اللحام بالخلط الاحتكاكي لسبيكة (ألمنيوم-سليكون) المسامية

د.نوال عزت عبد اللطيف* و علي مزهر*

تاريخ الاستلام:2008/10/15
تاريخ القبول:2009/8/6

الخلاصة

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية ربط سبيكة مسامية(porous) إلى سبيكة غير مسامية(solid) باستخدام طريقة اللحام بالخلط الاحتكاكي (Friction Stir Welding). تم تصنيع السبيكة المساميةبطريقة السباكة وذلك بإضافة مادة البولي اثيلين بنسب وزنيه مختلفة هي(40,30,20)% كمادة حافظة للفراغ . أجريت عملية الربط باستخدام سرع لحام مختلفة هي (60,40,30)ملم/دقيقة وعند سرعة ثابتة لدوران أداة اللحام هي(900) دورة/دقيقة. أظهرت نتائج الفحص ألمجهري انه بالإمكان ربط السبيكة المسامية إلى السبيكة غير المسامية باستخدام الخلط الاحتكاكي .كما أظهرت نتائج فحص الصلادة إن صلادة وصلة اللحام الناتجة تكون أعلى من صلادة المواد ربطها. وتزداد قيم الصلادة لجميع مناطق وصلة اللحام مع زيادة سرعة اللحام. أظهرت نتائج اختبار الشد ان قوة الترابط لوصلة الربط (اللحام) تزداد مع زيادة سرعة اللحام عند نسب إضافة ثابتة من المواد الحافظة للفراغ، وتقل قوة الترابط مع زيادة نسبة إضافة المواد الحافظة للفراغ عند استخدام سرع لحام ثابتة.

الكلمات المرشدة:اللحام الاحتكاكي ،المواد المسامية.

Friction Stir Welding Of Porous Al-Si Alloy

Abstract

The aim of this research is to study the ability of joining porous (Al-Si) alloy to solid Aluminum using Friction Stir Welding Method . The porous alloy is fabricate using casting method by adding(20,30,40) weight percent of Poly- athelin as space holder materials. The welding process is done using different welding speed (30,40and60)mm/min, with constant rotational speed (900) rpm.

Microstructure evaluation showed that it is possible to weld porous alloy to aluminum in the solid state welding by friction stir process . Hardness test results showed that the welding zone hardness is higher than that of welded materials, and the weld zone hardness increased with increasing welding speed .The tensile test results showed that the bonding strength increased with increasing welding speed at constant space holder weight percentage, and it decreases with increasing addition percentage of space holder.

المقدمه

تعرف المواد المعدنية المسامية (Porous Materials) بانها مواد ذات تراكيب خلوية تحتوي على أسا س(matrix) معدني صلب ،تحيط به شبكه من المسامات او الفجوات[1]. تمتلك هذه المواد خواص مميزة تتمثل بالمتانة العالية (High strength) مع الوزن النوعي المنخفض جدا والنفاذية العالية إضافة إلى الموصلية الحرارية

* هندسة الانتاج والمعادن , الجامعة التكنولوجية/ بغداد. العراق

https://doi.org/10.30684/etj.28.6.20
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

ومقاومة الاحتراق لذلك فقد تم استخدامها في مجالات مختلفة مثل صناعة هياكل الطائرات والمركبات الفضائية [2].كما استخدمت في صناعة المبادلات الحرارية والمخمدات الصوتية (Acoustic damping) لما لها من قدرة على تقليل الضوضاء وامتصاصها الكبير لفعل الصدمة (Impact)،وقد أصبحت المواد المسامية مصدراً مهماً في مجال صناعه السيارات وخاصة في مخمدات الصدمة الأمامية والخلفية والمسماة باسم (Crash box) التي أدت إلى زيادة عامل الأمان في السيارات [3].ونتيجة للاستخدام الواسع لهذه المواد برزت الحاجة إلى إيجاد تقنيات ربط ولحام لهذه الأجزاء مع بعضها البعض ومع أجزاء أخرى[4,5] ويعد اللحام الاحتكاكي إحدى هذه الطرائق [6].

تعد عملية اللحام بالخلط الاحتكاكي Friction Stir Welding تقنية ربط جديدة تجرى في الحالة الصلبة . وتعد من الطرائق المهمة ولاسيما للسبائك الغير قابلة للحام بطرائق اللحام التقليدية [5].

يتلخص مبدأ الربط أو اللحام بالخلط الاحتكاكي في اجراء عملية اللحام في الحالة الصلبة دون الحاجة إلى صهر القطع المراد لحامها كما في حالة اللحام ألانصهاري[7]. وان أعلى درجة حرارة قد يصل إليها المعدن لا تزيد عن (0.8Tm)[6].

تتم عملية الربط عن طريق أداة لحام غير قابلة للانصهار دوارة ذات شكل اسطواني تدعى المسند(shoulder) تحتوي في نهايتها السفلى على أداة الغرز(pin او probe)[8,7]. تغرز هذه الأداة بصورة تدريجية في منطقة تلامس الصفائح المراد لحامها وتستمر عملية الغرز لحين حصول التلامس التام بين السطح السفلي لمسند أداة اللحام والسطح العلوي للصفائح المراد لحامها.إن أداة اللحام تعمل على تسخين الصفائح إلى درجة حرارة التلين نتيجة الاحتكاك الحاصل بين أداة اللحام والسطح العلوي للصفائح ، كما تعمل عل تحريك المعدن بفعل الخلط (stir) الناتج عن الحركة الدورانية لأداة الغرز والمسند مما يودي إلى التشوه اللدن، وبعد اكتمال عملية الغرز والتسخين يتم تحريك الصفائح حركة خطية وهذا يودي إلى الربط على طول خط اللحام. ،إن خلط المعدن وحدوث التشوه اللدن عند درجات الحرارة العالية يعطي بنية مجهريه ذات حبيبات ناعمة متساوية المحاور[8,9].

