Mechanics of Advanced and Smart Materials Journal

http://masm.araku.ac.ir

ISSN: 2783-4220

Analysis of mechanical and structural performance of AA5052/AA1200 dissimilar aluminum alloy joints produced by FSW and GTAW processes

Hamidreza Rezaei Ashtiani [a*], Davood Bagheri [a]

[a] Department of Mechanical Engineering, School Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran

Original Article

Use your device to scan and read the article online

Citation: Ashtiani H R, Bagheri D. Analysis of mechanical and structural performance of AA5052/AA1200 dissimilar aluminum alloy joints produced by FSW and GTAW processes. Mechanics of Advanced and Smart Materials. 2026;5(4):619-637.

10.22034/masm.2026.741608

KEYWORDS

FSW,
GTAW,
AA5052,
AA1200,
Mechanical Properties,
Microstructure.

ABSTRACT

Achieving appropriate bond strength between two or more sheets of different alloys is of particular importance. Conventional methods for producing bimetallic sheets include fusion welding processes such as gas tungsten arc welding (GTAW) or (TIG) and friction stir welding (FSW). This study investigates the mechanical properties and microstructure of bimetallic samples made from dissimilar aluminum alloys AA5052 and AA1200 joined by GTAW and FSW. Mechanical tests showed that in FSW samples, rupture occurred in the weld zone, whereas in TIG samples, fracture occurred in the base metal. Microhardness tests indicate higher hardness in the weld zone of GTAW (TIG) samples due to the use of 5356 ER filler compared to FSW. Finally, tensile test analysis and comparison determined that the TIG method outperformed FSW for joining some sheets.

Extended Abstract

1.Abstract

The increasing demand for lightweight structures with superior mechanical performance has significantly expanded the application of aluminum alloys in transportation, aerospace, marine engineering, packaging, and structural industries. Aluminum metal has a special place in various industries, including automotive, aerospace, construction, and packaging, due to its special properties. With the increasing need to produce parts with varying mechanical and functional properties across different sectors of industry, joining bimetallic samples of different aluminum alloys has become particularly important. This type of connection allows the combination of various properties, such as high strength, desirable ductility, and corrosion resistance, in a single part, thereby optimizing performance, reducing weight, and saving costs [1]. One of the common methods of fusion welding is arc welding with a non-consumable electrode or TIG. This method is widely used due to its high accuracy, good surface quality, and low defect rate. In this process, welding is carried out by the heat

* Corresponding author.
E-mail address: hr_rezaei@arakut.ac.ir
DOI: 10.22034/masm.2026.741608
Received: 29 July, 2026; Received in revised form: September 02, 2026; Accepted: September 18, 2026.
© Author

generated by an electric arc between a non-consumable electrode made of tungsten (or its alloy) and the workpiece. The electrode, arc, and molten pool area are protected from the atmosphere by a shielding gas (argon, helium, a mixture of both gases, or a mixture of either gas with hydrogen gas) [2]. Friction stir welding is one of the most common solid-state welding methods for thin-walled metals. This welding method is used to join parts in the solid state, in which a hot-work tool steel such as H13 can be used with a rotating motion to generate friction and the resulting heat and plastic deformation at the welding position. In the friction stir welding process, the two metals to be joined are placed firmly together, and the tool pin enters the joint line of the two metals and, with rotation, travels the length of the joint line, while the tool shoulder is also inserted into the sheets to a certain depth. The concentrated heat from friction softens the metal and alloy materials around the pin, which, as the pin rotates, moves the material from the front of the pin to the back of the pin, forming a joint. The weld obtained from this method is of high quality and is cost-effective for mass production. The advantages of friction stir welding include high energy efficiency and low energy consumption compared to other welding methods, and the ability to weld metals with very low thicknesses. Since no shielding gas or filler metal is used in this process, it is known as a green technology [3]. Many researchers have investigated and evaluated the mechanical properties and metallurgical structure of samples welded by friction stir welding of metals and aluminum alloys [4-19]. In a study conducted to investigate the effect of friction stir welding parameters on the mechanical properties and microstructure of dissimilar welds of AA6061 and AA5052 aluminum alloys, the effects of various parameters, including rotational speed, feed rate, axial force, and deflection angle, were investigated, and the results related to mechanical properties indicated an improvement in mechanical properties in the weld area compared to adjacent areas [7]. In another study of bimetallic AA2024-AA6056 samples joined by FSW, the resulting weld strength was 90% of the AA6056 base metal and 56% of the AA2024 alloy [10]. Studies on the heterogeneous joining of AA5052-H32 and AA6061-T6 alloys by friction stir welding (FSW) using an SC interlayer show that this layer, by facilitating plastic flow and its symmetrical distribution in the joint area, leads to microstructure modification and ultimately improvement of the mechanical properties of the weld [12]. In a study conducted on the welding of AA2024 & AA7075 duplex samples by FSW, it was determined that the strength and hardness in the weld area are lower than the base metals [15]. The results of studies on the mechanical properties of TWB samples with AA1050 - AA5083 alloys using welding tools with two different threads (triangular and cylindrical) showed that increasing the linear speed increases the UTS, and increasing the rotational speed reduces the UTS [16]. Some researchers have also studied the mechanical properties and metallurgical structure of welded samples using TIG welding of aluminum alloys [20-22].

Research conducted on the effect of effective parameters on welding, such as current intensity, in welding AA6061 aluminum samples using the TIG method showed that the highest tensile strength is achieved at a current intensity of 160 amperes and the highest bending strength is achieved at 190 amperes. Also, the structure and grain size were better at 160 amperes than at 180 and 190 amperes [20]. In 2020, the results of a study conducted to investigate the mechanical properties, corrosion, and microstructure of 10 mm thick bimetallic samples with AA2024 and AA6063 alloys that were connected by TIG welding showed that the tensile strength increases with increasing current intensity, exhaust gas rate, and voltage used [21]. A detailed study of the metallurgical properties and tensile behaviors of TIG welded joints on AA2219 alloy shows that with optimal management of the arc current and gas protection system, a coherent structure can be achieved that, in addition to significantly reducing solidification defects such as porosity and cracking, improves the ultimate tensile strength in the weld zone [22]. Some researchers have also studied and compared the results of TIG and friction stir welding on the mechanical properties and metallurgical structure of welded aluminum alloy samples [23-29].

Considering the increasing importance of using bimetallic parts in industry and the way metal sheets are joined together by various welding methods, especially fusion and solid-state welding, this research investigates the mechanical properties such as tensile strength, hardness, and microstructure of bimetallic sheets of aluminum alloy AA5052-AA1200 that are joined together by friction stir welding and TIG methods. For this purpose, the optimal parameters of FSW and TIG welding are determined first. For this purpose, by conducting various initial tests, the optimal parameters of friction stir welding including rotational speed, linear speed, deflection angle and tool shoulder depth and the optimal parameters of TIG welding including current intensity, filler type and diameter were selected, and the optimal weld was performed by selecting the appropriate levels of process parameters of each welding method, and the mechanical and microstructural properties of the welds were evaluated and analyzed.

1. Materials and Experimental Procedure

A sample of non-homogeneous aluminum alloys, including AA5052 and AA1200 with a thickness of 2 mm, was selected for the experiment. After that, a bimetal sample consisting of AA5052 & AA1200 alloys welded by FSW and TIG methods was also prepared for examination and comparison with the base alloys. Tables 1 and 2 show the chemical composition of the aluminum alloys used, and Figure 1 shows their metallurgical structure. As can be seen, the average grain size of the AA1200 alloy is 30 to 40 microns, and that of the AA5052 alloy is 40 to 50 microns.

Table 1 Chemical composition of AA5052 alloy

Mg	Cr	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Others	Al
2.2-2.8	0.15-0.35	< 0.25	< 0.4	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.15	Rem

Table 2 Chemical composition of AA1200 alloy

Si+Fe	Cu	Mn	Zn	Ti	Others	Al
< 1	< 0.05	< 0.05	< 0.1	< 0.05	< 0.15	Rem

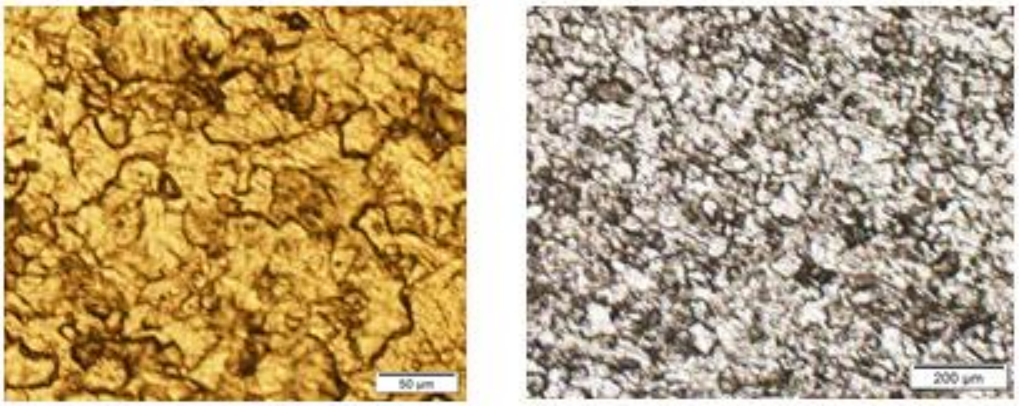


Figure 1. Metallurgical structure of (a) AA1200 aluminum and (b) AA5052 aluminum.

