

محاكاة التوزيع الحراري لوصلات اللحام النقطي (TIG Spot) لسبيكة المنيوم- مغنيسيوم باستعمال طريقة العناصر المحددة

ا.م. د. منى خضير عباس ا.د. عبد الحسين غانم المالكي م.م. احلام عبد الامير

قسم هندسة الانتاج والمعادن قسم التعليم التكنولوجي قسم التعليم التكنولوجي

الجامعة التكنولوجية / بغداد-العراق

(Received 29 May 2007; accepted 22 January 2008)

الخلاصة

يتناول هذا البحث تحليل ومحاكاة التوزيع الحراري لوصلات اللحام النقطي بطريقة القوس الكهربائي بقطب التنكستن المحمي بالغاز الخامل (TIG Spot) لسبيكة الألمنيوم- مغنيسيوم نوع (5052-O) من خلال استخدام طريقة العناصر المحددة (Finite Element Method) باستخدام برنامج (ANSYS-5.4) ومعرفة تأثير متغيرات اللحام من تيار اللحام، زمن اللحام وطول القوس في التوزيع الحراري وكمية الحرارة الداخلة في منطقة اللحام. تم بناء أنموذج العناصر المحددة ثلاثي (3-D) الأبعاد لمعرفة التوزيع الحراري في بركة اللحام الدائرية وملاحظة مقدار تغلغل (عمق اللحام) المعدن المنصهر داخل منطقة اللحام من خلال الصفيحة العليا عبر السطح الفاصل الى الصفيحة السفلى مكونة نقطة اللحام (Weld spot). ورسمت العلاقات التي تبين توزيع درجات الحرارة وقيمها في مناطق اللحام المختلفة (منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ)).

أوضحت النتائج إلى أن منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة تتعرض إلى انحدار وتباين كبيرين في درجات الحرارة بسبب الدورة الحرارية الشديدة نتيجة لعملية التسخين والتبريد، حيث وصلت أعلى قيمة لدرجة الحرارة للمعدن المنصهر في نقطة اللحام إلى (698°C) تقريباً عند زمن لحام (6sec) وتيار لحام (130A) وطول قوس (1.6mm) ثم انخفضت باتجاه المعدن الأساس البعيد عن منطقة اللحام.

1. المقدمة

اللحام النقطي بقطب التنكستن المحمي بالغاز الخامل (TIG Spot)

وهو اللحام الذي يتم بين جزئين معدنيين متر الكيبين (OverLapping) إذ يبدأ الاندماج وتغلغل المعدن المنصهر من السطح الخارجي للصفيحة العلوية عبر السطح الفاصل وصولاً إلى السطح الداخلي للصفيحة السفلية مكونة وصلة أو نقطة اللحام (weld spot) وبدون استخدام معدن حشو (Filler Metal)، ويمكن إن يكون من جهة واحدة أو من جهتين ويكون الشكل العام لمنطقة اللحام مقارباً إلى شكل الدائرة [1,2].

يتم في هذه الطريقة استعمال قطب من التنكستن مثبت داخل مشعل اللحام ويمثل أحد أقطاب الدائرة الكهربائية بينما تمثل الاجزاء المراد لحامها (الشرغفة) القطب الآخر، إذ أن القوس يتولد ما بين قطب التنكستن والقطعة المراد لحامها، ويكون قطب التنكستن غير قابل للاستهلاك ولكن يمكن استبداله حسب نوع المعدن المراد لحامه ونوع ومقدار التيار المستعمل [1].

والشكل (1) يمثل مبدأ عملية اللحام بطريقة (TIG Spot).

