ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2023;23(10):149-154.

Statistical Modeling and Optimization of Thrust Force and Surface Roughness in Drilling Hybrid Aluminum Matrix Composites

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.26.6]

[DOI: 10.22034/mme.23.10.149]

ARTICLE INFO

Authors

Tahmasbi V [1*]

Sousanabadi Farahani A[2],

Baghi M H[1],

Ghazi khansari D [1],

[1] Department of Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran.

[2] Department of Faculty Engineering, Arak University, Arak, Iran

*** Correspondence**

Address: Department of Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran.

Tahmasbi@arakut.ac.ir

How to cite this article

Tahmasbi V, Sousanabadi Farahani A, Baghi M H, Ghazi khansari D. Statistical Modeling and Optimization of Thrust Force and Surface Roughness in Drilling Hybrid Aluminum Matrix Composites . Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2023;23(10):149-154.

ABSTRACT

Metal composites have received attention from various industries due to their excellent properties, such as a high strength-to-weight ratio and wear resistance. However, due to the presence of hard and abrasive particles, the challenges have always faced machining. Therefore, studying the effective parameters in the machining of these materials is very important. Drilling is one of the most common and widely used methods in the industry. In this study, the Response Surface Method (RSM) and Central Composite Design (CCD) were used to model, optimize, and analyze the effects of machining parameters. Aluminum composite with AL356 alloy reinforced with 25 micrometers of silicon carbide and 45 micrometers of mica mineral, as well as a 6 mm diameter carbide drill, were used for the experiments. According to the results, with an increase in the drilling speed, the drilling forces increased and the surface roughness decreased. Additionally, increasing the feed rate increased forces and surface roughness. With an increase in the volume fraction of SiC reinforcing particles, the drilling forces and surface roughness increased and decreased, respectively. By analyzing the data obtained from the experiments, the best combination of values was found to minimize the surface roughness and axial force at the same time. The best combination of parameters was found to be: a spindle speed of 1855 rpm, a feed rate of 50 mm/rev, and a weight percentage of 15% SiC

Keywords Metal Matrix Composite, Drilling, Thrust Force, Surface Roughness, Optimization

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته

مهر ۱۴۰۲، دوره ۲۳، شماره ۱۰، صفحه ۱۴۹-۱۵۴

مدل‌سازی آماری و بهینه‌سازی نیرو و زبری سطح در سوراخ‌کاری کامپوزیت زمینه آلومینیومی هیبریدی

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها

وحید طهماسبی [1*]

امین سوسن‌آبادی فراهانی [2]

محمدحافظ باقی [1]

دانیال قاضی خوانساری [1]

[1] دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران.

[2] دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

*** نویسنده مسئول**

آدرس: دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران.

Tahmasbi@arakut.ac.ir

چکیده

کامپوزیت‌های زمینه فلزی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های ممتاز از قبیل نسبت استحکام به وزن بالا، مقاومت به سایش و... مورد توجه صنایع مختلف قرار گرفته‌اند. به دلیل وجود ذرات سخت و ساینده در زمینه این نوع از کامپوزیت‌های ماشین‌کاری آن‌ها همواره با چالش‌هایی رو برو بوده است. به همین دلیل مطالعه پارامترهای مؤثر در ماشین‌کاری این مواد بسیار مورد اهمیت می‌باشد. سوراخ‌کاری یک از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها در صنعت می‌باشد. در این مطالعه، از روش سطح پاسخ (RSM) و طراحی مرکب مرکزی (CCD) برای مدل‌سازی، بهینه‌سازی و تحلیل تأثیرات پارامترهای ماشین‌کاری استفاده شده است. برای انجام آزمایش‌ها از کامپوزیت زمینه آلومینیومی با آلیاژ AL356 و تقویت‌شده با کاربید سیلیکون به ابعاد ۲۵ میکرومتر و ماده‌ی معدنی میکا به ابعاد ۴۵ میکرومتر و همچنین مته‌ی کاربید به قطر ۶ میلی‌متر استفاده شده است. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده با افزایش سرعت دوران مته نیروهای سوراخ‌کاری افزایش و زبری سطح کاهش می‌یابد. همچنین افزایش نرخ پیشروی منجر به افزایش نیروها و زبری سطح خواهد شد. با افزایش درصد کسر حجمی ذرات تقویت‌کننده Sic، نیروهای سوراخ‌کاری و زبری سطح به ترتیب افزایش و کاهش یافتند.

با تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها بهترین ترکیب از مقادیر برای به حداقل رساندن هم‌زمان زبری سطح و نیروی محوری پیدا شد. بهترین ترکیب پارامترها عبارت‌اند از: سرعت اسپیندل ۱۸۵۵ دور بر دقیقه، نرخ پیشروی ۵۰ میلی‌متر بر دور، درصد وزنی ۱۵٪ SIC.

