه شده و هرگاه میزان عناصر تقویت‌کننده با مواد سخت نظیر SiC و Sn همراه باشد، کیفیت سطح و سایش ابزار و اصطکاک حاصله در حین فرآیند برشی و در نتیجه عمر ابزار تحت تأثیر این مواد افزودنی قرار می‌گیرند. اهداف این مطالعه به شرح ذیل است:

- 1- بررسی میزان کیفیت سطح در ماشینکاری مواد کامپوزیتی پایه آلومینیومی با ذرات تقویت‌کننده مختلف نظیر (SiC و Sn)
- 2- بررسی میزان سایش ابزار در ماشینکاری مواد کامپوزیتی پایه آلومینیومی با ذرات تقویت‌کننده مختلف نظیر (SiC و Sn)

## 3- روش تحقیق

با استفاده از روش ریخته‌گری، دو قطعه کامپوزیتی اشاره شده در جدول شماره 1 ساخته و آماده شدند.

جدول 1 مواد ساخته‌شده کامپوزیتی با درصد عناصر تقویت‌کننده

Table 1 The fabricated composite materials

مواد کامپوزیتی	ماده پایه	ذرات تقویت‌کننده
1	Al 520	10 % SiC
2	Al 520	10 % SiC + 1 % Sn

بعد از اتمام عملیات و ساخت قطعات کامپوزیتی، جهت حصول اطمینان از توزیع درست و همگن ذرات و تولید با کیفیت، یک قسمت از نمونه ریخته شده پولیش شده و با میکروسکوپ الکترونی SEM مطابق شکل 1 مورد بررسی قرار گرفته شد. به‌جز چند نقطه که این ذرات به هم چسبیده شده‌اند، تقریباً

به دنبال موادی با نسبت استحکام به وزن بالا هستند که بتوانند علاوه بر کاهش هزینه مواد اولیه، باعث کاهش انرژی مصرفی و کاهش آلودگی زیست‌محیطی شوند [2، 3]. با توجه به روحیه تنوع‌طلب انسان و همچنین احساس نیاز به سمت پیشرفت، صنایع نیز دستور کار خود را تنوع تولید و ساخت کالاهای با کیفیت برای جذب هرچه بیشتر مشتری و فروش بیشتر محصولات خود قرار دادند. حال این تنوع تولید می‌تواند در جهت ارتقاء روش‌های تولید، یا ارتقاء سطح کیفیت مواد اولیه و... لحاظ شود [1، 4]. لذا نیاز فوق باعث می‌شود محققین و پژوهشگران عرصه صنعت هر روز به دنبال جستجوی موادی باشند که به اهداف فوق نائل آیند. از این رو لازم است تا با آزمایش‌های متنوع و همچنین تحقیقات در مورد عناصر و افزودنی‌های مقوی و تأثیر آن روی ماده پایه، کامپوزیت‌ها را هرچه بیشتر مورد بررسی قرار داد. این مهم پدید نمی‌آید، مگر با مطالعه و شناخت هرچه بیشتر عناصر و ترکیبات افزودنی و شناخت خواص مواد پایه و افزودنی و آشنایی با روش‌های ساخت مختلف برای تصمیم‌گیری نهایی و استفاده بهتر مواد در صنایع و در نهایت بهبود وضعیت کالاهای تولیدی، و عمر مفید بیشتر محصولات، و صرف هزینه کمتر برای تولید این محصولات در کارخانه‌های صنعتی که در مجموع می‌تواند باعث رفاه، آسایش و امنیت بیشتر یکایک انسان‌های کره خاکی گردد [5، 6].

