

بررسی پارامترهای موثر بر توان مصرفی و ارائه مدل‌های پیش‌بینی کننده در ماشینکاری EN-AC 48000

حمید زارع پور فیروزآبادی^۱، حسام شاه علی^۲، اسماعیل سلطانی^۳
H-zare@iaun.ac.ir

چکیده

در این مقاله به مطالعه و بررسی تاثیر پارامترهایی همچون سرعت برشی، نرخ پیشروی و نوع ابزار بر توان مصرفی (P_m) در ماشینکاری آلیاژ EN-AC 48000 به روش‌های تحلیل‌های آماری پرداخته شده است. برای انجام آزمایشات از آرایه استاندارد L_{27} تاگوچی به عنوان آرایه اقتصادی برای مطالعه فاکتورها و تعاملات بین فاکتورها استفاده شده است. تعداد آزمایشات با انجام دو تکرار جمعاً ۵۴ آزمایش برای خروجی مورد نظر می‌باشد. آلیاژ EN-AC 48000 یکی از آلیاژهای مهم در صنعت به شمار می‌آید. ماشینکاری این آلیاژ به علت ایجاد لبه انباشته و فرسایش ابزار بسیار حائز اهمیت است. توان مصرفی از عوامل موثر بر عمر ابزار، دقت ابعادی و راندمان تراش می‌باشند. در مقاله حاضر از سه نوع ابزار مخصوص تراشکاری آلیاژهای آلومینیوم شامل کارباید روکش‌دار (CD1810)CVD، کارباید بدون پوشش (H10) و الماس پلی کریستال (CD10)PCD استفاده شده است. بررسی تاثیر 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 به وسیله آنالیز S/N در مورد خروجی‌های آزمایش بیان شده‌اند و همچنین مدل‌های رگرسیون برای پیش‌بینی توان مصرفی و تست‌های صحت به منظور درستی مدل‌ها، ارائه شده است.

کلیدواژه:

ماشینکاری آلیاژ EN-AC 48000- توان مصرفی - تحلیل‌های آماری

۱- کارشناس ارشد گروه مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ساخت و تولید

۳- کارشناس ارشد گروه مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۱- مقدمه

ماشینکاری آلیاژهای آلومینیم از دیرباز به علت مشکلات خاص آن از جمله ایجاد لبه انباشته، فرسایش ابزار و رفتار غیر مشابه آن نسبت به دیگر فلزات مورد بحث بوده است. یکی از آلیاژهای مهم در صنعت خودرو و هوا فضا، آلیاژ آلومینیوم-سیلیسیم می باشد. در این بین، آلیاژ EN-AC 48000 به واسطه خواصی مانند استحکام بالا، ضریب انبساط حرارتی پایین و سبکی در پیستون خودرو به کار 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 کامپوزیت های 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 کامپوزیت های آلومینیوم از ابزارهای پلی کریستال (PCD) و روکش دار (CVD) استفاده می شود [۴، ۵، ۶]. این ابزارها به علت خواص ذاتی و شیمیایی، برای ماشینکاری آلیاژها و کامپوزیت های آلومینیم بسیار مناسب می باشند [۳، ۷].

ابزار پلی کریستالی دارای سختی بالا ۳ تا ۴ برابر سیلیکون کارباید و در حدود الماس طبیعی می باشد [۳]. این ابزار دارای مقاومت سایش و عمر بالا در حدود ۵ تا ۱۰ ابزارهای کارباید روکش دار با TiC, TiN [۶] و صد برابر سمنند کارباید می باشد. سختی و مقاومت به سایش این ابزار به گونه ای است که برای آماده سازی سنگها از آن استفاده می شود [۷] 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 صلیبت کافی باشند [۷]. ابزارهای به کار رفته در این تحقیق از جمله ابزارهای مناسب برای ماشینکاری آلیاژ EN-AC 48000 محسوب می شوند.

برای انجام آزمایشات از آرایه استاندارد تاگوچی استفاده شده است. از جمله محاسن استفاده از آرایه های متعامد، صرفه جویی در وقت و هزینه به وسیله 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 به کار 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 [۸، ۹، ۱۰]. پارامترهای زیادی بر توان مصرفی در ماشینکاری آلیاژها و کامپوزیت های آلومینیم دخالت 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 صورت گرفته و فاکتورهای موثر بر نیروها و توان مصرفی و سایش ابزار مورد بررسی قرار گرفته است و مدلی مناسب جهت پیش بینی خروجی مورد نظر و مقادیر بهینه توسط آنالیز S/N ارائه شده است [۱۰، ۱۱]. در مقاله حاضر سعی شده توان مصرفی در فرایند ماشینکاری EN-AC48000 به عنوان یکی از آلیاژهای پر کاربرد صنعت، با توجه به پارامترهای موثر همچون سرعت برشی، نرخ پیشروی و نوع ابزار با استفاده از روش های تحلیل آماری مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای آن بهینه سازی شوند.

