



## مطالعه استحکام اتصال لایه‌ای در کامپوزیت SS316/Al 1050 تولید شده به روش فرآیند اتصال نورد تجمعی

مجید خدابخش<sup>1</sup>، مسعود محمودی<sup>2\*</sup>

1- دانشجوی مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

2- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

\* سمنان، صندوق پستی 35131-19111، mahmoodi@semnan.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت: 96/9/13 پذیرش: 96/12/12	در این مقاله به مطالعه استحکام لایه ای در کامپوزیت آلومینیوم AA1050 و فولاد SS 316 تولید شده به روش فرآیند اتصال نورد تجمعی پرداخته شده است. نمونه‌های فرآیند نورد تجمعی به منظور بررسی استحکام لایه کنی و برشی تحت آزمون کشش تک محور در جهت نورد قرار گرفتند. استحکام لایه ای در هر نمونه اندازه گیری و نتایج حاصل از آزمایش‌ها با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که استحکام در برش لایه ای نسبت به لایه کنی بیشتر بوده است؛ همچنین پس از انجام 5 پاس فرآیند نورد تجمعی، ریز ساختار ورق مشاهده شد. به منظور بررسی استحکام نمونه‌ها طی پاس‌های مختلف فرآیند، آزمون‌های کشش انجام شدند که نتایج، به طور کلی بیانگر افزایش استحکام بودند. مطالعات بعدی بر روی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقاطع شکست نمونه‌های حاصل نشان داد که با افزایش پاس‌های فرآیند، ضخامت لایه‌های فولاد کمتر گشته تا این لایه‌ها در پاس 3 به پارگی رسیدند. در ادامه تغییرات سختی در راستای ضخامت ورق، در پاس‌های متوالی مطالعه شدند. نتایج حاکی از آن بودند که در پاس 2 افزایش سختی چشمگیر بوده است.
کلیدواژگان: کامپوزیت Al/St فرآیند نورد تجمعی (ARB) استحکام لایه کنی استحکام برشی	

## A study of layer strength in composite al 1050/ss 316 manufactured by accumulative roll bonding process

Majid Khodabakhshi, Masoud Mahmoodi\*

Department of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran  
\* P.O.B. 35131-19111 Semnan, Iran, mahmoodi@semnan.ac.ir

### Keywords

Composite Al/St  
Accumulative Roll bonding (ARB)  
Peel strength  
Shear strength

### Abstract

This paper studies the shear and peel strength of composite AA1050 aluminum and SS 316 steel manufactured by accumulative roll bonding (ARB) process. The ARB samples were tested for shear and peel strength under a single axial tensile test. The layer strength was measured in each sample and the results of the experiments were compared. The results showed that the shear strength of layers was higher than the peel strength; also the microstructure of the sheet after performing 5 cycles of the ARB process was observed. To test the strength of the samples during different passes of the process, tensile tests were carried out; the results indicated a general increase in strength. Further studies on the scanning electron microscope (SEM) images of the fracture sections of the samples showed that by increasing the number of passes, the thickness of the steel layers was less than that in the pass 3 of these layers to tear. In the following, hardness changes along the sheet thickness were studied in successive passes. The results indicated that the pass 2 had an impressive increase in hardness.

### 1-مقدمه

میکرو و نانو متری کاهش می یابد. همزمان با این تغییر، خواص مکانیکی نمونه بهبود چشمگیری می یابد [4-6].

اخیرا مواد فلزی کامپوزیت متشکل از دو یا چند فلز به دلیل ویژگی‌های مناسب مکانیکی، الکتریکی و مغناطیسی می‌توانند به عنوان موادی بالقوه برای کاربردهای خاص به کار گرفته شوند [7]. فرآیند نورد تجمعی بر مبنای ایجاد کرنش‌های شدید بر روی یک نمونه پیوسته بزرگ است که با تکرار آن قابلیت دسترسی به مواد با اندازه دانه فوق ریز مهیا می‌شود [8] و می‌توان از آن برای تولید کامپوزیتهای فلزی بهره جست. نورد تجمعی اولین بار توسط سایتو و همکاران معرفی شد [9]. هدف نورد تجمعی دست یابی به ساختاری

تغییر شکل پلاستیک شدید یکی از مهمترین روش‌های موثر در ارتقا و بهبود خواص مکانیکی فلزات و بسیاری از آلیاژها بوده است [1]. خواص بی نظیری همچون استحکام زیاد در دمای محیط، خواص سوپر پلاستیک در دمای بالا، نرخ کرنش کم و مقاومت عالی در برابر خوردگی از مزایای این روش است [2-3]. اصول روش عموماً بر مبنای عدم تغییر ابعاد نمونه حین اعمال کرنش در تمام فرآیندهای تغییر شکل شدید پلاستیکی است که باعث ایجاد تغییرات ریز ساختار عمده ای در نمونه‌ها می‌شود. بعد از اعمال مقدار زیادی کرنش پلاستیک به نمونه فلزی، اندازه دانه‌ها به طرز قابل ملاحظه ای تا اندازه

Please cite this article using:

khodabakhshi, M. and mahmoodi, M., "A Study of Layer Strength in Composite Al 1050/SS 316 Manufactured By Accumulative Roll Bonding Process", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 5, No. 4, pp. 479-484, 2019.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