سالمات که تحقیقات برای دستیابی به مواد جدیدتر با خواص مکانیکی بهتر انجام گرفته و هنوز هم همگام با پیشرفت‌های سریع صنعتی دنبال می‌شود. هدف این تحقیقات [7] غالباً تولید موادی با نسبت مناسب استحکام کششی به چگالی، استحکام حرارتی بالا و خواص ویژه سطح خارجی (مانند مقاومت سایشی بالا) است. در سال‌های اخیر، نسل جدید مواد کامپوزیتی به عنوان ترکیبات کامپوزیت‌های پایه فلزی معرفی شده‌اند. تا به طور همزمان قدرت و سختی بیشتری را ارائه دهند [8]. منافع صنعتی منجر به تحقیقات عمیق در زمینه ماشینکاری کامپوزیت‌های پایه فلزی باشد. با این حال، تقویت فلز پایه با افزودن ذرات سخت به آن باعث افزایش سایش ابزار، کاهش قابلیت ماشینکاری، کاهش کیفیت سطح و افزایش هزینه‌های کلی تولید می‌گردد. بنابراین محققان و دانشمندان این عرصه بر آن شدند تا با روش‌های جدید و ذرات متفاوت افزودنی و نسبت ترکیبات گوناگون مواد کامپوزیتی مرغوب‌تری را تولید کنند که علاوه بر سختی و استحکام بالا قابلیت ماشینکاری را افزایش، سایش ابزار را کاهش و همچنین کیفیت سطح را بهبود بخشند [8، 9].

اکثر تحقیقات در ماشینکاری کامپوزیت زمینه فلزی با استفاده از ابزار کاربیدی یا الماس چند کریستالی<sup>1</sup> pcd<sup>1</sup> انجام شده است [3]. همچنین اکثر مطالعات انجام شده در دستگاه تراش صورت گرفته است [6، 7]. بعد از دستگاه تراش، دیگر ماشین‌ابزارهای حائز اهمیت به ترتیب فرز افقی و عملیات سوراخ‌کاری بوده که مورد مطالعه قرار گرفته است [1، 4]. مته‌هایی که در سوراخ‌کاری توصیه می‌شوند (PCD) با الماس پوشش داده شده است. با این حال، بسیاری از مطالعات ادعا می‌کنند که ابزار کاربیدی یک جایگزین مناسب تحت شرایط خاص است [10]. در زمانی که سایش ابزار به سرعت شروع می‌شود پارامترهای مختلف برای تعیین شرایط مناسب ابزار مورد بررسی قرار می‌گیرند [10، 11]. این امر ویژه، بر مفید بودن ابزار کاربیدی (به دلیل ارزان‌تر بودن) دلالت دارد. بسیاری از محققان پیشنهادهایی مبنی بر این‌که ابزار کاربیدی برای ماشینکاری کامپوزیت زمینه فلزی مناسب نیست ارائه داده‌اند. تعدادی از محققان به این نتیجه رسیده‌اند که ابزارهای کاربیدی تحت شرایط خاصی برای ماشینکاری کامپوزیت زمینه فلزی مفید هستند [3]. پژوهش‌گران

<sup>1</sup> Poly crystalline diamond

گرفتن شرایط و پارامترهای برشی، تعداد 128 آزمایش نیاز بود تا بتوان تمامی آزمایش‌ها با شرایط مختلف را مورد بررسی قرار داد. لذا به منظور جلوگیری از تکرار آزمایش‌ها، از روش تاگوچی استفاده شد و تعداد آزمایش‌ها در صورت پوشش کلیه شرایط به 16 آزمون کاهش یافت. طراحی آزمایش مطابق با جدول در نرم‌افزار Minitab آماده گردید.

جدول 3 پارامترهای ماشین‌کاری با روش تاگوچی L16 DOE

Table 3 The DOE-L16 orthogonal array used for each tested MMC

مدل روانکاری	سرعت برشی m/min	پیشروی mm/z	عمق برش mm	آزمایش
خشک	90	0.05	0.5	1
مرطوب	90	0.075	0.75	2
مرطوب	90	0.1	1	3
خشک	90	0.125	1.25	4
خشک	120	0.05	0.75	5
مرطوب	120	0.075	0.5	6
مرطوب	120	0.125	1.25	7
خشک	120	0.1	1	8
مرطوب	150	0.05	1	9
خشک	150	0.75	1.25	10
خشک	150	0.1	0.5	11
مرطوب	150	0.125	0.75	12
مرطوب	180	0.05	1.25	13
خشک	180	0.75	1	14
خشک	180	0.1	0.75	15
مرطوب	180	0.125	0.5	16

4- نتایج و بحث

تمامی اندازه‌گیری‌های کیفیت سطح ماشین‌کاری شده مطابق شکل 3 در بخش‌های ابتدا، مرکز و انتهای قطعات انجام شد. سپس تأثیر پارامترهای ماشین‌کاری بر Ra, Rz که مؤلفه‌های اصلی کیفیت سطح هستند مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد میزان سایش پهلویی در ابزارهای برشی بررسی شد. بیشترین سایش ابزار در بین مواد ارائه شده اندازه‌گیری شده و به صورت نمودار و تصاویر SEM در انتهای این بخش آورده شده است.

