

بررسی تأثیر اندازه دانه ابزار مسی اکستروژده در کانال های هم مقطع زاویه دار بر روی سایش الکتروود در فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی

پیام سرآیان
کامران امینی*
محمدجواد باقری

استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
 دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد تیران، دانشگاه آزاد اسلامی، تیران، اصفهان، ایران
 کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

چکیده

ماشینکاری تخلیه الکتریکی یکی از مهمترین فرآیندهای ماشینکاری نوین در صنعت امروزی است. سایش ابزار در این عملیات بواسطه ماهیت فرایند موجب کاهش دقت ابعادی قطعات تولیدی می شود، از اینرو تلاش جهت کاهش سایش ابزار یکی از مهمترین چالشهای پیش رو در این عملیات است. به همین دلیل در این تحقیق با به کارگیری یکی از روش های تغییر شکل شدید، تأثیر کاهش اندازه دانه های الکتروود مسی بر روی سایش ابزار اسپارک مورد مطالعه قرار گرفته است. به این منظور میله های مسی، تحت فرآیند اکستروژده در کانال های هم مقطع زاویه دار، قرار گرفتند و با استفاده از آزمایش پراش الکترون های به عقب رانده شده مشخص گردید میانگین اندازه دانه های مس، از $6.0/8$ به $5.48/4.8$ میکرومتر کاهش یافته است. تأثیر زمان روشنی پالس، شدت جریان جرقه و اندازه دانه الکتروود بر روی سایش ابزار، بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان می دهد که در نرخ براده برداری زیاد سایش ابزار اکستروژده شده به میزان 36.8% درصد، نسبت به ابزار معمولی کاهش می یابد، اما در نرخ براده برداری کم که سایش ابزار زیاد نمی باشد تأثیر قابل توجهی بین سایش دو نوع ابزار مشاهده نگردید. **واژه های کلیدی:** سایش ابزار، اکستروژده در کانال های هم مقطع زاویه دار، ماشینکاری تخلیه الکتریکی، اندازه دانه، مس خالص.

The Effect of Grain Size on Equal Channel Angular Extruded Copper Tools on Electrode Wear in Electro Discharge Machining

P. Saraeian

Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

K. Amini

Department of Mechanical Engineering, Tiran Branch, Islamic Azad University, Tiran, Isfahan, Iran

M. J. Bagheri

Department of Mechanical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Abstract

Electrical discharge machining (EDM) is one of the most important modern machining processes in today's industry. The tool wear in this operation, due to the nature of the process, reduces the dimensional accuracy of the manufactured parts. Therefore, efforts to reduce tool wear are one of the most important challenges in this operation. For this reason, in this research was carried out using one of the methods of severe deformation, The effect of reducing the size of the copper electrode grains on the wear of spark tools has been studied. At first, high-purity copper bars were placed under the equal channel angular pressing process (ECAP). The average of pure copper grain size was decreased homogeneously from 60.8 to 5.48 micrometer, through the ECAP process. Changing in grain size were determined by using electron backscatter diffraction technique (EBSD). In this study, the effect of factors including pulse on-time and spark current and electrode grain size was examined on the tool erosion. The results showed that, in high material removal rates, the tool wear decreases for 36.8% as compared with the conventional tools. Despite of these results it was clarified that at low material removal rates the wear rate of these two tools do not show vivid differences.

Keywords: Tool wear, ECAP, EDM, grain size, pure copper.

۱- مقدمه

نبودن قطعه کار، عدم نیاز به نیروی مکانیکی، امکان ماشینکاری در زوایا و جهات مختلف و نیز در مواردی عدم نیاز به گیره بندی و تثبیت قطعه- کار را می توان نام برد [۱].

در این فرایند بین الکتروود و قطعه کار ولتاژی به صورت پالس با دامنه ۲۰ تا ۱۲۰ ولت و فرکانسی در محدوده ۵ کیلوهرتز ایجاد میگردد و موجب ایجاد کانال پلاسما و پیدایش جرقه هایی در عرض چند میکروثانیه می شود، جرقه های حاصل از تخلیه الکتریکی باعث ذوب و تبخیر هر دو الکتروود می شود. اگرچه براده برداری از قطعه کار مطلوب این فرآیند می باشد اما برداشته شدن ذرات از سطح ابزار هیچگاه مدنظر نمی باشد. در صورت سایش ابزار اسپارک، معمولاً مشکلاتی مانند کاهش

جوزف پریسلی در سال ۱۷۶۸ برای اولین بار، فرسایش فلز با تخلیه جرقه های الکتریکی را گزارش کرد. ماشینکاری تخلیه الکتریکی^۱ که به فرسایش جرقه ای نیز موسوم است، یک روش باربرداری غیرسنستی است که در آن بین دو الکتروود به نام های ابزار و قطعه کار که در فاصله معین و کنترل شده ای از یکدیگر قرار دارند و فضای بین آنها را سیالی به نام دی الکتریک پر کرده است، جرقه تولید می شود و باربرداری صورت می گیرد. با این روش می توان مواد هادی یا نیمه هادی را ماشینکاری کرد. از مزیت های این روش، عدم وابستگی به سختی ماده، پلیسه دار