کلیدواژه‌ها کامپوزیت زمینه فلزی، سوراخ‌کاری، نیرو، زبری سطح، بهینه‌سازی

۱- مقدمه

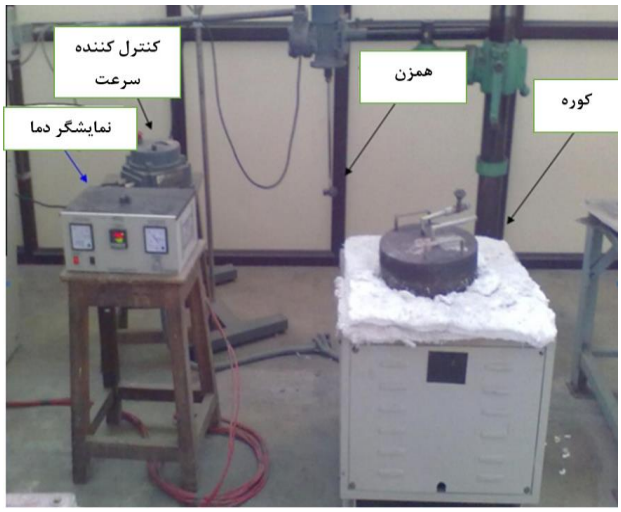
استفاده از کامپوزیت‌های زمینه فلزی به دلیل دارا بودن خواص مهندسی عالی، از قبیل سبک وزن بودن و خواص حرارتی و مکانیکی بهبود یافته موردتوجه محققان و صنایع مختلف قرار گرفته است(۱). یکی از چالش‌هایی که مانع از استقبال بیشتر تولیدکنندگان از کامپوزیت‌های زمینه فلزی می‌شود، مشکل ماشین‌کاری این مواد است(۲) با توجه به افزایش کاربرد این نوع از کامپوزیت‌ها، نیاز به مطالعه دقیق و سیستماتیک عوامل مؤثر بر ماشین‌کاری کامپوزیت‌های زمینه فلزی بسیار ضروری می‌باشد(۳). فرآیند سوراخ‌کاری به طور گسترده در صنعت مورداستفاده قرار می‌گیرد. باساواراجاپا و چاندراموهان تأثیر ابزارهای و شرایط برش مختلف را برای سوراخ‌کاری کامپوزیت‌های گرافیت Al2219/15%SiCp و Al2219/15%SiCp-3% بررسی کردند آن‌ها دریافت‌اند که زبری سطح با افزایش سرعت برشی کاهش و با افزایش نرخ پیشروی افزایش می‌یابد(۴). دیویم و همکاران تأثیر پارامترهای برشی بر سوراخ‌کاری کامپوزیت‌های زمینه فلزی هیبریدی را مطالعه کرده‌اند.آن‌ها گزارش کردند که کامپوزیت تقویت‌شده سرامیک-گرافیت نسبت به کامپوزیت‌هایی که با SiCp تقویت‌شده‌اند دارای خواص ماشین‌کاری بهتری است(۵). مطابق با مطالعه ریاض احمد و همکاران بر روی سوراخ‌کاری کامپوزیت‌های زمینه فلزی هیبریدی Al-5%SiCp و B4Cp۵٪ پیشروی و سرعت برشی کمتر , کیفیت سطح بهتری را با همراه با سایش کم ابزار تولید می‌کند(۶). همچنین محققان ویژگی‌های کیفیت سطح در ماشین‌کاری کامپوزیت‌های هیبریدی (Al-SiC-B4C) را مطالعه کرده‌اند. آن‌ها ادعا کرده‌اند که نرخ پیشروی و پس از آن سرعت برشی تأثیرگذارترین پارامتر بر روی زبری سطح هستند(۷). رامش و همکاران از روش سطح پاسخ برای پیش‌بینی زبری سطح استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که نرخ تغذیه مؤثرترین عاملی است که بر زبری سطح تأثیر می‌گذارد(۸). یحیی و همکاران مطالعه‌ای برای سوراخ‌کاری کامپوزیت‌های Al/SiC/Gr انجام دادند.آن‌ها نشان دادند که اضافه کردن گرافیت به‌عنوان یک تقویت‌کننده اضافی در کامپوزیت تقویت‌شده Al/SiCp باعث کاهش نیروی محوری می‌شود(۹).

از مرور مطالعات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که تحقیقات محدودی در خصوص اضافه کردن ذرات میکا به کامپوزیت‌های زمینه آلومینیومی صورت پذیرفته است. بیشتر مطالعات از ذرات گرافیت به‌عنوان ماده تقویت و روان کننده کامپوزیت‌ها استفاده کرده‌اند. در این مطالعه سعی شده است به‌صورت روشمند و با استفاده از روش سطح پاسخ، مدل‌سازی آماری فرآیند صورت پذیرفته و رفتار پارامترهای زبری سطح و نیروی برشی به‌عنوان دو پاسخ مهم در سوراخ‌کاری کامپوزیت زمینه فلزی هیبریدی (Al/SiC + Mica) موردبررسی قرار گرفته و ضمن ارائه معادلات رگرسیون خطی مرتبه دوم و تحلیل آن‌ها، بهینه‌سازی آماری به‌منظور دستیابی به کمترین میزان نیرو و زبری سطح با استفاده از الگوریتم درینگر ارائه شود.

