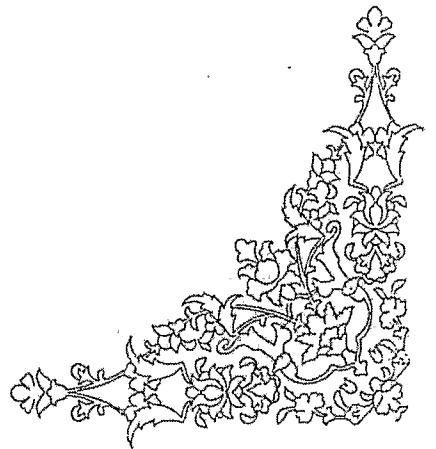
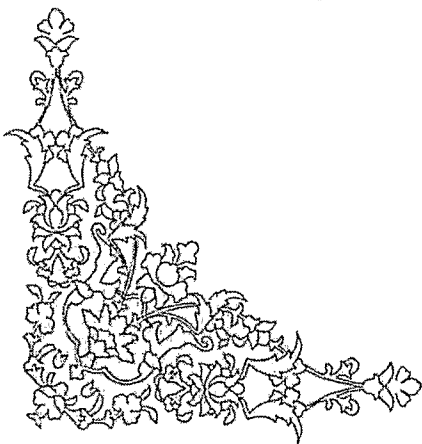


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





دانشکده فنی مهندسی مکانیک
گروه مهندسی ساخت و تولید

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی ساخت و تولید

عنوان

مدلسازی ریاضی و آنالیز مقایسه‌ای ویژگیهای ماشینکاری
تنگستن کارباید در فرایندهای EDM و US/EDM

استاد راهنما

دکتر محمدرضا شبگرد

استاد مشاور

دکتر حسین جباری خامنه

۱۳۸۷ / ۱۲ / ۸

پژوهشگر

مهدی رضائی فرهمند

بهمن ماه ۱۳۸۶

۹۶۶۱۹

تقدیم به

برترین و بهترین فرشتگان خدا در روی زمین

مادر فداکار و پدر مهربانم.

تقدیر و سپاس

حال که به فضل الهی مقطعی دیگر از تحصیلاتم به پایان رسیده است بر خود وظیفه می دانم تا از

پیکرهای و راهمنائی های بی دریغ استاد بزرگوارم آقای دکتر شکرورد در هدایت پایان نامه شکر نمایم. از

استاد خوبم آقای دکتر جباری بخاطر حسن توجه و کمک های ارزشمندشان سپاسگزارم همچنین از همه

استادان اسکنده فنی مهندسی مکانیک بالاخص استاید محترم گروه مهندسی ساخت و تولید، آنانکه

آموخته هایم را در طول سالهای شیرین و پربار تحصیل در دانشگاه مدیونشان هستم، قدر دانی می نمایم.

نام خانوادگی دانشجو: رضائی فرمند	نام: مهدی
عنوان پایان نامه: مدل سازی ریاضی و آنالیز مقایسه ای ویژگیهای ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-10%Co) در فرآیندهای EDM و US/EDM	
استاد راهنما: دکتر محمد رضا شبرگرد استاد مشاور: دکتر حسین جباری خامنه	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مهندسی مکانیک گرایش: مهندسی ساخت و تولید دانشگاه: تبریز دانشکده: فنی مهندسی مکانیک تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ماه ۱۳۸۶ تعداد صفحه: ۱۲۶	
کلید واژه ها: ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی، ارتعاشات آلتراسونیک ابزار، تنگستن کارباید، مدل سازی ریاضی، آنالیز رگرسیون، آنالیز مقایسه ای.	
<p>چکیده:</p> <p>ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی (EDM) یکی از مهمترین فرآیندهای ساخت و تولید است که براده برداری در آن براساس تخلیه های الکتریکی مکرر بین دو الکترود به نامهای ابزار و قطعه کار که هر دو در سیال دی الکتریک غوطه ورنند؛ انجام می پذیرد. در طول چندین دهه این فرآیند مهمترین پروسه ساخت انواع گوناگون قالبهای صنعتی بوده است و در حال حاضر بطور بسیار گسترده برای ماشینکاری دقیق همه مواد هادی بالاخص سرامیکها و کامپوزیت های بسیار سخت نظیر تنگستن کارباید و سیلیکون کارباید مورد استفاده قرار می گیرد. ماشینکاری قطعات با سختی بالا و عدم نیاز به نیروی نگهدارنده از مزیت های اساسی فرآیند EDM و نرخ پایین باربرداری در قیاس با فرآیندهای ماشینکاری سنتی از معایب آن بشمار می رود. جهت رفع این عیب و افزایش پایداری فرآیند تلاشهای زیادی صورت گرفته است از جمله آنها اعمال ارتعاشات آلتراسونیک به ابزار است. در این پایان نامه با استفاده از نتایج آزمایشهای بعمل آمده در رفرنس [۱] و با بهره گیری از تکنیک رگرسیون خطی چندگانه ارتباط بین ورودی های فرآیند (شدت جریان و زمان روشنی پالس) و خروجی های آن (نرخ براده برداری، فرسایش نسبی ابزار و زبری سطح) مدل سازی شده است و اعتبار مدلها توسط آزمونهای لازم مورد تأیید قرار گرفته اند. به کمک مدل های بدست آمده اثر متغیرهای ورودی روی ویژگیهای ماشینکاری (خروجی های فرآیند) بررسی و تحلیل شده است. همچنین یک آنالیز مقایسه ای کامل از تأثیر ارتعاشات ابزار روی ویژگیهای ماشینکاری انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد که نرخ براده برداری با اعمال ارتعاشات به ابزار تا حدود ۳۰۰ درصد در پرداخت کاری افزایش یافته است و این نتیجه با آزمایشهای تجربی کاملاً مطابقت می کند. همچنین نتایج نشان دادند که حدود ۸۵ درصد از کل تغییر پذیری موجود در فرسایش نسبی ابزار به تنهایی توسط اثر اصلی و اثر درجه دوم زمان روشنی پالس بیان می شود. با توجه به اثرات متفاوت ارتعاش ابزار و سایر پارامترهای ورودی روی خروجی های فرآیند، مدلها و نمودارهای حاصل از این مطالعه، انتخاب بهینه شرایط ماشینکاری را میسر می سازند و مزیت اصلی آنها کنترل و تنظیم فرآیند با دقت بیشتر می باشد.</p>	

