

بررسی اثر درصد امولسیون روانکار و نوع ابزار بر صافی سطح در فرآیند ماشینکاری آلیاژ EN AC 48000

اسماعیل سلطانی^۱، حسام شاهعلی^۲
Es_soltani@iaun.ac.ir

پذیرش مقاله: ۸۹/۰۳/۲۵

دریافت مقاله: ۸۸/۰۱۱/۱۵

چکیده

آلیاژ EN-AC 48000 یکی از آلیاژهای مهم در صنایع مختلف به ویژه صنعت خودرو به شمار می آید. ماشینکاری این آلیاژ به علت ایجاد لبه انباشته و فرسایش ابزار و دستیابی به صافی سطح مطلوب بسیار حائز اهمیت است. درمقاله حاضر از سه نوع ابزار مخصوص تراشکاری آلیاژهای آلومینیوم شامل کارباید روکش دار (CD1810)CVD، کارباید بدون پوشش (H10) و الماس پلی کریستال PCD (CD10) استفاده شده است. در این مقاله به بررسی و مطالعه تأثیر پارامترهای درصد امولسیون سیال و نوع ابزار بر صافی سطح همچنین بهینه سازی پارامترهای ماشینکاری برای دستیابی به کیفیت سطح مناسب در ماشینکاری آلیاژ EN AC 48000 پرداخته شده است. برای انجام آزمایشات از طرح آزمایش تاگوجی L_۹ برای مطالعه فاکتورها و تعاملات بین فاکتورها استفاده شده است. تعداد آزمایشات با انجام سه تکرار جمعاً ۲۷ آزمایش برای خروجی مورد نظر می باشد. درصد امولسیون روانکار نیز در سه سطح ۳٪، ۵٪ و ۱۰٪ انتخاب شده است. بررسی تأثیر فاکتورها و تعاملات بین آنها توسط آنالیز ANOVA انجام شده و پارامترهای موثر و اهمیت آنها مورد بررسی قرار گرفته شده است. مقادیر بهینه فاکتورها نیز بوسیله آنالیز S/N در مورد خروجی های آزمایش بیان شده اند. در این پژوهش با توجه به تحقیقات گذشته بر ماشینکاری خشک و با بکارگیری روانکار با درصد امولسیون در سه سطح و همچنین استفاده از روش بهینه سازی S/N کیفیت سطح بیشتر از ۹٪ بهبود یافته است.

کلیدواژه:

صافی سطح- ماشینکاری- روانکار- درصد امولسیون- تحلیل های آماری

۱- عضو هیئت علمی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۲- کارشناس ارشد، مهندسی ساخت و تولید، دانشگاه صنایع و معادن ایران

