



Study of the Effect of Preheating on Tool Wear in the Process of Joining Dissimilar Materials (Al6061/AISI304L) using Simultaneous Friction Drilling.



ARTICLE INFO

Authors

Azizi M¹,
Jabbari A^{1*},
Soury E¹,
Dehghan Sh²,

¹ Manufacturing and Production Department, Arak University, Arak, Iran.

² Department of Mathematics, Computer Science and Engineering, Universite' du Que'bec a' Rimouski, Rimouski, Que'bec, Canada.

* Correspondence

Address: Manufacturing and Production Department, Arak University, Arak, Iran
a-jabbari@araku.ac.ir

How to cite this article

Azizi M, Jabbari A, Soury E, Dehghan Sh. Study of the Effect of Preheating on Tool Wear in the Process of Joining Dissimilar Materials (Al6061/AISI304L) using Simultaneous Friction Drilling. Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2023;23(10):69-74.

ABSTRACT

Currently, dissimilar metal joining processes are receiving considerable attention in various industries. The objective is to create composite structures that are both high-strength and lightweight, ultimately reducing the weight of the final product. Researchers have recently proposed friction drilling as a new method for creating joints between dissimilar metal sheets. This innovative technique offers potential advantages in achieving the desired outcomes. In this process, metal sheets are placed on top of each other and simultaneously subjected to friction drilling. As a result, this process not only creates an effective space for tapping but also establishes a frictional joint between the two sheets. Research has shown that preheating up to 350°C can have desirable effects on reducing the gap between the two sheets in the vicinity of the created joint between aluminum and stainless steel using the above-mentioned method. In the upcoming work, the effect of preheating on tool wear in simultaneous friction drilling of aluminum sheet AA6061T6 and stainless steel AISI304L using a tungsten carbide drilling tool has been experimentally analyzed, and the findings indicate that increasing the preheating temperature up to 350°C leads to a 13.77% increase in tool adhesive wear and a 0.46% increase in tool abrasive wear.

Keywords Preheating, Tool Wear, Dissimilar Joining, Friction Drilling

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته
مهر ۱۴۰۲، دوره ۲۳، شماره ۱۰، صفحه ۶۹-۷۴



مطالعه و بررسی تأثیر پیش‌گرمایش بر سایش ابزار در فرایند اتصال مواد غیرهمجنس (Al6061/AISI304L) با روش سوراخکاری اصطکاکی همزمان



چکیده

امروزه به‌کارگیری فرایندهای اتصال فلزات غیرهمجنس در صنایع گوناگون به‌منظور دستیابی به سازه‌های ترکیبی با مقاومت بالا و درعین حال وزن کم، به‌منظور کاهش وزن محصول نهایی، موردتوجه بسیاری از صنعتگران قرار دارد. روش‌های گوناگونی برای ایجاد اتصال ورقه‌ای فلزی غیرهمجنس وجود دارد که یکی از جدیدترین روش‌هایی که اخیراً از سوی محققین، ارائه گردیده است، فرایند اتصال به‌وسیله سوراخکاری اصطکاکی هم‌زمان دو ورق بر روی یکدیگر است. در این فرایند، ورق‌های فلزی بر روی یکدیگر قرار گرفته و به‌صورت هم‌زمان، سوراخکاری اصطکاکی می‌شوند که در نتیجه این فرایند، علاوه بر ایجاد یک فضای مؤثر برای فلاویزکاری، یک اتصال اصطکاکی بین دو ورق ایجاد می‌شود. تحقیقات نشان داده است که اعمال پیش‌گرمایش تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد، می‌تواند اثرات مطلوبی بر کاهش گپ بین دو ورق، در مجاورت اتصال ایجادشده بین ورق آلومینیوم و فولاد زنگ‌نزن، به روش فوق، داشته باشد. در کار پیش رو تأثیر پیش‌گرمایش، بر میزان سایش ابزار، در سوراخکاری اصطکاکی هم‌زمان ورق آلومینیوم AA6061T6 و فولاد زنگ‌نزن AISI304L با استفاده از ابزار سوراخکاری با جنس تنگستن کارباید، به‌صورت تجربی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که یافته‌ها نشان می‌دهند، افزایش دمای پیش‌گرمایش تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد، موجب افزایش سایش چسبنده مته ۱۳/۷۷ درصد و سایش ساینده مته، تا ۰/۴۶ درصد می‌گردد.