يهدف البحث الحالي إلى ربط ماده معدنية مسامية إلى ماده غير مسامية (صلبه) ودراسة خواص الوصلة الناتجة،ويوضح الشكل(1) مبدأ اللحام بالخلط الاحتكاكي[7] .

2 - الجزء العملي

إنتاج المواد المعدنية المسامية

تم تحضير السبيكة المسامية من صهر سبيكة (Al-7Si) ، وباستخدام طريقة (space holder method) ويوضح الشكل(1) التحليل الكيمباوي للسبيكة المستخدمة. تم خلط حبيبات البوليمر(بولي اثيلين)بحجم(1)ملم مع مواد رابطة (Cyanoacrylate adhesives) وصبها في قالب بإبعاد(6*2*2) سم بنسب وزنيه مختلفة هي (20,30,40)%من سبيكة(Al-7Si) . بعدها تم صهر(0.5)كغم من السبيكة باستعمال بوتقة كرافيتية بسعة (1)كغم في فرن كهربائي نوع(carbolite) وبمعدل تسخين مقداره(30)م^{o} /دقيقة عند درجة حرارة(590) م^{o} , وبعد انصهار السبيكة وإزالة الخبث، تم صبها في القالب

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الحاوي على حبيبات البوليمر (كمادة حافظة للفراغ space holder)، المسخن مسبقا إلى درجة حرارة (150)°م. وبعد اكتمال عملية التجمد تم تسخين العينات المنتجة إلى درجة حرارة (300)°م لمدة ساعتين. لغرض التخلص من المواد الحافظة للفراغ (حرق حبيبات البوليمر) والحصول على المنتج المسامي . وبعد تبريد العينات في الهواء تم تنظيفها من حبيبات المادة الحافظة للفراغ المتفحمة ، وذلك بغمرها في الكحول لمدة (10)دقائق مع التحريك. بعدها تم تجفيف العينات وحساب نسبة المسامية للعينات بإتباع طريقة تبخير الماء[10].تتلخص الطريقة في وضع العينات في إناء محكم الغلق كما موضح في شكل(2) وبعد إفراغ الإناء من الهواء عن طريق استعمال مفرغة خاصة يتم غمر العينات في الماء ثم تترك مدة (5) دقائق لضمان تشبع العينات بالماء،بعد ذلك يتم وزن العينات المشبعة بالماء باستعمال الميزان الكهربائي الحساس ذو دقة (0,0001) غم ويتم تسجيل الوزن w_1(غم), بعدها تم تجفيف العينات باستعمال مجفف ثم وزنت مره أخرى بعد التجفيفw_2(غم). وبما أن كثافة الماء (1) غم/سم^3 تم حساب المسامية بإتباع العلاقة الآتية :[11]

حجم المسامة (سم^3) $= w_2 - w_1$

تشغيل العينات واختيار متغيرات عملية الربط

قبل إجراء عملية الربط تم تشغيل سطوح العينات لضمان حدوث التماس التام بين جانبي الصفيحتين التي تشكل خط اللحام، كما تم ضبط سمك القطعتين بسمك مقداره(4)ملم لضمان التغلغل المناسب لأداة الغرز. استخدمت ماكنة التفريز نوع (Bridgeport CNC Milling Machine) للحصول على الإبعاد المطلوبة.بعدها تم تثبيت كل من صفيحة سبيكة الألمنيوم الغير مسامية (الصلبة) و صفيحة سبيكة الألمنيوم-المسامية التي تم تحضيرها مع بعضها البعض ،ثم تم تثبيت الصفائح على سطح العربة المتحركة لماكنة التفريز وتم إدخال قيم سرع دوران اداة اللحام وسرع اللحام (متغيرات عملية اللحام) باستعمال لوحة التحكم الالكترونية لماكنة التفريز. استخدمت أداة لحام تتألف من مسند بقطر(12.5) ملم وأداة غرز بقطر (6) ملم وطول(4) ملم. استخدمت سرع دوران ثابتة لأداة اللحام مقدارها(900) دورة/دقيقة, وتم إجراء التجارب بتغيير سرع التغذية الخطية(سرع اللحام) .وبعد إجراء عدد من التجارب الأولية للحصول على وصلات لحام جيدة وخالية من العيوب تم اختيار ثلاث سرع تغذية هي(60,40,30) ملم/دقيقة لغرض دراسة خواص منطقة الربط الناتجة.

إجراء عملية الربط

تم إجراء عملية الربط بثلاث مراحل هي:

- **مرحلة التغلغل**: في البداية تم إنزال أداة الغرز ببطء وبصورة عمودية على الخط الفاصل بين الصفيحتين المراد ربطهما لحين حدوث التلامس بين السطح السفلي للمسند وسطح الصفائح المراد ربطها ،بعدها تم تدوير أداة اللحام وإبقاءها متمركزة في نقطة التغلغل لمدة دقيقة واحدة لضمان التسخين الأولي للصفائح بفعل الاحتكاك قبل إجراء عملية الربط.
- **مرحلة اللحام**: في هذه الخطوة تجرى عملية الخلط واللحام ويتم ذلك عن طريق تسليط قوة عمودية مقدارها (5) نيوتن بواسطة أداة اللحام ،على الصفائح المراد

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ربطها لضمان عدم حصول ارتداد لأداة الربط نتيجة القوة الناتجة جراء عملية الخلط. في الوقت ذاته يتم تحريك عربة ماكنة التفريز التي ثبتت عليها الصفائح بسرع خطية(سرع تغذية) مختلفة هي(60,40,30)ملم/دقيقة مع ثبوت سرعة دوران الأداة (900)دورة/دقيقة.