۱- مقدمه

ماشینکاری آلیاژهای آلومینیم ازدیرباز بعلت مشکلات خاص آن از جمله ایجادلبه انباشته، فرسایش ابزار و رفتار غیر مشابه آن نسبت به دیگر فلزات مورد بحث بوده است. یکی از آلیاژهای مهم در صنعت خودروهوا فضا، آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم می باشد. در این بین، آلیاژ EN-AC 48000 بواسطه خواصی مانند استحکام بالا، ضریب انبساط حرارتی پایین و سبکی در پیستون خودرو بکار می رود [۱]. ماشینکاری و انتخاب پارامترهای مناسب آن یکی از معضلات ساخت قطعه مذکور می باشد. چسبندگی قطعه کار به ابزار و ایجاد لبه انباشته و همچنین وجود ذرات سیلیسیم که باعث سایش ابزار می شود از جمله مشکلات ماشینکاری آلیاژها و کامپوزیت‌های آلومینیوم می باشد که جهت رفع آن انتخاب پارامترهای مناسب ماشینکاری از اهمیت بسزایی برخوردار است [۲ و ۳]. در مطالعات اخیر انجام شده بر روی ماشینکاری آلیاژها و کامپوزیت‌های آلومینیوم از ابزارهای پلی کریستال (PCD) و روکش دار (CVD) استفاده می شود [۸-۳]. این ابزارها بعلت خواص ذاتی و شیمیایی، برای ماشینکاری آلیاژها و کامپوزیت‌های آلومینیم بسیار مناسب می باشند [۳ و ۷]. ابزار پلی کریستالی دارای سختی بالا ۳ تا ۴ برابر سیلیکون کاربرد و در حدود الماس طبیعی می باشد [۳]. این ابزار دارای مقاومت سایش و عمر بالا در حدود ۵ تا ۱۰ ابزارهای کاربرد روکش دار با TiC, TiN [۶ و ۹] و صد برابر سمندت کاربرد می باشد. سختی و مقاومت به سایش این ابزار به گونه ای است که برای آماده سازی سنگها از آن استفاده می شود [۸ و ۱۰] و همچنین سایز دانه ها در عملکرد این نوع ابزارها از اهمیت خاصی برخوردار می باشد [۴]. چسبندگی قطعه کار به این نوع ابزار مشکلی ایجاد نمی کند و این امر به لطف پایداری شیمیایی بالای این ماده است. از جمله محدودیت ابزار پلی کریستال، دمای بالا، تراش مواد چقرمه با مقاومت کششی بالا و حساسیت این نوع ابزار به ارتعاشات دستگاه می باشد. به همین دلیل باید شرایط حاکم بر آزمایش کاملاً کنترل شده و تجهیزات دارای صلبیت کافی باشند [۷]. ابزارهای بکار رفته در این تحقیق از جمله ابزارهای مناسب برای ماشینکاری آلیاژ-EN 48000 AC محسوب می شوند.

اگرچه از لحاظ زیست محیطی ماشینکاری خشک توصیه می گردد ولی جهت رسیدن به صافی سطح مناسب در حین ماشینکاری، استفاده از روانکار از اهمیت خاصی برخوردار است و مطالعات اخیر بیانگر اهمیت این موضوع می باشند [۱۳-۱۱].

در مطالعه ای که توسط Raviraj Shetty انجام شده به بررسی اثر درصد روانکار بر ماشینکاری کامپوزیت های آلومینیوم پرداخته شده است. پارامتر درصد امولسیون روانکار جزء پارامترهای

ماشینکاری محسوب می گردد که که بندرت در مطالعات اخیر مورد بررسی قرار گرفته است.

برای انجام آزمایشات از آرایه استاندارد تاگوچی استفاده شده است. از جمله محاسن استفاده از آرایه های متعادل، صرفه جویی در وقت و هزینه بوسیله کاهش تعداد آزمایشات، افزایش راندمان و دستیابی به نتایج آماری حجیم تر در مورد تحلیل های آماری می باشد. این روش به عنوان یک استراتژی در جهت طراحی مطمئن و بهینه سازی طراحی آزمایش در علوم مختلف بکار می رود. در روش طراحی آزمایش به روش تاگوچی برای بهینه سازی پارامترها از نسبت S به N استفاده می شود.

این روش مقدار انحراف میانگین مربعات را به لگاریتم تبدیل می کند. هنگامی که نتایج به این نسبت تبدیل می شوند به صورت خطی رفتار کرده و پیش بینی عملکرد بهینه بیشتر به حقیقت نزدیک است [۱۶-۱۴].

پارامترهای زیادی بر صافی سطح در ماشینکاری آلیاژها و کامپوزیت‌های آلومینیم دخال دارند که هنوز به صورت کمی مورد بررسی قرار نگرفته است. در مطالعات اخیر تحقیقاتی بر روی این فرآیند و فرایندهای مشابه توسط تحلیل های آماری و همچنین بررسی پارامترهای همچون سرعت برشی و نرخ پیشروی صورت گرفته است و مدلی مناسب جهت پیش بینی خروجی مورد نظر و مقادیر بهینه توسط آنالیز S/N ارائه شده است [۲ و ۱۶]. در مقاله حاضر سعی شده صافی سطح در فرایند ماشینکاری EN-AC48000 بعنوان یکی از آلیاژهای پر کاربرد صنعت، با توجه به پارامترهای موثر همچون نوع ابزار و در صد امولسیون روانکار با استفاده از روش های تحلیل آماری مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای آن بهینه سازی شوند.

