ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

التعريف بتقنية لحام الدمج الاحتكاكي وتطبيقاته

المؤلف الدكتور تمام سلوم

(أستاذ مساعد في قسم الهندسة الصناعية، كلية الهندسة الميكانيكية، جامعة حلب، محاضر في جامعة المنارة،

البريد الإلكتروني: tammam.salloum@manara.edu.sy)

الملخص

لحام الدمج الاحتكاكي يختلف عن لحام الانصهار حيث يتم دون صهر المعدن أو استخدام مواد مالئة (حشوة) ويستخدم عادة في القطع المصنوعة من الألمنيوم وسبائكه وفي التطبيقات التي يجب أن تبقى فيها الخصائص المعدنية الأصلية دون أي تغيير وذلك قدر الإمكان . سنعرض في هذه المقالة مبدأ عمل اللحام الاحتكاكي ثم مراحل هذا النوع من اللحام ومزاياه ومساؤئه وكيف يتم تصنيف منطقة اللحام مجهرياً وتناولنا أيضا مقارنة بين اللحام الاحتكاكي و لحام الانصهار وركزنا على بارامترات هذا النوع من اللحام كهندسة الأداة ونوع المادة و تصميم الكتف ومسار الأداة وعرضنا في نهاية المقالة بعضاً من تطبيقات اللحام الاحتكاكي

كلمات مفتاحية_ اللحام الاحتكاكي، النمذجة، المحاكاة العددية، توليد الحرارة، نقل الحرارة، تدفق المعادن، مراجعة.

Abstract:

Friction fusion welding differs from fusion welding in that it is done without melting the metal or using filler materials (filler) and is usually used in parts made of aluminium and its alloys and in applications where the original metal properties must remain unchanged as much as possible. In this article, we will present the principle of friction welding, then the stages of this type of welding, its advantages and disadvantages, and how the welding area is classified microscopically. We also discussed a comparison between friction welding and fusion welding and focused on the parameters of this type of welding such as tool geometry, type of material, shoulder design, and tool path. At the end of the article, we presented some of the applications of friction welding.

Keywords_ Frictions stir welding, Modelling, Numerical Simulation, Heat generation, Heat transfer, Metal flow, Review

I. مقدمة:

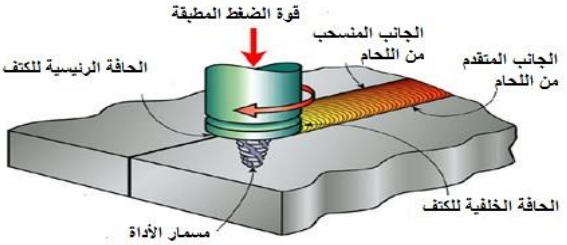
يعرف اللحام ببساطة على أنه ربط المواد بتسخينها حتى الانصهار ومن ثم دمجهما معاً. ولكن هذا التعريف يجب تغييره بتقدم تقنيات اللحام وبشكل عام هناك نوعين أساسين من اللحام هما اللحام الانصهاري واللحام اللانصهاري. إن طرق اللحام الحديثة لا تعتمد كلها على الانصهار لربط القطعتين وهنا يظهر اللحام الاحتكاكي الذي يعتمد على الضغط والحرارة لتحقيق الربط بين القطعتين.

يعرف على أنه عملية تقنية لوصل المعادن في الحالة اللدنة (الصلبة) وهذا لا يعني الوصول إلى درجة حرارة الانصهار كما يحدث في عمليات اللحام التقليدية وهذه هي إحدى أهم ميزات اللحام الاحتكاكي حيث أن أعلى درجة قد يصل إليها المعدن هي $0.8T_m$ حيث T_m: درجة حرارة الانصهار. يعتبر لحام الدمج الاحتكاكي أحد أهم الانجازات المتحققة للحام الألمنيوم في العقد الأخير من القرن العشرين. اخترع هذا النوع من اللحام في معهد اللحام البريطاني TWI عام 1991. هذا النوع من اللحام يتم دوم صهر المعدن أو استخدام مواد مالئة (حشوة) وهو غالباً ما يستخدم في التطبيقات الحرجة مثل وصل القطع الهيكلية المصنوعة من الألمنيوم وسبائكه وفي التطبيقات التي يجب أن تبقى فيها الخصائص المعدنية الأصلية دون أي تغيير وذلك قدر الإمكان.

هذا النوع من اللحام يعطي نتائج جيدة سواء كانت من ناحية قوة الوصلة أو من ناحية قابليتها للطرق أو السحب كما أن لحام الاحتكاك يعتبر مناسباً جداً للقطع التي تكون مسطحة وطويلة و يسمح لحام الاحتكاك بوصل صفائح الألمنيوم وذلك دون استخدام حماية غازية أو حشوة حيث أن الصفائح التي تقع سماكتها بين (0.8 – 6.5)mm يمكن أن تلحم دون حصول أي مسافات أو فراغات داخلية في منطقة اللحام والمواد التي تم لحامها بنجاح باستخدام طريقة لحام الاحتكاك هي سبائك الألمنيوم والنحاس والمغنزيوم كما أنه يسمح بلحام سبيكتين مختلفتين من الألمنيوم دون حدوث أي عيوب.