- **المرحلة النهائية**: وفي هذه المرحلة يتم رفع أداة اللحام وإخراج أداة الغرز بعد تقليل السرعة تدريجيا عن طريق تقليل سرعة منضدة الماكنة وإخراج أداة الغرز والشكل(3)يبين مراحل تلك العملية كما يبين الشكل(4) وصلة اللحام الناتجة.

3 -الفحوصات المختبرية

الفحص ألمجهري

تم إجراء الفحص ألمجهري لمعرفة البنية المجهرية لمناطق الربط المختلفة. استخدم المجهر الضوئي نوع (CarelZeiss) مزود بكاميرا رقمية،ومرتبط بالحاسوب.

فحص الصلادة

اجري فحص الصلادة المايكروية (Micro Hardness) للعينات المسامية المنتجة والعينات التي تم ربطها باستعمال سرع لحام مختلفة . اجري الفحص الصلادة للمساحة العمودية على خط اللحام للعينات قبل إجراء عملية التسخين كما تم إجراء الفحص بعد إجراء التسخين ،وتم حساب قيم الصلادة بطريقة فكر(Vickers hardness) وذلك بتسليط حمل (0.5)كغم لمدة(30)ثانية.

إجراء فحص الشد لقياس قوة الترابط

تم تشغيل العينات التي تم لحامها للحصول على عينات شد بأبعاد تبعا للمواصفات قياسية [12]. تم تقطيع العينات بشكل عمودي على خط اللحام وتشغيلها باستعمال ماكنة التفريز الأفقية. والشكل (5) يوضح أبعاد عينة الشد المستخدمة . اجري فحص الشد بتسليط حمل (500)كغم بمعدل سرعة تحميل (0.5)ملم/دقيقة. من نتائج فحص الشد ، تم إيجاد قوة الترابط للوصلات الملحومة .

4- النتائج والمناقشة

نتائج قياس المسامية

يوضح الشكل(6) نتائج قياس المسامية الفعالة(Effective porosity) للعينات عند إضافة نسب مختلفة من المواد الحافظة للفراغ ، يتبين من النتائج ان نسبة المسامية تزداد مع زيادة نسبة الاضافة والسبب في ذلك يعود الى الزيادة الحاصلة في احتواء اكبر عدد من المادة الحافظة للفراغ.

نتائج الفحص ألمجهري

تم إجراء الفحص المجهري على مناطق مختلفة من وصلة الربط ما بين السبيكة الغير مسامية وسبيكة(Al-7Si) المسامية عند نسبة إضافة (30%) من المادة الحافظة للفراغ(البوليمر) وباستعمال قوة تكبير واحدة وتم تجميع عدد من صور الفحص ألمجهري للمناطق المختلفة في شكل واحد ،شكل(7),الذي يوضح صورة تجميعية للمناطق المختلفة من وصلة الربط المنتجة في البحث الحالي ويظهر في الشكل المناطق الآتية:.

- **منطقة تغلغل أداة الغرز (Nugget Zone)**

أظهرت نتائج الفحص ألمجهري لهذه المنطقة تركيباً حبيبياً ناعماً متساوي المحاور كما في الشكل(7). كما لوحظ إن الحجم البلوري لهذه المنطقة اصغر من حجوم البلورات للمناطق الأخرى. ويرجع السبب في حصول التنعيم(refining) للحجوم البلورية في هذه

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

المنطقة إلى التشويه اللدن الناتج عن الحركة الدورانية العالية لأداة الربط وحدوث إعادة التبلور (re crystallization)نتيجة الحرارة العالية المتولدة إثناء احتكاك رأس أداة الغرز مع المعدن المحيط بها. ومن مقارنة التركيب المجهري لمنطقة التغلغل للعينات عند استعمال سرع لحام(تغذية) مختلفة، وكما موضح في الشكل(8) يلاحظ انه بزيادة سرعة اللحام فان الحجم الحبيبي لمنطقة التغلغل في السطح العلوي من العينات يقل، ويرجع ذلك إلى كمية الحرارة المتولدة في تلك المنطقة التي تقل بزيادة سرعة اللحام وذلك نتيجة التبريد السريع الذي يؤدي إلى تقليل درجة الحرارة المسببة للتلدين وإعادة النمو ،كما أن زيادة معدل التبريد بعد ترك أداة الغرز منطقة اللحام يؤدي إلى حدوث تنعيم اكبر للحبيبات المتساوية المحاور.

- **المنطقة المتأثرة بالحرارة والحركة** أظهرت نتائج الفحص المجهري للمنطقة المجاورة لمنطقة تغلغل أداة الغرز ,شكل(9) أن البنية المجهرية لهذه المنطقة تتكون من حبيبات طولية مشكلة بفعل الحرارة والتشكيل اللدن الناتج من الحركة الدورانية لأداة الغرز مما يدل على عدم حدوث إعادة التبلور للحبيبات في هذه المنطقة إذ ان الحرارة المتولدة غير كافية لحدوث اعادة التبلور ويقتصر تأثيرها في التشوه اللدن فقط[14,13].كما يبين الشكل(9) ان حبيبات هذه المنطقة تمتلك ترتيباً اتجاهياً مائلاً بزاوية عن اتجاه حبيبات السبيكة الغير مسامية وتختلف اتجاهية حبيبات (grains) وصلة اللحام على جانبي مركز التغلغل، إذ تمتلك حبيبات جهة تقدم المعدن(Advanced Side)(وهي الجهة التي يكون فيها اتجاه دوران اداة الغرز باتجاه موازٍ لاتجاه سرعة اللحام)، في منطقة الترابط مع السبيكة الغير مسامية فتكون اكثر حدة من جهة تراجع المعدن(Retarding Side)(وهي الجهة التي يكون فيها اتجاه دوران اداة الغرز معاكساً لاتجاه سرعة اللحام) في منطقة الترابط مع السبيكة المسامية كما نستنتج ان حجم حبيبات منطقة تقدم المعدن يكون اكبر من حجم الحبيبات في منطقة تراجع المعدن (من جهة المادة المسامية)كما يلاحظ من الشكل(8)ان زيادة سرعة اللحام تزيد من حصول حالة التنعيم في حبيبات تلك المنطقة.كما يظهر الشكل ان طبيعة الترابط الحاصلة في جهتي المنطقة المتاثرة بالحرارة والحركة هو ترابط ميكانيكي ناتج عن فعل الخلط الحاصل بسبب سرعة الدوران العالية لاداة الغرز. إن استعمال سرعة لحام منخفضة(30ملم/دقيقة) يؤدي إلى تباين واضح في منطقة الترابط وهذا نتيجة الاختلاف الكبير في الاتجاهية لجانبي المنطقة ،أما عند زيادة سرعة اللحام فيلاحظ الحصول على منطقة ترابط أكثر تجانساً مع فرق قليل في الاتجاهية وهذا ما يزيد من قوة الترابط في وصلة اللحام فضلاً عن ان منطقة التلامس بين صفائح السبيكة المسامية والسبيكة غير المسامية (منطقة التغلغل)تكون متجانسة تماما ولا يمكن التفريق أو الفصل بينهما.

