



Investigation of Cutting Force and Tool Wear in Aluminum Matrix Composite Milling at Different Percentages of SiC



ARTICLE INFO

Authors

Vahid Tahmasbi^{1*}
Sepehr Aeinehbandi¹,
MohammadHafez Baghi¹,

¹ Department of Mechanical Engineering, Arak University of

* Correspondence

Address:
Tahmasbi@arakut.ac.ir

How to cite this article

V.Tahmasbi, S. Aeinehbandi, M.H.Baghi. Investigation of cutting force and tool wear in aluminum matrix composite milling at different percentages of SiC. Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 2nd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2022; 22(10):59-64.

ABSTRACT

The use of aluminum with a reinforced coefficient to increase this material compared to aluminum is used in automotive, aircraft and locomotive industries, in this article, while examining the cutting force and erosion of tools on the machining process of composite aluminum in different percentages of SiC, the machining characteristics are investigated. The end milling operation is performed to obtain the minimum cutting force, tool wear with the maximum removal rate using gray relational analysis based on response surface design method (RSM). Twenty-seven experimental runs were carried out based on the response surface design method (RSM) by changing the parameters of spindle speed, feed and depth of cut in different weight percentages of reinforcements such as silicon carbide (SiC-5%, 10%, 15%). and alumina (5-5% Al₂O₃) in the aluminum metal base 7075. Gray relation analysis was used to solve the multi-response optimization problem by changing the weights for different responses based on quality or productivity process requirements. Proper selection of input parameters (spindle speed 1000 rpm, feed 0.03 mm/rev, depth of cut 1 mm and 5% SiC) produces high material removal rate with fine surface, less tool wear and low cutting force.

Keywords End milling, Machining, Tool Wear Rate, Cutting Forces, Optimization

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی ماشین کاری و ماشین های ابزار پیشرفته.
مهر ۱۴۰۱، دوره ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۵۹-۷۴.



بررسی رفتار نیروی برشی و فرسایش ابزار در فرزکاری کامپوزیت آلومینیوم در درصدهای مختلف SiC



چکیده

مشخصات مقاله

نویسنده ها

وحید طهماسبی^{۱*}
سپهر آئینه بندی^۱
محمدحافظ باقی^۱

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران.

* نویسنده مسئول

آدرس:

Tahmasbi@arakut.ac.ir

استفاده از کامپوزیت آلومینیوم تقویت شده با ذرات سیلیسیم کارباید و بهبود برخی از خواص مکانیکی مهم نسبت به آلومینیوم در صنایع خودروسازی، هواپیماسازی و لوکوموتیو کاربرد دارد، در این مقاله ضمن بررسی نیروی برشی و فرسایش ابزار بر فرایند ماشین کاری آلومینیوم کامپوزیت در درصد های مختلف SiC به بررسی ویژگی های ماشین کاری عملیات فرز کاری انگشتی میپردازد تا حداقل نیروی برش، سایش ابزار با حداکثر نرخ براده برداری را با استفاده از تحلیل رابطه ای خاکستری مبتنی بر روش طراحی سطح پاسخ (RSM) به دست آورد. بیست و هفت اجرای آزمایشی بر اساس روش طراحی سطح پاسخ (RSM) با تغییر پارامترهای سرعت اسپیندل، پیشروی و عمق برش در درصد وزنی مختلف تقویت کننده ها مانند کاربید سیلیکون (SiC-5٪، ۱۰٪، ۱۵٪) انجام شد. و آلومینا (Al₂O₃-5٪) در زمینه فلزی آلومینیوم ۷۰۷۵. تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری برای حل مسئله بهینه سازی چند پاسخ با تغییر وزن برای پاسخ های مختلف بر اساس الزامات فرایند کیفیت یا بهره وری استفاده شد. انتخاب مناسب پارامترهای ورودی (سرعت اسپیندل ۱۰۰۰ دور در دقیقه، تغذیه ۰/۰۳ میلی متر بر دور، عمق برش ۱ میلی متر و ۵ درصد SiC) نرخ براده برداری بالای مواد همراه با سطح ریز، سایش ابزار کمتر و نیروی برش کم را ایجاد می کند.

کلیدواژه ها فرز کاری، کامپوزیت آلومینیوم تقویت شده با سیلیسیم کارباید، ماشین کاری، نرخ فرسایش ابزار، نیروهای برشی، بهینه سازی

۱- مقدمه

کامپوزیت ها در بسیاری از بخش های صنعتی پیشرو کاربرد گسترده تری پیدا می کنند. وقتی نوبت به تولید قطعات با تلورانس نزدیکتر می رسد، ماشینکاری انتخاب پیش فرض است. کامپوزیت های زمینه فلزی ترکیبی، مواد نسل دوم، کاربردهای متنوعی در بسیاری از زمینه های مهندسی پیدا می کنند و به عنوان جایگزینی برای مواد متعدد عمل می کنند. به ویژه صنایع خودروسازی، هواپیماسازی و لوکوموتیو نیاز به جایگزینی مواد آهنی در اجزای مکانیکی با کامپوزیت های سبک تر آلومینیوم (Al) ماتریس با استحکام بالا دارند.