مشخصات مقاله

نویسنده‌ها

محسن عزیزی^۱
علی جباری^{۱*}
احسان سوری^۱
شایان دهقان^۲

^۱ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران
^۲ دانشکده ریاضی، علوم کامپیوتر و مهندسی، دانشگاه ریموسکی، کبک، کانادا

* نویسنده مسئول

آدرس: دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

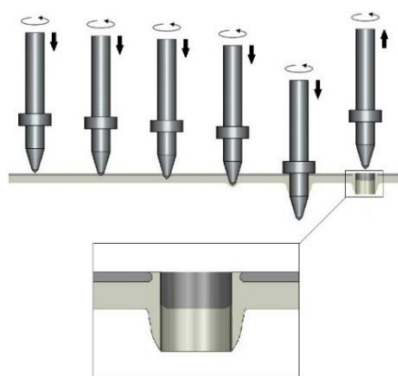
a-jabbari@araku.ac.ir

کلیدواژه‌ها سوراخکاری اصطکاکی، اتصال مواد غیرهمجنس، پیش‌گرمایش، آلومینیوم AA6061T6، فولاد زنگ‌نزن AISI304L

مقدمه

گرایش به تولید محصولات با وزن کمتر و عملکرد و کارایی بالاتر، استفاده از سازه‌های ترکیبی چند ماده‌ای و در نتیجه نیاز به اتصال مواد غیرهمجنس را افزایش می‌دهد. بدین ترتیب خواص مواد مختلف به‌طور مشترک برای دستیابی به عملکرد محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد این روند برای صنایع مختلف مانند خودرو، هوانوردی، پوشاک، ابزارآلات، تولید برق و کاربردهای دریایی گزارش شده است. از سوی دیگر به دلیل ویژگی‌های متفاوت فرایندهای اتصال می‌توانند چالش‌برانگیز باشند^[1]. استفاده از پیچ و مهره، یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای اتصال و محکم کردن قطعات فلزی به یکدیگر است که به‌طور گسترده در صنایع گوناگون به کار گرفته می‌شود. پیش‌نیاز اصلی استفاده از این روش، وجود دسترسی به دو طرف قطعه کار به‌منظور سفت کردن اتصال است. در مواقعی که امکان دسترسی به طرف دیگر قطعه کار وجود نداشته باشد، در صورت کافی بودن ضخامت، خود قطعه کار، سوراخکاری و قلاویز می‌شود؛ و در غیر این صورت، در قطعاتی مانند ورق‌ها و پروفیل‌های جدار نازک، به علت عدم وجود فضای کافی برای ایجاد رزوه، به‌ناچار از روش‌های پرچکاری مهره و جوشکاری مهره استفاده می‌گردد که هر دو فرایند علی‌رغم کارساز بودن، دارای معایب و محدودیت‌های خاص خود نظیر ایجاد اعوجاج حرارتی، نیاز به دسترسی به طرف دیگر قطعه و افزایش وزن نهایی محصول، می‌باشند. در این میان فرایند سوراخکاری اصطکاکی به‌عنوان یک روش اتصال مؤثر و بهینه جایگزین روش‌های فوق، معرفی گردید^[2]. سوراخکاری اصطکاکی یک فن‌آوری سوراخکاری بدون براده برداری است که در این فرایند یک ابزار سوراخکاری مخروطی چرخان، به قطعه کار نفوذ کرده و سوراخکاری انجام می‌شود. بدین ترتیب که اصطکاک ناشی از تماس نوک ابزار چرخان با سطح قطعه کار، تحت یک نیروی محوری، باعث تولید گرما و به‌تبع آن، نرم شدن مواد و نفوذ ابزار به داخل قطعه کار و تشکیل یک بوش می‌شود. ضخامت بوش تشکیل شده تقریباً سه برابر ضخامت قطعه کار اصلی است. افزایش فضای مؤثر در دسترس برای قلاویزکاری، مزیت اصلی سوراخکاری اصطکاکی است که در نهایت به‌عنوان روشی کارآمد و مقرون‌به‌صرفه می‌تواند جایگزین استفاده از مهره پرچ و مهره جوش در اتصال ورق‌های فلزی و پروفیل‌های جدار نازک باشد. عدم ایجاد براده و عدم نیاز به استفاده از روانکارهای صنعتی، علاوه بر مقرون‌به‌صرفه بودن، این فرایند را در زمره فرایندهای تولید صنعتی پاک و سبز (سازگار با محیط‌زیست)، قرار داده است^[3,4,5,6]. در تحقیقات انجام شده بر روی فرایند سوراخکاری اصطکاکی، عباسی و دهقان^[7,8] مطالعاتی را بر روی سوراخکاری اصطکاکی هم‌زمان ورق‌های غیرهمجنس AISI430/AA6061 انجام دادند که نتایج آن منجر به معرفی یک