1 EDM: Electrical Discharge Machining

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: k_aminii@iautiran.ac.ir

دقت ابعادی و کیفیت سطح قطعه تولیدی، ایجاد پدیده جرقه به علت ذرات ریز جدا شده از ابزار در دی الکتریک، کاهش عمر ابزار و موجب افزایش زمان و هزینه ماشینکاری می شود. به همین دلیل پایداری شکل و ابعاد ابزار اسپارک و کاهش سایش آن از اهمیت دو چندانی نسبت به روش های ماشینکاری دیگر برخوردار است. بر این اساس محققان زیادی تلاش به منظور کاهش سایش ابزار در فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی نموده اند. در تحقیقی با بررسی سایش الکترودهای لوله ای و میله ای شکل، در فرآیند سوراخکاری توسط میکرو اسپارک، این نتیجه حاصل گشت که فاکتورهای غیر قابل کنترل در فرآیند ماشینکاری تخلیه الکتریکی، باعث تغییرات قابل توجهی در سایش می شوند و این موضوع، اجازه استفاده از سیستم های جبران ابزاری را که براساس نسبت ثابت سایش طراحی شده اند را نمی دهد. وقتی مواد نرمی مانند برنج و یا آلومینیوم ماشینکاری می شوند، برای جلوگیری از سایش کناره های ابزار باید از سیستم شستشوی مناسبی استفاده کرد تا از ایجاد جرقه ها در محیط ابزار جلوگیری کند. تمام سیستم های جبران ابزار باید دینامیکی باشند و بر حسب تغییرات نسبت سایش حجمی، تغییر کنند [۲]. در هنگام ماشینکاری قطعه کار از جنس BS 4695 D2، یک لایه سیاه بر روی ابزار که از جنس تنگستن - مس می باشد، ایجاد می گردد. این رنگ سیاه ناشی از نشست کربن از دی الکتریک در هنگام ماشینکاری می باشد. در این لایه سیاه، لایه های دو بعدی از کریستال های کربن با فازهای تصادفی وجود دارد که با استحکام بالایی به ابزار چسبیده اند. در ترکیب این لایه سیاه، تنها کربن وجود ندارد بلکه عناصر دیگری مانند: آهن، کروم، وانادیوم و مولیبدن نیز در این ترکیب هستند. این لایه سیاه نقش مؤثری بر کاهش سایش ابزار دارد [۳].

یک روش دیگر برای کاهش سایش ابزار در فرآیند اسپارک، استفاده از موادی جدید با مقاومت به سایش بالا، می باشد. الماس لایه نشانی شده با بور و الماس چند کریستالی با دارا بودن رسانایی گرمایی، نقطه ذوب و تصعید بالای مورد نیاز برای ابزار اسپارک، کاربرد روز افزونی پیدا کرده اند [۴]. همچنین افزایش حرارت در ابزار از عوامل اصلی سایش آن است. با استفاده از عبور دادن نیتروژن مایع از کانال داخل ابزار می توان سایش آن را کاهش داد. جریان درون ابزاری نیتروژن مایع به عنوان خنک کننده در طی عملیات اسپارک آلیاژ تیتانیوم، می تواند سایش نسبی ابزار را تا ۲۷ درصد کاهش دهد [۵].

بررسی های تجربی همچنین نشان می دهند که پوشش نانو کریستال در مقایسه با پوشش میکرو کریستال، حفره های جرقه کوچکتری ایجاد می کند و همچنین در مواردی که ابزار با موادی که ساختار میکرو کریستال دارند، پوشش داده شده است، ذرات ذوب شده ای در اطراف حفره جرقه مشاهده می شوند که این عیب در ابزارهایی که توسط موادی که با ساختار نانو کریستال پوشش داده شده اند، مشاهده نمی گردد [۶].

همانگونه که مشاهده می شود تلاش های متعددی به منظور کاهش سایش ابزار در ماشینکاری با تخلیه الکتریکی صورت گرفته است. در این تحقیق تاثیر ریز شدن دانه های ابزار بر روی سایش الکتروژن در ماشینکاری

با تخلیه الکتریکی مورد مطالعه قرار گرفته است. به این منظور جهت ریز کردن ساختار ابزار مسی از فرآیند اکستروژن تحت کانال های هم مقطع زاویه دار^۱ استفاده شده است. با استفاده از این روش می توان اندازه دانه های الکتروژن مسی را در هر مرحله از فرآیند، کوچکتر نمود و سپس تاثیر آن را بر روی سایش الکتروژن در عملیات اسپارک مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- مواد و آزمایش ها

۲-۱- مس خالص

در این تحقیق از میلگرد مسی تولید شده در شرکت باهنر کرمان با قطر ۱۰ میلی متر (با توجه به قطر قالب در دسترس) استفاده گردید، اما می بایستی خلوص این مس، مورد آزمایش قرار گیرد.

۲-۲- کوانتومتری

به منظور پی بردن به خلوص نمونه مسی تهیه شده، نمونه تحت آزمایش کوانتومتری قرار گرفت. برای انجام این آزمایش از دستگاه کوانتومتر^۲ ساخت شرکت اسپکترولب^۳ ایالات متحده آمریکا استفاده گردید. در آزمایش کوانتومتری برای اطمینان بیشتر، در دو نقطه مختلف، آزمایش انجام گرفت. در پایان خلوص مس ۹۹/۹۷۵ و ۹۹/۹۷۶ (به ترتیب برای نقطه اول و دوم) اعلام گردید، که این امر نشان از خلوص نمونه مورد آزمایش داشت. با توجه به نتایج کوانتومتری، مس تهیه شده مابین دو استاندارد C10200 و C10100 قرار می گیرد. که مربوط به مس هایی با خلوص بالا می باشند [۹].

