علوم و فناوری جوشکاری ایران

نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال هفتم، شماره1، بهار و تابستان 1400، صفحه 70-61

بررسی تجربی اثر پارامترهای جوشکاری آلتراسونیک بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی اتصال فلزات غیرمشابه آلومینیم 1050 و 3105

حمیدرضا معصومی[1]، سیدحامد رضوی[2]، امیرحسین میثمی[1]، محمد خدایی[1]

1- گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، گلپایگان

2- گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، گلپایگان

(دریافت مقاله: 1400/05/12؛ پذیرش مقاله: 1400/06/05)

چکیده

آلیاژهای آلومینیم Al1050 به ضخامت یک میلی‌متر و Al3105 به ضخامت نیم میلی‌متر از طریق جوش نقطه‌ای با کمک ارتعاشات آلتراسونیک (USW) به یکدیگر متصل شدند. برای ایجاد جوش مناسب، یک هورن ارتعاشی (ابزار جوشکاری) متناسب با مبدل و مولد آلتراسونیک، به کمک نرم افزار ANSYS طراحی و ساخته شد. به دلیل سیکل گرمایی و مکانیکی در حینUSW، فرایند نفوذ و اختلاط مکانیکی در ایجاد جوش در فصل مشترک ورق‌ها دخیل هستند. عنصر آلیاژی Mn موجود درAl3105 درAl1050 نفوذ می‌کند. رفتار نفوذ در محل قرارگیری ورق Al3105 در زیر یا بالا محل نقطه جوش در حین جوشکاری متفاوت است. حد تحمل جوش مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای توان مبدل، زمان نگهداری هورن و فشار اعمالی در محل نقطه جوش به عنوان متغیرهای جوشکاری در نظر گرفته شدند و نقطه بهینه برای شرایط جوشکاری موجود به دست آمد که بهترین حد تحمل جوش مربوط به توان 750 وات در زمان‌های 2 و 3 ثانیه نگهداری هورن روی محل همپوشانی ورق‌ها بود. همچنین در آزمایش کشش، پارگی ورق‌ها از اطراف محل نقطه جوش (خارج از نقطه جوش) صورت گرفت.

کلمات کلیدی: آلتراسونیک، هورن، مبدل آلتراسونیک، نفوذ، اتصال غیر مشابه.

Experimental Effects Investigation of Ultrasonic Spot Welding on Dissimilar Al3105 and Al1050 Alloys Joining

H.R. Masoumi[1], H. Razavi[2], A.H. Meysami[1], M. Khodaei[1]

1-Department of Materials Engineering, Golpayegan College of Engineering, Isfahan University of Technology, Golpayegan

2-Department of Mechanical Engineering, Golpayegan College of Engineering, Isfahan University of Technology, Golpayegan

(Received 3 August 2021 ; Accepted 27 August 2021)

Abstract

The aluminum alloys of Al1050 with thickness of one millimeter and Al3105 with thickness of half millimeter were joined via ultrasonic spot welding (USW). To create a suitable welding, a vibrating horn (welding tool) fit to transducer and ultrasonic generator was designed using ANSYS software. Due to mechanical and thermal cycles during USW,

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: a.meysami@iut.ac.ir

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]

both diffusion and mechanical mixing facilitated the formation of welded interfaces. The alloying element, Mn, in Al3105 diffused into Al1050 during USW, and diffusion behavior varied with selection of top sheet. The fracture mechanism during lap shear testing, i.e. debonding or pullout fracture, varied based on welding power, time and pressure of jack. The optimal point for the existing welding conditions was obtained. The best welding conditions were for 750 W at 2 and 3 seconds when the horn was held on the overlap of the sheets. Also, in the tensile test, sheet rupture was performed around the welding spot (out of welding spot).

Keywords: Ultrasonic; Horn; Ultrasonic Transducer; Diffusion, Dissimilar Joining.

1- مقدمه

از ارتعاشات آلتراسونیک می‌توان جهت تغییرات متالورژیکی و اتصال فلزات استفاده نمود [1]. جوشکاری آلتراسونیک فلزات یک روش جوشکاری حالت جامد است که ارتعاشات موازی یا عمودی، با نیروی عمودی (کلمپ) ترکیب شده است. این روش به خاطر زمان جوشکاری کوتاه، انرژی جوشکاری کم، اعوجاج جوشکاری کوچک و آلودگی زیست‌محیطی کمتر نسبت به سایر روش‌های جوشکاری حالت‌جامد، جایگاهی ویژه به خود اختصاص داده است [2].

امتیاز ویژه جوشکاری آلتراسونیک فلزات این است که می‌توان قطعات فلزی نازک از قبیل فویل‌های فلزی، سیم‌ها و صفحه‌ها را به یکدیگر جوش داد که روشی بسیار راحت‌تر از سایر تکنیک‌های متداول جوشکاری می‌باشد [3]. بنابراین جوشکاری آلتراسونیک فلزات برای کاربردهای ساخت و تولید جایگاه و استفاده ویژه خواهند داشت. در سال‌های اخیر توجه زیادی به جوشکاری غیر هم‌جنس مابین فلزات سبک جهت کاهش وزن در تولیدات صنعتی صورت گرفته است. و به‌طور خاص، گسترش تکنیک‌های جوشکاری آلیاژهای آلومینیم در صنایع الکتریکی، اتومبیل‌سازی و صنایع هوایی موردتوجه قرارگرفته است [4].

