مجله مهندسی ساخت و تولید ایران، مهر 1398، دوره 6، شماره 4، ص.ص. 1-6

ماه‌نامه علمی پژوهشی

مهندسی ساخت و تولید ایران

www.smeir.org

# بررسی تأثیر هندسه ابزار ماسوره‌ای در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم 6061-T6

**محمدکریمی‌ایوانکی[1]، داود افشاری[2*]، حسن صیدی[3]**

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه زنجان، زنجان

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه زنجان، زنجان

3- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان

* زنجان، صندوق‌پستی 4537138791، dafshari@znu.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 17 آبان 1397

پذیرش: 11 بهمن 1397

ارائه در سایت: شهریور 1398

**کلیدواژگان:**

جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی

آلومینیوم 6061-T6

ابزار ماسوره‌ای

استحکام مکانیکی

شکست

**چکیده**

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر استفاده از ابزار ماسوره‌ای بر روی خواص مکانیکی اتصال آلیاژ آلومینیوم 6061-T6 در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی می‌باشد. روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی یکی از روش‌های مناسب جوشکاری آلیاژهای آلومینیوم جهت کاهش عیوب جوش و افزایش استحکام اتصال می‌باشد. در این فرایند علاوه بر پارامترهای جوشکاری از جمله سرعت دورانی و سرعت پیشروی، نوع و هندسه ابزار نیز تأثیر بسیاری زیادی بر کیفیت و استحکام جوش دارد. در این مطالعه با استفاده از ابزار معمولی و ابزار ماسوره‌ای، تأثیر نوع ابزار و پارامترهای جوشکاری بر استحکام مکانیکی اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که ابزار ماسوره‌ای نسبت به ابزار معمولی کارایی و توانمندی بالاتری در اتصال این نوع آلیاژ دارد. از مهمترین ویژگی‌های این ابزار نسبت به ابزار معمولی امکان جوشکاری هر دو سمت ناحیه اتصال در یک مرحله از جوشکاری می‌باشد. همچنین از لحاظ استحکام مکانیکی اتصال، استفاده از ابزار ماسوره‌ای منجر به بهبود استحکام کششی اتصال و مقاومت به ضربه بهتر جوش شده است. بررسی تأثیر پارامترهای جوشکاری نشان می‌دهد که با افزایش سرعت دورانی ابزار از 900 به 1100 دور در دقیقه و نیز افزایش سرعت پیشروی ابزار از 25 به 32 میلی‌متر بر دقیقه استحکام برشی اتصالات افزایش یافته است.

# Investigation the effect of bobbin tool geometry in friction stir welding of aluminum alloy 6061-T6

**Mohammad Karimi Ivanaki[1], Davood Afshari[1*], Hassan Seidi[2]**

1- Department of Mechanical Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Takestan, Iran

* P.O.B. 4537138791 Zanjan, Iran, dafshari@znu.ac.ir

**Article Information**

Original Research Paper

Received 8 November 2018

Accepted 31 January 2019

Available August 2019

**Keywords:**

Friction Stir Welding

Aluminum Alloy 6061-T6

Bobbin Tool

Mechanical Strength

Fracture

**Abstract**

The purpose of this study is to investigate the effect of using bobbin tool on the mechanical properties of aluminum alloy 6061-T6 in friction stir welding. The friction stir welding method is one of the suitable process to welding aluminum alloys to reducing welding defects and increase joint strength. In this process, the welding parameters such as the rotational speed of tools and travel speed, beside the type and geometry of the tool also has a great effect on the quality and strength of the weld. In this study by using the typical tool and bobbin tool the effect of welding parameters on the mechanical strength of the welded joint are investigated. The results of this study show that the bobbin tool has a higher performance and capability in connection with this type of alloy. The main advantage of the bobbin tool is welding the both sides of the weld zone at one stage of the welding process compared to the typical tool. Also in terms of mechanical strength of connection, the use of bobbin tool has resulted in improving the tensile strength of the connection and resistance to a better impact. The effects of welding parameters show that by increasing the rotational speed of the device from 900 to 1100 rpm as well as increasing the travel speed of the tool from 25 to 32 mm/min of the joints shear strength has increased.