روش جدید اتصال ورق‌های نازک فلزی غیرهمجنس، با استفاده از فناوری سوراخکاری اصطکاکی، بدون استفاده از پیچ و مهره گردید. مراحل این فرایند بصورت شماتیک در شکل شماره ۱، نشان داده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق موید وجود یک گپ بین دو ورق در مجاورت ناحیه اتصال است که این موضوع می‌تواند باعث کاهش عمر مفید محصولات بالقوه، در شرایط نامساعد، گردد لذا محققان [۹] اعمال پیش گرمایش را بعنوان راه حلی برای کاهش این گپ مورد تحقیق و بررسی قرار دادند که نتایج حاکی از اثر مثبت پیش گرمایش بر کاهش جداسازی دو ورق در مجاورت اتصال بود. با توجه به نو ظهور بودن روش فوق و همچنین تأثیرات مثبت اعمال پیش گرمایش بر کیفیت اتصال ایجاد شده به این روش، در تحقیق پیش رو تأثیر پیش گرمایش بر سایش ابزار در فرایند سوراخکاری اصطکاکی هم‌زمان ورق‌های غیرهمجنس AISI304L/AA6061، بصورت تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱) شکل شماتیک فرایند اتصال به روش سوراخکاری اصطکاکی هم‌زمان و اتصال ایجاد شده به این روش

روش کار

در این مطالعه از ورق فولاد زنگ‌نزن 304L و ورق آلومینیوم 6061 به‌عنوان دو ماده غیر هم‌جنس که هر دو دارای کاربردهای وسیعی در صنایع گوناگون می‌باشند برای انجام سوراخکاری هم‌زمان استفاده گردید. به‌منظور تهیه نمونه آزمایش، ورق آلومینیوم به ضخامت ۱ میلی‌متر و ورق فولاد زنگ‌نزن 304L به ضخامت ۳ میلی‌متر، تأمین مواد گردید. به‌منظور حصول اطمینان از مطابقت بودن جنس ورق‌ها با استاندارد موردنظر، نمونه‌هایی از آن‌ها تهیه و آزمون تعیین ترکیب شیمیایی به روش اسپکترومتری نشری (کوانتومتری) بر روی آن‌ها انجام گرفت. نتایج آزمایش‌های فوق مطابقت نمونه فولاد زنگ‌نزن با استاندارد آمریکایی ASTM A240 (UNS S30403) Type 304L (2020) و مطابقت نمونه آلومینیومی را با استاندارد بین‌المللی AA 6061 تأیید نمود.

مطابق با تحقیق انجام شده قبلی^[9] سه بازه دمایی ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد، برای انجام پیش‌گرمایش انتخاب گردید. جهت تأمین حرارت موردنیاز از دو عدد المنت فشنگی ۴۰۰ وات به قطر ۱۰ و طول ۱۲۰ میلی‌متر قابل نصب بر روی فیکسچر سوراخکاری

زنگ‌نزن AISI304 و آلومینیوم AA6061، دور اسپیندل ۲۵۰۰ دور بر دقیقه و میزان پیش‌روی ۰/۰۴ میلی‌متر بر دور، معادل ۱۰۰ ملی متر بر دقیقه انتخاب گردید.