۲-۳- عملیات حرارتی بازپخت

میلگردهای مسی تهیه شده در حین فرآیند تولید در کارخانه دچار کار سرد زیادی شده اند و تنش پسماند ذخیره شده در این قطعات باعث افزایش استحکام آنها بطور قابل ملاحظه ای می گردد. بنابراین به منظور کاهش استحکام نمونه ها و تنش زدایی، میلگردهای مسی تحت سیکل عملیات حرارتی بازپخت قرار گرفتند. به دلیل دقت مورد نیاز موضوع تحقیق و به منظور کاهش فاکتورهای غیر قابل اندازه گیری تاثیر گذار بر روی نتایج، از کوره عملیات حرارتی تحت خلاء واس^۴ ساخت ایالات متحده آمریکا استفاده گردید. برای تصفیه کامل اتمسفر کوره و تخلیه آن از عناصر گازی به جای مانده از چرخه های کاری پیشین، گاز آرگون با خلوص ۹۹/۹۹۹ درصد، در کوره دمیده شده و سپس خلاء گردید. نمونه های مسی به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس تحت چرخه بازپخت قرار گرفتند. بر اساس مراجع نحوه سرد کردن مس، به دلیل عدم وجود فاز دوم در ساختار آن، تأثیری در اندازه دانه ندارد [۱۰، ۹]. اما برای جلوگیری از جذب آلودگی سطحی از محیط، قطعات در داخل کوره سرد شدند.

5 Spectrolab
6 VAS, materials research furnaces (industrial equipment supplier)

1 B-CVD: boron doped chemical vapor deposition-diamond
2 PCD: poly crystalline diamond
3 ECAP: equal channel angular pressing
4 Spark Emission Spectrometer

۲-۴- آزمایش کشش

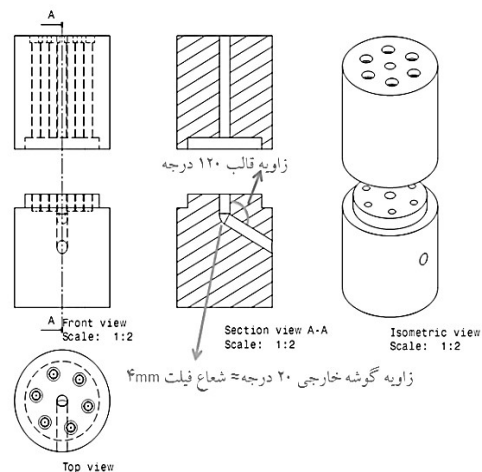
برای حصول اطمینان از کاهش استحکام نمونه مسی و تناسب آن با قالب، آزمایش کشش انجام گردید. بر طبق استاندارد آزمایش کشش و استاندارد نمونه‌سازی، آماده سازی انجام گردید [۱۱، ۱۲]. نتایج آزمون کشش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- تاثیر عملیات حرارتی بر استحکام نمونه‌های مسی

شرایط نمونه	استحکام تسلیم [۰/۱۲] (مگا پاسگال)	استحکام نهایی (مگا پاسگال)	ازدیاد طول نسبی (درصد)
قبل از بازیخت	۲۴۵	۳۷۳	-
بعد از بازیخت	۹۰	۲۲۵	۴۵/۶

۲-۵- اکستروژن در کانال‌های هم‌مقطع زاویه‌دار

این فرایند یکی از روش‌های تغییر شکل پلاستیک شدید می باشد. این روش‌ها به نحوی طراحی شده‌اند که ابعاد نمونه درحین فرآیند ثابت مانده و تغییر نمی‌کند. اکستروژن در کانال‌های هم‌مقطع زاویه‌دار، عملیاتی جهت ریزکردن ساختار و افزایش استحکام فلزات است. به طور کلی قالب‌هایی که در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید دو کانال با سطح مقطع یکسان داشته باشند. برخورد این دو کانال با یکدیگر، زاویه‌ای را پدید می‌آورند که زاویه اصلی قالب است. به وسیله فشار پرس، قطعه‌کار وارد کانال عمودی شده و در هنگام ورود به کانال دوم دانه‌های قطعه‌کار به ساختارهای کوچکتر، شکسته شده و ریزدانه می‌شوند [۱۳].



شکل ۱- نقشه قالب مورد استفاده در این تحقیق

به منظور انجام عملیات اکستروژن، از قالبی با زاویه ۱۲۰ درجه و قطر کانال ۱۰ میلی‌متر استفاده گردید. قالب از فولاد ابزار سردکار (در بازار

به فولاد D2 معروف است) ساخته شده است. در شکل ۱ نقشه قالب مورد استفاده مشاهده می‌گردد. با استفاده از پرس هیدرولیکی ۱۰۰ تن، قطعات به داخل کانال قالب فشرده می‌شدند. به منظور کاهش چسبندگی و اصطکاک قطعات با سطح کانال قالب از ترکیب دی سولفید مولیبدن با غلظت بیست درصد استفاده گردید.