۲- قطعات، ابزارها و تجهیزات مورد استفاده

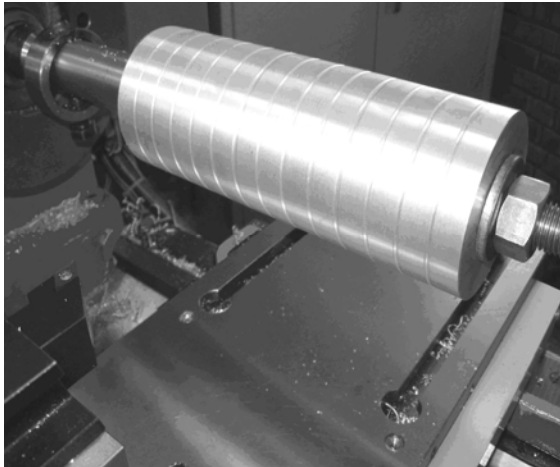
تعداد ۲۷ قطعه از جنس EN-AC 48000 پیستون ریخته گری شده به روش دایکاست ثقلی مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیبات آلیاژ EN-AC 48000 در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): ترکیبات شیمیایی EN-AC48000

Element	Wt%
Cu	0.7-1.5
Mg	0.8-1.5
Si	10-13
Fe	<1
Mn	<0.5
Ni	<1.5
Zn	<0.5
Pb	<0.1
Sn	<0.1
Ti	<0.2
Al	Reminder

سختی قطعات کنترل شده و در محدوده ۱۱۰-۱۰۰ برینل می باشد. نمونه ای از تصاویر متالوگرافی قطعه با بزرگنمایی ۲۰۰ برابر در شکل (۱) 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.

در رابطه (۱)، P_m توان مصرفی بر حسب کیلو وات (kw) و F_t نیروی اصلی برش بر حسب نیوتن و V سرعت برشی بر حسب m/min می‌باشد.



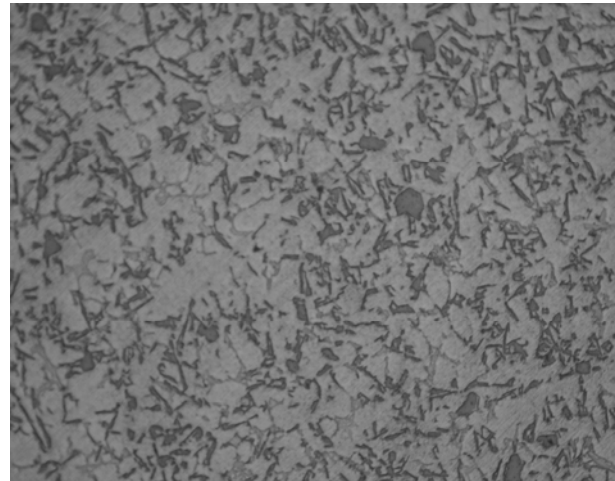
(الف)



(ب)

شکل (۲): الف- قطعه آماده سازی شده و نصب شده روی فیکسچر
ب- تجهیزات مورد استفاده جهت ماشینکاری

ابزارهای اینسرتی مورد استفاده از سه نوع ابزار مخصوص تراشکاری آلیاژهای آلومینیم شامل کارباید روکش دار (CD1810) CVD، کارباید بدون پوشش (H10) و الماس پلی کریستال (CD10) انتخاب شده است [۱۳]. لازم به تذکر است که ماشینکاری به صورت خشک (بدون روانکار) انجام شده است. کد شناسایی این ابزارها عبارتند از:
CD10 : DCMW 11 T3 04 FP
CD1810 : DCGX 11 T3 04-A1
H10 : DCGX 11T3 04-A1