۲-روش تجربی

۲-۱-ساخت کامپوزیت

از آلیاژ AL356 به‌عنوان ماده زمینه مورد استفاده برای تهیه کامپوزیت‌ها استفاده شد. مواد تقویت‌کننده در کامپوزیت کاربید سیلیکون (SIC) و میکا (MICA) بودند. ذرات کاربید سیلیکون مورد استفاده در اندازه ۲۵ میکرومتر و اندازه متوسط ذرات میکا ۴۵ میکرومتر است. نسبت وزنی میکا به‌عنوان ۳٪ ثابت است، درصد وزنی SIC در سه سطح ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ تغییر می‌کند. کامپوزیت‌ها با فرآیند ریخته‌گری به هم زدنی ساخته شد. آلیاژ آلومینیوم ابتدا در یک کوره الکتریکی ذوب شد. در مرحله بعد میکا و کاربید سیلیکون که از قبل تا دمای ۶۲۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده‌اند، به فلز مذاب در دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد اضافه شده و پیوسته هم زده می‌شود. هم زدن در دور ۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۵ تا ۷ دقیقه انجام می‌شود. در نهایت مذاب مخلوط شده با تقویت‌کننده در قالب فلزی دائمی ریخته شد. نمای کلی فرآیند ریخته‌گری در شکل ۱ مشاهده می‌شود(۱۰).



شکل ۱) تنظیمات ریخته‌گری

۲-۲-طراحی آزمایش

استفاده از طراحی آزمایش‌ها (DOE) می‌تواند برای کاهش تعداد آزمایش‌های موردنیاز برای به دست آوردن پاسخ مناسب به یک پرسش، استفاده شود. روش سطح پاسخ (RSM) یک ابزار خوب به دلیل دقت در مدل‌سازی و اعتبارسنجی تجربی می‌باشد. از مطالعه تحقیقات صورت گرفته می‌توان به این نتیجه رسید که پارامترهای قابل مطالعه در فرآیند سوراخ‌کاری به ۴ دسته کلی زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.26.6]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.149]

جدول ۱) پارامترهای تأثیرگذار در فرآیند سوراخکاری

۱-مؤلفه‌های سوراخکاری:	سرعت اسپیندل و نرخ پیشروی
۲-خواص ابزار سوراخکاری:	شکل و هندسه ابزار، جنس ابزار، وضعیت ابزار
۳-محیط سوراخکاری:	روانکاری خشک، مرطوب
۴-خواص قطعه کار:	ویژگی‌های مکانیکی، ضخامت متالوگرافی

در این مطالعه، از روش سطح پاسخ برای طراحی آزمایش‌ها استفاده گردید. به‌جای انجام آزمایش‌های تصادفی، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها با رعایت الزامات سوراخکاری انجام شد تا بتوان فرآیند را برای پارامترهای مختلف پاسخ به‌صورت جداگانه یا ترکیبی تجزیه‌وتحلیل کرد. عوامل متعددی مانند سرعت پیشروی، عمق برش، هندسه ابزار، جنس قطعه کار/ابزار و شرایط برش بر ویژگی‌های سوراخکاری تأثیر می‌گذارند. سه عامل کنترل‌کننده یعنی سرعت اسپیندل، پیشروی و درصد وزنی Sic انتخاب شدند. این عوامل بر اساس سایر مطالعات انجام شده توسط پژوهشگران در این حوزه و پیشنهادهای ایشان برای انتخاب پارامترهای ماشین‌کاری انتخاب‌شده‌اند.