## 1- مقدمه

جوشکاری یکی از روش‌های ساخت قطعات موادی است که قابلیت تغییر فرم کمتری دارند و این امکان را فراهم می‌کند که قطعاتی با هندسه پیچیده ساخته شود. جوشکاری آلیاژهایی نظیر آلومینیوم و منیزیم با روش‌های متداول جوشکاری مانند قوسی بسیار مشکل است ولی این مواد را می‌توان با استفاده از روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی که یکی از انواع جوشکاری حالت جامد است به یکدیگر متصل کرد. امروزه از این روش جوشکاری در صنایع مختلف نظیر کشتی‌سازی، ساخت قطارهای فوق سریع و قطعات هواپیما استفاده می‌شود.

**برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:**

**Please cite this article using:**

M. K. Ivanaki, D. Afshari, H. Seidi, Investigation the effect of bobbin tool geometry in friction stir welding of aluminum alloy 6061-T6, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 6, No. 4, pp. 1-6, 2019 (in Persian)

در فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی ابزار جوشکاری که دارای یک شانه و یک پین است در طول خط جوش حرکت می‌کند، پین در درز اتصال وارد شده و حرکت چرخشی ابزار و شانه باعث تولید حرارت اصطکاکی می‌شود که منجر به نرم و خمیری شدن ناحیه اطراف پین می‌شود. اتصال جوش بوسیله حرکت ماده اغتشاشی از نقطه جلوی ابزار به نقطه انتهای ابزار انجام می‌شود که در شکل 1 شماتیکی از فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نشان داده شده است.

از پارامترهای مؤثر و اصلی در این فرایند می‌توان به نوع و هندسه ابزار، سرعت دورانی، سرعت پیشروی، نیرو و زاویه ابزار اشاره کرد. تاکنون مطالعات مختلفی در خصوص تأثیر پارامترهای جوشکاری و هندسه ابزار در این فرآیند انجام شده است. همچنین استفاده از ابزار ماسوره‌ای بعنوان یک ابزار مناسب در جوشکاری ضخامت‌های بالا توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. وانگ و همکاران [2] درهندسه ابزار ماسوره‌ای که در آن شانه فوقانی دارای سرعت چرخشی بالاتر نسبت به شانه تحتانی است دارای ثبات فرایندی بالا نسبت به نوع هندسه ابزار معمولی در جوشکاری آلیاژ آلومینیوم می‌باشد. همچنین این مطالعه نشان داد که شکل پذیری و روند جوش به مراتب بهتر شده و امکان دستیابی به اتصالات بدون نقص با این ابزار میسر می‌باشد. اسماعیلی و همکاران [3] دریافتند که در جوش اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم AA-6005-T4 سرعت جوشکاری در هندسه ابزار ماسوره‌ای به مراتب بالاتر از هندسه ابزار معمولی می‌باشد، همچنین استفاده از این ابزار پیک دمایی بالاتری را در زمان کمتری بوجود آورده و منجر به ریزساختار بهتر در منطقه اغتشاشی، افزایش میزان سختی و استحکام اتصال می‌شود.