سوراخکاری اصطکاکی در چهار دمای مختلف شامل دمای محیط، ۲۵۰ درجه، ۳۰۰ درجه و ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد، در هر دما برای دو نمونه انجام شد. به منظور اطمینان از صحت دمای پیش‌گرم‌موردنیاز، یک ترمومتر مادون قرمز تفنگی برای کنترل دمای قطعات، در حین گرمکاری و مقایسه آن با دمای نشان داده شده توسط نمایشگر ترموستات، مطابق شکل شماره ۴، به کار گرفته شد. بلافاصله بعد از سوراخکاری، به منظور جلوگیری از بروز اشتباه، نمونه‌ها و مته‌های مورد استفاده، شماره‌گذاری شدند.



شکل (۴) نحوی کنترل دمای مورد نیاز در حین فرایند

به منظور بررسی تأثیر پیش‌گرمایش بر میزان سایش مته‌های مورد استفاده در آزمون، وزن مته‌ها به‌عنوان یک متغیر قابل بررسی، توسط ترازوی حساس، آنالیتیکال محفظه دار SARTORIUS مدل CP124S با دقت ۰/۱ میلی‌گرم، مطابق شکل شماره ۵ اندازه‌گیری گردید.



شکل (۵) اندازه‌گیری وزن مته‌ها با ترازوی حساس

در نهایت به منظور ایجاد درک بهتر از سایش سطوح ابزار، مته‌های مورد استفاده در آزمون، توسط میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی (FE-SEM) MIRA3 ساخت شرکت TESCAN، مورد تصویربرداری و آنالیز شیمیایی قرار گرفتند.

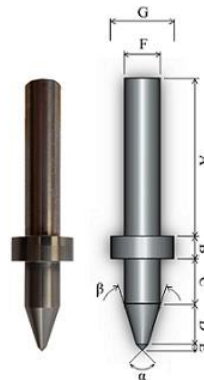
نتایج و بحث

با توجه به مکانیزم سوراخکاری اصطکاکی که اساس آن تماس بین ابزار سوراخکاری و قطعه کار و در نتیجه افزایش دما و نفوذ ابزار به

استفاده گردید و به منظور ثابت نگه‌داشتن درجه حرارت، یک کنترلر حلقه بسته متشکل از از ترموستات و ترموکوپل تیپ K و یک رله شیشه‌ای ۳ کنتاکت ۱۰ آمپر، به کار گرفته شد.

برای انجام سوراخکاری اصطکاکی، از یک دستگاه دریل رادیال GR412 استفاده گردید که با نصب یک اینورتور الکتریکی بر روی موتور اصلی ماشین، سرعت دورانی اسپیندل تا ۳۰۰۰ دور بر دقیقه افزایش یافته است.

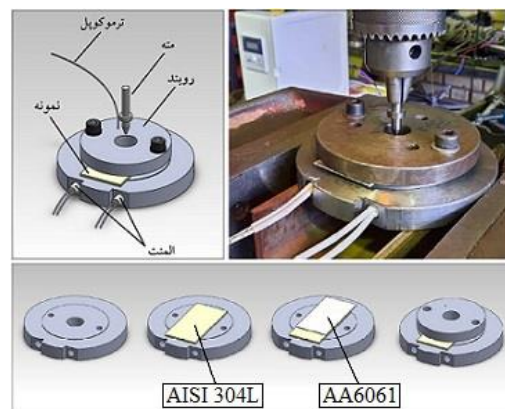
در این تحقیق به منظور انجام سوراخکاری اصطکاکی، از مته با جنس تنگستن کارباید در ماتریس کبالت با پوشش آلومینیوم کروم نیترات (AlCrN) استفاده شد. پارامترهای ابعادی ابزار در شکل ۲، نشان داده شده است. ناحیه ساق ۳۵ میلی‌متر، ناحیه شانته ۵ میلی‌متر، ناحیه استوانه‌ای ۱۰ میلی‌متر، ناحیه مخروطی ۹ میلی‌متر و ناحیه مرکزی ۱ میلی‌متر، قطر ساق مته ۸ میلی‌متر و قطر ناحیه شانته ۱۴ میلی‌متر، زاویه مرکزی ۹۰ درجه و زاویه مخروطی ۳۷ درجه است.