إن عملية اللحام تعتمد أساساً على المصدر الحراري المستعمل في رفع درجة حرارة المعدن إلى درجة حرارة اللحام، وهي بذلك تعمل على تسخين منطقة اللحام إلى درجة الانصهار في حالة اللحام الأنصهاري، مما يؤدي إلى حدوث اجهادات حرارية في الأجزاء الملحومة نتيجة للتسخين الموقعي لتلك الأجزاء بالتالي فإن المناطق القريبة من منطقة اللحام (أي من

المصدر الحراري وهو القوس الكهربائي) تسخن إلى درجات حرارة عالية لذلك تتمدد أكثر من المناطق البعيدة عن منطقة اللحام. وكذلك تتعرض الأجزاء العليا من الملحومة إلى درجات حرارة أكثر من الأجزاء السفلى مما يؤدي إلى تشوه الملحومة مسببة تشكلاً لدن ولا تختفي الاجهادات الحرارية عند تبريد القطع الملحومة إلى الدرجة الحرارية الابتدائية للصفائح مما يسبب اجهادات حرارية متبقية [3].

وقد أجريت دراسات وبحوث عديدة حول محاكاة عملية اللحام ومنها الدراسة التي قام بها الباحث Justin D [4] من جامعة فرجينيا والذي تناول في بحثه محاكاة عملية اللحام لوصلات لحام تناكبية وزاوية من سبيكة الألمنيوم (2519-T87) باستعمال معدن حشو نوع 2319. وأستخدم الباحث طريقة العناصر المحددة باستعمال موديل ثلاثي الأبعاد في التحليل الحراري والميكانيكي لوصلة اللحام بالاعتماد على خواص المادة (خواص المرونة واللدونة). وقد حصل على عدة علاقات بين درجة الحرارة والخواص الميكانيكية والفيزيائية.

وقام الباحث Daniel Berglund [5] بمحاكاة عملية اللحام بطريقة القوس الكهربائي بقطب التنكستن (GTAW) والاجهادات المتبقية في الأجزاء الكبيرة والمعقدة الشكل من سبائك الألمنيوم ذات المقاومة العالية والتي تدخل في صناعة الطائرات والصواريخ. وأستخدم الباحث طريقة العناصر المحددة في محاكاة التصنيع وتطوير كفاءة مثل هذه الأجزاء المهمة.

$$[K].T=Q \quad \dots(2)$$

هدف البحث

تجميع مصفوفة الجساءة للعنصر وللحمل
Assembly the Stiffness Element Matrix and Load Vector

في هذه الخطوة يتم تجميع مصفوفة الجساءة ومتجه الحمل لكل عنصر للحصول على مصفوفة الجساءة الكلية ومتجه الحمل الكلي للأنموذج [7].

إيجاد معادلة التوازن
Equilibrium Equation

يتم إيجاد معادلة التوازن بالنسبة للازاحات وذلك بتطبيق نظرية الطاقة الكامنة الدنيا (Energy Minimum Total Potential) والتي تنص على أن طاقة الانفعال ناقص الشغل المسلط يجب أن يكون أقل ما يمكن [8]

$$X=U-W \quad \dots(3)$$

$$\frac{\partial X}{\partial \delta} = 0 \quad \dots(4)$$

حيث أن:

U : طاقة الانفعال Strain energy

W : الشغل Work done

X : الطاقة الكامنة Potential energy

$$[K^{(e)}] = \iiint [B'] \cdot [D] \cdot [B] dv \quad \dots(5)$$

$$[K] \cdot \delta = F \quad \dots(6)$$

أما في حالة درجات الحرارة فقد تم استحصال معادلة التوازن من العلاقة العامة للتوصيل الحراري

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad \dots(7)$$

$$+ Q = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

حيث تم إدخال تأثير ρC_p لإظهار تغير الطور (Phase change)

لمعالجة المعادلة (7) بطريقة العناصر المحددة ينتج المعادلة التالية:

$$[K_e]T + [C] \frac{\partial T}{\partial t} = F_{th} \quad \dots(8)$$

حيث أن:

 F_{th} : مصفوفة أحادية الحمل الحراري

[C] : مصفوفة الكتلة تمثل تأثير الحالة الانتقالية (تأثيرات الزمن)

[K_e] : مصفوفة التوصيل الحراري

T = درجة الحرارة (°C)

t = الزمن (sec)