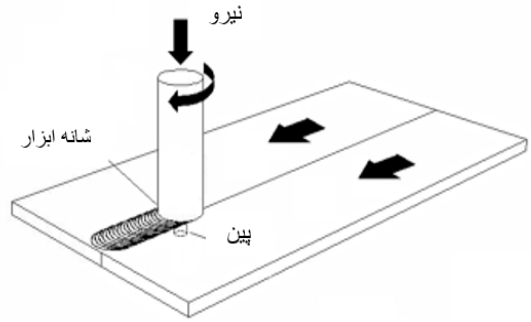


**Fig.1** Schematic of friction stir welding [1]

**شکل 1** شماتیکی از فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی [1]

ژانگ و همکاران [4] نشان دادند که درجوش اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم 2A14-T6 در سرعت‌های مختلف جوشکاری و نرخ‌های مختلف سرعت چرخشی ابزار ماسوره‌ای، بطور متوسط استحکام مکانیکی اتصال افزایش پیدا می‌کند. لی و همکاران [5] دریافتند که در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ منیزیم AZ31 با هندسه ابزار ماسوره‌ای نسبت به ابزار معمولی رفتار مکانیکی و متالورژیکی مناسبی را منجر شده و اندازه دانه و استحکام نهایی اتصال با نسبت سرعت چرخشی ابزار و سرعت پیشروی افزایش می‌یابد. هیلگرت و همکاران [6] با مدل سازی حرارتی هندسه ابزار ماسوره‌ای در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نشان دادند که با توجه به دارا بودن دو شانه و نحوه وارد شدن و تماس با قطعه کار دمای جوش نسبت به هندسه ابزار معمولی بالاتر بوده که باعث افزایش استحکام مکانیکی می‌گردد. همچنین در این فرایند با هندسه ابزار ماسوره‌ای نسبت سرعت جوشکاری به سرعت چرخشی ابزار در اصطکاک تولیدی و حرارت مؤثر می‌باشد. راگورامان و همکاران [7] در مقاله‌ای به بررسی تأثیرات هندسه ابزار بر فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم 6061 و منیزیم دریافتند که مهمترین پارامتر در دستیابی به رفتار مکانیکی مناسب هندسه ابزار و ویژگی‌های آن می‌باشد که نقش مؤثری را در بهبود خواص مکانیکی همچنین استحکام و شکست را دارد.

## 2- بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

در این پژوهش از هر دو ابزار ماسوره‌ای و معمولی جهت جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم 6061-T6 استفاده شده است. جوشکاری نمونه‌ها با استفاده از پارامترهای مختلف جوشکاری انجام شده و کیفیت و استحکام مکانیکی اتصال مورد ارزیابی قرار گرفته است. از تست‌های کشش و ضربه جهت بررسی استحکام مکانیکی اتصال جوش استفاده شده و پارامترهای مناسب جوشکاری با استفاده از ابزار ماسوره‌ای ارائه شده است. هندسه ابزار ماسوره‌ای مورد استفاده توسط نویسندگان مقاله پیشنهاد می‌شود که منجر به دستیابی جوش با کیفیت مناسب و استحکام مکانیکی بالاتر همچنین جوشکاری هر دو ناحیه اتصال در یک مرحله از جوشکاری نسبت به ابزار معمولی شده است.

## 3- روش تحقیق

در این مطالعه از آلیاژ آلومینیوم 6061-T6 به ضخامت 6 میلی‌متر و ابعاد 100×250 میلی‌متر برای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی استفاده شده است. مشخصات مکانیکی این آلیاژ در جدول 1 ارائه شده است.

**جدول 1** مشخصات مکانیکی آلیاژ آلومینیوم 6061-T6

**Table 1** Mechanical properties of aluminum alloy 6061-T6

| انعطاف پذیری (%) | حداقل تنش تسلیم ( Mpa) | حداقل استحکام کششی ( Mpa) |
|---|---|---|
| 8 | 242 | 280 |

نمونه‌های بریده شده به منظور تمیزکاری قبل از جوشکاری ابتدا سنباده‌زنی و شستشو شده و سپس به منظور حذف چربی و آلودگی‌های سطحی ورق‌ها در محلول استن و الکل تمیزکاری شده‌اند.

برای ساخت ابزارها از فولاد گرم کار H13 که یکی از رایج‌ترین نوع ابزار در جهت جوشکاری ورق‌های آلیاژ آلومینیوم به روش اصطکاکی اغتشاشی می‌باشد، استفاده شده است. پس از ماشینکاری ابزارها از عملیات حرارتی جهت افزایش سختی استفاده شده و سختی ابزارها تا حدود HRC 54-52 افزایش پیدا کرده است، که ابزارهای مورد استفاده در این مطالعه و مشخصات هندسه آنها در شکل 2 و جدول 2 ارائه شده است.