آلیاژهای آلومینیم دارای مقاومت بالا، فرم پذیری خوب و وزن کم می‌باشند و به جهت کاهش اثرات گلخانه‌ای مورد استفاده قرارگرفته‌اند [5]. ایجاد اتصال بین آلیاژهای آلومینیم به صورت غیرهم‌جنس جهت رسیدن به ترکیبی از خواص دو آلیاژ مورد توجه محققین است [6]. جوشکاری مذابی آلیاژهای آلومینیم همیشه دانه‌های درشت و ترکیبات بین فلزی (IMC) شکننده ایجاد خواهد نمود که بیانگر این حقیقت است که جوشکاری مذابی آلیاژهای آلومینیم موفقیت‌آمیز و مؤثر نخواهد بود. همچنین روش حالت‌جامد/ مایع در فصل مشترک آلیاژهای آلومینیم کاربرد ندارد، زیرا اختلاف کمی بین نقاط ذوب این دو فلز وجود دارد [7]، به همین دلیل روش دیگری برای کنترل ماده بین فلزی ایجادشده در محل اتصال آلیاژهای آلومینیم موردنیاز می‌باشد. همچنین برخی فلزات مانند منیزیوم و آلومینیم به دلیل دمای ذوب پایین آن‌ها امکان جوشکاری ذوبی آن‌ها وجود ندارد به همین علت از روش جوشکاری حالت جامد برای اینگونه فلزات استفاده می‌شود. یکی از روش‌های جوشکاری حالت جامد جوشکاری به روش FSW می‌باشد که تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است و بر روی اتصال آلیاژهای آلومینیم کار شده است [8].

از جمله این تحقیقات می‌توان به اتصال آلیاژهای سری 5000/2000 توسط رانگ [9] و اتصال آلیاژهای 6000/2000 توسط غفارپور [10] و آلیاژهای 6000/2000 توسط ایزدی [11] و آلیاژهای 7000/2000 توسط همیلتون [12] و آلیاژهای 7000/6000 توسط جواو [13] اشاره کرد. اما برای جوشکاری حالت جامد به روش USW تحقیقات کمی صورت گرفته است.

با توجه به موارد ذکرشده، در این تحقیق در نظر است جوشکاری آلتراسونیک برای آلیاژهای غیرمشابه آلومینیم به‌صورت عملی بکار گرفته شود. برای این کار لازم است فیکسچر جوشکاری و هورن (متمرکز کننده ارتعاشات) طراحی و ساخته شود. در ادامه، خواص مکانیکی اتصال شامل چقرمگی شکست، تنش برشی/کششی و ریز ساختار بررسی می‌شوند.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]

جدول1- ترکیب شیمیایی آلومینیم 3105 و 1050.

	ترکیبات	Al	Mn	Cu	Fe	Si	Cr	Zn
آلومینیم ۳۱۰۵	درصد وزنی	97.52	0.666	0.089	0.692	0.676	0.007	0.132
آلومینیم ۱۰۵۰	درصد وزنی	97.57	0.008	0.003	0.279	0.06	<0.002	0.059

جدول 2- خواص مکانیکی آلومینیم 3105 و 1050.

آلیاژ	Density $\left(1000\frac{kg}{m^3}\right)$	Poisson ratio	Elastic Modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Hardness (HB)	Shear Strength (MPa)
آلومینیم ۳۱۰۵	2.72	0.33	69.8	152	131	40	96.5
آلومینیم ۱۰۵۰	2.705	0.33	68	110	103	30	96

2- مواد و روش پژوهش

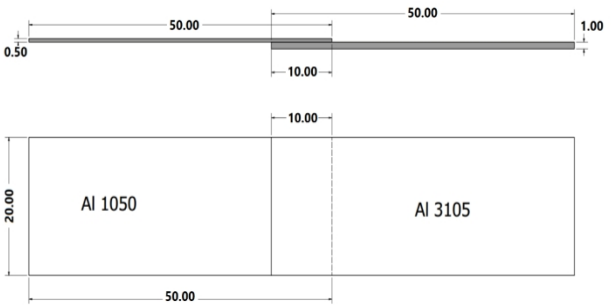
2-1- آماده‌سازی ورق‌ها

جداول(1و2) به ترتیب ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی آلیاژهای آلومینیم 3105 و 1050 را نشان می‌دهد. پس از تاییدشدن نتایج آزمایشگاهی ورق‌های آلومینیمی 1050 و 3105 توسط دستگاه برش ورق به ابعاد20×50 میلی‌متر برشکاری گردید. ابعاد ورق مطابق استاندارد10–D1002 انجام شده است. برای محل ایجاد نقطه جوش در ورق‌ها مساحت 20×10 میلی‌متر در نظر گرفته شده که در واقع به این اندازه ورق‌ها هم‌پوشانی دارند(شکل1). محل هم‌پوشانی ورق‌ها با سمباده 180 زبر و سپس با اتانول شست شو و خشک شدند. ایجاد سطح زبر به این علت است که بین ورق‌ها اصطکاک لازم ایجاد شود و ورق‌ها در حین اعمال ارتعاشات دچار تغییر وضعیت نشوند.

2-2- تجهیزات فرایند جوشکاری آلتراسونیک

یک ماشین جوشکاری آلتراسونیک (شکل 2) شامل اجزایی می‌باشد که این اجزا عبارت است از:

یک منبع تغذیه، یک مبدل فراصوت، یک آمپلی فایر تقویت کننده به نام بوستر، یک وسیله هدایت امواج فراصوت به نام هورن و منبع تغذیه فرکانس برق شهر 50–60 هرتز را به20–70 کیلو هرتز می‌رساند [16-14] این انرژی به مبدل وارد شده و در مبدل دیسک پیزو الکتریک موج الکتریک با فرکانس بالا به ارتعاشات مکانیکی (امواج آلتراسونیک) با فرکانس بالا تبدیل می‌شود. اغلب ماشین‌های آلتراسونیک در فرکانسی بالاتر از 20 کیلو هرتز کار می‌کنند [17] و صدایی تولید می‌کنند که شبیه یک سوت بوده که می‌تواند در دراز مدت برای اپراتور ایجاد مزاحمت نماید. لذا توجه به میزان دسی بل صدای این دستگاه‌ها بسیار مهم است. امروزه شرکت‌های معتبر هزینه‌های بسیار زیادی را صرف تحقیق و توسعه محصولات خود نموده‌اند تا علاوه بر افزایش راندمان و کیفیت جوشکاری دستگاه‌های خود این صداهای مزاحم را در حد بسیار زیادی کاهش دهند.