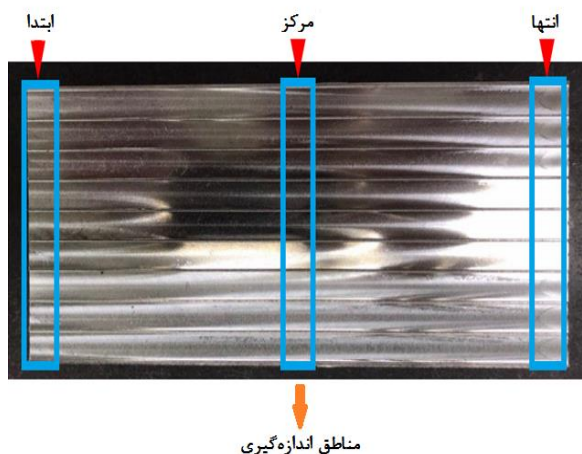


Fig. 3 Surface roughness measurement zones

شکل 3 مناطق اندازه‌گیری کیفیت سطح

در بقیه نقاط نشست یکسان مشاهده شد. با توجه به این نکته که تولید کامپوزیتی که مقدار SiC به کار رفته در آن در هیچ منطقه‌ای به هم نچسبیده باشند تقریباً غیرممکن است، لذا جهت اطمینان بیشتر، از تصاویر تحلیل مپ قطعات کامپوزیتی با دستگاه SEM استفاده شد.

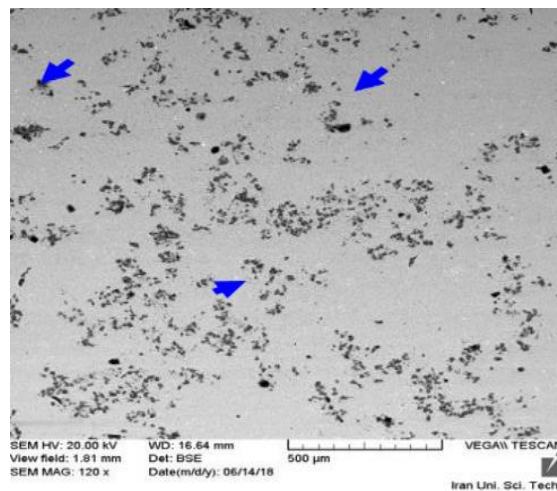


Fig. 1 SEM image of Al520 + 10 % SiC

شکل 1 تصویر SEM از ماده کامپوزیت آلومینیومی به همراه 10% SiC

بعد از ریخته‌گری، قطعه‌های مکعبی شکل از کامپوزیت زمینه آلومینیومی به ابعاد 11×8×1 سانتیمتر تولید شد. برای انجام آزمایش‌های فرزکاری، پارامترهای برشی مطابق با جدول 2 استفاده شد. پارامترهای به کار رفته بر اساس مشاوره‌های فنی با شرکت سازنده ابزار انتخاب گردید.

جدول 2 پارامترها و مشخصات آزمایش

Table 2 Experimental parameters used

شرایط آزمایش				پارامترهای برشی
180	150	120	90	سرعت برشی (m/min)
0.125	0.1	0.075	0.05	پیشروی (mm/z)
1.25	1	0.75	0.5	عمق برش (mm)
-	-	مرطوب	خشک	مدل روانکاری