- A: ناحیه ساق (۳۵ میلی‌متر)
- B: ناحیه شانته (۵ میلی‌متر)
- C: ناحیه استوانه‌ای (۱۰ میلی‌متر)
- D: ناحیه مخروطی (۹ میلی‌متر)
- E: ناحیه مرکزی (۱ میلی‌متر)
- F: قطر ساق مته (۸ میلی‌متر)
- G: قطر ناحیه شانته (۱۴ میلی‌متر)
- α : زاویه مرکزی (۹۰ درجه)
- β : زاویه مخروطی (۳۷ درجه)

شکل (۲) ابعاد مته مورد استفاده برای انجام سوراخکاری اصطکاکی

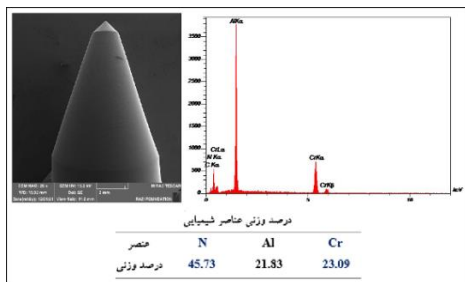
به منظور موقعیت دهی و محکم کردن قطعه کار به میز دستگاه از یک فیکسچر و یک گیره رومیزی استفاده گردید که نحوه نصب نمونه‌های و تجهیزات عملیات حرارتی در شکل شماره ۳، نشان داده شده است.



شکل (۳) نحوه نصب تجهیزات جهت انجام آزمون

بر اساس نتایج به‌دست آمده از مطالعات دهقان و همکاران^[۸]، در خصوص شرایط برشی بهینه در فرایند سوراخکاری هم‌زمان فولاد

بر روی سطح مته است و پوشش دهی سطح به گونه ای است که هیچ گونه اثری از عناصر تنگستن و کبالت که عمده درصد وزنی ابزار را تشکیل می دهند در آنالیز عنصری مشاهده نمی شود.



شکل ۷) آنالیز عنصری (EDS) مته استفاده نشده

نتایج آنالیز شیمیایی صفحه ای (MAP) ناحیه رأس و ناحیه مخروط مته را برای ۴ مته مورد استفاده در این مطالعه در شکل شماره ۸ تا ۱۱ نشان داده شده است. تصاویر به دست آمده عناصر اکسیژن، آلومینیوم، کروم، آهن، کبالت و تنگستن را در نواحی فوق نشان می دهند. عنصر اکسیژن در دو نمونه اول به رنگ قرمز و در دو نمونه دوم به رنگ قهوه ای دیده می شود. وجود عنصر اکسیژن در سطح ابزار سوراخکاری نشان دهنده اکسید شدن در نواحی رأس و مخروطی ابزار سوراخکاری است، جایی که حرارت اصطکاکی ایجاد شده است. عنصر آهن به رنگ سفید مشخص شده است که با توجه به اینکه آهن عنصر پایه تشکیل دهنده فولاد زنگ نزن مورد استفاده در این مطالعه است، در اثر سایش چسبنده، از قطعه کار به سطح مته منتقل شده است. وجود عناصر تنگستن و کبالت که به ترتیب بارنگ سبز و صورتی نشان داده شده اند برای هر ۴ مته قابل مشاهده می باشند که با توجه به نتیجه آنالیز شیمیایی عنصری (EDS) پیش از سوراخکاری مته مورد استفاده در این آزمون (شکل ۷)، می توان استنباط کرد روکش آلومینیوم کروم نیترات موجود بر روی ابزار در اثر سایش ساینده به گونه ای حذف گردیده است که عمده عناصر سازنده مته شامل تنگستن و کبالت به وضوح قابل مشاهده می باشند. عناصر آلومینیوم و کروم موجود در نتایج آنالیز شیمیایی صفحه ای به ترتیب به رنگ آبی و نارنجی نشان داده شده اند. با در نظر گرفتن سایش روکش آلومینیوم کروم نیترات سطح مته و سهم ۱۸/۶ درصدی کروم از ترکیب شیمیایی فولاد زنگ نزن مورد استفاده در این آزمایش، می توان نتیجه گرفت عناصر آلومینیوم و کروم موجود بر روی سطح مته، مشابه عنصر آهن در اثر سایش چسبنده از قطعه کار به سطح ابزار، منتقل شده اند. (لازم به توضیح است نواحی آبی رنگ با غلظت بالا که در حاشیه ناحیه رأس و مخروط مشاهده می شود مربوط به محل استقرار مته ها، در میکروسکوپ الکترونی است که از جنس آلومینیوم ساخته شده است.)