فرز پایانی به طور گسترده در صنایع مختلف تولیدی از جمله بخش های هوافضا و خودرو استفاده می شود، جایی که کیفیت عامل مهمی در تولید شکاف ها، پاکت ها، قالب های دقیق و قالب ها است^[1].

احمد و همکاران^[2] برای بهینه سازی پارامترهای حفاری نرخ پیشروی، سرعت اسپیندل، مواد مته و درصد وزنی ذرات B4C بر اساس ویژگی های عملکردی چندگانه نیروی رانش، گشتاور و زبری سطح با استفاده از GRA مورد بررسی قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری در روش تاگوچی برای بهینه سازی مسائل چند پاسخ ابزار بسیار مفیدی برای پیش بینی زبری سطح، نیروی برش و گشتاور در حفاری کامپوزیت های زمینه فلزی کاربرد آلومینیوم/سیلیکون بود^[3].

امل کورام و بابر^[4] به طور تجربی ریز فرز آلومینیوم ۷۰۷۵ را برای بهینه سازی پاسخ های چندگانه مانند سایش ابزار، نیرو و کیفیت سطح به طور همزمان با تغییر پارامترهای برش سرعت اسپیندل، پیشروی در هر دندان و عمق برش با استفاده از رابطه خاکستری مورد مطالعه قرار دادند. تحلیل و بررسی، آنها به این نتیجه رسیدند که سرعت اسپیندل پارامتر مهمتری برای سایش ابزار و نیروی برش است. برای کیفیت سطح، پیشروی به ازای هر دندان پارامتر معنی دارتری بود.

به طور کلی عملیات ماشین کاری در پاس های مختلف انجام می شود. در حالی که پاس اولیه یک برش ناهموار است، آخرین برش پایان است. لازم به ذکر است که اهداف خشن تراشی به طور مشخص با اهداف برش پایانی متفاوت است. در خشن تراشی، اهمیت به بهره وری است تا کیفیت. از سوی دیگر، در برش نهایی، به جای بهره وری، بر کیفیت سطح تأکید می شود. وزن ها به عنوان وسیله ای برای توصیف الزامات فرآیند استفاده می شوند. از آنجایی که الزامات فرآیند متفاوت است، وزن های مورد استفاده در GRA نیز متفاوت است. بنابراین، لازم است برای نیازهای مختلف، مجموعه وزن های متفاوتی انتخاب شود. بر این اساس، مجموعه متفاوتی از تنظیمات پارامتر، هم خشن تراشی و هم

برش نهایی وارد می شود. می توان با تغییر وزن ها متناسب با نیازهای مختلف سازگار شد.

وابستگی متقابل بین متغیرهای پاسخ، انتخاب پارامترهای فرآیند را برای رسیدن به سطح مورد نیاز در همه پاسخ ها دشوار می سازد. بنابراین بهینه سازی همزمان پاسخ ها مورد نیاز است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

ماده ماتریسی مورد استفاده برای تهیه کامپوزیت ها آلیاژ آلومینیوم Al7075 بود. مواد تقویت کننده مورد استفاده آلومینا و کاربید سیلیکون بودند. ذرات کاربید سیلیکون مورد استفاده در اندازه ۶۳ میکرومتر و اندازه متوسط ذرات آلومینا ۴۵ میکرومتر بود. چگالی ذرات Al2O3 بیشتر از SiC است. نسبت Al2O3 به عنوان ۵٪ ثابت است، درصد وزنی SiC را به عنوان ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ تغییر می دهد. سه نمونه از کامپوزیت با اندازه ۱۳۰ میلی متر × ۱۰۰ میلی متر × ۵۰ میلی متر با فرآیند ریخته گری به هم زدن ساخته شد و توزیع یکنواخت آرماتورها را تضمین کرد. آلیاژ آلومینیوم در یک کوره الکتریکی در یک بوته ذوب شد. مخلوط آلومینا و SiC از قبل تا دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد گرم شد و مخلوط به فلز مذاب آلومینیوم در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد اضافه شد و پیوسته هم زد.

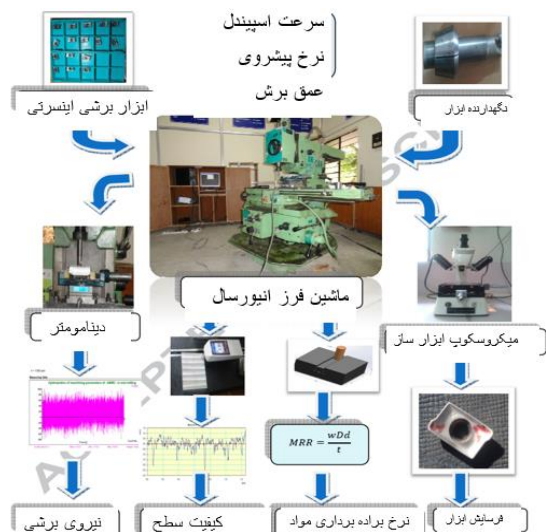
۲-۲- طراحی تجربی

استفاده از طراحی آزمایش ها (DOE) می تواند برای کاهش موفقیت آمیز تعداد اجراهایی که برای یک مشکل طراحی بزرگ تر و واقعی تر مورد نیاز است، استفاده شود. روش شناسی سطح پاسخ (RSM) یک ابزار امیدوارکننده به دلیل دقت در مدل سازی و اعتبارسنجی تجربی است.