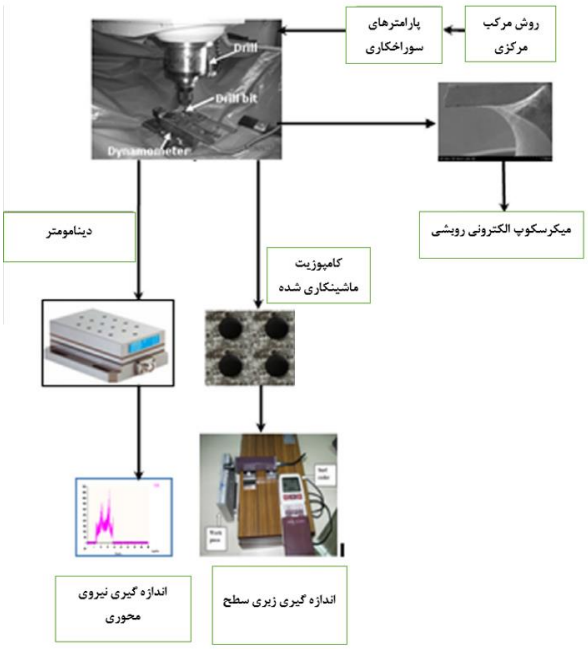
جهت جلوگیری و حذف خطاهای پیش‌بینی‌نشده، انجام آزمایش‌ها به‌صورت تصادفی صورت پذیرفته است. از نرم‌افزار مینی تب نسخه ۲۰ برای تحلیل و تفسیر نتایج و همچنین به دست آوردن ضرایب معادله ریاضی رگرسیون حاکم بر آزمایش استفاده شده است. روش سطح پاسخ می‌تواند یک معادله رگرسیون خطی مرتبه دوم برای هر پاسخ خروجی بر حسب متغیرهای ورودی که از داده‌های آزمایش و نزدیک‌ترین نقاط به آن‌ها به‌دست‌آمده است، استخراج کند و بهینه‌سازی مؤثر بر روی نتایج را اعمال نماید. در جدول ۱ متغیرهای ورودی و بازه تغییرات آن با توجه به سه سطح کد شده آن‌ها نمایش داده شده است. علت استفاده از روش حاضر نسبت به سایر روش‌ها ازجمله روش تاگوچی، طراحی آزمایش مناسب، تعداد آزمایش‌های جامع و همچنین ارائه نمودارها و گراف‌های برهم‌کنش فاکتورها، ارائه معادله ریاضی رگرسیون دقیق و معتبر خطی مرتبه دوم است.

جدول ۲) پارامترهای ورودی فرآیند مورد استفاده و سطح طراحی آن‌ها

فاکتورهای ورودی آزمایش	-۱	۰	+۱
A: سرعت اسپیندل (rpm)	۱۰۰۰	۲۰۰۰	**۳۰۰۰**
B: نرخ پیشروی (mm/rev)	۵۰	۱۰۰	**۱۵۰**
C: درصد SIC	۵	۱۰	**۱۵**

۳-۲ روش آزمایش

سوراخکاری توسط دریل سی ان سی ساخت شرکت ARIX CNC machine انجام شد. نمای کلی مراحل انجام آزمایش‌ها در شکل ۲ ارائه شده است. نمونه‌های سوراخکاری در قالب بلوک‌های ۱۰۰ میلی‌متر در ۱۰۰ میلی‌متر در ۱۰ میلی‌متر برای انجام آزمایش تهیه شده است. سوراخکاری با عمق ۱۰ میلی‌متر برای هر آزمایش انجام شده است. مته‌ی استفاده شده در آزمایش از جنس کاربید بدون روکش و دارای قطر ۶ میلی‌متر، زاویه رأس ۱۱۸ درجه و زاویه مارپیچ ۳۰ درجه ساخت شرکت SANDVIK می‌باشد. انجام تمام آزمایش در شرایط برش خشک انجام شده است. همچنین به‌منظور بالا بردن دقت و صحت نتایج آزمایش، هر آزمایش سه مرتبه تکرار شده و میانگین آن‌ها به‌عنوان خروجی آزمایش گزارش شده است. لازم به ذکر است به‌منظور جلوگیری از ایجاد خطاهای پیش‌بینی‌نشده، آزمایشات به‌صورت تصادفی انجام شده است. برای ایجاد هر سوراخ از مته‌ی جدیدی استفاده شده تا اثر سایش ابزار بر نیروی محوری و زبری سطح به حداقل برسد. از دینامومتر کرسلر برای ثبت نیروی محوری استفاده شده است. در ماشین‌کاری، متداول‌ترین پارامتر در موردمطالعه زبری سطح (Ra) است و در بسیاری از مطالعات موردتوجه قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری زبری سطح داخلی سوراخ عمود بر محیط صورت پذیرفت.



شکل ۲) ترتیب شماتیک تنظیمات آزمایش

۳-مدل‌سازی به روش سطح پاسخ

در تحلیل مسائل مهندسی که پاسخ مسئله در آن‌ها متأثر از متغیرهای ورودی مختلف می‌باشد، استفاده از روش‌های آماری کمک قابل‌توجهی به طراحی، مدل‌سازی، تحلیل و بهینه‌سازی دقیق این فرآیندها می‌کند که روش سطح پاسخ یکی از بهترین روش‌های آماری، در این زمینه می‌باشد. طراحی آزمایش‌ها یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای محققین در اصلاح، بهبود و صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌های آزمایش‌ها و تشخیص دقت و رفع عیوب آن‌ها می‌باشد. از مزایای مهم روش سطح پاسخ می‌توان به تبیین دقت آزمایش، مدل ریاضی حاکم بر آزمایش، ارائه نمودارهای برهم‌کنش متغیرهای ورودی، بهینه‌سازی آزمایش و کسب اطمینان از دقت مدل منطبق شده بر آزمایش‌ها اشاره کرد(۱۱). همچنین این روش این قابلیت را دارد که رابطهٔ بین

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.26.6]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.149]

ورودی‌ها و خروجی‌های یک آزمایش را مدل‌سازی نموده و به‌صورت یک معادلهٔ ریاضی رگرسیون خطی مرتبه دوم ارائه نماید. فرم کلی معادله با توجه به متغیرها و برهمکنش‌های مؤثر به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد[۳۰].