The joining process of the samples in this study was carried out manually using two welding methods: TIG and FSW. In the TIG welding section, process variables including current intensity in the range of 100 to 120 amperes and the diameter of the filler used were considered as factors affecting the quality of the joint. Regarding friction stir welding, based on previous findings, the main parameters, including rotational speed (1200, 1600 and 2000 rpm), linear tool movement speed (8, 12 and 20 mm/min) and tool deflection angles (in the range of 1 to 2 degrees), were carefully evaluated. The joining of the samples by the friction stir method is carried out after the sheets are placed in a special fixture and using special tools. Friction stir welding was carried out using a milling machine, and TIG welding was carried out using an AC welding machine. The image and geometry of the tool used in FSW welding are shown in Figure 2. For the sake of brevity in naming the samples, a combination of letters and numbers has been used. A guide to these symbols and how to interpret them is provided in Table 3.

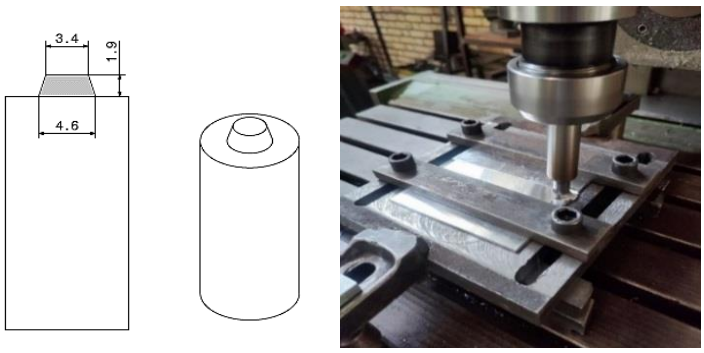


Figure 2. Schematic of the tool used in FSW welding.

In the TIG welding process, welding current, filler composition, and filler diameter were systematically optimized. Several current levels between 100 and 120 A together with different filler wire diameters were examined experimentally. The best overall joint quality was achieved using a welding current of 120 A and an

ER5356 aluminum filler wire with a diameter of 2.4 mm**.** The ER5356 filler was selected because its relatively high magnesium content improves compatibility with AA5052 and contributes to enhanced weld strength through solid-solution strengthening and the formation of strengthening Mg-containing phases within the fusion zone.

Following welding, specimens were prepared according to relevant ASTM standards for mechanical testing. Uniaxial tensile tests were performed under displacement-controlled loading with a crosshead speed of 1 mm min^{-1} to evaluate ultimate tensile strength, yield behavior, ductility, and fracture location. In addition to tensile testing, the toughness of the joints was determined through analysis of the stress–strain curves by calculating the absorbed deformation energy, providing a more comprehensive assessment of the energy absorption capability of each welded configuration.

Microhardness measurements were carried out using a Vickers microhardness tester under a load of 100 gf with a dwell time of 30 s. Hardness profiles were obtained across the entire joint cross-section, including the base metal (BM), heat-affected zone (HAZ), thermo-mechanically affected zone (TMAZ), and weld zone (WZ). These measurements enabled quantitative evaluation of local strengthening or softening phenomena induced by the different welding processes and facilitated correlation between hardness variations and microstructural evolution.

To investigate metallurgical transformations, optical microscopy was employed after standard metallographic preparation, including grinding, polishing, and chemical etching. The microstructures of the base metals, weld center, and adjacent regions were systematically examined to identify grain morphology, grain refinement, dendritic solidification patterns, recrystallization behavior, and the extent of heat-affected regions. Particular attention was devoted to comparing the characteristic microstructures produced by solid-state and fusion welding. While friction stir welding is expected to generate fine equiaxed recrystallized grains due to intense plastic deformation, TIG welding generally produces coarse dendritic solidification structures associated with melting and subsequent solidification. These fundamentally different metallurgical mechanisms are anticipated to play a decisive role in determining the mechanical performance of the welded joints.

2. **Results and Discussion**

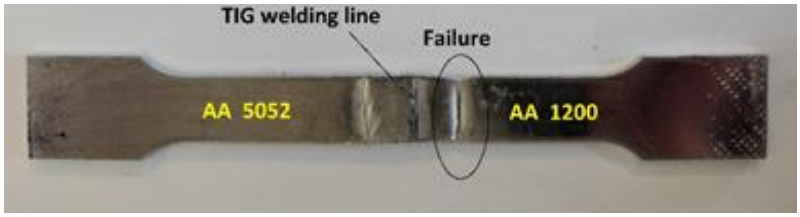
To evaluate the effect of parameters affecting the quality of the joint in the friction stir welding process (Figure 3), a series of preliminary experiments were first conducted by changing parameters such as tool rotation speed, feed rate, deflection angle, and tool penetration depth. Based on the results, the optimal welding conditions were selected, including a rotation speed of 1600 rpm, a feed rate of 12 mm/min, and a tool deflection angle of 1.5 degrees. During the friction stir welding process, the AA5052 alloy part was positioned on the advancing side (AS) and the AA1200 part on the retreating side (RS) with respect to the tool movement direction. In order to determine the appropriate conditions in the TIG welding process, preliminary experiments were also conducted by changing the current intensity, type of welding wire, and its diameter. The results of these studies showed that using a current intensity of 120 amperes and a 5356 aluminum filler with a diameter of 2.4 mm provided the best joint quality. The images of the final samples obtained from the two frictions stir welding methods, TIG and FSM, are presented in Figure 4. The tensile test results showed that in the samples produced by the friction stir welding method, rupture occurred in the joint area. This indicates that the mechanical properties of the joint produced have decreased significantly compared to the base metals. This loss of strength can be attributed to the presence of inherent defects in the welding process and other factors affecting the quality of the joint. In contrast, examination of the TIG-welded sample after the tensile test showed that the rupture location occurred neither in the weld area nor in the AA5052 alloy, but in the section related to the AA1200 alloy. This result indicates the appropriate strength of the weld zone and the desired performance of the AA5052 alloy in the joint (Figure 5). Also, according to the stress-strain diagram presented in Figure 6, the AA5052 alloy withstands the highest stress, equivalent to 273 MPa, and at the same time has a relatively high strain. This behavior indicates the desired toughness and ductility of this alloy. In contrast, the lowest strength was associated with the samples welded by the friction stir welding (FSW) method, which showed a weaker mechanical performance compared to the other samples.



Figure 4. Sample welded using (a) FSW and (b) TIG methods



(a)



(b)

Figure 5. Failure location of welded samples (a) F1-5 and (a) T1-5 after tensile testing.

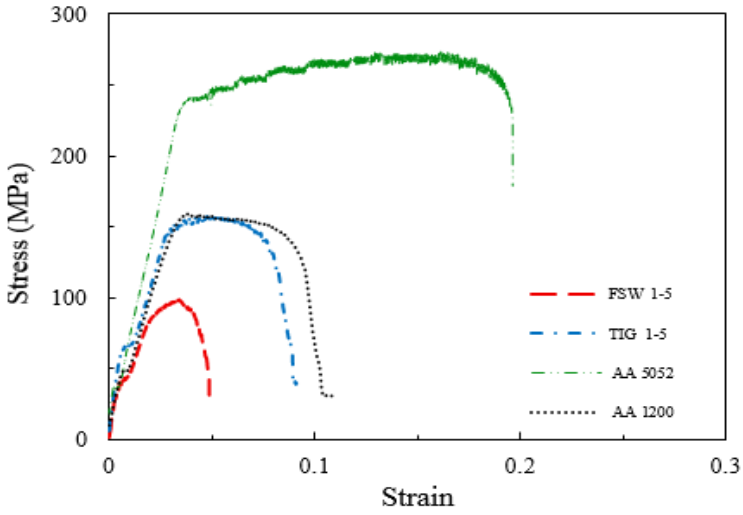


Figure 6. Examination of stress-strain diagrams of AA5052/AA1200 sample before and after various welding processes.

By examining Figure 7 and the strength graph of the samples, it is obvious that the base alloy AA5052 has the highest strength among all the samples, showing values of 273 MPa and 260 MPa, respectively. This indicates the superiority of this alloy over other alloys. In the end, it can be concluded that the samples welded using the TIG method performed better than the samples welded using the FSW method.

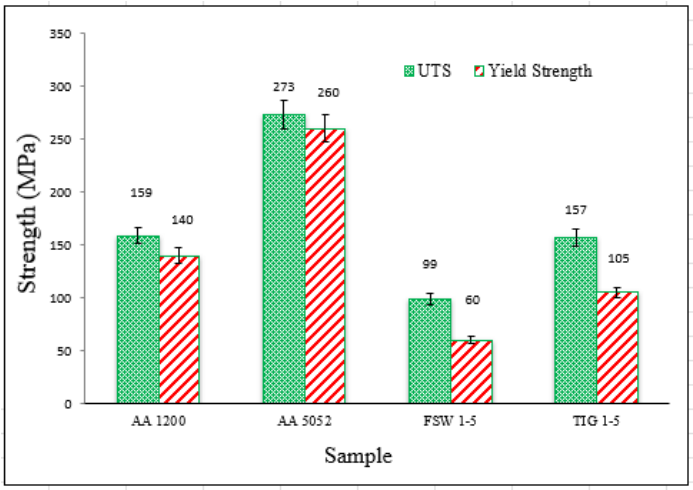


Figure 7. Comparison of the strength of samples welded using FSW and TIG methods with base alloys.

Based on the analysis of the data presented in the graph of Figure 8, the toughness of the base alloys and joints obtained by the two welding methods, FSW and TIG, was evaluated. The results indicate that the AA5052 alloy has the highest level of toughness, reaching a value of 203 kJ/m3, which indicates the high ability of this alloy to absorb energy and withstand impact; an indicative feature that makes it an ideal option for industrial applications under heavy loads. In contrast, the lowest toughness values were observed in the sample welded with the parameter F1-5, which indicates the negative effect of the process conditions on the impact properties of this joint.