داخل قطعه کار است، سه نوع سایش ساینده، چسبنده و سایش اکسایشی ابزار سوراخکاری قابل پیش بینی است. سایش ساینده زمانی رخ می دهد که ذرات سخت جدا شده از قطعه کار سطح ابزار را برش داده و موجب ایجاد شیار بر روی سطح ابزار می شوند. سایش چسبنده حاصل اتصال میکروسکوپی سطوح و جوش خوردن زبری ها در سطح جسم مقابل است. نیروهای وارد شده در سوراخکاری اصطکاکی به اندازه ای است که زبری ها موجود در فصل مشترک ابزار و قطعه کار در یکدیگر فرورفته، تغییر شکل داده و به هم جوش می خورند سپس حرکت دورانی مته باعث پاره شدن اتصال های میکروسکوپی و در نهایت کنده شدن مقداری از ماده می شود. سایش اکسایشی نیز به علت واکنش اکسیژن با سطح تازه ابزار سوراخکاری در دمای بالا رخ می دهد [10].

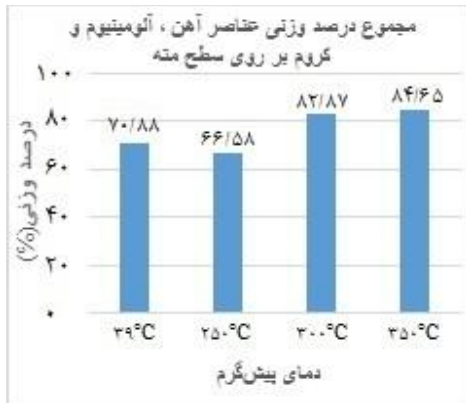
شکل شماره ۶، نتایج سنجش وزن مته های مورد استفاده در این مطالعه را به منظور بررسی میزان سایش ابزار اعم از سایش ساینده و سایش چسبنده را نشان می دهد. مشاهده می شود وزن مته های مورد استفاده در آزمون با افزایش دمای پیش گرم، به علت حذف مواد از ابزار سوراخکاری (سایش ساینده)، کاهش یافته است به گونه ای که مته مورد استفاده در سوراخکاری قطعه در دمای ۰/۱۸۹ گرم، کمترین میزان کاهش وزن و مته مورد استفاده در سوراخکاری قطعه پیش گرم شده تا دمای ۳۵۰ درجه سانتی گراد بعد از انجام ۲ عدد سوراخکاری کاهش وزنی معادل ۰/۴۸۷۵ گرم، بیشترین میزان کاهش وزن را نشان می دهد که با توجه به تصاویر موجود در شکل شماره ۶، انتقال مواد از قطعه کاربر روی مته ها مخصوصاً در ناحیه استوانه ناشی از سایش چسبنده، به وضوح قابل مشاهده است که می تواند بر وزن نهایی مته و نتیجه گیری در خصوص میزان سایش ساینده مته، تأثیرگذار باشد لذا به منظور انجام بررسی بیشتر در خصوص نوع و درصد وزنی عناصر موجود در سطح مته ها، نتایج آزمون آنالیز شیمیایی عنصری (EDS) و آنالیز شیمیایی صفحه ای به دست آمده از سطوح مختلف مته های مورد استفاده در این تحقیق، مورد بررسی قرار می گیرد.