ρ = كثافة المادة (kg/m³)

Cp = الحرارة النوعية للمادة (J/Kg.K)

Q = الحرارة المتولدة لوحدة الحجم (J/m³)

K = الموصلية الحرارية (W/m. C°)

q = كمية الحرارة المنتقلة لوحدة المساحة (W/m²)

H = المحتوى الحراري (الانتالي) (KJ/Kg)

h = معامل انتقال الحرارة بالحمل (W/m². C°)

α = معامل التوصيل الحراري (W/m. k)

π = متجه وحدة عمود على السطح

Ti = الدرجة الحرارية الابتدائية (C°)

- 1 - تحليل ومحاكاة عملية اللحام النقطي بطريقة القوس الكهربائي بقطب التنكستن المحمي بالغاز الخامل (TIG Spot) لسبيكة المنيوم-مغنيسيوم (Al-Mg) من خلال استخدام طريقة العناصر المحددة باستخدام برنامج (Ansys 5.4) وبناء أنموذج ثلاثي الأبعاد لمعرفة التوزيع الحراري في نقطة اللحام وتحديد درجات الحرارة لمنطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة.
- 2 - دراسة تأثير متغيرات اللحام النقطي الانصهاري من (زمن وتيار اللحام وطول قوس اللحام) في قطر نقطة اللحام وعمق أو تغلغل المعدن المنصهر في منطقة اللحام عبر الجزءين المتركيين.
- 3 - مقارنة النتائج النظرية المستحصلة من البرنامج مع النتائج العملية من ناحية قياس قطر نقطة اللحام وعمق التغلغل لمنطقة اللحام عبر المقطع العرضي لوصلة اللحام النقطي.

2. الجانب النظري

الفرضيات Assumptions

- لغرض التوصل الى المعادلات التفاضلية الخاصة بانتقال الحرارة ومعرفة توزيع درجات الحرارة في وصلة اللحام النقطي (TIG Spot) للجزئين المتركيين من سبيكة الالمنيوم-مغنيسيوم (5052-O) تم استخدام الفرضيات التالية:
- 1 - الخواص الفيزيائية للمعدن (للسبيكة) ثابتة لا تتغير مع درجة الحرارة.
 - 2 - الدراسة تأخذ ثلاث ابعاد (x, y, z) وان انتقال الحرارة يكون متساوي في الاتجاهات الثلاثة.
 - 3 - كان الاهتمام ينصب على زمن اللحام مع درجة الحرارة وليس التوزيع الحراري للوصلة مع الزمن.
 - 4 - يمر مستوي التناظر بالمستوي (yz) أي ان الجزء الايمن من الجسم (وصلة اللحام) يناظر الجزء الايسر.
 - 5 - يتم أهمل انتقال الحرارة بالحمل والاشعاع.

الخطوات الرئيسية لطريقة العناصر المحددة

إن تنفيذ طريقة العناصر المحددة يمر بخطوات رئيسية تتم كما يأتي:

تكوين أنموذج العناصر المحددة

تمثل الخطوة الأولى من مراحل التحليل بالعناصر المحددة، حيث يتم بناء أنموذج العناصر المحددة باستبدال المنظومة الحقيقية بأنموذج يتألف من مجموعة من العناصر مرتبطة فيما بينها بالعقد وإن عدد العناصر في الأنموذج ونوعها يعتمد على الخواص الفيزيائية وشكل العنصر والظروف الحدية للمسألة المراد دراستها [6].

اختيار دوال التقريب Shape Function

تتم في هذه الخطوة تحديد علاقات لتقريب الحل لكل عنصر من خلال اختيار دالة مناسبة للعنصر. وهذه الدالة تصف العلاقة بين متغيرات المنظومة الحقيقية مع إحداثيات العقد التي تربط العناصر. ونوع هذه الدالة هي دوال متعددة الحدود (pynomical function) إضافة إلى إمكانية زيادة درجة دقة الحل من خلال زيادة درجة حدود الدالة [6].