جهت کاهش هرچه بیشتر اندازه دانه‌ها، توصیه شده عملیات اکستروژن به صورت پی در پی تکرار شود و به منظور آنکه فرآیند ریزدانه شدن به شکل یکسان صورت پذیرد و در یک جهت نباشد باید قطعات پس از خروج از اکستروژن در هر مرحله نسبت به مرحله قبل ۹۰ درجه چرخانده شده و مجدداً اکستروژن انجام شود [۱۷-۱۵]. بنابراین در طی آزمایش‌ها پس از خروج هر قطعه مسی، زاویه خروجی ثبت گردیده و با چرخش ۹۰ درجه‌ای، در جهت ساعتگرد، برای مرحله بعدی اکستروژن، در داخل قالب قرار می‌گرفت. با تکرار این مراحل، قطعاتی با تعداد مراحل اکستروژن ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ تولید گردید.

۲-۶- تعیین اندازه دانه نمونه‌های اکستروژن شده از روش

پراش الکترون‌های به عقب رانده شده^۸

برای تعیین تغییرات اندازه دانه از روش‌هایی مانند متالوگرافی یا استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی^۹ استفاده شد. اما این روش‌ها قادر به مشخص نمودن اندازه دانه نمونه‌های اکستروژن شده نبودند. به همین دلیل به منظور استفاده از روش پراش الکترون‌های به عقب رانده شده، نمونه‌ها آماده سازی گردیدند. با استفاده از محلولی با نسبت حجمی ۲۵ درصد اسید فسفریک، ۲۵ درصد اتانول و ۵۰ درصد آب مقطر، در دمای ۱۱ درجه سانتی‌گراد و با اختلاف پتانسیل ۸ ولت، نمونه‌ها پس از آماده سازی مکانیکی، پرداخت الکترونی^۲ گردیدند. با توجه به اندازه دانه‌های بدست آمده، قطعات ساده، ۴ و ۸ مرحله اکستروژن شده به عنوان سطوح متغیر برای جنس ابزار در آزمایش اسپارک برگزیده شدند.

۲-۷- آزمایش رسانایی الکتریکی

یکی از فاکتورهای مهم ابزار اسپارک، رسانایی الکتریکی بالا است. با استفاده از آزمون جریان گردابی، رسانایی الکتریکی نمونه‌ها آزمایش شدند و تاثیر فرآیند اکستروژن بر رسانایی الکتریکی، مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۸- ماشینکاری با تخلیه الکتریکی

قطعات مسی ساده و ۴ و ۸ مرحله اکستروژن شده به عنوان ابزارهای اسپارک انتخاب شدند. در این آزمایش برای مشخص کردن میزان سایش ابزار، از روش محاسبه اختلاف وزن، (قبل و بعد از ماشینکاری)، استفاده می‌شود [۱۸]. به همین منظور، نمونه‌های مسی پیش از قرارگیری در جایگاه ابزار اسپارک، با استفاده از ترازوی مدل لایبر آل ۴۰ اس ام ساخت کمپانی شیمادزو^۳ ژاپن با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم، توزین گردیدند.

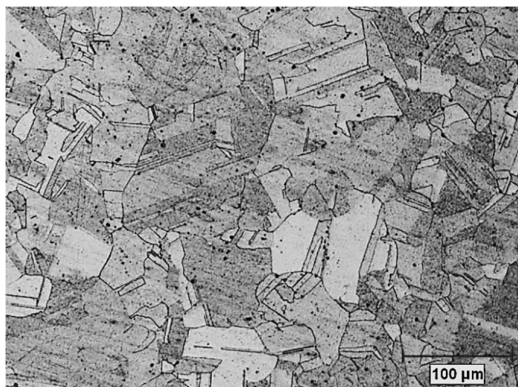
1 C₂H₅OH 1
 1 Electro polish 2
 1 Libror Ael 40 SM (Shimadzu corporation)

7 X 153 Cr Mo V12
 8 EBSD: Electron backscattered diffraction
 9 FESEM: field emission scanning electron microscopy
 1 H₃PO₄ 0

۳- نتایج و بحث

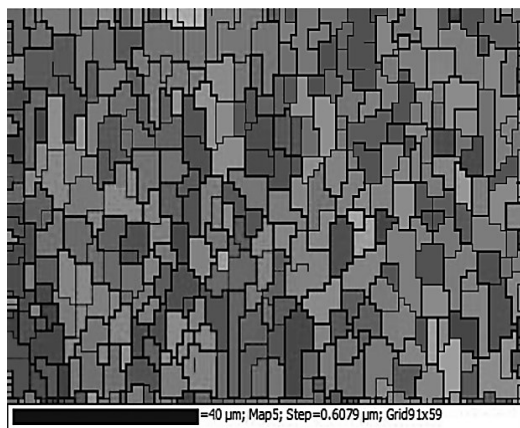
۱- تغییرات اندازه دانه ها

نتایج آزمایش متالوگرافی نشان دادند که اندازه میانگین قطر دانه ها برای نمونه ساده و اکستروژده شده بین ۳۱/۸ تا ۸۹/۸ میکرومتر می باشد، و به طور میانگین حدود ۶۰ میکرومتر طبق شکل ۲ می باشد.



شکل ۲- نمونه ساده، میانگین اندازه دانه ها ۶۰/۸ میکرومتر

اما طبق شکل های ۳ و ۴ که از دستگاه EBSD به دست آمده عملیات اکستروژده توانسته است به صورت همگن میانگین اندازه دانه مس خالص را در طی ۴ مرحله، از ۶۰/۸ به نزدیک ۱۰ میکرومتر کاهش داده و طی ۴ مرحله بعدی به میانگین ۵ میکرومتر برساند. انتظار می رود با تکرار این فرآیند در مراحل بالاتر و با استفاده از قالبی با زاویه ۹۰ درجه بتوان به ساختاری با میانگین اندازه دانه ای در محدوده نانو دست یافت.