شکل (۱): تصویر متالوگرافی قطعه با بزرگنمایی ۲۰۰

بعد از انجام عملیات‌های کف‌تراشی، برش و روتراشی بر روی قطعات به منظور انجام آزمایشات بر روی فیکسچر نصب می‌شوند. قطر تمام قطعات بعد از روتراشی و حذف خطای لنگی ۸۷ میلی‌متر و طول ماشینکاری ۲۳۱ میلی‌متر می‌باشد. شکل (۲-الف) قطعات نصب شده بر فیکسچر را نشان می‌دهد. پس از عملیات روتراشی، شیارهایی به عمق ۰/۷ و پهنای ۳ میلی‌متر توسط ابزار شیار تراش ایجاد شده است. این شیارها پاس‌های مختلف ماشینکاری را کاملاً جدا کرده و از ایجاد براده با لبه انباشته در توقف و شروع مجدد عملیات براده برداری جلوگیری می‌کند. لازم به تذکر است که عمق تراش ۰/۶ در جهت شعاعی انتخاب شده است. تعداد ۵۴ آزمایش ماشینکاری بر روی قطعات در شرایط کنترل شده انجام می‌گیرد. ماشین مورد استفاده برای انجام عملیات تراشکاری، ماشین TN50D ساخت شرکت ماشین سازی تبریز می‌باشد. این ماشین دارای خروجی دیجیتال در دو جهت شعاعی و محوری است. بنابراین تنظیم عمق بار و طول براده برداری با دقت خوبی (در حد ۰/۰۱ میلی‌متر) ایجاد می‌شود. شکل (۲-ب) نمایی از تجهیزات مورد استفاده نشان می‌دهد. در این آزمایش دستگاه دینامومتر KISTLER با پیژوالکتریک 9257B و شماره شناسایی آمپلی فایر 5019B130 جهت اندازه‌گیری نیروی اصلی برش (F_t) استفاده می‌شود که قابلیت اندازه‌گیری نیروهای ماشینکاری در سه جهت با فرکانس تشدید مناسب را دارد. اندازه‌گیری نیرو بر حسب نیوتن انجام می‌شود. توان مصرفی از حاصلضرب نیروی اصلی برش و سرعت برشی بدست می‌آید که به صورت زیر ارائه شده است [۱۲]

$$P_m = F_t \times V \quad (۱)$$

جدول (۲) فاکتورها (پارامترهای ورودی) و مقدار آنها را نشان می‌دهد. مقادیر انتخابی فاکتورها بر اساس مطالعات انجام شده، آزمایشات اولیه و مقادیر مورد استفاده در صنعت در نظر گرفته شده است. طبق این جدول سه فاکتور سرعت برشی، نرخ پیشروی و نوع ابزار به عنوان فاکتورهای مورد بررسی انتخاب شده‌اند که هر کدام دارای سه سطح یا سه مقدار می‌باشند. فاکتورها، تعداد سطوح و مقادیر آنها از جمله مهمترین عوامل بر اقتصاد آزمایش به شمار می‌آیند و تأثیر مستقیم بر آرایه انتخابی دارند. با توجه به تعداد فاکتورها، سطوح و تعاملات دوتایی بین فاکتورها، درجه آزادی برابر $DOF=18$ می‌باشد که لزوم انتخاب آرایه L_{27} را به عنوان اقتصادی‌ترین آرایه استاندارد ایجاب می‌کند. این آرایه دارای ۱۳ ستون سه مقداری می‌باشد. در این تحقیق، فاکتورهای سرعت برشی، نرخ پیشروی و نوع ابزار به ترتیب به ستون‌های ۱ و ۲ و ۶ نسبت داده شده‌اند. تعاملات دو تایی نیز به ستون‌های مشخص نسبت داده شده‌است. در حالی که بقیه ستون‌ها خالی می‌باشند و این ستون‌های خالی به تعامل آرایه آسیبی نمی‌رساند. هر آزمایش دو بار تکرار شده که مجموعاً ۵۴ آزمایش انجام شده است. در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر به منبع [۸ و ۱۴] مراجعه شود. علت تکرار آزمایشات غلبه بر پارامترهای غیرقابل کنترل (نظیر ارتعاش، سایش ابزار و...) می‌باشد. کنترل این فاکتورها بسیار مشکل یا در برخی موارد غیرممکن می‌باشد.

