



دانشکده فنی مهندسی مکانیک
گروه مهندسی ساخت و تولید

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی ساخت و تولید

عنوان

مدلسازی ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-10%Co) در فرایند EDM
و US/EDM با استفاده از الگوریتم فازی و بهینه سازی آن توسط الگوریتم
ژنتیک

استاد راهنما

دکتر محمد رضا شبگرد

اساتید مشاور

دکتر محمد علی بادامچی زاده

دکتر بهنام داودی

پژوهشگر

گوهر رنجبری

بهمن 87

نام خانوادگی دانشجو: رنجبری	نام: گوهر
عنوان پایان نامه: مدل‌سازی ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-10%Co) در فرایند EDM و USED با استفاده از الگوریتم فازی و بهینه سازی آن توسط الگوریتم ژنتیک	
استاد را هنما: دکتر محمد رضا شبگرد اساتید مشاور: دکتر محمد علی بادامچی زاده، دکتر بهنام داودی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: مکانیک گرایش: ساخت و تولید دانشگاه: تبریز دانشکده: فنی مکانیک تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن 87 تعداد صفحه: 101	
کلید واژه ها: ماشینکاری تخلیه الکتریکی (EDM)، مدل‌سازی فازی، نرخ براده برداری (MRR)، فرسایش نسبی ابزار (TWR)، زبری سطح (Ra)، الگوریتم ژنتیک	
<p>چکیده:</p> <p>فرایند EDM یکی از روشهای پیشرفته براده برداری است که در آن ولتاژ پالسی و منقطع برقرار شده بین دو الکترود 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 گردیده و هر جرقه جزء کوچکی از ماده سطح قطعه کار را جدا می کند و در نهایت بعد از تعداد زیادی جرقه شکل مکمل پیشانی ابزار در روی قطعه کار حک می گردد. در چند دهه اخیر جهت ماشینکاری مواد سخت که ماشینکاری آنها توسط روشهای سنتی مشکل است، فرایند EDM به عنوان مناسب ترین فرایند پیشنهاد و به کار گرفته شده است. به علت طبیعت پیچیده فرایند EDM در سال های اخیر تلاشهای زیادی جهت مدل نمودن مشخصه های مختلف آن به عمل آمده است. هدف این پایان نامه استفاده از قابلیت روش مدل‌سازی فازی جهت ایجاد ارتباط مابین پارامترهای ورودی (شدت جریان، زمان روشنی پالس) و پارامترهای خروجی (نرخ براده برداری، فرسایش نسبی ابزار و زبری سطح) در ماشینکاری تخلیه الکتریکی با و بدون ارتعاشات آلتراسونیک ابزار مسی جهت ماشینکاری تنگستن کارباید (WC-10%Co) می باشد. نتایج این تحقیق نشان می دهد، مدل فازی، انتخاب دقیق و آسان پارامترهای ورودی را میسر می سازد و به کاهش زبری سطح، هزینه های ماشینکاری، فرسایش نسبی ابزار و افزایش نرخ براده برداری کمک می کند. نتایج حاصل از ارزیابی مدل، دقت بالای 90% را در تمامی موارد تایید می نماید. همچنین با توجه به اینکه جهت بهینه سازی پارامترهای خروجی فرایند لازم است در تمام شرایط ماشینکاری مناسب ترین سطوح پارامترهای ورودی انتخاب گردند، جهت نیل به این هدف در این پایان نامه از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی چند منظوره فرایندهای EDM و US/EDM استفاده شده است. با استفاده از این الگوریتم هفت حالت برای رایجترین مقادیر مطلوب متغیرهای خروجی در فرایند EDM و US/EDM مورد بررسی قرار گرفته و برای هر حالت ترکیب بهینه متغیرهای ورودی به دست آمده است. همگرا شدن الگوریتم در نسل های اولیه انتخاب درست پارامترهای اولیه را تایید می نمایند. همچنین نتایج حاصل از بهینه سازی نشان می دهند که به کار گیری این روش ها در فرایندهای ساخت موجب کاهش زمان های ساخت و افزایش سودآوری خواهند شد.</p>	

تقدیم به :

پدرم بزرگوارترین انسان زندگی ام

مادرم فداکارترین فرشته هستی ام

همسرم مهربان ترین پشتوانه ام

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمدرضا شبگرد تشکر و قدردانی نمایم. زیرا بی‌تردید بدون راهنمایی‌ها و مساعدت‌های ارزشمند ایشان انجام این پایان‌نامه ممکن نبود. همچنین از اساتید گرامی، جناب آقای دکتر محمد علی بادامچی زاده و جناب آقای دکتر بهنام داودی که از راهنمایی بنده دریغ ننموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم و برای تمامی این اساتید گرامی از خداوند منان سلامتی و توفیق روز افزون آرزومندم.