شکل ۳- نمونه با ۴ مرحله اکستروژده، میانگین اندازه دانه ها ۹/۸۴ میکرومتر

جنس قطعه کار، فولاد آلیاژی MO40 که به طور گسترده در صنایع قالب سازی کاربرد دارد، انتخاب شد. بلوک های فولادی پس از بریده شدن، با استفاده از سنگ مغناطیسی به ابعاد کاملاً یکسان رسیدند و سپس برای مشابه بودن ابعاد و صافی سطح قطعه کار با یکدیگر، از وایرکات برای تولید آنها استفاده گردید. قطعه کارهای فرآیند اسپارک، با ابعاد نهایی ۲۰×۲۰×۱۰ میلی متر تولید گردیدند.

زمان روشنی پالس و شدت جریان جرقه به عنوان تاثیرگذارترین عوامل بر روی سایش ابزار، به عنوان متغیرهای ماشینکاری در آزمایش اسپارک برگزیده شدند [۱۹،۱].

برای انجام ماشینکاری با تخلیه الکتریکی از دستگاه اسپارک ۲۰۴، ساخت شرکت مهندسی تهران اکرام استفاده گردید. پس از انجام آزمایش های اولیه این نتیجه حاصل گشت که به دلیل قطر اندک ابزار (۱۰ میلی متر) در جریان عبوری از ابزار محدودیت وجود دارد و حداکثر شدت جریان می تواند ۱۵ آمپر باشد. با تغییر زمان روشنی پالس (۲۰۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ میکروثانیه)، شدت جریان جرقه (۷، ۱۱ و ۱۵ آمپر) و جنس ابزار (ساده و ۴ و ۸ مرحله اکستروژده) به عنوان عوامل اصلی و مؤثر بر روی سایش ابزار اسپارک، آزمایش های مربوطه در طی ۲۷ مرحله انجام پذیرفت.

جدول ۲- پارامترهای متغیر آزمایش

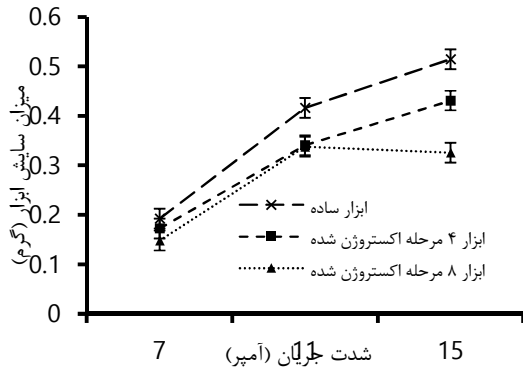
ابزار	مس ساده	مس ۴ مرحله اکستروژده	مس ۸ مرحله اکستروژده
شدت جریان (آمپر)	۷	۱۱	۱۵
زمان روشنی (میکروثانیه)	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰

جدول ۳- پارامترهای ثابت در آزمایش

پارامتر	توضیحات
مدار ژنراتور	ایزوپالس
زمان خاموشی پالس	۱۰ میکروثانیه
ولتاژ	۸۰ ولت
دی الکتریک	روغن مخصوص اسپارک. دما و الودگی دی الکتریک با دقت قابل قبولی ثابت نگه داشته شد.
قطبیت ابزار	مثبت
نحوه شستشو	غوطه وری
زمان درگیری	۲ ثانیه
زمان شستشو	۱/۵ ثانیه
فشار دی الکتریک	در آزمایش ها سطح دی الکتریک، ۱۰ سانتی متر بالاتر از سطح تماس اولیه ابزار و قطعه کار را می پوشاند.

در هر سری از آزمایش ها به منظور مقایسه سایش ابزارهای مختلف، به میزان یکسان ۵ میلی متر، از قطعه کار فولادی، براده برداری انجام گرفت. شرایط انجام فرآیند اسپارک و پارامترهای ثابت و متغیر در این بخش از تحقیق، در جدول های ۲ و ۳ ارائه شده است.

¹Wire cut

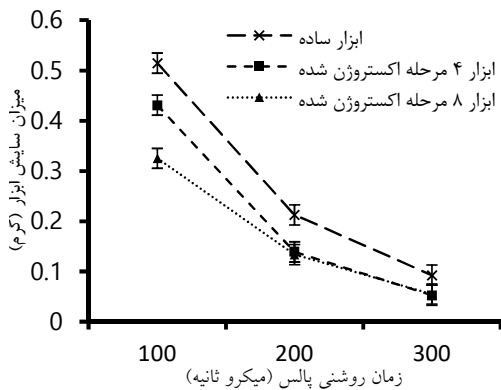


شكل ۵- تاثير شدت جريان‌هاى مختلف بر روى سايش ابزار در زمان روشنى ۱۰۰ ميكروثانيه

همانطور كه در شكل ۵ نمايان است شدت جريان، تاثيرى مستقيم بر روى سايش ابزار دارد افزايش شدت جريان، افزايش انرژى جرقه را در پى خواهد داشت، اين عامل سبب افزايش سايش ابزار اسپارك مى‌باشد. فرآيند اكستروژن توانسته است سايش ابزار اسپارك را بهبود بخشد. در بيشترين ميزان سايش، كه در شدت جريانى برابر با ۱۵ آمپر صورت مى‌گيرد؛ ميزان سايش ابزار ۴ مرحله اكستروژن شده، برابر با ۰/۴۳۰۹۱ گرم است كه نسبت به سايش ابزار ساده (۰/۵۱۴۵۵ گرم)، ۱۶/۳ درصد کاهش نشان مى‌دهد كه اين ميزان براى ابزار ۸ مرحله اكستروژن شده (با ميزان سايش ۰/۳۲۵۳ گرم) ۳۶/۸ درصد مى‌باشد. در شدت سايش‌هاى بالا، كه در زمان روشنى پالس کوتاه و شدت جريان جرقه زياد صورت مى‌گيرد، تفاوت قابل توجهى ميان سايش ابزارهاى مختلف مشاهده شد.

