۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک–ساخت و تولید

بررسی و بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک

توسط:

وحید طهماسبی

استاد راهنما:

دکتر مجید قریشی

تابستان ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

تأییدیّه هیات داوران

(برای پایان‌نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهایی پایان‌نامه خانم / آقای: وحید طهماسبی

را با عنوان: بررسی و بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
1 -استاد راهنما	دکتر مجید قریشی	دانشیار	
2 -استاد مشاور	-	-	-
3 -استاد مشاور	-	-	-
4 -استاد ممتحن			
5 -استاد ممتحن			
6 -نماینده تحصیلات تکمیلی			

تقدیم به...

پدر دلسوز و مادر عزیزم که هرچه دارم از دعای آنهاست

و

همسر مهربانم که همواره در کنارم بوده و هست

و

تمامی اساتید و معلمانی که برایم زحمات فراوانی کشیده اند

تشکر و قدردانی

حقیر بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از استاد عزیز و مهربان و با اخلاق، جناب آقای دکتر قریشی که با حمایت‌ها و ارشادات خود زمینه رشد علمی اینجانب را فراهم نموده‌اند، صمیمانه اعلام می‌نمایم.

همچنین بر خود لازم می دانم از زحمات جناب آقای دکتر زمانی مدیرگروه دلسوز و مهربان گروه ساخت و تولید که از هیچ تلاشی برای موفقیت هرچه بیشتر دانشجویان فروگذار نمی کنند، تشکر و قدردانی نمایم و از جناب آقای مهندس بیگی و جناب آقای مهندس ابراهیمی سرپرست کارگاه جوشکاری و دانشجویان آزمایشگاه ماشینکاری پیشرفته دانشکده، آقایان مهندس سعید عصارزاده و مهندس احسان رودگر جهت همکاری در انجام آزمایشات مربوط به پایان‌نامه، سپاسگزارم.

چکیده

ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی خشک یکی از جدیدترین فر آیندهای ماشینکاری غیرسنتی می‌باشد که مطالعات و پژوهش‌های انجام گرفته بر روی آن به سرعت درحال پیشرفت و گسترش می‌باشد، عمده تفاوت این نوع ماشینکاری با ماشینکاری تخلیه الکتریکی معمولی استفاده از دی‌الکتریک گازی به جای دی‌الکتریک مایع و دوران الکترود ابزار می‌باشد. در این تحقیق ضمن بیان خصوصیات این فرآیند، ابتدا به ساخت دستگاه ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک و ایجاد شرایط انجام این فرآ یند برای اولین بار در سطح کشور اقدام شده است و در مرحله بعد خروجی های اصلی فرآیند شامل : نرخ براده‌برداری، نسبت سایش الکترود و زبری سطح مورد بررسی و تحلیل قرارگرفته‌اند، آزمایش‌های مربوط به این فرآ یند با استفاده از روش طراحی آزمایشات، طراحی گردیده و با بهره‌گیری از روش سطح پاسخ مدل سازی و بهینه‌سازی شده‌اند، در پایان حالت بهینه فرآیند در هریک از بخش‌ها با حالت بهینه ماشینکاری معمولی مقایسه شده‌اند. براساس نتایج بدست آمده با استفاده از دی‌الکتریک گازی می‌توان نرخ براده‌برداری و نرخ سایش ابزار را به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشید.

کلید واژه: ماشینکاری تخلیه الکتریکی، ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک، دی‌الکتریک گازی، طراحی آزمایشات، روش آماری سطح پاسخ، نرخ براده‌برداری، نسبت سایش الکترود، زبری سطح

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ه

فهرست شکل‌ها ..... و

فهرست نمودارها ..... ح

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- تاریخچه فرآیند تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک ۱

۱-۳- پیرامون تحقیق حاضر ۵

فصل ۲- اصول ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۶

۲-۱- مقدمه ۶

2-2- تعریف ماشینکاری تخلیه الکتریکی ۶

2-3- تئوریهای ارائه شده در خصوص نحوه براده برداری در EDM ۶

۲-۴- مکانیزم براده برداری در EDM ۷

۲-۵- دی الکتریک در EDM ۱۱

فصل ۳- ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک ۱۳

۳-۱- مقدمه ۱۳

۳-۲- ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک ۱۳

۳-۲-۱- تعریف ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک ۱۳

۳-۲-۲- تعریف ماشینکاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک ۱۳

۳-۲-۳- مکانیزم عملکرد ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک ۱۴

۳-۲-۴- گستره ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک ۱۵

۳-۲-۵- پارامترهای مؤثر در ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک ۱۷

