مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (5) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (5) 2016

دراسة متانة وصلات اللصق وتحسنيها

د. رامي منصور [1]
د. لطيفة الحموي [2]
رانيا مفيد حسن [3]

(تاريخ الإيداع 2 / 6 / 2016. قُبِل للنشر في 27/ 10 / 2016)

□ ملخّص □

يهدف البحث إلى دراسة متانة وصلات اللصق التراكبية البسيطة، لصفائح الألمنيوم المطبقة كثيرا في التطبيقات الهندسية، وتم التحقق من تأثير كل من مسافة التداخل، وقيم الخشونة السطحية للسطوح الملصقة على متانة القص للوصلات المنجزة، حُضّرت الوصلات الملصقة باستخدام نوعين من المواد اللاصقة، وهما الايبوكسي والأكريليك ونُفذت الاختبارات التجريبية تحت تأثير حمل الشد حتى الكسر باستخدام آلة الشد.

أظهرت النتائج إمكانية زيادة متانة الوصلات الملصقة بزيادة طول التداخل، وزيادة قيم الخشونة السطحية للسطوح الملصقة وحدد لاصق الأكريليك بأنه اللاصق الأمثل في الاختبارات المنفذة، وذلك تبعا لنمط الفشل الحاصل في العينات المختبرة، والتي لم تتعرض فيها منطقة اللصق للانهيار مع زيادة الحمولة المطبقة.

الكلمات المفتاحية: اللاصق– الوصلات التراكبية الملصقة–الخشونة السطحية – متانة القص.

[1]أستاذ – قسم التصميم والإنتاج– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية – سورية.
[2]أستاذ مساعد – قسم التصميم والإنتاج– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية – سورية .
[3]طالبة دراسات عليا (ماجستير) – قسم التصميم والإنتاج– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية – سورية

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (5) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (5) 2016

Studying and Improvement of Strength in Adhesive Joints

Dr. Rami Hanna Mansou [1]
Dr. Latiffa Alhamwe[2]
Rania Mofied Hasan[3]

(Received 2 / 6 / 2016. Accepted 27 / 10 / 2016)

□ ABSTRACT □

The aim of this study is to determine strength of adhesive single-lap joints of Aluminum alloys which are widely used in geometric applications. It was investigated to define the influence of overlap length and surface roughness value on shear strength of achieved adhesive joints. It was used Epoxy and Acrylic adhesives to prepare adhesive joints and all the specimens were subjected to axial tensile tests and the results are presented as a comparison.

Results of those tests showed that shear strength increased with increasing each of overlap length and surface roughness of adherends and Acrelicadhesiveproduced[4]better results according to failure mode of tested samples.

Key Words: Adhesive– single-lap joints– surface roughness – shear strength.

[1]Professor – Tishreen University – Mechanical and Electrical faculty – Design and Production Department – Syria – Lattakia.
[2]Assistant Professor – Tishreen University – Mechanical and Electrical Faculty – Production Department – Syria – Lattakia.
[3]Student (Master) - Design and Production Department – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Tishreen University – Syria – Lattakia.

مقدمة

تستخدم المواد اللاصقة بنجاح، في العديد من الصناعات الآلية والفضائية وطاقة الرياح والسكك الحديدية والبناء والصناعات الطبية، حيث استخدم الإنسان هذه المواد منذ فجر التاريخ، فالمصريون القدماء لصقوا القشرة الخارجية للأثاث بالأصماغ، التي كانت من مواد طبيعية، أما في الوقت الحاضر دخلت الراتنجات الصناعية والمواد الكيميائية في تصنيع الأنواع المختلفة للمواد اللاصقة.

عندما يتم ربط المكونات مع بعضها البعض، فإنّ اللاصق بداية يرطب السطوح كليا مالئا الثقوب والفراغات فيما بينها، بعدها تبدأ عملية البلمرة، وباكتمال عملية التقسية تتمكن الرابطة اللاصقة من مقاومة الأحمال الناشئة عن الاستخدام، ويأتي الأداء العالي للمواد اللاصقة من خلال التفاعلات الكيميائية بين اللاصق والسطوح المرادلصقها وتكوين روابط قوية فيما بينهما، لذلك يدعى الربط بالمواد اللاصقة بالربط الكيميائي لتميزه عن طرائق الربط الميكانيكية التقليدية.

أهمية البحث وأهدافه:

أهمية البحث:

غالبا ما يختار المصممون طريقة الربط، بالمواد اللاصقة لتجميع السطوح وربطها، لأن لها قدرة تثبيت جيدة جدا وقادرة على استبدال أو إكمال طرائق التثبيت الميكانيكية، مثل البرشمة واللحام وغيرها، فالوصلات المثبتة باللصق هي جزء هام في كل تركيب، ليس فقط من حيث الشكل الهيكلي للمنتج وإنما أيضا من ناحية كلفة الإنتاج [1,2].

يعتمد أداء الوصلات المثبتة باللصق عند التحميل، على خصائص كل من اللاصق، والمادة المراد لصقها وكذلك ظروف البيئية المحيطة، مثل درجة الحرارة والرطوبة والضغط، ووجود المذيبات القوية، التي تؤثر على خصائص المادة اللاصقة وبدورها تؤثر على متانة الوصلات الملصقة.

هناك العديد من البارامترات، التي تؤثر على متانة وصلات اللصق، بعضها يتعلق بالمادة اللاصقة مثل طول خط الربط، وسماكة طبقة اللصق، ونوع اللاصق نفسه، وبعضها الآخر يتعلق بنوع المادة الملصقة، مثل سماكة السطح الملصوق، ونوع السطح الملصوق (معدن أو بوليمير)، وخشونة السطح، حيث تلعب عملية التحضير السطحي التي تسبق عملية اللصق، دورا هاما في متانة وصلة اللصق النهائية وقد استنتج JAE WOOK KWON وزميله [3] أن الخشونة السطحية، تؤثر على عمر التعب للوصلات التراكبية المفردة المحضرة من مادة الفولاذ والملصقة باستخدام لاصق الايبوكسي IPCO 9923، حيث تم التحكم بالخشونة السطحية لسطح الفولاذ بواسطة ورق السنفرة، وذلك عند قيم مختلفة لحجم الحبيبة (40, 60, 80, 150, 220) وأخضعت العينات المدروسة إلى اختبار الفتل torsion test، حيث بينت النتائج أن الإجهاد المكافئ، كان تابعا للخشونة السطحية، وتزداد قيمته بازديادها وقد قام Jinsheng Zhangوآخرون [4] بدراسة متانة وقوة القص لوصلات الألمنيوم التراكبية المفردة ذات الأبعاد (20×100×2 mm) الملصوقة باستخدام لاصق الايبوكسي SY40، عند مسافات تداخل 15 ,20 mm، من خلال إجراء معالجة سطحية، متعددة المراحل، قبل تنفيذ عملية اللصق، ثم أخضعت النماذج إلى اختبار القص بسرعة تحميل 2 mm/min. واشتملت المعالجة السطحية على العمليات التالية:

العملية A: سطوح عينات تم إنهاؤها باستخدام ورق تنعيم عند درجات خشونة مختلفة (180, 320, 600, 800, 1000)μm.