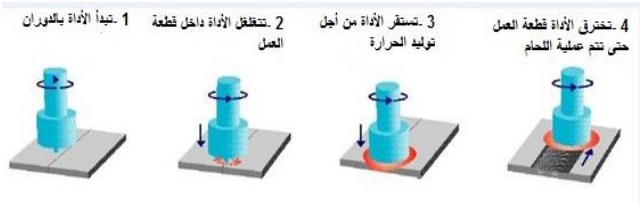
II. مبدأ عمل اللحام الاحتكاكي

يمكن أن نقول أن اللحام الاحتكاكي يتكون من مجموعة من الأعمال الناتجة عن الاحتكاك والتشوه الميكانيكي بفعل الأداة الدوارة حيث تصل درجة الحرارة القصوى لهذا النوع من اللحام إلى 0.8 من درجة حرارة الانصهار. إن أداة اللحام تملك مقطع دائري باستثناء نهايتها التي تكون على شكل مجرى مسمار حيث أن الجزء الواصل بين المقطع الاسطواني والمسمار يدعى بالكتف. تتولد الحرارة بشكل رئيسي من الاحتكاك الناتج بين المشغولة والأداة حيث يخترق المسمار المشغولة بينما يبقى الكتف على السطح الخارجي ويحتك بالمشغولة كما هو موضح بالشكل (1–1).



الشكل (1–1) . عملية اللحام الاحتكاكي

حيث أولاً يتصل الدبوس بالمادة مع دوران تحتي بالإضافة إلى قوة مطبقة مما يؤدي إلى توليد حرارة احتكاكية والتي تسمح للمادة بالجريان اللدن وترتفع درجة الحرارة إن الدبوس يحشر ويحشر حتى يحصل الاتصال بين السطح الأعلى للمادة وكتف الأداة الذي يقوم بتوليد حرارة احتكاكية إضافية ويزود قيداً إضافياً ضد تدفق المادة الملدنة مما يدفع المادة إلى السطح الأعلى للحام بينما تواصل الأداة الدوران والانتقال حتى الوصول إلى نهاية اللحام وعندما يتم إنجاز منطقة اللحام المطلوبة تغادر الأداة قطعة العمل وهذه المراحل موضحة في الشكل (1–2).



الشكل (1–2) . مراحل حركة أداة اللحام الاحتكاكي

III. مراحل لحام الدمج الاحتكاكي

هناك ثلاث مراحل يمكن أن تميز في لحام الدمج الاحتكاكي :

1. **مرحلة التغلغل:** في البداية يتم إنزال أداة اللحام ببطء وبصورة عمودية على الخط الفاصل بين الصفيحتين المراد ربطهما لحين حدوث تلامس بين النتوء وسطح الصفائح المراد لحامها ، بعدها يتم تدوير أداة اللحام وإبقاءها متمركزة في نقطة التغلغل فترة من الزمن (حوالي دقيقة واحدة) لضمان التسخين الأولي للصفائح بفعل الاحتكاك قبل إجراء عملية الربط.
2. **مرحلة اللحام:** في هذه المرحلة تجري عملية الخلط واللحام ويتم ذلك عن طريق تسليط قوة عمودية بواسطة أداة اللحام على الصفائح المراد ربطها لضمان عدم حصول ارتداد لأداة اللحام نتيجة القوة الناتجة عن عملية الخلط ، في الوقت ذاته يتم تحريك طاولة الآلة التي تثبت عليها الصفائح بشكل أفقي أو يتم تحريك أداة اللحام بشكل أفقي مع ثبات سرعة دوران الأداة .
3. **المرحلة النهائية:** في هذه المرحلة يتم رفع أداة اللحام وإخراج أداة الغرز بعد تقليل السرعة تدريجياً عن طريق تقليل سرعة طاولة الآلة أو تقليل السرعة الخطية للأداة وإخراج أداة الغرز.

IV. مزايا اللحام الاحتكاكي

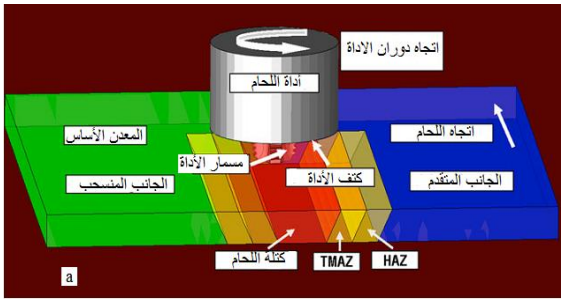
إن النتائج المفيدة لعملية اللحام الاحتكاكي تأتي من أن هذه العملية تجري في الحالة الصلبة عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة الانصهار للمعدن الملحوم ومن هنا تأتي أهمية هذا النوع من اللحام في إمكانية لحام المواد التي يصعب لحامها مثل سبائك الألمنيوم ولحام قطعتين من معدنين مختلفين كما يوجد العديد من الفوائد والمزايا نذكر منها :