اشتقاق مصفوفة الجساءة ومتجه الحمل
Derivation of Stiffness Matrix and Load Vector

تتم عملية اشتقاق مصفوفة الجساءة (K) ومتجه الحمل (F) باستخدام شروط التوازن لكل عنصر خلال أنموذج الإزاحات ودرجات الحرارة [7].

$$[K].\delta=F \quad \dots(1)$$

Arc Length = (1.6, 3.2, 4.8) mm

ونظراً لصعوبة قياس درجات الحرارة مختبرياً لنقطة اللحام أثناء عملية اللحام فقد تم اعتماد طريقة التحليل بطريقة العناصر المحددة وتوظيف برنامج (Ansys) للحصول على التوزيع لدرجات الحرارة في نقطة اللحام وبين المنطقة المتأثرة بالحرارة ٥ - تم اختبار تقارب النتائج (Convergence test) ضمن أمر (Cnvtpl) حيث تم اخذ الحرارة كمرجع للمقارنة من النتائج المحسوبة عن كل تكرار.

الشروط الحدية Boundary Conditions

لغرض تحليل قطعتي اللحام حرارياً فلا بد من وضع الظروف المحيطة والتي تجعل نموذج العناصر المحددة الثلاثي الأبعاد لقطعتي اللحام وكأنها أثناء عملية اللحام فعلاً، وهذه الظروف تسمى الشروط الحدية، وهناك نوعان من الشروط الحدية، الأولى الخاصة بتثبيت قطعتي اللحام لكي لا تكونان حرتان تحت تأثير القوى المسلطة وهي تساهم في حساب الاجهادات والتشوهات، والثانية هي الخاصة بالمحيط الحراري بحيث تكون مشابهة بقدر المكان للظروف الحقيقية التي تكون بها القطعتين أثناء عملية اللحام.

الشروط الحدية الخاصة بالتثبيت

لكي نتمكن من إيجاد الحل لمعادلات طريقة العناصر المحددة لا بد من وضع شروط حدية خاصة بتثبيت القطعتين وتكون هذه الشروط مهمة جداً لأنها تمثل حالة القطعتين أثناء عملية اللحام ومن هذه الشروط ما يكون مسؤولاً عن تثبيت النموذج ويتم هذا بتقييد الحركة وتمت إجراءات التثبيت بواسطة استخدام أمر التثبيت (D) حيث تم اعتبار قيمة (DOF) لكل عقدة (Node) عند منطقة التثبيت يساوي صفر.

الشروط الحدية الخاصة بالتحميل الحراري

وتمثل هذه الشروط كل ما يحيط بالقطعتين من ظروف حرارية بحيث تكون مشابهة قدر الامكان للظروف الحقيقية التي يعمل فيها النموذج ولغرض تحليلها حرارياً فان الشروط الحدية هي عبارة عن معاملات انتقال حرارة وقد وجدت قيمها فكانت اعتبار القطعتين تحت درجة حرارة مقدارها 50°C وهي الدرجة التي تحيط بنقطة اللحام ودرجة حرارة نقطة اللحام التي تعتمد قيمتها على متغيرات اللحام من زمن وتيار اللحام وطول قوس والشكل (3) يبين الشروط الحدية الخاصة بالقطعتين المترابطتين.

تطبيق الاحمال واستخلاص النتائج

في هذه المرحلة يتم تعريف شكل التحليل (مستقر، أنتقالي،... الخ) وفي مسألة اللحام يكون التحليل أنتقالي (Transient). وقد تم تطبيق الحمل الحراري الناتج عن التيار والبدء بحل العناصر المحددة. ويختلف التحليل الغير الخطي عن التحليل الخطي حيث انه عادة ما يحتاج الى زيادة اكبر في الوقت. اذ اننا نحتاج الى تكرار التوازن.

عرض النتائج

في هذه الخطوة يتم عرض نتائج التحليل أي عرض توزيع درجات الحرارة عبر منطقة اللحام.