۳-۲-۵-۱- دی الکتریک گازی ۱۸

۳-۲-۵-۲- الکترود ابزار ۲۰

۳-۲-۵-۳- اثر ولتاژ دهانه ماشینکاری ۲۳

۳-۲-۵-۴- اثر جریان تخلیه الکتریکی ۲۴

۳-۲-۵-۵- اثر زمان روشنی و خاموشی پالس ۲۵

۳-۳- مقایسه ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک با ماشینکاری معمول ۲۶
۳-۳-۱- مقایسه حالت غوطه وری معمول و فرزکاری معمول و فرزکاری خشک ۲۶
۳-۳-۱-۱- مقایسه نرخ براده برداری در ایجاد یک سطح مخروطی شکل ۲۶
۳-۳-۱-۲- مقایسه پارامترهای خروجی در ایجاد یک سوراخ ۲۷
۳-۳-۲- شیارتراشی در حالت های خشک و معمولی ۲۹
۳-۳-۳- سوراخکاری در حالت های نیمهخشک و معمولی ۳۰
۳-۴- مزایا و معایب ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک ۳۰
۳-۴-۱- مزایای فرآیند ۳۰
۳-۵- معایب فرآیند ۳۲
فصل ۴- آشنایی با روش طراحی آزمایشات ۳۳
۴-۱- مقدمه ۳۳
۴-۲- روند طراحی آزمایش ها ۳۳
۴-۳- مدل سازی فرآیند ۳۴
۴-۴- انواع طراحی آزمایشها ۳۴
۴-۴-۱- روش سطح پاسخ ۳۵
۴-۴-۱-۱- طرحهای برازش مدل مرتبه دوم ۳۶
فصل ۵- طراحی و ساخت دستگاه ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک ۳۹
۵-۱- مقدمه ۳۹
۵-۲- طراحی دستگاه ۳۹
۵-۲-۱- موتور دستگاه ۴۰
۵-۲-۲- سیستم انتقال قدرت ۴۰
۵-۲-۳- جداسازی اجزا ثابت و دورانی ۴۰
۵-۲-۴- سیستم انتقال گاز از داخل دستگاه ۴۰
۵-۲-۵- سیستم گیرش الکترود ۴۰
۵-۲-۶- انتقال جریان الکتریکی به الکترود ۴۱
۵-۳- ساخت دستگاه ۴۱
فصل ۶- معرفی تجهیزات آزمایش و طراحی آزمایش ها ۴۲
۶-۱- معرفی دستگاه اسپارک ۴۲
۶-۱-۱- بخش ماشینکاری ۴۲
۶-۱-۲- میز دستگاه ۴۳

۶-۱-۳- ژنراتور ۴۳
۶-۲- تنظیم دستگاه ۴۴
۶-۳- مواد به کلو رفته در آزمایش ۴۵
۶-۳-۱- الکترود ابزار ۴۵
۶-۳-۱-۱- جنس الکترود ۴۵
۶-۳-۱-۲- مشخصات هندسی الکترود ۴۵
۶-۳-۱-۳- نحوه ساخت و تولید الکترود ۴۶
۶-۳-۲- قطعه کار ۴۶
۶-۳-۳- مشخصات هندسی قطعه کار ۴۶
۶-۳-۴- نحوه ساخت و تولید قطعه کار ۴۶
۶-۳-۵- آماده سازی قبل از آزمایش ها و اندازه گیری ۴۶
۶-۴- تجهیزات جانبی ۴۷
۶-۵- طراحی آزمایش ها در این تحقیق ۴۷
۶-۵-۱- نرم افزار Minitab ۴۸
فصل ۷- بررسی و تحلیل نتایج آزمایشها ۵۰
۷-۱- مقدمه ۵۰
۷-۲- تحلیل و بررسی نرخ براده برداری ۵۰
۷-۲-۱- اثر پارامترهای مؤثر بر نرخ براده برداری ۵۲
۷-۲-۱-۱- اثر ولتاژ دهانه ماشینکاری بر نرخ براده برداری ۵۲
۷-۲-۱-۲- اثر جریان تخلیه الکتریکی بر نرخ براده برداری ۵۳
۷-۲-۱-۳- اثر زمان روشنی پالس بر نرخ براده برداری ۵۵
۷-۲-۱-۴- اثر زمان خاموشی پالس ۵۶
۷-۲-۲- اثر فشار گاز ورودی ۵۸
۷-۲-۲-۱- اثر سرعت دوران الکترود ۵۸
۷-۲-۳- بهینه سازی فرآیند از نظر نرخ براده برداری ۵۹
۷-۳- بررسی و تحلیل زبری سطح ۶۰
۷-۳-۱- اثر پارامترهای مؤثر بر زبری سطح ۶۲
۷-۳-۱-۱- اثر ولتاژ دهانه ماشینکاری بر زبری سطح ۶۲
۷-۳-۱-۲- اثر جریان تخلیه الکتریکی بر زبری سطح ۶۲
۷-۳-۱-۳- اثر زمان روشنی پالس ۶۳
۷-۳-۱-۴- اثر زمان خاموشی پالس ۶۴
۷-۳-۱-۵- اثر سرعت فشار گاز ورودی ۶۵