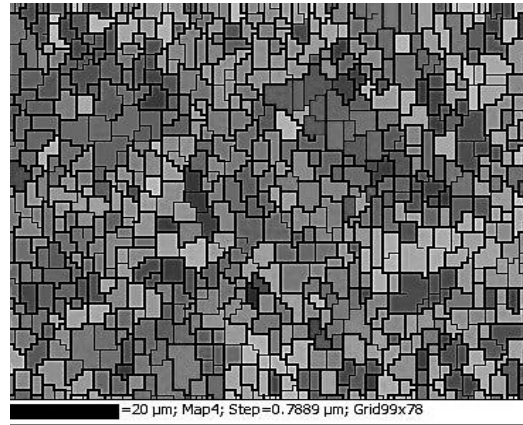
۳-۴- تاثير زمان روشنى پالس بر سايش ابزار

تاثير زمان روشنى پالس بر مقدار سايش ابزار در جريان ثابت ۱۵ آمپر در شكل ۶ نمايش داده شده است.



شكل ۶- تاثير زمان‌هاى روشنى پالس مختلف بر روى سايش ابزار در شدت جريان ۱۵ آمپر

همانگونه كه در شكل ۶ مشاهده مى‌شود زمان روشنى پالس با سايش ابزار رابطه معكوس دارد؛ بدین مفهوم كه کاهش زمان روشنى سبب افزايش سايش ابزار مى‌شود. دليل اين پديده دخالت پارامترهاى مختلف فيزيكى در مدت زمان طولانى روشنى پالس مى‌باشد، از جمله



شكل ۴- نمونه ۸ مرحله اكستروژن، ميانگين اندازه دانه‌ها ۵/۴۸

ميكرومتر

به اين ترتيب نتيجه مى‌شود كه در فرآيند اكستروژن در كانال‌هاى زاويه دار با مقاطع يكسان به علت تغيير شكل برشى شديدى كه در قالب به نمونه وارد مى‌شود، با ثابت ماندن سطح مقطع نمونه در هر مرحله و ذخيره شدن كرنش‌ها در آن، دانه بندى ماده شكسته و ريزتر مى‌گردد. از سوى ديگر نتايج نشان مى‌دهند كه با ادامه اكستروژن نمودن ماده مس از چهار مرحله به هشت مرحله، از شدت کاهش اندازه دانه‌ها كاسته شده است. به عبارت ديگر در چهار مرحله اول فرآيند، ميزان ريز شدن دانه‌هاى مس بيشتر از چهار مرحله دوم مى‌باشد. اين امر نشان مى‌دهد با افزايش تعداد مراحل از چهار به هشت مرحله کاهش اندازه دانه‌ها خيلى تاثير پذير نمى‌باشد.

۳-۲- نتايج آزمون رسائى الكترىكى

نتايج آزمون رسائى الكترىكى بر روى سه نوع ابزار مسى (ساده، چهار و هشت مرحله اكستروژن شده)، در جدول ۴ ارائه شده است، مقادير به دست آمده نشان مى‌دهند كه با چهار مرحله اكستروژن نمودن مس خالص، رسائى الكترىكى آن حدود ۲/۷ درصد افزايش مى‌يابد. علاوه بر اين با ادامه فرآيند اكستروژن تا هشت مرحله تا مقدار ۴٪ بر رسائى الكترىكى افزوده مى‌شود.

جدول ۴- نتايج تست رسائى الكترىكى

مس ساده	مس ۴ مرحله اكستروژن	مس ۸ مرحله اكستروژن	رسائى الكترىكى (S/m)
۵/۷۸۳×۱۰ ^{-۷}	۵/۹۴×۱۰ ^{-۷}	۵/۹۶۳×۱۰ ^{-۷}	

۳-۳- تاثير شدت جريان بر سايش ابزار

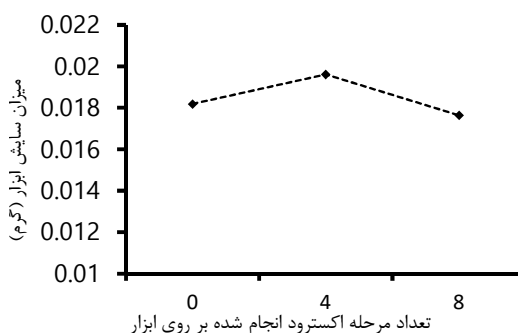
با انجام ۲۷ مرحله آزمون اسپارك كه در آن شدت جريان جرقه، زمان روشنى پالس و جنس ابزار، هر کدام در ۳ سطح تغيير داده شده بودند، نتايج ذيل حاصل شد.

شكل ۵ نشان دهنده ميزان سايش ابزارهاى مختلف در شدت جريان‌هاى متفاوت در زمان روشنى ثابت ۱۰۰ ميكروثانيه (كوتاه‌ترين زمان روشنى) است.