الجزء العملي Experimental Work

تم استعمال ماكينة لحام نوع (Messer Griesheim Multi <WIG>G3500-1) لاجراء عملية لحام القوس الكهربائي النقطي بقطب التنكستن المحمي بالغاز الخامل (TIG Spot

Kz, Ky, Kx = الموصلية الحرارية في الاتجاهات z, y, x على التعاقب

3. كيفية بناء النموذج التحليلي باستخدام برنامج (Ansys 5.4)

السيبكة المستعملة

تم في هذا البحث إجراء محاكاة عملية لحام القوس الكهربائي النقطي بقطب التنكستن المحمي بالغاز الخامل (TIG Spot) لسيبكة الألمنيوم-مغنيسيوم (5052-O) غير القابلة للتعامل الحراري حسب تصنيف الجمعية الأمريكية للألمنيوم. ويعزى اختبار سبكة الألمنيوم-مغنيسيوم لاستخداماتها الواسعة في المجالات الصناعية إضافة إلى كونها أكثر أنواع سبائك الألمنيوم استعمالاً كأجزاء ملحومة [8].

والجدول (1) يوضح التركيب الكيميائي للسيبكة المستعملة والجدولان (2) و (3) يوضح الخواص الميكانيكية عند درجة حرارة الغرفة والخواص الحرارية لسيبكة (AL-Mg) (O) - (5052) على التعاقب [9]، والشكل (2) يوضح أبعاد القطع المراد لحامهما

نمذجة عملية اللحام باستخدام برنامج (Ansys 5.4)

وتشمل الخطوات التالية:-

- 1 - الرسم بواسطة العبارة 7 prep.
- أ- رسم القطعتين المراد لحامهما في حالة كاملة الأبعاد (3- Dimensions).
- ب- لما كانت الأجزاء المراد لحامهما متناظرة المقاطع، فقد تم أخذ نصف النموذج لتوضيح توزيع درجات الحرارة. والشكل (3) يوضح الشروط الحدية الخاصة لتثبيت القطعتين المترابطتين (Overlap Pieces).
- ج - رسم القطعتين في حالة نصف مقطع وكما موضح في شكل (4). وتم الرسم حسب الأبعاد الآتية:

Length(L)=100mm, Width(b)=12.5mm,

Thickness(t)=1mm,

- 2 - المرحلة الثانية إدخال الخواص الميكانيكية لسيبكة الألمنيوم-مغنيسيوم (5052-O) والموضحة في الجدولين (2) و (3) على التعاقب [9].

- 3 - رسم شبكة العقد (عمل الشبكة) لنصف المقطع في حالة (3-D) ويتم ذلك حسب نوع العنصر (Element) الذي تم اختياره. تم تحديد حجم صغير للعناصر عند منطقة اللحام نظراً لأهمية هذه المنطقة مقارنة بما يجاورها عند دراسة التوزيع الحراري والاجهادات عند نقطة اللحام وللحصول على دقة عالية للنتائج كما موضح في الشكل (5a). ان العنصر الذي تم تطبيقه في التحليل الثلاثي الأبعاد هو (Solid 98) حيث يمتلك العديد من درجات الحرية وتم تحديد اربع درجات الحرية هي (Temp,ux,uy,uz) والشكل يوضح (5b) الشكل الهندسي للعنصر. علماً ان درجات الحرية الكلية لعملية اللحام النقطي حسب النموذج الذي تم تحليله في هذا البحث 7772 عقدة 4×7772 درجات في الحرية فنحصل على درجات الحرية الكلية للنموذج $7772 \times 4 = 30088$ درجات الحرية الكلية للنموذج $7772 \times 4 = 30088$
- 4 - إدخال المتغيرات الرئيسية لعملية اللحام والتي تم دراستها في هذا البحث وهي (تيار اللحام، زمن اللحام وطول القوس) وضمن الحدود التالية:

Welding Time = (4, 5, 6, 7, 8.) sec

Welding Current = (50, 60,70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140) Amp.