۷-۳-۱-۶- اثر سرعت دوران الکترود ۶۶
۷-۳-۲- بهینه سازی فرآیند از نظر زبری سطح ۶۶
۷-۴- بررسی و تحلیل نرخ سایش ابزار ۶۷
۷-۴-۱- اثر پارامترهای مؤثر بر نرخ سایش ابزار ۶۹
۷-۴-۱-۱- اثر ولتاژ دهانه ماشینکاری بر نرخ سایش ابزار ۶۹
۷-۴-۱-۲- اثر جریان تخلیه الکتریکی ۷۰
۷-۴-۱-۳- اثر زمان روشنی پالس بر نرخ سایش ابزار ۷۱
۷-۴-۱-۴- اثر زمان خاموشی پالس بر نرخ سایش ابزار ۷۱
۷-۴-۱-۵- اثر فشار گاز ورودی ۷۲
۷-۴-۱-۶- اثر سرعت دوران الکترود ۷۳
۷-۴-۲- بهینه سازی فرآیند از نظر نرخ سایش ابزار ۷۴
۷-۵- مقایسه ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک و ماشینکاری معمول در تحقیق حاضر ۷۵
فصل ۸- نتیجه گیری و پیشنهادها ۷۸
۸-۱- نتیجه گیری ۷۸
۸-۲- ارائه پیشنهاد ها برای تحقیقات آتی ۷۸
فهرست مراجع ۸۰
واژه نامه فارسی به انگلیسی Error! Bookmark not defined.
واژه نامه انگلیسی به فارسی Error! Bookmark not defined.

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: تنظیمات صورت گرفته در فرآیند[۶]. ۲۷
جدول ۳-۲: مقایسه زمان انجام فرآیندها [۶]. ۲۷
جدول ۳-۳: شرایط ماشینکاری در انجام فرآیندها [۷]. ۲۸
جدول ۶-۱: مقادیر واقعی و کد شده فاکتورهای ورودی آزمایش ۴۷
جدول ۶-۲: فاکتورهای ورودی و نتایج خروجی ها ۴۸
جدول ۷-۱: جدول ANOVA اولیه برای نرخ براده برداری ۵۰
جدول ۷-۲: جدولANOVA اصلاح شده برای نرخ براده برداری ۵۱
جدول ۷-۳: جدول آنالیز واریانس اولیه برای زبری سطح ۶۰
جدول ۷-۴: جدول آنالیز واریانس اصلاح شده برای زبری سطح ۶۱
جدول ۷-۵: آنالیز واریانس اولیه برای نرخ سایش ابزار ۶۷
جدول ۷-۶: آنالیز واریانس مدل اصلاح شده برای نرخ سایش ابزار ۶۸
جدول ۷-۷: مقایسه فرآیندهای خشک و معمولی ۷۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: نمایی از اجزای فرآیندEDM [۲۱]. ۶
شکل ۲-۲: مقدار ولتاژ و جریان و نحوه شروع جرقه در طی زمان تأخیر جرقه[۲۰]. ۹
شکل ۲-۳: کانال پلاسما و تخلیه به همراه ولتاژ و جریان در طی مرحله تخلیه [۲۰]. ۱۰
شکل ۲-۴: مرحله براده برداری به همراه شکل ولتاژ و جریان[۲۰]. ۱۱
شکل ۳-۱: دهانه ماشینکاری در حالت دی الکتریک گازی [۶]. ۱۳
شکل ۳-۲: مکانیزم اعمال ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک [۱۲]. ۱۴
شکل۳-۳: نمایی از دستگاه اعمال ماشینکاری نیمه خشک [۹]. ۱۵
شکل ۳-۴: میکروسوراخکاری با فرآیند تخلیه الکتریکی خشک [۱۹]. ۱۵
شکل ۳-۵: ماشینکاری سیم برش خشک [۸]. ۱۶
شکل ۳-۶: فرزکاری تخلیه الکتریکی خشک[۶]. ۱۶
شکل ۳-۷: میکرو فرزکاری با ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک[۱۹]. ۱۶
شکل ۳-۸: میکروفرزکاری خشک در حالت CNC [۱۹]. ۱۷
شکل ۳-۹: پارامترهای مؤثر در ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک[۱۳]. ۱۷
شکل ۳-۱۰: اعمال دی الکتریک در حالت های مکشی و فشاری[۶]. ۱۹
شکل ۳-۱۱: برتری گاز اکسیژن نسبت به هوا و همچنین برتری حالت مکشی[۶]. ۱۹
شکل ۳-۱۲: شکل پیشانی الکترود و سوراخ های خارج از مرکز [۲۱]. ۲۱
شکل ۳-۱۳: اشگال دیگر پیشانی الکترود [۲۱]. ۲۱
شکل ۳-۱۴: استفاده از لوله های مسی و الکترود اینسرتی [۲۱]. ۲۲
شکل ۳-۱۵: ایجاد یک سوراخ مخروطی شکل [۶]. ۲۶
شکل ۳-۱۶: مقایسه فرآیندهای فرز کاری خشک و معمولی و حالت غوطه وری [۷]. ۲۸
شکل ۳-۱۷: سوراخ ایجاد شده با فرآیند فرزکاری تخلیه الکتریکی خشک [۷]. ۲۹
شکل ۳-۱۸: مقایسه فرآیندها در حالت نیمه خشک و معمولی [۸]. ۳۰
شکل ۳-۱۹: مزایای فرآیند تخلیه الکتریکی خشک [۱۴]. ۳۱
شکل ۴-۱: سطح پاسخ و منحنی های تراز مربوطه[۲۴]. ۳۶
شکل ۴-۲: طرح مرکب مرکزی الف) برای ۲ =k ب) برای ۳=k [۲۴]. ۳۷
شکل ۴-۳: طرح مرکب مرکزی متمرکز شده در وجوه برای ۳=k [۲۴]. ۳۸

