

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

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

حمیدرضا معصومی¹، سیدحامد رضوی²، امیرحسین میثمی¹، محمد خدایی¹ 1- گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، گلپایگان 2- گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی مهندسی گلپایگان، دانشگاه صنعتی اصفهان، گلپایگان

(دريافت مقاله: 1400/05/12؛ پذيرش مقاله: 1400/06/05)

چکیدہ

آلیاژهای آلومینیم AI1050 به ضخامت یک میلیمتر و AI3105 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 حین USW، فرایند نفوذ و اختلاط مکانیکی در ایجاد جوش در فصل مشترک ورقها دخیل هستند. عنصر آلیاژی Mn موجود در AI305 در OLS نفوذ میکند. رفتار نفوذ در محل قرارگیری ورق 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 متغیرهای جوشکاری در نظر گرفته شدند و نقطه بهینه برای شرایط جوشکاری بود. همچنین در آزمایش کشش، پارگی ورقها از اطراف محل نقطه جوش (خارج از نقطه جوش) صورت گرفت.

كلمات كليدى: آلتراسونيك، هورن، مبدل آلتراسونيك، نفوذ، اتصال غير مشابه.

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

H.R. Masoumi¹, H. Razavi², A.H. Meysami¹, M. Khodaei¹

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,

* نويسنده مسئول، پست الكترونيكي: <u>a.meysami@iut.ac.ir</u>

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.

ایجاد خواهد نمود که بیانگر این حقیقت است که جوشکاری مذابی آلیاژهای آلومینیم موفقیت آمیز 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 WSF میباشد که تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است و بر روی اتصال آلیاژهای آلومینیم کار شده است [8].

از جمله این تحقیقات می توان 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 به صورت 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 اکششی و ریز ساختار بررسی می شوند. 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 می توان قطعات فلزی نازک از قبیل فویل های فلزی، سیمها و صفحه ها را به یکدیگر جوش داد که روشی بسیار راحت ر از سایر تکنیک های متداول جوشکاری می باشد [3]. بنابراین جوشکاری آلتراسونیک فلزات برای کاربردهای ساخت و تولید جایگاه و استفاده ویژه خواهند داشت. در سال های اخیر توجه زیادی به جوشکاری غیر هم جنس مابین فلزات سبک جهت کاهش وزن در تولیدات صنعتی صورت گرفته است. و به طور خاص، گسترش تکنیک های جوشکاری آلیاژهای آلومینیم در صنایع الکتریکی، اتومبیل سازی و صنایع هوایی مورد توجه قرار گرفته است [4].

آلیاژهای آلومینیم دارای مقاومت بالا، فرم پذیری خوب و وزن کم می باشند و به جهت کاهش اثرات گلخانه ای مورد استفاده قرار گرفته اند [5]. ایجاد اتصال بین آلیاژهای آلومینیم به صورت غیرهم جنس جهت رسیدن به ترکیبی از خواص دو آلیاژ مورد توجه محققین است [6]. جوشکاری مذابی آلیاژهای آلومینیم همیشه دانه های درشت و ترکیبات بین فلزی (IMC) شکننده

Downloaded from jwsti.iut.ac.ir on 2025-06-15

جدول1- ترکیب شیمیایی آلومینیم 3105 و 1050.								
	تركيبات	Al	Mn	Cu	Fe	Si	Cr	Zn
آلومينيم ٣١٠٥	درصد وزنى	97.52	0.666	0.089	0.692	0.676	0.007	0.13
آلومينيم ١٠٥٠	درصد وزنى	97.57	0.008	0.003	0.279	0.06	< 0.002	0.059

جدول 2- خواص مكانيكي ألومينيم 3105 و 1050.

آلياژ	Density $\left(1000 \frac{k_g}{m^3}\right)$	Poisson ratio	Elastic Modulus (GPa)	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Hardness (HB)	Shear Strength (MPa)
آلومينيم ٣١٠٥	2.72	0.33	69.8	152	131	40	96.5
آلومينيم ١٠٥٠	2.705	0.33	68	110	103	30	96

2- مواد و روش پژوهش 2-1- آمادهسازی ورقها

جداول (او 2) 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 استاندارد10–1002 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 (شکل 1). محل همپوشانی ورقها با سماده 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- تجهيزات فرايند جوشكارى آلتراسونيک

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 ماشین های آلتراسونیک در فرکانسی بالاتر از 20 کیلو هرتز کار میکنند [17] و صدایی

تولید می کنند که شبیه یک سوت بوده که می تواند 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.



شكل1- نحوه همپوشاني ورق،ها جهت جوشكاري (ابعاد برحسب ميليمتر).