گوهر رنجبری

فهرست

صفحه	عنوان
۱۱	قسمت اول پایه های نظری و پیشینه پژوهش.....
۱۲	مقدمه.....
۱۴	فصل 1: اصول فرایند EDM و بررسی منابع.....
۱۴	1-1 مقدمه.....
۱۴	2-1 پارامترهای ورودی و خروجی در فرایند EDM.....
۱۵	3-1 مکانیزم فرایند EDM.....
۱۹	فصل 2: پیشینه پژوهش.....
۱۹	1-2 مقدمه.....
۲۰	2-2 پیشینه تحقیق در ارتباط با ماشینکاری تنگستن کاربرد توسط فرایند های EDM و US/EDM.....
۲۳	3-2 پژوهش های مربوط به مدلسازی و کنترل فرایند EDM توسط روش های آماری.....
۲۴	4-2 کاربرد هوش مصنوعی در کنترل و مدلسازی فرایند EDM.....
۲۵	5-2 پژوهش های مربوط به بهینه سازی فرایند EDM.....
۲۹	قسمت دوم: مبانی و روشها.....
۳۰	فصل 3: تئوری فازی.....
۳۰	1-3 کلیات.....
۳۰	1-1-3 تاریخچه.....
۳۰	2-1-3 تفکر فازی.....
۳۲	3-1-3 توابع عضویت.....
۳۲	4-1-3 نمایش توابع عضویت.....
۳۳	2-3 عملیات در مجموعه های فازی.....
۳۳	1-2-3 متمم فازی استاندارد.....
۳۴	2-2-3 اجتماع فازی استاندارد.....
۳۴	3-2-3 اشتراک فازی استاندارد.....
۳۵	3-3 قوانین هوشمند فازی.....
۳۵	4-3 سیستم های فازی.....
۳۶	1-4-3 سیستم های فازی ساز و غیر فازی ساز (MAMDANI).....
۳۹	2-4-3 سیستم های فازی تاکاگی - ساگنو-کانگ (TSK).....
۴۰	3-4-3 سیستم های فازی خالص (TSUKAMOTO).....
۴۱	5-3 نتایج تجربی.....
۴۱	6-3 بحث و بررسی.....
۵۳	فصل 4: تحلیل نتایج حاصل از مدلسازی به روش فازی.....
۵۳	1-4 مقدمه.....
۵۳	2-4 تحلیل ویژگیهای ماشینکاری در فرایند های EDM و US/EDM.....

۵۳	..... 1-2-4 نرخ براده برداری.....
۵۵	..... 2-2-4 فرسایش نسبی ابزار.....
۵۷	..... 3-2-4 زبری سطح.....
	قسمت سوم: نتایج و بحث و بررسی بهینه سازی فرایندهای EDM و US/EDM توسط
۶۰	..... الگوریتم ژنتیک
۶۱	..... فصل 5: مبانی بهینه سازی.....
۶۱	..... 1-5 مقدمه.....
۶۱	..... 2-5 ساختارهای مختلف الگوریتم های بهینه سازی.....
۶۳	..... 3-5 انواع روش های بهینه سازی.....
۶۴	..... 4-5 الگوریتم ژنتیک (GA).....
۶۵	..... 5-5 نقاط قوت الگوریتم های ژنتیک.....
۶۶	..... 6-5 عملگرهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک.....
۶۷	..... 1-6-5 کد کردن جمعیت اولیه.....
۶۷	..... 2-6-5 تعریف تابع هدف.....
۶۷	..... 3-6-5 تولید مثل.....
۷۰	..... 4-6-5 ادغام.....
۷۱	..... 5-6-5 جهش.....
۷۳	..... فصل 6: بهینه سازی فرایندهای EDM و US/EDM توسط الگوریتم ژنتیک.....
۷۳	..... 1-6 مقدمه.....
۷۳	..... 2-6 پارامترهای مورد استفاده در برنامه نرم افزاری تهیه شده.....
۷۳	..... 1-2-6 اندازه جمعیت.....
۷۴	..... 2-2-6 تعریف تابع هدف.....
۷۴	..... 3-2-6 تعداد نسل ها.....
۷۵	..... 4-2-6 انتخاب.....
۷۵	..... 5-2-6 ادغام.....
۷۵	..... 6-2-6 جهش.....
۷۵	..... 7-2-6 الگوریتم برنامه نرم افزاری تهیه شده.....
۷۶	..... 3-6 بحث و بررسی نتایج بهینه سازی.....
۹۰	..... فصل 7: نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۹۰	..... 1-7 مقدمه.....
۹۰	..... 2-7 نتایج حاصل از مدلسازی فازی.....
۹۱	..... 3-7 نتایج حاصل از بهینه سازی.....
۹۲	..... 4-7 پیشنهادات.....
۹۴	..... منابع و مراجع.....
۹۷	..... پیوست.....

