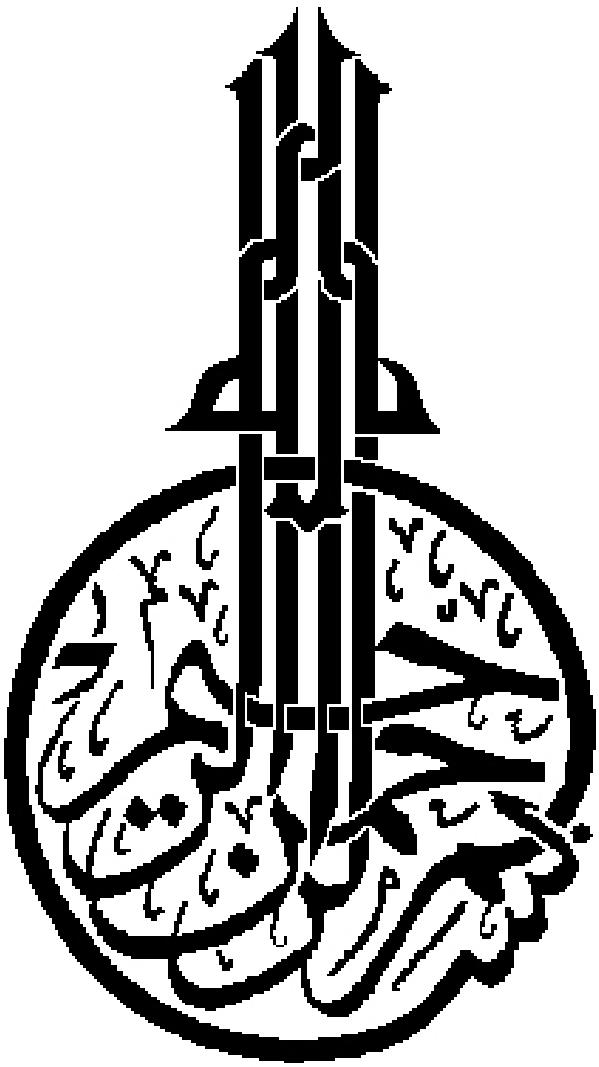


دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی مکانیک-ساخت وتولید

موضوع پایان نامه

بررسی اثر جنس ابزار بر مشخصه های ماشینکاری تخلیه الکتریکی (EDM)

استاد راهنما

دکتر خوشکیش

دانشجو

حمیدرضا رضایی آشتیانی

شهریورماه۱۳۸۴

چکیده

ماشینکاری تخلیه الکتریکی (EDM)، یک فرآیند ماشینکاری غیرسنتی یا مخصوص محسوب می شود که امـروزه در حال جایگزینی با عملیات ماشینکاری سنتی از قبیل دریل کاری، تراشکاری و غیره می باشد. ایـن فرآینـد بـرای شـکل دهی فلزات سخت، فرم دهی های عمیق و شکل دهی پیچیده سوراخ ها بوسـیله فرسـایش جرقـه در تمـام انـواع مـواد هادی الکتریسته بکار گرفته می شوند. در این بررسی در مورد جزئیات پـیش آمـده در نـرخ بـاربرداری(MRR)، نـسبت فرسایش الکترود ابزار(EWR) و ناصافی سطح قطعه کار تولیدی(R_a)، در مـورد فـولاد ابـزار سـردکار AISI D3 (کـه تـا سختی57RC کوئینچ و بازپخت شده)در اثر استفاده از جنس های مختلف برای الکترود ابزار کـه دارای قطبیـت مثبـت می باشد و همچنین جریانها و زمانهای روشنی پالس مختلف، تجزیه و تحلیل شده است. برای انجـام ایـن کـار و جهـت تحلیل و توصیف بهتر و همچنین تعیین عوامل مؤثرتر فرآیند و نقش اثرات متقابل و نیز امکان انجـام تحلیـل بـا تعـداد کمی از آزمایشات و حداقل کردن میزان خطای آزمایـشات از ابـزار کارآمـد و توانـای طراحـی آزمایـشات(DOE) و نیـز تحلیل رگرسیون غیر خطی(Non-linear Regression) برای تخمین پاسخ ها، استفاده شده است.

ملاحظه شد که با افزایش جریان، نرخ باربرداری، نسبت فرسایش الکترود و ناصافی سطح افزایش می یابد در حالیکـه با افزایش زمان روشنی پالس؛ نرخ باربرداری و ناصافی سطح در اکثر مـوارد افـزایش مـی یابنـد ولـی نـسبت فرسـایش الکترود کاهش می یابد. ابزار گرافیتی دارای بالاترین دقت ابعادی و نرخ باربرداری بالایی برای قطعه تولیدی و کمتـرین میزان فرسایش نسبی می باشد.در حالیکه ابزار برنجی بیشترین میزان فرسایش نـسبی و پرداخـت سـطحی مناسـب را داراست.ابزار مسی در زمانهای روشنی و جریانهای بالا دارای نرخ باربرداری بالا می باشد و درجریانهـای پـایین بهتـرین پرداخت سطحی را ارائه می کند.