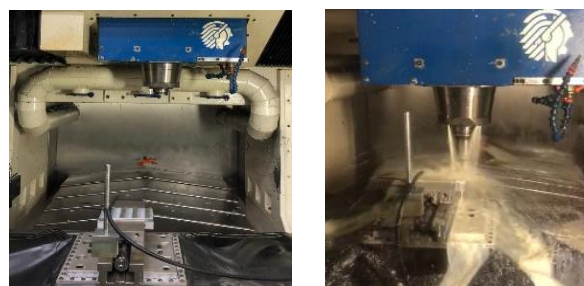


Fig. 2 Overview of machining set up

شکل 2 چیدمان قطعات در حین فرزکاری

1-3 طراحی آزمایش با روش اورتاگونال ارای تاگوچی L16 DOE

به منظور تهیه آزمایش‌های مفید و کاهش تعداد آزمایش‌های تکراری، پارامترهای ماشین‌کاری مطابق جدول 3 با روش تاگوچی تهیه شد. با در نظر

## 1-4- کیفیت سطح

1-1-4- بررسی کیفیت سطح  $Al\ 520 + 10\% SiC$ 

بر اساس مشاهدات انجام یافته در شکل 4 می‌توان اذعان کرد که نمودارهای Ra در این ماده دارای نوسان غیرخطی برحسب سرعت برشی و سرعت پیشروی و عمق برشی و همچنین دارای یک نوسان خطی در بخش روش خنک کاری هستند. در بررسی نتایج حاصله از Rz، در سرعت برشی 120 m/min میزان Rz کمتری نسبت به سایر شرایط برشی مشاهده شد، لذا شرایط کیفیت سطح در این نقطه بهتر از سایر نقاط می‌باشد. بر اساس تحلیل واریانس صورت یافته، هر دو مؤلفه به صورت آماری به تغییرات پارامترهای برشی حساس نیستند. یکی از دلایل این پدیده می‌تواند به علت کامپوزیتی بودن ماده باشد که صعود و نزول نمودارها بر اثر ماده تقویت کننده SiC می‌باشد که بسیار سخت بوده و به طور پراکنده در ماده موجود است. در این حالت لبه‌های برشی به طور تصادفی با این ماده برخورد می‌کنند و در نتیجه باعث سایش زیاد و آسیب‌های مکانیکی به لبه برشی ابزار می‌گردد. لذا امکان تحلیل و بیان روند علمی و سامانمند اثر پارامترهای برشی بر روی مؤلفه‌های کیفیت سطح را ناممکن می‌سازد.

2-1-4- بررسی کیفیت سطح  $Al\ 520 + 10\% SiC + 1\% Sn$ 

با در نظر گرفتن شکل 5 می‌توان اذعان نمود که مؤلفه Ra در این ماده نیز به صورت آماری نسبت به تغییرات پارامترهای برشی حساس نبوده و تأثیر پارامترهای برشی به صورت غیرخطی است. مشابه با ماده اول، این پدیده را می‌توان ناشی از وجود ذرات SiC درون مواد یا اصطکاک اولیه برخورد ابزار با قطعه کار دانست. تأثیر پراکندگی ذرات SiC در کیفیت نهایی قطعه مؤثر است و در بیشتر مناطق نمودارهای غیرخطی و تغییرات نامتعارف در میزان افزایش Ra در شرایط و پارامترهای برشی وجود دارد.

در پایان و به عنوان نتیجه در بخش کیفیت سطح می‌توان عنوان کرد تأثیر پراکندگی ذرات تقویت کننده در میزان Ra مؤثر است و در بیشتر مناطق به علت توزیع ناهمگن ذرات تقویت کننده، نمودارهای غیرخطی و تغییرات نامتعارف در میزان افزایش Ra در شرایط و پارامترهای برشی وجود دارد. از این رو و در هر لحظه احتمال برخورد نوک ابزار برشی با ذرات تقویت کننده SiC وجود دارد. بر اثر برخوردهای احتمالی نیز آسیب‌های مکانیکی، حرارتی، سایش و همچنین افزایش در میزان ناهمواری‌های سطح بوجود می‌آید. غیر از برخی موارد که بدلیل برخورد تصادفی مواد SiC داخل ماده پایه با نوک ابزار برشی میزان Ra افزایش و کیفیت سطح را کاهش داد، در بقیه موارد می‌توان مشاهده کرد که میزان Ra بیشتر در حالت ماشین کاری خشک اتفاق افتاده است. بالاترین موارد Ra در نقاط ورودی ماشینکاری ثبت شده است که می‌تواند مربوط به برخورد اولیه بین ابزار و قطعه کار در یک زمان بسیار کوتاه باشد که باعث ایجاد شوک‌های حرارتی و مکانیکی می‌گردد. برای رفع این مشکل باید از روش‌های بهینه‌سازی مسیر ابزار و همچنین تغییر در زوایای برشی و شکل هندسی ابزار برشی استفاده نمود. البته برای تأیید این موارد بدلیل برخورد تصادفی ابزار با مواد ساینده SiC و باقی ذرات تقویت کننده در جریان ماشین کاری نیاز به مطالعات تکمیلی است. همچنین با توجه به مطالعات آماری صورت یافته در هر ماده و بررسی تأثیر مواد و پارامترهای برشی مختلف بر روی کیفیت سطح، می‌توان اذعان کرد که در تمامی شرایط مطالعه شده، اثر پارامترهای برشی بر Ra در مدل سازی آماری، غیر حساس و نامحسوس بوده و امکان مدل سازی عددی بین مؤلفه‌های کیفیت سطح و پارامترهای برشی وجود ندارد. اضافه نمودن ماده Sn در ماده منجر به ارتقاء سطح کیفی نسبت به حالت قبلی ماده شده است.