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۱۷	شکل 1-1: مراحل مختلف و نوع جرقه در فرایند EDM
۳۰	شکل 1-3: طبقه بندی تئوری فازی
۳۲	شکل 2-3: انواع توابع عضویت
۳۳	شکل 3-3: اجتماع یک مجموعه فازی و متمم آن
۳۴	شکل 4-3: اشتراک یک مجموعه فازی و متمم آن
۳۵	شکل 5-3: مراحل ایجاد مدل فازی به روش ممدانی
۳۷	شکل 6-3: نمایش گرافیکی روشهای مختلف فازی زدایی
۳۸	شکل 7-3: نمایش گرافیکی مدل فازی ساگنو از درجه یک
۳۹	شکل 8-3: مدل ساگنو با دو ورودی و یک خروجی
۳۹	شکل 9-3: مدل فازی Tsukamoto با دو متغیر ورودی
۴۲	شکل 10-3: توابع عضویت شدت جریان جرقه جهت پیش بینی MRR در فرایند EDM
۴۲	شکل 11-3: توابع عضویت زمان روشنی پالس جهت پیش بینی MRR در فرایند EDM
۴۳	شکل 12-3: توابع عضویت نرخ براده برداری در فرایند EDM
۴۳	شکل 13-3: توابع عضویت شدت جریان جرقه جهت پیش بینی TWR در فرایند EDM
۴۳	شکل 14-3: توابع عضویت زمان روشنی پالس جهت پیش بینی TWR در فرایند EDM
۴۳	شکل 15-3: توابع عضویت فرسایش نسبی ابزار در فرایند EDM
۴۳	شکل 16-3: توابع عضویت شدت جریان جرقه جهت پیش بینی R_a در فرایند EDM
۴۳	شکل 17-3: توابع عضویت زمان روشنی پالس جهت پیش بینی R_a در فرایند EDM
۴۴	شکل 18-3: توابع عضویت زبری سطح در فرایند EDM
۴۴	شکل 19-3: توابع عضویت شدت جریان جرقه جهت پیش بینی MRR در فرایند US/EDM
۴۴	شکل 20-3: توابع عضویت زمان روشنی پالس جهت پیش بینی MRR در فرایند US/EDM
۴۴	شکل 21-3: توابع عضویت نرخ براده برداری در فرایند US/EDM
۴۴	شکل 22-3: توابع عضویت شدت جریان جرقه جهت پیش بینی TWR در فرایند US/EDM
۴۴	شکل 23-3: توابع عضویت زمان روشنی پالس جهت پیش بینی TWR در فرایند US/EDM
۴۵	شکل 24-3: توابع عضویت فرسایش نسبی ابزار در فرایند US/EDM
۴۵	شکل 25-3: توابع عضویت شدت جریان جرقه جهت پیش بینی R_a در فرایند US/EDM
۴۵	شکل 26-3: توابع عضویت زمان روشنی پالس جهت پیش بینی R_a در فرایند US/EDM
۴۵	شکل 27-3: توابع عضویت زبری سطح در فرایند US/EDM
۴۸	شکل 28-3: نمایش گرافیکی استنتاج فازی برای آزمایش 7 جهت پیش بینی فرسایش نسبی ابزار در فرایند US/EDM
۴۸	شکل 29-3: نمایش گرافیکی استنتاج فازی برای تست 14 جهت پیش بینی نرخ براده برداری در فرایند EDM
۴۹	شکل 30-3: نمایش گرافیکی استنتاج فازی برای تست 13 جهت پیش بینی زبری سطح در فرایند US/EDM