فویل فولادی بین دو ورقه آلومینیوم در سمت‌هایی که برس زده شده قرار می‌گیرد. عملیات اتصال به کمک دستگاه نورد سرد با قطر غلتک 12 mm و سرعت دوران 29 rpm تحت کاهش ضخامت 55% انجام شده است. نوع کرنش‌های اعمالی به قطعات از نوع صفحه ای بوده به همین جهت در عرض نمونه تغییرات ابعاد وجود ندارد و طول نمونه که تقریباً به دو برابر طول اولیه خود رسیده است، از وسط به دو قسمت مساوی بریده شده و فرآیند مجدداً تکرار می‌شود. این فرآیند تا 5 پاس انجام شده است. به منظور مطالعه روی استحکام لایه کنی دو نمونه مجزا در پاس 1 تولید گردید. استحکام اتصال بین فویل فولاد 316 و آلومینیوم 1050 در فرآیند نورد تجمعی به کمک آزمون بررسی استحکام اتصال لایه ای به دو روش برشی و لایه کنی طبق استانداردهای ASTM-D1876-01 و ASTM-D3166 اندازه‌گیری شدند [18-19]. تست لایه کنی به کمک دستگاه کشش SANTAM STM 400 با ظرفیت 40 تن و سرعت  $1 \frac{mm}{min}$  انجام شده است.

شکل 1 نمای شماتیک از آزمون‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که گفته شد نحوه تولید نمونه لایه کنی برشی به طور همزمان همانند روش تولید نمونه‌های لایه کنی است فقط با این تفاوت که در آماده سازی ورق‌ها به اندازه 50 mm از یک لبه دلخواه ورق در راستای طول برس کاری نمی‌شود تا بعد از فرآیند اتصال بتوان دو لبه ورق را به آن اندازه استاندارد باز نمود. همچنین در آزمون لایه کنی بعد از عملیات نورد محل اتصال دو لبه باز شده، و توسط ابزار فرم دهی فیلت به شعاع تعریف شده طبق استاندارد مرتبط با تست ASTM-D1876-01 رسیده اند و سپس آزمون کشش انجام شده است. در "شکل 2" نمونه‌های تولیدی قابل مشاهده است. به منظور بررسی استحکام و میزان شکل پذیری، ورق‌های تولید شده در دمای محیط تحت آزمون کشش تک محوره با نرخ کرنش  $0.00083 \text{ s}^{-1}$  قرار گرفته‌اند. طبق استانداردهای ASTM D316 4M و ASTM-E8M آماده شده اند. به منظور بررسی ساختار مکانیکی از نمونه‌های تولید شده قطعاتی به اندازه استاندارد تهیه شدند. در ادامه ریز ساختار لایه نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی 20KV مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. همچنین تصاویری از مقاطع شکست و جدایش از نمونه‌های تست کشش بدست آمده اند. مقادیر سختی به کمک روش آزمون میکروسختی سنجی ویکرز در راستای ضخامت لایه‌ها در بخش میانی طبق استاندارد EN ISO 6507-1 [20] اندازه گیری شده اند. لذا نمونه‌ها به مدت 10 ثانیه تحت بار 50 gf قرار گرفته اند.

### 3- بحث و نتایج

#### 1-1- مطالعه ریز ساختار

تعداد لایه‌های فلز زمینه آلومینیومی در فرآیند نورد تجمعی از رابطه  $2^n$  به دست می‌آید که در آن n شماره پاس فرآیند است. طبق این رابطه درسیکل پنجم 32 لایه آلومینیوم وجود دارد. همچنین نصف آن یعنی 16 لایه فولادی به فرض خرد نشدن وجود دارد. در تصاویر شکل 3 اندازه یک لایه فولادی و فاصله آن از لبه نمونه‌های مختلف توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شده است. با افزایش میزان کرنش اعمال شده در هر پاس میزان نازک شدن فویل فولادی در زمینه آلومینیوم افزایش می‌یابد که باعث ایجاد لایه‌های در حدود میکرومتر شده است.

در شکل 4 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پنجمین پاس فرآیند نورد تجمعی قرار داده شده است. همان گونه که از شکل 4 استنتاج می‌شود در بین لایه‌ها حالت گلوبی شدن یا باریک شدگی، شکست و جدایش دیده می‌شود. کرنش معادل هر پاس 0.9 است که این عدد از رابطه کرنش معادل

فوق ریزدانه با مرزدهانه‌های با زاویه بالا در مواد فلزی از طریق روش‌هایی صنعتی، ارزان و قابل اجرا بود [10].