- صديق للبيئة ولا ينتج أبخرة.
- معدل إنتاج عالي حيث تتم العملية خلال دورة عملية قصيرة وبنوعية وجودة عالية وهذا مناسب في حالة الإنتاج بالجملة .
- متانة وصلة لحام الاحتكاك أدت إلى استخدامها في التطبيقات الحرجة التي تتميز بعدم حصول جريان للمعدن ولا توجد مادة حشو.
- العملية آمنة .
- يمكن استخدام هذه العملية في لحام السبائك المختلفة .
- لا تحتاج إلى تدريب وخبرة عالية للقيام بمثل هذه العملية.
- عدم تشكل بركة منصهرة من المعدن والتي تنكمش بشكل ملحوظ عند إعادة التجمد أي أن الإجهادات الداخلية والحرارية التي تتشكل أثناء اللحام تكون منخفضة .
- أداة اللحام غير مستهلكة ونسبة هدر قليلة .
- التشوه بعد عملية اللحام تكون صغيرة حتى ولو كان خط اللحام طويل

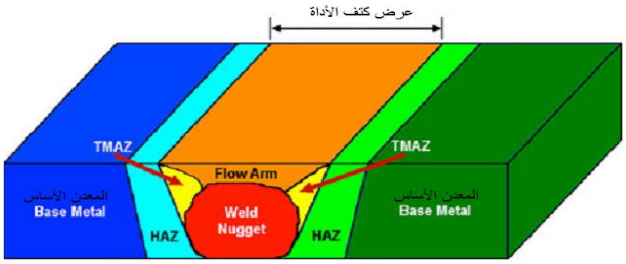
V. تصنيف منطقة اللحام مجهرياً

يؤدي التشوه اللدن (plastic deformation) مع الحرارة المرتفعة لمنطقة الدمج إلى إعادة التبلور (recrystallization) وتوليد بنية جديدة عبر الترسيب (precipitate) ، إن البنية الهيكلية المجهرية للمنطقة الملحومة بواسطة لحام الاحتكاك تعتمد بشكل رئيسي على:

1. تصميم الأداة الدوارة
2. سرعة دوران الأداة الدوارة
3. قيمة الضغط المطبقة
4. خصائص المادة المراد لحامها
5. حيث تم تقسيم منطقة اللحام كما في الشكلين (1-3) و(1-4)



الشكل (1-3) . شكل تخطيطي لعملية اللحام الاحتكاكي



الشكل (1-4) . المنطقة المجهرية الرئيسية في وصلة لحام مثالية

1. المنطقة الغير متأثرة Un-Affected Zone

هذه المنطقة تكون بعيدة عن منطقة اللحام والتي لا تتشوه على الرغم من أنها تتعرض للحرارة الناتجة عن عملية اللحام ، لكن ذلك لا يؤدي إلى التغير في البنية المجهرية لهذه المنطقة أو إلى تغير في الخواص الميكانيكية لهذه المنطقة.

2. منطقة التأثير الحراري

ويرمز لها (HAZ) اختصاراً للمصطلح (Heat-Affected Zone) . وتكون هذه المنطقة قريبة بشكل واضح إلى مركز اللحام وبالتالي تعاني أكثر من الحرارة الناتجة عن عملية اللحام ، وهذا يؤدي إلى تغير في البنية

المجهرية في هذه المنطقة بالإضافة إلى تغير في بعض الخواص الميكانيكية

3. **منطقة التأثير الحراري والميكانيكي**

ويرمز لها (TMAZ) اختصاراً للمصطلح (Thermo – Mechanically Affected –Zone). تتعرض هذه المنطقة إلى تشوه لدن تسببه أداة اللحام الاحتكاكية حيث أن الحرارة الناتجة عن عملية اللحام يكون لها تأثير كبير على المادة ، وتمثل حد الانتقال من منطقة العقدة إلى ما بعدها ويكون فيها شكل الحبيبة طولياً متأثراً بالتشوه اللدن الحاصل في منطقة العقدة . ففي حالة الألمنيوم يتشكل انفعال لدن دون أن يؤدي ذلك إلى عملية إعادة التبلور في هذه المنطقة ، وعموماً توجد حدود بين المناطق المعاد تبلورها والمناطق المشوهة .

4. **كتلة اللحام Weld – Nugget**

إن التشوه اللدن والحرارة المتولدة من الاحتكاك يؤديان إلى نشوء حبيبات (grains) ناعمة وفي هذه المنطقة تحصل عملية إعادة تبلور وفي بعض الأحيان تتم معاملة هذه المنطقة كجزء من منطقة التأثير الحراري الميكانيكي TMAZ

VI. مقارنة بين لحام الاحتكاك ولحام الانصهار

إن لحام الانصهار يحتوي على مادة الفيلير بالإضافة إلى غازات الحماية حيث ينصهر معدن الإضافي (معدن الملئ) مع المعدن الأصلي ويعطيان بنية هيكلية مختلفة مع العلم أنه في عملية اللحام الانصهاري من الضروري حماية المعدن من التفاعل مع الهواء لمنع تشكل الأكاسيد والذي يتم بسرعة عالية ويسبب انهيار الوصلة كما أن الأكاسيد أثقل من المعدن مما قد يؤدي إلى تشكل تدرجات على الوصلات اللحامية، وكذلك هناك خطر تشكل المسامات، بينما لحام الاحتكاك يتميز بعدم وجود غازات حماية، وعدم حدوث جريان للمعدن، حيث أن الوصلة اللحامية تتشكل من تأثير الحرارة الناتجة عن الاحتكاك وحدوث تشوه لدن حاد، وكما ذكرنا سابقاً أن المادة الملحومة لا تصل إلى درجة حرارة الانصهار ونتيجة لذلك كله نحصل على لحام متجانس دون مسامات وبدون حدوث تدرجات وعملية اللحام الاحتكاكي محددة بعدد قليل من المتغيرات الأمر الذي سهل مراقبة ودراسة هذه العملية . ومن ناحية أخرى نلاحظ أن الوصلة في اللحام الانصهاري تكون غير متجانسة، وذات سماكة أكبر من المعدن الأصل