## 2-4- سایش ابزار

1-2-4- بررسی سایش ابزار  $Al\ 520 + 10\% SiC$ 

بر اساس شکل 6، غیر از سرعت برشی، سایر پارامترهای برشی اثری خطی بر روی سایش ابزار دارند. تحلیل‌های آماری گواه این مطلب است که سایش پهلویی ابزار تابعی از عوامل و پارامترهای برشی بوده و اگرچه حضور ذرات SiC باعث افزایش سایش می‌شود، لیکن سایش کماکان به صورت تابعی خطی از پارامترهای برشی قابل بیان است.

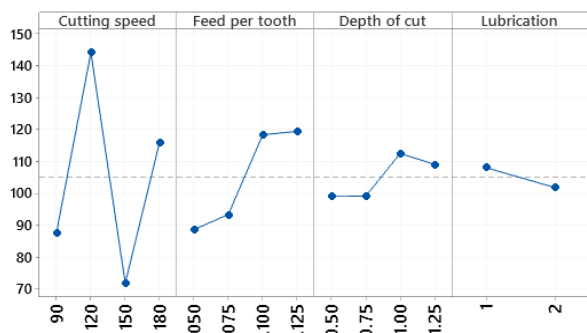


Fig. 6 The main effects plot of tool flank wear ( $R^2 = 98.52\%$ )

شکل 6 تأثیر پارامترهای برشی بر سایش ابزار  $R^2 = 98.52\%$

با توجه به شکل 6 نمودار سرعت برشی یک روند غیرخطی دارد که برحسب حضور ذرات ساینده SiC می‌باشد و در بخش سرعت پیشروی هر چه میزان این سرعت بالاتر رود، میزان سایش پهلویی ابزار بیشتر شده است. همچنین وجود ماده روانکار در زمان ماشینکاری موجب کاهش سایش ابزار شده است. همچنین افزایش عمق برشی نیز می‌تواند موجب افزایش سایش ابزار و

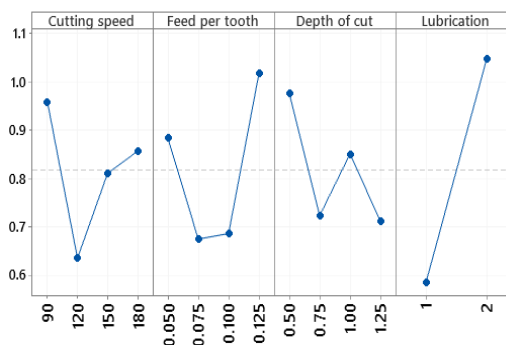


Fig. 4 Main effect plot of Ra recorded from the Enter section with  $R^2 = 60.76\%$