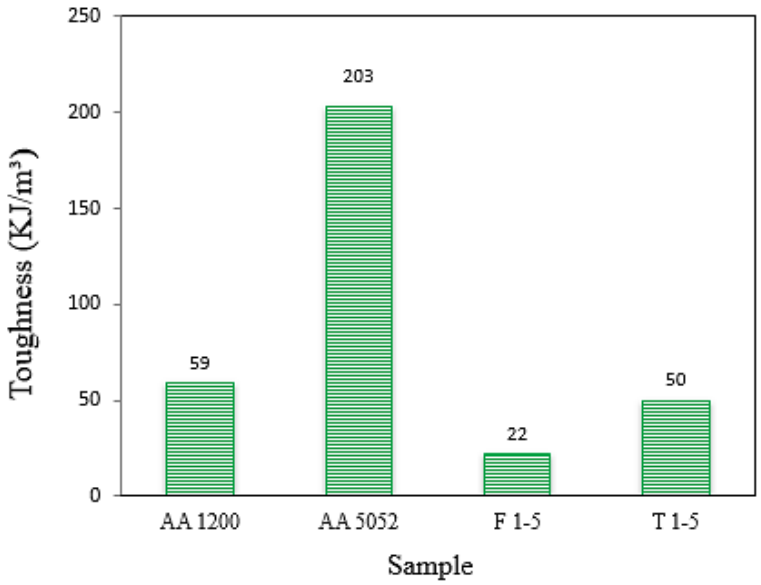


Figure 8. Comparison of toughness and ductility of FSW and TIG welded samples with base alloys.

According to the hardness profile drawn in Figure 9, the changes in microhardness (Vickers) in different sections of dissimilar joints have been evaluated. The results indicate that the highest hardness value is assigned to the T 1-5 sample, which can be due to the formation of stronger phases in its microscopic structure; on the other hand, the AA1200 alloy has recorded the lowest hardness level. The comparison of welding methods shows that the nature of the process plays a decisive role in the hardness profile. In FSW joints, due to the lack of melting and the occurrence of the dynamic recrystallization phenomenon, concentric micrograins are formed in the weld zone, which has led to a more uniform distribution of hardness. Also, due to the better control of the heat input in this method, the hardness loss in the heat-affected zone (HAZ) has been more limited than in the TIG method. Unlike FSW, in TIG joints, due to the melting nature and higher heat input, a structure with coarse columnar grains is created, which, in addition to inhomogeneity in the structure, causes a more severe drop in hardness in the HAZ area.

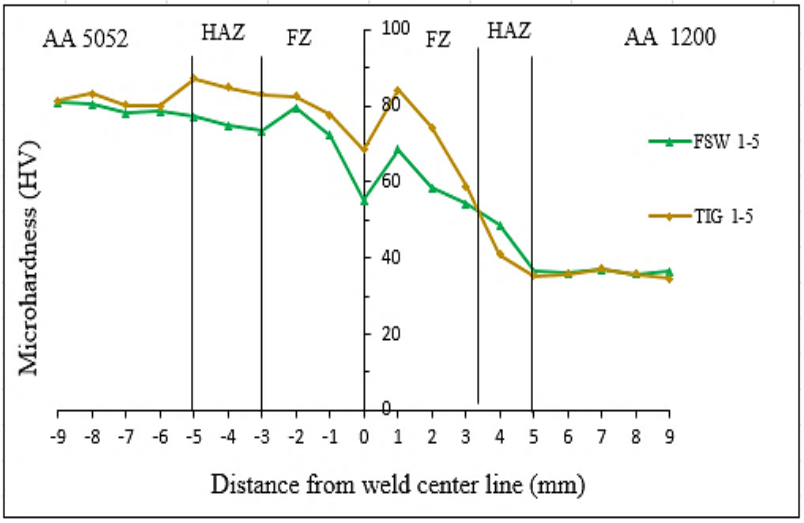


Figure 9. Comparison of microhardness of samples F 1-5 and 1-5 in different sections with base alloys.

By examining the microscopic images of TIG welding in Figure 10, it is clear that the grain structure in the AA1200 and AA5052 regions is coarser than the weld region. Also, the polarized light optical microscope image in Figure 11(c) reveals the dendritic structure resulting from TIG welding. These dendritic patterns in the colored parts of the image indicate the solidification conditions of the melt. The colors observed in these regions are related to the oxide layers and residual stresses caused by thermal cycling. In fact, these structural and color changes clearly show the boundaries between the melted regions and the HAZ, which are affected by the extreme temperature changes.

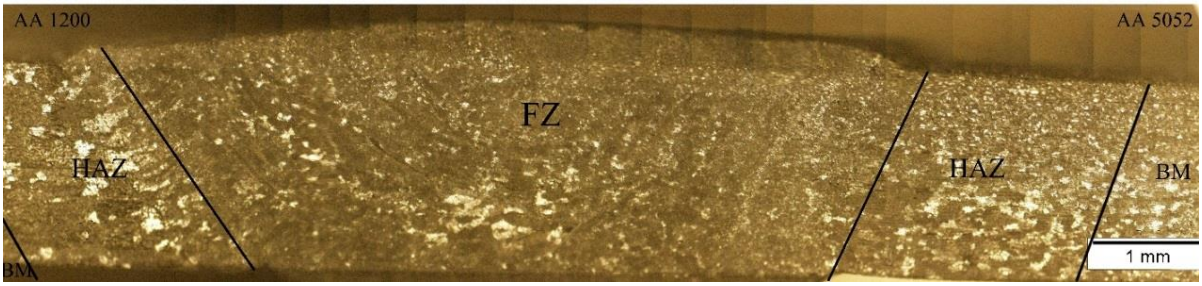


Figure 10 Microscopic image of a TIG welded sample showing the BM, FZ, and HAZ zones.

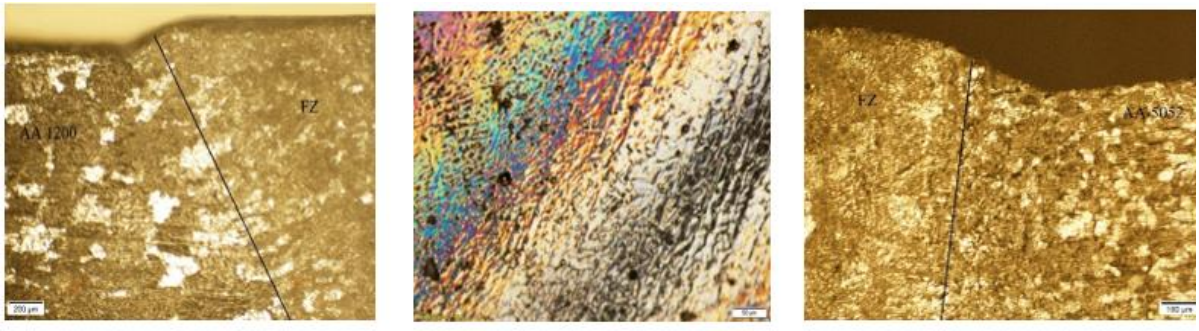


Figure 12 Microscopic image of (a) TIG weld area and AA5052 alloy and (b) dendritic structure of TIG weld area and (c) TIG weld area and AA1200 alloy.

The tensile experiments revealed distinctly different fracture characteristics for the two welding techniques, highlighting the influence of the joining mechanism on structural integrity. In the friction stir welded specimens, fracture consistently initiated and propagated within the weld region, indicating that the weld nugget represented the weakest section of the joint. This observation suggests that despite the advantages of solid-state joining, the selected FSW parameters were insufficient to fully compensate for the significant differences in material flow

behavior between AA5052 and AA1200. Consequently, local heterogeneity, incomplete material mixing, and variations in plastic deformation likely reduced the load-bearing capacity of the stir zone.

3. Conclusions

A systematic experimental comparison between friction stir welding and tungsten inert gas welding was conducted for joining dissimilar AA5052 and AA1200 aluminum alloys. In this study, the mechanical and microstructural behavior of welds made in bimetallic sheets by two methods of friction stir welding and TIG welding were investigated and compared. For this purpose, first, the optimal levels of parameters for friction stir welding suitable for the sheets in question were determined with a rotational speed of 1600 rpm, a linear speed of 12 m/min, a tool deflection angle of 1.5 degrees, and a shoulder depth of 0.1 mm. For TIG welding, the optimal levels of parameters of 120 amperes of current intensity and 5356 aluminum filler with a diameter of 4.2 mm were determined, and the following results were obtained:

- The results of mechanical tests showed a significant difference in the fracture location of FSW and TIG samples. In FSW samples, fracture occurred in the weld area, indicating a loss of strength in this area under the influence of the intense mixing process and microstructural changes. On the contrary, in TIG samples, the fracture occurred in the base metal, which proves that the strength of the joint zone exceeds that of the base metal and a good metallurgical bond was formed. This evidence confirms that the TIG method in this particular study provides better mechanical performance than FSW and is considered the preferred option for industrial applications with high strength requirements.

- The highest tensile strength in this study belonged to the AA5052 sample with a value of 273 MPa; a feature that is the result of the synergy of the appropriate grain size, stable phases, and favorable strainability in this alloy. However, sample F 1-5, with a value of 99 MPa, suffered a severe loss of strength, and its fracture location was also observed in the weld zone. The analyses show that this structural weakness in sample F 1-5 is due to the mismatch in the thermal and composite properties of the two alloys, which has led to the formation of an interface region with low strength.

- The results of tensile and impact tests indicate the superiority of the AA5052 alloy index; so that this sample with a strength of 273 MPa and a toughness of 203 Kj/m^3, had the highest performance due to its fine-grained structure and favorable strainability. While sample F 1-5 suffered a severe loss of properties due to the inhomogeneity of the chemical composition and the difference in the thermal properties of the two alloys, and showed brittle behavior in the weld zone with a strength of 99 MPa and energy absorption of only 22 Kj/m^3. These results confirm that the lack of convergence of thermophysical properties in composite samples leads to the creation of weak areas and a decrease in resistance to dynamic loads.

- Microhardness results showed that TIG welded samples have higher hardness in the weld zone than FSW due to the use of 5356 ER filler. The presence of magnesium in this filler has led to the formation of Al_3Mg_2 phases, resulting in increased local hardness and strength.