العمليةAC: سطوح النماذج تم إنهاؤها يدويا، باستخدام ورق كاشط من كربيد السيلكون(SiC) ثم إزالة الملوثات باستخدام الأسيتون وإجراء معالجة مصعدية باستخدام H3PO4 (0.5 mol/L) عند توتر ثابت 20 V لمدة 20min ودرجة حرارة 20°C.

العملية ABC: سطوح النماذج تم إنهاؤه يدويا عند درجات خشونة مختلفة باستخدام ورق كاشط من مادة كربيد السيلكون(SiC) والنخر الكيميائي باستخدام محلول هيدروكسيد الصوديوم عند درجة حرارة 60 °C لمدة خمس دقائق، بعدها إجراء معالجة مصعدية باستخدام H3PO4 (0.5 mol/L) مع توتر ثابت 20 V لمدة 20 min ودرجة حرارة 20°C.

وأظهرت النتائج الموضحة في الجدول (1)، أن متانة القص العظمى للوصلات، ترتبط بدرجة الخشونة لورق الحك، حيث تزداد بزيادتها، وأن عملية المعالجة ABC تعطي أفضل خصائص ربط للاصق مقارنة مع العمليتين الباقيتين.

جدول(1) متانة القص للوصلات التراكبية المثبتة باللصق عند معالجات سطحية مختلفة

Abrasive paper/grade	Maximum lap-shear strength/MPa		
	Process A	Process AC	Process ABC
180	13.40	20.69	23.24
320	15.22	20.75	23.07
600	16.75	23.22	19.42
800	15.73	20.32	21.9
1000	14.31	19.80	19.30

وأوضحت الدراسات التجريبية، أن ثخانة الطبقة اللاصقة، يجب أن تكون مضبوطة،إذ أن متانة القص للوصلات الملصوقة تتناقص إذا كانت طبقة اللاصق سميكة، لأنها تؤدي إلى خلق قوى غير متوقعة(فجائية) (قص، شد) وبالتالي عزوم مفاجئة، تسبب فشل الوصلة، إلى جانب أن السماكات الرقيقة جداً، تؤدي إلى نقص في كمية اللاصق المطلوبة لإنجاز عملية اللصق، وبالتالي تسبب حدوث الكسر بسهولة، وحددت السماكة المثلى لطبقة اللصق بين 0,3 mm ÷0,1 واستنتج V.K. Srivastava[5] أن متانة الشد ومتانة الخضوع ومتانة الكسر قد انخفضت مع زيادة سماكة اللاصق بالنسبة للسطوح الملصوقة التي كانت عبارة عن مادة مركبة (C/C–SiC) تيتانيوم (Ti–6Al–4V) ذات الأبعاد (3×13×60 mm) والملصوقة بلاصق (EA934 NA)، وذلك لأن زيادة ثخانة خط اللصق تؤدي إلى زيادة إجهادات السطح الداخلي بين اللاصق/السطح الملصوق، مما يزيد من عزم القوة المؤثرة، التي بدورها تؤدي إلى زيادة عزم الانحناء، وبالتالي التحميل المباشر يسبب انخفاض في متانة الوصلة.

وبين Ivan Michalec وزميله [6]عند دراستهم للوصلات التراكبية المفردة المصنعة من سبيكة الألمنيوم A5754(ALMg3) بأبعاد (100×30×1.5 mm)الملصوقة عند مسافات تداخل (10,15,20,25 mm) مع نوعان مختلفان من الايبوكسي Hysol 9492 و Hysol9466، بأن قوة الشد المطبقة عند اختبار هذه الوصلات لا تكون

خطية خلال نموذج الربط، الأمر الذي يؤدي إلى حدوث انحناء في نهايات الوصلة، ويظهر ذلك عند أطوال تداخل صغيرة10) (mm، حيث يكون تركزالإجهاد مرتفع عند نهايات التداخل، ولكنها صغيرة نسبيا في منتصف الوصلة، والزيادة في مسافة التداخل ستجعل مادة السطوح الملصوقة، أكثر عرضة للشد الصافي دون تأثيرات انحناءات الأطراف، بحيث تستوعب الانفعال المطبق بعيد التحميل، من خلال المرونة المتزايدة لطبقة اللاصق، واستنتجوا أن هذا الانفعال ينخفض بشكل سريع مع زيادة طول التداخل، وتكون أعظم قيمة للتشوه مركزة في مادة اللاصق عند طول تداخل (20 mm).

وبسبب الطبيعة البوليمرية للمواد اللاصقة، فإن اختلاف خصائصها الميكانيكية، تحت تأثير درجات الحرارة يعتبر العامل الأكثر أهمية، والذي يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم هذه الوصلات وقام Osanai وزميله [7] بدراسة تأثير درجة الحرارة على متانة القص للوصلات التراكبية المفردة لصفائح فولاذ الكربون الملصوقة باستخدام لاصق الإيبوكسي المندمج مع جزيئات سيراميكية (ARC858) عند أطوال تداخل 12.5, 18.75 mm حيث أجري اختبار الشد على 60 نموذج موزعة على 12 مجموعة (5 نماذج لكل مجموعة) عند درجات حرارة 21, 30,40, 50, 60، 70°C وأظهرت النتائج بأن تزايد درجات الحرارة في الوصلات، يسبب تناقص في متانة القص ولوحظ أن المجال بين 30°C حتى 50°C، هو الأكثر تأثراً حيث يصبح اللاصق عندها طريا ويفقد قابليته للصق ولكن عند درجات الحرارة فوق 50°C تناقصت نسبة انخفاض المتانة.