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	مقدمه

قسمت اول

پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

۴.....	فصل اول: اصول فرآیند EDM و بررسی منابع
۴.....	۱-۱ فرایند ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی
۶.....	۲-۱ تشکیل جرقه و براده‌برداری در فرایند
۹.....	۳-۱ مولدهای قدرت آیزوفرکانس
۱۲.....	۴-۱ متغیرهای ورودی و نتایج خروجی فرایند EDM
۱۵.....	۵-۱ پیشینه پژوهش

قسمت دوم

مبانی و روشهای کار

۲۴.....	فصل دوم: مبانی و مقدمات آماری
۲۴.....	۱-۲ استنباط آماری
۲۶.....	۲-۲ توزیعهای پیوسته احتمال
۲۸.....	۱-۲-۲ توزیع نرمال
۲۹.....	۲-۲-۲ توزیع نرمال استاندارد
۳۰.....	۳-۲-۲ قضیه حد مرکزی
۳۲.....	۴-۲-۲ توزیع t
۳۳.....	۵-۲-۲ توزیع توان دوم خی (χ^2)
۳۴.....	۶-۲-۲ توزیع F
۳۶.....	۳-۲ فواصل اطمینان
۳۷.....	۴-۲ آزمون فرضها
۴۱.....	۱-۴-۲ مقادیر P (P-values)

۴۳	فصل سوم: آنالیز رگرسیونی
۴۳	۱-۳ توصیف مدل
۴۶	۲-۳ مدل‌های بکار رفته و اجزای آن
۴۹	۳-۳ برآوردهای نقطه‌ای حداقل مربعات
۵۳	۴-۳ فرضیات مدل
۵۴	۱-۴-۳ فرضیات استنباط
۵۵	۲-۴-۳ ملاحظات مربوط به فرضیات مدل
۵۷	۵-۳ بررسی کفایت مدل
۵۷	۱-۵-۳ آزمون معنادار بودن مدل رگرسیونی
۶۱	۲-۵-۳ آزمون معنادار بودن ضرایب انفرادی مدل
۶۲	۳-۵-۳ ضریب تعیین و ضریب تعیین اصلاح شده
۶۳	۴-۵-۳ بررسی مانده‌ها

قسمت سوم نتایج و بحث

۶۶	فصل چهارم: مدل‌سازی و تحلیل ویژگی‌های ماشینکاری در فرآیند EDM
۶۶	۱-۴ داده‌های آزمایشی
۶۹	۲-۴ مدل‌سازی نرخ براده‌برداری (MRR)
۷۸	۳-۴ مدل‌سازی فرسایش نسبی ابزار (TWR)
۸۱	۴-۴ مدل‌سازی پارامتر زبری سطح (Ra)
۸۳	۵-۴ بحث و تحلیل نتایج بدست آمده
۸۳	۱-۵-۴ اثر پارامترهای ورودی روی نرخ براده‌برداری
۸۵	۲-۵-۴ اثر پارامترهای ورودی روی فرسایش نسبی ابزار
۸۷	۳-۵-۴ اثر پارامترهای ورودی روی زبری سطح