بررسی خواص مکانیکی و ساختاری نمونه‌هایی با جنس آلومینیوم 1050 تولید شده به وسیله اتصال تجمعی از مواردی است که به آن پرداخته شده است [11]. یکی دیگر از تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده تولید کامپوزیت آلومینیوم/فولاد با استفاده از فرآیند نورد تجمعی است [2]. مشهدی و همکاران خواص میکروساختاری و مکانیکی کامپوزیت چند لایه قلع/روی را به کمک روش نورد تجمعی بررسی کرده و نشان دادند افزایش تعداد پاس نورد باعث کاهش انعطاف پذیری کامپوزیت شده است [12]. المحلاوی و همکاران، در تولید کامپوزیت آلومینیوم/ آلومینیوم 12% سیلیسیم به روش نورد تجمعی، نشان دادند ترکیب بین فلزی  $\text{Al}_{3.21}\text{Si}_{0.47}$  بدلیل نفوذ داخلی بین ذرات لایه‌های آلومینیوم و سیلیسیم شکل گرفته است [13]. در تحقیقی که توسط کومل و همکاران انجام شد، عمر خستگی در کامپوزیت آلومینیوم 1050 / آلومینیوم 5005 تولید شده به روش نورد تجمعی نسبت به فلزات پایه افزایش داشته است [14].

سیستم‌های مرکب لایه ای اتصال فلز به فلز توسط فرآیندهای مختلفی تولید می‌شوند تا از مشخصه‌ها و خواص هر ماده بهره گیری شود [15]. روش‌های تولید مواد با ساختاری دارای فازهای فولاد که باعث افزایش استحکام و بهبود ساختار مکانیکی می‌شوند محدود است [16]. در این پژوهش اتصال به کمک فرآیند نورد تجمعی انجام شده است. دو ورق آلومینیومی به وسیله یک فویل فولاد ضد زنگ تقویت می‌شود. از دلایل استفاده آلومینیوم و فولاد در این کامپوزیت‌ها ایجاد استحکام مناسب پیوند بین آلومینیوم و فولاد، استفاده پر کاربرد آن‌ها در صنعت و همچنین خواص مکانیکی مطلوب حاصل از آن‌ها است [2]. فرآیند نورد می‌تواند به صورت نامحدود تکرار و کرنش‌های بسیار بالایی به قطعه وارد شود [17].

با توجه به اهمیت کامپوزیت و نیز اعمال کرنش‌های زیاد توسط فرآیند تغییر فرم پلاستیک شدیدی چون نورد تجمعی، در این مقاله به بررسی استحکام اتصال بین لایه ای پرداخته شده است. هر کدام از نمونه‌های تولید شده در جهت نورد تحت تست کشش تک محور قرار می‌گیرد و استحکام هر نمونه به دست می‌آید. بررسی استحکام لایه کنی<sup>1</sup> و استحکام برشی<sup>2</sup> در دو نمونه تولید شده و مقایسه آن‌ها با یکدیگر مورد بحث قرار گرفته است. تصاویر فصل مشترک‌های لایه کن شده پس از آزمایش لایه کنی به دست آمده و تفسیر هر کدام از این تصاویر به تفصیل بیان شده است.

#### 2- مواد و روش تحقیق

در ابتدا ترکیب شیمیایی فولاد زنگ نزن SS316 و آلومینیوم 1050 اندازه گیری شد (جدول 1). جهت انجام فرآیند نورد تجمعی تمامی ورقه‌های آلومینیوم استفاده شده در کوره عملیات حرارتی تا دمای 350 درجه سانتی گراد به مدت 2 ساعت آنیل شد تا ورق‌ها جهت سهولت در شکل دهی نرم شوند. دو تکه از ورق آلومینیومی به ضخامت 1mm عرض 50 mm و طول 200 mm کاملاً چربی زدایی شده اند. سپس سطح آن‌ها کاملاً برس زده شده تا سطحی زبر و سخت حاصل شود. عملیات آماده سازی نمونه به دلیل جلوگیری از اکسید شدن همزمان برای فویل فولادی با ابعاد ضخامت 0.1 mm عرض 50 mm و طول 200 mm انجام می‌شود.

<sup>1</sup> Peel strength

<sup>2</sup> Shear Strength

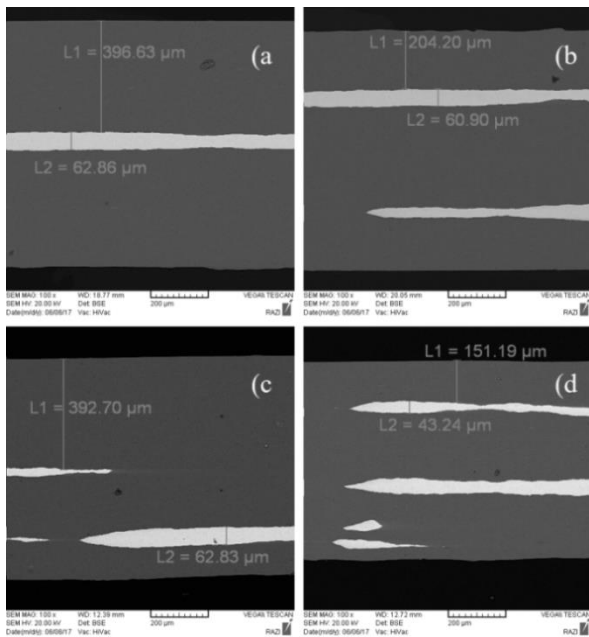


Fig.3 The SEM images of Al/steel multilayer composite microstructure in rolling direction at the a)cycle1 b)cycle2 c)cycle3 d)cycle5

شکل 3 تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی از لایه‌های کامپوزیت آلومینیوم/فولاد (a) پاس 1 (b) پاس 2 (c) پاس 3 (d) پاس 5