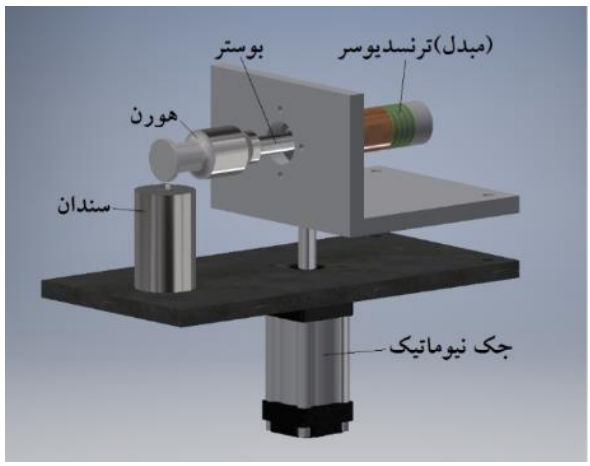


شکل1- نحوه همپوشانی ورق‌ها جهت جوشکاری (ابعاد برحسب میلی‌متر).

امواج تولید شده در مبدل به بوستر رفته و دامنه آن تا حد دلخواه افزایش پیدا می‌کند و سپس در هورن (که یک وسیله صوتی مکانیکی است) امواج صوتی مستقیماً به قطعه کار منتقل می‌شود. همچنین هورن نقش اعمال فشار بر روی قطعه را نیز برعهده دارد. بعد از انتقال امواج صوت به قطعه کار در منطقه اتصال در اثر اصطکاک زیاد ناشی از جنبش مولکولی سطوح دو قطعه کار این انرژی تبدیل به گرما شده و باعث نرم شدن و ذوب پلاستیک و به وجود آمدن شرایط جوشکاری می‌شود. دستگاه ساخته شده برای جوشکاری ورق‌ها مطابق شکل(2) می‌باشد. از جک نشان داده شده در شکل برای اعمال نیرو در محل گره ارتعاشی استفاده شده است. مولد به کار رفته در این

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]

تحقیق فرکانس 20 کیلوهرتز تولید می‌کند لذا تمام مجموعه باید در این فرکانس ارتعاش کنند به همین جهت هورن طراحی‌شده نیز باید در تحلیل‌ها در این محدوده فرکانسی ارتعاش نماید. با توجه به این موضوع طراحی هورن بسیار مهم و نیاز به طراحی و تحلیل دارد. در قسمت بعد به توضیح آن پرداخته خواهد شد.

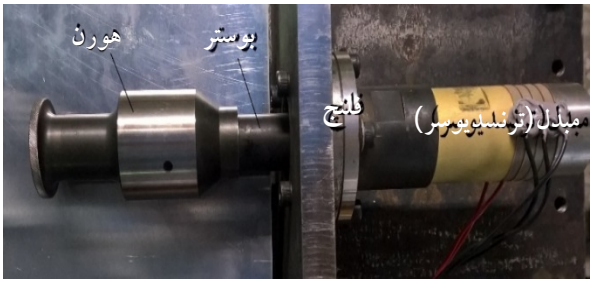


شکل2- شماتیکی از اجزای مونتاژ شده.

منطقه نقطه جوش به واسطه فشار هورن مساحت 5×5 میلی‌متر مربع بر روی ورق Al1050 ایجاد می‌کند. مساحت سندان ابعاد 5×10 میلی‌متر مربع دارد که برای ایجاد دستیابی به نقطه جوش مورد نظر بزرگتر از ابعاد روی هورن در نظر گرفته شده است. برای جلوگیری از حرکت ورق‌ها در حین فرایندUSW سطح تماس هورن با ورق‌ها و سطح سندان به صورت آج‌دار ساخته شده است.

2-3- بدست‌آوردن اولین مود طولی ارتعاشی هورن با شبیه‌سازی المان محدود و به صورت تجربی

تحلیل المان محدود یکی از قدرت‌مندترین و انعطاف‌پذیرترین ابزارهای موجود برای حل مسایل مهندسی می‌باشند. لیکن برای نهایی نمودن طرح اولیه هورن، نیاز به استفاده از آنالیز المان محدود می‌باشد تا بتوان از این طریق دقت محاسبات و تحلیل‌ها را افزایش داد [18]. در این تحقیق از نرم افزار ANSYS برای تحلیل نهایی هورن استفاده شد و با بررسی‌های مختلف المان محدود، هورن مناسب برای عملیات (USW) طراحی گردید. مشخصات فولاد به کار رفته در هورن مطابق جدول(3) می‌باشد.



شکل 3- هورن متصل به بوستر و مبدل آلتراسونیک به همراه فلنج تعبیه شده در نقطه گره.

جدول3- مشخصات هورن.

جنس ماده	چگالی $\rho\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	مدول الاستیسیته $E\,(GPa)$	ضریب پواسون υ	فرکانس تشدید $f\,(kHz)$
AISI 4140	7850	205	0.29	**20**

2-4- پارامترهای موثر در فرایند جوشکاری آلتراسونیک

مهمترین متغیرهای فرایند USW توان مولد آلتراسونیک، زمان جوشکاری و نیروی اعمالی به محل اتصال می‌باشد [14] و سعی بر آن است هر یک از این پارامترها به حالت بهینه درآمده تا بهترین جوش از لحاظ استحکام و رسوبات فصل مشترک بدست آید. هدف این تحقیق بررسی میزان تاثیرگذاری فرایندUSW در نمونه‌های مختلف با شرایط مختلف می‌باشد. از این رو جهت دست‌یابی به نتایج مناسب ابتدا پارامترها و فاکتورهای موثر بررسی و تعیین خواهد شد. ملاحظه می‌شود که پارامترهای فراوانی بر عملکرد دستگاه و کیفیت جوش موثر است در جدول(4) خلاصه‌ای از پارامترها و مقادیر انتخابی آن‌ها در فرایند USW ارایه شده است. انتخاب این مقادیر پس از انجام تعداد زیادی عملیات روی نمونه‌های مختلف همچنین در نظر گرفتن نیازهای مطرح شده در بالا در نظر گرفته شده است.

2-5-آزمون کشش و آنالیز SEM

برای آزمون کشش از دستگاه کشش یونیورسال تایم گروپ مدل WDW-100E استفاده شده است و فک دستگاه متناسب با

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]

جدول4- پارامترهای ثابت (و انتخابی) در فرایند USW روی نمونه‌های آزمایش.