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i} \sum_{j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \qquad (۱)$$

در این معادله رگرسیون خطی مرتبه دوم، y به‌عنوان پاسخ خروجی بر حسب ورودی‌های آزمایش توصیف می‌گردد که در این معادله ثابت‌های β به‌عنوان ضرایب معادله رگرسیون، x_i فاکتور اصلی ورودی آزمایش، x_i^2 توان دوم فاکتورهای ورودی آزمایش و $x_i x_j$ اثر برهم‌کنش مرتبه دوم فاکتورهای ورودی آزمایش می‌باشد. مدل ارائه شده در صورت دقیق بودن می‌تواند رفتار خروجی را بر حسب پارامترهای ورودی در تمام بازه آزمایش‌ها پیش‌بینی نموده و نقاط بهینه را ارائه نماید(۱۱).

۴-نتایج و بحث

با توجه به طراحی آزمایش‌های صورت گرفته، برای هر ۱۷ آزمایش، متغیرهای خروجی اندازه‌گیری شده و در جدول ۳ گزارش‌شده است. همچنین به‌منظور بالا بردن دقت و صحت نتایج آزمایش، هر آزمایش سه مرتبه تکرار شده است و میانگین آن‌ها به‌عنوان نیروی محوری و زبری سطح گزارش‌شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل نیروی محوری و زبری سطح، نتایج حاصل از آنالیز واریانس(ANOVA) برای مدل اصلاح‌شده پس از حذف عوامل غیر مؤثر در جدول‌ها آمده است. آنالیز واریانس میزان تأثیر پارامترهای معادله‌ی رگرسیون را مشخص می‌نماید و در تحلیل و مدل‌سازی آزمایش‌ها نقش به سزایی دارد. مقدار قابلیت اطمینان نشان‌دهنده دقت مدل حاکم بر آزمایش است و هرچه مقدار این مؤلفه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، بیان‌کننده این است که مدل‌سازی صورت گرفته از دقت بالایی برخوردار بوده است. با توجه به اینکه قابلیت اطمینان ۹۹/۹۲٪(R_{sq}) در نیروی محوری و ۹۴/۴۰٪ برای زبری سطح در مدل اصلاح‌شده به‌دست‌آمده است، می‌توان از دقت مدل به‌دست‌آمده اطمینان حاصل کرد. همچنین با بررسی باقیمانده‌ها می‌توان مناسب بودن مدل را احراز کرد. مقدار خطای مجموع مربعات (press) مدل منطبق شده بر داده‌ها میزان دقت نوع معادله رگرسیون حاکم بر مدل را مشخص نمود. هرچه این

$$\text{Thrust force (N)} = 400.30 + 0.04645\,A + 1.2290\,B + 0.24\,C - 000009.\,A^*A + 0.2158\,C^*C + 0.000425\,A^*C + 0.01350\,B^*C \qquad (۲)$$

$$\text{Surface roughness (μm)} = 0.396 - 0.000060\,A + 0.05130\,B - 0.0175\,C - 0.000103\,B^*B - 0.000004\,A^*B - 0.000420\,B^*C \qquad (۳)$$

مقدار در مدل‌های قابل انطباق بر داده‌ها کمتر باشد مدل مربوطه دارای خطای پیش‌بینی کمتری است. روابط (۲) و (۳) معادله رگرسیون اصلاح‌شده‌ی مدل‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳) طراحی آزمایش سوراخکاری CNC و پاسخ‌های خروجی(۱۰)

شماره آزمایش	سرعت اسپیندل (دور بر دقیقه)	نرخ پیشروی (میلی‌متر بر دور)	درصد وزنی sic	نیروی محوری (نیوتن)	زبری سطح (میکرومتر)
۱	۲۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۶۲۷	۳/۱۲
۲	۲۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۶۲۵	۳/۰۰
۳	۲۰۰۰	۵۰	۱۰	۵۶۰	۱/۸۰
۴	۳۰۰۰	۵۰	۱۵	۶۰۰	۱/۵۰
۵	۱۰۰۰	۵۰	۵	۵۱۰	۲/۴۰
۶	۳۰۰۰	۱۵۰	۱۵	۷۴۵	۲/۷۶
۷	۲۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۶۲۳	۳/۱۳
۸	۳۰۰۰	۱۵۰	۵	۶۶۵	۳/۶۰
۹	۳۰۰۰	۵۰	۵	۵۳۵	۱/۷۰
۱۰	۲۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۶۲۳	۳/۱۱
۱۱	۱۰۰۰	۵۰	۱۵	۵۶۸	۱/۸۰
۱۲	۲۰۰۰	۱۰۰	۵	۶۰۰	۳/۳۰
۱۳	۲۰۰۰	۱۵۰	۱۰	۶۹۵	۳/۷۰
۱۴	۱۰۰۰	۱۵۰	۱۵	۷۱۰	۴/۰۰
۱۵	۱۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۶۰۵	۳/۴۰
۱۶	۱۰۰۰	۱۵۰	۵	۶۴۰	۴/۸۰
۱۷	۲۰۰۰	۱۰۰	۱۰	۶۲۴	۳/۱۰

