



بررسی اثرات سرعت برشی و پارامترهای خنک کاری برودتی بر زبری سطح در ماشین کاری کامپوزیت پایه فلزی A356-10%SiC

قاسم نجفی¹، سید علی نیکنام^{2*}، بهنام داودی³، ویکتور سانگمن⁴

- 1- دانشجوی ارشد، مهندسی مکانیک ساخت و تولید، دانشکده 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
4- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، اکول تکنولوژی مونترال، کانادا
* تهران، صندوق پستی 1311416846، saniknam@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله:

چکیده

| | |
|---|--|
| <p>کامپوزیت‌های پایه فلزی با توجه به نقاط قوتشان نسبت به نقاط ضعفشان امروزه بسیار مورد توجه هستند و در زمینه‌های صنعتی، از جمله صنایع خودروسازی، هوافضا و انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله کامپوزیت‌ها می‌توان کامپوزیت‌های پایه آلومینیومی را نام برد. از جمله مزایای این کامپوزیت‌ها می‌توان به مواردی همچون سختی و استحکام بالا و وزن سبک اشاره نمود. همچنین از عمده معایب این دسته از مواد پایین بودن قابلیت ماشین کاری، علی‌الخصوص سایش زیاد و سریع در ابزارهای برشی و مشکلات مربوط به کیفیت سطح می‌باشد. تحقیقات محدودی در مورد تأثیر روش‌های خنک کاری مختلف، بخصوص خنک کاری برودتی بر زبری سطح صورت گرفته است. لذا در این مطالعه اثر پارامترهای برشی و خنک کاری برودتی بر زبری سطح قطعه کار در ماشین کاری A356-10%SiC مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته مشاهده شد که اثر پارامترهای برودتی و سرعت برشی بر شاخص زبری سطح (Ra) مطلوب نبود و نتایج آماری با R² در حدود 65 مبین عدم وجود رابطه قوی آماری بین پارامترهای مطالعه شده و زبری سطح Ra است. با این وجود، در بین پارامترهای برشی و خنک کاری مطالعه شده، فشار برودتی بیشترین تأثیر را بر زبری سطح Ra داشت.</p> | <p>دریافت: 1402/05/21 پذیرش: 1402/07/19</p> <p>کلیدواژگان کامپوزیت پایه فلزی، آلومینیوم، زبری سطح، خنک کاری برودتی، ماشین کاری.</p> |
|---|--|

Study the effects of cutting speed and Cryogenic lubrication parameters on the surface roughness when milling A356-10%SiC

Ghasem Najafy¹, Seyed Ali Niknam^{1*}, Behnam Davoodi¹, Victor Songmene²

- 1- School of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, Ecole de Technologie Superieure, Montreal, Canada
* P.O.B. 1684613114, Tehran, Iran, saniknam@iust.ac.ir

Keywords

Metal matrix composite, Aluminium alloys, Machining, Cryogenic cooling, Surface roughness

Abstract

Nowadays, much attention has been paid to metal matrix composites due to their unique features and extensive applications in numerous manufacturing sectors such as automotive, aerospace and energy. Aluminium metal matrix composites (Al-MMCs) are among the most highly used MMCs. The unique features of Al-MMCs are high hardness and high resistance-to-weight ratio. Moreover, the main drawbacks are the low machinability, high and rapid tool wear, and complications in the surface quality in machining operations. Limited studies reported the use of cooling methods, such as cryogenic strategies, on the surface quality when machining Al-MMCs. Therefore, the effects of cutting parameters and cryogenic cooling method on the surface quality of A356-10%SiC have been studied in this work. According to the conducted analysis, it was observed that cryogenic cooling parameters and cutting speed had negligible statistical effects on the average surface roughness (Ra) of the tested material with R² of 65%, which resembles a weak relationship between studied parameters and Ra. Nevertheless, the cryogenic pressure had the most significant effects on the variation of Ra amongst cutting and lubrication parameters.