فاکتورهای ثابت	مقدار
جنس ابزار (هورن)	AISI 4140 Alloy steel
منطقه نقطه جوش	5×5 mm^2
فرکانس مبدل	20kHz
ابعاد ورق‌ها	50×20 mm^2
ابعاد سندان (Anvil)	5×10 mm^2
ترتیب قرارگیری ورق‌ها	ورق ۳۱۰۵ در زیر
ضخامت ورق ۱۰۵۰	1 mm
ضخامت ورق ۳۱۰۵	0.5 mm
قطر جک نیوماتیک	63mm

جدول 5-پارامترهای جوشکاری شامل توان، زمان و فشار.

کد نمونه ها	زمان (sec)	توان (Watt)	فشار (bar)
P4W250t2, P4W350t2, P4W450t2, P4W550t2, P4W700t2	2	250,350,450,550,700	4
P4W250t3, P4W350t3, P4W450t3, P4W550t3, P4W700t3	3	250,350,450,550,700	4
P5W250t2, P5W350t2, P5W450t2, P5W550t2, P5W700t2	2	250,350,450,550,700	5
P5W250t3, P5W350t3, P5W450t3, P5W550t3, P5W700t3	3	250,350,450,550,700	5

ضخامت ورق‌ها تعویض شدند. همه آزمایش‌ها با سرعت 1 میلی‌متر بر دقیقه در دمای محیط انجام شد. برای آنالیز SEM نمونه‌ها در عرض جوش برش داده شدند و نمونه‌ها جهت SEM مانت گردید. برای تصویربرداری از دستگاه SEM مدل VEGA\TESCAN-LMU استفاده گردید.

3- نتایج و بحث

3-1- نتایج نمونه‌های فشار 4 بار و زمان 2 و 3 ثانیه

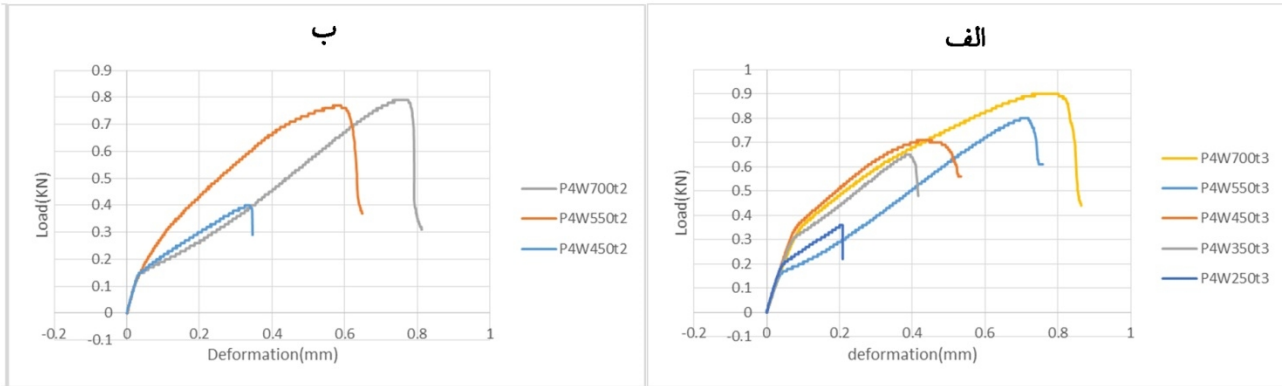
برای فشار 4 بار و زمان 2 ثانیه جوش با کد P4W250t2 و P4W350t2 انجام نشد و در واقع اتصال برقرار نشد و آن هم به علت توان پایین و زمان کوتاه بود که فرصت برای نفوذ و کار مکانیکی وجود نداشت. لذا برای این شرایط طراحی آزمایش‌های P4W250t2 و P4W350t2 را در نتایج قرار داده نشده‌اند.

برای سه مورد دیگر در این شرایط طراحی آزمایش، آزمایش کشش انجام گرفت و مشاهده گردید که برای نمونه P4W450t2 با توجه به اینکه اتصال جوش برقرار شده است اما در آزمایش کشش از محل جوش جدا نشد و ورق‌ها از روی هم جدا شدند ولی نکته قابل توجه این است که همچنان یک نیروی قابل تحمل (حدود 40 کیلوگرم) برای این اتصال وجود دارد که در نمودار شکل(4) قابل مشاهده است. بر خلاف حالت قبل در شرایط آزمایش 4 بار و زمان 3 ثانیه همه جوش‌ها در توان‌های مختلف شکل گرفتند. اما در توان‌های پایین برای نمونه‌هایP4W250t3 و P4W350t3 باز هم جوش از استحکام کافی برخوردار نبود و در موقع آزمایش کشش ورق‌ها از روی هم جدا شدند. نتایج حاصل از آزمایش کشش به صورت شکل(4) می‌باشد.

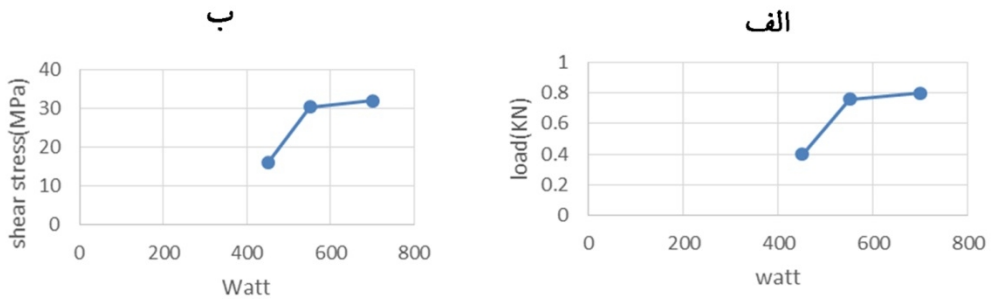
همانطور که از شکل(4) مشاهده می‌شود برای زمان 2 ثانیه نمونه با توان 450 وات دارای حد تحمل 40 کیلوگرم و نمونه‌های با توان 550 و 700 وات به ترتیب دارای حد تحمل 76 کیلوگرم و 80 کیلوگرم می‌باشند. نحوه تغییرات نیروی قابل تحمل توسط جوش و تنش برشی بر حسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک در شکل‌های(5 و 6) قابل مشاهده می‌باشند. و برای نمونه‌های زمان 3 ثانیه در توان 250 وات جوش از استحکام کافی برخوردار نمی‌باشد و در آزمون کشش و ورق‌ها از روی‌هم جدا شدند. اما با افزایش توان از 350 تا 700 وات حد تحمل جوش افزایش یافته تا جایی‌که در 700 وات نیرویی حدود 90 کیلوگرم را تحمل می‌کند. همچنین با افزایش توان