محمد و همکاران^[5] به این نتیجه رسیدند که RSM می تواند تأثیر پارامترها را بر پاسخ پیش بینی کند و ابزار بهتری برای بهینه سازی است. شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و منطق فازی نیز برای مسائل مدل سازی غیرخطی استفاده می شوند. اما ANN به تعداد بیشتری از داده های تجربی برای آموزش نیاز دارد. منطق فازی از عدم قطعیت استفاده می کند و قوانین مناسبی باید شکل بگیرد در غیر این صورت منجر به خطا می شود.

روش شناسی سطح پاسخ (RSM) یک ابزار امیدوارکننده به دلیل دقت در مدل سازی و اعتبارسنجی تجربی است. اهمیت برهمکنش ها و ترم مربع پارامترها به وضوح در RSM پیش بینی می شود، در حالی که تکنیک تاگوچی معمولاً برای برهمکنش های خطی استفاده می شود. سطح دو بعدی و سه بعدی تولید شده توسط RSM می تواند به تجسم اثر پارامترها بر پاسخ در کل محدوده مشخص شده کمک کند^[6].

الگوریتم ژنتیک تعمیم یافته (GGA) توسط Ting-Hua Yi و همکاران اتخاذ شده است^[7].



شکل ۱) راه اندازی و اندازه گیری ماشینکاری

عمر ابزار و مصرف برق تأثیر قابل توجهی بر اقدامات ماشینکاری دارد. کیفیت سطح، فرسایش ابزار و نیروی برش، که به عنوان "کمتر-بهرتر" مشخص می شود، به صورت معادله (۱) محاسبه می شود:

$$x_i^*(k) = \frac{\max(x_i^0(k)) - x_i^0(k)}{\max(x_i^0(k)) - \min(x_i^0(k))} \quad (1)$$

۳-نتایج و بحث

متغیر خروجی برای هر کدام از ۲۷ آزمایش انجام شده، در جدول ۲ نشان داده شده است که جهت افزایش دقت نتایج آزمایش، هر کدام از آزمایش‌ها را ۳ مرتبه تکرار کرده و میانگین بدست آمده به عنوان کیفیت سطح و نرخ براده برداری ثبت شده است؛ همچنین جهت جلوگیری و حذف خطاهای پیشبینی نشده، انجام آزمایش‌ها بصورت تصادفی صورت پذیرفته است.

با به کارگیری روش سطح پاسخ یک معادله رگرسیون خطی مرتبه دوم برای کیفیت سطح و نرخ براده برداری بر حسب فاکتورهای ورودی بدست آمده است که از داده‌های آزمایش و یا از نزدیک‌ترین نقاط به داده‌ها که در مدل‌سازی بدست آمده است عبور میکند؛ همچنین تفسیر نتایج و بهینه‌سازی بر روی مدل صورت پذیرفته است.

نتایج بدست آمده از آنالیز واریانس (ANOVA) که از آنالیز نیروی برشی و فرسایش ابزار ماشین‌کاری شده حاصل گشته، در جدول ۳ نشان داده شده است.

آنالیز واریانس بیان کننده میزان تاثیرگذاری ترم‌های معادله رگرسیون می‌باشد و در طراحی آزمایش‌ها میزان تاثیر فاکتورهای ورودی و برهمکنش‌های میان آن‌ها را بر روی فاکتور خروجی تعیین می‌کند.

عوامل متعددی مانند سرعت، پیشروی، عمق برش، هندسه ابزار، جنس قطعه کار/ابزار و شرایط برش بر ویژگی‌های ماشین‌کاری تأثیر می‌گذارند. چهار عوامل کنترل کننده یعنی سرعت اسپیندل، پیشروی، عمق برش و درصد وزنی SiC انتخاب شدند. این عوامل از مطالعه ادبیات مسائل بهینه سازی ماشین‌کاری و مطالعات ماشین‌کاری [8-10] انتخاب شدند. جدول ۱ پارامترهای ماشین‌کاری مورد استفاده به عنوان عوامل کنترل و سطوح آنها را فهرست می کند. مقادیر بر اساس تنظیمات ماشین‌کاری که معمولاً در صنایع برای Al7075 با درج‌های پوشش‌دهنده شده کاربرد دنبال می‌شوند، گرفته شد.