وحتى يعطي اللاصق المتانة المطلوبة، يجب أن يتصلب بشكل كامل، وللوصول إلى ذلك لابد من تأمين الزمن الكافي للتثبيت، وكذلك يحتاج إلى بيئة جافة ونظيفة ودرجة حرارة مناسبة للتصلب، وأوضحت العديد من الدراسات أن التصلب بالتسخين يزيد من متانة اللاصق، لأنه ينجز تفاعلات التشابك اللازمة لارتباط السطوح بعضها ببعض حيث بين Alghadeer Baker[8] تأثير درجة حرارة التصلب وزمن التصلب، لوصلات الفولاذ الملصوقة بالإيبوكسي والأكريليك، والمتصلبة عند الدرجة 150°C ومدة التعرض 200 ساعة وبينت نتائج اختبار الشد للعينات، أن متانة اللاصق تزايدت عند درجات الحرارة العالية (150°C) لكلا اللاصقين.

وتعتبر خصائص اللاصق من أكثر العوامل المؤثرة على متانة الفشل، للوصلات الملصوقة، وقد ربط Rahman وزملاؤه [9] نمط الفشل بمسافة التداخل وبثخانة اللاصق، وذلك عند دراستهم لوصلات الألمنيوم ووصلات الفولاذ التراكبية المفردة الملصوقة بالايبوكسي، والخاضعة لاختبار الشد حيث وجد أن أحمال الفشل تتناقص مع تزايد ثخانة اللاصق، وحدد نوع الفشل بالمتماسك بالنسبة لعينات الألمنيوم، حيث بدأ الشق بالتكون عند نهايتي منطقة التداخل، وحدد مكان الشق عند 0.05 mm بعيدا عن السطح البيني، أما بالنسبة لعينات الفولاذ فقد انتشر الشق على طول السطح البيني للاصق والسطح الملصوق ثم قطع ثخانة اللاصق لينفصل في أدنى وأعلى السطح الملصق.

أهداف البحث:

أشارت الدراسات السابقة، إلى تأثير العديد من البارامترات في عملية اللصق، ويعتبر طول التداخل إحداها إلى جانب عوامل أخرى، مثل خصائص اللاصق وخصائص السطح الملصوق، وتحضيرات عملية الربط وتصميم الوصلة، واستنادا إلى ذلك فإن هدف البحث يمكن تلخيصه بالنقاط التالية:

- تحقيق أفضل متانة لوصلات اللصق تحت تأثير بارامترين أساسيين هما طول التداخل والخشونة السطحية.
- تحسين متانة وأداء المنتجات المجمعة من خلال الروابط القوية الناتجة عن التشابك الميكانيكي بين اللاصق وسطح المادة الملصقة.

- خفض المكونات وتكاليف التجميع.

طرائق البحث ومواده:

اشتملت عملية تحضير النماذج المدروسة على الخطوات التالية:

1.اختيار المادة اللاصقة:

تؤثر العديد من العوامل الرئيسة على اختيار اللاصق، مثل نوع السطوح المراد لصقها والأحمال الميكانيكية والعوامل البيئية المختلفة التي يخضع لها اللاصق، إضافة إلى الفترة الزمنية المحددة لخدمة الرابطة المنجزة وفي هذا السياق تم اختيار نوعين من المواد اللاصقة، في هذا البحث هما لاصق الأكريليك ولاصق الايبوكسي.

لاصق الأكريليك ذات العلامة التجارية X-DELIGHT المبين في الشكل (1) ويعتبر من اللواصق البنيوية مكونه الأساسي نوع معدل من الأكريليك (ميتيلاالأكريليت) يتألف من مكونين (A & B) يمزجان مع بعضهما بنسب متساوية1:1 قبل التطبيق مباشرة، يستخدم في لصق المواد المتشابهة والمختلفة، والتي تتضمن الفولاذ، الحديد، الألمنيوم، التيتانيوم وغيرها، يتصلب في درجة حرارة الغرفة ومتانة ربطه عالية.

لاصق الايبوكسي ذات العلامة التجارية ABRO المبين في الشكل (2) يتألف من مكونين هما الراتنجوالمقسي، يمزجان مع بعضهما قبل التطبيق، بحيث يجب استخدامه خلال أربع دقائق لتصلبه السريع، يجمع بين المتانة الممتازة والمرونة العالية عند ربط المعادن وخاصة الألمنيوم والفولاذ والنحاس والحديد.

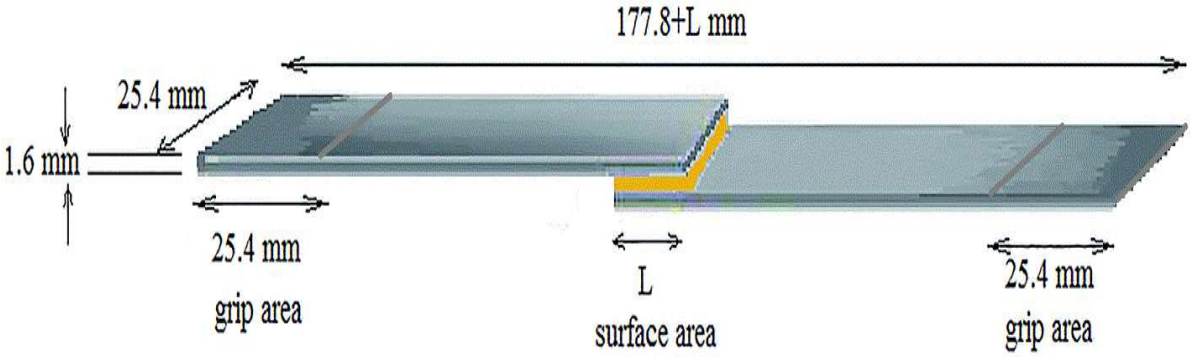
الشكل(1) لاصق الأكريليكشكل (2)لاصق الايبوكسي

2.اختيار مادة السطح الملصوق:

تم اختيار السطح الملصوق للعينات المدروسة، من معدن الألمنيوم ويعود ذلك إلى استخدامه الواسع في التطبيقات الصناعية المختلفة، ولما يملكه من خصائص مميزة من حيث خفة الوزن ومقاومته للتآكل وصلابته العالية ويعتبر الألمنيوم في عمليات اللحام، مادة معقدة بسبب وجود طبقة من أوكسيد الألمنيوم على سطحه وبسبب معامل التمدد الحراري الطولي العالي لذلك يفضل ربط الألمنيوم بشكل لاصق في عمليات التجميع والتركيب المختلفة.

3.اختيار وصلة اللصق:

تم في هذا البحث اختيار الوصلة التراكبية المفردة البسيطة، كنموذج لوصلات اللصق المدروسة، والتي تعتبر من أكثر الوصلات الملصوقة استخداماً لبساطتها وسهولة تصميمها، ولإمكانية استخدام سطوح رقيقة لتكوينها، وقد تم تصميم أبعادها وفق المواصفة القياسية ASTM D–1002، ويبين الشكل(3) توضيحاً للوصلة التراكبية المفردة.