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]

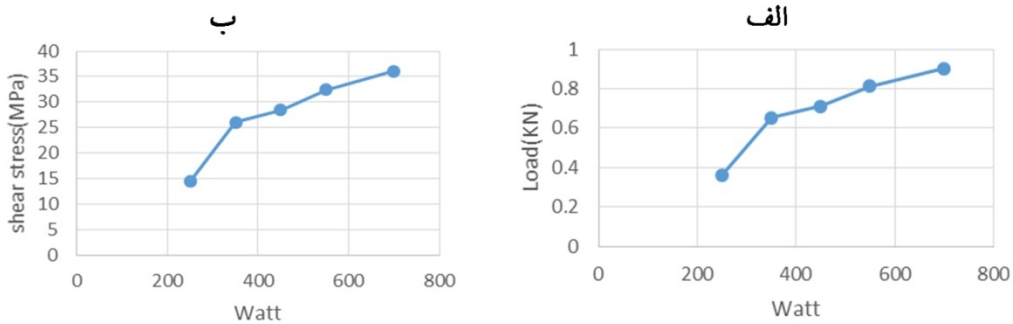
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]



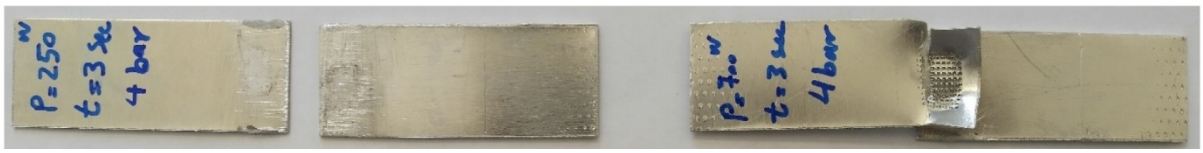
شکل 4- نتایج آزمایش کشش در فشار4 بار، الف) 3 ثانیه و ب)2 ثانیه.



شکل 5- الف- نمودار نیرو برحسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک، ب- نمودار تنش برشی برحسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک (زمان 2 ثانیه).



شکل6- الف- نمودار نیرو برحسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک، ب- نمودار تنش برشی برحسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک (زمان 3 ثانیه).



شکل7- نمونه‌ای از جدا شدن ورق‌ها.

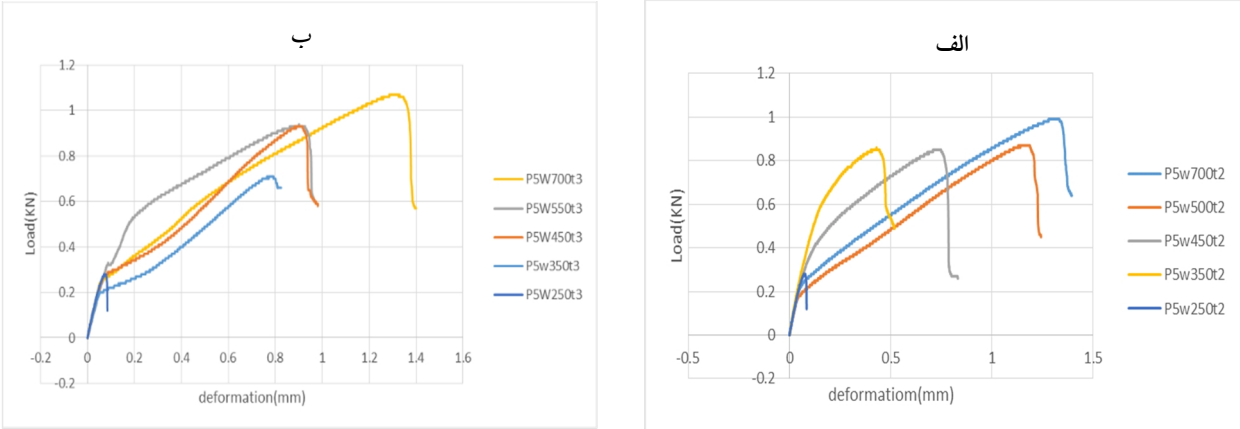
میزان تغییر شکل نمونه‌های جوش خورده نیز افزایش یافته است. نحوه تغییرات نیروی قابل تحمل توسط جوش و تنش برشی در شکل‌های 5 و 6 قابل مشاهده می‌باشند.