جدول ۱) عوامل کنترل و سطوح برای فرز پایانی

پارامترهای ورودی	۱	۲	۳
سرعت اسپیندل (rpm)	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰
پیشروی (mm/rev)	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴
عمق برش (mm)	۱	۱/۵	۲
درصد SiC	۵	۱۰	۱۵

۲-۳- روش آزمایشی

۲-۳-۱- اندازه گیری نیروی برش

نیروی برش با استفاده از سیستم جمع‌آوری داده‌های کنترل‌شده کامپیوتری در زمان واقعی و با کمک دینامومتر (KISTLER) نوع ۹۲۵۷ B با تقویت‌کننده شارژ A۵۰۷۰ اندازه‌گیری شد. در طول عملیات فرز پایانی، بار در سنسورهای پیزوالکتریک بارگیری می شود. این است به طور متناسب به سیگنال های ولتاژ در تقویت کننده شارژ تبدیل می شود. از نرم افزار (KISTLER DynoWare) برای جمع آوری داده ها به صورت نمودار استفاده شد. یک اسکرین شات معمولی برای نمودار نیروی برش در شکل ۳ نشان داده شده است.

۲-۳-۲- اندازه گیری فرسایش ابزار

سایش پهلوی مهم‌ترین عامل برای اندازه گیری عمر ابزار است. میکروسکوپ ابزار ساز (METZER) (مدل: Metz-1395) برای اندازه گیری سایش سطح کناره ابزار بر روی درج ابزار برش با روکش کاربرد پس از پایان عملیات فرز استفاده شد. برای هر اجرای آزمایشی از لبه برش جدید برای عرض نمونه ۱۰۰ میلی متر استفاده شد. فرسایش ابزار با توجه به سطح نمونه فرز شده متفاوت است. زمانی که ابزار بر روی ذرات تقویت شده فرز می شود حداکثر و روی فلز پایه حداقل بود.

۲-۴- تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری

کیفیت و بهره وری هم برای مشتریان و هم برای تولیدکنندگان مهم است. اهداف انتخاب شده به حداقل رساندن فرسایش ابزار و نیروی برش بود. افزودن آرماتورها منجر به افزایش استحکام کامپوزیت شده و قابلیت ماشین‌کاری آنها تحت تأثیر وجود آرماتورها سخت‌تر است. مشخص شده است که پرداخت سطح،

جدول ۲) انجام آزمایش‌های بررسی اثر فاکتورهای ورودی بر روی کیفیت سطح و نرخ براده برداری

شماره آزمایش	سرعت اسپیندل (rpm)	پیشروی (mm/rev)	عمق برش (mm)	درصد SIC	نیروی برش (N)	فرسایش (mm)
۱	۱۰۰۰	۰/۰۳	۱/۰	۱۰	۰/۵۰۱	۷۵۹/۴۹
۲	۱۵۰۰	۰/۰۲	۱/۵	۵	۰/۴۲۰	۸۰۵/۹۷
۳	۲۰۰۰	۰/۰۳	۱/۵	۱۵	۰/۵۰۲	۱۲۵۸/۸۰
۴	۱۵۰۰	۰/۰۳	۲/۰	۱۵	۰/۵۹۹	۸۱۲/۶۱
۵	۱۵۰۰	۰/۰۳	۱/۰	۵	۰/۵۲۳	۷۵۶/۳۰
۶	۱۵۰۰	۰/۰۳	۱/۵	۱۰	۰/۵۶۲	۲۱۴۸/۹۰
۷	۱۵۰۰	۰/۰۳	۱/۵	۱۰	۰/۵۶۲	۲۱۴۸/۹۰
۸	۲۰۰۰	۰/۰۳	۱/۰	۱۰	۰/۵۶۲	۹۵۶/۳۰
۹	۱۵۰۰	۰/۰۴	۱/۰	۱۰	۰/۵۸۶	۱۴۰۶/۳۰
۱۰	۱۰۰۰	۰/۰۳	۱/۵	۱۵	۰/۵۶۲	۸۳۴/۴۵
۱۱	۱۵۰۰	۰/۰۳	۲/۰	۵	۰/۵۳۴	۱۵۰۶/۳۰
۱۲	۱۵۰۰	۰/۰۲	۱/۵	۱۵	۰/۵۶۲	۸۰۵/۹۷
۱۳	۲۰۰۰	۰/۰۳	۱/۵	۵	۰/۶۰۵	۲۱۱۱/۱۰
۱۴	۱۵۰۰	۰/۰۳	۱/۵	۱۰	۰/۶۰۰	۲۱۴۸/۹۰
۱۵	۱۵۰۰	۰/۰۲	۲/۰	۱۰	۰/۵۴۲	۱۰۴۳/۵۰
۱۶	۱۵۰۰	۰/۰۴	۱/۵	۱۵	۰/۶۳۸	۱۱۲۶/۰۰
۱۷	۱۵۰۰	۰/۰۴	۲/۰	۱۰	۰/۶۵۴	۲۷۹/۷۰
۱۸	۲۰۰۰	۰/۰۲	۱/۵	۱۰	۰/۵۸۷	۱۳۰۳/۶۰
۱۹	۱۵۰۰	۰/۰۳	۱/۰	۱۵	۰/۵۱۴	۷۶۲/۷۱
۲۰	۲۰۰۰	۰/۰۳	۲/۰	۱۰	۰/۶۱۰	۱۴۶۳/۴۰
۲۱	۱۵۰۰	۰/۰۴	۱/۵	۵	۰/۵۲۱	۲۱۰۹/۴۰
۲۲	۱۰۰۰	۰/۰۲	۱/۵	۱۰	۰/۵۲۱	۶۹۸/۸۲
۲۳	۲۰۰۰	۰/۰۴	۱/۵	۱۰	۰/۶۵۴	۲۱۶۰/۰۰
۲۴	۱۰۰۰	۰/۰۴	۱/۵	۱۰	۰/۵۷۵	۹۲۵/۹۸
۲۵	۱۰۰۰	۰/۰۳	۱/۵	۵	۰/۴۱۲	۱۰۸۸/۷۰
۲۶	۱۵۰۰	۰/۰۲	۱/۰	۱۰	۰/۵۳۴	۷۳۴/۱۳
۲۷	۱۰۰۰	۰/۰۳	۲/۰	۱۰	۰/۵۰۱	۸۱۲/۶۱