جدول (۲): فاکتورهای آزمایش و مقادیر آن

فاکتور آزمایش	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
V(m/min)	136.66	194.06	273.32
a_f (mm/rev)	0.07	0.11	0.2
T(tool)	1(CD1810)	2(H10)	3(CD10)

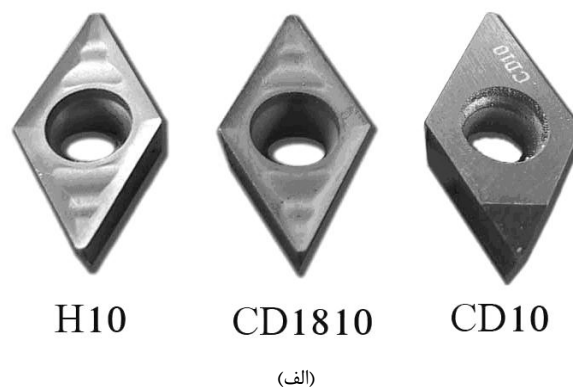
۴- تحلیل‌های آماری بر روی توان مصرفی

۴-۱- بررسی تأثیر فاکتورها

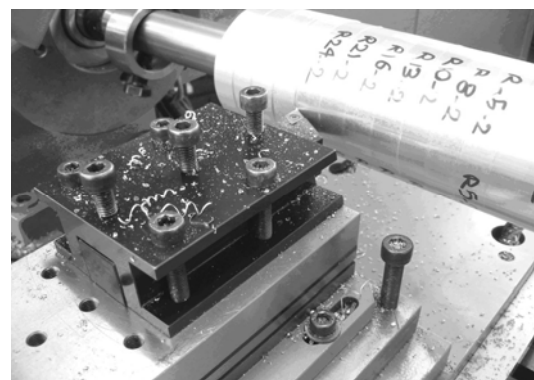
در این پژوهش از تحلیل واریانس برای بررسی تأثیر فاکتورها بر روی خروجی توان ماشینکاری استفاده شده‌است. این تحلیل با فرض نرمال بودن توزیع خطا، استقلال آن و ثابت بودن واریانس به تست فرض تھی با استفاده از مقدار P (P-value) می‌پردازد [۱۵].

پراکندگی روند توزیع نقاط اطراف خط راست مورب نشان دهنده نرمال بودن توزیع مقادیر باقیمانده یا همان خطاست. مقدار آماری P-value، مقادیر عددی تست نرمال بودن توزیع را در اختیار می‌گذارند. کوچکتر بودن P-value از مقدار 0.05 (سطح اطمینان در این تحقیق 95% در نظر گرفته شده‌است) نشان می‌دهد که خطا دارای توزیع نرمال نمی‌باشد [۱۵].

شعاع لبه برنده و زوایای ابزار در هر سه نوع ابزار یکسان در نظر گرفته شده‌است. هندسه اینسرت و هلدرا با توجه به عملیات پرداخت انتخاب شده‌اند [۱۳].



(الف)



(ب)

شکل (۳): الف- نمونه‌ای از ابزارهای مورد استفاده ب- نمونه‌ای از قطعات در حال ماشینکاری

نمونه‌ای از ابزارهای مورد استفاده در شکل (۳- الف) نشان داده شده است و همچنین شکل (۳- ب) نمونه‌ای از قطعات در حال ماشینکاری را نشان می‌دهد. به منظور دقت بیشتر در انجام آزمایشات، تست لنگی گلوبی دستگاه تراش و خطای انحراف مرغک انجام شده که به ترتیب 0.02 میلی‌متر و 0.01 میلی‌متر اندازه‌گیری شد این مقادیر در حد خطاهای مجاز دستگاه قرار داشته و بر انجام آزمایشات تأثیر نامطلوبی ندارد.

۳- طراحی آزمایش‌ها

به منظور افزایش راندمان، دقت در تحلیل‌ها و صرفه‌جویی در هزینه، باید طراحی آزمایش مناسب صورت گیرد. روش تاگوچی یکی از پرکاربردترین و اقتصادی‌ترین روش‌های طراحی آزمایش است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است [۸ و ۹].

از پراکندگی غیرمعمول برخوردار باشد. شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب) به ترتیب نمودار "احتمال نرمال مقادیر باقیمانده" و نمودار "مقادیر باقیمانده در برابر مقادیر برازش شده" پس از ترمیم داده‌ها را نشان می‌دهند. در چنین شرایطی تحلیل واریانس قابل اجرا بوده و نتایج آن قابل اعتماد خواهد بود. جدول (۳) نتایج تحلیل واریانس را برای توان مصرفی نشان می‌دهد. در این جدول، DF، درجه آزادی، Seq SS مجموع مربعات متوالی و adj MS میانگین مربعات تنظیم یافته می‌باشد. برای کسب اطلاعات بیشتر به مرجع [۱۵] مراجعه شود. مقدار P کوچکتر از ۰/۰۵ بیانگر صحت فرضیه تهی می‌باشد و از آن می‌توان نتیجه گرفت که فاکتور مربوطه بر روی خروجی آزمایش تاثیر قابل ملاحظه‌ای داشته است. ستون انتهایی جدول (۳) به درصد وزنی یا توزیع فاکتورها بر خروجی مورد نظر اختصاص داده شده است که نشان دهنده درصد تاثیر فاکتورها بر توان مصرفی می‌باشد. که به وسیله فرمول‌های فوق قابل محاسبه است.