1- مقدمه

تقسیم می‌شوند. برای اولین بار در سال 1940 میلادی از الیاف شیشه جهت تقویت پلاستیک‌های مصرفی در ساخت پوشش پلاستیکی آنتن رادار هواپیما استفاده شد. در ادامه، اولین کامپوزیت فایبرگلاس پلاستیک در سال 1942 ساخته شد و طی جنگ جهانی در هواپیماسازی استفاده بیشتری یافتند. از

کامپوزیت از ترکیب ماکروسکوپی (اختلاط فیزیکی) دو یا چند ماده متمایز که فصل مشترک مشخصی بین آن‌ها وجود دارد حاصل می‌شود. انواع کامپوزیت بر اساس زمینه به کامپوزیت زمینه سرامیکی، زمینه پلیمری و زمینه فلزی

Please cite this article using:

برای ارجاع به مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Najafy, G., Niknam, S. A., Davoodi, B., Songmene, V., "Study the effects of cutting speed and Cryogenic lubrication parameters on the surface roughness when milling A356-10%SiC." In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 10, No. 2, pp. 2242-2246, 2023.
https://doi.org/10.22068 /JSTC.2023.2008596.1849

2- اهداف پژوهشی

در پایان جمع‌آوری اطلاعات و مطالعات در رابطه با کامپوزیت پایه آلومینیومی مشاهده گردید که میزان مطالعات در کامپوزیت‌ها همواره با بررسی افزودن مواد تقویت‌کننده SiC در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه بوده است. با این حال، بررسی روش‌های خنک کاری پایدار، بخصوص برودتی و پارامترهای خنک کاری برودتی و مقایسه آن‌ها با روش‌های خنک کاری مختلف بسیار محدود بوده و در مورد بررسی مستقیم پارامترهای برودتی در حین ماشین کاری اطلاعات چندانی برای کامپوزیت‌های پایه فلزی موجود نیست. از این رو هدف از پژوهش صورت گرفته بررسی چالش‌هایی است که کمتر مورد توجه واقع شده است. لذا نوع خنک کاری برودتی و شناخت پارامترهای مؤثر آن، راهکاری مناسب جهت کاهش دشواری‌های ماشین کاری کامپوزیت زمینه فلزی و بهبود کیفیت سطح قطعه کار است. از این رو مقایسه عملکرد روش برودتی با دیگر روش‌های مرسوم همچون غوطه‌وری و MQL جهت یافتن بهترین و بهینه‌ترین شرایط خنک کاری در ماشین کاری این نوع مواد اهمیت ویژه‌ای دارد.

3- روش تحقیق

با استفاده از روش ریخته‌گری همزنی، قطعه‌های مکعبی شکل کامپوزیتی A356 با 10 درصد SiC با ابعاد $22 \times 11.5 \times 1.5$ سانتیمتر ساخته و آماده شد که با نام تجاری A356-10%SiC نشان داده می‌شود. بعد از اتمام عملیات ساخت قطعات کامپوزیتی، جهت حصول اطمینان از توزیع درست و همگن ذرات و تولید با کیفیت، یک قسمت از نمونه ساخت شده پولیش گردید و با میکروسکوپ الکترونی مطابق شکل 1 مورد بررسی قرار گرفت. به جز چند نقطه که این ذرات به هم چسبیده شده‌اند، تقریباً در بقیه نقاط توزیع یکسان مشاهده شد. با توجه به این نکته که تولید کامپوزیتی که مقدار SiC به کار رفته در آن در هیچ منطقه‌ای به هم نجسبیده باشند تقریباً غیرممکن است، لذا جهت اطمینان بیشتر، از تصاویر تحلیل مپ قطعات کامپوزیتی با دستگاه SEM استفاده شد.

برای انجام آزمایش‌های فرزکاری، پارامترهای برشی مطابق مشاوره‌های فنی با شرکت سازنده ابزار و پارامترهای مؤثر روش برودتی انتخاب گردید. برای روش خنک کاری برودتی² و مطابق جدول شماره 1، عمق برش ثابت 1mm، پیشروی ثابت 0.1 mm/Z و طرح آزمایشی تاگوچی L9 به همراه یکبار تکرار آزمون مطابق جدول 2 استفاده شد.