۲- قطعات، ابزارها و تجهیزات مورد استفاده

تعداد ۹ قطعه از جنس EN-AC48000 پیستون ریخته گری شده به روش دایکاست ثقلی مورد استفاده قرار گرفته است. سختی قطعات کنترل شده و در محدوده ۱۱۰-۱۰۰ برینل می باشد. نمونه ای از تصاویر متالوگرافی قطعه بابزرگنمایی ۲۰۰ برابر در شکل (۱- الف) نشان داده شده که نمایانگر وضعیت مطلوب ساختار متالوژیکی قطعات مورد استفاده می باشد. همانطور که در شکل مشخص است ذرات ریز سیلیسیم به صورت یکنواخت در زمینه آلومینیم پراکنده شده اند. قطعات بعد از انجام عملیات های کف تراشی، برش و روتراشی به منظور انجام آزمایشات بر روی فیکسچر نصب می شوند. قطر تمام قطعات بعد از روتراشی و حذف خطای لنگی ۸۵ میلیمتر می باشند. شکل (۱- ب) قطعه آماده سازی شده و نصب شده روی

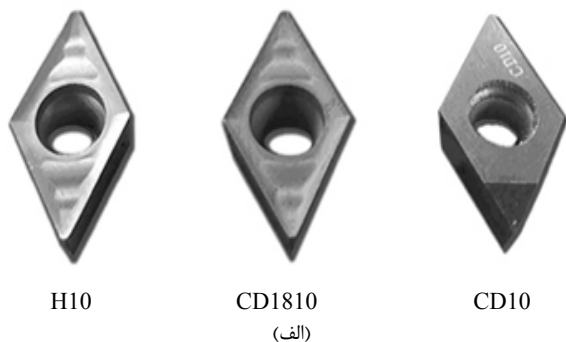
جدول (۱): مشخصات بهران تراش AL

مشخصات فیزیکی- شیمیایی	دانسیته در ۱۵/۶ درجه سانتیگراد	قلیانیت کل
روش آزمون	KG/M ³	MGKOH/G
ASTM D-1298	ASTM D-2896	ASTM D-2896
بهران تراش AL	۹۰۴	۸/۵

ابزار های اینسرتی مورد استفاده از سه نوع ابزار مخصوص تراشکاری آلیاژهای آلومینیم شامل کارباید روکش دار CVD(CD1810)، کارباید بدون پوشش (H10) و الماس پلی کریستال PCD(CD10) انتخاب شده است [۱۸].
کد شناسایی این ابزار ها عبارتند از:

CD10 : DCMW 11 T3 04 FP
CD1810 : DCGX 11 T3 04-A1
H10 : DCGX 11T3 04-A1

شعاع لبه برنده وزوایای ابزار در هر سه نوع ابزار یکسان در نظر گرفته شده است. هندسه اینسرت و هلدرا با توجه به عملیات پرداخت انتخاب شده اند [۱۸].
عمق برش در این تحقیق ۰/۶ mm متناسب با عملیات پرداخت انتخاب شده است. نرخ پیشروی و سرعت اسپیندل بر اساس تحقیقات قبلی [۱۲] جهت رسیدن به بهترین کیفیت سطح بترتیب مقادیر ۰/۰۷ mm/min و ۱۰۰۰ دور بر دقیقه اختیار شده اند. دستگاه زبری سنج مورد استفاده، به نام Perthometer M2 ساخت شرکت Mahr می باشد که جهت اندازه گیری صافی سطح استفاده می شود. اندازه گیری زبری بر اساس پارامتر $R_a(\mu m)$ و طبق استاندارد DIN EN ISO 4287 انجام شده است. نمونه ای از ابزارهای مورد استفاده در شکل (۲-الف) نشان داده شده است و همچنین شکل (۲-ب) نمونه ای از قطعات در حال ماشینکاری را نشان می دهد.