مکانیک مواد پیشرفته و هوشمند، دوره ۵ شماره ۴ سال ۱۴۰۴ صفحات ۶۱۹ تا ۶۳۷

مکانیک مواد پیشرفته و هوشمند

شاپا: ۴۲۲۰-۲۷۸۳

مجله علمی مکانیک مواد پیشرفته و هوشمند

تحلیل عملکرد مکانیکی و ساختاری اتصال آلیاژهای آلومینیومی غیر هم نام AA5052/AA1200 حاصل از فرآیندهای FSW و GTAW

حمیدرضا رضایی آشتیانی [الف*]، داود باقری [ب]

[الف] دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران، hr_Rezaei@arakut.ac.ir

[ب] کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران، davoodbagheri53@yahoo.com

واژگان کلیدی

جوشکاری اصطکاکی-اغتشاشی، جوشکاری قوسی گاز-تنگستن، آلومینیوم AA5052، AA1200، خواص مکانیکی میکروساختار.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۷

چکیده

دستیابی به استحکام اتصال مناسب دو یا چند ورق با آلیاژهای مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از روش‌های مرسوم جهت تولید ورق‌های دو جنسی استفاده از فرآیند جوشکاری ذوبی شامل جوش قوس الکتریکی با الکترود غیر مصرفی تنگستن (GTAW) و جوشکاری حالت جامد اصطکاکی اغتشاشی (FSW) می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی نتایج حاصل از آزمون‌های مربوط به خواص مکانیکی و ساختار میکروسکوپی نمونه‌های دوجنسی متشکل از آلیاژهای غیر همنام آلومینیوم شامل AA5052 و AA1200 که به دو روش جوشکاری قوسی گاز-تنگستن (تیگ) و FSW به یکدیگر متصل شده‌اند، می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون‌های مکانیکی نشانگر این موضوع بوده است که در نمونه‌های جوشکاری‌شده به روش FSW گسیختگی در منطقه جوش رخ می‌دهد. درصورتی‌که در نمونه‌های جوشکاری‌شده به روش تیگ شکست در فلز پایه رخ داد. همچنین نتایج آزمون ریزسختی حاکی از سختی بالاتر در ناحیه جوش نمونه جوشکاری شده به روش تیگ به دلیل استفاده از فیلر ER ۵۳۵۶ در مقایسه با روش FSW است. نهایتاً با تحلیل و مقایسه نتایج آزمون کشش، مشخص گردید که روش GTAW در اتصال برخی از ورق‌ها عملکرد بهتری نسبت به FSW از خود نشان می‌دهد.

۱- مقدمه

فلز آلومینیوم به دلیل خصوصیات ویژه‌ای که دارا است جایگاه ویژه‌ای در صنایع مختلف ازجمله خودروسازی، هوافضا، ساختمان‌سازی و بسته‌بندی یافته است. با گسترش نیاز به تولید قطعاتی با خواص مکانیکی و عملکردی متفاوت در بخش‌های مختلف صنعت، اتصال نمونه‌های دوجنسی از آلیاژهای مختلف آلومینیوم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. این نوع اتصالات امکان ترکیب خواص گوناگون مانند استحکام بالا، شکل‌پذیری مطلوب یا مقاومت به خوردگی را در یک قطعه واحد فراهم می‌سازد و موجب بهینه‌سازی عملکرد، کاهش وزن و صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌گردد [۱] یکی از روش‌های متداول جوشکاری ذوبی، جوشکاری به روش قوس الکتریکی با الکترود غیر مصرفی یا تیگ می‌باشد. این روش به دلیل دقت بالا، کیفیت سطحی مناسب و نرخ پایین ایجاد عیوب، بسیار پرکاربرد می‌باشد. در این فرایند جوشکاری توسط حرارت ناشی از قوس الکتریکی بین یک الکترود مصرف نشدنی از جنس تنگستن (یا آلیاژ آن) و قطعه کار صورت می‌پذیرد. الکترود، قوس الکتریکی و منطقه حوضچه مذاب توسط یک گاز محافظ (آرگون، هلیم، مخلوط هر دو گاز یا مخلوط هر یک از دو گاز با گاز هیدروژن) در برابر اتمسفر محافظت می‌شود [۲]. از طرفی جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی یکی از متداول‌ترین روش‌های جوشکاری حالت جامد برای فلزات با ضخامت

* نویسنده مسئول؛

آدرس پست الکترونیک: hr_rezaei@arakut.ac.ir

پایین می‌باشد. این روش جوشکاری جهت اتصال قطعات در حالت جامد به کار می‌رود که در آن می‌توان از یک فولاد ابزار گرم کار مانند H13 با حرکت دورانی، برای تولید اصطکاک و حرارت حاصل از آن و نیز تغییر شکل پلاستیکی در موضع جوشکاری بهره برد. در فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی دو فلزی که قرار است به یکدیگر متصل شوند، در کنار هم محکم قرار داده می‌شود و پین ابزار وارد خط اتصال این دو فلز می‌شود و همراه با چرخش، طول خط اتصال را طی می‌کند درحالی‌که شانه ابزار نیز تا عمق مشخصی به داخل ورق‌ها وارد می‌شود. حرارت متمرکز شده ناشی از اصطکاک باعث نرم شدن مواد فلزی و آلیاژی اطراف پین شده که با دوران پین، باعث حرکت مواد از جلوی پین به سمت عقب پین می‌شود و اتصال صورت می‌پذیرد. جوش به‌دست‌آمده از این روش کیفیت بالایی دارد و برای تولیدات انبوه مقرون‌به‌صرفه است. از مزایای جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی می‌توان به بازده انرژی بالا و مصرف انرژی پایین نسبت به سایر روش‌های جوشکاری و قابلیت جوشکاری فلزات با ضخامت بسیار پایین اشاره نمود. با توجه به اینکه در این فرایند هیچ گاز محافظ و فلز پرکننده‌ای استفاده نمی‌شود به‌عنوان تکنولوژی سبز شناخته می‌شود [۳].

بسیاری از محققان به بررسی و ارزیابی خواص مکانیکی و ساختار متالورژیکی نمونه‌های جوشکاری شده به روش اصطکاکی اغتشاشی فلزات و آلیاژهای آلومینیوم پرداخته‌اند [۴-۱۹] در پژوهشی که با هدف بررسی تأثیر پارامترهای جوشکاری اصطکاکی-اغتشاشی بر خواص مکانیکی و ریزساختار جوش‌های غیرهمجنس آلیاژهای آلومینیومی AA6061 و AA5052، انجام شد تأثیر پارامترهای مختلفی ازجمله سرعت دورانی، سرعت پیشروی، نیروی محوری و زاویه انحراف بررسی گردید که نتایج مربوط به خواص مکانیکی نشان‌دهنده بهبود خواص مکانیکی در ناحیه جوش نسبت به نواحی مجاور بود [۷]. در مطالعه دیگری که بر روی نمونه دوجنسی AA6056 - AA2024 که با روش FSW به یکدیگر متصل شده بودند انجام گردید، مشخص شد استحکام جوش حاصل به میزان ٪۹۰ فلز پایه AA6056 و ٪۵۶ آلیاژ AA2024 می‌باشد [۱۰]. مطالعات صورت‌گرفته بر روی اتصال‌دهی غیرهمجنس آلیاژهای AA5052-H32 و AA6061-T6 به روش اصطکاکی-اغتشاشی (FSW) با بهره‌گیری از میان‌لایه SC نشان می‌دهد که این لایه با تسهیل جریان پلاستیک و توزیع متقارن آن در ناحیه اتصال، منجر به اصلاح ریزساختار و درنهایت ارتقای خواص مکانیکی جوش می‌شود [۱۲]. در پژوهش انجام شده در خصوص جوشکاری نمونه دوجنسی AA7075 & AA2024 به روش FSW مشخص گردید استحکام و سختی در ناحیه جوش از فلزهای پایه کمتر می‌باشد [۱۵]. نتایج مطالعات صورت گرفته در خصوص بررسی خواص مکانیکی نمونه‌های TWB شده با آلیاژهای AA5083 - AA1050 با استفاده از ابزار جوشکاری با دو رزوه متفاوت (مثلثی و استوانه‌ای) نشان داد افزایش سرعت خطی باعث افزایش UTS و افزایش سرعت دورانی منجر به کاهش UTS می‌شود [۱۶].

برخی از پژوهشگران نیز به مطالعه خواص مکانیکی و ساختار متالورژیکی نمونه‌های جوشکاری شده به روش جوشکاری قوسی گاز-تنگستن آلیاژهای آلومینیوم پرداخته‌اند [۲۰-۲۲].

تحقیق انجام شده در خصوص تأثیر پارامترهای مؤثر بر جوش مانند شدت جریان در جوشکاری نمونه‌های آلومینیوم AA6061 به روش TIG نتایج نشان داد که درشدت جریان ۱۶۰ آمپر بیشترین مقاومت کششی و در ۱۹۰ آمپر بیشترین مقاومت خمشی حاصل می‌گردد. همچنین ساختار و دانه‌بندی نیز در شدت جریان ۱۶۰ آمپر بهتر از جریان‌های ۱۸۰ و ۱۹۰ آمپر بوده است [۲۰]. در سال ۲۰۲۰ نتایج مطالعه انجام شده در خصوص بررسی خواص مکانیکی، خوردگی و میکروساختار نمونه‌های دوجنسی با آلیاژهای AA2024 و AA6063 با ضخامت ۱۰ میلی‌متر که به روش جوشکاری TIG به یکدیگر متصل شده بودند نشان داد با افزایش شدت‌جریان، نرخ گاز خروجی و ولتاژ مورد استفاده، مقاومت کششی افزایش می‌یابد [۲۱]. بررسی دقیق ویژگی‌های متالورژیکی و رفتارهای کششی اتصالات جوشکاری شده به روش TIG روی آلیاژ AA2219 نشان می‌دهد که با مدیریت بهینه جریان قوس و سیستم حفاظت گازی، می‌توان به ساختاری منسجم دست یافت که علاوه بر کاهش چشمگیر عیوب انجمادی نظیر تخلخل و ترک‌خوردگی، موجب ارتقای استحکام کششی نهایی در منطقه جوش می‌شود [۲۲].