3-2- نتایج نمونه‌های فشار 5 بار و زمان 2و3 ثانیه

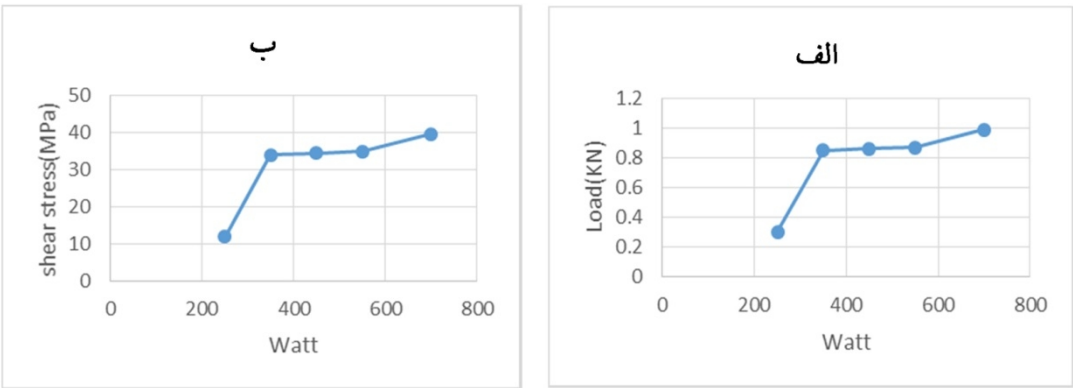
در این شرایط آزمایش نیز همه جوش‌ها در توان‌های مختلف صورت گرفت و از استحکام قابل قبولی برخوردار هستند. از نتایج آزمایش کشش مشخص شد (شکل 8) که تمام اتصال جوشی از ناحیه متصل شده جوش جدا می‌شوند به جز نمونه P5W250t2 و P5W250t3 که موقع آزمایش ورق‌ها از روی هم جدا شدند. همانطورکه از شکل(9 و 10) مشاهده می‌شود با افزایش توان، تنش برشی افزایش می‌یابد که این افزایش برای حالت توان 5 بار و زمان 3 ثانیه نسبت به حالت‌های قبلی محسوس است.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]

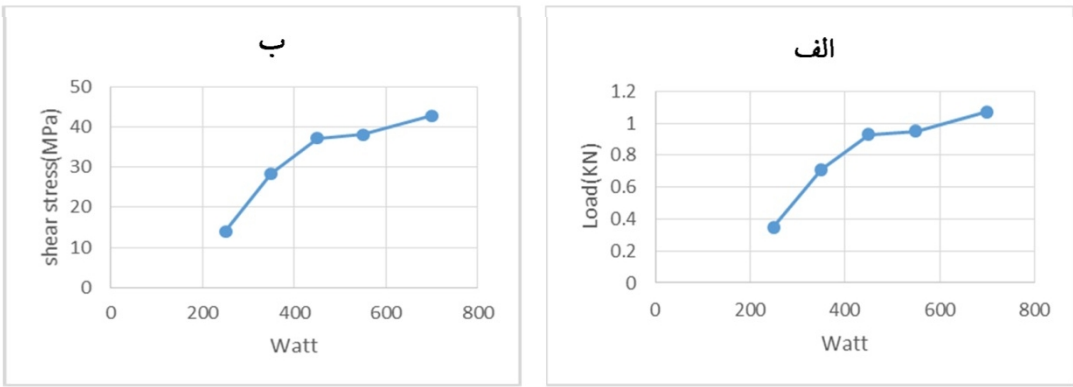
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]



شکل8-نتایج آزمایش کشش در فشار 4بار، الف- 2 ثانیه و ب- 3 ثانیه.



شکل9- الف- نمودار نیرو بر حسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک، ب- نمودار تنش برشی برحسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک (زمان 2 ثانیه).



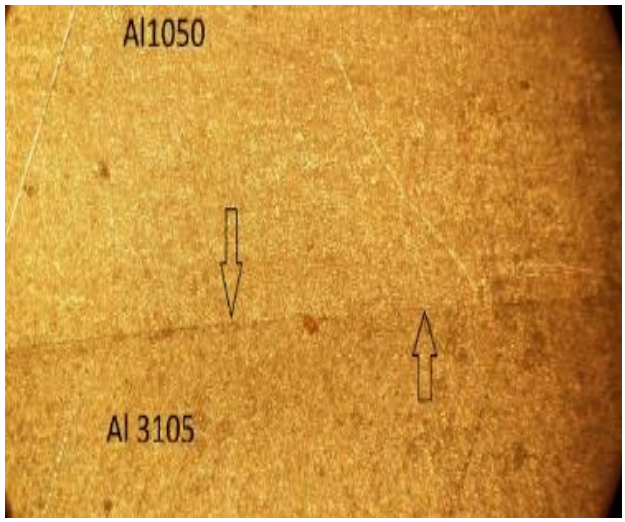
شکل10-الف- نمودار نیرو بر حسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک، ب- نمودار تنش برشی برحسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک (زمان 3 ثانیه).

3-3-تحلیل ریز ساختار محل اتصال ورق‌ها

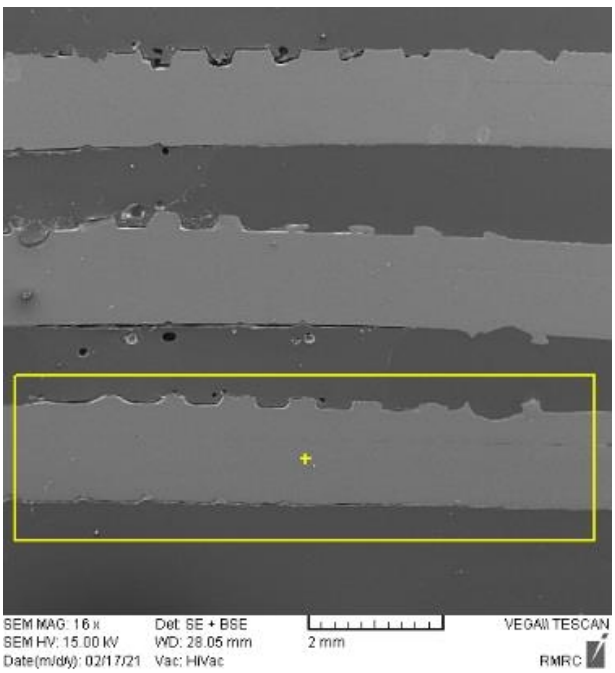
با توجه به اینکه بیشترین استحکام جوش نمونه‌ها در فشار 5بار و زمان 3 ثانیه رخ داده است لذا انجام تصویربرداری SEM و سایر ارزیابی‌ها محدود به این حالت بهینه شد. با مشاهده مرز جوش نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری (شکل 11) در بزرگنمایی‌های کم باند تیره در مرز دو ورق مشاهده می‌شود که برای توان‌های مختلف پیدایش این باند تیره متفاوت خواهد بود. این باند تیره رنگ، همان لایه اکسیدی موجود در سطح دو نمونه‌ها قبل از اتصال است که حین اتصال شکسته و در مرز جوش پخش شده است [19] مشاهده مرز اتصال (تصویر