برای انتخاب پارامترهای مناسب جوشکاری ابتدا با سعی و خطا و تغییر پارامترهای مختلف امکان‌پذیری اعمال این فرایند بر روی ورق‌های آلومینیوم 6061-T6 مورد بررسی قرار گرفت.

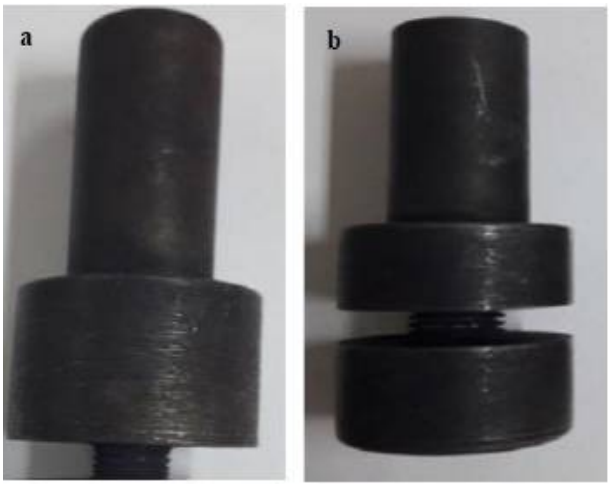


**Fig. 2** The manufactured tools, a) Typical tool b) Bobbin tool

**شکل 2** ابزارهای ساخته شده، a) ابزار معمولی b) ابزار ماسوره‌ای

**جدول 2** هندسه ابزارهای ساخته شده

**Table 2** The tools geometry

| نوع ابزار | قطرشانه (mm) | | ارتفاع شانه (mm) | | قطرپین (mm) | ارتفاع پین (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | پایینی | بالایی | پایینی | بالایی | | |
| ماسوره‌ای | 30 | 30 | 25 | 20 | 12 | 5/8 |
| معمولی | 30 | | 30 | | 10 | 5/7 |

برای این کار محدودهٔ نسبتاً گسترده‌ای از سرعت دورانی و پیشروی و عمق نفوذ در ابزار معمولی و ماسوره‌ای انتخاب شدند و ترکیب تصادفی این پارامترها به عنوان پارامترهای جوشکاری انتخاب شدند و مورد بررسی قرار گرفتند. جدول 3 پارامترهای جوشکاری مورد استفاده در این مطالعه را نمایش می‌دهد.

با مشخص شدن محدوده پارامترهای قابل قبول جوشکاری، جوشکاری نمونه‌های آماده شده با استفاده از فیکسچر نشان داده شده در شکل3 انجام شده است. با توجه به نیرو و گشتاور بالایی که در حین انجام فرایند جوشکاری به ورق‌ها وارد می شود طراحی و قابلیت فیکسچر از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد، از اینرو فیکسچری طراحی شده که پاسخگوی هر دو فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی با ابزار معمولی و ماسوره‌ای باشد.

**جدول 3** پارامترهای جوشکاری مورد استفاده

**Table 3** The welding parameters

| شماره آزمایش | سرعت‌پیشروی (mm/min) | سرعت دورانی (RPM) | نوع ابزار |
|---|---|---|---|
| 1 | 25 | 900 | ماسوره‌ای |
| 2 | 32 | 900 | |
| 3 | 25 | 1100 | |
| 4 | 32 | 1100 | |
| 5 | 25 | 900 | معمولی |
| 6 | 32 | 900 | |
| 7 | 25 | 1100 | |
| 8 | 32 | 1100 | |

**Fig. 3** The welding samples in the fixture

**شکل 3** قرارگیری نمونه‌های جوشکاری در فیکسچر

برای بررسی استحکام مکانیکی نمونه‌های جوشکاری شده، تست کشش و ضربه بر روی نمونه‌ها انجام شده است. برای تست

کشش نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM-E8 [8] عمود برخط اتصال با وایرکات بریده شده و آماده‌سازی شده‌اند. تمامی نمونه‌ها به وسیله‌ی دستگاه کشش سنتام مدل STM-250 با نرخ کرنش 2 میلی‌متر بر دقیقه در دمای اتاق تحت آزمایش کشش قرار گرفتند.