برخی از محققان نیز به مطالعه و مقایسه نتایج جوشکاری قوسی گاز-تنگستن و اصطکاکی اغتشاشی بر خواص مکانیکی و ساختار متالورژیکی نمونه‌های آلیاژهای آلومینیوم جوشکاری شده پرداخته‌اند [۲۳-۲۹].

در بررسی انجام شده در مقایسه نتایج سه روش جوشکاری مختلف FSW، MIG و TIG بر ورق‌های آلومینیومی AA6061،

نتایج نشان داده است که جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی نسبت به دو روش دیگر، به دلیل ایجاد ساختار میکروسکوپی یکنواخت‌تر و خواص مکانیکی بهتری، عملکرد بهتری دارد [۲۳]. ارزیابی نتایج در خصوص بررسی تأثیر سه روش جوشکاری FSW و TIG و LBW بر جوشکاری ورق آلومینومی آلیاژ AA2014-T6 نشان داد روش جوشکاری FSW نسبت به دو روش دیگر دارای خواص مکانیکی مناسب‌تری می‌باشد [۲۴]. نتایج حاصل از پژوهش انجام شده جهت بررسی خواص مکانیکی و عملکرد جوش‌های ایجاد شده با روش‌های جوشکاری FSW و TIG آلیاژهای آلومینیوم آلیاژ AA3003-H14 نشان داد خواص خستگی جوش‌های FSW کمی کمتر از فلز پایه و اما بالاتر از جوش‌های TIG بودند [۲۵]. ارزیابی نتایج حاصل از بررسی تأثیر روش‌های جوشکاری FSW، TIG و MIG بر روی آلیاژ آلومینیوم AA2024-T351 نشان داد که جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی بالاترین استحکام و یکنواختی ریزساختار را ارائه می‌دهد، درحالی‌که TIG ضعیف‌ترین عملکرد مکانیکی را دارد [۲۶]. در مقاله دیگری اتصال آلیاژهای آلومینیوم AA1050 و AA2024 و AA5083 با ضخامت‌های متفاوت با استفاده از روش‌های جوشکاری FSW و TIG و MIG مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که روش جوشکاری FSW اتصالات یکنواخت با ریزساختار متراکم و بدون حفره ایجاد کرده و خواص مکانیکی بالاتری نسبت به دو روش دیگر دارد [۲۷]. در تحقیق انجام شده در خصوص مقایسه خواص اتصال آلیاژهای آلومینیوم AA5052 و AA6082 به روش‌های جوشکاری FSW، TIG و MIG نتایج نشان داد که فرآیند FSW بیشترین استحکام کششی و سختی را داشته و ریزساختار یکنواخت و متراکم ایجاد می‌کند [۲۸].

این پژوهش به مقایسه خواص مکانیکی و ریزساختاری اتصالات آلیاژهای AA5052 و AA3105 با روش‌های FSW و TIG پرداخته است. نتایج نشان داد روش TIG ازنظر عملکرد مکانیکی برتری بیشتری نسبت به FSW دارد [۲۹].

باوجود مطالعات متعدد درزمینه‌ی اتصال آلیاژهای آلومینیوم به روش‌های جوشکاری مختلف، بررسی هم‌زمان رفتار اتصال غیر هم نام AA5052/AA1200 با استفاده از دو فرآیند با ماهیت متالورژیکی متفاوت، یعنی جوشکاری اصطکاکی-اغتشاشی (FSW) و جوشکاری قوسی با الکترود تنگستن تحت پوشش گاز محافظ (GTAW)، همچنان نیازمند توجه بیشتری است. انتخاب AA5052 و AA1200 در این پژوهش بر مبنای تفاوت قابل‌توجه آن‌ها در ترکیب شیمیایی، استحکام، شکل‌پذیری و رفتار حرارتی صورت گرفته است؛ به‌گونه‌ای که اتصال این دو آلیاژ می‌تواند چالش‌های مشخصی درزمینه‌ی انتقال و توزیع حرارت، اختلاط مواد و تحول ریزساختاری ایجاد کند. از سوی دیگر، انتخاب FSW و GTAW با هدف مقایسه دو رویکرد کاملاً متفاوت در ایجاد اتصال انجام شده است.

در این پژوهش، آلیاژهای AA1200 و AA5052 به‌عنوان مواد پایه اتصال غیر هم‌جنس انتخاب شدند، زیرا تفاوت ماهیت متالورژیکی و خواص مکانیکی این دو آلیاژ، شرایط مناسبی را برای بررسی رفتار اتصال در مواجهه با اختلاف خواص مواد فراهم می‌کند. AA1200 با خلوص آلومینیومی بالاتر و استحکام پایین‌تر، در مقابل AA5052 که یک آلیاژ Al-Mg با استحکام و مقاومت مکانیکی بالاتر است، اختلاف محسوسی در رفتار تغییر شکل و پاسخ مکانیکی ایجاد می‌کند. ازاین‌رو، اتصال این دو آلیاژ می‌تواند اثر اختلاف خواص مواد پایه را بر نحوه تشکیل ناحیه اتصال، تغییرات ریزساختاری، توزیع سختی و استحکام و همچنین قابلیت شکل‌دهی مشخص کند. برای این منظور با انجام آزمون‌های گوناگون اولیه پارامترهای بهینه جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی شامل سرعت دورانی، سرعت خطی، زاویه انحراف و عمق فرورفتگی شانه ابزار و پارامتر بهینه جوشکاری تیگ شامل شدت‌جریان، نوع و قطر فیلر انتخاب شد و جوش بهینه با انتخاب سطوح مناسب پارامترهای فرایندی هر یک از روش‌های جوشکاری انجام و خواص مکانیکی و میکروساختاری جوش‌های مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت.

۲- مواد و روش انجام آزمایش

برای انجام آزمایش، نمونه‌ای از آلیـاژهای غیر هم‌جنس آلـومینیم شامل AA5052 وAA1200 باضخامت ۲ میلی‌متر انتخـاب گردید. پس‌ازآن جهت بررسی و مقایسه با آلیاژهای پایه، نمونه دوجنسی متشکل از آلیاژهای AA1200 & AA5052 که به دو روشFSW و تیگ جوشکاری شده‌اند نیز تهیه شد. در جداول ۱ و ۲ ترکیب شیمیایی آلیاژهای آلومینیومی مورد استفاده و در شکل ۱ ساختار متالورژیکی آن‌ها نشان داده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود متوسط اندازه دانه آلیاژ AA1200 ۳۰ تا

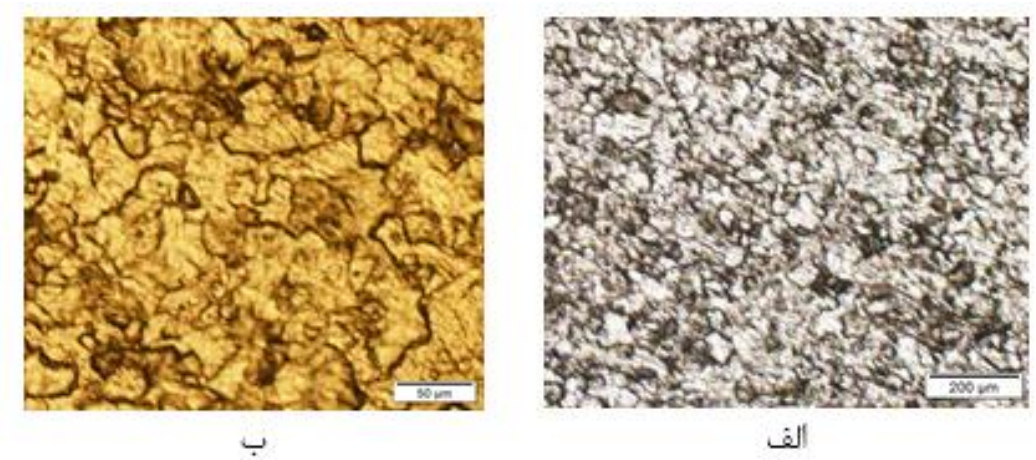
۴۰ میکرون و آلیاژ AA5052، ۴۰ تا ۵۰ میکرون می‌باشد.