تقدیم به مادرم ، آن عزیزی که هرچه دارم از وجود او و دعاهای پرخیر و برکت او می باشد.

و

تقدیم به پدرم ، آن استاد ارجمند و فرزانه که طی این مسیر از ابتدا تا انتها ، جزء با راهنمایی های ارزنده و گرانبهای ایشان ، برایم امکانپذیر نبود.

تشکر و قدردانی

لازم است مراتب قدردانی و سپاس خود را از استاد راهنمای ارجمند خود، جناب آقای دکتر خوش کیش جهت راهنمایی های ارزنده ایشان، از اساتید مشاور گرامی آقایان دکتر قریشی و دکتر نریمانی جهت مشاوره های سودمند ایشان، و همچنین ازبخش کارگاهی علم و صنعت ایران – واحد اراک، از آزمایشگاه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، از قسمت ماشینکاری و قالب سازی کارخانه ماشین سازی اراک و از تمامی اساتید و عزیزانی که مرا در هرچه بهتر انجام دادن این پروژه یاری کرده اند، ابراز دارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول

ماشینکاری تخلیه الکتریکی بعنوان یک روش تولید مخصوص ، چگونگی عملکرد و مکانیزم آن

۱-۱- موارد کاربرد تولید مخصوص ۵

۱-۲- معرفی ماشینکاری تخلیه الکتریکی" *Electro Discharge Machining* " ۶

۱-۲-۱- تعریف ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۶

۱-۳- تاریخچه ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۷

۱-۴- فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۸

۱-۵- دی الکتریک ۸

۱-۶- چگونگی انجام ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۹

۱-۷- قابلیت های ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۱۴

۱-۸- سیر تکاملی فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۱۵

۱-۹- فیزیک کار ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۱۶

۱-۹-۱- تئوری الکترومکانیکی (Electro Mechanical) ۱۶

۱-۹-۲- تئوری ترمومکانیکی (*Thermo Mechanical*) ۱۶

۱- ۹-۳- تئوری ترموالکتریک (*Thermo Electric*) ۱۶

۱-۱۰- فازهای موجود در طی یک سیکل فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۱۶

۱-۱۱- بررسی و تحلیل پالس های ایجاد شده در فرآیند *EDM* ۲۱

۱-۱۲- پارامترهای فرآیند (*Process Parameters*) ۲۲

۱-۱۲-۱- زمان روشنی (*ON time*) ۲۲

۱-۱۲-۲- زمان خاموشی (*OFF time*) ۲۳

۱-۱۲-۳- جریان (*Current*) ۲۳

۱-۱۲-۴- ولتاژ (*Voltage*) ۲۴

۱-۱۲-۵- اندازه گپ (*Gap*) ۲۴

۱-۱۲-۶- ضریب کار (*Duty Factor*) ۲۴

۱-۱۲-۷- قطبیت (*Polarity*) ۲۴

۱-۱۲-۸- فرکانس (*Frequency*) ۲۵

۱-۱۲-۹- نرخ براده برداری (*MRR: Material Removal Rate*) ۲۶

۱-۱۲-۱۰- پرداخت سطح (*Surface finish*) ۲۷

۱-۱۳- تکنولوژی های شستشوی سیال دی الکتریک (*Flushing*) ۲۷

۱-۱۳-۱- مشخصات سیال دی الکتریک ۲۸

۱-۱۳-۲- روش های توزیع سیال دی الکتریک (*Flushing*) ۲۸

۱-۱۳-۲-۱- روش شستشوی جریان معمولی ۲۹

۱-۱۳-۲-۲- روش شستشوی جریان معکوس (مکشی) ۳۰

۱-۱۳-۲-۳- روش شستشوی جت از بغل ۳۱

۱-۱۳-۲-۴- روش شستشوی غوطه وری ۳۱

۱-۱۳-۲-۵- روش شستشوی ترکیبی ۳۲

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-۱۳-۲-۶- روشهای مخصوص شستشو ۳۲