در این پژوهش از دستگاه ضربه و تست شارپی برای تست ضربه نمونه‌های جوشکاری شده استفاده شده است. ابعاد نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM-A370 [9] آماده شده و تست با استفاده از یک پاندول با نیرویی معادل 200 ژول که از یک ارتفاع و زاویه مشخص رها می‌شود انجام شده است. پس از اصابت پاندول به نمونه و شکست آن پاندول تا یک ارتفاع ثانویه بالا می‌رود و مقدار انرژی شکست مشخص می‌شود. همچنین پس از انجام تست ضربه نمونه ها از نظر ظاهر مقطع شکست جهت بررسی ترد یا نرم بودن شکست مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. شکل 4 نمونه‌های آماده شده برای تست کشش و ضربه را نمایش می‌دهد.

**Fig. 4** The prepared samples for the tensile and Charpy impact tests

**شکل 4** نمونه‌های آماده شده تست کشش و تست ضربه

## 4- بحث و نتایج

همان‌طور که ذکر شد؛ جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نمونه‌های آماده شده با استفاده از هر دو ابزار معمولی و ماسوره‌ای با پارامترهای ارائه شده در جدول 3 انجام شده است. بررسی نمونه‌های جوشکاری شده نشان می‌دهد که استفاده از ابزار ماسوره‌ای نسبت به ابزار معمولی منجر به سهولت انجام فرایند جوشکاری شده و ظاهر جوش نیز از کیفیت بهتری برخوردار شده است که در شکل 5 مشخص می‌باشد. دلیل این امر می‌تواند در تماس ابزار ماسوره‌ای از هر دو سمت ناحیه اتصال باشد و در نتیجه منجر به ایجاد گرمای بیشتری در ناحیه اتصال شود، بطوریکه در ابزار ماسوره‌ای در یک مرحله جوشکاری هر دو سمت ناحیه اتصال که سطح بالا و پایین قطعه کار با کیفیت یکسان جوشکاری شده، ولی در ابزار معمولی فقط یه سمت ناحیه اتصال جوشکاری می‌شود، همچنین جوشکاری با ابزار ماسوره‌ای در مقایسه با ابزار معمولی مطابق شکل 5 منجر به برطرف شدن نقص جای‌خالی پین در انتهای جوش در ناحیه اتصال قطعه کار شده است که یکی از مهمترین مزایا این روش از جوشکاری با ابزار دوطرفه ماسوره‌ای در برابر ابزار معمولی می‌باشد، قابل ذکر است که استفاده از ابزار ماسوره‌ای بدلیل تماس شانه‌های ابزار با دو طرف قطعه‌کار حرارت اصطکاکی بالاتری تولید شده که می‌تواند بسیار مناسب جهت جوشکاری سطوح و قطعه‌کارهای با ضخامت بالا واقع شود.