جدول ۴) تحلیل واریانس نیروی محوری

ترم‌ها	درجه آزادی	مربعات جمع	میانگین مربعات	F-Value	P-Value
مدل	۷	۵۸۴۷۶/۸	۸۳۵۳/۸	۱۶۰۰/۳۱	۰/۰۰۰
سرعت اسپیندل=A	۱	۱۹۷۴/۹	۱۷۱۷/۹	۳۲۹/۰۹	۰/۰۰۰
نرخ پیشروی=B	۱	۴۶۵۱۲/۴	۴۶۵۱۲/۴	۸۹۱۰/۱۹	۰/۰۰۰
درصد وزنی=C	۱	۹۷۱۷/۴	۹۶۰۸/۷	۱۸۴۰/۷۰	۰/۰۰۰
A^2	۱	۹۸/۶	۱۳۱/۷	۲۵/۲۳	۰/۰۰۱
C^2	۱	۴۶/۲	۴۶/۲	۸/۸۶	۰/۰۱۶
A×C	۱	۳۶/۱	۳۶/۱	۶/۹۲	۰/۰۲۷
B×C	۱	۹۱/۱	۹۱/۱	۱۷/۴۶	۰/۰۰۲

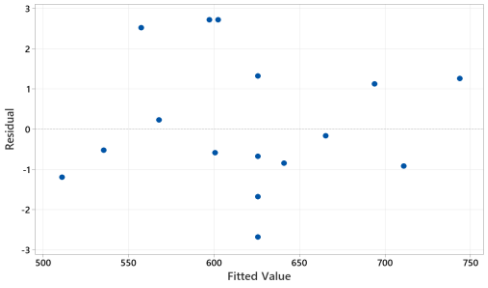
جدول ۵) تحلیل واریانس زبری سطح

ترم‌ها	درجه آزادی	مربعات جمع	میانگین مربعات	F-Value	P-Value
مدل	۶	۱۲/۵۱۹۲	۲/۰۸۶۵۴	۲۷۴/۶۸	۰/۰۰۰
سرعت اسپیندل=A	۱	۱/۶۸۸۸	۱/۵۵۹۲۹	۲۰۵/۲۷	۰/۰۰۰
نرخ پیشروی=B	۱	۹/۳۳۱۶	۹/۳۳۱۵۶	۱۲۲۸/۴۴	۰/۰۰۰
درصد وزنی=C	۱	۰/۸۸۴۱	۰/۷۸۳۲۵	۱۰۳/۱۱	۰/۰۰۰
B^2	۱	۰/۲۶۷۴	۰/۲۶۷۴۰	۳۵/۲۰	۰/۰۰۰
A×B	۱	۰/۲۵۹۲	۰/۲۵۹۲۰	۳۴/۱۲	۰/۰۰۰
B×C	۱	۰/۰۸۸۲	۰/۰۸۸۲۰	۱۱/۶۱	۰/۰۰۷

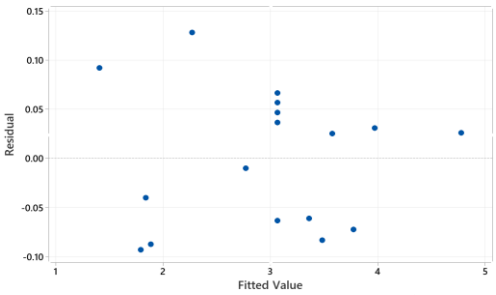
با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ که وضعیت باقیمانده‌ها نشان داده شده است، می‌توان گفت با توجه به عدم وجود ساختار و الگوی مشخص و همچنین نظم خاص در توزیع باقیمانده‌ها مدل ارائه‌شده صحیح است. در این بخش با توجه به مدل‌سازی صورت گرفته و انطباق آن بر داده‌های آزمایش‌ها و با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر بر مدل، سعی بر آن شده است تا نقش سرعت دورانی اسپیندل، نرخ پیشروی و درصد وزنی SIC بر رفتار نیروی محوری و زبری سطح تبیین گردد. نمودارهای شکل‌های رفتار

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.26.6]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.149]

زبری سطح را بر اساس هر یک از متغیرهای ورودی فرآیند طبق مدل‌سازی صورت پذیرفته را نشان می‌دهد.