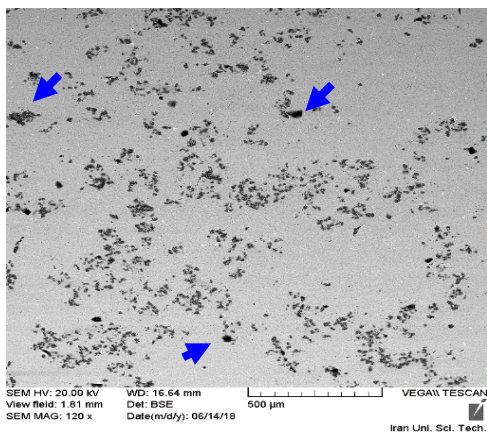


Fig. 1 SEM image of A356 + 10 % SiC

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

سال 1956 نیز استفاده وسیع کامپوزیت‌ها در صنایع فضایی آغاز شد. از دیرباز تمام کشورهای صنعتی 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 [1]. کامپوزیت‌های زمینه فلزی با زمینه آلیاژهای سبک از قبیل منیزیم و آلومینیوم و تقویت‌شده با ذرات سرامیکی از قبیل کاربید سیلیسیوم، آلومینا و زیرکونا را می‌توان به عنوان دسته‌ای از مواد پیشرفته در نظر گرفت که دارای وزن کم، استحکام بالا، مدول الاستیسیته زیاد، ضریب حرارتی کم و مقاومت به سایش خوب می‌باشند. این مواد به دلیل خواص ویژه‌شان در سال‌های اخیر کاربرد بسیاری در صنایع هوایی، خودروسازی، نظامی و ... پیدا کرده‌اند [2-4].

علی‌رغم افزایش تقاضا برای کامپوزیت زمینه فلزی در محصولات هوافضا و خودروسازی، کماکان مشکلات ماشین کاری آن‌ها حل نشده باقی‌مانده است [5]. ویژگی‌های خاص کامپوزیت‌های زمینه فلزی در طول ماشین کاری باعث شده است توانایی ماشین کاری آن‌ها در کل ضعیف قلمداد شود [6]. تحقیقات اولیه در بهبود کیفیت ماشین کاری کامپوزیت‌های زمینه فلزی از سال 1980 و هم‌زمان با استفاده روزافزون کامپوزیت زمینه فلزی در صنایع هوافضا و خودروسازی شروع شده است [7-8]. تعداد بسیار کمی از تلاش‌های صورت گرفته منجر به تولید مدل‌های پیش‌بینی کننده مؤلفه‌های ماشین کاری کامپوزیت زمینه فلزی شده است. مطالعه نیروهای ماشین کاری و انتخاب صحیح پارامترهای ماشین کاری جهت دریافت درک جامعی از رفتار این مواد نیاز است [4]. اکثر تحقیقات در ماشین کاری کامپوزیت زمینه فلزی با استفاده از ابزار کاربیدی یا الماس چند کریستال¹ انجام شده است [9]. با این حال، بسیاری از مطالعات ادعا می‌کنند که ابزار کاربیدی یک انتخاب 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 بر مفید بودن ابزار کاربیدی (به دلیل ارزانتر بودن) دلالت دارد. بسیاری از محققان پیشنهادهایی مبنی بر اینکه ابزار کاربیدی برای ماشین کاری کامپوزیت زمینه فلزی مناسب نیست ارائه داده‌اند. تعدادی از محققان به این نتیجه رسیده‌اند که ابزارهای کاربیدی تحت شرایط خاصی برای ماشین کاری کامپوزیت زمینه فلزی مفید هستند [9].

امروزه دستیابی هم‌زمان به حداکثر نرخ براده برداری، صافی سطح، دقت ابعادی و عمر مفید ابزار به منظور دستیابی به حداکثر راندمان و کاهش هزینه‌های تولید قطعات، امری بسیار ضروری به شمار می‌رود. از طرفی شرایط کاری و خواص مکانیکی ابزارها در فرآیندهای ماشین کاری، تأثیر بسزایی در دستیابی به کیفیت پایدار قطعات و کنترل هزینه‌های تولید دارند. در ماشین کاری برخی مواد به دلیل نرخ بسیار بالای سایش ابزار، شرایط سختی در ماشین کاری به وجود می‌آید. در واقع بالا بودن نرخ حرارت تولید شده در ماشین کاری این مواد که موجب بالا رفتن سریع دما در ناحیه برش می‌شود، عامل اصلی بروز مشکل در این گونه شرایط به شمار می‌رود. عملی‌ترین و مؤثرترین روش به منظور بهبود فرآیند ماشین کاری این دسته از مواد، کاهش دمای برش است. یکی از روش‌های مؤثر در کاهش دمای برش استفاده از خنک کاری برودتی است [12] که نسبت به دیگر روش‌های خنک کاری، توجه کمتری به آن شده است.