جدول ۱ ترکیب شیمیایی آلیاژ AA5052

Mg	Cr	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Others	Al
۲/۸ -۲/۲	۰/۱۵ -۰/۳۵	<۰/۲۵	<۰/۴	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱۵	Rem

جدول ۲ ترکیب شیمیایی آلیاژ AA1200

Si+Fe	Cu	Mn	Zn	Ti	Others	Al
<۱	<۰/۰۵	<۰/۰۵	<۰/۱	<۰/۰۵	<۰/۱۵	Rem

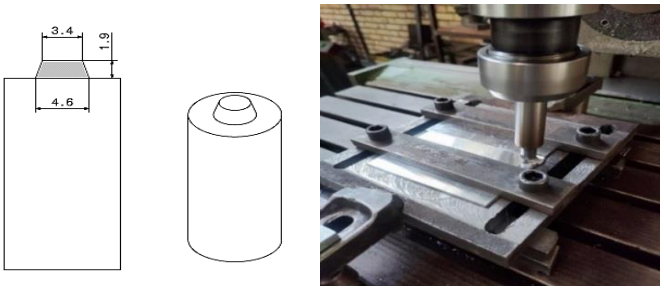


شکل ۱ ساختار متالورژیکی (الف) آلومینیوم AA1200 و (ب) آلومینیوم AA5052

فرایند اتصال نمونه‌ها در این پژوهش از طریق دو روش جوشکاری GTAW و FSW به‌صورت دستی انجام پذیرفت. در بخش جوشکاری قوسی گاز-تنگستن، متغیرهای فرایندی شامل شدت‌جریان در بازه ۱۰۰ تا ۱۲۰ آمپر و همچنین قطر فیلر مصرفی، به‌عنوان عوامل تأثیرگذار بر کیفیت اتصال مدنظر قرار گرفتند. در خصوص جوشکاری اصطکاکی-اغتشاشی با تکیه بر یافته‌های پیشین و امکانات دستگاه فرز مورد استفاده پارامترهای اصلی شامل سرعت دورانی (۱۲۰۰، ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ دور بر دقیقه)، سرعت حرکت خطی ابزار (۸، ۱۲ و ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه) و زوایای انحراف ابزار (در محدوده ۱ تا ۲ درجه) به دقت ارزیابی شدند. اتصال نمونه‌ها به روش اصطکاکی-اغتشاشی، پس از قرارگیری ورق‌ها در فیکسچر مخصوص و با استفاده از ابزار مخصوص صورت می‌پذیرد. جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی با استفاده از دستگاه فرز و جوشکاری قوسی گاز-تنگستن با استفاده از دستگاه جوش AC انجام گردید. در هر دو روش جوشکاری ۳ الی ۵ نمونه جهت انجام آزمون‌ها تهیه گردید و مبنای پذیرش نمونه‌های تهیه شده دارا بودن کیفیت سطحی با توجه به سایر نمونه‌های مورد تأیید در سنوات گذشته بوده است. تصویر و هندسه ابزار مورد استفاده در جوشکاری FSW در شکل ۲ نشان داده است. به‌منظور اختصار در نام‌گذاری نمونه‌ها، از ترکیبی از حروف و اعداد استفاده شده است که راهنمای مربوط به این علائم و نحوه تفسیر آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳ راهنمای علائم و کدهای اختصاری نمونه‌ها

ردیف	نماد استفاده شده	تفسیر نماد
۱	AA1200	ورق ساده آلومینیوم AA1200
۲	AA5052	ورق ساده آلومینیوم AA5052
۳	F 1-5	نمونه دوجنسی با آلیاژهای AA1200 و AA5052 به روش FSW
۴	T 1-5	نمونه دوجنسی با آلیاژهای AA1200 و AA5052 به روش TIG



شکل ۲ شماتیک ابزار مورد استفاده در جوشکاری به روش FSW

جهت تعیین خواص مکانیکی آلومینیوم پایه و جوش، از آزمون کشش تک محوری مطابق با استاندارد ASTM E8 با سرعت کشش ۱ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. سختی سنجی نمونه‌ها با استفاده از معیار ویکرز (مدل INNOVATEST Vickers Microhardness Tester) تحت بار ۱۰۰گرم نیرو (gf) و زمان نگهداری ۳۰ ثانیه (Dwell time) انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

برای ارزیابی اثر پارامترهای مؤثر بر کیفیت اتصال در فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی (شکل ۳)، ابتدا مجموعه‌ای از آزمایش‌های مقدماتی با تغییر پارامترهایی نظیر سرعت دورانی ابزار، سرعت پیشروی، زاویه انحراف و عمق نفوذ ابزار انجام شد. بر اساس نتایج حاصله، شرایط بهینه جوشکاری شامل سرعت دورانی ۱۶۰۰ دور بر دقیقه، سرعت پیشروی ۱۲ میلی‌متر بر دقیقه و زاویه انحراف ابزار ۱/۵ درجه انتخاب گردید. در حین فرایند جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی قطعه AA5052 در سمت پیش‌رونده و قطعه AA1200 در سمت پس‌رونده نسبت به جهت حرکت ابزار قرار گرفتند. به‌منظور تعیین شرایط مناسب در فرایند جوشکاری تیگ نیز آزمایش‌های اولیه با تغییر شدت‌جریان، نوع سیم‌جوش و قطر آن انجام گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان داد که استفاده از شدت‌جریان ۱۲۰ آمپر و فیلر آلومینیومی ۵۳۵۶ با قطر ۲/۴ میلی‌متر بهترین کیفیت اتصال را فراهم می‌کند. تصاویر نمونه‌های نهایی حاصل از دو روش جوشکاری اصطکاکی اغتشاشی و تیگ در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج آزمون کشش نشان داد که در نمونه‌های تولیدشده به روش اصطکاکی اغتشاشی، گسیختگی در منطقه اتصال رخ داده است. این موضوع بیانگر آن است که خواص مکانیکی اتصال ایجادشده در مقایسه با فلزات پایه کاهش قابل‌توجهی داشته است. این افت استحکام را می‌توان به وجود عیوب ذاتی فرایند جوشکاری و سایر عوامل مؤثر بر کیفیت اتصال نسبت داد. در مقابل، بررسی نمونه جوشکاری‌شده به روش تیگ پس از انجام آزمون کشش نشان داد که محل گسیختگی نه در ناحیه جوش و نه در آلیاژ AA5052، بلکه در بخش مربوط به آلیاژ AA1200 اتفاق افتاده است. این نتیجه بیانگر استحکام مناسب ناحیه جوش و همچنین عملکرد مطلوب آلیاژ AA5052 در اتصال ایجادشده است (شکل ۵). همچنین مطابق نمودار تنش–کرنش ارائه‌شده در شکل ۶، آلیاژ AA5052 بیشترین مقدار تنش، معادل ۲۷۳ مگاپاسکال، را تحمل کرده و درعین‌حال از کرنش نسبتاً بالایی برخوردار است. این رفتار نشان‌دهنده چقرمگی و شکل‌پذیری مطلوب این آلیاژ است. در مقابل، کمترین میزان استحکام مربوط به نمونه‌های جوشکاری‌شده به روش اصطکاکی اغتشاشی (FSW) بوده که در مقایسه با سایر نمونه‌ها عملکرد مکانیکی ضعیف‌تری از خود نشان داده‌اند.

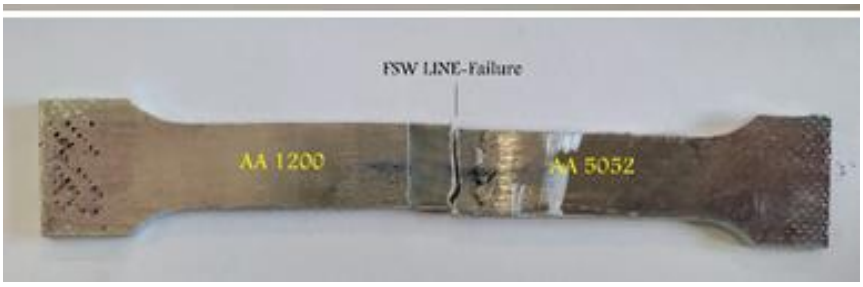


شکل ۳ نمونه‌های FSW شده با سرعت‌های دورانی و خطی الف) 1600 rpm، 20 mm/min و ب) 2000 rpm، 20 mm/min و ج) 1600 rpm، 12 mm/min.

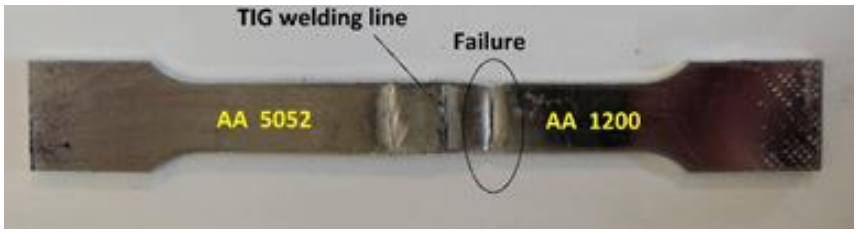


(ب) (الف)

شکل ۴ نمونه جوشکاری شده به روش الف) FSW و ب) TIG.

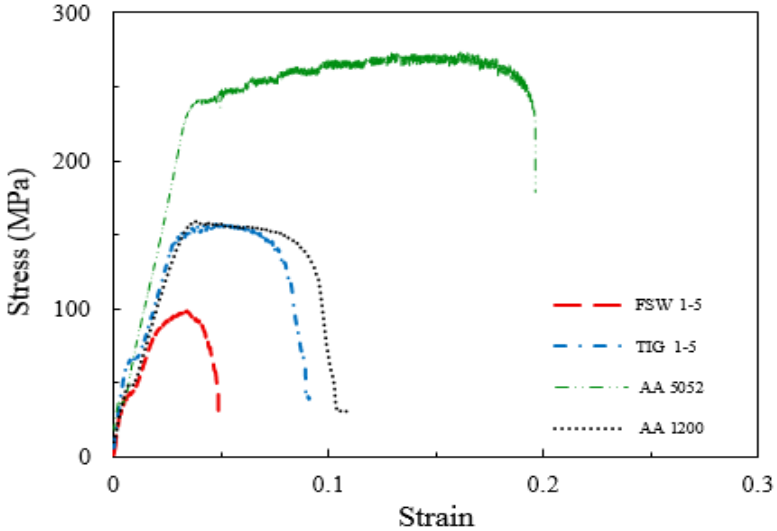


(الف)



(ب)

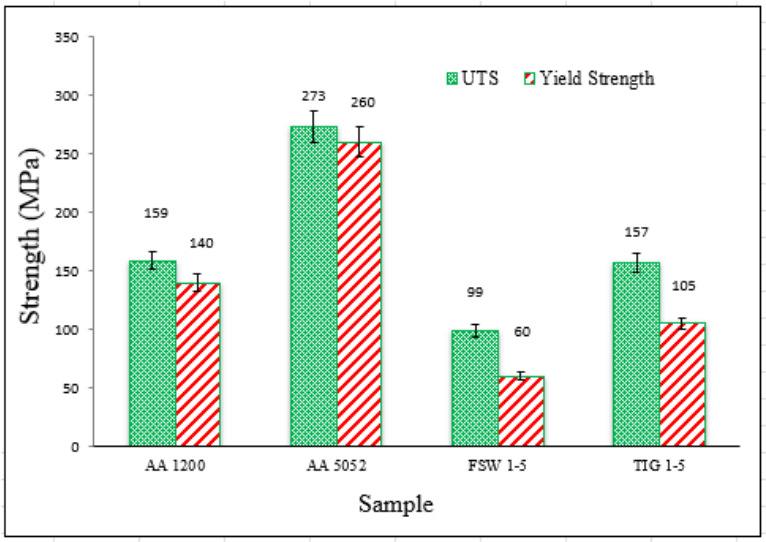
شکل ۵ محل گسیختگی نمونه‌های جوشکاری شده (الف) F1-5 و (الف) T1-5 پس از انجام آزمون کشش.