$$S_T = \sum_{i=1}^{\infty} (Y_i^2 - \frac{T^2}{N}) \quad (2)$$

$$V_e = \frac{S_e}{f_e} \quad (3)$$

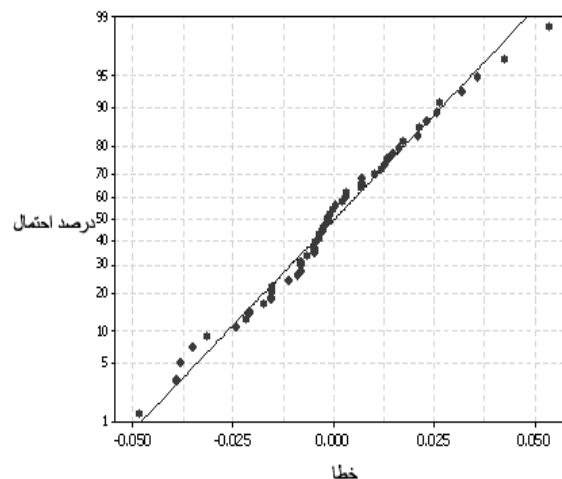
$$S'_A = S_A - (V_e \times f_A) \quad (4)$$

$$P_A = \frac{S'_A}{S_T} \quad (5)$$

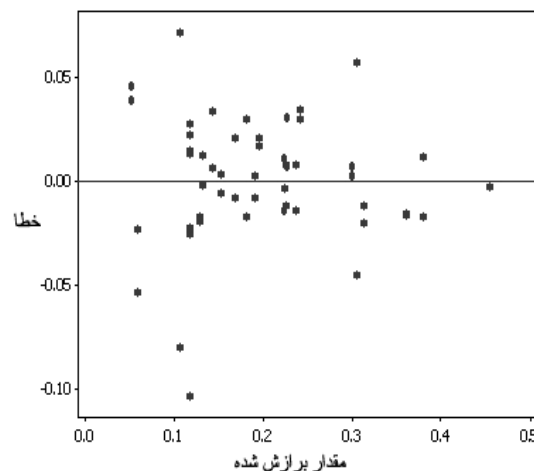
در فرمول (۲)، S_T مجموع کل مربعات، Y_i^2 مجموع مربعات خروجی و $\frac{T^2}{N}$ ضریب تصحیح که در آن T مجموع داده‌ها (خروجی) و N تعداد آزمایشات می‌باشد. در فرمول (۳)، V_e خطای واریانس، S_e خطای مجموع مربعات و f_e خطای درجه آزادی که در جدول (۳) ارائه شده است. در فرمول (۴)، S'_A مجموع مربعات خالص فاکتور A و S_A مجموع مربعات فاکتور A و f_A درجه آزادی فاکتور A می‌باشد و در نهایت P_A درصد توزیع فاکتور A طبق فرمول (۵) از حاصل تقسیم مجموع مربعات خالص و مجموع کل مربعات بدست می‌آید.

در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر به منبع [۸ و ۱۴] مراجعه شود. از جدول (۳) می‌توان نتیجه گرفت که پارامترهای پیشروی، سرعت برشی و نوع ابزار به ترتیب بیشترین تاثیر را بر توان مصرفی داشته است. همچنین تعامل بین پیشروی و سرعت برشی بیشترین تاثیر را بر نیروی اصلی تراش دارد. اثر تعامل بین نرخ پیشروی و نوع ابزار بر توان مصرفی در شکل (۵-الف) ارائه شده است. اثر متقابل بین سرعت برشی و نوع ابزار در شکل (۵-ب) ارائه شده است و اثر تعامل بین نرخ پیشروی و سرعت برشی در شکل (۵-ج) ارائه شده است.

ثابت بودن واریانس نیز توسط نمودار "مقادیر باقیمانده در برابر مقادیر برازش شده" بررسی می‌شود. عدم رعایت ساختار مشخص توسط نقاط نمودار، ثابت بودن واریانس را نشان می‌دهد. در شرایطی که روند توزیع واریانس ثابت نیست نمی‌توان به نتیجه تحلیل واریانس اعتماد کرد. برای غلبه بر مشکل موجود از تکنیک ترمیم داده‌ها استفاده شده است. اساس این تکنیک حذف داده‌های مربوط به مشاهدات غیر معمول و تکرار تحلیل بدون وجود این داده‌هاست. پس از انجام ترمیم داده، شرایط به سمت وضعیت بهبود یافته پیش می‌رود. به این مفهوم که توزیع خطا نرمال شده، واریانس ثابت گشته و خطا مستقل می‌گردد.