شكل(3) الوصلة التراكبية المفردة وفق المواصفة ASTM D–1002

مراحل تحضير وصلة اللصق:

- قطع ألواح الألمنيوم على شكل صفائح ذات أبعاد 200×30×1.5 mm
- تنظيف صفائح الألمنيوم المحضرة من الغبار والأوساخ وبقايا عملية القص، باستخدام قطعة قماش جافة ثم تنظيف سطوح العمل بمادة الأسيتون.
- تطبيق اللاصق على كامل مساحة اللصق، المحددة بطول التراكب، وعرض الصفيحة وذلك بعد مزج مكونات اللاصق بشكل جيد وبنسب متساوية، وحددت سماكة طبقة اللاصق بين 0.1÷0.01 mm
- تثبيت الوصلات الملصوقة باستخدام الملزمة وتأمين الضغط اللازم (0.05 MPa)،لانجاز عملية اللصق المطلوبة بحيث تم تصلب اللاصق في درجة حرارة الغرفة ولمدة تتراوح بين 3 حتى 7 أيام.

اختبار العينات:

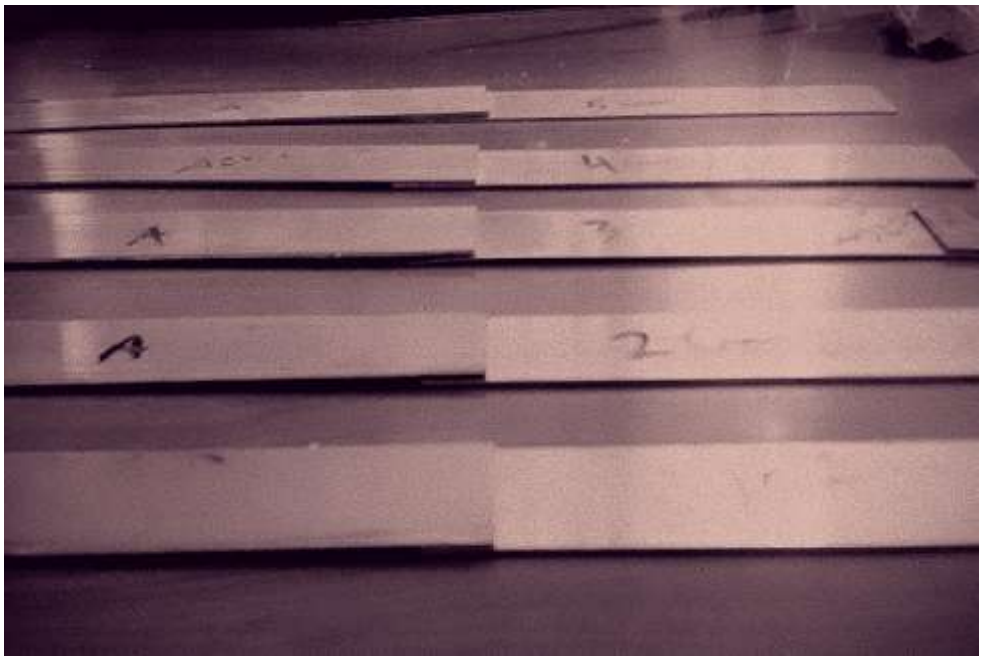
تم تنفيذ اختبار الشد على الوصلات المنجزة، لتحديد متانتها ومقدار التشوه الحاصل للوصلة قبل الكسر ونفذ هذا الاختبار في مخبر علم المواد واختباراتها في كلية الهندسة الميكانيكية في جامعة تشرين على آلة الشد (Ibertest)، وذلك بتطبيق قوة شد متزايدة بشكل تدريجي بسرعة (1mm/min)، على إحدى نهايات الوصلة بعد تثبيت النهاية الأخرى ضمن فكي الآلة، حتى تتمزق العينة ويمكننا اختبار الشد من تحديد المعطيات التالية:

- الاجهاد الذي عنده يلاحظ التشوه اللدن(الخضوع).
- قوة الشد العظمى(الحمولة القصوى) التي تتحملها الوصلة.
- النسبة المئوية للاستطالة.

التجارب المنفذة:

تم اختبار متانة وصلات اللصق التراكبية، تحت تأثير كل من طول التداخل والخشونة السطحية، حيث نفذت التجربة الأولى عند أطوال تداخل مختلفة كما هو مبين بالشكل(4)، وصلات الألمنيوم الملصوقة بالايبوكسي نفذت عند أطوال تداخل(طول تراكب) 10, 13, 15, 20, 30, 40, 50, 70 mm أما وصلات الألمنيوم الملصوقة بلأكريليك نفذت عند أطوال تراكب10, 20, 30, 40, 40, 60, 70 mm

أما التجربة الثانية خضعت فيها منطقة اللصق إلى تطبيق معالجة سطحية مسبقة قبل تطبيق اللاصق حيث تم استخدام ورق السنفرة وفق ثلاث قيم لحجم الحبيبة وهي 220 ,400 ,1200 لتأمين خشونات سطحية مختلفة للعينات المدروسة.



الشكل (4) وصلات الألمنيوم الملصوقة عند تداخلات مختلفة.

النتائج والمناقشة

بحسب [10] تكون متانة وصلات اللصق المختبرة، تابعة لتركزالإجهادات الناشئة أثناء التحميل، والتي تتفاوت قيمتها على طول خط الربط، وتعتمد على طبيعة المعدن وطبيعة المادة اللاصقة، وبشكل كبير على طول التداخل وهذا ما أظهرته نتائج اختبار الشد لكل الوصلات المختبرة لكلا اللاصقين، التي سجلت زيادة في متانة الوصلة مع زيادة طول التداخل نتيجة زيادة مساحة الربط.