۵۳	..... شکل 4-1: سطوح فازی نرخ براده برداری در فرایند EDM
۵۳	..... شکل 4-2: نمودار تجربی نرخ براده برداری در فرایند EDM
۵۴	..... شکل 4-3: سطوح فازی نرخ براده برداری در فرایند US/EDM
۵۴	..... شکل 4-4: نمودار تجربی نرخ براده برداری در فرایند US/EDM
۵۵	..... شکل 4-5: سطوح فازی فرسایش نسبی ابزار در فرایند EDM
۵۵	..... شکل 4-6: نمودار تجربی فرسایش نسبی ابزار در فرایند EDM
۵۶	..... شکل 4-7: سطوح فازی فرسایش نسبی ابزار در فرایند US/EDM
۵۶	..... شکل 4-8: نمودار تجربی فرسایش نسبی ابزار در فرایند US/EDM
۵۷	..... شکل 4-9: سطوح فازی زبری سطح در فرایند EDM
۵۷	..... شکل 4-10: نمودار تجربی زبری سطح در فرایند EDM
۵۷	..... شکل 4-11: سطوح فازی زبری سطح در فرایند US/EDM
۵۸	..... شکل 4-12: نمودار تجربی زبری سطح در فرایند US/EDM
۶۱	..... شکل 5-1: ساختارهای مختلف بهینه سازی
۶۹	..... شکل 5-2: ادغام تک نقطه ای
۷۵	..... شکل 6-1: الگوریتم برنامه
۷۷	..... شکل 6-2: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند EDM در حالت اول
۷۸	..... شکل 6-3: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند US/EDM در حالت اول
۷۹	..... شکل 6-4: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند EDM در حالت دوم
۷۹	..... شکل 6-5: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند US/EDM در حالت دوم
۸۰	..... شکل 6-6: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند EDM در حالت سوم
۸۱	..... شکل 6-7: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند US/EDM در حالت سوم
۸۲	..... شکل 6-8: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند EDM در حالت چهارم
۸۲	..... شکل 6-9: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند US/EDM در حالت چهارم
۸۳	..... شکل 6-10: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند EDM در حالت پنجم
۸۴	..... شکل 6-11: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند US/EDM در حالت پنجم
۸۵	..... شکل 6-12: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند EDM در حالت ششم
۸۵	..... شکل 6-13: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند US/EDM در حالت ششم
۸۶	..... شکل 6-14: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند EDM در حالت هفتم
۸۷	..... شکل 6-15: نتایج خروجی الگوریتم ژنتیک در فرایند US/EDM در حالت هفتم

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۹	جدول 1-2 برخی خواص تنگستن کاربرد.....
۴۱	جدول 1-3 نتایج تجربی ماشینکاری در فرایند EDM.....
۴۲	جدول 2-3 نتایج تجربی ماشینکاری در فرایند US/EDM.....
۴۷	جدول 3-3 قوانین فازی TWR در فرایند US/EDM.....
۴۷	جدول 4-3 قوانین فازی TWR در فرایند EDM.....
۴۷	جدول 5-3 قوانین فازی MRR در EDM.....
۴۷	جدول 6-3 قوانین فازی MRR در US/EDM.....
۴۷	جدول 7-3 قوانین فازی Ra در EDM.....
۴۷	جدول 8-3 قوانین فازی Ra در US/EDM.....
	جدول 9-3 پارامترهای ورودی تعدادی از آزمایش ها همراه با نتایج تجربی و نتایج و دقت پیش بینی
۴۹	نرخ باربرداری در فرایند EDM.....
	جدول 10-3 پارامترهای ورودی تعدادی از آزمایش ها همراه با نتایج تجربی و نتایج و دقت پیش بینی
۵۰	نرخ باربرداری در فرایند US/EDM.....
	جدول 11-3 پارامترهای ورودی تعدادی از آزمایش ها همراه با نتایج تجربی و نتایج و دقت پیش بینی
۵۰	فرسایش نسبی ابزار در فرایند EDM.....
	جدول 12-3 پارامترهای ورودی تعدادی از آزمایش ها همراه با نتایج تجربی و نتایج و دقت پیش بینی
۵۰	فرسایش نسبی ابزار در فرایند US/EDM.....
	جدول 13-3 پارامترهای ورودی تعدادی از آزمایش ها همراه با نتایج تجربی و نتایج و دقت پیش بینی
۵۱	زبری سطح در فرایند EDM.....
	جدول 14-3 پارامترهای ورودی تعدادی از آزمایش ها همراه با نتایج تجربی و نتایج و دقت پیش بینی
۵۱	زبری سطح در فرایند US/EDM.....
۸۷	جدول 1-6 نتایج حاصل از بهینه سازی فرایند EDM.....
۸۸	جدول 2-6 نتایج حاصل از بهینه سازی فرایند US/EDM.....

قسمت اول

پایه های نظری

و

پیشینه پژوهش

فصل 1: اصول فرایند EDM و بررسی منابع

فصل 2: پیشینه پژوهش

مقدمه:

در دنیای صنعتی و پیشرفته امروز مدلسازی فرایندهای ماشینکاری مخصوصاً ماشینکاری تخلیه الکتریکی امری ضروری به شمار می رود. با توجه به محدوده وسیع پارامترهای تنظیمی و ورودی در فرایندهای EDM¹ و US/EDM² و مشکلات مربوط به اندازه گیری پارامترهای خروجی، لزوم پیش بینی ویژگی های ماشینکاری به ازای تمامی مقادیر متغییرهای ورودی کاملاً ضروری می باشد. هدف این پژوهش استفاده از قابلیت روش مدلسازی فضای جهت ایجاد ارتباط مابین پارامترهای ورودی (شدت جریان، زمان روشنی پالس) و پارامترهای خروجی (نرخ براده برداری³ (MRR)، فرسایش نسبی ابزار⁴ (TWR) و زبری سطح⁵ (Ra))، در فرایند EDM و US/EDM جهت ماشینکاری تنگستن کاربرد می باشد. نتایج این پژوهش نشان می دهد، مدل فضای، انتخاب دقیق و آسان پارامترهای ورودی را میسر می سازد و به کاهش زبری سطح، فرسایش نسبی ابزار و هزینه های ماشینکاری و افزایش نرخ براده برداری کمک می نماید. برای انجام این پژوهش از داده های تجربی ارائه شده در مرجع [1] استفاده خواهد شد. محتوای این پایان نامه در سه قسمت کلی که هفت فصل را تشکیل می دهند، تنظیم شده است. در قسمت اول بخشی از اصول و تئوری فرایند EDM ارائه میگردد. سپس برخی از پژوهش های انجام یافته در زمینه مدلسازی و بهینه سازی فرایند EDM با ذکر منابع، مورد بررسی قرار می گیرد. قسمت دوم مربوط به مبانی و روشها است. در این قسمت ابتدا مبانی و مقدمات مورد نیاز جهت انجام مدلسازی فضای ارائه می گردد. سپس نحوه مدلسازی داده های تجربی توسط این روش و نتایج حاصل از آن بیان می گردد. در قسمت سوم به بررسی مبانی و روشهای بهینه سازی فرایند های ماشینکاری پرداخته

1-Electrical discharge machining(EDM)

2-Ultrasonic assisted EDM

3-Material removal rate

4-Tool wear ratio

5-Surface roughness

می شود. سپس هر دو فرایند EDM و US/EDM توسط الگوریتم ژنتیک بهینه سازی می گردند.
در فصل هفتم نتایج پژوهش و پیشنهادات مورد نظر بیان خواهد شد.

فصل 1

اصول فرایند EDM و بررسی منابع

1-1 مقدمه

فرایند EDM یک روش پیشرفته براده برداری است که در آن ولتاژ پالسی و منقطع برقرار شده بین دو الکترود به نام های ابزار و قطعه کار (که هر دو در سیالی به نام دی الکتریک غوطه ور می باشند)، عامل ایجاد جرقه در نزدیکترین نقطه یا نقاط گردیده و هر جرقه جزء کوچکی از ماده سطح قطعه کار را جدا نموده 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 فرایند همواره ابزار در فاصله نزدیک و کنترل شده ای از قطعه کار نگهداشته می شود.

2-1 پارامترهای ورودی و خروجی در فرایند EDM

مهمترین پارامترهای ورودی مؤثر در فرایند EDM عبارتند از [2]:

- 1- شدت جریان جرقه (I) 2- زمان روشنی پالس (Ti) 3- زمان خاموشی پالس (To) 4- ولتاژ مدار باز (V_{o. p. c}) 5- قطبیت ابزار¹ 6- سیکل وظیفه² (درصد زمان روشنی پالس ها به کل زمان سیکل)
 - 7- فشار دی الکتریک 8- مدهای حرکتی ابزار نظیر چرخش، نوسان، دامنه و فرکانس این حرکات.
- پارامترهای خروجی به عنوان معیارهای عملکرد فرایند از نظر اقتصادی بودن فرایند، سلامت و کیفیت محصولات تولیدی محسوب می شوند. پارامترهای مربوط به سلامتی سطح (زبری سطح، تنش های پسماند سطح، سختی و...)، نرخ حجمی براده برداری (MRR) و فرسایش نسبی ابزار (TWR) مهمترین پارامترهای خروجی هستند.

جهت محاسبه نرخ براده برداری از رابطه (1) استفاده می شود:

1-Tool Polarity

2-Duty cycle

$$MRR = \frac{M_1 - M_2}{\rho t} \times 10^3 \quad (1)$$

که در آن MRR نرخ براده برداری (mm³/min)، M₁ و M₂ وزن قطعه کار به ترتیب قبل و بعد از ماشینکاری (g)، r دانسیته تنگستن کارباید (g/cm³) و t زمان ماشینکاری (min) است. جهت محاسبه فرسایش نسبی ابزار نیز از فرمول (2) استفاده می شود:

$$TWR(\%) = \frac{V_T}{V_W} \times 100 \quad (2)$$

که در آن TWR فرسایش نسبی ابزار و V_T نرخ سایش حجمی ابزار (mm³) و V_W نرخ سایش حجمی قطعه کار (mm³) می باشد.