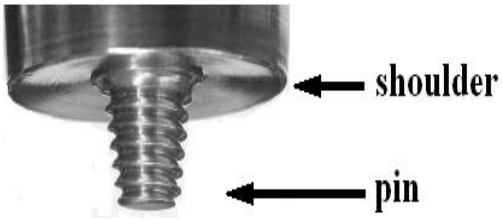
VII. بارامترات اللحام الاحتكاكي

سرعة اللحام، السرعة الدورانية للآلة، قوة الضغط، زاوية إمالة الأداة وتصميم الأداة هي المتغيرات الرئيسية المستخدمة عادة للتحكم بعملية اللحام الاحتكاكي، يؤدي دوران الأداة إلى تحريك المادة حول مسمار الأداة حيث تتحرك المادة اللدنة من أمام المسمار للخلف. كما يؤثر الضغط المحوري المطبق على الأداة أيضاً على نوعية اللحام. وهذا يعني أن الضغط المرتفع جداً يؤدي إلى فرط تسخين وترقيق الوصلة اللحامية، بينما تؤدي الضغوط المنخفضة جداً إلى تسخين غير كاف وفجوات، كما ذكرنا من قبل، يؤثر تصميم الأداة على توليد الحرارة، التدفق اللدن، وكذلك الطاقة المطلوبة للقيام باللحام الاحتكاكي FSW وانتظام الوصلة الملحومة. وبشكل عام يكون سطحا الأداة مطلوبين من أجل القيام بعملية التسخين والوصل في عملية لحام الدمج الاحتكاكي.

يشمل FSW حركة معقدة للمادة وتشوه لدن. تفرض معايير اللحام، هندسة الأداة، وتصميم الوصلة تأثيراً مهماً على نمط تدفق المادة وتوزيع درجة الحرارة، ومن ثم يؤثر على البنية المجهرية للمادة. وهنا سيتم ذكر القليل من العوامل الرئيسية التي تؤثر على عملية FSW مثل هندسة الأداة، معايير اللحام وتصميم الوصلات.

- **هندسة الأداة Tool geometry**

تعتبر هندسة الأداة هي المظهر الأكثر تأثيراً في تطور العملية . يلعب الشكل الهندسي للأداة دوراً مهماً في تدفق المادة . تتضمن أداة FSW على كتف ومسمار كما هو موضح في الشكل (1–5)



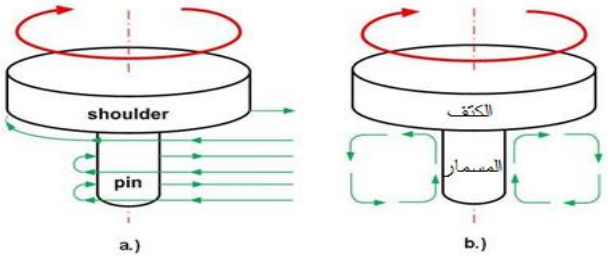
الشكل (1–5) . أداة اللحام الاحتكاكي

وكما ذكرنا سابقاً، للأداة وظيفتين رئيستين:

(a): تسخين موضعي

(b): تدفق المادة

وفي المرحلة الأولية من حركة الأداة، ينتج التسخين مبدئياً من الاحتكاك بين المسمار وقطعة العمل. يتم دفع الأداة حتى يلامس الكتف القطعة المشغولة، والاحتكاك بين الكتف والقطعة المشغولة يؤدي إلى مزيد من التسخين. من منظور التسخين، يكون الحجم النسبي للكتف والمسمار مهماً، ولا تكون السمات التصميمية الأخرى مهمة. هناك عوامل مهمة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند اختيار تصميم مسمار وكتف الأداة مثل مادة قطعة العمل، مادة أداة اللحام، شكل الوصلة، السرعة الخطية والسرعة الدورانية لأداة اللحام، ويراعى عند تصميم الأداة أن تتدفق المادة بمقدار واتجاه كافي أثناء اللحام وبشكل عام يمكن تحقيق المقدار الأعظمي لتدفق المادة المطلوب أثناء عملية اللحام من أجل الحصول على نوعية لحام جيدة ولكن ذلك مرتبط بالبارامترات التقنية الأخرى (سرعة الدوران وسرعة اللحام). وبالتأكيد يحدث تدفق المادة بشكل أفقي أثناء عملية اللحام ولكن إذا حدثت بعض الأكسدة على سطح مادة الأساس فإن تدفق المادة بشكل عمودي سيكون هام جداً وهذا مهم وخصوصاً في لحام الوصلة التراكبي، وإذا لم يحدث التدفق العمودي للمادة أثناء عملية اللحام فإن السطح المؤكسد سيبقى في خط الوصلة وسيبقى ظاهراً عند تشكيل الوصلة. حيث أن الشكل(1–6–a) يظهر تدفق المادة الأفقي والشكل (1–6–b) يظهر التدفق العمودي للمادة حول الأداة.