شکل 4 تحلیل آنالیز واریانس بر روی Ra در بخش Enter به همراه  $R^2 = 60.76\%$

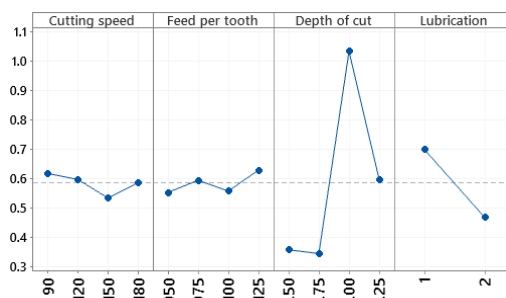


Fig. 5 Main effect plot of Ra recorded from the Enter section  $R^2 = 58.32\%$

شکل 5 تحلیل آنالیز واریانس بر روی Ra در بخش Enter  $R^2 = 58.32\%$

به صورت جدول 4 نشان داده شده است. در این جدول کلیه پارامترها از یک تا چهار امتیازبندی شده است و عدد یک نشان‌دهنده بیشترین اهمیت و عدد چهار نشان‌دهنده کمترین اهمیت می‌باشد.

#### 5- نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیرات پارامترهای ماشینکاری بر روی کیفیت سطح در قطعات کامپوزیتی با پایه آلومینیوم 520 و سایش پهلویی در ابزار برشی که تأثیر هرکدام از این عوامل به صورت زیر نتیجه‌گیری شده است: اثرگذاری پارامترهای برشی بر Rz, Ra از لحاظ آماری کمتر از 60٪ بود. از این رو می‌توان عنوان کرد که پارامترهای تعریف شده بر کیفیت سطح تأثیرپذیری ممتاز و محسوسی نداشتند.

فارغ از نوع روانکاری استفاده شده، با افزایش سرعت برشی در حین ماشین‌کاری، مقدار سایش همواره افزایش می‌یابد. در برخی موارد بدلیل وجود SiC و توزیع ناهمگن آن در ماده پایه، برخورد تصادفی آن با نوک ابزار برشی اجتناب‌ناپذیر بوده و در این صورت میزان سایش ابزار بیشتر از حد معمول می‌شود. همچنین با تغییر حالت ماشینکاری از حالت خشک به حالت مرطوب میزان سایش ابزار کاهش یافت.

بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، در مواردی که برخورد تصادفی ذرات ساینده SiC با ابزار برشی مشاهده شد، میزان Ra افزایش یافت. در بقیه موارد میزان Ra در حالت ماشینکاری مرطوب بسیار کمتر از حالت ماشینکاری با روش خشک بود. البته ممکن است در اثر برخورد بین ابزار و قطعه کار در نقطه ورودی شوک حرارتی و مکانیکی حادث شده و خراش‌های کوچک روی سطح قطعه ایجاد شود و موجب افزایش Ra گردد که در نتیجه این امر به کاهش کیفیت سطح منجر می‌گردد.

بر اساس بررسی‌های آماری می‌توان اذعان کرد که پارامترهای برشی تعریف شده اثر ممتاز و خوبی بر سایش ابزار داشتند. دراندازه‌گیری میزان سایش ابزارها حین ماشین‌کاری کامپوزیت ساخته شده به همراه ذرات تقویت‌کننده SiC, Sn همواره سرعت برشی بیشترین اثر و سرعت پیشروی و روش روانکاری و همچنین میزان عمق برشی کمترین اهمیت و تأثیرگذاری را بر سایش ابزار دارند.

در سرعت‌های برشی بالاتر میزان اصطکاک بیشتر شده و آسیب‌های حرارتی و مکانیکی بیشتری به ابزارهای برشی وارد می‌شود. در نتیجه میزان سایش افزایش یافته و در ادامه کیفیت سطح قطعه کاهش یافته و همچنین در نهایت عمر ابزار کاهش می‌یابد. البته وجود ذرات ساینده بسیار سخت SiC و توزیع ناهمگن این مواد تقویت‌کننده در ماده زمینه موجب افزایش سایش در ابزارها می‌گردد که در این حالت با اضافه کردن عنصر Sn تا حد زیادی موجب بهتر شدن شرایط برشی گردید و در نتیجه می‌توان عنوان کرد اضافه کردن عنصر Sn موجب بهبود شرایط ماشینکاری و کاهش سایش ابزار در حین ماشین‌کاری کامپوزیت ساخته شده می‌گردد.