شکل ۳) پراکندگی باقیمانده‌های نیروی محوری نسبت به مدل منطبق شده



شکل ۴) پراکندگی باقیمانده‌های زبری سطح نسبت به مدل منطبق شده

٤-١ تأثیر سرعت دورانی ابزار بر نیروی سوراخکاری و زبری سطح

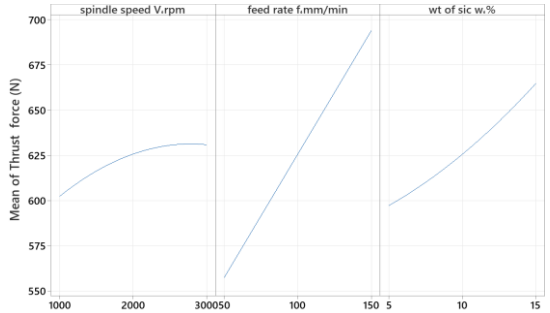
مطابق با شکل ۵ با افزایش سرعت دوران ابزار نیروی سوراخکاری افزایش می‌یابد. به علت برخورد بیشتر ذرات تقویت‌کننده و همچنین وجود ماده زمینه چسبیده شده بر لبه برشی ابزار، سایش شدید ابزار رخ می‌دهد که این مسئله باعث به وجود آمدن ارتعاش و بالطبع افزایش نیروهای ماشین‌کاری می‌شود. همچنین با توجه با شکل ۶ افزایش سرعت اسپیندل موجب کاهش زبری سطح در سوراخکاری کامپوزیت‌های هیبریدی می‌شود. به دلیل سرعت بالای اسپیندل، نیروی ایجادشده در برش افزایش می‌یابد. این افزایش نیرو باعث بریده شدن راحت‌تر ماده کامپوزیتی شده و زبری سطح کمتری ایجاد می‌کند.

٤-٢ تأثیر سرعت پیشروی ابزار بر نیروی سوراخکاری و زبری سطح

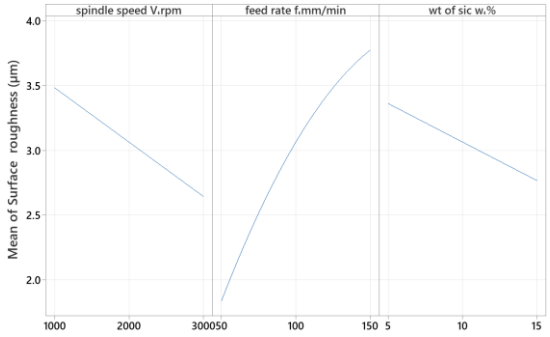
همان‌طور که از شکل‌های ۵ و ۶ قابل استنتاج است با افزایش نرخ پیشروی به علت افزایش ضخامت براده تغییر شکل یافته، نیروی وارد بر قطعه کار افزایش می‌یابد. هرچه نرخ پیشروی و سرعت نفوذ ابزار در قطعه کمتر باشد، خروج براده با سهولت بیشتر اتفاق خواهد. همچنین ضخامت براده تغییر شکل یافته کمتر شده و نهایتاً نیروهای سوراخکاری کاهش می‌یابد. با افزایش نرخ پیشروی به دلیل افزایش اصطکاک بین مته و براده و همچنین کاهش قابل‌توجه عمر مته به دلیل سایش، زبری سطح سوراخکاری شده بیشتر شده و با شیب بسیار زیادی افزایش پیدا کند از طرفی افزایش نرخ پیشروی باعث افزایش تولید حرارت و گرما در حین سوراخکاری می‌شود که این امر زبری سطح را افزایش می‌دهد.

٤-٣ تأثیر درصد ذرات تقویت‌کننده بر نیروی سوراخکاری و زبری سطح

طبق نمودار شکل ۶ با افزایش درصد وزنی SIC، زبری سطح کاهش می‌یابد. این را می‌توان به افزایش ناپایداری و شکنندگی و متعاقب آن، از بین رفتن لبه انباشته در ماشین‌کاری کامپوزیت‌های هیبریدی نسبت داد. لبه انباشته به دلیل ایجاد تغییر در هندسه ابزار باعث کاهش کیفیت سطح خواهد شد. درصورتی‌که لبه انباشته حذف شود می‌تواند به افزایش کیفیت سطح منجر شود. همچنین افزودن ۳٪ میکا نیروی محوری را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. ذرات میکا به دلیل خاصیت روانکاری جامدی که دارند اصطکاک سطحی بین ابزار و قطعه کار و تنش برشی را کاهش می‌دهند.