الشكل (1–6). a– التدفق الأفقي للمادة و b– التدفق العامودي للمادة

VIII. مواد أداة اللحام

عملية الاحتكاك هي عملية تشويه حرارية ميكانيكية حيث ترتفع درجة حرارة المعدن نتيجة الاحتكاك وبالتالي تقترب درجة حرارة الأداة من درجة حرارة المعدن الأساس.

ولكي يتم إنجاز اللحام الاحتكاكي بشكل ممتاز يتطلب ذلك اختيار المادة الصحيحة للأداة حسب نوع المادة الملحومة وكذلك يجب ألا تفقد الأداة استقرارها أو إحدى المميزات التصميمية لها أو تتعرض للكسر. حيث يتم الأخذ بعين الاعتبار الخصائص التالية لمادة الأداة

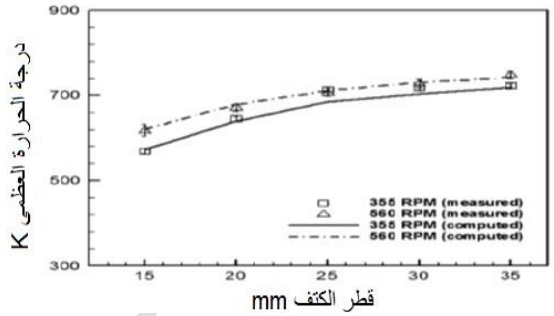
1. تتحمل درجات حرارة مرتفعة.
2. مستقرة عند درجات الحرارة العالية.
3. مقاومة التآكل.
4. تفاعلية الأداة (tool reactivity).
5. صلابة ضد الكسر.

عند درجات الحرارة العالية تكون المادة المستعملة للأدوات عادة هي الفولاذ وهي متوفرة وذات كلفة رخيصة ومقاومة للتعب والتآكل وتستخدم غالباً للألمنيوم والنحاس. يصنف النيكل والكوبالت من السبائك ذات القوة العالية و قساوة مستقرة ومقاومة للزحف حيث تستمد هذه السبائك قوتها من الرواسب لذلك درجة حرارة العمل يجب أن تبقى تحت درجة حرارة الترسب.

IX. تصميم كتف الأداة

يتم تصميم كتف الأداة لإنتاج الحرارة على السطح والمناطق تحت سطح القطعة المشغولة. وينتج كتف الأداة معظم التسخين التشوهي والاحتكاكي في الصفيحة الرقيقة، بينما ينتج المسمار معظم التسخين في القطعة المشغولة الثخينة. لذلك يكون أحد أهم المعايير أهمية للكتف هو القطر لأنه له تأثير مهم على كمية الحرارة الاحتكاكية ويظهر الشكل (1–7) العلاقة بين قطر الكتف ودرجة الحرارة العظمى عند سرعات دورانية مختلفة خلال لحام الألمنيوم.

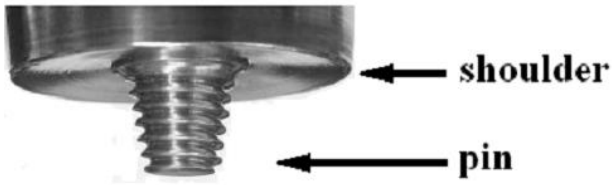
حيث تبين بأنه عند سرعات دورانية مختلفة خلال عملية اللحام أنه كلما زاد قطر كتف الأداة تزداد درجة الحرارة العظمى



الشكل(1–7) . العلاقة بين قطر الكتف ودرجة الحرارة العظمى

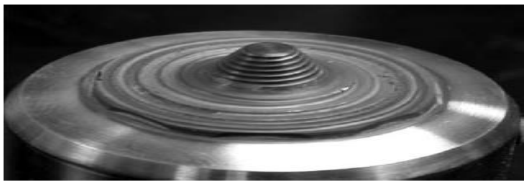
يوجد عدة أشكال للكتف ومنها :

الكتف المقعر: الشكل (1–8)، وقد كان أول تصميم للكتف.تنتج الأكتاف المقعرة للحام الدمج الاحتكاكي المميز وهي ذات تصميم بسيط. ويتم إنتاج تقعر الكتف بزاوية صغيرة بين حافة الكتف والمسمار، بين 6 و10 درجات



الشكل (1–8) . الكتف المقعر

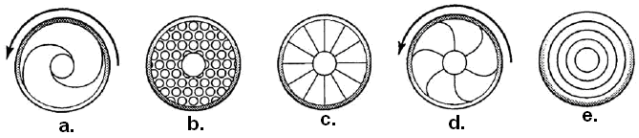
الكتف المحدب : الشكل (1–9)، لم ينجح تصميم الأداة ذات الكتف المحدب، لأن الشكل المحدب يدفع المادة بعيداً عن المسمار. تم استخدام أدوات الكتف المحدب من أجل السماكات الكبيرة مع تصميم متدرج للشكل المحدب. يحرك التدرج على الأكتاف المحدبة المادة من خارج الكتف باتجاه المسمار. ويسمح تصميم الكتف هذا بمرونة أكبر في منطقة التماس بين الكتف والقطعة المشغولة، و يزيد من سهولة وصل قطع بثخانات مختلفة، ويحسن من المقدرة على لحام انحناءات معقدة.