شکل ۴-۴: طرح باکس- بنکن برای k=۳ [۲۴]. ۳۸
شکل ۵-۱: طرح کلگی ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک ۳۹
شکل ۵-۲: دستگاه ساخته شده اعمال ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک ۴۱
شکل ۵-۳: کلگی اعمال فرآیند معمول ۴۱
شکل ۶-۱: دستگاه اسپارک مورد استفاده ۴۲
شکل ۶-۲: هندسه الکترود ابزار ۴۵
شکل ۶-۳: هندسه قطعه کار ۴۶
شکل ۷-۱: نمودار های مربوط به توزیع باقیمانده ها ۵۲
شکل ۷-۲: نمودار تحلیل و پراکندگی باقیماندها برای زبری سطح ۶۱
شکل ۷-۳: نمودارهای تحلیل و پراکندگی باقیمانده ها برای نرخ سایش ابزار ۶۹

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار ۳-۱: عدم امکان استفاده از حالت مکشی در عمق های بیش از ۰/۳ میلیمتر[۶]. ۱۹
نمودار ۳-۲: اثر فشار گاز اعمالی بر نرخ براده برداری و صافی سطح[۱۲]. ۲۰
نمودار ۳-۳: اثر تعداد سوراخ های پیشانی الکترود بر نرخ براده برداری و زبری سطح [۱۲]. ۲۱
نمودار ۳-۴: اثر شکل پیشانی الکترود بر پارامتر های ماشینکاری۱۴]. ۲۲
نمودار ۳-۵: اثر سرعت دوران الکترود بر نرخ براده برداری و زبری سطح[۱۲]. ۲۳
نمودار ۳-۶: اثر قطر الکترود بر پارامترهای ماشینکاری[۲۱]. ۲۳
نمودار ۳-۷: اثر ولتاژ دهانه ماشینکاری بر نرخ براده برداری و صافی سطح[۱۲]. ۲۴
نمودار ۳-۸: اثر ولتاژ دهانه ماشینکاری بر نرخ براده برداری و دقت ابعادی[۱۳]. ۲۴
نمودار ۳-۹: اثر جریان تخلیه بر نرخ براده برداری و صافی سطح[۱۲]. ۲۴
نمودار ۳-۱۰: اثر جریان تخلیه بر نرخ سایش ابزار و دقت ابعادی[۱۳]. ۲۵
نمودار ۳-۱۱: اثر زمان روشنی پالس بر نرخ براده برداری[۱۲] ۲۵
نمودار ۳-۱۲: اثر زمان خاموشی پالس بر نرخ براده برداری و صافی سطح [۱۲]. ۲۶
نمودار ۳-۱۳: اثر زمان خاموشی پالس بر نرخ سایش ابزار[۱۳] ۲۶
نمودار ۳-۱۴: مقایسه نرخ سایش ابزار و نرخ براده برداری در فرزکاری خشک و معمولی [۷] ۲۸
نمودار ۳-۱۵: مقایسه نرخ سایش ابزار و دقت ابعادی [۷] ۲۹
نمودار ۳-۱۶: مقایسه نرخ براده برداری در سه فرآیند [۷] ۲۹
نمودار ۳-۱۷: مقایسه نرخ برادهبرداری و نرخ سایش ابزار[۱۴]. ۳۰
نمودار ۷-۱: اثر فاکتور اصلی ولتاژ بر نرخ براده برداری ۵۳
نمودار ۷-۲: اثر برهم کنش فاکتور ولتاژ و فشار ۵۳
نمودار ۷-۳: اثر فاکتور اصلی جریان بر نرخ براده برداری ۵۴
نمودار ۷-۴: اثر بر هم کنش فاکتور جریان و D٪ بر نرخ براده برداری ۵۴
نمودار ۷-۵: اثر بر هم کنش فاکتور جریان و فشار گاز ورودی بر نرخ براده برداری ۵۴
نمودار ۷-۶: اثر بر هم کنش فاکتور جریان و سرعت دوران الکترود بر نرخ براده برداری ۵۵
نمودار ۷-۷: اثر فاکتور اصلی زمان روشنی پالس بر نرخ براده برداری ۵۶
نمودار ۷-۸: اثر بر هم کنش فاکتورهای زمان روشنی و D% بر نرخ براده برداری ۵۶
نمودار ۷-۹: اثر فاکتور اصلی D% بر نرخ براده برداری ۵۷