۸۹.....	فصل پنجم: مدل‌سازی، تحلیل و آنالیز مقایسه‌ای فرآیند US/EDM
۸۹.....	۱-۵ ارتعاشات و داده‌های فرآیند US/EDM
۹۰.....	۲-۵ مدل‌سازی ویژگی‌های ماشینکاری در فرآیند US/EDM
۹۳.....	۳-۵ مدل‌های فرآیند با در نظرگیری ارتعاشات
۹۶.....	۱-۳-۵ مدل‌سازی نرخ براده‌برداری با متغیرهای ارتعاشات
۹۹.....	۲-۳-۵ مدل‌سازی فرسایش نسبی ابزار با متغیرهای ارتعاشات
۱۰۱.....	۳-۳-۵ مدل‌سازی زبری سطح با در نظرگیری ارتعاشات
۱۰۳.....	۴-۵ اثرات و پدیده‌های مرتبط با ارتعاشات آلتراسونیک ابزار
۱۰۶.....	۵-۵ آنالیز مقایسه‌ای اثر ارتعاشات بر روی ویژگی‌های ماشینکاری
۱۰۶.....	۱-۵-۵ اثر ارتعاشات و پارامترهای ورودی روی نرخ براده‌برداری
۱۱۱.....	۲-۵-۵ اثر ارتعاشات و پارامترهای ورودی بر روی فرسایش نسبی ابزار
۱۱۳.....	۳-۵-۵ اثر ارتعاشات و پارامترهای ورودی بر روی زبری سطح
۱۱۶.....	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۱۶.....	۱-۶ مقدمه
۱۱۷.....	۲-۶ نتایج حاصل در ارتباط با نرخ براده‌برداری در فرآیند EDM
۱۱۷.....	۳-۶ نتایج حاصل در ارتباط با فرسایش نسبی ابزار در فرآیند EDM
۱۱۸.....	۴-۶ نتایج حاصل در ارتباط با زبری سطح در فرآیند EDM
۱۱۹.....	۵-۶ نتایج حاصل در ارتباط با فرآیند US/EDM
۱۱۹.....	۱-۵-۶ نتایج حاصل در ارتباط با نرخ براده‌برداری در فرآیند US/EDM
۱۲۰.....	۲-۵-۶ نتایج حاصل در ارتباط با فرسایش نسبی ابزار در فرآیند US/EDM
۱۲۱.....	۳-۵-۶ نتایج حاصل در ارتباط با زبری سطح در فرآیند US/EDM
۱۲۲.....	۶-۶ پیشنهادات برای مطالعات آتی
۱۲۴.....	منابع و مراجع

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: حالت‌های ممکن در آزمون فرض‌ها ۴۰
- جدول ۱-۳: متغیرهای ورودی و پاسخ‌های متناظر برای n آزمایش ۴۴
- جدول ۲-۳: آنالیز واریانس ۶۰
- جدول ۱-۴: مشخصات تنگستن کارباید ۶۷
- جدول ۲-۴: پارامترهای ماشینی‌نگاری ثابت ۶۷
- جدول ۳-۴: ANOVA برای نرخ براده‌برداری ۷۲
- جدول ۴-۴: آزمون معنی‌دار بودن ضرائب مدل نرخ براده‌برداری ۷۴
- جدول ۵-۴: ANOVA برای مدل سایش نسبی ابزار ۷۸
- جدول ۶-۴: آزمون معنی‌دار بودن ضرائب مدل سایش نسبی ابزار ۷۹
- جدول ۷-۴: ANOVA برای زبری سطح ۸۱
- جدول ۸-۴: آزمون معنی‌دار بودن ضرائب مدل زبری سطح ۸۲
- جدول ۱-۵: پارامترهای ارتعاشات ۸۹
- جدول ۲-۵: ترکیب متغیرهای ورودی و پاسخهای اندازه‌گیری شده در فرایند US/EDM ۹۰
- جدول ۳-۵: ANOVA برای سه مدل ۹۱
- جدول ۴-۵: آزمون بررسی معنی‌دار بودن ضرائب برای هر سه پاسخ ۹۲
- جدول ۵-۵: ترتیب ورود جملات، ضرائب تعیین و انحراف معیار متناظر برای $\ln MRR$ ۹۶
- جدول ۶-۵: ANOVA برای نرخ براده‌برداری ۹۷
- جدول ۷-۵: آزمون معنی‌دار بودن ضرائب مدل نرخ براده‌برداری ۹۸
- جدول ۸-۵: ترتیب ورود جملات، ضرائب تعیین و انحراف معیار متناظر برای $\log TWR$ ۹۹
- جدول ۹-۵: ANOVA برای سایش نسبی ابزار ۱۰۰
- جدول ۱۰-۵: آزمون معنی‌دار بودن ضرائب مدل سایش نسبی ابزار ۱۰۰
- جدول ۱۱-۵: ترتیب ورود جملات، ضرائب تعیین و انحراف معیار متناظر برای R_a ۱۰۱
- جدول ۱۲-۵: ANOVA برای R_a ۱۰۲
- جدول ۱۳-۵: آزمون معنی‌دار بودن ضرائب مدل R_a ۱۰۲