۳-۱- تحلیل و بهینه‌سازی نیروی برشی

قابلیت اطمینان ۹۲/۴۰٪ بیانگر نیروی برشی است که مقدار Pvalue کوچکتر از ۰/۰۵ جهت تعیین اثر مولفه‌های مدل به کار رود. به منظور اصلاح مدل فوق، پارامترهای غیر موثر حذف شده است و آنالیز واریانس آن در جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشد؛ همچنین معادله ۲ نشان دهنده معادله رگرسیون اصلاح شده مدل می‌باشد.

$$\text{cutting force } N = -332.5 + 0.1717 \text{ Spindle Speed (rpm)} + 12184 \text{ Feed (mm/rev)} + 68/6 \text{ Depth of Cut (mm)} + 8.59 \text{ Percentage of SiC} - 0/585 \text{ Percentage of SiC} * \text{Percentage of SiC} - 4/95 \text{ Spindle Speed (rpm)} * \text{Feed (mm/rev)} - 2417 \text{ Feed (mm/rev)} * \text{Depth of Cut (mm)} - 239 \text{ Feed (mm/rev)} * \text{Percentage of SiC} + 5/80 \text{ Depth of Cut (mm)} * \text{Percentage of SiC}$$

مقدار قابلیت اطمینان ۸۸/۳۳٪ نشان دهنده دقت مدل حاکم بر آزمایش است و هرچه مقدار این مولفه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، بیان کننده این است که مدل‌سازی صورت گرفته بر روی کیفیت سطح از دقت بالایی برخوردار بوده و قابل اطمینان می‌باشد؛ همچنین

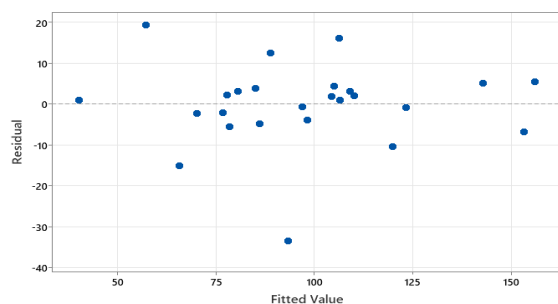
جدول ۳) آنالیز واریانس نیروی برشی بر حسب پارامترهای موثر در ماشین‌کاری کامپوزیت آلومینیوم

P-Value	F-Value	میانگین مربعات	جمع مربعات	درجه آزادی	ترم ها
۰/۰۰۰	۱۰/۴۲	۱۹۷۷۷/۳	۱۹۷۷۷/۳	۱۴	مدل
۰/۰۰۰	۲۴/۰۳	۱۳۰۳۰/۲	۱۳۰۳۰/۲	۴	خطی
۰/۰۰۵	۱۱/۷۳	۱۵۹۰/۹	۱۵۹۰/۹	۱	سرعت اسپیندل (rpm)
۰/۰۰۳	۱۴/۱۱	۱۹۱۳/۴	۱۹۱۳/۴	۱	نرخ پیشروی (mm/rev)
۰/۰۰۰	۶۴/۶۹	۸۷۷۰/۲	۸۷۷۰/۲	۱	عمق برش (mm)
۰/۰۳۶	۵/۵۷	۷۵۵/۷	۷۵۵/۷	۱	درصد SiC
۰/۱۹۵	۱/۸۹	۲۵۵/۸	۱۳۵/۶	۱	(سرعت اسپیندل) ۲
۰/۵۱۷	۰/۴۵	۶۰/۵	۳۳۴/۷	۱	(نرخ پیشروی) ۲
۰/۹۸۶	۰/۰۰	۰/۰	۱۵۱/۹	۱	(عمق برش) ۲
۰/۰۱۰	۹/۲۸	۱۲۵۸/۴	۱۲۵۸/۴	۱	(درصد SiC) ۲
۰/۰۰۱	۱۸/۱۱	۲۴۵۴/۷	۲۴۵۴/۷	۱	سرعت اسپیندل * نرخ پیشروی
۰/۶۱۳	۰/۲۷	۳۶/۵	۳۶/۵	۱	سرعت اسپیندل * عمق برش
۰/۱۲۰	۲/۸۱	۳۸۰/۴	۳۸۰/۴	۱	سرعت اسپیندل * درصد SiC
۰/۰۶۰	۴/۳۱	۵۸۴/۲	۵۸۴/۲	۱	نرخ پیشروی * عمق برش
۰/۰۶۳	۴/۲۱	۵۷۰/۷	۵۷۰/۷	۱	نرخ پیشروی * درصد SiC
۰/۰۲۸	۶/۱۹	۸۳۹/۸	۸۳۹/۸	۱	عمق برش * درصد SiC