شکل ۵) اثر پارامترهای ورودی بر روی رفتار نیروی محوری



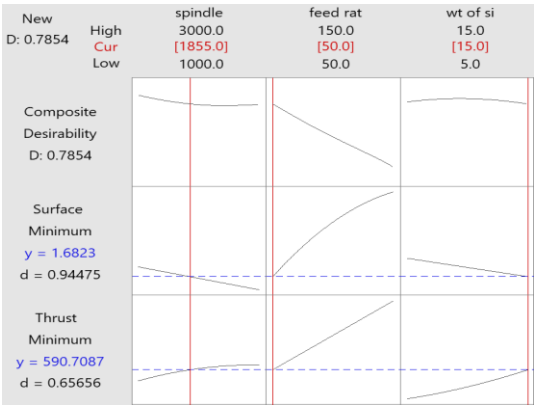
شکل ۶) اثر پارامترهای ورودی بر روی رفتار زبری سطح

۴-نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا با روش طراحی آزمایش و استفاده از روش سطح پاسخ یک مدل رگرسیون خطی مرتبه دوم به‌منظور پیش‌بینی و تحلیل کمی فرآیند بر روی داده‌های آزمایش‌های تجربی برازش شد. استفاده از این ابزار میزان بهره‌وری در دقت و صحت و افزایش هرچه بیشتر کیفیت در فرآیند را افزایش می‌دهد. در این مطالعه میزان تأثیر هر یک از پارامترهای سرعت اسپیندل، نرخ پیشروی، درصد وزنی SIC بر روی نیروی محوری، و زبری سطح به روش آزمایش تجربی موردبررسی قرار گرفت. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده با افزایش سرعت دوران مته نیروهای سوراخکاری افزایش و زبری سطح کاهش می‌یابد. همچنین افزایش نرخ پیشروی منجر به افزایش نیروها و زبری سطح خواهد شد. با افزایش درصد کسر حجمی ذرات تقویت‌کننده SiCنیروهای سوراخکاری و زبری سطح به ترتیب افزایش و کاهش یافتند.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.26.6]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.149]

با تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها بهترین ترکیب از مقادیر برای به حداقل رساندن هم‌زمان زبری سطح و نیروی محوری پیدا شد. بهترین ترکیب پارامترها عبارت‌اند از: سرعت اسپیندل ۱۸۵۵ دور بر دقیقه، نرخ پیشروی ۵۰ میلی‌متر بر دور، درصد وزنی ۱۵٪ SIC.



شکل ۱۲) بهینه‌سازی صورت گرفته به‌منظور الف) کمترین مقدار زبری سطح ب) کمترین مقدار نیروی محوری

۵-مراجع

1. Maurya NK, Maurya M, Srivastava AK, Dwivedi SP, Chauhan S. Investigation of mechanical properties of Al 6061/SiC composite prepared through stir casting technique. Materials Today: Proceedings. 2020;25:755-8.
2. Tahmasbi V, Baghi MH, Aeinehbandy S, Sousanabadi Farahani A. Sensitivity analysis and optimization of material removal rate and surface quality in aluminum matrix composite. Modares Mechanical Engineering. 2023;23(7):395-404.
3. Safarabady A, Tahmasbi V, sousanabadi farahani A, zolfaghari m. Electrical discharge machining of metal matrix composite AZ91 magnesium alloy and investigation and optimization of the effect of input parameters on material removal rate and workpiece surface roughness. Iranian Journal of Manufacturing Engineering. 2022;9(6):59-69.
4. Basavarajappa S, Chandramohan G, Prabu M, Mukund K, Ashwin M. Drilling of hybrid metal matrix composites—Workpiece surface integrity. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2007;47(1):92-6.
5. Basavarajappa S, Chandramohan G, Davim JP. Some studies on drilling of hybrid metal matrix composites based on Taguchi techniques. Journal of materials processing technology. 2008;196(1-3):332-8.
6. Ahamed AR, Asokan P, Aravindan S, Prakash M. Drilling of hybrid Al-5% SiC p-5% B 4 C p metal matrix composites. The international journal of advanced manufacturing technology. 2010;49:871-7.
7. Babu TM, Sugin MA, Muthukrishnan N. Investigation on the characteristics of surface quality on machining of hybrid metal matrix composite (Al-SiC-B4C). Procedia Engineering. 2012;38:2617-24.
8. Ramesh S, Karunamoorthy L, Palanikumar K. Measurement and analysis of surface roughness in turning of aerospace titanium alloy (gr5). Measurement. 2012;45(5):1266-76.
9. Altunpak Y, Ay M, Aslan S. Drilling of a hybrid Al/SiC/Gr metal matrix composites. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2012;60:513-7.
10. Rajmohan T, Palanikumar K. Application of the central composite design in optimization of machining parameters in drilling hybrid metal matrix composites. Measurement. 2013;46(4):1470-81.
11. Montgomery DC. Design and analysis of experiments: John wiley & sons; 2017.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.26.6]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.149]