فیکسچر را نشان می دهد. ماشین مورد استفاده برای انجام عملیات تراشکاری، ماشین TN50BR ساخت شرکت ماشین سازی تبریز می باشد.



(الف)



(ب)

شکل (۱): الف- تصویر متالوگرافی قطعه، ب- قطعه آماده سازی شده و نصب شده روی فیکسچر

دبی روانکار خارج شده از نازل توسط پمپ روانکار دستگاه تراش مقدار ۱/۶۲ L/min می باشد. نوع روانکار استفاده شده بهران تراش AL ساخت شرکت نفت شرکت بهران می باشد که مخصوص عملیات ماشینکاری آلیاژهای آلومینوم است. این نوع روانکار مانع ایجاد لایه های اکسیدی در سطح ماشینکاری شده می گردد. در این تحقیق از سه مقدار درصد امولسیون روانکار ۳٪ و ۵٪ و ۱۰٪ استفاده شده است که مقادیر مورد استفاده در صنعت می باشند. مشخصات اصلی این سیال حل شونده ، بهران تراش AL در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۲): فاکتورهای آزمایش و مقادیر آن

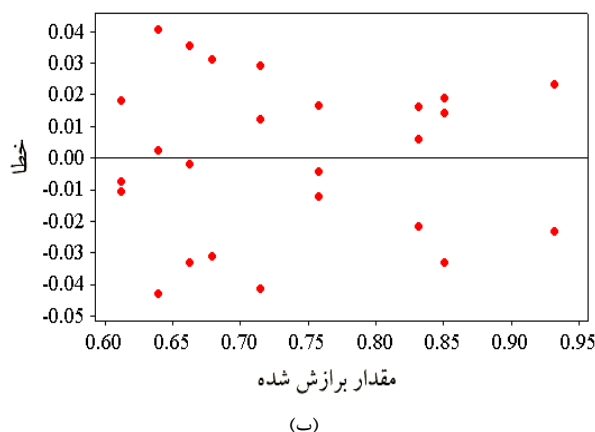
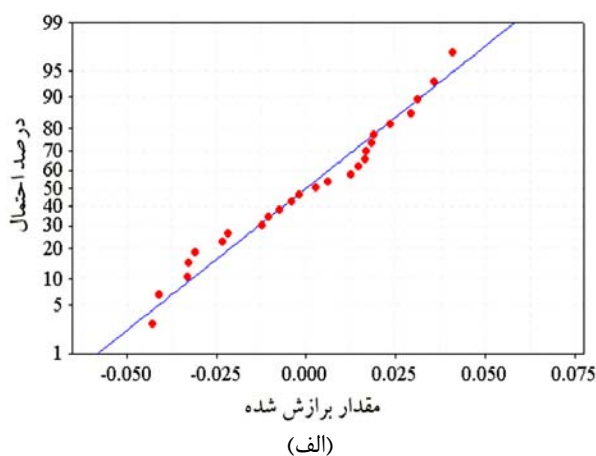
فاکتور آزمایش	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
درصد امولسیون سیال برش (٪)	۳٪	۵٪	۱۰٪
E			
T(tool)	1(CD1810)	2(CD10)	3(H10)

۴- تحلیل های آماری بر روی صافی سطح

۴-۱- بررسی تاثیر فاکتورها

در این پژوهش از تحلیل واریانس برای بررسی تاثیر فاکتورها بر روی خروجی صافی سطح استفاده شده است. این تحلیل با فرض نرمال بودن توزیع خطا، استقلال آن وثابت بودن واریانس به تست فرض تهی با استفاده از مقدار P (P-value) می پردازد [۱۹ و ۱۵].

شکل های (۳- الف) و (۳- ب) به ترتیب نمودار "احتمال نرمال مقادیر باقیمانده" و نمودار "مقادیر باقیمانده در برابر مقدار برآزش شده" پس از ترمیم داده ها را نشان می دهند. در چنین شرایطی تحلیل واریانس قابل اجرا بوده و نتایج آن قابل اعتماد خواهد بود.