- **المنطقة المتأثرة بالحرارة(HAZ)**

تشابه هذه المنطقة المنطقة المتاثرة بالحرارة الناتجة من طرق اللحام التقليدية من حيث الخواص، إلا أن هذه المنطقة في طريقة اللحام بالخلط الاحتكاكي تكون ضيقة جدا.

نتائج قياس الصلادة

تم ايجاد قيم الصلادة للعينات التي تم ربطها من سبيكة Al- 7Siالمسامية والسبيكة غير المسامية باستعمال سرع لحام مختلفة عند نسب اضافة ثابتة مقدارها(30%) للمادة الحافظة للفراغ وذلك عند مسافات محددة عبر مساحة مقطع عمودي على خط اللحام

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

للعينات المختلفة والشكل(10) يبين نتائج قيم الصلادة قبل اجراء التسخين للعينات لسرع لحام(60,40,30) ملم/دقيقة على التوالي. يلاحظ من الشكل أن قيم الصلادة للوصلات التي تم ربطها أعلى من قيم الصلادة للسبيكة الغير المسامية وتصل إلى أعلى قيمة عند منطقة تغلغل أداة الغرز(pin) (منطقة ترابط السبيكة الغير مسامية مع السبيكة المسامية) .ان السبب في ذلك يعود إلى حصول التنعيم للبنية المجهرية(Grain Refining) واعادة التبلور لتلك المنطقة،وبالابتعاد عن مركز خط اللحام على جانبي خط اللحام باتجاه المنطقة المتأثرة بالحرارة فان قيم الصلادة تتغير مع تغير التركيب المجهري. ففي منطقة تقدم المعدن يلاحظ إن الصلادة تقل تدريجيا عن قيم الصلادة في منطقة التغلغل بسبب حصول التنعيم فقط وعدم حدوث اعادة التبلور في المنطقة المتاثرة بالحرارة والحركة

(Thermo mechanical Heat Affected Zone) الا انها تبقى عند قيم اعلى من صلادة السبيكة الغير مسامية.أما في منطقة تراجع المعدن فتكون قيم الصلادة فيها اعلى مما هي عليه في منطقة تقدم المعدن والسبب في ذلك يرجع الى الاختلاف الحاصل في الحجم الحبيبي لكلا الجانبين وكما موضح في الشكل(10)، وعند الاستمرار بالابتعاد عن خط اللحام لكلا الجانبين فان الصلادة تنخفض الى أدنى قيمة لها عند المنطقة المتأثرة بالحرارة اذ تكون اقل من صلادة سبيكة (Al-7Si) الغير مسامية والسبيكة المسامية، ويعزى السبب في ذلك إلى حدوث النمو والتخشين في بلورات تلك المنطقة. بعدها تزداد قيم الصلادة تدريجيا لغاية دخول منطقة السبيكة الغير مسامية والسبيكة المسامية على جانبي خط اللحام اذ تكون (HV=120) و(HV=127) لسبيكة(الألمنيوم– سيليكون) المسامية وغير المسامية على التوالي.

بزيادة سرع اللحام تزداد الصلادة في جميع مناطق اللحام شكل(10) ويعود السبب في ذلك الى زيادة معدل التبريد عند زيادة سرعة اللحام مما يؤدي الى تقليل الحجم الحبيبي لبلورات منطقة اللحام[9] .يوضح الشكل(11) نتائج فحص الصلادة للعينات بعد اجراء التسخين والتخلص من حبيبات المادة الحافظة للفراغ. وعند المقارنة مع نتائجالموضحة في الشكل(10) يلاحظ حصول انخفاض نسبي في قيم الصلادة لجميع مناطق اللحام بعد اجراء عملة التسخين.

مما سبق يمكن الاستنتاج ان أعلى صلادة لوصلة اللحام تم الحصول عليها عند استعمال سرعة لحام مقدارها (60)ملم/دقيقة، وذلك بسبب بقاء قيم الصلادة عند مستويات اعلى من صلادة السبيكة المسامية بعد إجراء عملية التسخين ، فضلا عن إنتاج وصلة لحام متجانسة. اذ لوحظ ان زيادة سرعة اللحام اكثر من (60)ملم/دقيقة أدى إلى فشل عملية الربط وذلك لحدوث عيوب التموج و تكون قناة طولية على امتداد خط اللحام نتيجة اندفاع المعدن من أمام أداة الغرز الى جانبي خط اللحام وإنتاج وصلة لحام غير ناجحة.