شکل (۴): الف- نمودار احتمال نرمال بعد از ترمیم داده



شکل (۴): ب- نمودار خطا در برابر مقادیر برازش شده بعد از ترمیم برای توان مصرفی

مشاهده غیرمعمول مشاهده‌ای است که نسبت به روند قرارگیری نقاط در نمودار "متغیرهای وابسته در مقابل متغیرهای مستقل"

جدول (۳): جدول آنالیز واریانس برای توان مصرفی (P_m)

Source	DF	Seq ss	Adj ss	Adj Ms	F	P	Weight(percentage of contribution)
V	2	0.136654	0.105109	0.052555	78.92	0.000	25.78%
a_f	2	0.268745	0.269931	0.134965	202.66	0.000	50.9%
T	2	0.056649	0.063799	0.031900	47.90	0.000	10.5%
$V \times a_f$	4	0.022404	0.023460	0.005865	8.81	0.000	3.76%
$V \times T$	4	0.009401	0.010109	0.002527	3.79	0.012	1.28%
$a_f \times T$	4	0.009008	0.009008	0.002252	3.38	0.020	1.21%
Error	33	0.021977	0.021977	0.000666			6.56%
Total	51	0.524838					100%

S = 0.0258061 R-Sq = 95.81% R-Sq(adj) = 93.53%

۴-۲- ارائه مدل آماری

در این قسمت با بکارگیری تحلیل رگرسیون که از روش حداقل مربعات استفاده می‌کند مدلی آماری که داده‌های آزمایشی را برازش می‌کند ارائه شده است. در پژوهش‌های اخیر، از خواص توابع مختلف برای دستیابی به مدلی بهینه استفاده شده است [۱۶]. در این قسمت سعی می‌شود با استفاده از خواص توابعی از جمله درجه ۳ و توانی مدل بهینه‌ای برای پیش بینی توان مصرفی تراش ارائه شود. رابطه (۶) مدل درجه سه را برای توان مصرفی را نشان می‌دهد.

$$P_m = 0.0389 + 0.000281V + 0.130 a_f - 0.0745 T + 0.00637 V \times a_f + 0.000244 V \times T + 0.183 a_f \times T - 0.000001V^2 - 1.18 a_f^2 + 0.00994 T^2 - 0.000406 V \times a_f \times T$$

(۶) P_m توان مصرفی برحسب کیلو وات (kw)، T ، V ، a_f همان فاکتورهای آزمایش مطابق جدول (۲) می‌باشند. نتایج مربوط به آنالیز واریانس رگرسیون (۶) در جدول (۴) ارائه شده است.

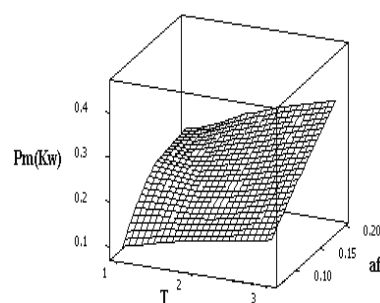
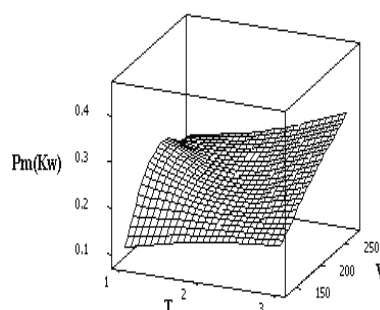
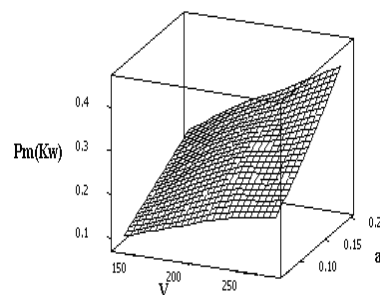
جدول (۴): جدول آنالیز واریانس رگرسیون رابطه (۶) برای P_m

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	10	0.37	0.037	506	0.00
Res Error	32	0.002339	0.000073		
Total	42	0.372310			