مته نو	۳۹ درجه سانتی گراد	۲۵۰ درجه سانتی گراد	۳۰۰ درجه سانتی گراد	۳۵۰ درجه سانتی گراد
گرم ۴۶/۹۵۷۳	گرم ۴۶/۹۳۸۴	گرم ۴۶/۸۰۶۹	گرم ۴۶/۷۷۱۲	گرم ۴۶/۴۶۹۸

شکل ۶) نتایج سنجش وزن مته های مورد استفاده در آزمون

شکل شماره ۷، آنالیز عنصری (EDS) مته مورد استفاده در آزمون را قبل از انجام سوراخکاری نشان می دهد که مقادیر بالای عنصر نیتروژن، آلومینیوم و کروم مربوط روکش آلومینیوم کروم نیترات

توجه به نتایج به دست آمده از سنجش وزنه مته‌ها و میزان مواد منتقل شده از قطعه کار به مته‌ها می‌توان استنباط نمود که افزایش دمای پیش‌گرم موجب افزایش سایش ساینده در مته‌ها گردیده است. میزان مجموع درصد وزنی عناصر آهن، آلومینیوم و کروم موجود بر روی سطح ۴ مته مورد استفاده در این بررسی در نمودار میله‌ای شکل ۱۲، نشان داده شده است.



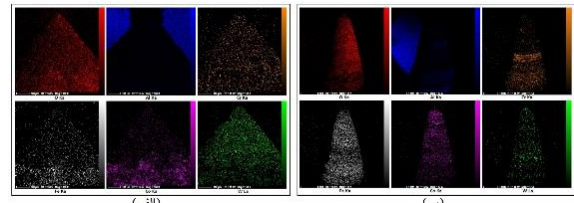
شکل ۱۲) مجموع درصد وزنی عناصر آهن، آلومینیوم و کروم موجود بر روی سطح ۴ مته مورد استفاده

نتیجه‌گیری

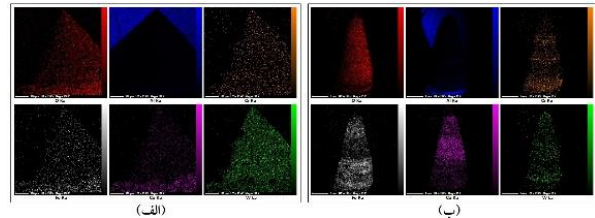
در این مقاله به بررسی اثر پیش‌گرمایش بر کیفیت اتصال و سایش ابزار در فرآیند سوراخکاری اصطکاکی پرداخته شد. نتایج آنالیز شیمیایی صفحه‌ای سطوح نواحی مختلف مته مبین انتقال بیشتر مواد از قطعه کار به سطح مته در دماهای پیش‌گرم بالاتر از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است به گونه‌ای که مجموع درصد وزنی عناصر انتقال یافته از قطعه کار به سطح مته در مته‌های مورد استفاده در دمای پیش‌گرم ۳۰۰ و ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به میزان ۱۱/۹۹ و ۱۳/۷۷ درصد بیشتر از مجموع درصد وزنی این عناصر بر روی سطح مته مورد استفاده در دمای محیط است. از سوی دیگر داده‌های حاصل از سنجش وزن مته نشان داد با افزایش دمای پیش‌گرم، کاهش وزن مته‌ها به صورت خطی افزایش یافته است که این کاهش وزن، برای مته مورد استفاده در دمای محیط، برابر ۰/۰۲ درصد و برای مته‌های مورد استفاده در حالت پیش‌گرم با دمای ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب برابر ۰/۱۴، ۰/۱۸ و ۰/۴۸ درصد است. لذا می‌توان نتیجه گرفت افزایش دمای پیش‌گرم، تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد، می‌تواند موجب افزایش سایش چسبنده مته، تا ۱۳/۷۷ درصد و سایش ساینده مته، تا ۰/۴۶ درصد، گردد.

مراجع

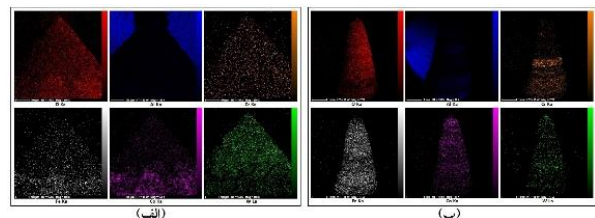
- 1- Martinsen K, Hu SJ, Carlson BE. Joining of dissimilar materials. *Cirp Annals*. 2015 Jan 1; 64(2):679-99.
- ۲- Kumar R, Hynes NR. Thermal drilling processing on sheet metals: A review. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*. 2019 Sep 1; 2(3):193-205.