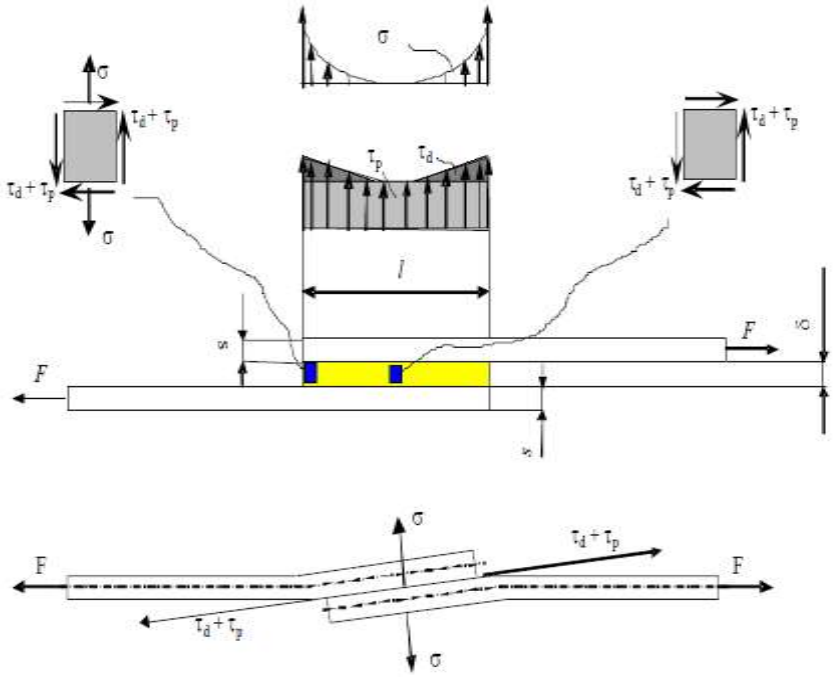
بالنسبة للاصق الايبوكسي، تعرضت جميع عينات الاختبار، لفك الرابطة في منطقة اللصق، أثناء اختبار الشد باعتبارها المنطقة الأضعف في الوصلة، وذلك عند جميع أطوال التداخل المدروسة، أما بالنسبة لوصلات الألمنيوم الملصقة بلاصق الأكريليك، فقد كانت نتائج اختبار الشد لها مماثلة لوصلات الألمنيوم الملصقة بالايبوكسي عند مسافات تداخل صغيرة (L<30 mm)، أما عند مسافات التداخل الأكبر، فقد لوحظ حصول الكسر في ركائز الألمنيوم كما هو مبين بالشكل(5) والشكل (6) وفي كلتا الحالتين تزداد قيمة المتانة للوصلات الملصقة مع زيادة طول التداخل.

شكل(5) الوصلات الملصوقة بالايبوكسي بعد اختبار الشد

شكل(6)الوصلات الملصوقة بالاكريليك بعد اختبار الشد

وتفسير ماتم الوصول إليه يعتمد على تأثير طول التداخل على متانة وصلة اللصق كالتالي:

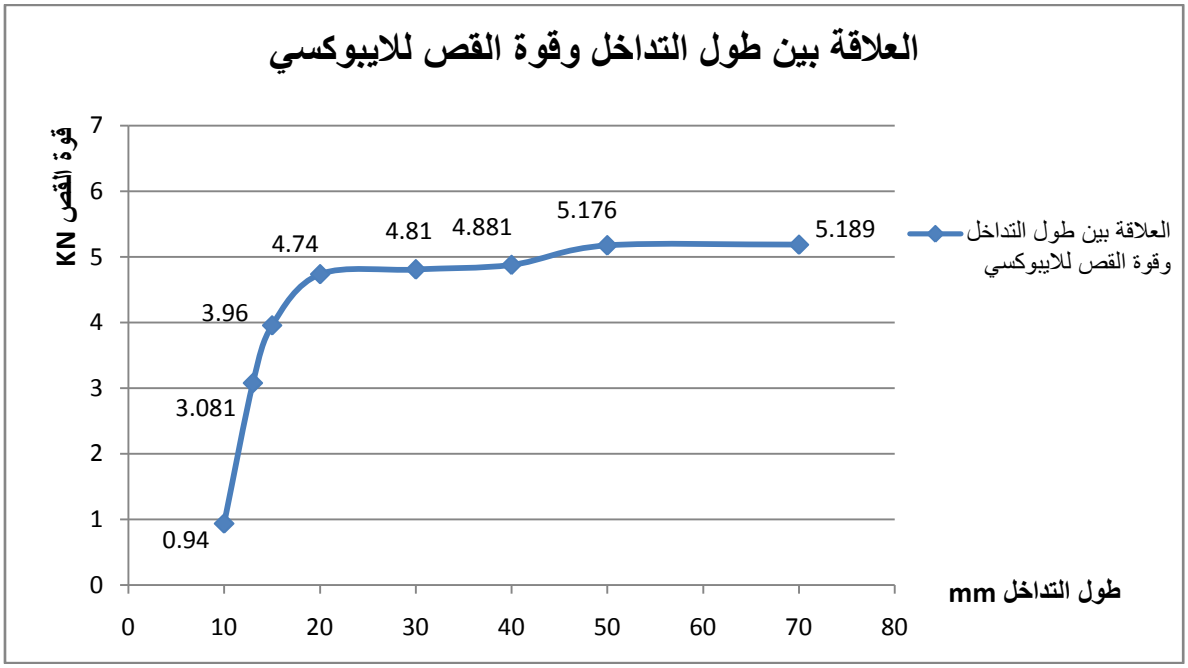
عندما تتعرض وصلة اللصق إلى قوة شد F ينتقل الحمل من أحد السطوح الملصقة إلى السطح الآخر عبر طبقة اللاصق، عندها تنشأ إجهادات مختلطة في منطقة التداخل، وفي السطوح الملصوقة وهي عبارة عن إجهادات قص تكون موازية للسطوح الملصوقة وإجهادات شد عمودية على السطح الملصق وهذه الإجهادات(إجهادات القص والشد) تتجمع في المناطق الحدية للوصلة، أي عند حواف الوصلة، أما مركز الوصلة يكون خاضع لإجهادات قص صافية مما يسبب الانحناء وفك طبقة اللاصق كما موضح في الشكل(7).