S = 0.00855 R-Sq = 99.4% R-Sq(adj) = 99.2%

جدول (۴) پارامترهای رگرسیون را برای معادله نشان می‌دهد. پارامترهای آماری $R-Sq$ و $R-Sq(adj)$ نیز برای تحلیل رگرسیون آورده شده‌اند که مقادیر آنها بیانگر صحت خوب مدل ارائه شده می‌باشد. برای کسب اطلاعات بیشتر به مرجع [۱۵] مراجعه شود. رابطه (۷) مدل درجه توانی را برای توان مصرفی نشان می‌دهد.

$$P_m = 7.67 \times 10^{-3} \times V^{0.898} \times a_f^{0.746} \times T^{0.22} \quad (7)$$

شکل (۵): الف- اثر متقابل نرخ پیشروی و نوع ابزار بر توان مصرفی (P_m)شکل (۵): ب- اثر متقابل سرعت برشی و نوع ابزار بر توان مصرفی (P_m)شکل (۵): ج- اثر متقابل سرعت برشی و پیشروی بر توان مصرفی (P_m)

نتایج مربوط به آنالیز واریانس رگرسیون (۷) در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵): جدول آنالیز واریانس رگرسیون رابطه (۷) برای توان مصرفی (P_m)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	7.7444	2.5815	644.76	0.000
Res Error	39	0.1561	0.0040		
Total	42	7.9006			

$S = 0.0632$ $R-Sq = 98.0\%$ $R-Sq(adj) = 97.9\%$

در جدول (۶) نتایج مربوط به تست صحت مدل‌های ریاضی، ارائه شده است. سطوح انتخابی برای تست صحت از مقادیری به غیر از مقادیر آزمایش و به صورت تلفیقی در نظر گرفته شده است. در این جدول مقایسه بین توان مصرفی واقعی (مقدار آزمایش) و مقدار به دست آمده از مدل صورت گرفته است. در جدول (۶)، $R_a(Exp)$ مقدار واقعی و همچنین P_{m1} و P_{m2} به ترتیب مقادیر به دست آمده از مدل درجه ۳ و توانی می‌باشد. مقدار خطای مطلق نیز در مورد هر سه مدل در دو ستون آخر ارائه شده است.

جدول (۶): مربوط به تست صحت مدل ($P_m(Exp)$) مقدار واقعی و همچنین مقادیر P_{m1} و P_{m2} مربوط به مدل های درجه ۳ و توانی می باشد

Test	V	a_f	T	$P_m(Exp)$	P_{m1}	P_{m2}	Error(P_{m1})	Error(P_{m2})
1	97.03	0.07	1	0.0750	0.0725	0.0642	0.0025	0.0108
2	97.03	0.16	1	0.1271	0.1283	0.1189	0.0012	0.0082
3	136.66	0.22	3	0.2680	0.2717	0.2612	0.0037	0.0068
4	194.06	0.18	2	0.2674	0.2864	0.2818	0.0190	0.0144
5	273.32	0.09	3	0.2736	0.2853	0.2598	0.0117	0.0138

بهینه فاکتورها برای دستیابی به حداقل توان مصرفی بشمار می‌روند. مقادیر بهینه در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول (۸): مقادیر بهینه فاکتورها

مقادیر بهینه	فاکتورها
136.66	سرعت برشی (m/min)
0.07	پیشروی (mm/rev)
CVD(CD1810)	نوع ابزار

۳-۴- بهینه سازی پارامترها برای صافی سطح

برای بهینه سازی پارامترها از روش S/N (Signal to Noise Ratio) استفاده شده است. نسبت S/N از رابطه (۸) بدست می‌آید [۸ و ۹].

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (8)$$

در رابطه (۸) y_i مقادیر خروجی و n تعداد تکرارها است. مقدار S/N برای هر مقدار فاکتور به دست می‌آید. مقادیر S/N بیشینه، به عنوان مقدار بهینه هر فاکتور تشخیص داده می‌شود. برای اطلاع بیشتر به مرجع [۸ و ۹] مراجعه شود. مقادیر S/N برای سطوح هر فاکتور در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول (۷): مقادیر نسبت S به N فاکتورها برای P_m

Level	V	a_f	T
1	17.54	19.05	17.54
2	15.37	14.50	14.42
3	11.94	11.30	12.89
Delta	5.60	7.75	4.65

با توجه به جدول، مقادیر SN برای سرعت برشی (۷)، بیشترین مقدار را 17.54 نشان می‌دهد بنابراین به نظر می‌آید، سطح ۱ فاکتور سرعت برشی مقدار بهینه باشد که مقدار آن 136.66m/min می‌باشد. همچنین سطح ۱ فاکتور نرخ پیشروی (0.07mm/rev) و سطح ۱ فاکتور نوع ابزار، ابزار CVD (CD1810) به عنوان مقادیر