² cryogenic

¹ PCD

معین)، به واسطه لوله‌های پنوماتیکی وارد لوله استیل داخل مخزن نیتروژن مایع شود. نیروی لازم برای فشار دادن مایع به سمت پایین توسط هوای فشرده خشک تأمین می‌شود. لوله خروجی استیل در زیر مخزن قرار می‌گیرد. همچنین نحوه اتصال و چیدمان نازل و قطعه کار مطابق شکل 3 است. همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود، نیتروژن مایع مطابق با جدول 1 توسط نازل با زاویه 45 درجه به نوک ابزار برشی تزریق شد.

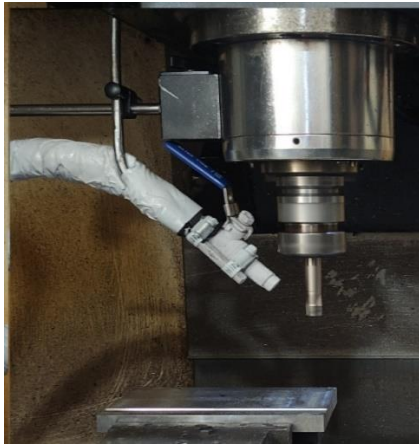


Fig. 3 Overview of cryogenic milling setup

شکل 3 چیدمان قطعات و نازل در حین فرزکاری برودتی

4- تجزیه و تحلیل

تمامی اندازه‌گیری‌های کیفیت سطح ماشین کاری شده مطابق شکل 4 در بخش‌های ابتدا، مرکز و انتهای قطعات انجام شد. سپس اندازه‌ها به نرم‌افزار آماری تأثیر منتقل، و اثر پارامترهای ماشین کاری بر Ra که مؤلفه‌های اصلی کیفیت سطح هستند مورد بررسی قرار گرفت.

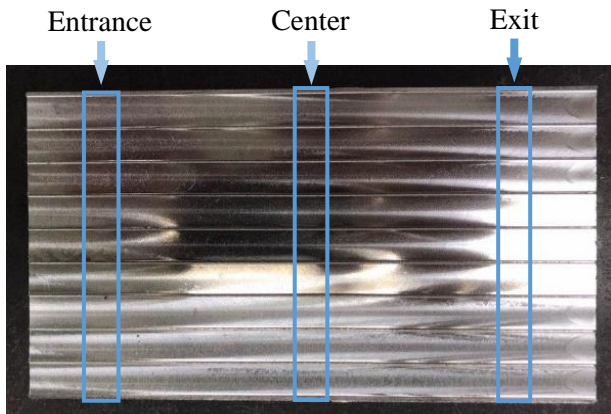


Fig. 4 The section of surface roughness measurement

شکل 4 بخش‌هایی که زبری سطح اندازه‌گیری شد

زبری سطح در روش خنک کاری برودتی

مقدار زبری سطح Ra در تمام آزمون‌های برودتی در سه سرعت مختلف و در سه منطقه از قطعه کار اندازه‌گیری گردید. همچنین با استفاده از آنالیز واریانس، میزان R^2 برای Ra حدوداً 65٪ بود (شکل 5). میزان R^2 به این معنی است که رابطه قوی ریاضیاتی بین پارامترهای برشی و روانکاری برودتی با زبری سطح

جدول 1 پارامترهای برشی استفاده شده

Table 1 Machining parameters used

| شرایط آزمایش | | | پارامترهای برشی |
|--------------|-----|--------|-------------------|
| 240 | 180 | 120 | سرعت برشی (m/min) |
| 3.5 | 2.5 | 1.5 | قطر نازل (mm) |
| 3.5 | 2.5 | 1.5 | فشار برودتی (Bar) |
| 45 | 30 | 15 | فاصله نازل (mm) |
| - | - | 45 | (درجه) زاویه نازل |
| - | - | 0.1 | پیشروی (mm/z) |
| - | - | 1 | عمق برش (mm) |
| - | - | برودتی | مدل روانکاری |