فصل دوم

الکترود ابزار و فرسایش آن

۲-۱- مقدمه ۳۳
۲-۲- چه جنسی برای الکترود ابزار مناسب است ۳۴
۲-۳- مسأله فرسایش الکترود ابزار ۳۴
۲-۳-۱- عوامل مؤثر در فرسایش الکترود ابزار ۳۵
۲-۳-۱-۱- شدت جریان ۳۵
۲-۳-۱-۲- زمان روشنی و خاموشی پالس ۳۵
۲-۳-۱-۳- ولتاژ ۳۶
۲-۳-۱-۴- قطبیت الکترود ۳۶
۲-۳-۱-۵- جنس الکترود ۳۶
۲-۳-۱-۶- نحوه ساخت الکترود ۳۶
۲-۳-۲- انواع مختلف فرسایش الکترود ابزار ۳۷
۲-۳-۳- روابط و معادلات برای انواع مختلف فرسایش الکترود ابزار ۳۸
۲-۴- ماشینکاری تخلیه الکتریکی با استفاده از الکترودهای ابزار با اشکال ساده ۳۹
۲-۵- عوامل اصلی در انتخاب جنس مناسب الکترود ابزار ۴۱
۲-۵-۱- هزینه اولیه تهیه جنس ابزار ۴۱
۲-۵-۲- قابلیت ماشینکاری (Machinablitiy) ۴۱
۲-۵-۳- قابلیت پرداختکاری ۴۲
۲-۵-۴- مشخصه های فیزیکی جنس الکترود ۴۲
۲-۵-۵- مشخصه های حرارتی جنس الکترود ۴۳
۲-۵-۶- جنس قطعه کار ماشینکاری شونده ۴۴
۲-۵-۷- نوع فرآیند مورد انتظار از جنس الکترود ابزار ۴۴
۲-۶- انتخاب الکترود ابزار ۴۴
۲-۶-۱- جنس فلزی الکترود ابزار ۴۵
۲-۶-۲- گرافیت و تقسیم بندی آن ۴۷
۲-۶-۲-۱- گرافیتهای تجاری مورد استفاده در الکترود ابزار ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۴۷
۲-۶-۲-۲- برخی مشخصات گرافیت های مورد استفاده در ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۴۹
۲-۶-۲-۲-۱- چگالی ۴۹
۲-۶-۲-۲-۲- سختی ۵۰
۲-۶-۲-۲-۳- مقاومت ویژه الکتریکی ۵۰
۲-۶-۲-۲-۴- دمای ذوب ۵۰

فصل سوم

طراحی آزمایشات

۳-۱- مقدمه ۵۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۲- تاریخچه و مرور ادبیات ۵۲
۳-۲-۱- کلیات ۵۲
۳-۲-۲- روشهای کنترل آماری فرآیند و طراحی آزمایشات ۵۴
۳-۳- چرا هر روز بیشتر بر کیفیت متمرکز می شویم ۵۵
۳-۴-تعریف کیفیت ۵۵
۳-۵- طراحی آزمایش ۵۵
۳-۶- تاریخچه استفاده از طراحی آزمایش ۵۸
۳-۷- ویژگیهای طراحی آزمایشات ۵۹
۳-۸-مبانی طراحی آزمایشات ۶۱
۳-۸-۱- تعریف آزمایش ۶۱
۳-۸-۲- طرحهای آزمایشی ۶۱
۳-۸-۳- فرضهای تحقیق ۶۲
۳-۸-۴- عامل یا فاکتور ۶۲
۳-۸-۵- سطح ۶۳
۳-۸-۶- پاسخ ۶۳
۳-۸-۷- اثر ۶۳
۳-۸-۸- اثر متقابل ۶۳
۳-۸-۹- تصادفی سازی ۶۳
۳-۸-۱۰- بلوک بندی ۶۴
۳-۸-۱۱- تکرار ۶۴
۳-۹- چرا طراحی آزمایشات ؟ ۶۵
۳-۱۰- مدلسازی فرآیند ۶۵
۳-۱۱- جایگاه ابزارهای آماری در کیفیت ۶۶
۳-۱۲- کاربردها و فوائدDOE ۶۷
۳-۱۲-۱- انتخاب بین گزینه ها (آزمایشات مقایسه ای) ۶۷
۳-۱۲-۲- تعیین پارامترهای کلیدی مؤثر بر عملکرد طراحی محصول (طرحهای غربالی) ۶۷
۳-۱۳- گامهای اجرای طراحی آزمایشات ۶۸
۳-۱۳-۱- انتخاب پروژه ۶۸
۳-۱۳-۲- شناخت کامل و بیان مسأله ۶۸
۳-۱۳-۳- تعیین عوامل طراحی و سطوح آنها ۶۸
۳-۱۳-۴- تعیین متغیرهای پاسخ ۶۹
۳-۱۳-۵- ترسیم نمودارهای استخوان ماهی ۶۹
۳-۱۳-۶- تعیین عوامل اغتشاش ۶۹
۳-۱۳-۷- تعیین و انتخاب طرح آزمایش ۷۰
۳-۱۳-۸- تعیین تعداد تکرارها ۷۰
۳-۱۳-۹- بلوک بندی ویا تصادفی نمودن ۷۰
۳-۱۳-۱۰- بررسی دقت و صحت سیستم اندازه گیری برای تخمین مدل ۷۰
۳-۱۳-۱۱- تخصیص فعالیت ها ۷۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۱۳-۱۲- انجام آزمایشات ۷۱
۳-۱۳-۱۳- تجزیه و تحلیل نتایج ۷۱
۳-۱۳-۱۴- صحه گذاری نتایج حاصله ۷۵
۳-۱۳-۱۵- ارائه نتایج پروژه و پیشنهاد مطالعه بعدی ۷۵
۳-۱۴- محدودیتها و موانع موجود در استفاده از طراحی آزمایشات ۷۵
۳-۱۵- مروری بر طرحهای آزمایش ۷۶
۳-۱۵-۱- طرحهای تک عاملی ۷۶
۳-۱۵-۲- طرحهای عاملی کامل ۷۷
۳-۱۵-۳- طرحهای عاملی کسری ۷۷
۳-۱۵-۴- طرحهای پلاکت برمن ۷۷
۳-۱۵-۵- روش سطح پاسخ ۷۸
۳-۱۵-۶- طرح مرکب مرکزی ۷۸
۳-۱۵-۷- طرحهای باکس بهنکن ۷۹
۳-۱۶- طراحی و تحلیل آزمایش ۷۹
۳-۱۶-۱- طرح عاملی ۷۹
۳-۱۶-۲- اثر اصلی ۷۹
۳-۱۶-۳- اثر متقابل ۸۰
۳-۱۶-۴- تحلیل آماری مدل با اثرات تثبیت شده ۸۰
۳-۱۶-۵- تشخیص اثرات معنی دار ۸۱
۳-۱۶-۵-۱- تحلیل واریانس ۸۱
۳-۱۶-۵-۲- آزمونهای تعیین معنی دار بودن اثرات ۸۲
۳-۱۶-۵-۲-۱- آزمون F ۸۲
۳-۱۶-۵-۲-۲- آزمون P ۸۴
۳-۱۶-۶- طرح عامل 3^K ۸۴
۳-۱۶-۷- تحلیل رگرسیونی ۸۴