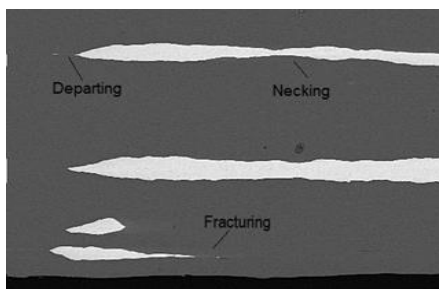


Fig.4 Crushing mechanism of steel in fifth pass

شکل 4 مکانیزم خرد شدگی فولاد در پاس پنجم

لایه‌های فولادی و آلومینیومی بلافاصله بعد از پاس اول اتصال پیدا کردند "شکل 7". اندازه گیری لایه‌ها در پاس‌های مختلف انجام شده و میزان تغییر ضخامت لایه‌ها در هر پاس در "جدول 2" دسته بندی شده است.

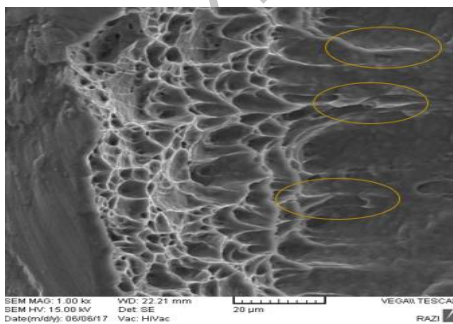


Fig.5 The SEM images unbonding of Al/steel composite In marked areas, the growth of cracks in the unbonded sample is visible in the extension and direction of rolling

شکل 5 تصویر میکروسکوپ الکترونی روشی مقطع جدایش کامپوزیت آلومینیوم/فولاد در نواحی مشخص شده رشد ترک در نمونه لایه کن شده در راستا و جهت نورد قابل مشاهده است.

در جهت مختلف از رابطه  $\epsilon = \ln \frac{l}{l_0}$  به دست می‌آید. در این رابطه  $l_0$  طول اولیه و  $l$  طول تغییر شکل یافته در جهت‌های اصلی است.

در نتیجه در پاس پنجم ورق تحت کرنش 4.5 قرار گرفته است. فرآیند بدون استفاده از سیال روان کار انجام شده که این امر باعث افزایش چسبندگی لایه‌ها و در نتیجه اعمال تغییر شکل برشی شدید بر نمونه‌ها شده است. شکل 5 مقطع جدایش نمونه تولید شده جهت بررسی استحکام لایه کنی را نشان می‌دهد. در نواحی مشخص شده از "تصویر 5" رشد ترک در نمونه لایه کن شده در راستا و جهت نورد قابل مشاهده است. نتیجه حاکی از آن است که شکست در فصل مشترک دو فاز تشکیل دهنده ترد است زیرا ترک‌ها تقریباً عمود بر راستای نورد بوده اند که با افزایش کرنش میزان رشد ترک ناپایدار در زمینه آلومینیومی افزایش می‌یابد در "شکل 6" مناطقی که مشخص شده اند در هنگام لایه کنی و جدایش، عامل ایجاد حفره روی سطح در اثر چسبندگی دو سطح به یکدیگر بوده اند. با مطالعه روی مقاطع جدایش میتوان به محل‌های اتصال دو ورق به یکدیگر پی برد که اثرات محل‌های اتصال به صورت حفره‌ها و نقاط پر رنگ تر روی تصاویر قابل مشاهده است.

جدول 1 ترکیب شیمیایی فولاد SS316 و آلومینیوم 1050

Table 1 Chemical Composition of SS 316 and Al 1050

ترکیب شیمیایی (Wt.%)						الیاز
99.5	0.05	0.05	0.05	0.4	0.25	Al 1050
Al	Mg	Mn	Cu	Fe	Si	
0.08	2.5	40.1	12.2	17.6	27.52	SS 316
C	Mo	P	Ni	Cr	Fe	

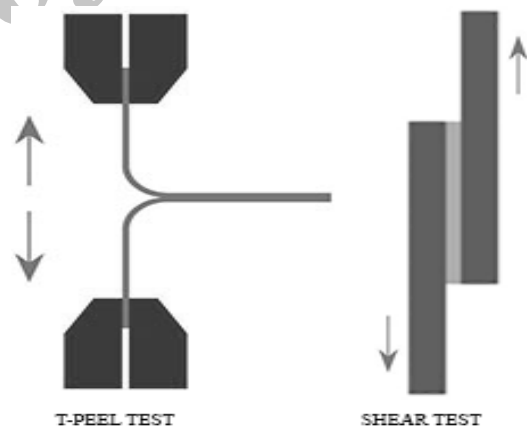


Fig.1 Schematic view of T-Peel test and shear test

شکل 1 نمای شماتیک آزمون‌های برشی و لایه کنی

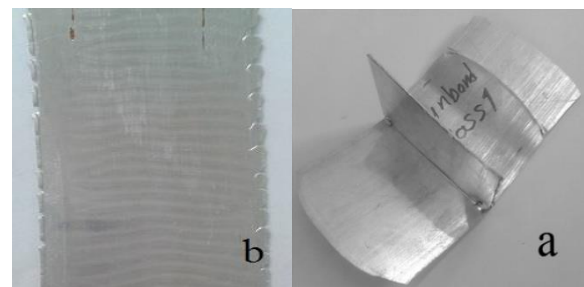


Fig.2 Sample prepared for t-peel and shear test a)unbond test (peeling) b)shear unbond test