نتائج فحص الشد

يبين الشكل(12) نتائج فحص الشد المستخدم لقياس قوة ترابط وصلة اللحام مابين السبيكة الغير مسامية والسبيكة االمسامية. يلاحظ من الشكل ان زيادة سرعة اللحام ولنسب إضافة ثابتة للمواد الحافظة للفراغ، تؤدي الى زيادة قوة الترابط لوصلة اللحام بسبب حصول التنعيم واعادة التبلور نتيجة الحرارة المتولدة عن الاحتكاك مابين اداة اللحام السبائك المراد لحامها ، مما يؤدى الى انتاج وصلة لحام متجانسة في منطقة الربط ، وعند زيادة نسبة الإضافة واستعمال سرع لحام ثابتة تقل قوة الترابط، ويعزى سبب ذلك إلى زيادة في نسبة المسامية في

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

السبيكة المسامية ،اذ لوحظ ان الفشل يحدث في منطقة السبيكة المسامية وليس في منطقة الترابط(وصلة اللحام).

من النتائج السابقة تبين ان ظروف اللحام بالخلط الاحتكاكي وهي استعمال سرعة لحام (60) ملم/دقيقة وسرعة دوران اداة اللحام (900) دورة/دقيقة مع اضافة (30)% من المادة الحافظة للفراغ، أدى إلى إنتاج وصلة لحام ناجحة ذات منطقة ترابط متجانسة خالية من العيوب على جانبي خط اللحام تمتلك بنية مجهرية من حبيبات صغيرة ناعمة متساوية المحاور. مع حدوث نسبة تشكيل قليلة في المنطقة المتأثرة بالحرارة والحركة وعدم حدوث اختلاف في الاتجاهية على جانبي منطقة تقدم المعدن ومنطقة تراجع المعدن مما قلل الاختلاف في قيم صلادة الجانبين والحصول على قيم صلادة متجانسة قريبة من صلادة منطقة الترابط، ولكنها اعلى من قيم الصلادة لكل من السبيكة المسامية وغير المسامية. كما تم الحصول على قوة ترابط جيدة مع الاحتفاظ بنسبة مسامية معقولة. فعلى الرغم من ان استعمال سرعة لحام مقدارها (60) ملم/دقيقة وإضافة (20)% من المواد الحافظة للفراغ، يعطي قوة ترابط اكبر إلا ان قيمة الكثافة تكون عالية. وعند اعتماد سرع لحام اقل لوحظ تقليل قوة الترابط والصلادة وحصول الفشل عند قوة اقل مما هي عليه عند استعمال سرعة لحام (60) ملم/دقيقة.

5- الاستنتاجات

أظهرت نتائج البحث انه بالإمكان ربط سبيكة (ألمنيوم-سيليكون) المسامية إلى السبيكة غير المسامية باستخدام طريقة اللحام بالخلط الاحتكاكي، كما يمكن استنتاج ما يلي:

- .من دراسة البنية المجهرية ظهر ان هنالك ثلاث مناطق مختلفة في منطقة الربط هي منطقة تغلغل اداة الغرز وتمتاز بحجوم حبيبية ناعمة متساوية المحاور. والمنطقة المتأثرة بالحرارة والحركة وتمتاز بحبيبات طولية ذات اتجاهية عالية.اضافة إلى المنطقة المتأثرة بالحرارة: التي تمتاز بحبيبات خشنة نتيجة النمو الحبيبي.
- تؤدي زيادة سرعة اللحام الى تقليل الحجم الحبيبي للبنية المجهرية في جميع مناطق وصلة اللحام.
- تؤدي زيادة سرعة اللحام الى زيادة صلادة وصلة اللحام (الربط) اذ تبلغ اعلى قيمة لها (160HV) عند سرعة لحام(60)ملم/دقيقة .
- تؤدي زيادة سرعة اللحام الى تقليل الاتجاهية للمنطقة المحيطة بمنطقة الترابط (المنطقة المتاثرة بالحرارة والحركة) وزيادة تجانس منطقة الترابط (منطقة التغلغل).
- مع زيادة سرعة اللحام تزداد قوة الترابط لوصلة اللحام عند ثبوت نسبة اضافة المادة الحافظة للفراغ اذ تبلغ أقصى قيمة لها (140N) عند سرعة لحام (60)ملم/دقيقة ولنسبة اضافة (30)% من المادة الحافظة للفراغ.
- تقل قوة الترابط لوصلة اللحام بزيادة نسبة اضافة المادة الحافظة للفراغ عند ثبوت سرعة اللحام اذ تبلغ ادنى مستوى لها (70N)عند نسبة اضافة (40)% من المادة الحافظة للفراغ ولسرعة لحام مقدارها (30) ملم/دقيقة.

المصادر

.[1].M.F.Ashby & N.A.Fleck "Metal Foams and Porous Metal Structure" 1st. Edition, Bremen, 1999, USA.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

.[2].L. Rausch and J. Banhart" Mechanical Properties Of Highly Ordered Nan porous Anodic Alumina Membranes", Advanced Materials Science, Vol. 6, No.11, 2004.

.[3].F.Bamga & I.Durate "Industrialization of Powder Compact Foaming Process", journal of Advanced Engineering Materials, Vol.4, No.3, 1993, pp.30-39.

.[4].C.korner & R.Singer "Processing of Metal Foams Challenges and Opportunities" Journal of Advanced Engineering Materials, Vol.2, No.4, 1999, pp.159-165.

[5].ALUMINUM NSWER, "The Joining Process" ,www.aluminum org ,Test Research,2007

[6] D. Rodrigues, A. Loureiro , C.Leitao " Influence of friction stir welding parameters on the microstructural and mechanical properties of AA 6016-T4 thin welds", Materials and Design, Vol. 30 ,(2009) pp.1913–1921.