نمودار ۷-۱۰: نمودار برهم کنش فاکتورهای D% و سرعت دوران الکترود ۵۷
نمودار ۷-۱۱: اثر فاکتور اصلی فشار گاز ورودی دی الکتریک ۵۸
نمودار ۷-۱۲: اثر فاکتور اصلی سرعت دوران الکترود ۵۹
نمودار ۷-۱۳: بهینه سازی صورت گرفته توسط نرم افزار ۵۹
نمودار ۷-۱۴: اثر فاکتور اصلی ولتاژ بر زبری سطح ۶۲
نمودار ۷-۱۵: اثر فاکتور اصلی جریان تخلیه بر زبری سطح ۶۳
نمودار ۷-۱۶: برهم کنش فاکتورهای جریان و ولتاژ ۶۳
نمودار ۷-۱۷: اثر فاکتور اصلی زمان روشنی پالس بر زبری سطح ۶۴
نمودار ۷-۱۸: برهم کنش فاکتورهای ولتاژ و زمان روشنی پالس بر زبری سطح ۶۴
نمودار ۷-۱۹: نمودار اثر فاکتور ضریب کار بر زبری سطح ۶۵
نمودار ۷-۲۰: اثر فاکتور اصلی فشار گاز ورودی بر زبری سطح ۶۵
نمودار ۷-۲۱:اثر فاکتور اصلی سرعت دوران الکترود بر زبری سطح ۶۶
نمودار ۷-۲۲: بهینه سازی صورت گرفته و مقادیر بهینه زبری سطح ارائه شده توسط نرم افزار ۶۶
نمودار ۷-۲۳: اثر فاکتور اصلی ولتاژ بر نرخ سایش ابزار ۶۹
نمودار ۷-۲۴: اثر فاکتور اصلی جریان بر نرخ سایش ابزار ۷۰
نمودار ۷-۲۵: نمودار برهم کنش ولتاژ و جریان بر نرخ نرخ سایش ابزار ۷۰
نمودار ۷-۲۶: نمودار برهم کنش فاکتورهای زمان روشنی پالس و D% ۷۱
نمودار ۷-۲۷: اثر فاکتور اصلی D% بر نرخ سایش ابزار ۷۲
نمودار ۷-۲۸: نمودار بر هم کنش فاکتور ولتاژ و D% بر نرخ سایش ابزار ۷۲
نمودار ۷-۲۹: نمودار بر هم کنش فاکتورهای ولتاژ و فشار گاز ورودی ۷۳
نمودار ۷-۳۰: اثر فاکتور سرعت الکترود بر نرخ سایش ابزار ۷۳
نمودار ۷-۳۱: برهم کنش فاکتورهای ولتاژ و سرعت الکترود بر نرخ سایش ابزار ۷۴
نمودار ۷-۳۲: برهم کنش فاکتورهای فشار گاز ورودی و سرعت الکترود بر نرخ سایش ابزار ۷۴
نمودار ۷-۳۳: بهینه سازی صورت گرفته توسط نرم افزار برای نسبت سایش ابزار ۷۵
نمودار ۷-۳۴: مقایسه نرخ براده برداری در حالت های معمولی و خشک ۷۶
نمودار ۷-۳۵: مقایسه نرخ سایش ابزار در حالت های معمولی و خشک ۷۶
نمودار ۷-۳۶: مقایسه زبری سطح در حالت های خشک و معمولی ۷۷