جدول ۴) آنالیز واریانس مدل اصلاح شده در ماشین‌کاری کامپوزیت آلومینیوم

P-Value	F-Value	میانگین مربعات	جمع مربعات	درجه آزادی	Source
۰/۰۰۰	۱۴/۳۰	۱۸۹۰۷/۰	۰/۱۸۹۰۷	۹	مدل
۰/۰۰۰	۲۲/۱۸	۱۳۰۳۰/۲	۲/۱۳۰۳۰	۴	خطی
۰/۰۰۴	۱۰/۸۳	۱۵۹۰/۹	۹/۱۵۹۰	۱	سرعت اسپیندل (rpm)
۰/۰۰۲	۱۳/۰۳	۱۹۱۳/۴	۴/۱۹۱۳	۱	نرخ پیشروی (mm/rev)
۰/۰۰۰	۵۹/۷۰	۸۷۷۰/۲	۲/۸۷۷۰	۱	عمق برش (mm)
۰/۰۳۷	۵/۱۴	۷۵۵/۷	۷۵۵/۷	۱	درصد SiC
۰/۰۰۶	۹/۷۲	۱۴۲۷/۳	۱۴۲۷/۳	۱	(درصد SiC) ۲
۰/۰۰۱	۱۶/۷۱	۲۴۵۴/۷	۲۴۵۴/۷	۱	سرعت اسپیندل * نرخ پیشروی
۰/۰۶۲	۳/۹۸	۵۸۴/۲	۵۸۴/۲	۱	نرخ پیشروی * عمق برش
۰/۰۶۵	۳/۸۹	۵۷۰/۷	۵۷۰/۷	۱	نرخ پیشروی * درصد SiC
۰/۰۲۹	۵/۷۲	۸۳۹/۸	۸۳۹/۸	۱	عمق برش * درصد SiC

پراکندگی تصادفی داده‌ها در توزیع باقیمانده‌ها (شکل ۲) و عدم وجود نظم مشخص در آنها، گویای این واقعیت است که مدل‌سازی انجام شده و نتایج حاصل از آن، از دقت بالایی برخوردار است.



شکل ۲) پراکندگی باقیمانده‌ها بر روی مدل‌سازی انجام شده

درصد SIC تا مقدار معینی طبق نمودار افزایش می‌یابد و سبب افزایش نیروی برشی می‌شود، اما بعد از آن مقدار معین از نیروی برش کاسته شده است.

۳-۳- تحلیل و بهینه‌سازی فرسایش ابزار

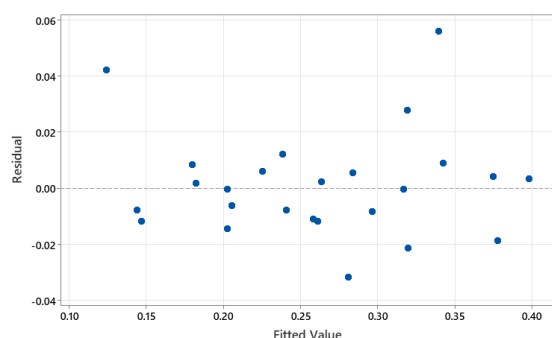
قابلیت اطمینان ۹۷/۱۷٪ بیانگر نرخ فرسایش ابزار است که مقدار Pvalue کوچکتر از ۰/۰۵ جهت تعیین اثر مولفه‌های مدل به کار رود. به منظور اصلاح مدل فوق، پارامترهای غیر موثر حذف شده است و آنالیز واریانس آن در جدول ۵ قابل مشاهده می‌باشد؛ همچنین معادله ۳ نشان دهنده معادله رگرسیون اصلاح شده مدل می‌باشد.