فصل چهارم

مروری بر کارهای انجام شده در زمینه ماشینکاری تخلیه الکتریکی

۴-۱- مقدمه ۸۶
۴-۲- کارهای انجام گرفته ۸۶
۴-۲-۱- تاثیر پارامترهای عملکردی ماشینکاری تخلیه الکتریکی قطعه کاربیدتنگستن ۸۹
۴-۲-۲- فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی با استفاده از الکترود کامپوزیتی کرم مس(Cr-Cu) ۹۱
۴-۲-۳- بهینه سازی پارامترهای ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۹۲
۴-۲-۴- تحلیل تأثیر پارامترهای ماشینکاری تخلیه بر قطعه کاربید تنگستن-کبالت ۹۳
۴-۲-۵- ماشینکاری تخلیه الکتریکی فولاد ابزار با جنسهای مختلف الکترود ابزار ۹۵
۴-۲-۶- بررسی ماشینکاری تخلیه الکتریکی سرامیک های هادی ۹۶
۴-۲-۷- بررسی ماشینکاری تخلیه الکتریکی کاربید سلیسیوم ۹۹
۴-۳- تعیین پروژه ۱۰۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل پنجم

طراحی و نحوه انجام آزمایشات

۵-۱- مقدمه ۱۰۳

۵-۲- انجام آزمایشات ۱۰۴

۵-۲-۱- ماشین ابزار مورد استفاده ۱۰۴

۵-۲-۲- قطعه کار مورد استفاده ۱۰۵

۵-۲-۳- ماده الکترود ابزار ۱۰۹

۵-۲-۴- عوامل طراحی و متغییرهای تکنولوژیکی پاسخ مورد تحلیل ۱۱۱

۵-۲-۵- آزمایشات اولیه ۱۱۴

۵-۳- طراحی آزمایشات ۱۱۵

فصل ششم

تحلیل نتایج آزمایشات

۶-۱- مقدمه ۱۱۸

۶-۲- تحلیل نتایج حاصل از آزمایشات ۱۱۸

۶-۲-۱- تحلیل نرخ باربرداری ۱۲۰

۶-۲-۲- تحلیل نسبت فرسایش الکترود ۱۲۸

۶-۲-۳- تحلیل ناصافی سطح قطعه کار ۱۳۶

فصل هفتم

نتایج تحقیق و کاربردهای آتی آن

۷-۱- مقدمه ۱۴۳

۷-۲- نتایج تحقیق ۱۴۳

۷-۲-۱- نتایج نرخ باربرداری ۱۴۳

۷-۲-۲- نتایج نسبت فرسایش الکترود ۱۴۵

۷-۲-۳- نتایج ناصافی سطح قطعه کار ۱۴۶

۷-۳- انتخاب جنس مناسب الکترود ابزار ۱۴۷

۷-۴- ارائه پیشنهادات ۱۴۹

پیوست ۱ : روش فرسایش یکنواخت ۱۵۱

پیوست ۲ : گرافیت های مصنوعی و طبیعی و برخی از تقسیم بندی گرافیت ها ۱۵۴

پیوست ۳ : نمودارهای نرخ باربرداری ۱۵۸

پیوست ۴ : نمودارهای درصد نسبت فرسایش الکترود ابزار ۱۶۰

پیوست ۵ : نمودارهای ناصافی سطح ۱۶۲

پیوست ۶ : نمودارهای نرخ باربرداری برای سه جنس مختلف الکترود ابزار ۱۶۴

پیوست ۷ : نمودارهای درصد نسبت فرسایش الکترود ابزار برای سه جنس مختلف الکترود ابزار ۱۶۵