جدول 2 ماشین کاری برودتی با روش تاگوچی L9 DOE

Table 2 The DOE-L9 orthogonal array used for cryogenic machining

| شماره آزمایش | قطر نازل (mm) | فشار برودتی (bar) | فاصله نازل (mm) | سرعت برشی (m/min) |
|--------------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| 1 | 1.5 | 1.5 | 15 | 120 |
| 2 | 1.5 | 2.5 | 30 | 180 |
| 3 | 1.5 | 3.5 | 45 | 240 |
| 4 | 2.5 | 1.5 | 30 | 240 |
| 5 | 2.5 | 2.5 | 45 | 120 |
| 6 | 2.5 | 3.5 | 15 | 180 |
| 7 | 3.5 | 1.5 | 45 | 180 |
| 8 | 3.5 | 2.5 | 15 | 240 |
| 9 | 3.5 | 3.5 | 30 | 120 |

ساخت سیستم تزریق نیتروژن مایع

این سیستم (شکل 2) عمدتاً از یک کمپرسور باد، مخزن نیتروژن مایع، سیستم خشک‌کننده هوا، شلنگ استیل، نازل و فیکسچر نگهدارنده نازل و ابزار برشکاری، قطعه کار و فرز CNC تشکیل شده است. برای اطمینان از فشار مخزن، یک سیستم تخلیه سریع نیز استفاده گردید و برای کنترل جریان خروجی و جلوگیری از هدر رفت نیتروژن مایع، یک شیر جریان قبل از نازل قرار گرفت.

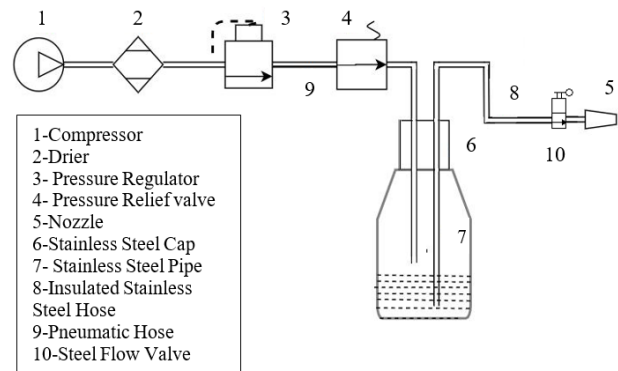


Fig. 2 Liquid nitrogen injection system

شکل 2 سیستم تزریق نیتروژن مایع

در سیستم خنک کاری برودتی، هوای فشرده تولید شده توسط کمپرسور هوا قبل از مخزن نیتروژن مایع باید با استفاده از فیلتر خشک کن پنوماتیک خشک شود و بعد از وارد شدن به رگولاتور تنظیم فشار (برای تأمین فشار