فهرست شکلها

- شکل ۱-۱: مدار RC در اولین ماشین EDM ۵
- شکل ۲-۱: مراحل یک سیکل تخلیه الکتریکی ۷
- شکل ۳-۱: حفره حاصل از یک تخلیه الکتریکی و اثر حباب اطراف آن ۸
- شکل ۴-۱: شماتیکی از یک مدار آیزوفرکانس ۱۰
- شکل ۵-۱: شکل پالسهای تولیدی در فرآیند ۱۱
- شکل ۶-۱: تقسیم‌بندی کلی زمینه‌های تحقیقی مورد توجه در فرآیند EDM ۱۵
- شکل ۱-۲: یک نمودار احتمال فرضی با مساحت زیر منحنی مشخص ۲۷
- شکل ۲-۲: اشکال رایج از منحنی احتمال پیوسته (a) متقارن، (b) چاوله به راست ۲۷
- شکل ۳-۲: دو منحنی نرمال با میانگین برابر و انحراف معیار نامساوی ۲۸
- شکل ۴-۲: توزیع میانگین برای نمونه‌هایی به اندازه ۳ و ۱۰ از یک جامعه نامتقارن ۳۱
- شکل ۵-۲: مختصات نقطه $F_{[r]}^{(r_1, r_2)}$ ۳۵
- شکل ۶-۲: مساحت $(1-\alpha)$ روی یک توزیع t ۳۶
- شکل ۷-۲: نقاط بحرانی برای رد آزمون فرض و میزان خطای نوع اول ۴۰
- شکل ۸-۲: معادل بودن شرایط نقطه رد با مقدار P در یک آزمون فرض ۴۱
- شکل ۱-۳: یک مدل خطی رگرسیونی با شیب مثبت ۴۵
- شکل ۲-۳: تغییرات درجه دوم در میانگین یک متغیر وابسته با افزایش متغیر ورودی ۴۷
- شکل ۳-۳: اثر متقابل A و B ۴۸
- شکل ۴-۳: نمایی از ارضا شدن شروط واریانس ثابت و نرمال بودن ۵۵
- شکل ۵-۳: نمونه‌ای از نقض شدن فرض واریانس ثابت با افزایش یک معیار $(\hat{\mu}_i, \hat{\sigma}_i^2, x_i)$ ۶۴
- شکل ۱-۴: متغیرهای ورودی و ویژگیهای ماشینکاری (پاسخ) در پنجره داده‌های نرم افزار SPSS ۶۸
- شکل ۲-۴: نمودار مانده‌ها نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده برای MRR ۷۰
- شکل ۳-۴: نمودار مانده‌ها نسبت به زمان روشنی پالس (T_i) برای MRR ۷۰
- شکل ۴-۴: نمودار نقطه‌ای نرخ براده‌برداری نسبت به زمان روشنی پالس ۷۱
- شکل ۵-۴: نمودار نقطه‌ای $\ln MRR$ نسبت به زمان روشنی پالس ۷۱
- شکل ۶-۴: نمودار مانده‌ها نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده $\ln MRR$ ۷۵
- شکل ۷-۴: نمودار مانده‌ها نسبت به مقادیر ورودی از شدت جریان ۷۶
- شکل ۸-۴: نمودار مانده‌ها نسبت به مقادیر ورودی از زمان روشنی پالس ۷۶
- شکل ۹-۴: نمودار احتمال نرمال مانده‌ها برای $\ln MRR$ ۷۷
- شکل ۱۰-۴: مانده‌ها نسبت به $\hat{\mu}_i$ برای $\log TWR$ ۸۰

- شکل ۴-۱۱: مانده‌ها نسبت به شدت جریان برای $\log TWR$ ۸۰
- شکل ۴-۱۲: مانده‌ها نسبت به زمان روشنی پالس برای $\log TWR$ ۸۰
- شکل ۴-۱۳: نمودار احتمال نرمال مانده‌ها برای $\log TWR$ ۸۰
- شکل ۴-۱۴: مانده‌ها نسبت به $\hat{\theta}_i$ برای زبری سطح ۸۲
- شکل ۴-۱۵: مانده‌ها نسبت به شدت جریان برای زبری سطح ۸۲
- شکل ۴-۱۶: مانده‌ها نسبت به زمان روشنی پالس برای زبری سطح ۸۲
- شکل ۴-۱۷: نمودار احتمال نرمال مانده‌ها برای زبری سطح ۸۲
- شکل ۴-۱۸ (الف): رویه پاسخ و ب) منحنی‌های تراز برای MRR ۸۴
- شکل ۴-۱۹ (الف): رویه پاسخ و ب) منحنی‌های تراز برای TWR ۸۶
- شکل ۴-۲۰ (الف): رویه پاسخ و ب) منحنی‌های تراز برای R_a ۸۸
- شکل ۵-۱: مانده‌ها نسبت به $\hat{\theta}_i$ برای $\ln MRR$ ۹۸
- شکل ۵-۲: مانده‌ها نسبت به شدت جریان برای $\ln MRR$ ۹۸
- شکل ۵-۳: مانده‌ها نسبت به زمان روشنی پالس برای $\ln MRR$ ۹۸
- شکل ۵-۴: مانده‌ها نسبت به ارتعاشات برای $\ln MRR$ ۹۸
- شکل ۵-۵: نمودار احتمال نرمال مانده‌ها برای $\ln MRR$ ۹۸
- شکل ۵-۶: مانده‌ها نسبت به $\hat{\theta}_i$ برای $\log TWR$ ۱۰۰
- شکل ۵-۷: مانده‌ها نسبت به شدت جریان برای $\log TWR$ ۱۰۰
- شکل ۵-۸: مانده‌ها نسبت به زمان روشنی پالس برای $\log TWR$ ۱۰۰
- شکل ۵-۹: مانده‌ها نسبت به ارتعاشات برای $\log TWR$ ۱۰۰
- شکل ۵-۱۰: نمودار احتمال نرمال مانده‌ها برای $\log TWR$ ۱۰۱
- شکل ۵-۱۱: مانده‌ها نسبت به $\hat{\theta}_i$ برای زبری سطح ۱۰۲
- شکل ۵-۱۲: مانده‌ها نسبت به شدت جریان برای زبری سطح ۱۰۲
- شکل ۵-۱۳: مانده‌ها نسبت به زمان روشنی پالس برای زبری سطح ۱۰۲
- شکل ۵-۱۴: مانده‌ها نسبت به ارتعاشات برای زبری سطح ۱۰۲
- شکل ۵-۱۵: نمودار احتمال نرمال مانده‌ها برای زبری سطح ۱۰۳
- شکل ۵-۱۶: رویه‌های پاسخ نرخ براده‌برداری برای رژیم پرداخت کاری در فرآیند الف) EDM و ب) US/EDM ۱۰۷
- شکل ۵-۱۷: منحنی‌های تراز برای نرخ براده‌برداری در فرایند US/EDM ۱۰۸
- شکل ۵-۱۸: نمودار رویه پاسخ و منحنی‌های تراز سایش نسبی ابزار در فرایند US/EDM ۱۱۱
- شکل ۵-۱۹: رویه پاسخ و منحنی‌های تراز زبری سطح در فرایند US/EDM ۱۱۳
- شکل ۵-۲۰: نمونه‌ای از نمودارهای هم پوشاننده برای بیشینه MRR و $R_a < 1.8 \mu m$ ۱۱۵