شکل 2 نمونه آماده شده بعد از نورد جهت آزمون کشش تک محور (a) آزمون لایه کنی و (b) لایه کنی برشی

مشخص است استحکام کامپوزیت تولید شده در پاس 1 و 2 نسبت به استحکام آلومینیوم خالص افزایش چشمگیری داشته است. دلیل این موضوع در افزودن فولاد به آلومینیوم است زیرا آلومینیوم دارای زمینه نرم است، در نتیجه افزودن آن باعث افزایش کارسختی می‌شود. اما بعد از پاس دوم ضخامت فولاد بسیار کم شده است و در اثر شکست لایه‌ها یکپارچگی فولاد از بین می‌رود که نتیجه آن کاهش استحکام است [21-22]. همانطور که کامپوزیت پس از اولین چرخه نورد تجمعی افزایش استحکام خوبی را نشان می‌دهد، اما در چرخه سوم به علت پارگی لایه‌های فولادی، استحکام کاهش می‌یابد. با این حال، استحکام کامپوزیت آلومینیوم / فولاد در سیکل‌های بعدی به دلیل افزایش چگالی نایبایی‌ها نرخ صعودی پیدا کرده است. لذا با ادامه مکانیزم ریزلایه شدن فولاد و پخش در زمینه آلومینیوم، میزان نایبایی‌ها و در نتیجه سیستم‌های قفل شونده افزایش می‌یابد که این پدیده نرخ افزایش استحکام را بالا می‌برد [23].

"شکل 9" بیانگر تغییرات میکروسختی در راستای ضخامت کامپوزیت آلومینیوم و فولاد است. مطابق با شکل، با افزایش هر سیکل در فرآیند، میزان سختی افزایش پیدا کرده است. میزان سختی در سیکل یک، تغییرات قابل توجهی هم در فولاد و هم در آلومینیوم داشته است. در سیکل یک به بعد میزان تغییرات تقریباً در هر دو جنس یکسان بوده است. همان گونه که در توجیه افزایش استحکام در فرآیند نورد تجمعی گفته شد به طور عمده دلیل سخت شدن، در اثر کرنش سختی و در نتیجه افزایش چگالی نایبایی است [2].

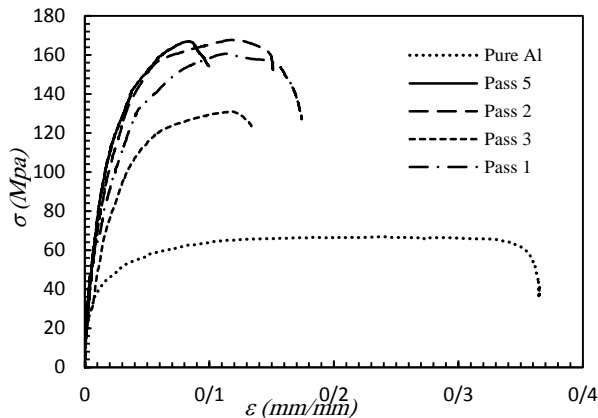


Fig. 8 Engineering stress-strain curves in various passes after ARB

شکل 8 منحنی تنش و کرنش در سیکل‌های مختلف بعد از فرآیند نورد تجمعی

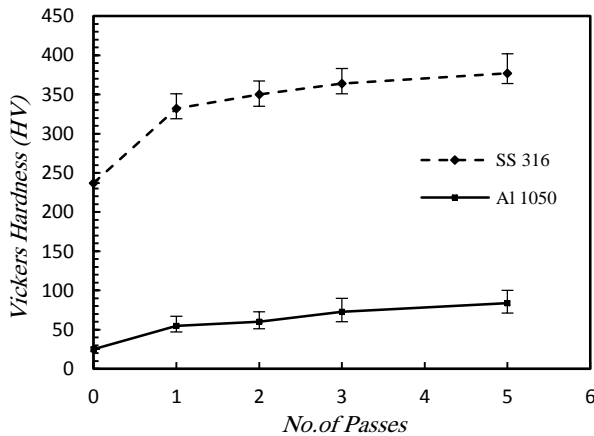


Fig.9 Microhardness changes in various passes

شکل 9 تغییرات میکروسختی در پاس‌های مختلف

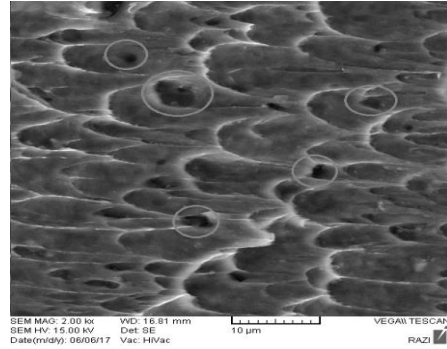


Fig.6 The scanning electron microscope of the unbonding test of the aluminum / steel composite The marked points represent the cavities created by the adhesion of the two surfaces to each other.