¹ Average surface roughness

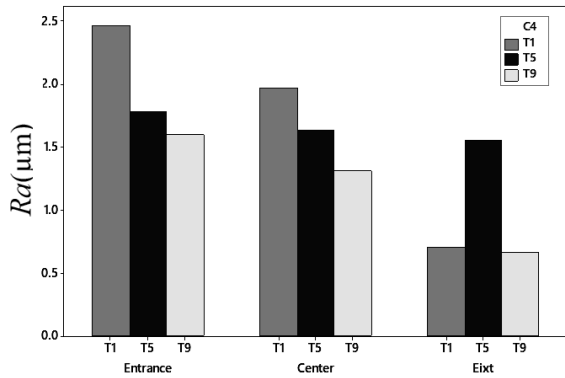


Fig. 7 Surface roughness diagram at a speed of 120 m/min

شکل 7 نمودار زبری سطح در سرعت 120 m/min

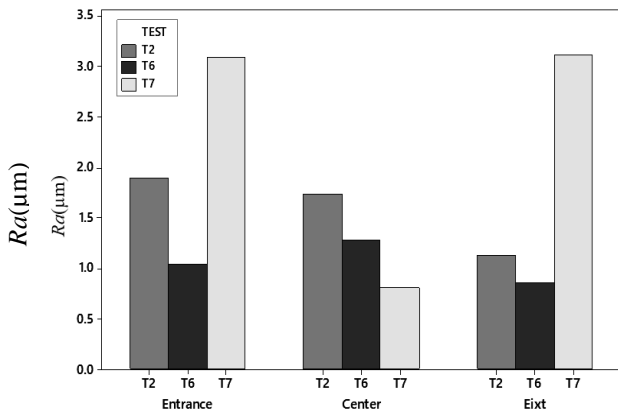


Fig. 8 Surface roughness diagram at a speed of 180 m/min

شکل 8 نمودار زبری سطح در سرعت 180 m/min

شکل 9 نمودار زبری سطح در سرعت برشی 180 m/min را نشان می‌دهد که همراه با تکرار آزمون شماره 8 است. بر این اساس مشاهده می‌شود که پرش‌های ناگهانی مقادیر زبری سطح Ra از بین رفته و مشابه بیشتر آزمون‌ها، شیب زبری سطح رو به پایین بوده و رفته رفته کیفیت سطح بهتر شده است. این تفاوت در تکرار آزمون نشان‌گر این است که در آزمون قبل نوک ابزار با ذرات SiC برخورد کرده و در نتیجه با کنده شدن ذرات SiC از سطح قطعه، منجر به ایجاد حفره‌های ناگهانی در سطح قطعه شده است. مطابق جدول 2 در آزمون شماره 6 و تحت سرعت برشی مشابه، کیفیت سطح بهتری مشاهده شده است.

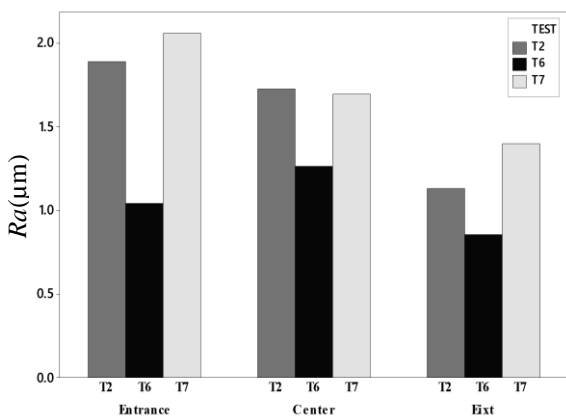


Fig. 9 Surface roughness diagram at a speed of 180 m/min

شکل 9 نمودار زبری سطح در سرعت 180m/min

Ra وجود ندارد. همچنین میزان R^2 شاخصه‌های Rz و Rq نیز به ترتیب 55٪ و 57٪ بودند. اعداد و امار به دست آمده مبین رفتار ماده به علت وجود ناهمگن ذرات SiC می‌باشد که منجر می‌شود کیفیت سطح حساسیت چندانی به پارامترهای بررسی شده نداشته باشد. در نتیجه، کنترل و مدیریت تغییرات شاخصه‌های کیفیت سطح بر اساس پارامترهای برشی مطالعه شده عملاً امکان‌پذیر نیست.

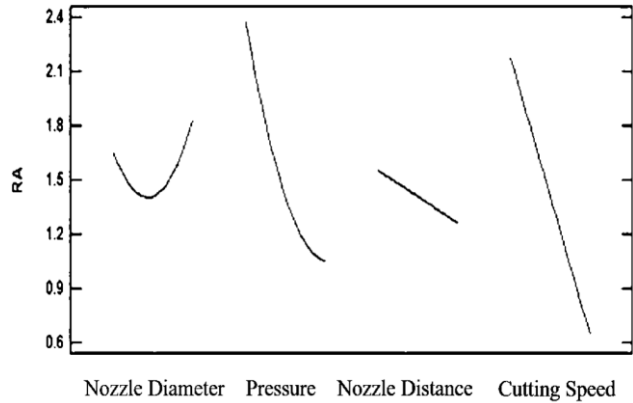


Fig. 5 Anova of Ra in the entrance section with $R^2=65\%$

شکل 5 تحلیل آنالیز واریانس بر روی Ra در بخش Entrance با $R^2=65\%$

بر اساس شکل 6 و با در نظر گرفتن این نکته که Vc سرعت برشی و D قطر نازل و L فاصله نازل تا قطعه کار و P فشار برودتی می‌باشند، می‌توان اذعان کرد که پارامترهای برودتی و برشی تأثیر چندانی بر روی زبری سطح ندارند. با این وجود، در بین پارامترهای برشی و خنک کاری مطالعه شده، فشار برودتی بیشترین تأثیر را بر زبری سطح Ra دارد.