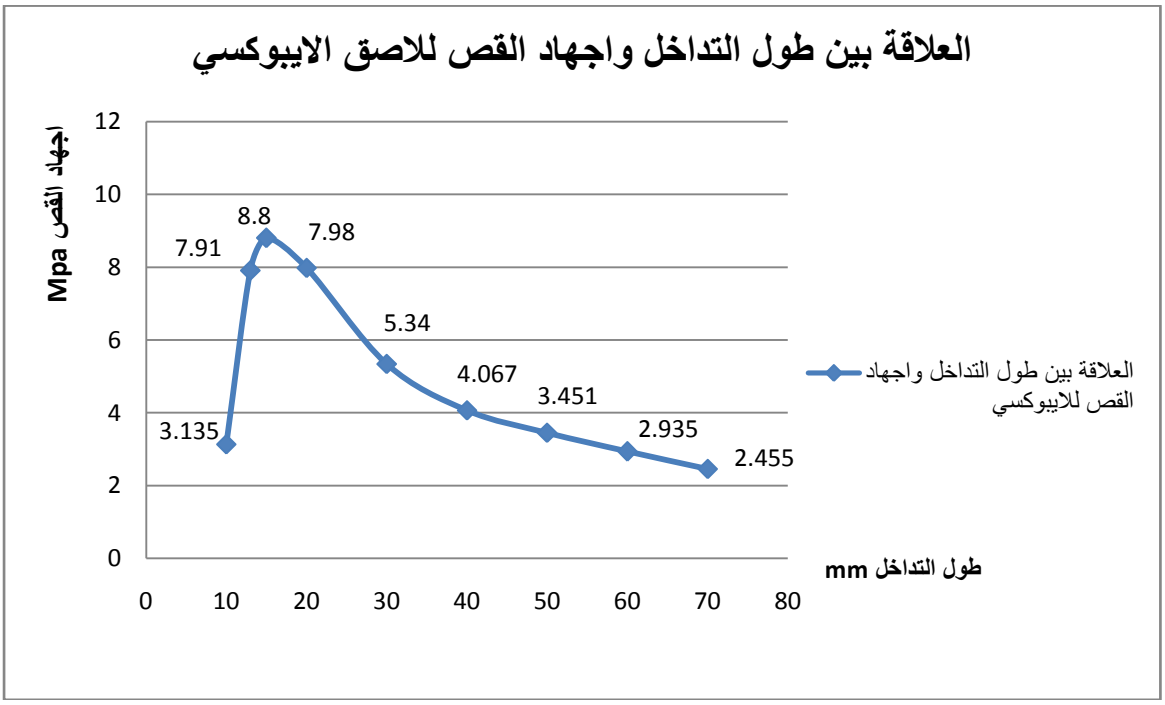
شكل(7) توزع الاجهادات ضمن وصلة اللصق

وبناءً عليه يعلل سبب فك الارتباط وحدوث الفشل ضمن المادة اللاصقة للوصلات المختبرة، بأنه عند مسافات التداخل الصغيرة تتناقص مساحة سطح الربط، وبالتالي تتعرض الوصلة إلى إجهادات قص مترافقة مع تحرك لسطوح الألمنيوم الملصوقة وإلى قيم صغيرة من الإجهادات الناتجة، عن عزم الانحناء، ومع تزايد الحمل المطبق على الوصلة، سوف تتغلب الإجهادات المطبقة على قيم حد المرونة للسطح البيني(لاصق/ألمنيوم)، حيث يكون تركز الإجهاد مرتفعة عند نهايات التداخل، ولكنها صغيرة نسبيا في منتصف الوصلة،عندها فإن بداية نشوء الشق تتكون عند حواف الوصلة وتتطور ضمن المادة اللاصقة حتى تنهار، وهذا الفشل يحدث حتى لو كانت الإجهادات ضمن السطح الملصوق، هي أقل من حد التناسب للألمنيوم نفسه.

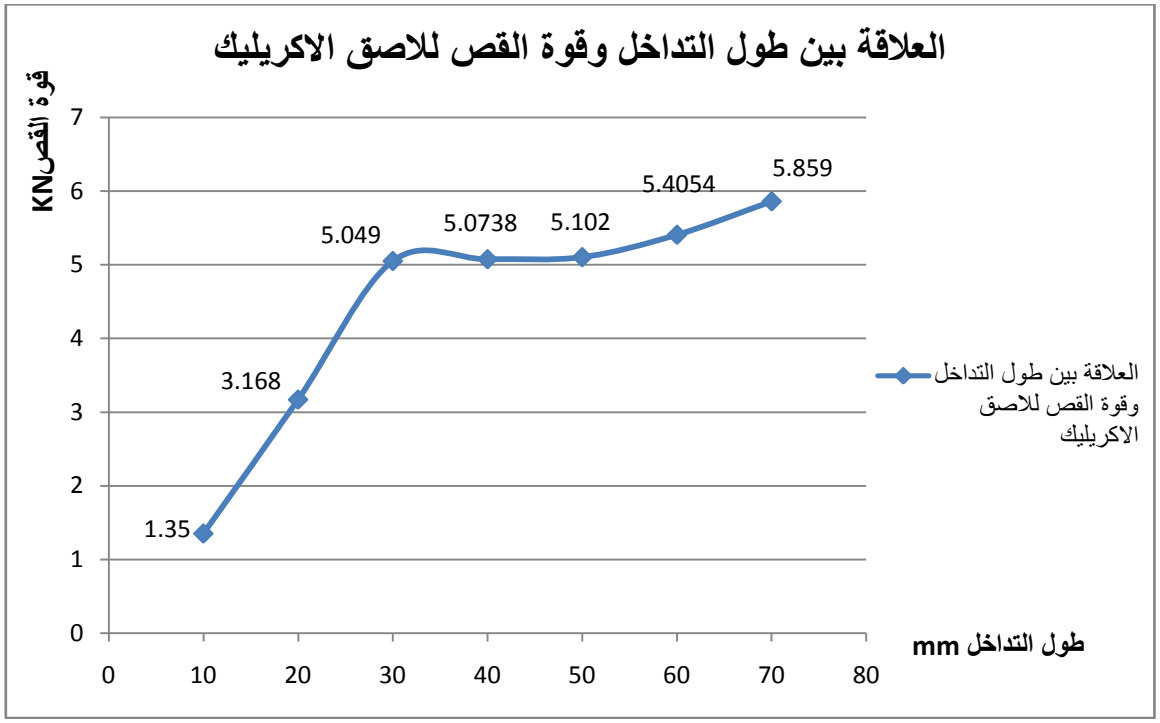
إن الزيادة في مسافة التداخل ستجعل مادة السطوح الملصوقة أكثر عرضة للشد الصافي، بحيث تستوعب الانفعال المطبق بعد التحميل، من خلال المرونة المتزايدة لطبقة اللاصق، هذا الانفعال ينخفض بشكل سريع مع زيادة طول التداخل، وتكون أعظم قيمة للتشوه مركزة في مادة اللاصق، أي بزيادة طول التداخل، فإن الإجهادات المطبقة ضمن منطقة اللصق وهي إجهادات قص سوف تنخفض لزيادة مساحة سطح الربط، مما يؤدي إلى تزايد في قوة الشد العظمى كما هو موضح بالأشكال(9, 10, 11, 12) وبالتالي زيادة متانة الوصلة، وبذلك يمكننا أن نستنتج أن سبب فك الرابطة ضمن المادة اللاصقة يعود إلى أن متانة الوصلة أصغر من متانة الخضوع للألمنيوم.