مقدمه

۱ ـ۱ پیشگفتار

فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی (EDM)[1] یکی از پرکاربردترین فرآیندهای ماشینکاری غیر سنتی می‌باشد که با توجه به قابلیت‌های بالای این فرآیند، تحقیقات و پژوهش‌ها در جهت پیشبرد و توسعه آن روز به روز در حال گسترش و پیشرفت می‌باشد و کاربرد این فرآیند در صنعت نیز به طور چشمگیری در حال افزایش است. امروزه این فرآیند برای تولید انواع قالب‌های صنعتی، قطعات ماشین آلات، صنایع هوافضا و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

از مهمترین مزایای ماشینکاری تخلیه الکتریکی عدم تماس فیزیکی بین ابزار و قطعه‌کار و در نتیجه عدم تأثیر خواص مکانیکی قطعه‌کار نظیر استحکام، سختی چقرمگی بر فرآیند می‌باشد.

از جمله مشکلات ماشینکاری الکتریکی سرعت کم آن، سایش الکترود و ناصافی سطح بالای آن می-باشد. همچنین اثرات زیست محیطی فرآیند به جهت استفاده از دی الکتریک‌هایی نظیر نفت سفید و پارافین نامطلوب ارزیابی می‌شود. با توجه به عمر کم ماشینکاری تخلیه الکتریکی (کمتر از ۷ دهه) و همچنین پیچیدگی ذاتی در ماهیت فرآیند، تاکنون تلاش های بسیاری در جهت کشف کامل ماهیت و بهبود آن صورت گرفته است [۱]. در این راستا و در جهت رفع مشکلات بیان شده در سالهای اخیر تحقیقات و پژوهشهای گسترده ای صورت پذیرفته است که در آنها به جای استفاده از ماده دی الکتریک مایع فرآیند، از دی‌الکتریک‌های گازی بهره گرفته شده است.

به ماشینکاری تخلیه الکتریکی که دی الکتریک آن از نوع گاز باشد اصطلاحاً ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک[2] و در صورت ترکیب دی الکتریک مایع و گاز، ماشینکاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک[3] یا نزدیک به خشک[4] گفته می‌شود.

۱ ـ۲ تاریخچه فرآیند تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک

استفاده از دی‌الکتریک گازی در فرآیند EDM که هنوز بیش از ۷ دهه از آن نمی‌گذرد، برای اولین بار به سال ۱۹۸۵ بر می‌گردد، در سال ۱۹۸۵ سازمان فضایی آمریکا[1] برای اولین بار مقاله‌ای را منتشر نمود

[1] Electrical Discharge Machining (EDM)
[2] Dey Electrical Discharge Machining (Dry EDM)
[3] Semi Dry EDM
[4] Near Dry

که در آن به استفاده از گاز های آرگون و هلیوم به عنوان دی الکتریک در فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی اشاره شده بود [۲]. پس از این تحقیق ، در سال های بعد تحقیقات وسیعتری پیرامون دی - الکتریک گازی در فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی صورت پذیرفت که رفته رفته منجر به معرفی فرآیندی تحت عنوان ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک گردید [۳]. پس از سازمان فضایی آمریکا (NASA)[1]، کانیودا[2] و همکارانش در دانشگاه توکیو ژاپن به صورت جدی تحقیق بر روی این فرآیند را آغاز کردند و در سال ۱۹۹۷ خصوصیات اصلی ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک را ابراز داشتند که در آن بیان شده بود برای انجام فرآیند می بایست از الکترود چرخان با جداره زخیم استفاده گردد و همچنین بیان نمودند اثرات زیست محیطی و آلودگی های فرآیند کاملاً حذف شده و به یکی از پاک ترین فرآیند-های ماشینکاری تبدیل شده است [۳]. همچنین این گروه در سال ۱۹۹۸ نرخ براده‌برداری را بر روی فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک بررسی نموده بودند که در صورت استفاده از الکترود چرخان و سیستم سرو[3] با به کلوگیری مواد پیزو الکتریک[4] می‌توان نرخ براده‌برداری ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک را افزایش داد [۴]. این گروه در سال ۲۰۰۱ مقاله‌ای را تحت عنوان ماشینکاری سیم برش تخلیه الکتریکی خشک[5] منتشر نمودند که در آن اثرات زنگ زدگی و خطای ابعادی نسبت به ماشینکاری سیم برش معمولی به شدت کاهش یافته بود اما سرعت براده برداری نیز اندکی کاهش یافته بود [۵]. این گروه در سال ۲۰۰۴ فرزکاری تخلیه الکتریکی خشک [6] را نیز برای اولین بار مورد بررسی قرار دادند در این پژوهش از گاز اکسیژن به عنوان دی‌الکتریک استفاده شده است و تکنیک‌های اعمال گاز با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این تحقیق از قطعه‌کار فولادی و الکترود مس- تنگستن در آزمایشات استفاده شده و این فرآیند با فرزکاری معمولی مقایسه شده است که در آن دقت ابعادی و نرخ سایش ابزار سایش ابزار و نرخ‌براده برداری به طور قابل ملاحظه ای بهبود یافته اند [۶] . این تحقیق را می توان انقلابی در فرآیند کاری تخلیه الکتریکی عنوان نمود به علت آنکه تمامی پارامترهای ماشینکاری بهبود یافته است.