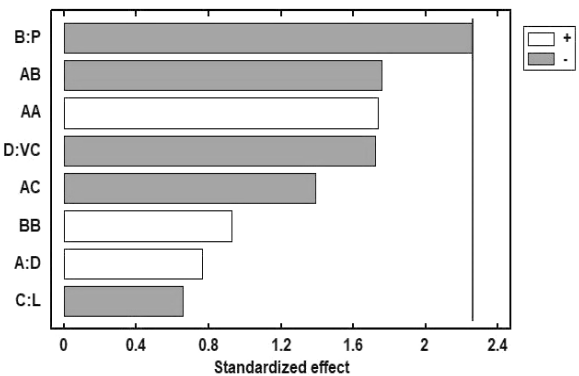


Fig. 6 Effective parameters in surface roughness with $R^2=65\%$

شکل 6 پارامترهای مؤثر در زبری سطح با $R^2=65\%$

با توجه به شکل 7، میزان زبری سطح در ابتدای ماشین کاری بیشترین مقدار را داشته و در ادامه مسیر ماشین کاری به سمت انتهای قطعه از میزان زبری کاسته و کیفیت سطح ارتقا می‌یابد. در سرعت برشی 120m/min، بهترین کیفیت سطح در آزمون شماره 9 (مطابق جدول شماره 2) اتفاق افتاده است. با توجه به شکل 8، به جز آزمون شماره 7 که افزایش ناگهانی زبری در ابتدا و انتهای ماشین کاری مشاهده می‌شود، میزان زبری سطح در این سرعت برشی تقریباً در همه آزمون‌ها، در ابتدا بالاترین مقدار خود را داشته و در ادامه فرایند از میزان زبری سطح کاسته شده است.

و تولید لایه صاف سطح ماشین کاری را مهار می‌کند. با این وجود، آزمایش‌ها و تحقیقات تکمیلی در این حوزه نیاز است.

6- تقدیر و تشکر

این پروژه با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری های علمی بین المللی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری انجام شده است.

7- منابع

- [1] 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.
- [2] Paulo Davim, J., "Diamond tool performance in machining metal-matrix composites," Journal of materials processing technology, vol. 128, no. 1-3, pp. 100-105, 2002.
- [3] António, C. C. and Davim, J. P., "Optimal cutting conditions in turning of particulate metal matrix composites based on experiment and a genetic search model." Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, vol. 33, no. 2, pp. 213-219, 2002.
- [4] Nicholls, C. J., Boswell, B., Davies, I. J., and Islam, M. N., "Review of machining metal matrix composites," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 33, pp. 2429-2441, 2017.
- [5] Gururaja, S., Ramulu, M., Pedersen, W., "Machining of MMCs: a review," Machining Science and Technology, vol. 17, no. 1, pp. 41-73, 2013.
- [6] Shokrani, A., Dhokia, V., Newman, S. T., "Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids," International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 57, pp. 83-101, 2012.
- [7] Aronson, R. B., "Machining composites," Manufacturing engineering, vol. 122, no. 1, 1999.
- [8] Rai, R. N., Datta, G., Chakraborty, M., and Chattopadhyay, A., "A study on the machinability behaviour of Al-TiC composite prepared by in situ technique," Materials Science and Engineering: A, vol. 428, No. 1-2, pp. 34-40, 2006.
- [9] 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.
- [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," In Persian. Materials, Vol. 15, No. 4, pp. 1533, 2022.
- [12] Bannazadeh, R., Riahi, M., Khosroabadi, M., "Experimental Study of Cryogenic Cooling Effect on Tool Wear and Power Consumption During Turning of AISI304", In Persian. Amirkabir J. Mech. Eng., Vol. 50. No. 3. pp. 641-656. 2018
- [13] Saberi, M. Niknam, S. A. Hashemi, R., "On the impacts of cutting parameters on surface roughness, tool wear mode and size in slot milling of A356 metal matrix composites reinforced with silicon carbide elements" Journal of Engineering Manufacture., Vol. 235, No. 10. pp. 1655-1667, 2021