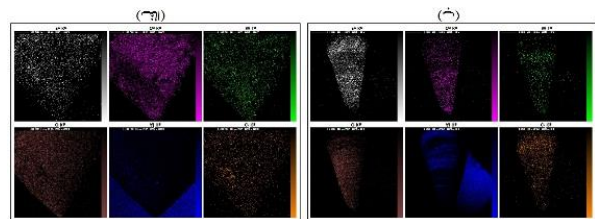
شکل ۸) آنالیز شیمیایی صفحه‌ای (Map) از ناحیه الف) رأس، ب) از ناحیه مخروط مته مورد استفاده در دمای محیط



شکل ۹) آنالیز شیمیایی صفحه‌ای (Map) از ناحیه الف) رأس، ب) از ناحیه مخروط مته مورد استفاده در دمای پیش‌گرم ۲۵۰°C



شکل ۱۰) آنالیز شیمیایی صفحه‌ای (Map) از ناحیه الف) رأس، ب) از ناحیه مخروط مته مورد استفاده در دمای پیش‌گرم ۳۰۰°C



شکل ۱۱) آنالیز شیمیایی صفحه‌ای (Map) از ناحیه الف) رأس، ب) از ناحیه مخروط مته مورد استفاده در دمای پیش‌گرم ۳۵۰°C

به منظور تعیین درصد وزنی عناصر و نتیجه‌گیری بهتر در خصوص وزن نهایی مته‌ها، هر سه ناحیه رأس، مخروطی و استوانه مته در هر ۴ مته مورد استفاده در این مطالعه، مورد آزمون آنالیز شیمیایی عنصری (EDS) قرار گرفت. بررسی درصد وزنی عناصر موجود بر روی سطح در چهار مته مورد استفاده در این تحقیق بیانگر آن است که میزان مجموع عناصر آهن، آلومینیوم و کروم بر روی مته استفاده شده در دمای پیش‌گرم ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۴/۳ درصد، کمتر از مته استفاده شده در دمای محیط بوده و همچنین میزان مجموع عناصر فوق در مته‌های استفاده شده در دمای پیش‌گرم ۳۰۰ و ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به میزان ۱۱/۹۹ درصد و ۱۳/۷۷ درصد بیشتر از این میزان در مته به کار گرفته شده در دمای محیط است که نشان می‌دهد انتقال مواد از قطعه کار به مته در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد اندکی کاهش داشته و با افزایش دما این روند به صورت خطی افزایش پیدا کرده است. با

- 3- Hynes NR, Kumar R. Simulation on friction drilling process of Cu2C. *Materials Today: Proceedings*. 2018 Jan 1;5(13):27161-5.
- 4- Dehghan S, Ismail MI, Ariffin MK, Baharudin BH. Friction drilling of difficult-to-machine materials: workpiece microstructural alterations and tool wear. *Metals*. 2019 Aug 29;9(9):945.
- 5- Urbikain G, Perez JM, López de Lacalle LN, Andueza A. Combination of friction drilling and form tapping processes on dissimilar materials for making nutless joints. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2018 May;232(6):1007-20.
- 6- Dehghan S, Ismail MI, Ariffin MK, Baharudin BT. Measurement and analysis of thrust force and torque in friction drilling of difficult-to-machine materials. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019 Dec;105:2749-69.
- 7- Abbasi R, Dehghan S, Loh-Mousavi M. Experimental investigation on friction drill joining of difficult-to-machine materials: a new methodology for joining of similar and dissimilar materials. *Welding International*. 2021 Sep 2;35(7-9):281-94.
- 8- Dehghan S, Abbasi R, Baharudin BH, Mousavi ML, Soury E. A novel approach to friction drilling process: Experimental and numerical study on friction drill joining of dissimilar materials AISI304/AL6061. *Metals*. 2022 May 27;12(6):920.
- 9- Azizi M, study on the effect of preheating technique on the improvement of the dissimilar materials joining (Al6061 / AISI304) using friction drilling Arak University Faculty of Engineering Department of Mechanical Engineering. Thesis for the Degree of MSc Summer 2022 Sep. (In Persian)
- 10- Dehghan S, Ismail MI, Ariffin MK, Baharudin BT. Experimental investigation on friction drilling of titanium alloy. *Eng Solid Mech*. 2018 Feb 18;6(2):135-42