جدول ۵ آنالیز واریانس مدل اصلاح شده فرسایش ابزار بر حسب پارامترهای موثر در ماشین‌کاری کامپوزیت آلومینیوم

ترم ها	جمع درجه آزادی	میانگین مربعات	F-Value	P-Value
مدل	۴	۰/۱۴۰۵۵۵	۸۶/۱۶	۰/۰۰۰
خطی	۴	۰/۱۴۰۵۵۵	۸۶/۱۶	۰/۰۰۰
سرعت اسپیندل (rpm)	۱	۰/۰۸۹۲۶۹	۲۱۸/۸۹	۰/۰۰۰
نرخ پیشروی (mm/rev)	۱	۰/۰۱۱۲۸۵	۲۷/۶۷	۰/۰۰۰
عمق برش (mm)	۱	۰/۰۰۹۲۹۶	۲۲/۷۹	۰/۰۰۰
درصد SiC	۱	۰/۰۳۰۷۰۴	۷۵/۲۹	۰/۰۰۰

$$\text{Tool wear mm} = -0.2745 + 0.000173 \text{ Spindle Speed(rpm)} + 3.067 \text{ Feed(mm/rev)} + 0.0557 \text{ Depth of Cut(mm)} + 0.01012 \text{ Percentage of SiC} \quad (۳)$$

مقدار قابلیت اطمینان ۹۴/۰۰٪ نشان دهنده دقت مدل حاکم بر آزمایش است و هرچه مقدار این مولفه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، بیان‌کننده این است که مدل‌سازی صورت گرفته بر روی کیفیت سطح از دقت بالایی برخوردار بوده و قابل اطمینان می‌باشد؛ همچنین پراکندگی تصادفی داده‌ها در توزیع باقیمانده‌ها (شکل ۵) و عدم وجود نظم مشخص در آنها، گویای این واقعیت است که مدل‌سازی انجام شده و نتایج حاصل از آن، از دقت بالایی برخوردار است.



شکل ۵ پراکندگی باقیمانده‌ها بر روی مدل‌سازی انجام شده

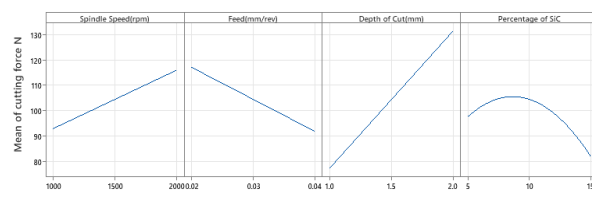
۳-۴- اثر پارامترها بر روی فرسایش ابزار

شکل های ۴ که با استفاده از روش سطح پاسخ بدست آمده‌اند، بر اساس مدل‌سازی صورت گرفته رفتار کیفیت سطح را تحت تاثیر فاکتورهای ورودی مختلف و به روش سطح پاسخ، ارائه می‌نمایند.

۳-۲- اثر پارامترها بر روی نیروی برشی

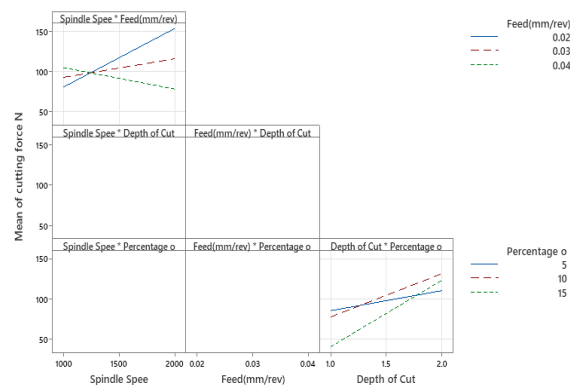
با در نظر گرفتن مدل‌سازی صورت گرفته و حذف ترم‌های غیر موثر در مدل، سعی بر آن است تا تاثیر سرعت دورانی، عمق برش و نرخ پیشروی بر روی رفتار نیروی برش مشخص گردد. به همین منظور به تحلیل و بررسی منحنی‌های اثر فاکتورهای اصلی که از تحلیل به روش سطح پاسخ بدست آمده است و نمودارهای برهمکنش و کانتورپلات‌های اثر برهمکنش پارامترهای موثر پرداخته شده است.

شکل‌های ۳، که با استفاده از روش سطح پاسخ بدست آمده‌اند، براساس مدل‌سازی صورت گرفته رفتار نیروی برشی را تحت تاثیر فاکتورهای ورودی مختلف و به روش سطح پاسخ، ارائه می‌نمایند.

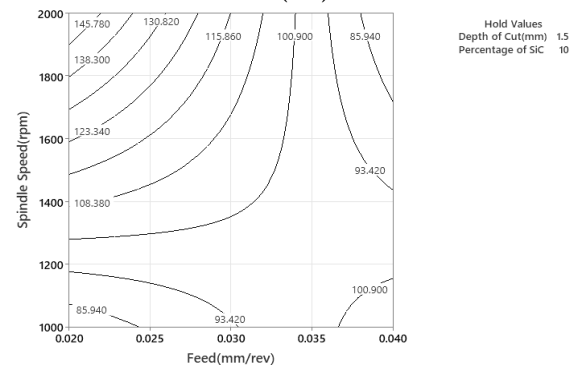


شکل ۳ اثر پارامترهای اصلی بر روی رفتار نیروی برش

در شکل‌های ۳ سرعت اسپیندل و عمق برش با افزایش این پارامتر ها، نیروی برش (cutting force) افزایش می‌یابد، اما در نمودار نرخ پیشروی (Feed) با افزایش این پارامتر، نیروی برش کاهش می‌یابد.