3-1 مکانیزم فرایند EDM

مهمترین عامل براده برداری در فرایند EDM دمای بسیار بالای تولید شده حاصل از جرقه اسپارک است. مکانیزم فرایند EDM را می توان در سه مرحله اساسی زیر خلاصه کرد:

1- مرحله آمادگی برای جرقه یا شکست (شکل 1-1 (a,b,c)): در این مرحله شرایط گپ برای جرقه الکتریکی آماده می شود. هنگامی که ولتاژ منبع (V_{OPC}) توسط ژنراتور اعمال گردید، یک میدان الکتریکی بسیار قوی در نزدیکترین فاصله بین ابزار و قطعه کار ایجاد می گردد. سپس این میدان توسط ذرات و عوامل خارجی، حباب های بسیار ریز، آلودگی ها و ناخالصی ها، تقویت شده و یک پل هادی در گپ تشکیل می گردد. سپس کانال پلاسما در اثر شکست و یونش مایع دی الکتریک بوجود می آید. بنابراین هنگامی که ولتاژ به گپ میان ابزار و قطعه کار اعمال می گردد، مدت زمان مشخصی لازم است تا جرقه شروع شود. این زمان، زمان تأخیر¹ جرقه نامیده می شود. در این زمان الکترونها از قطب منفی گسیل یافته و به سمت آند حرکت کرده و در داخل سیال تولید حرارت می کنند. بعد از مدت زمان معین

1-Delay time

مایع دی الکتریک شروع به تبخیر موضعی نموده و حباب های گاز حاصل از این تبخیر با نرخ انفجاری گسترش می یابند. تداوم تولید گرما و نیز افزایش فشار در داخل حباب ها سبب حرکت آنها به سمت الکتروود ابزار می گردد.

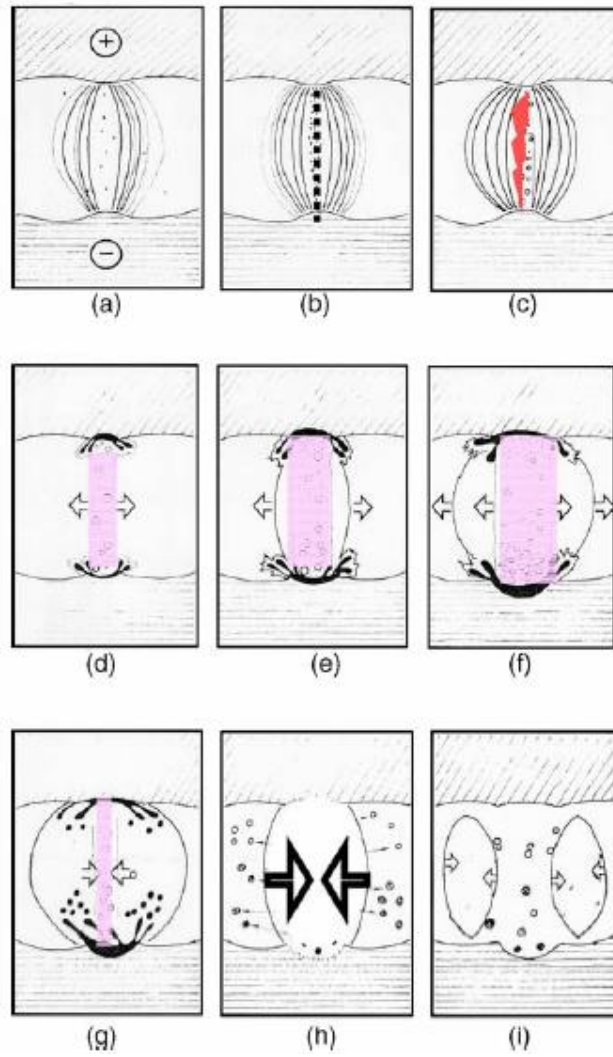
2- مرحله تخلیه الکتریکی (شکل 1-1 (d,e,f)): هنگامی که شکست دی الکتریک صورت می گیرد، مقدار جریان بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد و مایع دی الکتریک را تبخیر می کند. کانال پلاسمایی با دما و فشار بالا ایجاد می شود. از آنجائیکه تبخیر دی الکتریک در یک مدت زمان خیلی کوتاه اتفاق می افتد و نیز بعلت جرم زیاد مایع در اطراف آن بخار حاصل از این تبخیر نمی تواند به آسانی گسترش یابد. در ابتدای جرقه بعلت فشرده بودن کانال پلاسما الکترونها به خاطر سبک بودن تحرک بیشتری می یابند و به قطب مثبت پرتاب می شوند و جریان غالب حرکت الکترونهاست. بنابراین قطب مثبت یا آند بیشتر خورده می شود. کانال پلاسما در مقطع عرضی دایروی شکل است و بعلت دمای بسیار بالای آن تمامی مواد موجود در آن به یون تجزیه می شود. پلاسما شامل مایع دی الکتریک و ذرات جداشده از آند و کاتد می باشد. با ادامه رشد کانال پلاسما دانسیته جریان و دما کاهش می یابد. جذب مولکولهای بیشتر سیال به داخل بخار دی الکتریک و مصرف انرژی کانال پلاسما برای تبخیر و یونش بیشتر دی الکتریک از یک سو و انتقال حرارت توسط ابزار و قطعه کار از سوی دیگر موجب افت دما و فشار کانال پلاسما می گردد. در این زمان بخار دی الکتریک حباب گازی بزرگی را حول کانال پلاسما تشکیل می دهد و کانال پلاسما هنوز هم تحت فشار است و بتدریج جریان غالب حرکت یونهای مثبت می شود و از کاتد بیشتر خورده می شود. میزان براده برداری از قطعه کار و ابزار یکسان نبوده و به قطبیت، هدایت حرارتی، گرمای ویژه در حالت های جامد ، مایع و گاز، نقطه جوش و گرمای تبخیر قطعه کار، شرایط دی الکتریک و نیز مدت و شدت تخلیه جریان بستگی دارد. اگر همه عوامل مذکور یکسان باشند، اختلاف میان نرخ براده برداری از ابزار و قطعه کار به قطبیت و مدت زمان روشنی