فهرست علائم و اختصارات

A: متغیر کیفی برای بیان وجود یا عدم وجود ارتعاشات ابزار در فرایند.

ANOVA: آنالیز واریانس.

b_j : برآوردهای نقطه‌ای ضرائب β_j که از روی آزمایشها تعیین می‌شوند.

d.f.: درجات آزادی.

EDM: ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی.

e_i : مانده I ام، اختلاف بین مقدار تجربی مشاهده شده برای متغیر پاسخ و مقدار پیش‌بینی مدل.

f: تابع یا رویه پاسخ که شکل رابطه ریاضی ورودیها و خروجیهای فرایند را نشان می‌دهد.

$F_{[r]}^{(r_1, r_2)}$: نقطه‌ای در مقیاس توزیع F با r_1 درجه آزادی در صورت و r_2 درجه آزادی در مخرج که مساحت سمت راست آن γ است.

H_0 : فرض صفر یا خنثی در یک آزمون فرض.

H_1 : فرض مقابل در یک آزمون فرض.

HMP: فرایندهای تلفیقی ماشینکاری.

I: شدت جریان جرقه.

k: تعداد جملات موجود در مدل با احتساب عرض از مبدأ.

$N(\mu, \sigma)$: توزیع نرمال با میانگین μ و انحراف معیار σ .

n: تعداد آزمایشهای انجام یافته، حجم نمونه‌های برداشته شده.

MRR: نرخ براده‌برداری (حجمی).

MSE: میانگین مربعات خطا.

MS_{model} : میانگین مربعات مدل رگرسیونی.

P: کمترین مقدار ممکن برای سطح معنادار بودن α که در آن فرض خنثی رد می‌شود.

Quad. I ($I \times I$): اثر درجه دوم شدت جریان.

Quad. Ti ($Ti \times Ti$): اثر درجه دوم زمان روشنی پالس.

R_a : زبری سطح میانگین.

R^2 : ضریب تعیین.

\bar{R}^2 : ضریب تعیین اصلاح شده.

S: انحراف معیار نمونه.

S^2 : واریانس نمونه.

SS: مجموع مربعات.

SSE : مجموع مربعات مانده‌ها.

SS_{model} : مجموع مربعات مدل.

SS_{Total} : مجموع مربعات کلی.

$t_{[\alpha]}^{(df)}$: نقطه‌ای در مقیاس توزیع t با df درجه آزادی که مساحت سمت راست آن α است.

T_i : زمان روشنی پالس.

T_d : زمان تأخیر جرقه.

T_0 : زمان خاموشی پالس.

TWR : فرسایش نسبی ابزار (حجمی).

US : ارتعاشات آلتراسونیک.

$USVT$: ارتعاشات آلتراسونیک ابزار.

US/EDM : ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی و به کمک ارتعاشات آلتراسونیک ابزار.

$V_{o.p.c}$: ولتاژ مدار باز.

V_{sp} : ولتاژ جرقه.

$WC-10\%Co$: کامپوزیت تنگستن کارباید با ده درصد کبالت.

X_{ij} : مقدار متغیر ورودی i ام در آزمایش j ام.

Y : متغیر وابسته یا متغیر تصادفی پاسخ فرایند.

Y_i : پاسخ اندازه گرفته شده (تجربی) در آزمایش i ام.

\hat{Y}_i : مقدار پیش‌بینی مدل برای متغیر پاسخ در آزمایش i ام.

\bar{Y} : میانگین نمونه

Z : متغیر توزیع نرمال استاندارد.

$Z_{[\alpha]}$: نقطه‌ای در مقیاس منجینی نرمال استاندارد که مساحت سمت راست آن α است.

α : خطای نوع اول در رد فرض صفر یا سطح معنی‌دار بودن آزمون.

β : ضریب جمله i ام برای تابع پاسخ در مدل‌های درجه دوم.

ϵ_i : خطای برازش تابع در مشاهده i ام.

μ : میانگین جامعه.

μ_i : میانگین پاسخ در i امین آزمایش که مقدار آن با تابع پاسخ مشخص می‌شود.

σ : انحراف معیار جامعه.

σ^2 : واریانس جامعه.