باردیگر در سال ۲۰۰۴ کانیودا و همکارش فرآیند فرزکاری تخلیه الکتریکی خشک، فرزکاری معمولی و حالت غوطه وری[7] را برروی آلیاژ تنگستن کارباید مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از گاز اکسیژن به عنوان دی‌الکتریک استفاده شده است و اکسیژن با فشار گاز ۰/۱ مگا پاسگال از داخل الکترود چرخان مسی با دوران ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به قطعه کار وارد می شود. نتایج این تحقیق برتری فرزکاری تخلیه

---

[1] NASA
[2] Masanori Kunieda
[3] servo
[4] piezoelectric
[5] WireCut Dry EDM
[6] Dry EDM Milling
[7] Die Sinking

الکتریکی خشک را چه از نظر دقت ابعادی، نرخ سایش ابزار (TWR)[1] و نرخ براده‌برداری(MRR)[2] نسبت به فرزکاری تخلیه الکتریکی معمول نشان می‌دهد [۷].

در سال ۲۰۰۷ آلبرت شین[3] و همراهانش برای اولین بار ماشینکاری تخلیه الکتریکی نیمه‌خشک را مطرح نمودند. در این تحقیق دی‌الکتریک به کار رفته ترکیبی از مایع و گاز (در این تحقیق از ترکیب آب و هوای معمولی) می‌باشد و در حالتهای سوراخکاری[4] و سیم‌برش مورد استفاده قرار گرفت که به بود فرآیند سیم برش از لحاظ پارا متری ماشینکاری و افزا یش صافی سطح و دقت ابعادی در فرآ یند سوراخکاری نسبت به ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک مطرح شده است . اما نرخ براده‌برداری ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک بالاتر می‌باشد [۸].

بار دیگر در سال ۲۰۰۸ آلبرت شین و همراهانش در دانشگاه میشیگان آمریکا[5] به بررسی فرزکاری تخلیه الکتریکی در حالات خشک و نیمه‌خشک پرداختند و همچنین انواع مختلف الکترود و دی‌الکتریک را برای فرآیند امکان سنجی نمودند. در این مقاله بیان شده است بیشترین میزان براده‌برداری زمانی است که از الکترود مسی و گاز اکسیژن در فرآیند استفاده شده باشد و بهترین صافی سطح موقعی است که از الکترود گرافیتی و ترکیب آب و نیتروژن به عنوان دی الکتریک استفاده گردد به وجود می‌آید [۹].

باز در سال ۲۰۰۸ آلبرت شین و یارانش به وسیله فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی نیمه‌خشک به سطوح آینه‌ای سه‌بعدی دست یافتند. زبری سطح در این تحقیق حدود۰/۳ میکرون گزارش شده است که بسیار قابل توجه است [۱۰].

در سال ۲۰۰۹ بی. ال. هیو[6] و همراهانش از کشور چین به وسیله نرم‌افزار آباکوس[7] و روش المان-محدود[8] فرآیند تخلیه الکتریکی خشک را شبیه سازی[9] کرده اند که مقاله کنفرانسی آنها و همچنین نوع عملکرد آنان بسیار ضعیف است [۱۱].

درسال ۲۰۰۹ ساها[1] و همکارش در دانشگاه صنعتی کامپور کشور هند به بهینه سازی پارامتر های مؤثر در ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک به روش شبکه عصبی پرداختند و همچنین درباره تعداد و هندسه سوراخهای پیشانی الکترود نکاتی را بیان داشتند که در نوع خود حائز اهمیت است [۱۲].

---

[1] Tool Wear Rate
[2] Material Removal Rate
[3] Albert J.Shin
[4] Drilling
[5] Michigan University
[6] B.L.Hu
[7] ABAQUS
[8] FEM Analysis
[9] Simulation

در سال ۲۰۱۰ جوشی[۲] و همراهانش در دانشگاه بمبئی هند به بررسی پارامترهای مؤثر بر سوراخکاری تخلیه الکتریکی خشک[۳] در نرخ براده برداری پرداختند که آزمایش‌ها به روش تاگوچی طراحی و تحلیل شده است [۱۳].