امواج تولید شده در مبدل به بوستر رفته و دامنه آن تا حد دلخواه افزایش پیدا می کند و سپس در هورن (که یک وسیله صوتی مکانیکی است) امواج صوتی مستقیماً به قطعه کار منتقل می شود. 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 می شود. دستگاه ساخته شده برای جوشکاری ورق ها مطابق شکل (2) می باشد. از جک نشان داده شده در شکل برای اعمال نیرو در محل گره ارتعاشی استفاده شده است. مولد به کار رفته در این

تحقیق فرکانس 20 کیلوهرتز تولید میکند لذا تمام مجموعه باید در این فرکانس ارتعاش کنند به همین جهت هورن طراحی شده 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.



شكل2- شماتيكي از اجزاي مونتاژ شده.

منطقه نقطه جوش به واسطه فشار هورن مساحت 5×5 میلی متر مربع بر روی ورق A11050 ایجاد می کند. مساحت سندان ابعاد 10×5 میلی متر 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- بدست آوردن اولین مود طولی ارتعاشی هورن با شبیه سازی المان محدود و به صورت تجربی

تحلیل المان محدود یکی از قدرتمندترین و انعطاف پذیرترین ابزارهای موجود برای حل مسایل مهندسی می باشند. لیکن برای نهایی نمودن طرح اولیه هورن، نیاز به استفاده از آنالیز المان محدود می باشد تا بتوان از این طریق دقت محاسبات و تحلیل ها را افزایش داد [18]. در این تحقیق از نرم افزار ANSYS برای تحلیل نهایی هورن استفاده شد و با بررسی های 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 فلنچ تعبیه شده در نقطه گره.

جندونان مستحصات هورن	هورن	مشخصات	جدول3-
----------------------	------	--------	--------

جنس ماده	چگالی $ ho\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	مدول الاستيسيته E (GPa)	ضريب پواسون U	فرکانس تشدید f (kHz)
AISI 4140	7850	205	0.29	20

4-2- 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 فرایندWSU 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 آنها در فراوانی بر عملکرد دستگاه و کیفیت جوش موثر آنها در فرایند USW ارایه شده است. انتخاب این مقادیر پس آنها در فرایند USW ارایه شده است. انتخاب این مقادیر پس آنها در فرایند USW ارایه شده است. انتخاب این مقادیر پس آنها در فرایند USW ارایه شده است. انتخاب این مقادیر پس

5-2-آزمون کشش و آنالیز SEM

برای آزمون کشش از دستگاه کشـش یونیورسـال تـایم گـروپ مدل WDW-100E استفاده شده است و فک دستگاه متناسب با

حمیدرضا معصومی و همکاران، نشریه علوم و فناوری جوشکاری ایران، سال هفتم، شماره1، بهار و تابستان 1400، صفحه61-61 جدول4- پارامترهای ثابت (و انتخابی) در فرایند USW روی نمونههای آزمایش.

• • •	
مقدار	فاكتورهاي ثابت
AISI 4140 Alloy steel	جنس ابزار (هورن)
5×5 mm ²	منطقه نقطه جوش
20kHz	فركانس مبدل
50×20 mm ²	ابعاد ورقها
5×10 mm ²	ابعاد سندان (Anvil)
ورق ۳۱۰۵ در زیر	ترتيب قرارگيري ورق،ها
1 mm	ضخامت ورق ۱۰۵۰
0.5 mm	ضخامت ورق ۳۱۰۵
63mm	قطر جک نیوماتیک

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

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 نمونههای P4W250t3 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) می باشد.

همانطور که از شکل (4) مشاهده می شود برای زمان 2 ثانیه نمونه با توان 450 وات دارای حد تحمل 40 کیلوگرم و نمونه های با توان 550 و 700 وات به ترتیب دارای حد تحمل 70 کیلوگرم و 80 کیلوگرم می باشند. نحوه تغییرات نیروی قابل تحمل توسط جوش و تنش برشی بر حسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک در شکل های (5 و 6) قابل مشاهده می باشند. و برای نمونه های زمان 3 ثانیه در توان 250 وات جوش از استحکام کافی بر خوردار نمی باشد و در آزمون کشش و ورق ها از روی هم جدا شدند. اما با افزایش توان از 300 وات حد تحمل جوش افزایش یافته تا جایی که در 700 وات نیرویی حدود 90 کیلوگرم را تحمل می کند. همچنین با افزایش توان 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- نتايج 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 P4W250t2 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



0.2 0

1

0.8

0.4

0.2

0

ب توان مصرفی مولد آلتراسونیک، ب- نمودار تنش برشی برح

0

Load(KN) 0.6 0

200

شکل 5- الف- نمودار نیرو برحسب توان مصرفی مولد آلتراسونیک، ب- نمودار تنش برشی برحس

200

400

watt

400

Watt

الف

600

600

800

800

شکل6- الف- نمودار نيرو برحم



800

شکل7- نمونهای از جدا شدن ورقها.