پیوست ۸ : نمودارهای ناصافی سطح برای سه جنس مختلف الکترود ابزار ۱۶۶

پیوست ۹ : رویه های پاسخ ۱۶۷

منابع و مراجع ۱۷۰

لیست علائم و اختصارات

EDM	ماشینکاری تخلیه الکتریکی
EDG	سنگ زنی تخلیه الکتریکی
USM	ماشینکاری آلتراسونیک
ECM	ماشینکاری الکتروشیمیایی
LM	ماشینکاری لیزر
MRR	نرخ باربرداری
EWR	نسبت فرسایش الکترود ابزار
R_a	ناصافی سطح قطعه کار تولیدی
DOE	طراحی آزمایشات
V_{opc}	ولتاژ مدار باز
u_e /V_{sp}	ولتاژ جرقه
T_i / T_{on}	زمان روشنی پالس
T_o	زمان خاموشی پالس
T_e	زمان مؤثر جرقه زنی
I_{sp} / I_e	جریان جرقه یا گپ
I	جریان پالس
E	میدان الکتریکی
HAZ	منطقه متاثر از حرارت
hr	زمان برحسب ساعت
min	زمان برحسب دقیقه
in^3	اینچ مکعب
MP	نقطه ذوب
WLT	ضخامت لایه سفید رنگ
Cu	مس
Br	برنج
Zn	روی
W	تنگستن
Al	آلومینیوم
Gr	گرافیت
SPC	کنترل آماری فرآیند
TQM	مدیریت کیفیت فراگیر

لیست علائم و اختصارات

فولاد ابزار سرد کار 1.2080	AISI D3
نمودار دما-زمان-تغییرفاز	TTT
حجم ماده برداشته شده از قطعه کار	VMR_P
حجم ماده برداشته شده از الکترود ابزار	VMR_E
مدت زمان ماشینکاری تخلیه الکتریکی	T
خطای نوع اول	α
احتمال F	P
نماد جنس الکترود ابزارکه برای : مس=۱ ، برنج=۲ و گرافیت=۳	MAT
چگالی	ρ

مقدمه

پیشرفت های تکنولوژیکی به ما امکان استفاده بیشتر از موادی با سختی و استحکام بالا را در صنایع داده است. در ماشینکاری مواد با سختی و استحکام بالا، روش های ماشینکاری سنتی(تراشکاری و فرزکاری و ...) بطور فزآینده ای با تکنولوژیهای پیشرفته و روش های مخصوص از قبیل ماشینکاری تخلیه الکتریکی(EDM)، ماشینکاری آلتراسونیک(USM)، ماشینکاری الکتروشیمیایی(ECM) و ماشینکاری لیزر(LM) و ... جایگزین شده اند. در واقع از خصوصیات روشهای تولید مخصوص، پیچیدگی دستگاه و ارتباط آن با علوم دیگر می باشد. از میان روش های مختلف تولید مخصوص، ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی جایگاه ویژه ای را در صنعت پیدا کرده است.

ماشینکاری تخلیه الکتریکی که عموماً بعنوانEDM شناخته می شود فرآیندی است، که برای برداشتن فلز از سطح قطعه کار از یک سری تخلیه های الکتریکی مکرر بین ابزاری، که اصطلاحاً الکترود نامیده می شود، و قطعه کار با مدت زمان روشنی پالس کوتاه و جریان بالا در حضور یک سیال دی الکتریک استفاده می شود. فن آوری تخلیه الکتریکی بطور گسترده در صنایع ساخت ابزار، قالب و ماتریس برای ماشینکاری فولادهای ابزار عملیات حرارتی شده و مواد پیشرفته که نیاز به دقت بالا، اشکال پیچیده و پرداخت سطحی بالا دارند، استفاده می گردد. بسیاری از موادی که امروزه در صنعت برای ساخت قطعات و قالبها استفاده می شوند، دارای نسبت استحکام به سختی، سختی و مقاومت حرارتی بالا می باشند که همه این موارد از جمله مسائلی است که در هنگام ماشینکاری سنتی که باربرداری به صورت مکانیکی انجام می شود، مشکلاتی اساسی را باعث می گردد. در حالیکه ماشینکاری این مواد با استفاده از فرآیند تخلیه الکتریکی به راحتی انجام پذیر می باشد. فولادهای ابزار عملیات حرارتی شده(سخت و بازپخت شده) با توجه به فرسایش سریع ابزار ماشینکاری کننده، نرخ براده برداری پایین، ناتوانی در ایجاد اشکال پیچیده و عدم امکان تولید قطعات پرداخت، به سختی می توانند با روشهای سنتی ماشینکاری شوند. از طرف دیگر امکان انجام عملیات حرارتی