پالس بستگی دارد. به منظور کاهش خوردگی ابزار قطبیت به گونه ای انتخاب می شود که در انتهای تخلیه، گرمای بیشتری روی قطعه کار آزاد شود. بنابراین با پالس های کوتاه، ابزار به قطب منفی و با پالس های بلند، به قطب مثبت وصل می شود. به طور کلی خوردگی ابزار با افزایش بسامد یا کاهش زمان پالس ها افزایش می یابد. اثر تدریجی جرقه های متوالی که روی کل سطح قطعه کار پخش می شوند، نهایتاً منجر به ماشینکاری قطعه کار به شکل مکمل ابزار میشود.

3- مرحله بین دو جرقه (شکل 1-1-((i,h,g)): با قطع جریان در فاصله زمانی بین دو جرقه تخلیه الکتریکی پایان می پذیرد. اما حباب های گاز تا زمانهای طولانی تری همچنان باقی می مانند. با قطع جریان، فشار و دمای داخل حباب به صورت آنی افت پیدا می کند. به دلیل افت ناگهانی فشار حباب مذاب موجود در چاله های دو سر الکترودها که به صورت فوق داغ¹ قرار دارند، پدیده جوشش حجمی² اتفاق می افتد. لایه های بیرونی ذرات مذاب که از چاله خارج می شوند هنگام تماس با دی الکتریک سرد، سریعتر از لایه های درونی خنک و منقبض می شود، بنابراین ذرات حاصل از ماشینکاری به شکل کره ها و گوی های میان تهی در داخل سیال موجب آلودگی دی الکتریک می گردد. برای از بین رفتن هدایت الکتریکی ناشی از تجمع این آلودگی ها حداقلی از زمان برای خاموشی و قطع ولتاژ لازم است. این زمان، زمان خاموشی پالس (T_0) نامیده می شود [3].

1-Super heated

2-Bulk boiling



شکل 1-1: مراحل مختلف و نوع جرقه در فرایند EDM [3].

فصل 2

پیشینه پژوهش

1-2 مقدمه

مزیت بزرگ ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی (EDM)، ماشینکاری اشکال پیچیده یا مواد با هر میزان سختی مانند قالب های تزریق پلاستیک و مواد کاربردی است که بطور وسیعی در مهندسی ساخت استفاده میشود. در سالهای اخیر محققین سعی در ترکیب فرایندهای مختلف ماشینکاری غیر سنتی جهت افزایش راندمان این فرایندها داشته اند. از جمله این ترکیبها می توان به ترکیب دو فرایند ماشینکاری تخلیه الکتریکی و ماشینکاری با ارتعاشات آلتراسونیک¹ ابزار یا قطعه کار اشاره کرد که موجب افزایش نرخ براده برداری، بهتر شدن شرایط ماشینکاری و مشخصات سطح ماشینکاری شده می گردد. با استفاده از ارتعاشات التراسونیک ابزار یا قطعه کار مایع دی الکتریک موجود در گپ پمپاژ شده و بدین طریق راندمان شستشوی دی الکتریک افزایش می یابد. علاوه بر این، ارتعاش مذکور باعث ایجاد مکش در گودال مذاب می شود و سبب افزایش نرخ براده برداری می گردد. از جمله تحقیقات در این زمینه می توان به نتایج پژوهش لین² و همکاران [4] که بر روی آلیاژ تیتانیوم (Ti-6AL-4V) انجام شده است، اشاره کرد. در این تحقیق تأثیر متغیرهای ورودی (نوع دی الکتریک، سایز ذرات ساینده، غلظت مواد ساینده در دی الکتریک، شدت جریان و زمان روشنی پالس) بر روی نرخ براده برداری، فرسایش نسبی ابزار، زبری سطح و ضخامت لایه منجمد شده³ بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد نرخ براده برداری، صافی سطح و بازده ماشینکاری در فرایند ترکیبی US/EDM بالاتر از EDM سنتی است. همچنین آب مقطر به عنوان مایع دی الکتریک می تواند بهترین نتایج را برای پارامترهای خروجی حاصل کند.