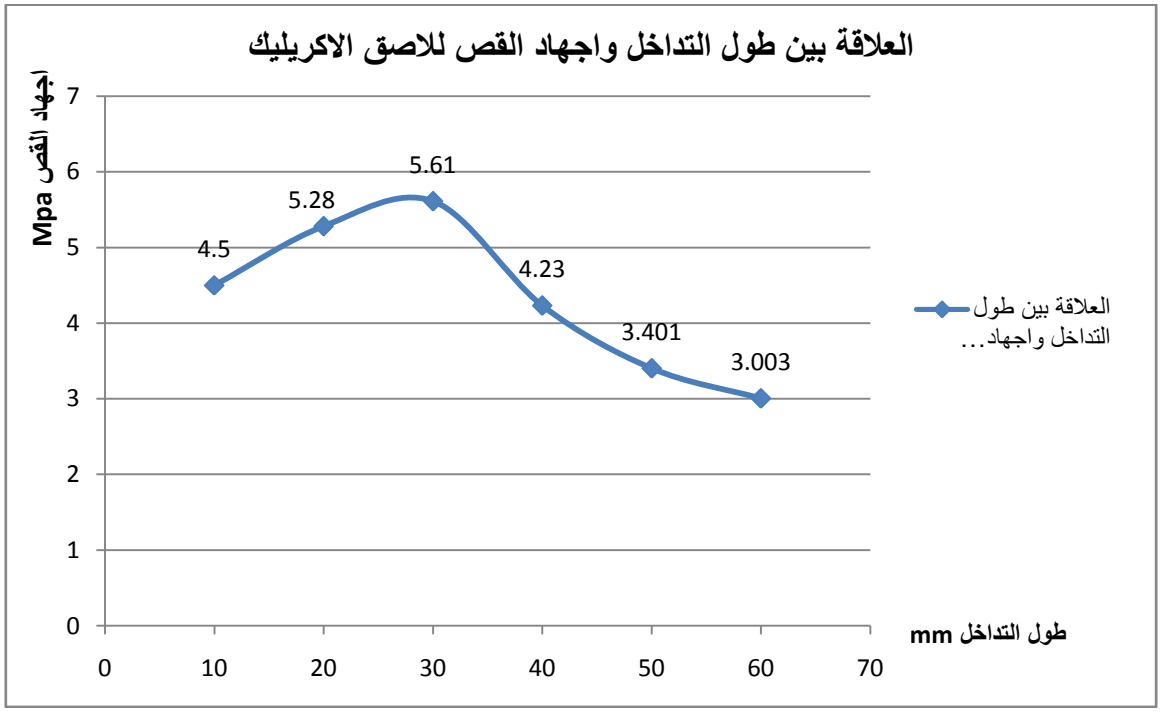
الشكل (9) العلاقة بين طول التداخل وقوة القص للاصق الايبوكسي



الشكل (10) العلاقة بين طول التداخل وإجهاد القص للايبوكسي



الشكل (11) العلاقة بين طول التداخل وقوة القص العظمى للأكريليك



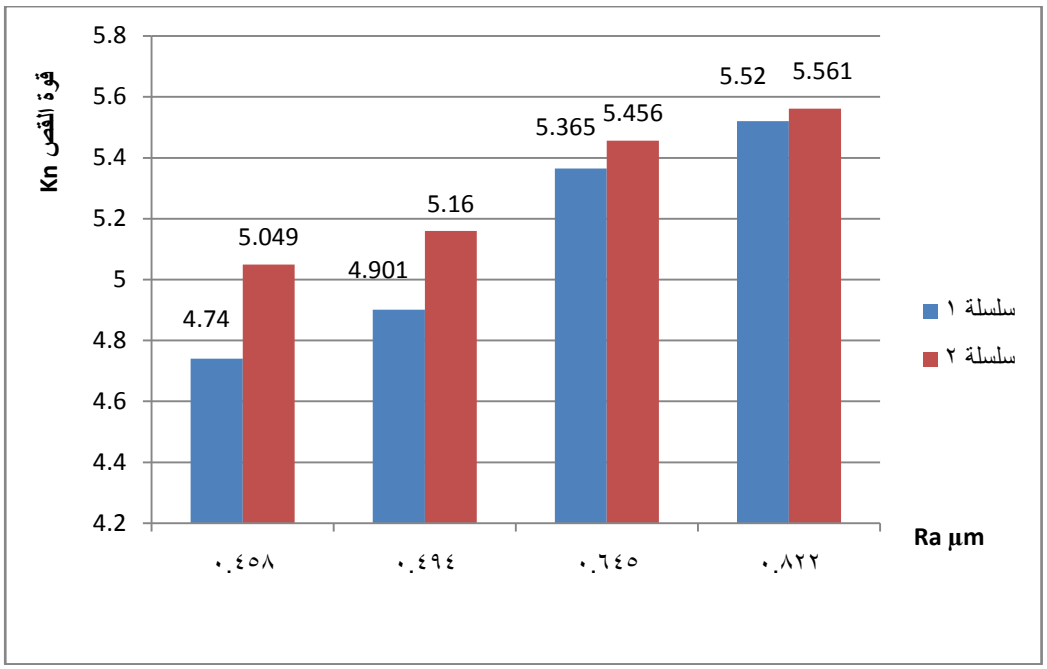
شكل (12) العلاقة بين طول التداخل وإجهاد القص للأكريليك

أما سبب حدوث الكسر في ركيزة الألمنيوم عند أطوال تداخل أكبر من 20 mm بالنسبة لوصلات اللصق الملصقة بالأكريليك، فيمكن تفسيره بسبب متانة الوصلة العالية الناتجة عن زيادة طول التداخل، وبالتالي فإن الوصلة

تقوم بتحمل قيم عالية من الإجهاد، والتي قيمتها ستكون أكبر من متانة الخضوع للألمنيوم، الذي سوف يقوم بمقاومتها عندها يبدأ التشوه اللدن لسطح الألمنيوم، مما يؤدي إلى حدوث تشوه مفرط في السطوح الملصوقة مع زيادة الحمولة وبالتالي حدوث الكسر ضمن صفائح الألمنيوم،وبالتالي يمكن أن نلخص ما توصلنا إليه بدراسة تأثير بارامتر طول التداخل على متانة الوصلة بما يلي:

- تزداد متانة الوصلة بزيادة طول التداخل.
- إذا كانت متانة الوصلة < متانة الخضوع للألمنيوم، يحصل عندها فك للرابطة اللاصقة (الكسر ضمن طبقة اللاصق).
- إذا كانت متانة الوصلة> متانة الخضوع للألمنيوم يحصل الكسر في الركيزة.