۵- نتیجه گیری و جمع بندی

در این پژوهش ماشینکاری آلیاژ EN-AC 48000 به کمک تحلیل‌های آماری مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج زیر حاصل گردید:

- ۱- پارامترهای نرخ پیشروی، سرعت برشی و نوع ابزار به ترتیب بیشترین تأثیر را بر توان مصرفی داشته است. همچنین تعامل بین سرعت برشی و نرخ پیشروی بیشترین تأثیر را بر توان مصرفی دارد.
- ۲- هر دو نوع مدل ارائه شده از نظر صحت، برای پیش‌بینی توان مصرفی دارای دقت خوبی هستند ولی نتایج حاصل از مدل درجه ۳ به نحو مطلوبی با نتایج تست صحت همخوانی دارد و دارای خطای کمتری می‌باشد.
- ۳- توسط آنالیز نسبت S به N، مقادیر بهینه برای فاکتورهای سرعت برشی، نرخ پیشروی و نوع ابزار جهت ماشینکاری آلیاژ EN-AC 48000 به دست آمد. مقدار 136.66m/min برای سرعت برشی، مقدار 0.07mm/rev برای پیشروی و ابزار CVD (CD1810) به عنوان پارامترهای بهینه برای توان مصرفی در نظر گرفته شده‌اند.

- [۷] سید جلال حق، "ابزارهای برشی مدرن جلد ۱"، انتشارات نشر طراح، ۱۳۸۳.
- [8] R. Ranjitk, "Design Of Experiment Using the Taguchi approach", Wiley, NewYork, 2001.
- [9] M. S. Phadke, "Quality Engineering using Robust Design", Prentice, Hall, International, Inc., EnglewoodCliffs, NJ, 1989.
- [10] J. A. Ghani, I. A. Choudhury and H. H. Hassan, "Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters", Journal of Material Processing Technology 145 , pp.84-92, 2004.
- [11] R. S Pawade, Suhas S. Joshi, P. K. Brahmanekar and M. Rahman, "An Invesigation of Cutting Forces and Surface Damage in High-Speed Turning of Inconel 718", Journal of Material Processing Technology, Accepted Manuscript, 2007.
- [12] G. Booth, W. A. Knight, "Fundamentals of Machinig and Machine Tools", second edition, Merceel Dekker, New york, 1989.
- [13] "Cutting tools from Sandvik Coromant" , Main catalogue, 2006.
- [14] G. Taguchi, "Introduction to qualit engineering", Asian Productivity organization, Tokyo,1990.
- [15] D. C. Montgomery, "Design and analysis of experiment" , John Wiley & Sons Inc, 2000.
- [16] H. Kucuk, "Model Prediction of Cutting Forces for Aluminium Turning", Department of Mecanical Education, faculty of Technical Education, Marmara University, Istanbul, Turkey, 2001.
- ۶- تشکر و قدردانی**
- نویسندگان این مقاله از آقای مهندس مختاری به جهت همکاری ایشان و فراهم آوردن امکان انجام این تحقیق قدردانی می نمایند. همچنین از آقایان مهندس جهانفر، آقای محمدی مسئول کارگاه قالب سازی و آقای طاهری مسئول آزمایشگاه اندازه گیری دقیق کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید و نیز از آقایان مهندسین محمد عقیلی، علی اخوان فرید، شهاب عندلیب که اینجانب را در انجام آزمایشات یاری دادند، کمال تشکر را دارم.
- ۷- مراجع**
- [1] A. Maleki , B. Niroumand and A. shafyei, " Effects of squeeze casting parameters on density, macrostructure and hardness of LM13 alloy", Materials Science and Engineering A 482, pp.135-140, 2006.
- [2] J. Paulo, Davim, "Design of optimization of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays", Journal of Materials Processing Technology 132, pp.340-344, 2002.
- [3] P. J. Heath, "Development in application of PCD tooling" , Journal of Materials Processing Technology 116 ,pp.31-38, 2001.
- [4] J. paulo Davim, "Diamond tool performance in machining metal-matrix composites" , Journal of Materials Processing Technology 128, pp.100-105, 2002.
- [5] J.paulo Davim, M. Baptista, "Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon carbide reinforced aluminium", Journal of Materials Processing Technology 103, pp.417-423, 2000.
- [6] S. Durante, G. Rutelli and F.Rabazzana, "Aluminum-based MMC machinng with diamond-coated cutting tools", Surface and Coatings Technology 94-95, pp.632-640, 1997.