η : سیکل وظیفه.

مقدمه:

افزایش مصرف مواد سخت، پراستحکام و مقاوم به گرما در مهندسی از یک طرف و نیاز به تولید قطعات با اشکال پیچیده و خصوصیات هندسی منحصر بفرّد از طرف دیگر استفاده از روشهای مدرن ماشینکاری و براده برداری را ضروری ساخته است. از اینرو در این پایان نامه یکی از مهمترین فرآیندهای نوین ماشینکاری یعنی براده برداری به روش تخلیه الکتریکی (EDM) مورد توجه قرار گرفته است. در ماشینکاری با تخلیه الکتریکی جرقه های مکرر حاصل از یک منبع تغذیه DC و پالسی، بین ابزار و قطعه کار که هر دو در سیال دی الکتریک غوطه ورنند، باعث براده برداری می گردد. توانایی ماشینکاری مواد هادی و نیمه هادی با هر میزان سختی از قبیل فلزات، سوپرآلیاژها و سرامیکها (تنگستن کارباید، سیلیکون کارباید و ...) از ویژگی های منحصر به فرد این فرآیند به شمار می رود.

با توجه به دخیل بودن قوانین و قواعد چندین شاخه از علوم و مهندسی و پیچیدگیهای این فرآیند ارائه مدل های دقیق تئوری یا تحلیلی که ارتباط دقیق مابین پارامترهای ورودی فرآیند با پارامترهای خروجی آنها بیان نماید بسیار دشوار است. بنابراین استفاده از مدل های ریاضی- آماری به عنوان ابزاری برای بیان همبستگی و ویژگی ها و نتایج خروجی ماشینکاری به شرایط و پارامترهای ورودی یا تنظیمی همواره مورد توجه و استفاده محققین بوده است. در این راستا این تحقیق با استفاده از آنالیز رگرسیونی به عنوان یک متدولوژی آماری، به بیان ارتباط ریاضی پاسخهای فرآیند و متغیرهای ورودی می پردازد. به کمک مدل های بدست آمده مطالعه اثرات اصلی و متقابل پارامترهای ورودی و به ویژه اثرات ارتعاشات آلتراسونیک ابزار روی پارامترهای خروجی فرآیند میسر می گردد و از چگونگی و مقدار تاثیر پارامترهای تنظیمی بر روی پاسخهای فرآیند، اطلاعات مهمی بدست می آید که در کسب ادراک از فرآیند و تحلیل آن بسیار مؤثر واقع می شود.

در دنیای صنعتی و پیشرفته امروزی، اهمیت بکارگیری روشهای بهینه سازی در صنعت ماشینکاری بر هیچ کس پوشیده نیست. نیاز به تولید قطعات با کیفیت بهتر، هزینه های کمتر و با سرعت تولید بیشتر به منظور حفظ قدرت رقابت در بازار، ضرورت انتخاب بهینه پارامترهای ورودی را آشکار می سازد. در فرآیند EDM نیز کیفیت سطح، دقت ابعادی و ویژگیهای اقتصادی فرآیند نظیر نرخ براده برداری و فرسایش نسبی ابزار توسط پارامترهای ورودی یا تنظیمی فرآیند تعیین می شوند. واضح است که استفاده از مدل‌های کمی، انتخاب پارامترهای ورودی جهت حصول نتایج خروجی بهینه را ممکن می سازد بطوریکه مقدار پارامترهای خروجی در تنظیماتی که آزمایشی در آنها انجام نشده، قابل پیش بینی می گردد و به تبع آن متغیرهای خروجی فرآیند ماشینکاری تا حد زیادی تحت کنترل قرار می گیرد. برای انجام این تحقیق از داده های تجربی ارائه شده در رفرنس [۱] استفاده خواهد شد.

محتوای این پایان نامه در سه قسمت کلی که رویهمرفته شش فصل را تشکیل می دهند؛ تنظیم شده است. در قسمت اول که از یک فصل تشکیل یافته، قسمتی از اصول و تئوری فرآیند EDM که در تحلیل نتایج تحقیق مورد نیاز است، ارائه می گردد سپس اطلاعات و سوابق پژوهشهای انجام یافته در زمینه موضوع پایان نامه با ذکر منابع مربوط مورد بررسی قرار می گیرد. قسمت دوم مربوط به مبانی و روشهاست و متشکل از دو فصل می باشد، در این قسمت نخست مبانی و مقدمات آماری مورد نیاز برای انجام یک آنالیز رگرسیونی ارائه می گردد و پس از آن روش انجام کار و نحوه تجزیه و تحلیل داده ها بحث خواهد شد. در نهایت قسمت سوم و آخر به بیان نتایج و بحث پیرامون آن اختصاص یافته است. در این بخش ابتدا مدلها و آزمونهای مربوط به آنها ارائه خواهد شد و سپس بحث و تحلیل نتایج برای فرآیندهای EDM و US/EDM در دو فصل جداگانه ارائه شده است. در آخرین فصل این قسمت مهمترین نتایج پژوهش و پیشنهادات مورد نظر بیان خواهد شد.