بر قطعه پس از انجام ماشینکاری سنتی، بدلیل بهم خوردن دقت ابعادی آنها(بخصوص در مورد قطعات بزرگ) وجود ندارد. از این میان فولادهای ابزارهای سردکار سخت شده یکی از مهمترین قطعات مورد استفاده برای انجام ماشینکاری تخلیه الکتریکی محسوب می گردد. یکی از فولادهای ابزار سردکار پرکاربرد در صنایع و بخصوص صنایع قالبسازی، فولاد ابزار سردکار AISI D3 می باشد که پس از سخت گردانی بسیار سخت شده و امکان ماشینکاری آن با روشهای ماشینکاری سنتی مرسوم وجود نداشته و از روشهای مخصوص جهت شکلدهی استفاده می گردد. از طرفی جنس الکترود ابزار یکی از مهمترین پارامترهای ماشینکاری تخلیه الکتریکی می باشد که در این مطالعه سه جنس مهم مس، برنج و گرافیت مورد بررسی قرار گرفته است. و برای در نظر گرفتن شرایط مختلف برای انتخاب بهینه جنس الکترود ابزار از جریانها و زمانهای روشنی پالس مختلف استفاده شده است. در انجام آزمایشات می توان از ابزار توانمند طراحی آزمایشات(DOE) استفاده نمود. روش طراحی آزمایش ها یکی از روش های مفید بهبود کیفیت است که بوسیلهٔ آن می توان متغیرهای کلیدی که بر مشخصه های کیفی مورد نظر فرآیند اثر می گذارند را شناسایی نمود. با بکارگیری این روش می توان عامل های ورودی قابل کنترل را به طور سیستماتیک تغییر داد و اثرات آنها را بر روی پارامترهای محصول خروجی ارزیابی نمود. آزمایشهایی که به طور آماری طراحی می گردند می توانند به مقدار قابل ملاحظه ای از میزان تغییرات در مشخصات کیفی بکاهند و همچنین سطوح متغیرهای قابل کنترل که باعث بهینه کردن عملکرد فرآیند می گردند را تعیین نمایند. همچنین می توان از تحلیل رگرسیون غیر خطی(Non-linear Regression) برای تخمین پاسخ ها، استفاده نمود. در مدلهای رگرسیونی هدف ما برازش یک منحنی بر روی تعدادی داده و بدست آوردن یک معادله رگرسیونی بین عوامل و متغیر پاسخ می باشد.

در این بررسی در مورد جزئیات پیش آمده در نرخ باربرداری(MRR)، نسبت فرسایش الکترود ابزار(EWR) و ناصافی سطح قطعه کار تولیدی(R_a)، در مورد فولاد ابزار سردکار AISI D3 در اثر استفاده از جنس های مختلف برای الکترود ابزار که دارای قطبیت مثبت می باشد و همچنین جریانها و زمانهای روشنی پالس مختلف، تجزیه و تحلیل شده است. در این بررسی جهت تحلیل و توصیف بهتر و همچنین تعیین عوامل مؤثرتر فرآیند و نقش اثرات متقابل از ابزار کارآمد و توانای طراحی آزمایشات(DOE) و نیز تحلیل رگرسیون

غیر خطی(Non-linear Regression) برای تخمین پاسخ ها، استفاده شده است. در ادامه به برخی از موارد مهمی که در هر فصل به آن پرداخته شده است، اشاره می گردد.

در فصل اول، به کاربردهای روشهای تولید مخصوص، معرفی ماشینکاری تخلیه الکتریکی، مکانیزم عملکرد، فیزیک کار و فازهایی که در طی یک سیکل ماشینکاری رخ می دهد و همچنین بررسی و آنالیز پالس های موجود و پارامترهای مختلف مؤثر در این فرآیند و در پایان فصل نیز به اهمیت شستشوی سیال دی الکتریک و انواع مکانیزم های آن در این فرآیند اشاره شده است.

در فصل دوم به بررسی الکترود ابزار، فرسایش آن، عوامل مؤثر بر فرسایش الکترود ابزار، انواع فرسایش الکترود و روابط مربوط به فرسایش ابزار و عوامل اصلی در انتخاب جنس مناسب الکترود ابزار، انواع جنسهای فلزی و غیرفلزی برای جنس الکترود ابزار و به برخی از مشخصات گرافیتها اشاره شده است.

در فصل سوم، به مبحث طراحی آزمایشات، روشهای کنترل آماری فرآیند، ویژگیهای و مبانی و کاربردها و مزایا و محدودیتهای طراحی آزمایشات، مروری بر طرحهای آزمایش، طرحهای عامل، تحلیل آماری فرآیند، آزمونهای تشخیص اثرات معنی دار فرآیند، تحلیل واریانس و در نهایت تحلیل رگرسیون پرداخته شده است.

در فصل چهارم به برخی از کارهای انجام شده در زمینه ماشینکاری تخلیه الکتریکی و تعیین و تعریف پروژه پرداخته شده است.

در فصل پنجم به ماشین ابزار، دستگاه ها و وسایل مورد استفاده در انجام آزمایشات، مشخصات قطعه کار و الکترود ابزار مورد استفاده، عوامل طراحی و متغیرهای پاسخ، آزمایشات اولیه و طراحی آزمایشات اشاره شده است.