با طولانی شدن زمان روشنی پالس، کانال پلاسما منبسط شده و قطر آن افزایش می یابد و بخشی از انرژی، به ماده دی الکتریک منتقل شده و براده برداری صورت نگیرد، بنابراین سایش ابزار نسبت به زمان ماشینکاری کاهش پیدا کند. همچنین با افزایش زمان روشنی پالس آلودگی افزایش یافته و جرقه در محل تمرکز آلودگی ها رخ داده و بخش اعظمی از انرژی صرف ذوب شدن آلودگی ها شود و سایش ابزار کاهش پیدا کند

۳-۵- بیشترین و کمترین سایش ابزار

کمترین و بیشترین سایش ابزار در اشکال ۷ و ۸ نشان داده شده است. با توجه به اصول فرآیند اسپارک، سایش ابزار در مقایسه با میزان براده برداشته شده از قطعه کار مقدار بسیار اندکی است. با توجه به اینکه میزان براده برداری در این تحقیق در حدود ۵ میلی متر است (با توجه به قطر سوراخ حاصل از ابزار که حدوداً برابر با ۱ سانتی متر و همچنین چگالی قطعه کار فولادی که برابر با ۸ گرم بر سانتی متر مکعب است؛ میزان تغییر وزن قطعه کار در حدود ۳ گرم می باشد)، انتظار می رفت که سایش ابزار در شرایطی از ماشینکاری، مقدار بسیار کوچکی باشد. در شرایط ماشینکاری با استفاده از کمترین شدت جریان (۷ آمپر) و بیشترین زمان روشنی (۳۰۰ میکرو ثانیه)، کمترین میزان سایش مشاهده گشت که بالطبع ریزساختار ابزار تأثیر ملموسی بر سایش نداشته است (همانطور که در شکل ۷ مشاهده می شود، مقدار سایش آنچنان اندک است که تأثیر تغییرات ریزساختار ابزار بر آن مشاهده نمی شود).

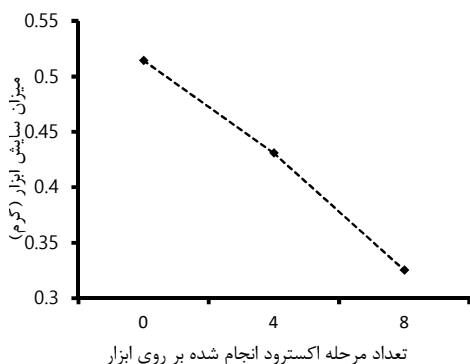


شکل ۷- کمترین سایش ابزار (زمان روشنی ۳۰۰ میکرو ثانیه و شدت جریان ۷ آمپر)

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می شود، ابزارهایی با ساختار ریزدانه، سایش پایین تری را نسبت به ابزارهای درشت دانه در نسبت های سایش بالا ارائه می دهند. به طوری که در بالاترین نرخ سایش (کمترین زمان روشنی پالس و بیشترین شدت جریان جرقه که به ترتیب برابر با ۱۰۰ میکروثانیه و ۱۵ آمپر می باشند، شرایط ماشینکاری را به سمت بیشترین میزان سایش سوق می دهند) تفاوت ملموسی بین سایش ابزارهایی با اندازه دانه های متفاوت مشاهده می گردد. در شکل ۸ تفاوت سایش بین ابزارهای اکستروژد نشده، ۴ و ۸ مرحله اکستروژد شده مشاهده می گردد.

فرآیند اکستروژد سبب افزایش رسانایی الکتریکی قطعات مسی شده است. که این رسانایی بالاتر با کاهش دمای ابزار و همچنین انتقال انرژی

به صورت مؤثرتر به قطعه کار، می تواند موجب کاهش سایش ابزار را فراهم کند.



شکل ۸- بیشترین سایش ابزار (زمان روشنی ۱۰۰ میکرو ثانیه و شدت جریان ۱۵ آمپر)

۶- نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر میکرو ساختار ابزار مسی بر روی سایش آن در فرآیند اسپارک، فلز مس با خلوص بالا، تحت فرآیند اکستروژد در کانال های هم مقطع زاویه دار، ریزدانه گشت. پس از مشخص نمودن تغییرات اندازه دانه، قطعات تولیدی بعنوان ابزار اسپارک استفاده شد و تأثیر اندازه دانه ابزار بر سایش آنها مطالعه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد:

میانگین اندازه قطر دانه ها برای مس خالص ساده، بین ۳۱/۸ تا ۸۹/۸۲ میکرومتر بوده است در حالی که با چهار مرحله اکستروژد کردن، ساختار ماده حدود ۸۳/۸ درصد ریزتر شده، به نحوی که قطر دانه ها به میانگین ۹/۸ میکرومتر رسیده اند. با ادامه فرآیند اکستروژد تا هشت مرحله، دانه بندی مس حدود ۴۵ درصد نسبت به چهار مرحله اکستروژد ریزتر شده و میانگین اندازه دانه ها به ۵/۴ میکرومتر رسیده است.

نتایج آزمایش رسانایی الکتریکی نشان دادند که در طی هشت مرحله اکستروژد کردن به علت شکسته شدن و ریزتر شدن دانه ها به میزان ۴ درصد رسانایی الکتریکی افزایش پیدا کرده است. این میزان تغییر رسانایی الکتریکی، سبب انتقال مؤثرتر انرژی به قطعه کار و همچنین کاهش دمای ابزار اسپارک به دلیل رسانایی الکتریکی بالاتر، که انرژی اتلاف شده کمتری به صورت گرما در ابزار تولید شده و از آن طریق موجب کاهش سایش ابزار اسپارک شود.