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]

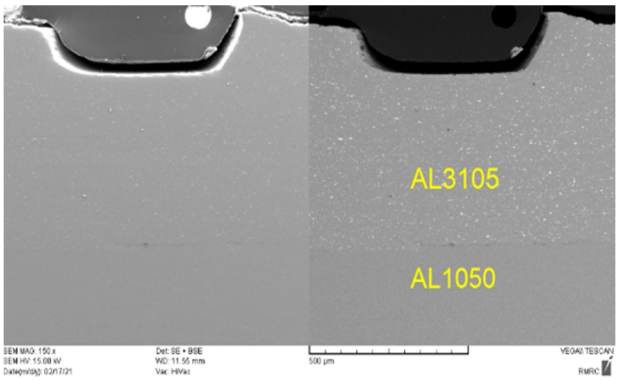
میکروسکوپ روبشی شکل (12) نشان می‌دهد که اتصال کاملا عاری از هرگونه تخلخل و حفره و ناپیوستگی و سایر عیوب جوش می‌باشد. شکل (13) اتصال ورق آلومینیم 1050 و 3105 را نشان می‌دهد با توجه به شکل مشخص می‌شود که آلومینیوم3105 (که حاوی عناصر آلیاژ منگنز، آهن و سیلیسیوم است) ترکیبات بین فلزی Mn، Si و Fe به صورت ناحیه‌های سفید رنگ مشخص شده است.



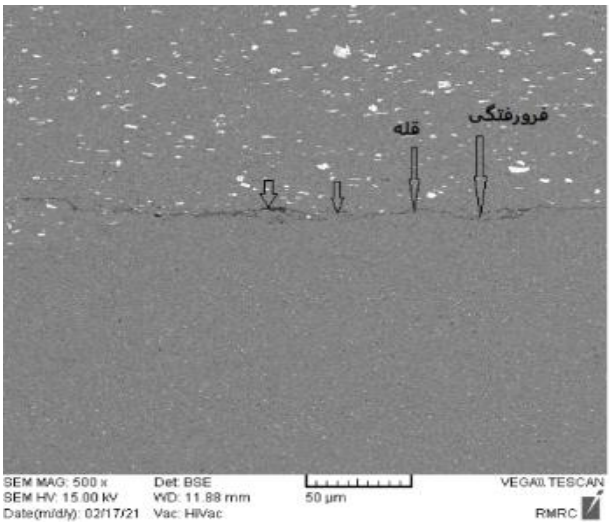
شکل11- مرز جوش با میکروسکوپ نوری بزرگنمایی 100.



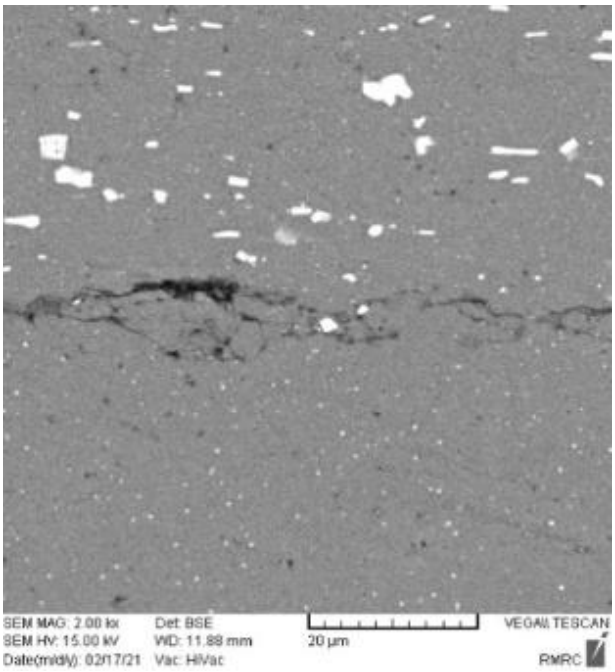
شکل12- نمایی از مقاطع برش خورده Al1050 به Al3105.



شکل13- تصاویر SEM در مود SE و BSE از ناحیه اتصال دو ورق.

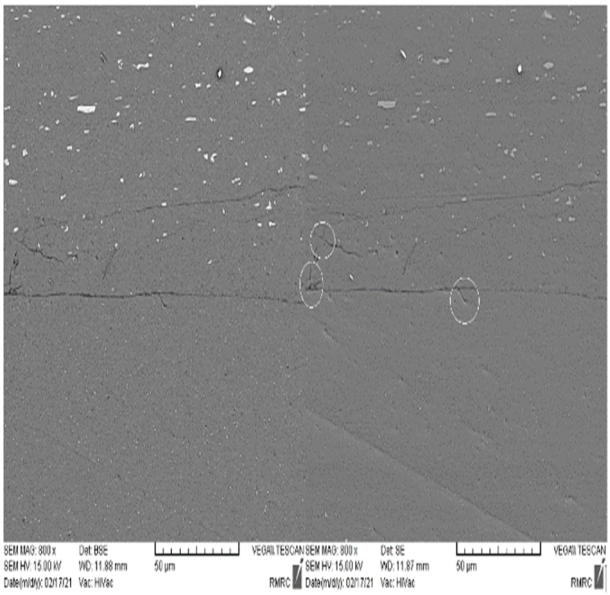


شکل14- تصویر SEM مود BSE در بزرگنمایی 500.



شکل15- تصویر SEM حالت BSE در بزرگنمایی 2000.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]



شکل 16- تصاویر SEM در حالت SE و BSE در بزرگنمایی 800.