أما في تجربة تأثير الخشونة السطحية تم اعتماد لاصق الأكريليك في الدراسة لمتانة وصلاته، وعدم فشل رابطته مقارنة مع وصلات الايبوكسي، وذلك بالاستناد إلى نتائج التجربة السابقة حيث نفذت وصلات اللصق عند أطول التداخل 20, 30 mm، وأظهرت النتائج أن متانة القص العظمى للوصلات الملصوقة ترتبط بدرجة ورق الحك وتزداد بزيادتها مقارنة مع العينات غير المعرضة لمعالجة سطحية حيث أن زيادة الخشونة السطحية تساهم في زيادة مساحة السطح الحقيقي للتفاعلات الفيزيوكيميائية الحاصلة بين سطح الألمنيوم ولاصق الأكريليك، مما يؤمن عملية ترطيب باللاصق بشكل كامل وبالتالي إنجاز تشابك ميكانيكي أفضل بين السطوح الملصقة. أما بالنسبة لانهيار العينات، فقد أظهرت النتائج، حدوث الفشل ضمن طبقة اللاصق عند طول تداخل 20mm وكسر في ركيزة الألمنيوم عند طول تداخل 30 mm، ويظهر الشكل (13) مقارنة بين قيمة قوة القص للوصلات الملصقة بلاصق الأكريليك عند قيم خشونة سطحية مختلفة حيث تم اعتماد قيمة عمق الخشونة للمقارنة.



الشكل(13) قوة القص عند خشونات سطحية مختلفة

وكما هو مبين فإن درجة الخشونة تبدي تأثيرات واضحة على قوة القص، وأفضل النتائج تعود للعينات التي عولجت فيها سطوح الالتصاق بأوراق سنفرة درجة 220 تليها الدرجة 400.

في حين يظهر الشكل أن أصغر القيم لقوة القص تعود للسطوح المعالجة بورق سنفرة درجتها 1200 ولكنها تبقى ذات قيم أعلى من العينات التي لم تعالج سطوحها بورق السنفرة وهذه النتيجةتظهر الأهمية العظمى اللازم إعطائها للسطوح الملصقة لما في ذلك انعكاس مباشر على قوى الارتباط.

الاستنتاجات والتوصيات

1- تظهر نتائج اختبار الشد لوصلات الألمنيوم التراكبية المفردة الملصوقة بنوعين من المواد اللاصقة هما (الايبوكسي والأكريليك)، بأن متانة الوصلة تعتمد على طول التداخل لمنطقة الربط، وتزداد بزيادتها، حيث يمكن الوصول إلى قوة تحميل أعظمية باستخدام كمية قليلة من المادة اللاصقة، كلما ازدادت مساحة سطح الربط.

2- إن تأثير السلوك المرن/لدن للسطح الملصوق هام جدا في متانة الوصلة وتحديد مكان حدوث الكسر.

3- أهمية اختيار المادة للاصقة بعناية بحيث تكون متوافقة مع الخصائص الكيميائية والميكانيكية للسطح الملصوق.

4- من المهم إجراء تحضير للسطوح الملصقة وخاصة إذا كان المعدن طري مثل الألمنيوم والذي يؤثر على الخشونة السطحية للسطح الملصوق والتي بدورها تؤثر على متانة الوصلة النهائية.

5- أظهرت النتائج بأن لاصق الأكريليك أعطى وصلات لصق أقوى من لاصق الايبوكسي مع زيادة طول التداخل وزيادة الخشونة السطحية.

6- من خلال النتائج التي توصلنا إليها في البحث نوصي بمايلي:

- دراسة تأثير المعالجات الحرارية للوصلة على الخواص المدروسة.
- دراسة إمكانية استثمار المواد اللاصقة المستخدمة في لصق نوع آخر من المواد مثل(فولاذ فولاذ)، (بلاستيك بلاستيك).

المراجع

[1] DA SILVA, L. F.; DILLARD, D. A.; BLACKMAN, B.; ADAMS, R. D. Testing adhesive joints. John Wiley & Sons. 2012 Oct 22, 1- 468.

[2] ASGHARIFAR, M.; KONG, F.; CARLSON, B.; KOVACEVIC, R. *An Experimental and Numerical Study of Effect of Textured Surface by Arc Discharge on Strength of Adhesively Bonded Joints*. Journal of Mechanics Engineering and Automation. 2, 2012, 229-242.

[3] KWON, J.W.; LEE, D. G. *The effects of surface roughness and bond thickness on the fatigue life of adhesively bonded tubular single lap joints.* Adhesion Sci. Technol. Vol. 14(8), 2000, 1085–1102.

[4] ZHANG, J.; ZHAO, X.; ZUO,Y.; XIONG, J.; ZHANG, X. *Effect of surface pretreatment on adhesive properties of aluminum alloys*. J. Mater. Sci. Technol. Vol. 24(2), 2008, 236-240.

[5] SRIVASTAVA, V.K . *Characterization of adhesive bonded lap joints of C/C–SiC composite and Ti–6Al–4V alloy under varying conditions.* International Journal of Adhesion & Adhesives India. 23, 2003, 59 – 67.

[6] MICHALEC, I.; MARÔNEK, M. *Adhesive Bonding of Aluminium Alloy A5754 by Epoxy Resins.*ActaPolytechnica. Vol. 53(4), 2013, 371–374.

[7] OSANAI, K. R.; REIS, J. M. L. *Temperture Effect on the Strength of Adhesively Bonded Single Lap Joints.*EngenhariaTérmica (Thermal Engineering). Vol. 11(1-2), 2012, 3–6.

[8] Baker, A.; Takahashi, T.; Kihara, K.; Kawabata, Y.; Sugibayashi, T.*Effects of adhesive curing temperature and time on the strength of adhesively bonded joints*. Faculty of Engineering, Takushoku University, JAPAN. 9, 2015, 1-7.

[9] RAHMAN, N.; ROH, H.; QIAN, H.; SUN, C. T. *Prediction of Failure Strength of Adhesive Joints Using Peel Stress and CTOA.* 52nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference
 19th. Denver: Colorado. 2011, 123–153.

[10] LUCIĆ, M.; STOIĆ, A.; KOPAČ, J. *Investigation of aluminum single lap adhesively bonded joints.* Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 15, 2005, 79-87.