شکل 6 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مقطع جدایش کامپوزیت آلومینیوم/فولاد. مناطق مشخص شده نشان دهنده حفره‌های ایجاد شده در اثر چسبندگی دو سطح به یکدیگر بوده اند.

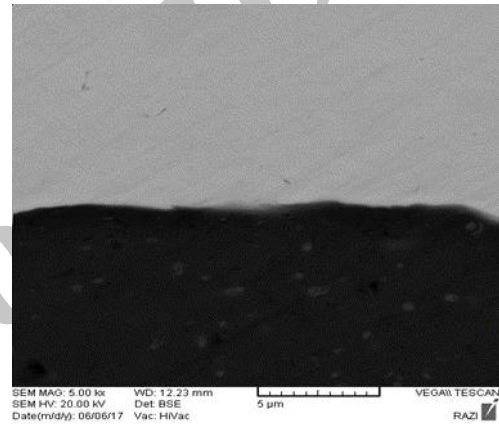


Fig. 7 SEM images of roll bonding Al/SS316 interfaces

شکل 7 تصویر اتصال لایه ای بین آلومینیوم و فولاد ضد زنگ 316

جدول 2 ضخامت لایه‌های فولاد و آلومینیوم پس از فرآیند نورد تجمعی

Table 2 The thickness of the steel and Aluminum layers after ARB

مواد	Al ( $\mu\text{m}$ )	St ( $\mu\text{m}$ )
ضخامت اولیه	1000	400
پاس 1	396.63	62.86
پاس 2	204.20	60.90
پاس 3	174.96	52.83
پاس 5	151.19	43.24

"جدول 2" نشان دهنده این است که به طور متوالی در هر سیکل فرآیند ضخامت لایه‌های فولاد و آلومینیوم کاهش می‌یابد.

### 3-2- خواص مکانیکی

جهت بررسی اثر استحکام پاس‌های مختلف فرآیند نورد تجمعی روی کامپوزیت آلومینیوم/فولاد آزمون کشش تک محور روی هر نمونه گرفته شد که نتایج آن در "شکل 8" قابل مشاهده است. همانطور که از "شکل 8"

مشخصی برای تغییر شکل وجود دارد که در آن استحکام پیوند دو لایه به استحکامی فراتر از استحکام لایه ی آلومینیومی می رسد [25].

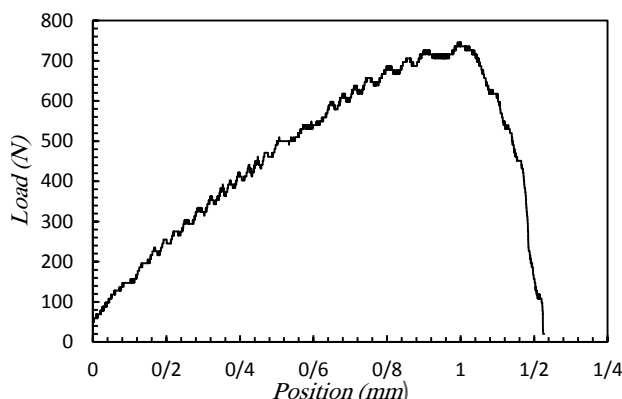


Fig. 11 Shear test result for the ARB sample in the first pass.

شکل 11 نمودار نیرو جابجایی آزمون لایه کنی برشی برای نمونه حاصل از فرآیند اتصال تجمعی در پاس اول

#### 4- نتیجه گیری

1- نورد تجمعی یک روش مناسب برای تولید کامپوزیت‌های چند لایه آلومینیوم / فولاد است و یک استحکام پیوندی مناسب بین لایه‌های Al و فولاد به دست می‌آید. ریز لایه شدن و پارگی لایه‌های فولادی در چرخه دوم به بعد به علت تفاوت خواص مکانیکی لایه آلومینیومی و فولادی رخ داده است.

2- دلیل چسبندگی بین ورق‌ها نتیجه فرآیند نورد بدون روانکار بوده به همین دلیل اصطکاک زیاد بین غلتک‌ها و قطعه، کرنش برشی باقیمانده ی بزرگی در مناطق سطحی اتصال بین ورق‌ها به وجود می‌آورد و میزان نیروی جدایش در برش بیشتر گردیده است.

3- اگر چه کامپوزیت پس از اولین چرخه نورد تجمعی استحکام خوبی را نشان می‌دهد، اما پس از چرخه دوم به علت پارگی لایه‌های فولادی، استحکام کاهش می‌یابد. با این حال، استحکام کامپوزیت آلومینیوم / فولاد در پاس‌های بعدی به دلیل افزایش چگالی نا بجایی‌ها نرخ صعودی پیدا کرده است.

4- افزایش میکرو سختی در نمونه اولیه نسبت به سیکل اول در هر دو جنس آلومینیوم و فولاد چشمگیر بوده است اما با افزایش سیکل‌های فرآیند نرخ افزایش میکرو سختی کاهش پیدا میکند.

5- با افزایش تعداد پاس‌های فرآیند نورد تجمعی ضخامت لایه‌های تقویتی کاهش می‌یابد به طوری که در پاس 5 میزان ضخامت لایه‌ها به حداقل مقدار رسیده و باعث جدایش و شکست لایه‌ها می‌شود که نتیجه آن دست یابی به خواص مکانیکی مطلوب است.

6- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روشی نمونه‌های لایه کن شده نشان داد که با اعمال کرنش روی ورق‌ها رشد ترک‌ها در راستای نورد بوده که این ترک‌ها از نوع ترد بوده اند.

#### 5- مراجع

- [1] Moradgholi, J. Monshi, A. and Farmanesh, K., "Comparison of microstructure, toughness, mechanical properties and work hardening of titanium/TiO<sub>2</sub> and titanium/SiC composites manufactured by accumulative roll bonding (ARB) process" Journal of Ceramics International, Vol. 43, No. 10, pp. 7701-7709,

### 3-3- بررسی استحکام اتصال لایه‌ها

#### 3-3-1- بررسی استحکام لایه کنی

همانطور که بیان شد در آزمون لایه کنی نیروی عمودی باعث جدایش لایه‌ها می‌شود در حالی که در آزمون برش نیروی برشی وارد خواهد شد. در شکل 10 نشان داده شده است که برای جدایش لایه و کندن آن نیرویی در حدود 500 نیوتون لازم است. با اعمال کرنش روی ورق‌ها رشد ترک‌ها در راستای نورد بوده که این ترک‌ها از نوع ترد بوده اند. مشاهده شده که با افزایش ضخامت لایه تقویتی و ضخامت آلومینیوم استحکام چسبندگی افزایش می‌یابد. اما با افزایش استحکام لایه چسبنده میزان استحکام لایه کنی کاهش می‌یابد [24].

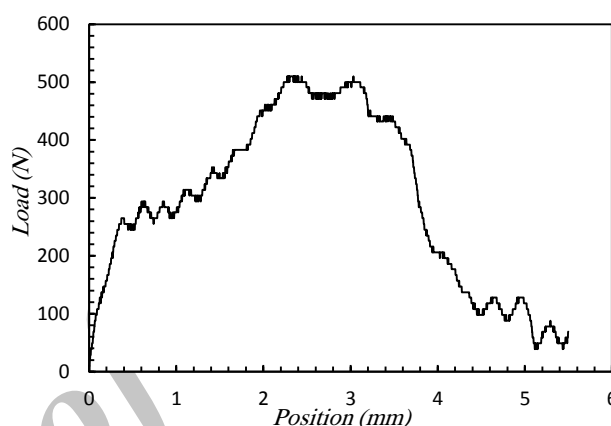


Fig. 10 Peel test for the ARB sample in the first pass.

شکل 10 نمودار نیرو جابه جایی آزمون لایه کنی برای نمونه تولید شده با فرآیند نورد تجمعی در پاس اول

دنداندار شدن در آزمون لایه کنی به این دلیل است که در هنگام کشش، زاویه لایه کنی دارای وارپانس حول 90 درجه است. این انحراف باعث تغییرات نوسانی در نتایج می‌شود که علت مضرسی شدن نمودار را توجیه میکند. بعلاوه می‌توان گفت که وجود منقطع لایه فولادی تکه تکه شده بین دو لایه آلومینیوم سبب ایجاد اتصال لایه ای متفاوتی شده است. یعنی در راستای نورد و در منطقه فصل مشترک، بعضی نواحی اتصال فولاد/آلومینیوم و در بعضی نواحی اتصال آلومینیوم/آلومینیوم بوده است که در حین آزمون لایه کنی و در هنگام جدایش اتصال، رفتار متفاوتی را نشان می‌دهند.

نیروی لایه کنی به دلیل اعمال کرنش‌های شدید و کارسختی اعمال شده با شروع ترک‌ها افزایش پیدا می‌کند و به یک حد بیشینه میرسد. در حقیقت شکست با اشاعه ترک‌ها یا به هم پیوستن آنها اتفاق می‌افتد.

#### 3-3-2- بررسی استحکام برشی

همانطور که گفته شد به منظور ایجاد چسبندگی بین ورق‌ها فرآیند نورد بدون روانکار انجام می‌شود و در نتیجه به دلیل اصطکاک زیاد بین غلتک‌ها و قطعه، کرنش برشی باقیمانده ی بزرگی در مناطق سطحی اتصال بین ورق‌ها به وجود می‌آید. به همین رو مطابق شکل 11 میزان نیروی جدایش در برش حدود 750 نیوتون بوده است. این نیرو از مقدار کمی آغاز شده و برای غلبه بر استحکام پیوند فصل مشترک افزایش می‌یابد.