با توجه به شکل 10، زبری سطح در این سرعت برشی نسبت به هم الگوهای مشابهی ندارند. این پراکندگی، پیچیدگی کشف عوامل مؤثر بر کیفیت سطح را نشان می‌دهد. با این حال با توجه به کلیات نمودارهای زبری سطح در هر سه سرعت برشی نسبت به روش‌های خنک کاری خشک و غوطه‌وری و حداقل روان کار در شرایط برشی مشابه [13]، افزایش چشمگیر زبری سطح در روش خنک کاری برودتی قابل مشاهده است، زیرا مایع خنک کاری به طور مؤثر گرمای برش را کاهش می‌دهد [12] و تولید لایه صاف سطح ماشین کاری را مهار می‌کند. با توجه به محدوده Ra به دست آمده در تمامی سطوح می‌توان گفت کیفیت سطح تشکیل شده در روش برودتی مطابق استاندارد ISO محدوده N6 تا N8 متغیر است که برای ماشین کاری دقیق مناسب می‌باشند.

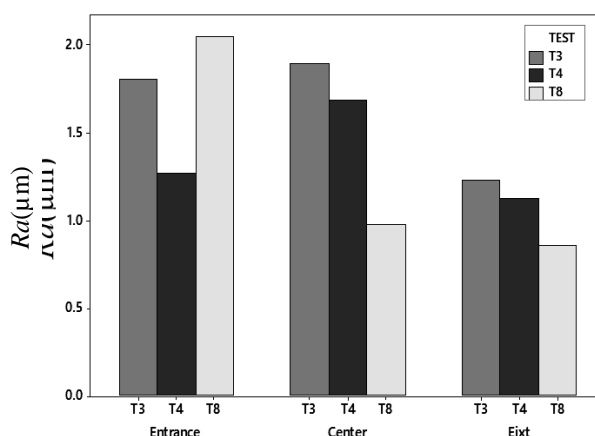


Fig. 10 Surface roughness diagram at a speed of 240 m/min

شکل 10 نمودار زبری سطح در سرعت 240 m/min

5- نتیجه گیری

از بررسی نتایج آزمون‌ها و تحلیل‌های آماری صورت گرفته، نتایج زیر قابل بیان است:

- مواد کامپوزیتی پایه آلومینیوم با تقویت کننده‌های SiC موادی سخت هستند و بدلیل توزیع ناهمگن مواد تقویت کننده و ساینده در ماده پایه، شرایط ماشین کاری برای بدست آوردن کیفیت سطح مطلوب را بدلیل برخورد احتمالی نوک ابزار با مواد ساینده SiC موجود در ماده پایه کمی پیچیده می‌کند. به همین دلیل احتمال اندکی برای وجود رابطه‌ای خطی بین زبری سطح با پارامترهای ماشین کاری وجود دارد. از این رو کنترل و بهینه‌سازی کیفیت سطح نیز دشوار است.
- در بررسی‌های آماری مشاهده گردید که پارامترهای برودتی بر کیفیت سطح (Ra) به دلیل R^2 پایین (حدود 65٪) اثر قابل توجهی نداشت. این امر نشان‌دهنده عدم وجود رابطه معنادار بین نوع خنک کاری و زبری سطح است.
- با استفاده از تحلیل آماری نتایج، پارامترهای برودتی و برشی تأثیر چندانی بر روی زبری سطح ندارند. با این وجود، در بین پارامترهای برشی و خنک کاری مطالعه شده، فشار برودتی بیشترین تأثیر را بر زبری سطح Ra دارد.
- در روش خنک کاری برودتی، زبری سطح در هر سه سرعت برشی نسبت به روش‌های قبلی افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد. دلیل عمده این پدیده را می‌توان به حضور دائم و مؤثر مایع روانکاری در سطح برشی دانست که گرمای حاصله از ماشین کاری را کاهش می‌دهد