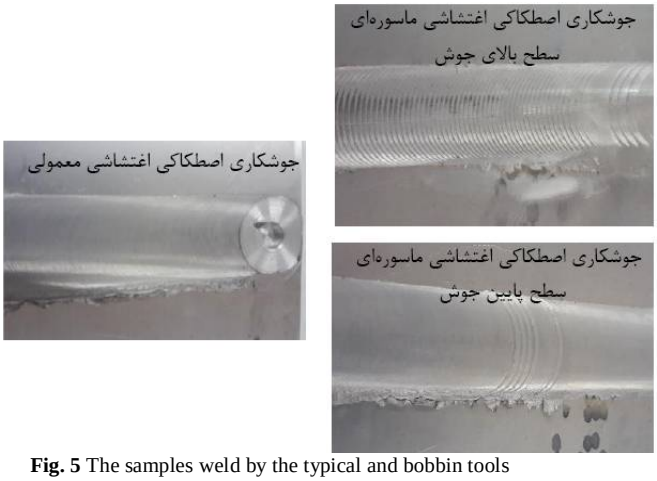


**Fig. 5** The samples weld by the typical and bobbin tools

**شکل 5** نمونه‌های جوشکاری شده با ابزار ماسوره‌ای و معمولی

بررسی نتایج بدست آمده از تست‌های کشش و ضربه نیز نشان می‌دهد که نمونه‌های جوشکاری شده با استفاده از ابزار ماسوره‌ای دارای استحکام مکانیکی بهتری نسبت به نمونه‌های جوشکاری شده با استفاده از ابزار معمولی می‌باشند. همان‌طور که در شکل‌های 6 و 7 مشخص است، با استفاده از پارامترهای جوشکاری یکسان، نمونه‌های جوشکاری شده با استفاده از ابزار ماسوره‌ای استحکام کششی بهتری درتست کشش داشته‌اند، همچنین نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که اگرچه با افزایش سرعت دورانی ابزار از 900 به 1100 دور در دقیقه و سرعت پیشروی ابزار از 25 به 32 میلی‌متر بر دقیقه استحکام کششی نمونه‌ها در هر دو ابزار افزایش یافته است؛ ولی استفاده از ابزار ماسوره‌ای در مقایسه با ابزار معمولی منجر به افزایش 20 درصدی استحکام کششی اتصال شده که به مراتب بالاتر از ابزار معمولی می‌باشد.

شکل 8 نمونه‌های جوشکاری شده شکسته شده در تست کشش را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود محل شکست در نمونه‌هایی که با استفاده از ابزار معمولی جوشکاری شده‌اند، که با خطوط قرمز مشخص شده است، دقیقاً از محل جوش بوده که به لحاظ رفتار شکست در

جوش از حساس‌ترین ناحیه شکست اتفاق افتاده است. ولی در ابزار ماسوره‌ای شکست نزدیک به فلز پایه صورت گرفته که به لحاظ رفتار شکست و محل شکست نمونه‌ها نیز ابزار ماسوره‌ای قابلیت اطمینان بالاتری را نسبت به ابزار معمولی برخوردار می‌باشد، می‌توان گفت استحکام کششی نمونه‌های جوشکاری با ابزار ماسوره‌ای با توجه به نتایج خواص مکانیکی نزدیک به فلز پایه می‌باشد.