قسمت اول

پایه‌های نظری

و

پیشینه پژوهش

شامل:

فصل اول

اصول فرآیند EDM و بررسی منابع

فصل اول

اصول فرآیند EDM و بررسی منابع

۱-۱ فرایند ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی^۱

ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی (EDM) یکی از روشهای مدرن براده برداری است که در آن ولتاژ پالسی و منقطع برقرار شده بین دو الکترود، به نامهای ابزار و قطعه کار که هر دو در سیالی به نام دی الکتریک غوطه ورنند؛ باعث ایجاد جرقه در نزدیک ترین نقطه در حد فاصل بین آنها (gap) گردیده و هر جرقه جزء کوچکی از ماده را از سطح قطعه کار جدا می کند و در نهایت بعد از تعداد زیادی جرقه شکل مکمل پیشانی ابزار در قطعه حک می گردد.

این فرایند یک روش الکترو- ترمال^۲ برای براده برداری است، یعنی حرارت و الکتریسیته در آن دخیل می باشند و لذا برخلاف پروسه های سنتی که در آنها استحکام نهایی، حد (استحکام) تسلیم و خواصی نظیر مدول الاستیسیته و سختی قطعات مطرح بودند، این روش بیشتر با خواص ترمودینامیکی و فیزیکی نظیر نقطه جوش، گرمای نهان ذوب، ضریب انتقال حرارت و غیره در ارتباط است و از این پروسه می توان برای ماشینکاری همه مواد رسانای الکتریکی بدون توجه به سختی آنها استفاده نمود [2].

مهمترین ویژگیهای فرایند EDM شامل موارد زیر است:

- (۱) با توجه به عدم تماس فیزیکی ابزار و قطعه کار نیروهای مکانیکی بین آنها وجود ندارد.
- (۲) برای نگهداری و موقعیت دهی قطعات نیاز به نیروی کمتری می باشد و در نتیجه امکان ماشینکاری قطعات ظریف که بستن آنها در روشهای سنتی نیاز به نیروی بیشتری دارد به سهولت میسر می گردد.

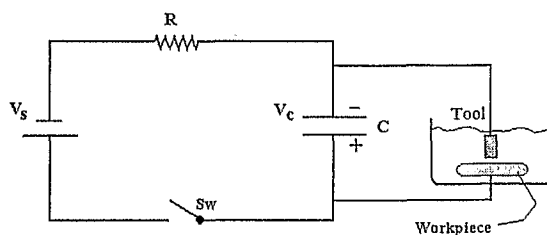
1 - Electrical Discharge Machining

2 - Electro- Thermal

۳) امکان عملیات حرارتی قطعات قبل از باربرداری وجود دارد.

۴) کنترل و مونیتورینگ فرایند با استفاده از تجزیه و تحلیل صدای جرقه، امواج الکترومغناطیس و جریانهای الکتریکی به سادگی امکان پذیر است.

فرایند EDM در ایجاد سوراخها، شیارها و حفره‌هایی با اشکال نامنظم کاربرد دارد. و سوراخهایی با اشکال مختلف و با زوایای کوچک در روی سطوح خمیده بدون نگرانی از سر خوردن نوک قلم و شکسته شدن آن قابل ایجاد شدن می‌باشند لذا عمده کاربرد EDM در ابزارسازی و ساخت انواع قالبهای صنعتی می‌باشد. اما این بدان معنی نیست که از EDM نتوان در تولید انبوه استفاده کرد [2]. اولین ماشین EDM با تلاشهای برادران لازارانکو^۱ در سال 1943 و با استفاده از مدارهای RC تولید شد (شکل ۱-۱) در این مدار زمانی که سوئیچ SW بسته می‌شود خازن شروع به پر شدن می‌کند و ولتاژ دو سر آن (V_c) به سمت V_s میل می‌کند اما وقتی ولتاژ دو سر خازن به اندازه‌ای رسید که جهت شکست دی الکتریک کافی باشد در محلی با کوچکترین فاصله بین دو الکترود، دی الکتریک شکسته و یونیزه می‌شود و جرقه در امتداد شکاف باریکی تشکیل شده و موجب براده برداری از قطعه می‌شود. پس از هر تخلیه خازن دوباره پر شده و سیکل تکرار می‌گردد. در طول این فرایند همواره ابزار باید در فاصله نزدیک و کنترل شده‌ای از قطعه کار نگهداشته شود و به همین جهت استفاده از یک سیستم کنترل گپ و پیشروی ضروری می‌باشد [2]. با پیشرفت علوم و ساخته شدن ترانزیستورها؛ ماشینهای EDM بهبود و گسترش یافته‌اند و مولدهای قدرت از نوع پالسی^۲ برای این ماشینها استفاده می‌شود.



شکل ۱-۱: مدار RC در اولین ماشین EDM.