از تصویر شکل(14) مشاهده می‌شود که اولاً خطوط منطقه جوش (منطقه جوش نقطه‌ای) به صورت پیوسته شکل گرفته است و جای خالی وجود ندارد و شکل ایجاد شده متناسب با شکل موجی مانند سندان می‌باشد. در واقع در توان‌های زیاد جوشکاری شاهد بیشترین تغییر شکل مورفولوژی خط جوش می‌باشیم و شکل قله‌ها و فرو رفتگی‌هایی که در طول خط جوش است مربوط به شکل هورن و سندان است. در شکل (15) مرز جوش دو قطعه آلومینیمی در بزرگنمایی بالاتر تصویربرداری شده است. مشاهده می‌شود که تعدادی از ذرات سفید رنگ زمینه آلومینیم 3105 به داخل مرز جوش نفوذ کرده‌اند که این حاکی از نفوذ اتمی جزیی دو قطعه در ناحیه اتصال است. همانطور که از سطح مقطع جوش مشخص است، مشاهده می‌شود که در مرز جوش خطوط به حالت ورتکس درآمده‌اند و شاخه‌ای شدن خطوط به وضوح قابل مشاهده می‌باشد که نتیجه همان حرکت ورتکس مانند خط جوش است مثالی از شاخه شدن خط جوش در شکل (16) با دایره مشخص شده است.

4- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایش کشش مشاهده می‌شود که با افزایش توان و زمان اعمال نیرو به محل اتصال، استحکام جوش افزایش می‌یابد و در واقع افزایش توان به معنای افزایش شدت جریانی است که دستگاه مولد آلتراسونیک مصرف می‌کند. با افزایش توان دامنه فرکانس‌ها تغییر می‌کند و در نتیجه انرژی بیشتری به محل جوش وارد می‌شود و باعث افزایش دما در فصل مشترک ورق‌ها خواهد شد و نفوذ عناصر آلیاژی اتفاق می‌افتد در توان‌های پایین و زمان‌های کم اعمال نیرو، جدایش ورق‌ها از روی یکدیگر مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد انرژی (دمای) کافی در محل اتصال‌ها و زمان کافی برای نفوذ عناصر آلیاژی وجود نداشته است. بیشترین استحکام اتصال برای فشار 5 بار زمان 3 ثانیه‌ها اتفاق افتاد و در این حالت تغییر طول نمونه در حین آزمایش کشش نیز نسبت به حالت‌های قبلی قابل توجه بود اما این بدان معنی نیست که بقیه جوش‌ها مورد قبول نیستند و بنا بر کاربرد مورد نظر و محل مورد استفاده جهت کاهش مصرف انرژی و زمان می‌توان این نقطه جوش‌ها نیز با استحکام به دست آمده مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

1. Robson J, Panteli A, Prangnell PB. Modelling intermetallic phase formation in dissimilar metal ultrasonic welding of Aluminium and magnesium alloys. Science and Technology of Welding and Joining. 2013;17 (6):447-53.
2. Sriraman M, Gonser M, Fujii HT, Babu S, Bloss M. Thermal transients during processing of materials by very high power ultrasonic additive manufacturing. Journal of MateriALs Processing Technology. 2011;211 (10):1650-7.
3. Sriraman M, Gonser M, Foster D, Fujii HT, Babu S, Bloss M. Thermal transients during processing of 3003 Al-H18 multilayer build by very high-power ultrasonic additive manufacturing. Metallurgical and Materials Transactions B. 2012;43 (1):133-44.
4. Panteli A, Chen Y-C, Strong D, Zhang X, Prangnell P. Optimization of Aluminium-to-magnesium ultrasonic spot welding. Jom. 2012;64 (3):414-20.
5. Chen Y, Nakata K. Friction stir lap joining Aluminum and magnesium Alloys. Scripta materialia. 2008;58 (6):433-6.
6. Amaninia H, Meysami A.H, Foroughifar A. Investigation of RSW process on three- layer joining of Steel to 6061-T8 Aluminum. Materials and Manufacturing Process. 2019;34 (15):1681-8.
7. Ledoux A. Theory of piezoelectric materials and their applications in civil engineering: Massachusetts Institute of Technology; 2011.aals: Butterworth-Heinemann; 2015.
9. Wang B, Lei B-b, Zhu J-x, Feng Q, Wang L, Wu D. EBSD study on microstructure and texture of friction stir welded AA5052-O and AA6061-T6 dissimilar joint. Materials & Design. 2015;87:593-9.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]

[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]

10. Ghaffarpour M, Kolahgar S, Dariani BM, Dehghani K. Evaluation of dissimilar welds of 5083-H12 and 6061-T6 produced by friction stir welding. Metallurgical and Materials Transactions A. 2013;44 (8):3697-707.
11. Izadi H, Fallu J, Abdel-Gwad A, Liyanage T, Gerlich A. Analysis of tool geometry in dissimilar Al alloy friction stir welds using optical microscopy and serial sectioning. Science and Technology of Welding and Joining. 2013;18 (4):307-13.
12. Hamilton C, Kopyściański M, Węglowska A, Dymek S, Pietras A. A numerical simulation for dissimilar Aluminum alloys joined by friction stir welding. Metallurgical and Materials Transactions A. 2016;47 (9):4519-29.
13. Guo J, Chen H, Sun C, Bi G, Sun Z, Wei J. Friction stir welding of dissimilar materials between AA6061 and AA7075 Al alloys effects of process parameters. Materials & Design (1980-2015). 2014;56:185-92.
14. Fujii H, Endo H, Sato Y, Kokawa H. Interfacia microstructure evolution and weld formation during ultrasonic welding of Al alloy to Cu. Materials Characterization. 2018;139:233-40.
15. Dongming ZPFDG, Yaying F. Design of horn using four-end network method [J]. Acta Acustica. 2002;6:014.
16. Bängtsson E, Noreland D, Berggren M. Shape optimization of an acoustic horn. Computer methods in applied mechanics and engineering. 2003;192 (11):1533-71.
17. Graham G, Petzing J, Lucas M. Modal analysis of ultrasonic block horns by ESPI. Ultrasonics. 1999; 37 (2):149-57.
18. Ensminger D, Bond LJ. Ultrasonics: fundamentals, technologies, and applications: CRC press; 2011.
19. Kong C, Soar R, Dickens P. Optimum process parameters for ultrasonic consolidation of 3003 Aluminium. JournAL of materials processing technology. 2004;146 (2):181-7.

[Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-11-18]
[DOR: 20.1001.1.2476583.1400.7.1.6.7]