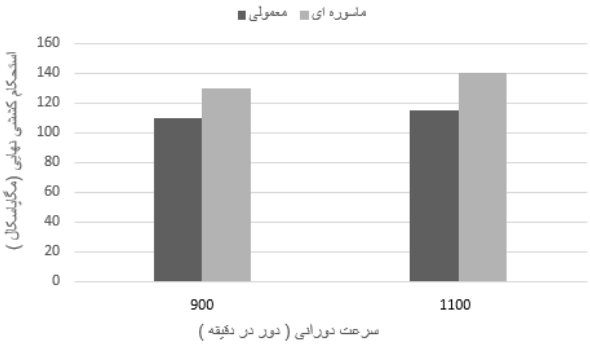


**Fig. 6** The effect of the rotational speed on the tensile strength

**شکل 6** تأثیر سرعت دورانی در ابزار معمولی و ماسوره‌ای بر استحکام کششی

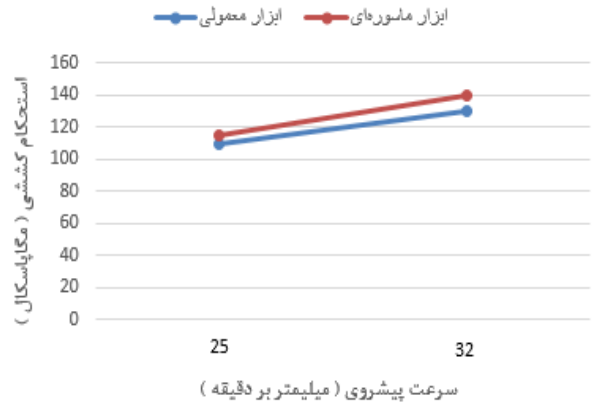


**Fig. 7** The effect of the travel speed on the tensile strength

**شکل 7** تأثیر سرعت پیشروی در ابزار معمولی و ماسوره‌ای بر استحکام کششی

**Fig. 8** The fractured samples under the tensile test

**شکل 8** نمونه‌های شکسته شده در تست کشش

آزمایش‌های کشش و فشار با همه اهمیت خود نمی‌توانند رفتار فلزات را در اثر بارهای ضربه‌ای تعیین کنند، بنابراین برای پی‌بردن به قابلیت جذب انرژی اتصال جوشکاری شده از آزمایش ضربه استفاده می‌شود. از اهداف انجام تست ضربه می‌توان به تعیین مقاومت ماده در برابر ضربه، بررسی اثر دما بر مقاومت ضربه، بررسی درجه حساسیت مواد به شکاف (ناچ v شکل)، کمک به انتخاب صحیح مواد در شرایط دارای تنش و دمای مشخص، تعیین چقرمگی و تخمین و طبقه‌بندی رفتار شکست ترد اشاره کرد. همچنین خصوصیات سطح مقطع شکست و انرژی شکست یکی از مهمترین نتایج حاصل از این تست می‌باشد که در این پژوهش به بررسی آن پرداخته شده است.

در شکل 9 نتایج بدست آمده از تست ضربه ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است؛ استفاده از ابزار ماسوره‌ای منجر به افزایش انرژی شکست در نمونه‌های جوشکاری شده می‌گردد. با توجه به افزایش سرعت چرخشی ابزار از 900 به 1100 دوردر دقیقه همانند نتایج تست کشش، انرژی شکست در هر دو حالت افزایش یافته است و نتایج در ابزار دوطرفه یا ماسوره‌ای رضایت بخش‌تر می‌باشد.

یکی از مسائل مهم در صنعت و بویژه در حوزه جوشکاری که باعث بروز خسارات زیادی می‌شود شکستن قطعات بر اثر تردی جنس آنها می‌باشد، از اینرو مطالعه شکست و عوامل آن می‌تواند بسیار مؤثر واقع گردد. شکست ترد ظاهری دانه‌دانه روشن یا کریستالی دارد و شکست نرم ظاهری ریشه‌ای یا الیاف مانند و از لحاظ سطح مقطع شکست، از نظر شکل مود شکست متفاوت می‌باشند. شکل 10 سطح مقطع نمونه‌های جوشکاری شده پس از شکست در تست ضربه را نمایش می‌دهد.

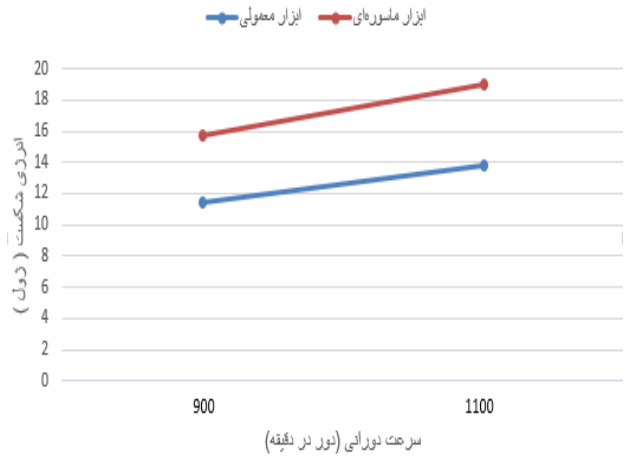


**Fig. 9** The effect of the rotational speed on the failure energy

**شکل 9** تأثیر سرعت دورانی در ابزار معمولی و ماسوره‌ای بر انرژی شکست

**Fig. 10** The fractured samples under the Charpy impact test

**شکل 10** سطح مقطع نمونه‌های شکست حاصل از تست ضربه

همان‌طور که در این شکل مشخص می‌باشد، هرچند شکست حاصل از تست ضربه در نمونه اول جوشکاری شده با استفاده از ابزار معمولی شکست از نوع مود دوم شکست بوده ولی در نمونه دوم ابزار معمولی از نوع اول مود شکست می‌باشد. اما درخصوص نمونه‌های جوشکاری شده توسط ابزار ماسوره‌ای مشاهده می‌شود که به دلایلی نظیر استحکام و انرژی شکست بالاتر هندسه شکست بصورت تخت می‌باشد و به لحاظ ساختار و رفتار شکست در نتایج مستخرج شده جوشکاری آلیاژ آلومینیوم 6061-T6 با ابزار ماسوره‌ای رفتار مکانیکی به مراتب ایده‌آل‌تر را در شرایط و پارامترهای یکسان در مقایسه با ابزار معمولی از خود نشان داده است.