الشكل (1–9) . الكتف المحدب

ميزات الكتف : قد يحتوي كتف أداة لحام الدمج الاحتكاكي على ميزات إضافية وذلك لزيادة كمية التشويه المادي بواسطة الكتف ويؤدي ذلك إلى خلط متزايد لمادة قطعة العمل وإنتاجية عالية.

ويمكن لهذه السمات أن تحتوي على تدرجات، حواف أو تموجات، شقوق ودوائر متحدة المركز كما في الشكل (1–10) ويمكن تشغيلها على مقطع أي كتف أداة. تعتبر التدرجات هي سمة الكتف الملحوظة غالباً. وتوجه الأقنية المادة المتشوهة من حافة أداة الكتف.



الشكل (1–10) . ميزات مختلفة للكتف

X. تصميم مسار الأداة

تنتج مسامير الاحتكاك تسخين تشويهي واحتكاكي في سطوح الوصلات. يتم تصميم المسمار للحصول على سطوح محكمة الاتصال مع بعضها للقطعة المشغولة، تمزق المادة في مقدمة الأداة، وتحرك المادة خلف الأداة. وأيضاً يكون عمق التشوه وسرعة انتقال الأداة متعلقة بتصميم المسمار. وتكون تصاميم المسمار المستخدمة عموماً كالتالي :

مسمار اسطواني مستدير القعر: الشكل (1–11–a)، طرف مستدير إلى أداة المسمار يقلل من تآكل الأداة عند الاقتراب ويحسن من نوعية جذر اللحام مباشرة تحت أسفل المسمار . تم تحديد نصف قطر القبة الأمثل ب 75% من قطر المسمار .

وقد تم الإدعاء أنه مع تناقص نصف قطر القبة، يكون هناك احتمال أعلى للحصول على لحام رديء، وخصوصاً تحت المسمار مباشرةً. وسيزيد تشغيل نصف القطر عند قاع الأسنان من عمر الأداة وذلك من حلال إزالة تراكيز الإجهاد عند جذر الأسنان الحلزونية. .

مسمار اسطواني مسطح في الأسفل: الشكل (1–11–b)، ازدادت سرعة الاحتكاك للاسطوانة الدورانية من الصفر عند مركز الاسطوانة إلى القيمة القصوى عند حافة الاسطوانة. تتعلق السرعة

الموضعية المقترنة مع معامل الاحتكاك بين المسمار ومعدل التشوه خلال لحام الدمج الاحتكاكي. وتكون النقطة الدنيا للمسمار مسطح القعر مائلة بزاوية صغيرة عن المحور العادي وهي حافة المسمار، حيث تكون السرعة هي القصوى.

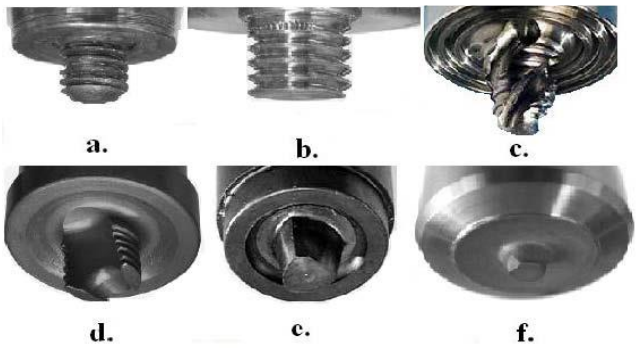
مسمار مخروطي مقطوع : الشكل (1–8)، تبين أن المسامير الاسطوانية كافية من أجل صفيحة ألمنيوم بثخانة حتى 12mm، ولكن أراد الباحثون لحام صفائح ثخينة ملحومة باللحام لاحتكاكي عند سرعات انتقال أعلى. وهنا يكون التعديل البسيط لمسمار اسطواني هو مخروط مقطوع. تكون للمسامير المخروطية لمقطوعة حمولات عرضية أقل (بالمقارنة مع المسمار الاسطواني)، وتكون حمولة العزم الأكبر على المخروط المقطوع عند قاعدة المخروط، هي الأقوى ووفقاً لهندسات المسمار الأساسية المذكورة استمر تطوير الأدوات وظهرت أشكال هندسية للمسامير.

مسمار MX triflute : الشكل (1–11–c)، تحتوي على ثلاثة أثلام flutes مقطوعة في الحرف الحلزوني. تقلل الأثلام الحجم المنزاح للمسمار الاسطواني تقريباً بحدود 70% وتزيد التشوه عند خط اللحام وأيضاً تزيد من سرعة انتقال الأداة. ويمكن أن تستخدم بشكل مفيد من أجل لحام خلائط الألمنيوم ثخينة المقطع.

A–skew TM : الشكل (1–11–d)، يكون تأثير الشكل الهندسي لهذا المسمار مماثل ل MX triflute. وهو يزيد من سرعة الانتقال، ويحسن الخصائص الشدية لوصلة اللحام ، ويقلل من عدم تناظر اللحام .

مسمار Trivex: الشكل (1–11–e)، هذا النوع يخفض من 18 إلى 25% من القوة العرضية وتقليل 12%من قوى التطريق (العادية) بالمقارنة مع MX triflute pin للأبعاد المقارنة.