(الف)



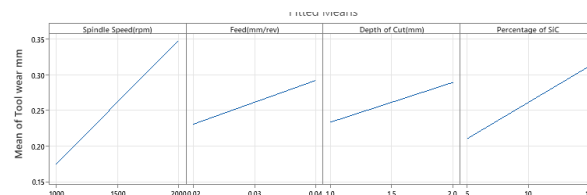
(ب)

شکل ۴ نمودار برهم‌کنش سرعت اسپیندل و نرخ پیشروی

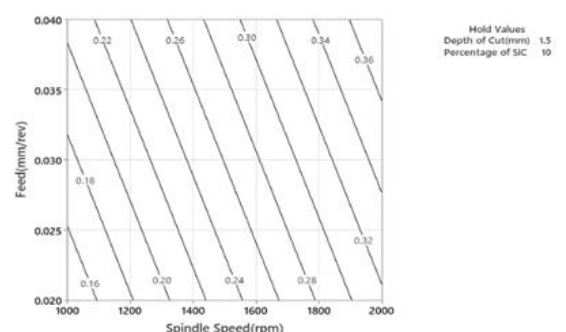
۵-مراجع

- 1- Lou MS, Chen JC, Li CM. Surface roughness prediction technique for CNC end-milling.
- 2- Taşkesen A, Kütükde K. Experimental investigation and multi-objective analysis on drilling of boron carbide reinforced metal matrix composites using grey relational analysis. Measurement. 2014; 47:321-30.
- 3- Haq AN, Marimuthu P, 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. 2008;37(3):250-5.
- 4- Kuram E, Ozcelik B. Multi-objective optimization using Taguchi based grey relational analysis for micro-milling of Al 7075 material with ball nose end mill. Measurement. 2013;46(6):1849-64.
- 5- Iqbal UM, Kumar VS, Gopalakannan S. Application of Response Surface Methodology in optimizing the process parameters of Twist Extrusion process for AA6061-T6 aluminum alloy. Measurement. 2016; 94:126-38.
- 6- Milkey KR, Samsudin AR, Dubey AK, Kidd P. Comparison between Taguchi Method and Response Surface Methodology (RSM) in Modelling CO 2 Laser Machining. Jordan Journal of Mechanical & Industrial Engineering. 2014;8(1).
- 7- Yi TH, Li HN, Gu M. Optimal sensor placement for health monitoring of high-rise structure based on genetic algorithm. Mathematical Problems in Engineering. 2011;2011.
- 8- Chabbi A, Yallese MA, Meddour I, Nouioua M, Mabrouki T, Girardin F. Predictive modeling and multi-response optimization of technological parameters in turning of Polyoxymethylene polymer (POM C) using RSM and desirability function. Measurement. 2017; 95:99-115.
- 9- Ozben T, Kilickap E, Cakır O. Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC. Journal of materials processing technology. 2008; 198(1-3):220-5.
- 10- Aouici H, Bouchelaghem H, Yallese MA, Elbah M, Fnides B. Machinability investigation in hard turning of AISI D3 cold work steel with ceramic tool using response surface methodology. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2014;73(9):1775-88.

شکل ۶ افزایش سرعت اسپیندل رابطه مستقیم با فرسایش ابزار دارد. در دو نموداربندی با افزایش نرخ پیشروی و عمق برش (depth of cut)، فرسایش ابزار به صورت آهسته افزایش می یابد. همچنین در نمودار سمت چپ با افزایش درصد SiC، فرسایش ابزار با زاویه معین افزایش یافته است.



شکل ۶ اثر پارامترهای اصلی بر روی رفتار فرسایش ابزار



شکل ۷ نمودار اثر برهمکنش نرخ پیشروی و سرعت اسپیندل

در شکل ۷ با افزایش سرعت اسپیندل و نرخ پیشروی، نرخ فرسایش ابزار افزایش می یابد.

۴-نتیجه گیری

مجموعه جداگانه ای از تنظیمات بهینه پارامتر هم برای خشن تراشی و هم برای برش نهایی به دست آمده است. از تجزیه و تحلیل، بهترین ترکیب از مقادیر برای به حداقل رساندن همزمان فرسایش ابزار و نیروی برش پیدا شد. بهترین ترکیب پارامترها عبارتند از سرعت اسپیندل ۱۰۰۰ دور در دقیقه، پیشروی ۰/۰۳ میلی متر در دور، عمق برش ۱ میلی متر و ۵ درصد SiC وزنی، تست های تایید بهبود معیارهای عملکرد را تایید کردند.

از آنالیز واریانس، اشاره شد که سرعت اسپیندل و درصد وزنی SiC مهم ترین عوامل مؤثر بر ماشین کاری کامپوزیت های هیبریدی هستند. افزایش نرخ پیشروی نیروی پیشراشه و گشتاور را افزایش می دهد و منجر به سایش بیشتر ابزار و مصرف انرژی بیشتر می شود. امکان بهینه سازی هر معیار عملکرد خاص به گونه ای وجود دارد که سایر معیارهای عملکرد حداقل نیاز را برآورده کنند. از آنجایی که الزامات فرآیند متفاوت است، وزن های مورد استفاده در تحلیل رابطه خاکستری نیز متفاوت است.