شکل (۳): الف- نمودار احتمال نرمال بعد از ترمیم داده، ب- نمودار خطا در برابر مقادیر برآزش شده بعد از ترمیم برای صافی سطح



شکل (۲): الف- نمونه ای از ابزارهای مورد استفاده، ب- نمونه ای از قطعات در حال ماشینکاری

۳- طراحی آزمایش

به منظور افزایش راندمان، دقت در تحلیل ها و صرفه جویی در هزینه، باید طراحی آزمایش مناسب صورت گیرد. روش تاگوچی یکی از پرکاربردترین و اقتصادی ترین روشهای طراحی آزمایش است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است [۱۹ و ۱۴].

جدول (۲) متغیرها آزمایش و مقدار آنها را نشان می دهد. مقادیر انتخابی فاکتورها بر اساس مطالعات انجام شده، آزمایشات اولیه و مقادیر مورد استفاده در صنعت در نظر گرفته شده است. طبق این جدول دو فاکتور نوع ابزار و درصد امولسیون روانکار به عنوان پارامترهای متغیر مورد بررسی انتخاب شده اند که هر کدام دارای سه سطح یا سه مقدار می باشند. فاکتورها، تعداد سطوح و مقادیر آنها از جمله مهمترین عوامل بر اقتصاد آزمایش به شمار می آیند و تأثیر مستقیم بر آرایه انتخابی دارند. با توجه به تعداد فاکتورها، سطوح و تعاملات دوتایی بین فاکتورها، درجه آزادی برابر $DOF=8$ می باشد که لزوم انتخاب آرایه L_9 را به عنوان کاملترین آرایه استاندارد ایجاد می کند. این آرایه دارای ۴ ستون سه مقداری می باشد. در این تحقیق، فاکتورهای نوع ابزار و درصد امولسیون روانکار به ترتیب به ستونهای ۱ و ۲ نسبت داده شده اند. تعامل دوتایی نیز به ستون های مشخص نسبت داده شده است. در حالیکه بقیه ستونها خالی می باشند و این ستونهای خالی به تعامل آرایه آسیبی نمی رساند. هر آزمایش سه بار تکرار شده که مجموعاً ۲۷ آزمایش انجام شده است [۱۹ و ۱۴]. علت تکرار آزمایشات غلبه بر پارامترهای غیرقابل کنترل (نظیر ارتعاش، سایش ابزار و...) می باشد. کنترل این فاکتورها بسیار مشکل یا دربرخی موارد غیرممکن می باشد.

نشان دهنده درصد تاثیر فاکتورها بر توان مصرفی می باشد که بوسیله فرمولهای فوق قابل محاسبه است. از جدول (۳) می توان نتیجه گرفت که اثر پارامتر نوع ابزار نسبت به پارامتر درصد امولسیون روانکار بر صافی سطح بیشتر است و همچنین اثر متقابل نوع ابزار و درصد امولسیون روانکار نسبت به هر کدام از فاکتورها بیشتر است. درصد اهمیت یا درصد وزنی فاکتورها بر صافی سطح در شکل (۴) ارائه شده است.

جدول (۳) نتایج تحلیل واریانس را برای صافی سطح نشان می دهد. در این جدول، DF درجه آزادی، Seq SS مجموع مربعات متوالی و adj MS میانگین مربعات تنظیم یافته می باشد [۱۹ و ۱۵]. مقدار P کوچکتر از ۰/۰۵ بیانگر صحت فرضیه تهی می باشد و از آن می توان نتیجه گرفت که فاکتور مربوطه بر روی خروجی آزمایش تاثیر قابل ملاحظه ای داشته است. ستون انتهایی جدول (۳) به درصد وزنی یا توزیع فاکتورها بر خروجی مورد نظر اختصاص داده شده است که