شکل ۶ بررسی نمودارهای تنش-کرنش نمونه AA5052/AA1200 قبل و بعد از جوشکاری‌های مختلف.

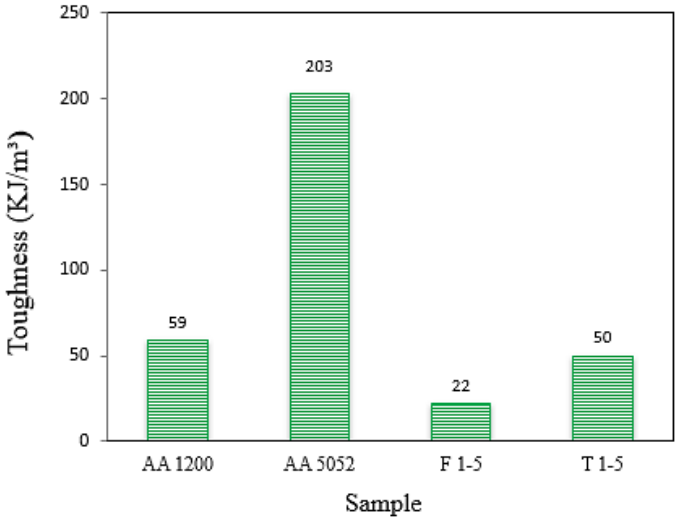
با بررسی شکل ۷ و نمودار میزان استحکام نمونه‌ها، شاهد خواهیم بود که آلیاژ پایه AA5052 دارای بیشترین مقدار استحکام

در بین کلیه نمونه‌ها بوده و به ترتیب مقادیر ۲۷۳ مگاپاسکال و ۲۶۰ مگاپاسکال را نشان می‌دهد. این موضوع نشان‌دهنده برتری این آلیاژ نسبت به سایر آلیاژها می‌باشد. در پایان می‌توان این نتیجه را گرفت که، نمونه‌های جوشکاری‌شده به روش TIG عملکرد بهتری نسبت به نمونه‌های جوشکاری شده به روش FSW از خود نشان دادند.



شکل ۷ مقایسه میزان استحکام نمونه‌های جوشکاری شده به روش FSW و TIG با آلیاژهای پایه.

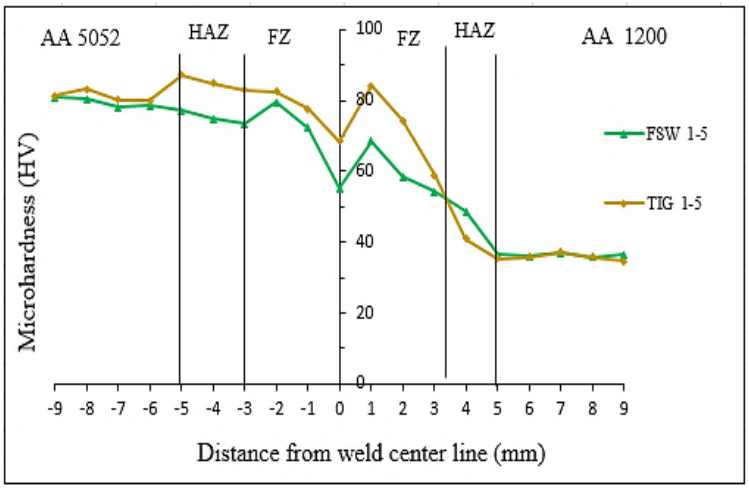
بر اساس تحلیل داده‌های ارائه‌شده در نمودار شکل ۸، چقرمگی آلیاژهای پایه و اتصالات حاصل از دو روش جوشکاری FSW و TIG مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که آلیاژ AA5052 با دستیابی به مقدار ۲۰۳ کیلوژول بر مترمکعب، بالاترین سطح چقرمگی را داراست که نشان‌دهنده قابلیت بالای این آلیاژ در جذب انرژی و تحمل ضربه است؛ ویژگی شاخصی که آن را برای مصارف صنعتی تحت بارهای سنگین گزینه‌ای ایده‌آل می‌سازد. در مقابل، کمترین مقادیر چقرمگی در نمونه جوشکاری‌شده با پارامتر F1-5 مشاهده شد که گویای تأثیر منفی شرایط فرآیندی بر خواص ضربه‌ای این اتصال است.



شکل ۸ مقایسه میزان چقرمگی و شکل‌پذیری نمونه‌های جوشکاری شده به روش FSW و تیگ با آلیاژهای پایه.

مطابق با پروفیل سختی ترسیم‌شده در شکل ۹، تغییرات ریز سختی (Vickers) در مقاطع مختلف اتصالات غیرمشابه ارزیابی شده است. نتایج بیانگر آن است که بیشترین مقدار سختی به نمونه T 1-5 اختصاص دارد که می‌تواند ناشی از تشکیل فازهای مستحکم‌تر در ساختار میکروسکوپی آن باشد؛ در سوی مقابل، آلیاژ AA1200 کمترین سطح سختی را ثبت کرده است. مقایسه روش‌های جوشکاری نشان می‌دهد که ماهیت فرآیند، نقش تعیین‌کننده‌ای در پروفیل سختی دارد. در اتصالات FSW، به دلیل

فقدان ذوب و وقوع پدیده تبلور مجدد دینامیکی، ریزدانه‌های هم‌محور در ناحیه جوش شکل گرفته که به توزیع یکنواخت‌تر سختی منجر شده است. همچنین، به دلیل کنترل بهتر ورودی حرارت در این روش، افت سختی در منطقه متأثر از حرارت (HAZ) نسبت به روش TIG محدودتر بوده است. برخلاف FSW، در اتصالات TIG، به دلیل ماهیت ذوبی و ورودی حرارت بالاتر، ساختاری با دانه‌های ستونی درشت ایجاد شده که علاوه بر ناهمگنی در ساختار، باعث افت شدیدتر سختی در ناحیه HAZ گردیده است.

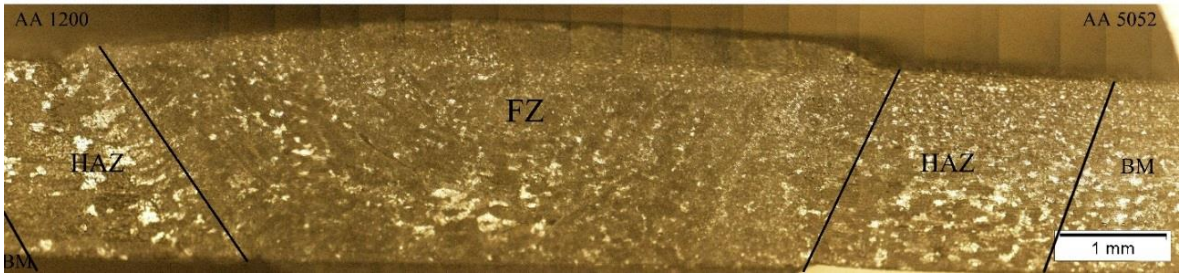


شکل ۹ مقایسه میکروسختی نمونه‌های F 1-5 و T 1-5 در بخش‌های مختلف با آلیاژهای پایه.

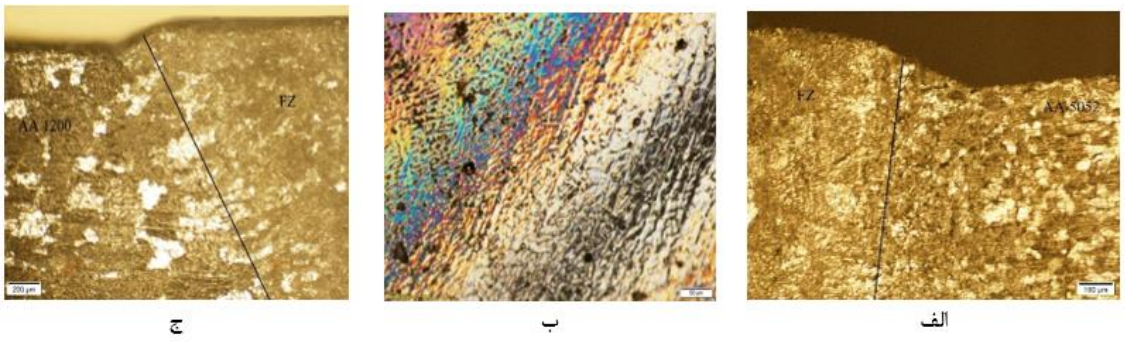
شکل ۱۰ مناطق مختلف جوش FSW شامل BM، FZ و HAZ را به تصویر کشیده است. با بررسی تصاویر میکروسکوپی جوش TIG در شکل ۱۱، مشخص می‌شود که ساختار دانه‌ای در نواحی AA1200 و AA5052 از منطقه جوش درشت‌تر است. همچنین، تصویر میکروسکوپ نوری با نور پلاریزه در شکل ۱۲ (ج)، ساختار دندریتی حاصل از جوشکاری TIG را آشکار می‌سازد. این الگوهای دندریتی در بخش‌های رنگی تصویر، نشان‌دهنده شرایط انجماد مذاب هستند. رنگ‌های مشاهده شده در این نواحی، به لایه‌های اکسیدی و تنش‌های باقی‌مانده ناشی از سیکل حرارتی مربوط می‌شوند. درواقع، این تغییرات ساختاری و رنگی، مرزهای بین نواحی ذوب‌شده و HAZ را که تحت تأثیر تغییرات دمایی شدید قرار گرفته‌اند، به خوبی نمایان می‌کنند.