جدول 4 تأثیر اهمیت آماری پارامترهای برشی بر مقدار سایش در مواد کامپوزیتی

Table 4 Order of importance of cutting parameters and conditions on tool flank wear when machining the tested materials

R <sup>2</sup>	عمق برش mm	مدل روانکاری	پیشروی mm/z	سرعت برشی mm/min	مواد
94.77 %	4	3	2	1	A1520 + 10% SiC
96.04 %	4	3	2	1	A1520 + 10% SiC + 1% Sn

همچنین کاهش عمر ابزار شود. بدلیل برخورد تصادفی نوک ابزار برشی با SiC، حرارت و اصطکاک افزایش و در نتیجه میزان سایش ابزار افزایش یافته و عمر مفید ابزار نیز کاهش پیدا می‌کند.

#### 4-2-2- بررسی سایش ابزار A1520 + 10% SiC + 1% Sn

بر اساس شکل 7، تأثیر آماری محسوس پارامترهای برشی بر روند تغییرات سایش ابزار قابل مشاهده است. نرخ پیشروی اثری خطی و سرعت برشی و عمق برشی اثر غیرخطی بر روند تغییرات سایش ابزار دارند و می‌توان نتیجه گرفت که اضافه نمودن Sn به ساختار ماده منجر به کاهش سایش پهلویی و میزان لبه انباشته در ابزار می‌شود. در نتیجه این عنصر می‌تواند سبب کاهش سایش و افزایش کیفیت سطح در این نوع کامپوزیت پایه آلومینیوم با ذرات تقویت‌کننده SiC گردد. بر این اساس، هر زمان ماشینکاری از حالت خشک به حالت ماشینکاری مرطوب تغییر وضعیت داده است، میزان سایش ابزار کاهش و در نتیجه عمر ابزار افزایش یافته است. نرخ پیشروی اثری خطی و سرعت برشی و عمق برشی اثر غیرخطی بر روند تغییرات سایش ابزار دارند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که میزان سایش و لبه انباشته تشکیل شده بعد از عملیات فرزکاری کاهش پیدا کرده و نقش عنصر Sn در ساختار این ماده کامپوزیتی آلومینیومی با ذرات تقویت‌کننده SiC را می‌توان سبب کاهش اثرات و آسیب‌های مکانیکی بعد از عملیات ماشین‌کاری دانست. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که با افزودن عنصر Sn به این ماده کامپوزیتی می‌توان میزان آسیب‌های مکانیکی ابزار را کاهش و در نتیجه عمر ابزار افزایش می‌یابد. میزان سایش ابزار با توجه به حضور عنصر Sn در این ماده کامپوزیتی نسبت به ماده کامپوزیتی بدون Sn کاهش یافته است.

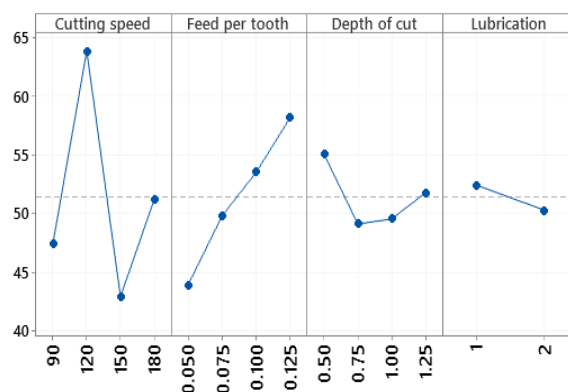


Fig. 7 The main effects plot of tool flank wear ( $R^2 = 96.04\%$ )

شکل 7 تأثیر پارامترهای برشی بر سایش ابزار  $R^2 = 96.04\%$

بدلیل توزیع ناهمگن ذرات SiC و برخورد ناگهانی ابزار برشی با مواد ساینده SiC در ماده‌های مورد آزمایش، نمی‌توان به طور قطعی اذعان کرد که هرچه سرعت برشی بیشتر گردد میزان سایش ابزار بیشتر می‌شود. فارغ از نوع ماده ماشین‌کاری شده، در حالت ماشین‌کاری خشک سایش ابزار بیشتر از حالت مرطوب است. ماشینکاری با حالت روانکاری منجر به کاهش سایش پهلویی می‌شود. با افزایش عمق برشی نیز میزان سایش ابزار افزایش یافته و همچنین با افزایش پیشروی میزان سایش بیشتری در ابزارها قابل مشاهده است. مطابق جدول 4، تأثیر اهمیت پارامترهای برشی بر مقدار سایش در مواد کامپوزیتی به تفکیک میزان F-value در نتایج آزمایش‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در نهایت با در نظر گرفتن همه شرایط و تعامل پارامترها به صورت مشترک و تأثیر کلی این موارد در نتیجه فرآیند مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه نتایج