جدول (۳): جدول آنالیز واریانس صافی سطح

Source	DF	Seq ss	Adj ss	Adj Ms	F	P	Weight (percentage of contribution)
T	۲	۰/۱۱۲۹۹	۰/۱۱۵۲۰	۰/۰۵۷۶۰۱	۶۱/۶۶	۰/۰۰۰	۴۲/۹۶%
%E	۲	۰/۰۱۰۳۷۷	۰/۰۱۳۸۲۱	۰/۰۰۶۹۱۱	۷/۴۰	۰/۰۰۵	۳/۲۸۹%
T×%E	۴	۰/۱۲۰۳۴۳	۰/۱۲۰۳۴۳	۰/۰۳۰۰۸۶	۳۲/۲۱	۰/۰۰۰	۴۵/۰۸%
Error	۱۶	۰/۰۱۴۹۴۶	۰/۰۱۴۹۴۶	۰/۰۰۰۹۳۴		۰/۰۱۲	۸/۶۷%
Total	۲۴	۰/۲۵۸۶۵۸					۱۰۰%

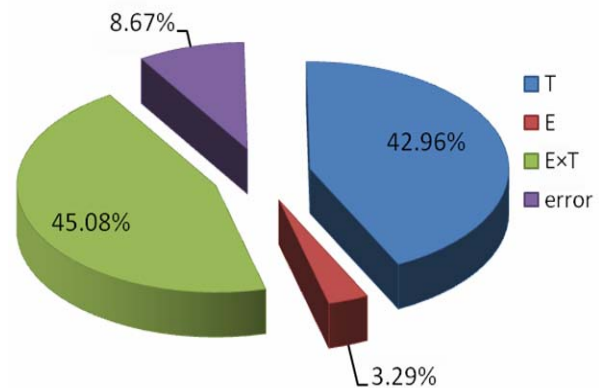
S = ۰/۰۳۰۵ R-Sq = %۹۴/۲۲ R-Sq(adj) = %۹۱/۳۳

در رابطه (۱) R_a صافی سطح برحسب میکرومتر (μm) و T, E فاکتورهای آزمایش مطابق جدول (۲) می باشند. نتایج مربوط به آنالیز واریانس رگرسیون در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴): آنالیز واریانس رگرسیون رابطه (۱) برای صافی سطح

Source	D	SS	MS	F	P
Regression	۵	۱/۴۶۵۵۷	۰/۰۲۹۳۱	۳۸/۵۱	۰/۰۰
Res Error	۱۶	۰/۱۲۱۷۹	۰/۰۰۰۷۶۱		
Total	۲۱	۱/۵۸۷۳۰			

S = ۰/۰۲۷۵۸۹۷ R-Sq = %۹۲/۳ R-Sq(adj) = %۸۹/۹



شکل (۴): درصد وزنی پارامترهای ماشینکاری بر صافی سطح

جدول (۴) مقادیر پارامترهای آماری $R-Sq$ و $R-Sq(adj)$ بیانگر صحت مدل ارائه شده می باشند [۱۹]. در جدول (۵) نتایج مربوط به تست صحت مدل ریاضی، ارائه شده است. سطوح انتخابی برای تست صحت از مقادیری بغیر از مقادیر آزمایش و به صورت تلفیقی در نظر گرفته شده است. در این جدول مقایسه بین صافی سطح واقعی (مقدار آزمایش) و مقدار بدست آمده از مدل صورت گرفته است. در جدول (۵)، $R_a(Exp)$ مقدار واقعی و همچنین R_a مقدار بدست آمده از مدل درجه ۲ می باشد. مقدار خطای نسبی نیز در ستون آخر ارائه شده است.