## 5- نتیجه‌گیری

در این مطالعه تأثیر استفاده از ابزار ماسوره‌ای و معمولی در جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی آلیاژ آلومینیوم 6061-T6 مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که:

- استفاده از ابزار ماسوره‌ای منجر به سهولت انجام جوشکاری نمونه‌ها و ظاهر جوشکاری مناسب تر در ناحیه اتصال شده است.
- استفاده از ابزار ماسوره‌ای منجر به جوشکاری هر دو سمت ناحیه اتصال در یک مرحله از فرایند جوشکاری شده است.
- با افزایش سرعت دورانی ابزار از 900 به 1100 دور در دقیقه و افزایش سرعت پیشروی ابزار از 25 به 32 میلی‌متر بر دقیقه استحکام کششی نمونه‌ها در هر دو حالت استفاده از ابزارها افزایش یافته است.
- استفاده از ابزار ماسوره‌ای منجر به افزایش قابل ملاحظه استحکام کششی نمونه‌های جوشکاری شده نسبت به ابزار معمولی شده است.
- نتایج آزمون ضربه نشان می‌دهد که انرژی شکست در نمونه‌های جوشکاری شده توسط ابزار ماسوره‌ای بهبود پیدا کرده است. همچنین بررسی سطح مقطع نمونه‌های شکسته شده نشان می‌دهد که استفاده از ابزار ماسوره‌ای منجر به ایجاد یک سطح مقطع تخت در ناحیه شکست شده است.

## 6- مراجع


[1] N.T. Kumbhar, K. Bhanumurthy, Friction stir welding of Al 6061 Alloy, *Material Science Devision*, No. 36, pp. 63-74, 2008.

[2] F.F. Wang, W.Y. Li, J. Shen, Q.Wen, J.F. Dos santos, Improving weld formability by a novel dual-rotation bobbin tool friction stir welding, *Journal of Materials Science & Technology*, No. 145, pp. 118-129, 2017.

[3] M. Esmaily, N. Mortazavi, W. Osikowicz, H. Hindsefel, J.E. Svensson, M. Halvarsson, J. Martin, L.G. Johansson, Bobbin and conventional friction stir welding of thick extruded AA6005-T6 profiles, *Material and design*, No. 108, pp. 114-125, 2016.

[4] Huijie Zhang, Min Wang, Xiao Zhang, Guangxin Yang, Microstructural characteristics and mechanical properties of bobbin tool friction stir welded 2A14-T6 aluminum alloy, *Material and Design*, No. 102, pp. 559-566, 2015.

[5] W.Y. Li, T. Fu, L. Hutsch, J. Hilgert, F.F. Wang, J.F. Dos santos, N.Huber, Effects of tool rotational and welding speed on microstructure and mechanical properties of bobbin-tool friction stir welded Mg AZ31, *Material and design*, No. 98, pp. 714-720, 2014.

[6] J. Hilgert, H.N.B. Schmidt, J.F. dos Santos, N. Huber, Thermal models for bobbin tool friction stir welding, *Journal of Materials Processing Technology*, No. 98, pp. 197–204, 2011.

[7] D.Raguraman, D.Murugan,L. A.Kumaraswam, study of tool geometry on friction stir welding of AA 6061 and Mg AZ61, *Journal of Mechanical and Civil Enginering*, No. 42, pp. 63–69, 2014.

[8] ASM Handbook, (2000) *Mechanical Testing and Evaluation Hardness testing*, ASM International, Vol. 8, p. 163.

[9] ASM Handbook, (2000) *Mechanical testing and evaluation charpy impact testing*, ASM International, Vol. 221, p. 78.