بررسی نتایج به دست آمده از آزمایش ماشینکاری تخلیه الکتریکی نشان دادند که اکستروژد کردن ابزار مسی موجب کاهش سایش ابزار اسپارک میگردد، البته این کاهش سایش ابزار در شرایط مختلف ماشینکاری متفاوت می باشد و در مواردی که بیشترین سایش ابزار مواجه باشیم، کاهش سایش ابزار اکستروژد شده نسبت به ابزار مسی خالص حدود ۴۰ درصد کاهش می یابد اما در شرایط ماشینکاری که سایش ابزار کم باشد تفاوت خیلی قابل ملموسی بین دو ابزار مشاهده نشد. همچنین در هنگام سایش فلزی که عملیات اکستروژد بر روی آن انجام شده است، ذرات ریزتری از سطح آن نسبت به فلز درشت دانه تر جدا می شود؛ که این موضوع می تواند در کاهش سایش مؤثر باشد.

- [19] Zarepour H., Fadaei Tehrani A., Karimi D., Amini S., Statistical analysis on electrode wear in EDM of tool steel DIN 1.2714 used in forging dies, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 187-188, pp. 711-714, 2007.

در نتایج فرآیند اسپارک مشاهده شد، به ترتیب کاهش زمان روشنی پالس و افزایش شدت جریان بیشترین تاثیر را بر روی سایش ابزار دارند، که در این شرایط، استفاده از ابزار اکستروود شده، توصیه می‌شود.

۷-مراجع

- [1] Ghoreyshi M., Assarzade S., *Advanced Machining Processes*, pp. 161-196, Tehran: Khajeh Nasir Toosi University of Technology, 2010. (In Persian)
- [2] Pham D., Ivanov A., Bigot S., Popov K., Dimov S., An investigation of tube and rod electrode wear in micro EDM drilling, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 33, Issue. 1-2, pp. 103-109, 2007.
- [3] Marafona J., Black layer characterization and electrode wear ratio in electrical discharge machining (EDM), *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 184, Issues. 1-3, pp. 27-31, 2007.
- [4] Uhlmann E., Roehner M., Investigations on reduction of tool electrode wear in micro-EDM using novel electrode materials, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol 1, Issue 2, pp. 92-96, 2008.
- [5] Abdulkareem S., Ali Khan A., Konneh M., Reducing electrode wear ratio using cryogenic cooling during electrical discharge machining, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol 45, Issue 11-12, pp. 1146-1151, 2009.
- [6] Uhlmann E., Rosiwal S., Bayerlein K., Röhner M., Influence of grain size on the wear behavior of CVD diamond coatings in micro-EDM, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol 47, Issue 9-12, pp. 919-922, 2010.
- [7] Zhu Ch., Ma A., Jiang J., Li X., Song D., Yang D., Yuan Y., Chen J., Effect of ECAP combined cold working on mechanical properties and electrical conductivity of Conform-produced Cu-Mg alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol 582, pp. 135-140, 2014.
- [8] Miyajima Y., Okubo S., Abe H., Okumura H., Fujii T., Onaka S., Kato M., Dislocation density of pure copper processed by accumulative roll bonding and equal-channel angular pressing, *Materials Characterization*, Vol 104, pp. 101-106, 2015.
- [9] Matoofi F., *Copper Heat Treatment And Its Alloy Standards*, Tehran: Fadak Isatis, 2006. (In Persian)
- [10] Brooks C. R., *Heat Treatment, Structure, and Properties of Nonferrous Alloys*, Tehran: Iran University Press, 2001.
- [11] ASTM E8/E8M _ 13a, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- [12] DIN 50125, *Testing of Metallic Materials - Tensile Test Pieces*, DIN German Institute for Standardization, 2009.
- [13] Iwahashi Y., Horita Z., Nemoto M., Langdon T., The process of grain refinement in equal-channel angular pressing, *Acta Materialia*, Vol 46, Issue 9, pp. 3317-3331, 1998.
- [14] Vijayashakthivel A.T., Srikantha Dath T.N., Krishnamurthy R., Response of copper to Equal Channel Angular Pressing with different processing temperature, *Procedia Engineering*, Vol 97, pp. 56-63, 2014
- [15] Han Y., Li J., Huang G., Lv Y., Shao X., Lu W., Zhang D., Effect of ECAP numbers on microstructure and properties of titanium matrix composite, *Materials & Design*, Vol 75, pp. 113-119, 2015.
- [16] Hoseini M., Meratian M., Toroghinejad M. R., Szpunar J. A., Texture contribution in grain refinement effectiveness of different routes during ECAP, *Materials Science and Engineering*, Vol 497, Issues 1-2, pp. 87-92, 2008.
- [17] Bian L., Liang W., Xie G., Zhang W., Xue J., Enhanced ductility in an Al-Mg₂Si in situ composite processed by ECAP using a modified BC route, *Materials Science and Engineering*, Vol 528, Issue 9, pp. 3463-3467, 2011.
- [18] Klocke F., Schwade M., Klink A., Veselovac D., Analysis of material removal rate and electrode wear in sinking EDM roughing strategies using different graphite grades, *Procedia CIRP*, Vol 6, pp. 163-167, 2013.