۴-۲- ارائه مدل آماری

در این قسمت با بکارگیری تحلیل رگرسیون که از روش حداقل مربعات استفاده می کند مدلی آماری که داده های آزمایشی را برازش می کند ارائه شده است. در پژوهش های اخیر، از خواص توابع مختلف برای دستیابی به مدلی بهینه استفاده شده است [۲] رابطه (۱) مدل درجه ۲ را برای صافی سطح نشان می دهد.

$$R_a = ۰/۸۷۹ - ۰/۳۴۳T + ۰/۰۶۴۴E + ۰/۰۶۵۱T^2 - ۰/۰۰۳۸۸E^2 - ۰/۰۰۰۲۴T \times E \quad (1)$$

نوع ابزار و درصد امولسیون روانکار بیشترین تاثیر را نسبت به اثر هر کدام از فاکتورها دارند.

۲- مدل ارائه شده برای پیش بینی میزان صافی سطح دارای دقت خوبی بوده و با نتایج تست صحت همخوانی دارد.

۳- مقادیر بهینه برای فاکتورهای نوع ابزار و درصد امولسیون سیال محاسبه گردید که بر اساس نتایج بدست آمده امولسیون ۵٪ و ابزار پلی کریستال به عنوان مقادیر بهینه برای دستیابی به بهترین کیفیت سطح در نظر گرفته شده اند.

۴- با مقایسه میزان صافی سطح ماشینکاری شده بدون استفاده از سیال روانکار و مقدار صافی سطح بدست آمده در ماشینکاری با سیال روانکار ۵٪ کیفیت سطح بیشتر از ۹ درصد بهبود یافته است.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مساعدت کلیه افراد و سازمانهایی که در انجام این تحقیق همکاری نمودند به خصوص حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد نجفآباد و شرکت نفت بهران استان اصفهان صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایند.

۷- مراجع

- [1] Maleki, A., Niroumand, B., Shafyei, A., "Effects of squeeze casting parameters on density, macrostructure and hardness of LM13 alloy", Materials Science and Engineering A 482,2006, pp. 135-140.
- [2] Davim, J. P., "Design of optimization of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays", Journal of Materials Processing Technology 132, 2002, pp. 340-344.
- [3] Heath, J. P., "Development in application of PCD tooling", Journal of Materials Processing Technology 116, 2001, pp. 31-38.
- [4] Davim, P. J., "Diamond tool performance in machining metal-matrix composites", Journal of Materials Processing Technology 128, PP 100-105, 2002.
- [5] Davim, J. P., Baptista, M., "Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon carbide reinforced aluminium", Journal of Materials Processing Technology 103, 2000, pp. 417-423.
- [6] Durante, S., Rutelli, G. and Rabezana, F., "Aluminum-based MMC machining with diamond-coated cutting tools", Surface and Coatings Technology 94-95, 1997, pp. 632-640.
- [7] El-Hofy, H., "Advance Machining Process", McGraw-Hill, 2005.

جدول (۵): مقادیر تست صحت صافی سطح بدست آمده از مدل های درجه ۲

Level	T	E
۱	۱/۸۱۱	۲/۳۴۲
۲	۳/۶۹۸	۳/۰۳۰
۳	۲/۵۷۴	۲/۷۱۱
Delta	۱/۸۸۷	۰/۶۸۷

۳-۴- بهینه سازی پارامترها برای صافی سطح

برای بهینه سازی پارامترها از روش S/N استفاده شده است. نسبت S/N از رابطه (۲) به منظور دستیابی به حداقل صافی سطح حاصل می گردد [۸ و ۹].

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2)$$

در رابطه (۲) y_i مقادیر خروجی و n تعداد تکرارها است. مقدار S/N برای هر مقدار فاکتور قابل محاسبه می باشد. مقادیر S/N بیشینه، بعنوان مقدار بهینه هر فاکتور تشخیص داده می شود [۸ و ۱۴]. مقادیر S/N برای سطوح هر فاکتور در جدول (۶) ارائه شده است. برای فاکتور درصد امولسیون سیال (E)، بیشترین مقدار S/N ۳/۶۹۸ می باشد و بنابراین به نظر می آید، سطح ۲ فاکتور درصد امولسیون مقدار بهینه بوده که مقدار آن ۵٪ است. همچنین سطح ۱ فاکتور نوع ابزار، ابزار PCD (CD10) بعنوان مقادیر بهینه برای دستیابی به حداقل زبری سطح بشمار می رود.