در فصل ششم به تحلیل نتایج حاصل از انجام آزمایشات شامل نرخ باربرداری، نسبت فرسایش الکترود و ناصافی سطح قطعه کار، توسط جداول تحلیل واریانس و نمودارهای اثرات اصلی و متقابل و همچنین رویه های پاسخ اشاره شده است.

در فصل هفتم، به نتایج حاصل از انجام آزمایشات و همچنین پیشنهاداتی برای انجام کارهای بعدی اشاره شده است.

روش فرسایش یکنواخت، گرافیتهای مصنوعی و طبیعی و برخی از تقسیم بندیهای گرافیت های مـصنوعی ، نمودارها و رویه های مختلف حاصل از انجام آزمایشات و تحلیل نتایج حاصل توسط نرم افزار، در پیوستهای انتهایی این پروژه ارائه شده است.

فصل اول

ماشینکاری تخلیه الکتریکی بعنوان یک روش تولید مخصوص ، چگونگی عملکرد و مکانیزم آن

۱-۱- موارد کاربرد تولید مخصوص (روش های غیر سنتی[۱])

۱. سختی قطعه کار خیلی بالاست و بعلت سختی بالا بایستی ابزار ماشینکاری سنتی(ابزار تراش، فرز وغیره) خیلی سخت باشد که در این حالت ابزار ترد و شکننده خواهد شد و در نتیجه کار با این ابزار، بعلت لزوم وجود تماس مکانیکی بین ابزار و قطعه در حین باربرداری، بسیار مشکل است.

۲. قطعه کار خیلی نرم است و تحمل نیروهای براده برداری را ندارد، زیرا ممکن است در اثر نیروی براده برداری قسمت زیادی از قطعه تغییر فرم پلاستیکی دهد .

۳. قطعه کار از نظر شکل پیچیده است و امکان بستن آن در گیره وجود ندارد. در حالیکه بعلت وجود نیروهای مکانیکی در حین ماشینکاری سنتی نیاز به سیستم گیره بندی مستحکم قطعه کار میباشد.

۴. قطعه کار مورد نظر از نظر شکل پیچیده است و تولید آن با دقت بالا امکان پذیر نیست.

۵. کیفیت سطح و تلرانس بالا مورد نیاز می باشد.

۶. تنش های مکانیکی بزرگ که در اثر تماس ابزار با قطعه کار ایجاد می شود، نبایستی ایجاد گردد.

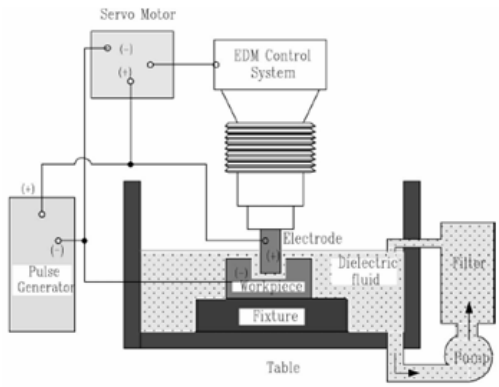
۱- *Non Traditional Methods*

۱-۲- معرفی ماشینکاری تخلیه الکتریکی«Electro Discharge Machining»

در این روش، براده برداری توسط تخلیه الکتریکی انجام می شود و یک روش الکتریکی-حرارتی[۱] است. یعنی در آن الکتریسیته و حرارت دخیل هستند. ماشینهایی مانند برشکاری عمودی[۲] ، وایرکات[۳] یا برش با سیم، سوراخکاری[۴] تخلیه الکتریکی و سنگ زنی تخلیه الکتریکی[۵](EDG) همگی با استفاده از روش تخلیه الکتریکی عملیات ماشینکاری را انجام می دهند و اساس و مبنای فیزیکی همگی آنها یکسان می باشند.

۱-۲-۱- تعریف ماشینکاری تخلیه الکتریکی(EDM)

این ماشینکاری یک نوع روش باربرداری از قطعه کار می باشد که در آن ولتاژ پالسی و منقطع برقرار شده بین دو الکترود بنام های ابزار و قطعه کار که در سیالی بنام دی الکتریک غوطه ور می باشند و فضای بین آنها را این سیال دی الکتریک پر می نماید و توسط جرقه های حامل الکترونها و یونها که همواره در نزدیکترین فاصله بین ابزار و قطعه کار زده می شود، باربرداری صورت می گیرد.