.[7]. R.S.Mishra & Z.Y.Ma "Fiction Stir Welding and Processing", Materials Science and Engineering, Reports Review Journal ,R50, pp.1-78, 2005. **.[8]. A. Simar Y. Rechet , B. Meester**, "Microstructure, local and global mechanical properties of Friction Stir Welds in Aluminum alloy 6005A-T6", Materials Science and Engineering A, Vol. 486, (2008),pp. 85–95. **.[9].A.Barcellona & G.Buuf** "On Micro structural Occurring in Friction Stir Welding of Aluminum Alloys" Journal of Materials Processing Technology, No.177, 2006, pp.340-343.

.[10].E.Brandes "Semithelles Light Metal" Metal Handbook, Lowe State University, 1998.

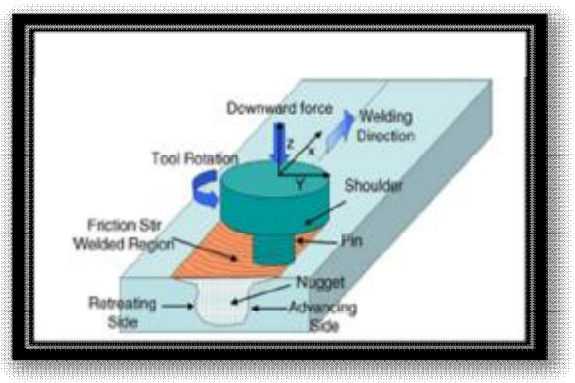
.[11].J.M.Tulliani, I.Montanaro, "American Ceramic Socity",ASTM,1999

.[12].H.William "Properties and Selection: Non Ferrous Alloys and Pure Materials" Metal Handbook, Vol.9, 1985.

جدول (1) التحليل الكيمياوي لسبيكة(ألمنيوم-سليكون)

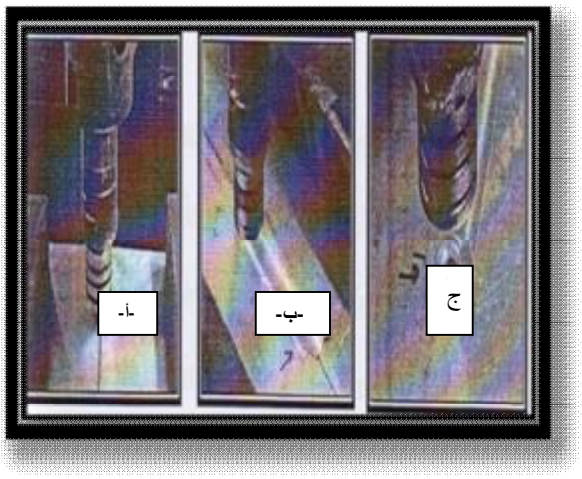
Si	Mg	Fe	Mn	Cu	Ti	Al
7	0.39	0.07	0.03	0.05	-	Bal

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل(1) مبدأ عملية اللحام بالاحتكاك والخلط[7].

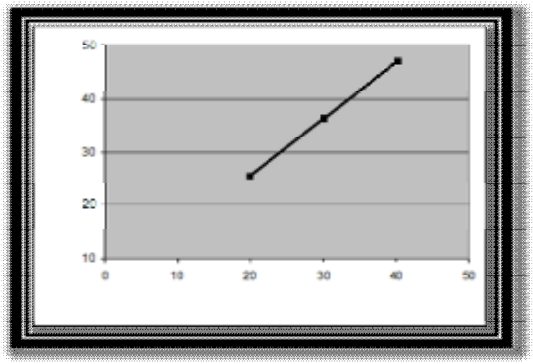
شكل(2) يوضح جهاز قياس المسامية المستخدم.



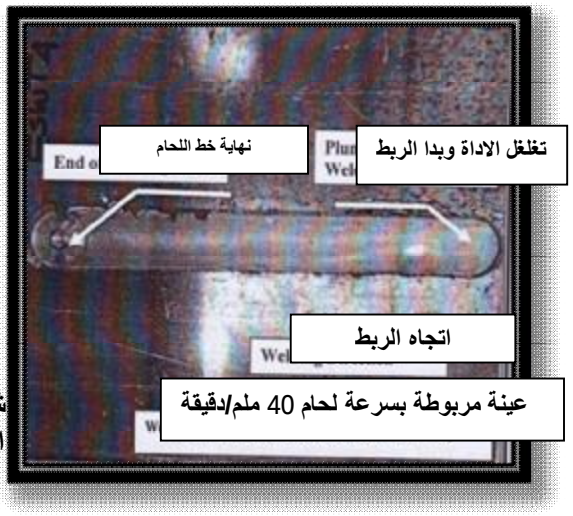
شكل(3)يبين مراحل عملية الربط(أ-مرحلة التغلغل، ب-مرحلة الربط ,ج-المرحلة النهائية).

* هندسة الانتاج والمعادن , الجامعة التكنولوجية/ بغداد. العراق

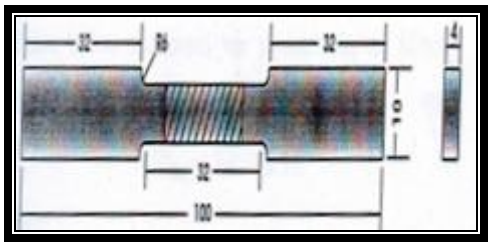
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل (6)العلاقة بين نسبة الاضـــافة للمـــادة الحافظة للفراغ ونسبة المسامية الناتجة .