شکل ۱۰ تصویر میکروسکوپی نمونه جوشکاری شده به روش FSW و نمایش مناطق BM، HAZ،FZ.



شکل ۱۱ تصویر میکروسکوپی نمونه جوشکاری شده به روش TIG و نمایش مناطق BM، FZ، HAZ.



ج ب الف

شکل ۱۲ تصویر میکروسکوپی (الف) منطقه جوش TIG و آلیاژ AA5052 و (ب) ساختار دندریتی ناحیه جوش TIG و (ج) منطقه جوش TIG و آلیاژ AA1200.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، رفتار مکانیکی و ریزساختاری اتصالات غیر هم نام AA5052/AA1200 تولیدشده به روش‌های FSW و GTAW بررسی و مقایسه شد. پارامترهای بهینه FSW شامل سرعت دورانی ۱۶۰۰ دور بر دقیقه، سرعت پیشروی ۱۲ m/min، زاویه انحراف ابزار ۱/۵ درجه و عمق فرورفتگی شولدر ۰/۱ میلی‌متر و پارامتر بهینه GTAW شامل جریان ۱۲۰A و فیلر ER5356 با قطر ۲/۴ mm تعیین شد. مهم‌ترین یافته‌ها عبارت‌اند از:

- محل شکست در دو فرآیند متفاوت بود؛ شکست نمونه‌های FSW در ناحیه اتصال، درحالی‌که در نمونه‌های GTAW در فلز پایه رخ داد که بیانگر عملکرد مکانیکی مطلوب‌تر اتصال GTAW در شرایط بررسی‌شده است.
- بیشترین استحکام کششی مربوط به نمونه قطعه AA5052 با مقدار ۲۷۳ MPa بود، درحالی‌که نمونه FSW شده با مقدار ۹۹ MPa کمترین استحکام را نشان داد.
- نتایج ریزسختی نشان داد که ناحیه جوش GTAW در مقایسه با FSW از سختی بالاتری برخوردار است که به استفاده از فیلر ER5356 نسبت داده می‌شود. حضور منیزیم در این فیلر منجر به تشکیل فازهای Al_3Mg_2 و درنتیجه افزایش سختی و استحکام موضعی شده است.
- GTAW در شرایط بهینه این پژوهش و با در نظر گرفتن استفاده از فیلر مناسب عملکرد مکانیکی و سختی بالاتری نسبت به FSW نشان داد و می‌تواند برای اتصال AA5052/AA1200 در کاربردهای نیازمند استحکام بالاتر گزینه مناسب‌تری باشد.

Authorship Contribution Statement

Dr. Hamid Reza Rezaei Ashtiani



Biography: Associated Professor of Mechanical Engineering at School of Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, 38135-1177, Iran. Laboratory for Mechanical Properties and Microstructure of Materials, Arak University of Technology

Contribution Statement: M.Sc. in Mechanical Engineering School of Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran.

Davood Bagheri Moghaddam



Biography: Associate professor in mechanical engineering, Department of Mechanical Engineering, Damavand branch, Islamic Azad University, Damavand, Tehran, Iran.

Contribution Statement: Investigation, Experimental work, Data curation, Formal analysis, Validation, Visualization, Writing – original draft.

۵- مراجع

[1] Georgantzia E, Gkantou M, Kamaris GS. Aluminium alloys as structural material: A review of research. Eng Struct. 2021;227:111372.

[2] Radhika N, Deepak Kumar NH, Sivasailam B. A review on welding techniques: properties, characterisations and engineering applications. Adv Mater Process Technol. 2023;10(2):1126–81.

[3] Mishra RS, De PS, Kumar N. Friction stir welding and processing: science and engineering. Cham: Springer; 2014.

[4] ShivaKumar GN, Rajamurugan G. Friction stir welding of dissimilar alloy combinations—a review. Proc Inst Mech Eng C J Mech Eng Sci. 2022;236(12).

[5] Albaijan I, Ahmed MMZ, El-Sayed Seleman MM, Touileb K, Habba MIA, Fouad RA. Optimization of bobbin tool friction stir processing parameters of AA1050 using response surface methodology. Materials (Basel). 2022;15(19):6886.

[6] Wang J, Ling X, Zhang W, Lu X, Chen C. Microstructures and mechanical properties of friction stir welded butt joints of 3003-H112 aluminum alloy to 304 stainless steel used in plate-fin heat exchanger. J Mater Res Technol. 2022;21:3086–97.

[7] Davidson. Friction stir welding parameters and their influence on mechanical properties of welded AA6061 and AA5052 aluminium plates. Mater Res Express. 2021;8(10).

[8] Mohammadi Sefat H, Ghazanfari H, Blais C. Friction stir welding of 5052-H18 aluminum alloy: modeling and process parameter optimization. J Mater Eng Perform. 2021;30(3):1838–50.

[9] Khanna P, Sharma P, Bharati M, Badheka VJ. Friction stir welding of dissimilar aluminium alloys AA 6061-T6 and AA 8011-H14: a novel study. J Braz Soc Mech Sci Eng. 2020;42(1).

[10] Amancio-Filho T, Sheikhi S, dos Santos JF, Bolfarini C. Preliminary study on the microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welds in aircraft aluminium alloys 2024-T351 and 6056-T4. J Mater Process Technol. 2008;206(1–3):132–42.

[11] Chularis A, Rzaev RA, Syndetov MK. Friction stir welding of aluminium and copper alloys. Weld Int. 2021;34(4–6):230–41.

[12] Senthamaraikannan B, Krishnamoorthy J. Material flow and mechanical properties of friction stir welded AA 5052-H32 and AA6061-T6 alloys with Sc interlayer. Mater Test. 2023;65(7).

[13] Jabraeili et al. Effect of FSW process parameters on microstructure and mechanical properties of the dissimilar AA2024 Al alloy and 304 stainless steel joints. Mater Sci Eng A. 2021;814:140981.

[14] Abbasi, Bagheri B, Abdollahzadeh A, Moghaddam AO. A different attempt to improve the formability of aluminum tailor welded blanks (TWB) produced by the FSW. Int J Mater Form. 2021;14(5):1189–1208.

[15] Avinash, Manikandan M, Arivazhagan N, Ramkumar KD, Narayanan S. Friction stir welded butt joints of AA2024 T3 and AA7075 T6 aluminum alloys. Procedia Eng. 2014;75:98–102.

[16] Sarsılmaz, Çaydaş U. Statistical analysis on mechanical properties of friction-stir-welded AA 1050/AA 5083 couples. Int J Adv Manuf Technol. 2008;43(3–4):248–55.

[17] Chien H, Lin WB, Chen T. Optimal FSW process parameters for aluminum alloys AA5083. J Chin Inst Eng. 2011;34(1):99–105.

[18] Kumar, Singh Dhami S, Mishra RS. Optimization of friction stir welding process parameters during joining of aluminum alloys of AA6061 and AA6082. Mater Today Proc. 2021;45:5368–76.

[19] Anvari Z, Khandozi M. Effect of friction stir welding parameters on the microstructure and mechanical properties of dissimilar AA2024–AA6061 joints. J Weld Sci Technol Iran. 2022;7(2):113–25.

[20] Bansal M, Senthil Kumar, Shekhar I, Chauhan S, Bhardwaj S. Effect of welding parameter on mechanical properties of TIG welded AA6061. Mater Today Proc. 2021;37:2126–31.

[21] Vijay, Rajanarayanan S, Ganeshan GN. Analysis on mechanical properties of gas tungsten arc welded dissimilar aluminium alloy (Al2024 & Al6063). Mater Today Proc. 2020;21:384–91.

[22] Ahmadi, Ebrahimi AR, Hoseinzadeh A. Microstructure evolution and mechanical properties of 2219 aluminum alloy A–TIG welds. Phys Met Metallogr. 2020;121(5):483–8.

[23] Reddy P, Dewangan S. A comparative analysis among the welded Al-6061 plates joined by FSW, MIG and TIG welding methods. Acta Metall Slov. 2023;29(2):75–81.

[24] Rajendran, Srinivasan K, Balasubramanian V, Balaji H, Selvaraj P. Feasibility study of FSW, LBW and TIG joining process to fabricate light combat aircraft structure. Int J Lightweight Mater Manuf. 2021;4(4):480–90.

[25] Takhakh AM, Abdullah AM. An experimental investigation on fatigue properties of AA3003-H14 aluminum alloy friction stir welds. J Eng. 2011.

[26] Milčić M, Klobčar D, Milčić D, Zdravković N, Đurić A, Vuherer T. Comparison between mechanical properties and joint performance of AA 2024-T351 aluminum alloy welded by friction stir welding, metal inert gas and tungsten inert gas processes. Materials (Basel). 2024;17(13):3336.

[27] Vilaça P, Santos JP, Góis A, Quintino L. Joining aluminium alloys dissimilar in thickness by friction stir welding and fusion processes. Weld World. 2005;49:56–62.

[28] Yelamasetti B, Sridevi M, Santhi Sree N, Prakash C. Comparative studies on mechanical properties and microstructural changes of AA5052 and AA6082 dissimilar weldments developed by TIG, MIG, and FSW techniques. J Mater Eng Perform. 2024.

[29] Rezaei Ashtiani HR, Bagheri D. Comparison of mechanical and microstructural properties of parts welded with dissimilar alloys AA5052-AA3105 using friction stir welding and TIG. J Weld Sci Technol Iran. 2026;12(1):103–13.