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

2-3- نتایج نمونه های 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) کے تمام اتصال جوشی از ناحیه متصل شده جوش جدا می شوند به جـز نمونـه P5W250t2 و P5W250t3 که موقع آزمایش ورق،ها از روی هم جدا شدند. همانطور که از شکل (9 و 10) مشاهده میشود با افزایش توان، تنش برشی افزایش می یابد که این افزایش برای حالت توان 5 بار و زمان 3 ثانیه نسبت به حالت های قبلی محسوس است.

10

0

40 35

30 25 20

15 10

5

0

t=3 Se 4 bay

P= 250

0

ب توان مصرفي مولد آلتراسونيک (زمان 3 ثانيه).

200

shear stress(MPa)

0

ىب توان مصرفى مولد آلتراسونيك (زمان 2 ثانيه).

200

400

Watt

400

Watt

ب

600

600

800



شكل8-نتايج آزمايش كشش در فشار 4بار، الف- 2 ثانيه و ب- 3 ثانيه.





شكل9- الف- نمودار نيرو بر حسب توان مصرفي مولد ألتراسونيك، ب- نمودار تنش برشي برحسب توان مصرفي مولد ألتراسونيك (زمان 2 ثانيه).

شكل10-الف- نمودار نيرو بر حسب توان مصرفي مولد التراسونيك، ب- نمودار تنش برشي برحسب توان مصرفي مولد التراسونيك (زمان 3 ثانيه).

بزرگنمایی های کم باند تیره در مرز دو ورق مشاهده می شود که برای توانهای مختلف پیدایش این باند تیره متفاوت خواهد بود. این باند تیره رنگ، همان لایه اکسیدی موجود در سطح دو نمونه ها قبل از اتصال است که حین اتصال شکسته و در مرز جوش پخش شده است [19] مشاهده مرز اتصال (تصویر 3-3-تحلیل ریز ساختار محل اتصال ورق ها با توجه به اینکه بیشترین استحکام جوش نمونه ها در فشار 5بار و زمان 3 ثانیه رخ داده است لذا انجام تصویر برداری SEM و سایر ارزیابی ها محدود به این حالت بهینه شد. با مشاهده مرز جوش نمونه ها توسط میکروسکوپ نوری (شکل 11) در AL3105 AL1050 BM W0 151 BM W0 152 BM

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



شکل14- تصویر SEM مود BSE در بزرگنمایی 500.



شكل15- تصوير SEM حالت BSE در بزرگنمايي 2000.

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 د Fe به صورت ناحیههای سفید رنگ مشخص شده است.



شكل11- مرز جوش با ميكروسكوپ نوري بزرگنمايي 100.



شکل12- نمایی از مقاطع برش خورده Al1050 به Al3105.

 л.
 л.

 гер
 л.

 гер
 л.

 гер
 л.

 гер
 гер

 гер

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

از تصویر شکل (14) مشاهده می شود 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 جوشكارى شاهد بيشترين تغيير شكل مورفولوژي خط جـوش میباشیم و شکل قلهها و فرو رفتگیهایی که در طول خط جوش است مربوط به شکل هورن و سندان است. در شکل (15) مرز جـوش دو قطعــه آلـومينيمي در بزرگنمـايي بــالاتر تصویر برداری شده است. مشاهده می شود که تعدادی از ذرات سفيد رنگ زمينه آلـومينيم 3105 بـ داخـل مـرز جـوش نفـوذ کردهاند که این حاکی از نفوذ اتمی جزیبی دو قطعیه در ناحییه اتصال است. همانطور که از سطح مقطع جوش مشخص است، مشاهده می شود که در مرز جوش خطوط به حالت ورتکس درآمدهاند و شاخهای شدن خطوط به وضوح قابل مشاهده مى باشد كه نتيجه همان حركت ورتكس مانند خط جوش است مثالی از شاخه شدن خط جوش در شکل (16) با دایره مشخص شده است.

4- نتيجەگىرى

ENEC

با توجه به نتایج آزمایش کشش مشاهده می شود که با افزایش توان و زمان اعمال نیرو به محل اتصال، استحکام جوش افزایش

می یابد و در واقع افزایش توان به معنای افزایش شدت جریانی است که دستگاه مولد آلتراسونیک مصرف می کند. با افزایش توان دامنه فرکانسها تغییر می کند و در نتیجه انرژی بیشتری به محل جوش وارد می شود و باعث افزایش دما در فصل مشترک ورق ها خواهد شد و نفوذ عناصر آلیاژی اتفاق می افتد در توان های پایین و زمان های کم اعمال نیرو، جدایش ورق ها از روی یکدیگر مشاهده می شود که نشان می دهد 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 ثانیه ها اتفاق افتاد و در این حالت تغییر طول نمونه در بود اما این بدان معنی نیست که بقیه جوش ها مورد قبول نیستند و بنا بر کاربرد مورد نظر و محل مورد استفاده جهت کاهش 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.

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.

69

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.

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