1 - Lazaranco

2 - Pulse Type Generators

۲-۱ تشکیل جرقه و براده‌برداری در فرایند

در مورد مکانیزم ایجاد یک جرقه الکتریکی در فاصله گپ بین دو الکتروود و در حضور سیال دی الکتریک (که در اثر براده‌برداری و وجود سایر ناخالصی‌های فلزی، آلی و گازی آلوده و اصطلاحاً کثیف است) به دلیل ماهیت ترمودینامیکی، الکتریکی، الکترومغناطیسی و حتی شیمیایی فرآیند تفسیر یکسانی از جانب محققین وجود ندارد. اکنون بیش از گذشته واضح گشته که در بررسی‌های فیزیکی انجام شده برای جرقه‌های تکی و در یک گپ کاملاً ثابت و در حضور دی‌الکتریک تمیز، نرخ براده‌برداری بدست آمده بیشتر از مقادیر اندازه گرفته شده در عمل می‌باشند. در عمل سه مرحله اساسی در سیکل تخلیه الکتریکی و ایجاد جرقه مشاهده می‌گردد [3]:

(۱) فاز آمادگی برای جرقه

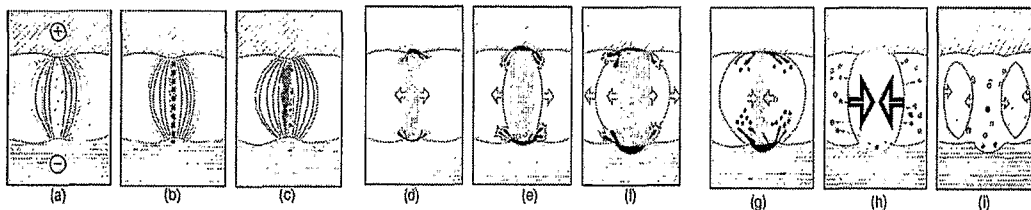
(۲) فاز تخلیه الکتریکی

(۳) فاز مربوط به فاصله زمانی بین دو جرقه

فاز آمادگی برای جرقه (شکل ۲-۱ (c,b,a)): در این فاز وقتی ولتاژ مدار باز توسط ژنراتور اعمال می‌گردد، یک میدان الکتریکی بسیار قوی در نزدیکی یک^۱ مخالف بین دو الکتروود و در قسمت‌هایی که وجود ذرات و عوامل خارجی (هادی یا غیرهادی) نیز عامل تقویت شدت میدان می‌باشند؛ ایجاد می‌گردد. سپس پلی از ذرات که می‌توانند حباب‌های بسیار ریز گاز، آلودگی‌ها، ناخالصی و ... باشند، هسته اولیه کانال تخلیه را بین دو الکتروود تشکیل می‌دهند و این ذرات بخار شده و کانال بخار و به تبع آن کانال پلاسما در اثر شکست و یونش دی‌الکتریک تشکیل می‌شود. عبدالله و شهبگرد [4] دمای این کانال را بین ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ درجه سانتیگراد و فشار پلاسما را تا چند صد بار بیان نموده‌اند. لازم به ذکر است که: ۱- وجود زمان تأخیر جرقه (زمان لازم برای تبخیر ذرات و بزرگ شدن حباب‌ها تا رسیدن آنها به دو سر الکتروود تشکیل کانال پلاسما) و ۲- وابستگی فاصله گپ به نرخ براده‌برداری یا به عبارت دیگر میزان

1 - Peak

آلودگی‌ها، از جمله مشاهداتی هستند که وجود فاز اول یعنی فاز آماده شدن برای جرقه را تأیید می‌کنند (شکل ۲-۱ (c,b,a)).



شکل ۲-۱ مراحل یک سیکل تخلیه الکتریکی [3].

فاز تخلیه الکتریکی (۲-۱ (f,e,d)): در این مرحله مقطع کانال پلاسمای تشکیل یافته در انتهای مرحله قبل با گذشت زمان گشادتر می‌شود و جریان گذرنده از گپ حرارت بسیار بالایی تولید می‌کند که باعث تبخیر شدن دو سر الکترودها می‌شود. در ابتدای جرقه به علت فشردگی^۱ بودن کانال پلاسما و به دلیل اینکه الکترونها از لحاظ جرمی بسیار سبک‌تر از ذرات و یونهای مثبت می‌باشند مجال تحرک بیشتری می‌یابند و به قطب مثبت پرتاب می‌شوند و جریان غالب حرکت الکترونهاست و آند یا قطب مثبت زودتر خورده می‌شود (۲-۱ (d)). با ادامه رشد کانال پلاسما دانسیته جریان و دما کاهش می‌یابد. جذب مولکولهای بیشتر سیال به داخل بخار دی‌الکتریک و مصرف انرژی کانال پلاسما برای تبخیر و یونش بیشتر دی‌الکتریک از یک سو و انتقال حرارت توسط ابزار و قطعه کار از سوی دیگر موجب افت دما و فشار کانال پلاسما می‌گردد [3]. در این زمان بخار دی‌الکتریک حباب گازی^۲ بزرگی را حول کانال پلاسما تشکیل داده است (۲-۱ (f,e)) و کانال پلاسما هنوز هم تحت فشار قرار دارد و بتدریج جریان غالب حرکت الکترونها به جریان غالب حرکت یونهای مثبت تبدیل می‌گردد و کاتد بیشتر خورده می‌شود.

فاز فاصله زمانی بین دو جرقه (۲-۱ (i,h,g)): تخلیه الکتریکی با قطع جریان در این فاز پایان می‌یابد اما حباب گاز اطراف آن تا زمانهای نسبتاً طولانی تری باقی می‌ماند. با قطع جریان؛ فشار و دمای داخل حباب به شدت و به صورت ناگهانی افت پیدا می‌کند. به دلیل افت آنی و ناگهانی فشار حباب، مذاب

1 - Dense
2 - Gas Bubble