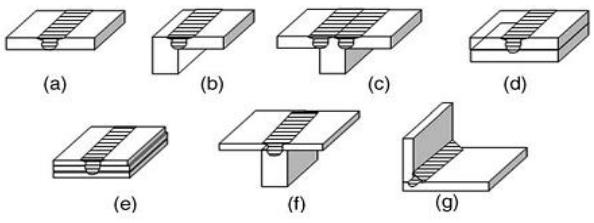
مسامير عديمة الأسنان الحلزونية: الشكل (1–11–f)، تكون هذه عادة مفيدة في تطبيقات لحام الدمج الاحتكاكي FSW حيث لا يوجد كسر للأسنان أو تآكل حاد. ولا تستطيع الأدوات التي تعمل ضمن بيئات قاسية أن تحافظ على سمات السن بدون تآكل. وتحتوي المسامير في هذه الحالات على تصاميم بسيطة مع سمات قوية.



الشكل (1–11) . أشكال هندسية مختلفة للمسمار

XI. تصميم الوصلات

تصاميم الوصلات التقليدية من أجل اللحام الاحتكاكي هي الوصلات المتناكبة والمتراكبة. يبين الشكل (1–12–a) أبسط شكل للوصلة حيث يتم وضع صفيحتين ذات الثخانة نفسها على صفيحة دعم وتثبيتها بقوة لمنع تباعد وجوه الصفيحتين، وخلال الدفع الأولي للأداة، تكون القوى كبيرة نسبياً حيث يتم دفع أداة دورانية إلى خط الوصلة، وعندما يكون كتف الأداة على تماس وثيق مع سطح الصفائح على طول هذا الخط، ينتج بذلك لحاماً على طول خط التناكب. ومن جهة أخرى، من أجل وصلة متراكبة بسيطة، يتم قمط صفيحتين أو لوحتين على صفيحة دعم. ويتم دفع أداة دورانية رأسياً عبر الصفيحة العليا إلى الصفيحة السفلى وعلى طول الاتجاه المرغوب، مما يضم الصفيحتين وهذا موضح في الشكل (1–12–d). يمكن إنتاج العديد من الإعدادات بضم المفاصل التناكبية والمتراكبة معاً. بعيداً عن إعدادات المفاصل التناكبية والمتراكبة ، تكون أنواع أخرى من تصاميم المفاصل، مثل المفاصل الزاوية المبينة بالشكل (1–12–f–g) التي يمكن إنتاجها حسب الحاجة لها في بعض التطبيقات الهندسية.



الشكل(1–12) . أشكال مختلفة لوصلات اللحام الاحتكاكي

من المهم أن نلاحظ أنه لا يوجد إعداد خاص مطلوب من أجل اللحام الاحتكاكي للوصلات المتناكبة والمتراكبة. يمكن وصل صفيحتين معدنيتين نظيفيتين بسهولة سوية في شكل وصلات متناكبة أو متراكبة بدون أي قلق رئيسي بخصوص الظروف السطحية للصفائح.

XII. زمن الاحتكاك

تبين أن زمن الاحتكاك له تأثير واضح على كمية الحرارة المتولدة نتيجة الاحتكاك التي تسبب تسخين القطعة المراد لحامها. كما يسيطر على معدل الانتشار المتبادل في منطقة تلامس السطوح، إذ أن مقاومة الشد تزداد مع زيادة زمن الاحتكاك إلى أن تصل إلى قيمة معينة ثم تبدأ بالنقصان مع زيادة زمن الاحتكاك.

XIII. ضغط الاحتكاك

يعد ضغط الاحتكاك من المتغيرات المهمة التي تؤثر على معدل توليد الحرارة إذ أن زيادة ضغط الاحتكاك يؤدي إلى زيادة مساحة التلامس السطحي نتيجة التشوه اللدن الحاصل بسبب الحرارة المتولدة أثناء عملية اللحام، إذ تزداد مقاومة الشد مع زيادة هذا العامل إلى أن تصل إلى قيمة محددة ثم تقل مع زيادته وقد بينت التجارب أن ضغط الاحتكاك المطبق عند لحام قطعتين من نفس المعدن تبلغ 0.8Mpa ومن معدنين مختلفين 1.4Mpa.

XIV. سرعة العملية

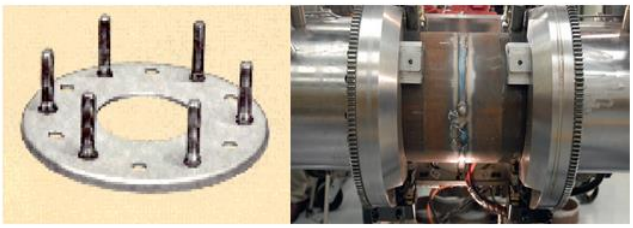
من الأعذار الرئيسية لعدم استخدام FSW كان الادعاء أن سرعة اللحام كانت بطيئة جداً للإنتاج، ومع أن الخصائص الميكانيكية للحام الاحتكاكي تتفوق على عمليات اللحام التقليدية من أجل الألمنيوم. وسرعة اللحام المثالية النموذجية المذكورة من أجل AA6082 بثخانة 5mm كانت بين (250–400)mm/min. وقد كان هذا نموذجي لآلات CNC، التي لم تصمم من أجل قوى أو سرعات انتقال مرتفعة. ومع آلات الإنتاج، كانت سرعات اللحام من أجل السبيكة المذكورة أعلاه (وبقيت لعدة سنوات) تقريباً أعلى ب 10 مرات مع سرعة الإنتاج التقليدية 2000mm/min عند وصل مقاطع ممتدة. في ورش اللحام متوسطة الحجم (بين 200 و 400 عامل)، يمثل الوقت المنقضي في عملية اللحام والوظائف المتعلقة تقريباً 15% و 20% من زمن التصنيع الكلي. ويقترح ثلاثة بدائل من أجل تحسين الإنتاجية :