در سال ۲۰۱۰ اسکار بالک[۴] و گزالک[۵] از کشور آلمان نقش شکل پیشانی الکترود جدارضخیم را بر روی فرآیند مورد بررسی قرار دادند و فرآیند EDM را در دو حالت خشک و معمولی مقایسه نمودند که شبیه موارد قبل که بیان شد نرخ براده برداری و نرخ سایش ابزار در حالت خشک به صورت چشمگیری بهبود یافته است [۱۴].

در سال ۲۰۱۱ باردیگر آلیت شین و همراهانش برروی کنترل دهانه ماشینکاری[۶] در فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی نیمه خشک در فرزکاری ۵ محوره تحقیقاتی را انجام دادند که در آن بدین نکته اشاره شده است که با زاویه دادن به الکترود ابزار برای ماشینکاری سطوح خمیده می توان شرایط بهینه برای دهانه ماشینکاری را ایجاد نمود [۱۵].

در سال ۲۰۱۱ در دانشگاه کامپور هند تحقیقی درباره دمای پلاسما و چگالی الکترون در فرآیند میکروماشینکاری با تخلیه الکتریکی خشک صورت گرفت که بر روی فولاد ضد زنگ آلیاژی انجام شده است که باب جدیدی در حوزه مطالعات بر روی این فرآیند می‌باشد [۱۶].

بار دیگر در سال۲۰۱۱ جوشی و همکارانش مقاله‌ای را درباره استفاده از حالت الکترود با حالت ضربه ای و بهره گیری از نیروهای مغناطیسی برای ارتعاش همزمان با دوران الکترود در ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک ارائه دادند که منجر به بهبود نرخ براده‌برداری شده است [۱۷].

با توجه به موارد بیان شده می‌توان این نکته را ابراز داشت که عمده پژوهش‌ها و مطالعات بر روی این فرآیند در دهه اخیر و در سه کشور ژاپن، آمریکا و هند صورت گرفته و تنها یک مقاله از کشور آلمان و یک مقاله کنفرانسی از کشور چین پیرامون این موضوع ارائه شده است.

---

[11] Sourabh K.Saha
[2] S.Joshi
[3] Dry EDM Drilling
[4] Grzegorz Skrabalak
[5] Jerzy Kozak
[6] Gap control

۱ ۳ پیرامون تحقیق حاضر

در این تحقیق ضمن بیان اصول ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک ابتدا به ساخت دستگاه فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک پرداخته شده است و برای بررسی و بهبود فرآیند یک سری آزمایشات صورت گرفته که به طور کامل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

لازم به ذکر است این تحقیق برای اولین بار در کشور بر روی این فرآیند صورت می گیرد و با توجه به اهمیت ماشینکاری تخلیه الکتریکی و گسترش آن حتی در کارگاه های کوچک ایران و جهان، ضروریست تحقیقات لازم در جهت بهره بردن هرچه بهتر از این فرآیند، و بررسی جدیدترین پژوهش های صورت گرفته بر روی فرآیند در کشور صورت پذیرد.

طراحی آزمایش‌ها و تحلیل نتایج آن‌ها با استفاده از تکنیک‌های آماری طراحی آزمایش‌ها(DOE) [۱] و تحلیل واریانس[۲] و روش سطح پاسخ(RSM)[۳] که ابزاری شناخته شده و پرکاربرد در تحقیقات علمی است، با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری مینیتب نسخه ۱۶[۴] طراحی و مدلسازی و بهینه‌سازی شده است.

عمده مطالب این پایان نامه به هشت فصل تقسیم بندی می‌شود:

در فصل دوم توضیح مختصری پیرامون اصول ماشینکاری تخلیه الکتریکی مطرح شده است.

در فصل سوم که در واقع پیشینه تحقیق در مورد ماشینکاری الکتریکی خشک می‌باشد، فرآیندهای ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک و نیمه خشک و ویژگی‌های آنها بیان شده است.

در فصل چهارم تکنیک‌های طراحی آزمایش‌ها و روش‌های آماری به طور کلی معرفی شده‌اند.

در فصل پنجم به بیان نحوه ساخت دستگاه اعمال ماشینکاری تخلیه الکتریکی خشک پرداخته شده است.

فصل ششم شامل معرفی تجهیزات و طراحی و نحوه انجام آزمایشات و نتایج بدست آمده آنهاست.

در فصل هفتم به تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتایج آزمایش‌ها پرداخته شده است.

در فصل ه‌شتم نیز به جمع‌بندی نتایج بدست آمده و ارائه پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی پرداخته شده است.

[1] Design Of Experiment
[2] ANOVA
[3] Response Surfase Method
[4] Minitab 16