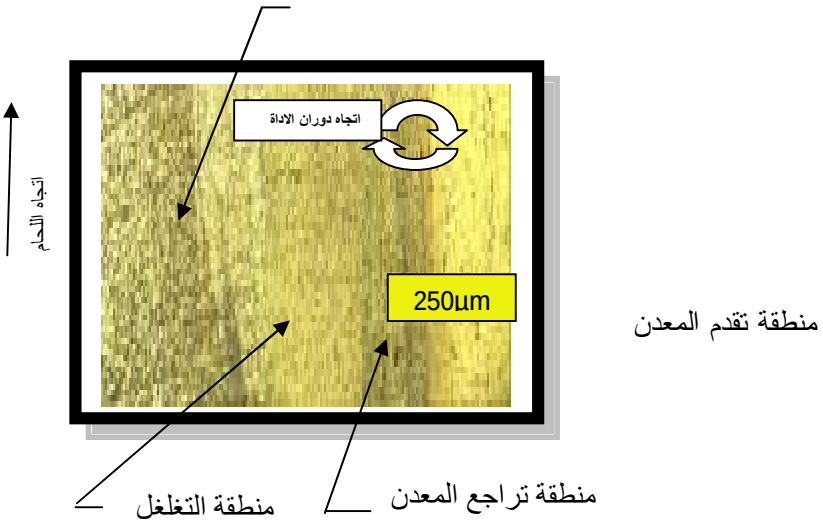


شكل(4) يوضح العينة المنتجة بعـد عمليـة الربط.



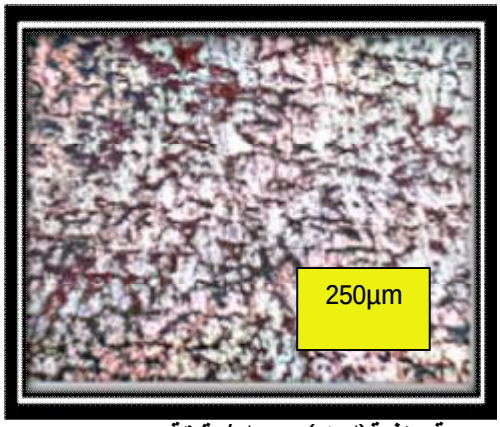
شكل(5) يبين إبعاد عينات الشد.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

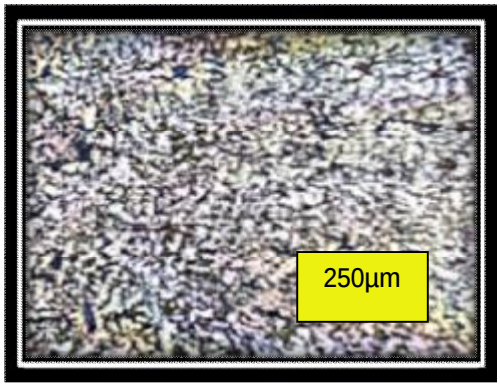


الشكل (7) شكل تجميعي لمناطق اللحام المختلفة عند سرعة لحام 40 دورة/ دقيقة وبنسبة اضافة 30% من المادة الحافظة للفراغ.

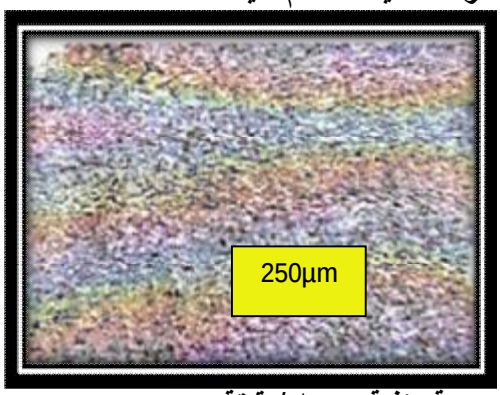
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