1-Ultra sonic machining (USM)

2-Lin

3-Recast

در ادامه تحقیقات انجام شده در چهار بخش ارائه می شود.

2-2 ماشینکاری تنگستن کاربرد توسط فرایند های EDM و US/EDM

3-2 مدل سازی و کنترل ماشینکاری به روش تخلیه الکتریکی توسط روشهای آماری

4-2 کاربرد هوش مصنوعی در کنترل و مدل سازی فرایند EDM

5-2 بهینه سازی فرایند EDM و US/EDM

2-2 پیشینه تحقیق در ارتباط با ماشینکاری تنگستن کاربرد توسط فرایند های EDM

و US/EDM

کاربید تنگستن سمانته (WC-Co) مخلوطی از ماده سرامیکی WC و فلزی Co است که از طریق متالورژی پودر تولید می شود. درصد وزنی کبالت مابین 30-3% متغیر است که از درصد های 13-3% برای ساخت ابزار ها و از درصد های بالاتر کبالت برای ساخت قطعات تحت سایش استفاده می شود. مقاومت به سایش، نقطه ذوب، سختی و استحکام کاربید تنگستن سمانته با سرامیک ها سنجیده می شود. هدایت حرارتی و الکتریکی خوب این ماده ناشی از پیوند فلزی قوی است که در ساختار هگزاگونال آن موجود است. برخی از مشخصات تنگستن کاربرد در جدول 1-2 آمده است [1]. تحقیقات زیادی جهت کشف خواص ماشینکاری WC-Co انجام گرفته است. گادالا و تسای¹ [5] تأثیر مقدار کبالت و اندازه دانه WC را روی مشخصات ماشینکاری تنگستن کاربرد مطالعه کرده اند.

جدول 1-2 برخی خواص تنگستن کاربرد

Density gr/cm ³	Hardness H. V	Young's moduls(E) GN/m	Thermal conductivity at 100°C
15	1500	606	86

نتایج تحقیقات آنها نشان می دهد که افزایش میزان کبالت می تواند پایداری فرایند EDM و نرخ براده برداری را بهبود بخشد. هدایت حرارتی پایین و تردی تنگستن کارباید باعث شده است که میکرو ترک‌هایی روی سطح ماشینکاری شده ایجاد گردد. این میکروتُرک‌ها توسط تنش های حرارتی موجود در فرایند EDM ایجاد می شوند.

لی و لی¹ [6] سلامتی سطح قطعات تنگستن کاربایدی را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیده اند که یک لایه آسیب دیده آشکار در سطح قطعات ماشینکاری شده توسط فرایند EDM وجود دارد که بوسیله میکروتُرک ها قابل شناسایی است و با افزایش شدت جریان و مدت زمان روشنی پالس، عمق لایه آسیب دیده و طول و عرض میکرو ترک ها افزایش می یابد.

لین² و همکاران [7] تأثیر انرژی جرقه را بر روی استحکام خمشی قطعه کارهای تنگستن کاربایدی با گریدهای P10 و K10 بررسی کرده و الگوی میکروتُرک‌ها را بدست آورده و به این نتیجه رسیده اند که در گرید P10 میکروتُرک‌ها بر سطح ماشینکاری شده عمودند و در لایه های زیرین عمق میکرو ترک‌ها افزایش می یابد. در گرید K10 نیز میکروتُرک‌ها بصورت عرضی رشد می کنند.

نتایج مطالعات لی و لی³ [8] نشان می دهد، الکترودهای گرافیتی برای دست یابی به نرخ براده برداری بالا، الکترودهای تنگستن مس برای دست یابی به کمترین میزان نرخ خوردگی و الکترودهای مسی برای بدست آوردن پرداخت سطح عالی در ماشینکاری تنگستن کارباید مناسب هستند. برای جلوگیری از آلوده شدن محیط اطراف در اثر تجزیه مایع دی الکتریک در فرایند USM به کمک EDM زدهانگ⁴ و همکاران [9] استفاده از گاز (اکسیژن و هوا) را به جای مایع دی الکتریک توصیه نموده اند. در این فرایند گاز از سوراخ میان ابزار مسی تزریق شده و قطعه کار فولادی ارتعاش داده می شود. آنها تاثیر پارامترهای مختلف را روی نرخ براده برداری (MRR) بررسی کرده و به این

1-Lee and Li

2-Lin

3-Lee and Li

4-Zhang