جدول (۶): مقادیر نسبت S/N فاکتورها برای صافی سطح

Test	T	E	$R_a(\text{Exp})$	R_{a1}	Error (R_{a1})
۱	CD10	۵٪	۰/۶۱۶	۰/۵۳۹۵	۰/۱۲۴
۲	CD1810	۵٪	۰/۶۶۷	۰/۶۸۸	۰/۳/۱۴
۳	H10	۸٪	۰/۷۵۶	۰/۶۹۷	۰/۷/۸

مقدار صافی سطح در شرایط بهینه با بکارگیری روانکار ۰/۶۳۹ میکرون می باشد. در حالی که میزان صافی سطح در ماشینکاری بدون استفاده از روانکار ۰/۷۰۵ میکرون است. این میزان اختلاف نشان دهنده بهبود کیفیت صافی سطح ماشینکاری شده به اندازه بیشتر از ۹ درصد می باشد.

۵- نتیجه گیری

در بررسی اثر درصد امولسیون روانکار و نوع ابزار بر میزان صافی سطح در فرایند ماشینکاری آلیاژ EN AC 48000 نتایج زیر حاصل گردید:

۱- اثر پارامتر نوع ابزار نسبت به پارامتر درصد امولسیون روانکار بر صافی سطح ماشینکاری شده بیشتر است و همچنین اثر متقابل

- [۸] حقی، س. ج.، "ابزارهای برشی مدرن جلد ۱"، انتشارات نشر طراح، ۱۳۸۳.
- [14] Ranjitic, R., " Design Of Experiment Using the Taguchi approach", Wiley, NewYork, 2001.
- [15] Phadke, M. S., "Quality Engineering using Robust Design", Prentice, Hall, International, Inc ., EnglewoodCliffs, NJ,1989.
- [16] Ghani, J. A., Choudhhury, I. A., Hassan, H. H., "Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters", Journal of Material Processing Technology 145 , 2004, pp. 84-92.
- [17] Pawade Suhas, R. S., Joshi, S., Brahmkankar, P. K., and Rahman, M., "An Invesigation of Cutting Forces and Surface Damage in High-Speed Turning of Inconel 718", Journal of Material Processing Technology, Accepted Manuscript, 2007.
- [18] Cutting tools from Sandvik Coromant", Main catalogue, 2006.
- [19] Montgometry, D. C., "Design and analysis of experiment", John Wiley & Sons Inc, 2000.
- [20] Kucuk, H., "Model Prediction of Cutting Forces for Aluminium Turning", Department of Mecanical Education, faculty of Technical Education, Marmara University, Istanbul, Turkey, 2001.
- [9] Davim, J. P., "Machining Fundamental and Recent advance", Springer, 2007.
- [10] Ioan D. Marinescu, Handbook of Advance ceramic machining ,CRC Press, Taylor and Francis Group, 2006.
- [11] List, G., Nouari, M., Gehin, D., Gomez, S., Manaud, J. P., Petitcorps, Y.Le. and Girot, F., "Wear behaviour of cemented carbide tools in dry machining of aluminium alloy, Wear 259 P:1177-1189, 2005.
- [۱۲] شاهعلی، ح.، زارع پور فیروز آبادی، ح.، " بررسی ومطالعه آماری بر روی پارامتر های موثر بر صافی سطح در فرآیند ماشینکاری آلیاژ LM13 وارائه مدل‌های زبری " و پانزدهمین کنفرانس سالانه(بین المللی) مهندسی مکانیک ISME2007 ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۲۵-۲۷ اردیبهشت ۱۳۸۶، ISME2007-1762.
- [13] Shetty, R., Pai, R., Kamath, V., and Shrikanth S. Rao, " Steam as coolant and lubricant in turning of metal matrix composites", Zhejiang University Press, co-published with Springer-Verlag GmbH, 2008.