شکل۱-۱: نمایش شماتیکی فرآیند EDM

۱ - *Electro Thermal*

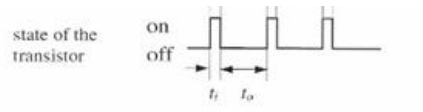
۲-*Die sinking*

۳ - *Wire Cut*

۴- *Drilling*

۵ - *Electrical Discharge Grinding*

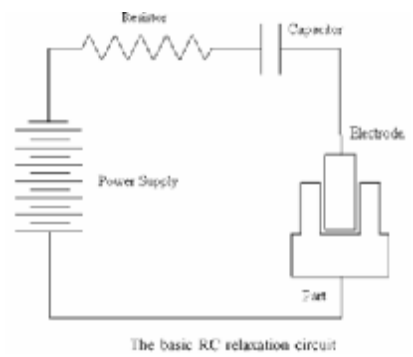
عامل جرقه در نزدیکترین نقطه یا نقاط برقرار شده و هر جرقه جز کوچکی از ماده را از سطح قطعه کار جدا می گرداند و در نهایت بعد از تعداد زیادی جرقه شکل مکمل پیشانی ابزار با ایجاد حفره ای در قطعه کار حک می گردد(لازم به ذکر است که در طول این فرآیند همواره ابزار در فاصلهِ نزدیک و کنترل شده ای از قطعه کار نگهداشته می شود). بایستی توجه داشت که در این روش ولتاژ باید منقطع باشد، چون اگر پیوسته باشد، جرقه پیوسته ای بنام آرک(Arc) تولید می شود که تنها در لحظه شروع می تواند باربرداری کند و بعد از آن هرچند ابزار را نگه داریم ولیکن باربرداری صورت نخواهد گرفت.



شکل۲-۱: ولتاژ پالسی اعمالی در فرآیند EDM

۱-۳- تاریخچه ماشینکاری تخلیه الکتریکی(EDM)

در سال ۱۷۶۸ میلادی جوزف پریستلی مشغول طیف سنجی نور سفید با استفاده از تخلیه یک خازن بود، وی در حین انجام آزمایشات مشاهده کرد که جرقه های بوجود آمده، آثاری بر سطح قطعه بجای گذاشته است که با دست پاک نمی شود و آثاری شبیه به آثار ذوب شدگی بود. در سال۱۹۳۳ میلادی آقا و خانم لازارنکو سعی می کنند با استفاده از الکتریسیته جاری از سطح الکترود ذراتی را جدا کنند و آثاری را بوجود آورند. با تلاشهای آنها در سال ۱۹۴۳ اولین ماشین تخلیه الکتریکی توسط مدار R.C تولید می شود.



شکل۳-۱ : شماتیک ساده از یک مدارRC در فرآیندEDM

آن موقع زمان جنگ جهانی دوم و همزمان با ساخته شدن موتور جت و موشکهای دوربرد بود و چون در زمان جنگ لزوم ماشینکاری قطعات سوپر آلیاژی و سرامیک ها وجود داشت. این نوع ماشینکاری کاربرد زیادی پیدا کرد. این ماشین با استفاده از امکانات ابتدایی مانند لامپ مقاومت خلا ساخته شد و عمر و پاسخهای فرکانسی کمی داشتند. ولی با پیشرفت علوم الکترونیک و الکتروتکنیک این ماشین بهبود و گسترش یافت و طبعاً توانایی های آن هم افزایش پیدا کرد.

۱-۴- فرآیند ماشینکاری با تخلیه الکتریکی

مکانیزم باربرداری شامل برقراری ولتاژ، بوجود آمدن میدان الکتریکی قوی، جریان ضعیف الکترون از قطب منفی به مثبت، گرم شدن مولکولها، ایجاد حباب های بخار، افزایش سرعت الکترونها، تشکیل کانال پلاسما و تخلیه الکتریکی، حرکت بارهای مثبت و منفی، حرکت الکترون ها به سمت قطب مثبت و آزاد کردن انرژی خود، پس از رشد کانال پلاسما و افزایش یونهای مثبت و در نتیجه افزایش هدایت دی الکتریک و رسیدن به حد بحرانی و در نهایت وقوع جرقه و براده برداری را خواهیم داشت.

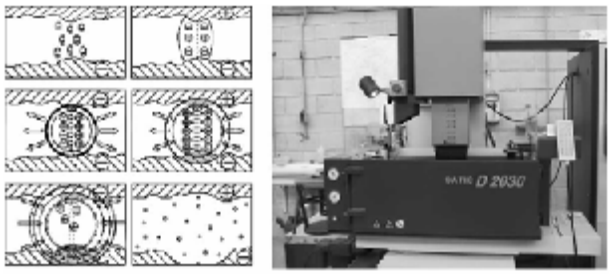


Diagram of the EDM physical process and a picture of the used EDM machine

شکل۴-۱: دیاگرام فرآیند فیزیکی EDM و نمونه ای از ماشین EDM

۱-۵- دی الکتریک

دی الکتریک به موادی اطلاق می شود که به راحتی جریان برق را از خود عبور نمی دهند. خاصیت دی الکتریک مواد با هم متفاوت است(بطوری خیلی تقریبی می توان گفت هر چه ماده غلیظ تر و چگال تر باشد، خاصیت دی الکتریکی آن بیشتر است به همین دلیل خاصیت دی الکتریک نفت از هوا بیشتر است)، البته خاصیت دی الکتریکی مواد بر حسب مقدار مقاومت ماده در واحد طول می سنجند، مثلاً با واحد ‹‹مگا اهم بر سانتیمتر›› ، که