## 6- مراجع

- [1] Wang, C. , Cheng, K. , Rakowski, R. , Greenwood, D. and Wale, J., "Comparative studies on the effect of pilot drillings with application to high-speed drilling of carbon fibre reinforced plastic (CFRP) composites," *The international journal of advanced manufacturing technology*, Vol.89, N. 9, pp. 3243-3255, 2017.
- [2] Barnes, S. and Pashby, I. R., "Machining of aluminium based metal matrix composites," *Applied composite materials*, Vol. 2, N. 1, pp. 31-42, 1995.
- [3] Durante, S. , Rutelli, G. and Rabezzana, F., "Aluminum-based MMC machining with diamond-coated cutting tools," *Surface and coatings technology*, Vol. 94, pp. 632-640, 1997.
- [4] Haq, A. , Marimuthu, P. and Jeyapaul, R., "Multi response optimization of machining parameters of drilling Al/SiC metal matrix composite using grey relational analysis in the Taguchi method," *The international journal of advanced manufacturing technology*, Vol. 37, N. 3, pp. 250-255, 2008.
- [5] Ciftci, I. , Turker, M. and Seker, U., "CBN cutting tool wear during machining of particulate reinforced MMCs," *Wear*, Vol. 257, N. 9-10, pp. 1041-1046, 2004.
- [6] Asgari, A. , "Cutting Conditions Optimisation of Titanium Metal Matrix Composites in Turning and Face Milling," PhD Thesis , École Polytechnique de Montréal, 2015.
- [7] Zou, B. , Chen, M. , Huang, C. and An, Q., "Study on surface damages caused by turning NiCr20TiAl nickel-based alloy," *Journal of materials processing technology*, Vol. 209, N. 17, pp. 5802-5809, 2009.
- [8] Muthukrishnan, N. and Davim, J. P., "Optimization of machining parameters of Al/SiC-MMC with ANOVA and ANN analysis," *Journal of materials processing technology*, Vol. 209, N. 1, pp. 225-232, 2009.
- [9] Cheung, C.F. , Chan, K. C. , To, S. and Lee, W. B., "Effect of reinforcement in ultra-precision machining of Al6061/SiC metal matrix composites," *Scripta materialia*, Vol. 47, N. 2, pp. 77-82, 2002.
- [10] Said, M. S. , Yusoff, M. S. and Hassan, C. H., "Tool wear in machining AlSi/AlN metal matrix composite 10 wt% reinforcement using uncoated cutting tool," *In applied mechanics and materials*, Vol. 465, pp. 973-977, 2014.
- [11] Sougavabar, M. A. , Niknam, S. A. , Davoodi, B. and Songmene, V., "Milling Al520-MMC reinforced with SiC particles and additive elements Bi and Sn," *Materials*, Vol. 15, N. 4, pp. 1533, 2022.
- [12] Cronjäger, L. and Meister, D., "Machining of fibre and particle-reinforced aluminium," *CIRP annals*, Vol. 41, N. 1, pp. 63-66, 1992.
- [13] Miracle, D. B., "Metal matrix composites—from science to technological significance," *Composites science and technology*, Vol. 65, N. 15-16, pp. 2526-2540, 2005.
- [14] Hung, N. P. , Yeo, S. H. and Oon, B., "Effect of cutting fluid on the machinability of metal matrix composites," *Journal of materials processing technology*, Vol. 67, N. 1-3, pp. 157-161, 1997.
- [15] Srinivasan, A. , Arunachalam, R. M. and Ramesh, S., "Machining performance study on metal matrix composites-a response surface methodology approach," *American journal of applied sciences*, Vol. 9, N. 4, pp. 478-483, 2012.