مطالعات نشان دهنده این است که با افزایش دما و هم چنین درصد کاهش ضخامت کل لایه‌های نورد شده، استحکام پیوند فصل مشترک بین دو لایه فلزی افزایش می‌یابد، به طوری که در هر دمای مشخص نورد، حد

- on micro hardness of AA1050 Alloy” Key Engineering Materials, Vols. 531-532, pp. 623-626, 2013.
- [22] Dehsorkhi, RN. and Qods, F. Tajally, M., “Investigation on microstructure and mechanical properties of Al-Zn Composite during accumulative roll bonding (ARB) process” Materials Science and Engineering, Vol. 530, pp. 63-72, 2011.
- [23] Hosseini, SA. Danesh, and Manesh, H., “High-strength, high-conductivity ultra-fine grains commercial pure copper produced by ARB process” Materials & Design, Vol. 30, No. 8, pp. 2911-2918, 2009.
- [24] Teixeira Freitas, S. Banea, MD. and Budhe, S., “Interface adhesion assessment of composite-to-metal bonded joints under salt spray conditions using peel tests” Composite Structures, Vol. 164, pp. 68-75, 2017.
- [25] Naseri, M. Reihanian, M. and Borhani, E., “Bonding behavior during cold roll-cladding of tri-layered Al/brass/Al composite” Journal of Manufacturing Processes, Vol. 24, No. 1, pp. 125-137, 2016.
- 2017.
- [2] Talebian, M. and Alizade, M., “Manufacturing Al/steel multilayered composite by accumulative roll bonding and the effects of subsequent annealing on the microstructural and mechanical characteristics” Journal of Materials Science and Engineering, Vol. 590, pp. 186-193, 2014.
- [3] Ghafari-Gousheh, S. Hossein Nedjad, S. and Khalil-Allafi, J., “Tensile properties and interfacial bonding of multi-layered, high-purity titanium strips fabricated by ARB process” Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, Vol. 51, pp. 147-153, 2015.
- [4] Valiev, RZ. Islamgaliev, RK. and Alexandrov, IV., “Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation” Progress in Materials Science, Vol. 45, pp. 103-189, 2000.
- [5] Zhilyaev, AP. and Langdon, TG., “Using high-pressure torsion for metal processing: fundamentals and applications” Progress in Materials Science, Vol. 53, pp. 893-979, 2008.
- [6] Gashiti, SO. Fattah-alhosseini A. and Mazaheri Y., “Microstructure, mechanical properties and electrochemical behavior of AA1050 processed by accumulative roll bonding (ARB)” Journal of Alloys and Compounds, Vol. 688, pp. 44-55, 2016.
- [7] Jamaati, R. Toroghinejad, MR. and Edris, H., “Effect of SiC nanoparticles on the mechanical properties of steel-based nanocomposite produced by accumulative roll bonding process” Journal of Materials and Design, Vol. 54, pp.168-173, 2014.
- [8] Yu, H. Su, L. and Lu, C., “Enhanced mechanical properties of ARB-processed aluminum alloy 6061 sheets by subsequent asymmetric cryorolling and ageing” Materials Science and Engineering, Vol. 674, pp 256-261, 2016.
- [9] Lee, SH. Saito, Y. Tsuji, N. Utsunomiya, H. and Sakai, T., “Role of shear strain in ultra-grain refinement by accumulative roll-bonding (ARB) process” Journal Scripta Materialia, Vol. 46, No. 4, pp. 281-285, 2002.
- [10] Saito, Y. Tsuji, N. Utsunomiya, H. Sakai, T. and Hong RG., “Ultra-fine grained bulk aluminum produced by accumulative roll-bonding process” Scripta Materialia, Vol. 39, pp. 1221-7, 1998.
- [11] Naseri, M. Reihanian, M. and Borhani, E., “Effect of strain path on microstructure, deformation texture and mechanical properties of nano/ultrafine grained AA1050 processed by accumulative roll bonding” Materials Science & Engineering A, Vol. 673, pp. 288-298, 2016.
- [12] Mashhadi, A. Atrian, A. and Ghalandari, L., “Mechanical and microstructural investigation of Zn/Sn multilayered composites fabricated by accumulative roll bonding (ARB) process” Journal of Alloys and Compounds, Vol. 43, pp. 1314-1323, 2017.
- [13] Kümmel, F. Höppel, H. and Göken, M., “Layer architecture and fatigue life of ultrafine-grained laminated metal composites consisting of different aluminum alloys” Materials Science & Engineering A, Vol. 702, pp. 406-413, 2017.
- [14] ElMahallawy, N. Fathy, A. Abdelaziem, W. and Hassan, M., “Microstructure evolution and mechanical properties of Al/Al-12%Si multilayer processed by accumulative roll bonding (ARB)” Materials Science & Engineering A, Vol. 647, pp. 127-135, 2015.
- [15] Milner, JL. Bunget, C. Abu Farha, F. Kurfess, Th. and Hammond, VH., “Modeling tensile strength of materials processed by accumulative roll bonding” Journal of Manufacturing Processes, Vol. 15, pp. 219-226, 2013.
- [16] Gashiti, SO. Fattah-alhosseini, A. Mazaheri, Y. and Keshavarz, MK., “Microstructure, mechanical properties and electrochemical behavior of AA1050 processed by accumulative roll bonding (ARB)” Journal of Alloys and Compounds, Vol. 688, pp. 44-55, 2016.
- [17] Eitner, U., “The Mechanical Theory behind the Peel Test” Energy Procedia, Vol. 55, pp. 331-335, 2014.
- [18] ASTM D3166-99(2012), Standard Test Method for Fatigue Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal/Metal), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012
- [19] ASTM D1876-01, Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives (T-Peel Test), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001,
- [20] EN ISO Standard #6507-1, Vickers hardness standard test for Metallic materials, 1997.
- [21] Dehghan, M. Qods, F. and Gerdooei, M., “Effective of Accumulative roll bonding proses whit inter-cycle heat treatment

Archive