سرعة تغذية(لحام) 30ملم/دقيقة



سرعة تغذية 40 ملم/دقيقة

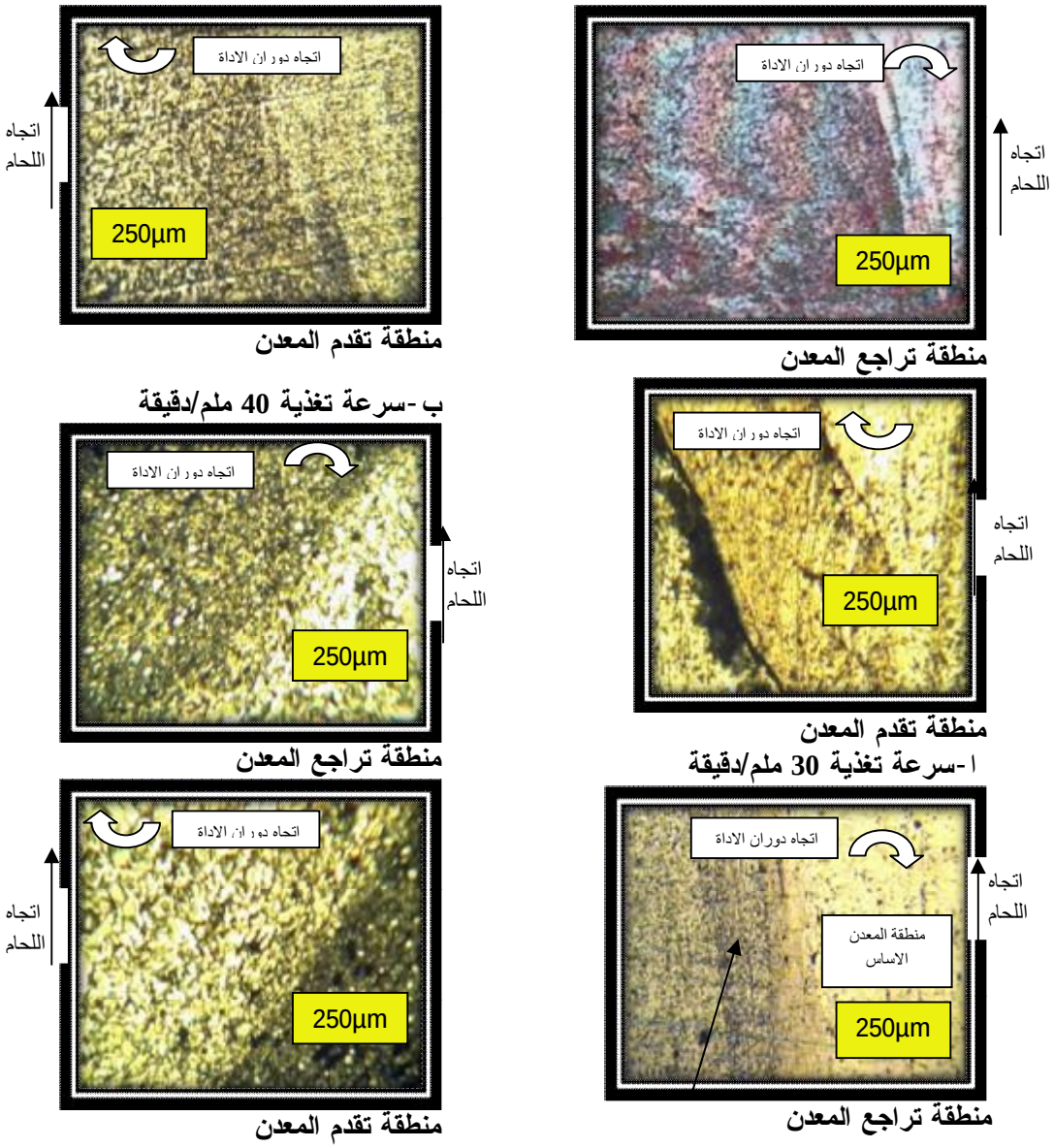


سرعة تغذية 60 ملم/دقيقة

شكل(8) يبين منطقة التغلغل عند استخدام سرع تغذية(لحام) مختلفة.

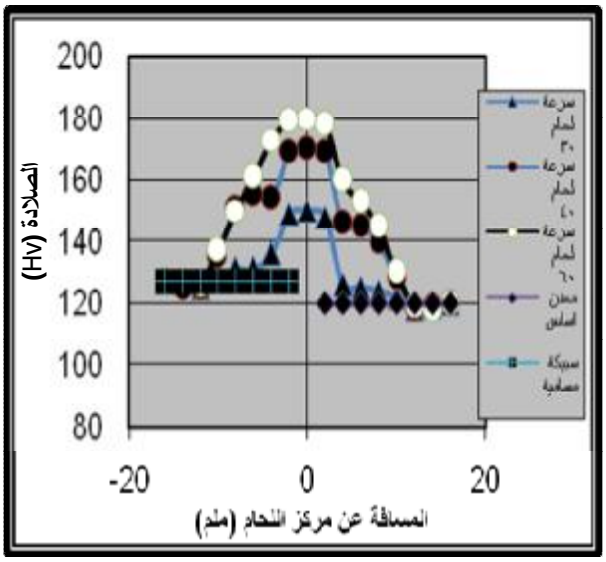
* هندسة الانتاج والمعادن , الجامعة التكنولوجية/ بغداد. العراق

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

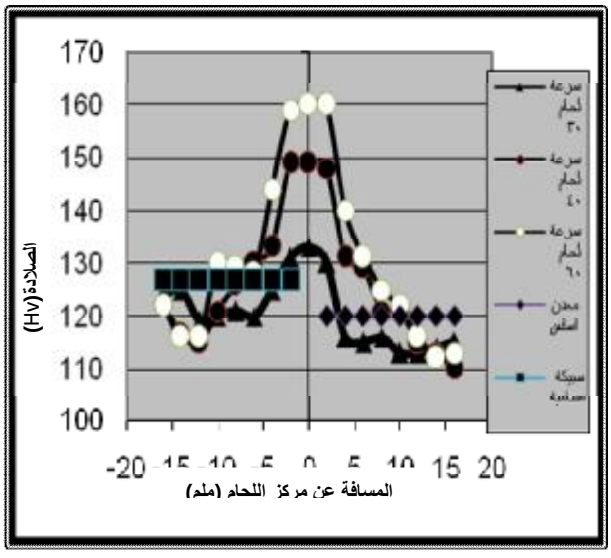


شكل(9) يبين البنية المجهرية للمنطقة المتأثرة بالحرارة والحركة للسطح العلوي عند سرع لحام(تغذية) مختلفة.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



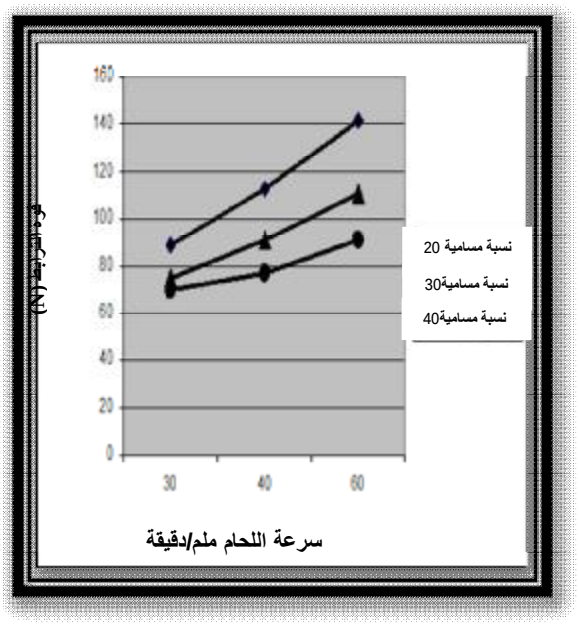
شكل (10) قيم الصلادة لمنطقة اللحام عند استخدام سرع لحام (تغذية) مختلفة قبل إجراء المعاملة الحرارية(التسخين) .



شكل(11) قيم الصلادة لمنطقة اللحام عند استخدام سرع لحام مختلفة بعد إجراء التسخين

* هندسة الانتاج والمعادن , الجامعة التكنولوجية/ بغداد. العراق

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل (12) قوة الترابط للعينات عند سرع لحام مختلفة بعد اجراء المعاملة الحرارية (التسخين).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com