1. زيادة سرعة اللحام للعمليات التقليدية
2. إدخال عملية لحام جديدة تقدم سرعة مشابهة للحام القوس التقليدي ولكن تؤدي إلى توفير كبير في المظاهر الأخرى من الإنتاج.
3. إدخال FSW، والذي يلحم أسرع ب 4–3 مرات من الطرق التقليدية ويؤدي إلى توفير في العملية الإنتاجية.

يعتبر الخيار الثالث البديل هو الأكثر جاذبية، بالطبع. لقد اختارت عدد من الشركات هذا البديل، من ناحية اقتصادية ولزيادة كمية الإنتاج.

XV. تطبيقات لحام الدمج الاحتكاكي

تجارية: يستخدم لحام الدمج الاحتكاكي في لحام العديد من القطع التجارية وذلك لأن هذا النوع من اللحام يتحقق بسرعة أكبر ويؤمن نظافة أكثر للوصلة اللحامية بالإضافة إلى أنه يؤمن متانة وقوة أكبر للوصلة اللحامية. وهذه بعض الاستخدامات: مضارب البيسبول، أسطوانات الهواء، وصلات أنابيب الماء، أجزاء الدراجات، المعدات الطبية، المعدات البحرية، المعدات الكهربائية، معدات التصوير والصوت، كما في الشكل التالي (1–13).



الشكل (1–13) . استخدامات اللحام الاحتكاكي

الفضاء (Aerospace)

يستخدم هذا النوع من اللحام في صناعة الفضاء حيث تلحم العديد من أجزاء الطائرة بهذه الطريقة بدلاً من استخدام المسامير مثل لحام شفرات التوربين مع المحور ولحام دعامات مسننات الهبوط، كما تلحم خزانات الوقود بهذه الطريقة أيضاً مما يوفر في الكلفة والوزن.

الهيدروليك (Hydraulic)

تعتبر الاسطوانات والصمامات الهيدروليكية من العناصر الهامة التي يستخدم في تصنيعها اللحام الاحتكاكي كما موضح في الشكل (1-14). يمكن تشغيل الأسطوانات بالكامل ويمكن لحام الأغطية لاحقاً مما يؤمن تقليلاً في الكلفة بشكل كبير.

الشكل (1-14) . استخدامات اللحام الاحتكاكي

الآليات

يستخدم لحام الدمج الاحتكاكي في مجال المحركات والهياكل للعربات وحافات العجلات كما هو موضح في الشكل (1-15) بالإضافة إلى استخدام هذا النوع من اللحام في الصناعات الأخرى مثل أجهزة التبريد والمطابخ الحديثة والعديد من التطبيقات الأخرى. وقد تم استخدام الألمنيوم في صناعة السيارات بشكل متزايد في الفترة الأخيرة مما يوفر في الجهد والوزن والوقت وقابلية إعادة التصنيع حيث دخل اللحام الاحتكاكي بشكل قوي في هذا القطاع ليحل محل لحام الانشطار (الانصهار) حيث إن سبائك الألمنيوم المستخدمة في الصناعة تتضمن العديد من المزايا منها أن التشوه الناتج عن عملية اللحام هذه قليل وإمكانية لحام المجموعات السبائكية الصعبة كما واستخدم هذا النوع من اللحام في الصناعات الأدق كما في صناعة الأسلحة في اليابان.

الشكل (1-15) . استخدامات اللحام الاحتكاكي

المراجع

[1]. BILICI. M. K "Effect of Tool Geometry on Friction Stir Spot Welding of Polypropylene Sheets" (2012).805-813

[2]. JI. S, XING. J, YUE. Y "Design of Friction Stir Welding Tool for Avoiding Root Flows" (2013).5870-5877

[3]. JI. S, JIN. Y, YUE. Y "The Effect of Tool Geometry on Material Flow Behavior of Friction Stir Welding of Titanium Alloy" (2013).107-113.

[4]. PARIDA. B, MOHAPATRA. M, BISWAS. P "Effect of Tool Geometry on Mechanical and Micro-Structural Properties of Friction Stir Welding of AL-Alloy" (2014)

[5]. KESHARWANI. R. K, PANDA. S. K, PAL. S. K "Multi Objective Optimization of Friction Stir Welding Parameters for Joining of Tow Dissimilar Thin Aluminum Sheets" (2014).178-187

[6]. DAS. U, DR. TOPPO. V "Effect of Process Parameters on Mechanical Properties of Friction Stir Welded Joint of Two Similar&Dissimilar AL-Alloys" (2015)20-27

[7]. UMANATH. K, PALANIKUMAR. K, SELVAMANI. ST "Sensitivity Analysis of Friction Welding Process Parameters on Tensile Properties of ASS304L Alloy" (2015).757-764.