(2008)

إن زمن وتيار اللحام لهما نفس التأثير في كمية الحرارة المتولدة والمطلوبة لتكوين وصلة اللحام ولكن زمن اللحام أقل تأثراً من التيار وبالتالي زيادة في مساحة المنطقة المتعرضة للحرارة مما يؤثر في زيادة قيم قطر منطقة اللحام [13]. في لحام الألمنيوم يفضل استخدام الأزمان القصيرة لغرض تقليل فقدان الحرارة إلى المحيط الخارجي وهذا يعزى إلى التوصيلية العالية للألمنيوم. وهذا ما يؤكد البحث الحالي. والجدول (5) يوضح قيمة درجات حرارة منطقة اللحام عند ثبوت تيار (70Amp) وازمنة مختلفة تتراوح بين (4-7) وعند طول قوس (4.8mm) من الملاحظ أن زيادة زمن اللحام يؤدي إلى زيادة تعرض منطقة اللحام للتيار.

ومن ملاحظة الأشكال (11، 12، 13، 14، 15، 16) التي تبين توزيع درجات الحرارة لقطر وعمق اللحام خلال الصفيحتين ويلاحظ أن هنالك تباين كبير في توزيع درجات مناطق اللحام ان زيادة زمن اللحام يؤدي إلى زيادة مساحة منطقة اللحام فضلاً عن زيادة عمق المعدن المنصهر لنقطة اللحام وصولاً إلى نهاية الصفيحة الثانية. أما عند الأزمان القليلة فإن الحرارة المتولدة تكون غير كافية لصهر المعدن للجزءين المتراكبين ومن ثم تعطي تغلغلاً قليل فتكون خواص الوصلة منخفضة فينتج عن ذلك وصلة فاشلة وغير مطابقة للمواصفات. أما الشكلان (17) و(18) فيوضحان العلاقة بين زمن اللحام وقطر نقطة اللحام وعمق اللحام على التوالي عند تيار ثابت مقداره (70Amp) حيث يزداد قطر نقطة اللحام وعمق اللحام مع زيادة زمن اللحام مما يؤدي إلى زيادة المنطقة المتأثرة بالحرارة.

إن زيادة تيار وزمن اللحام تؤثران بشكل كبير في زيادة درجة حرارة نقطة اللحام وان أعلى درجة حرارة في معدن اللحام هي 698°C عند تيار لحام (130Amp) وزمن لحام (6sec) وطول قوس 1.6 mm . لأن مرور التيار لفترة زمنية طويلة يؤدي إلى زيادة كمية الحرارة المتولدة إلى قيم كبيرة مما قد يؤدي إلى فشل وصلة اللحام، وهذه النتائج تتوافق مع ما توصل إليها الباحثين [14,15]. ويوضح الشكل (19) تقارب النتائج العملية مع النتائج النظرية حيث يزداد قطر نقطة اللحام مع زيادة تيار اللحام عند زمن 6 sec وطول قوس 1.6 mm. ولوحظ من خلال الفحص العياني والفحص المايكروسوبي للمقطع العرضي لوصلة اللحام للمحمومة عند الظروف المثلى لمتغيرات اللحام أن نظام وصلة اللحام والتغلغل الجيد لمنطقة اللحام عبر السطح الفاصل مابين الصفيحتين وكذلك خلو منطقة اللحام من العيوب كما موضح في الشكل (20) الذي يمثل صورة فوتوغرافية لوصلة اللحام. ويلاحظ من الشكل (20 a,b) تقارب النتائج النظرية المستحصلة من برنامج (Ansys 5.4) مع النتائج العملية (من تجارب الفحص المجهرية) من حيث شكل وقطر نقطة اللحام وعمق التغلغل لمنطقة اللحام.

أما الشكل (20c) فيوضح مناطق اللحام هي المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) ومنطقة اللحام والتي تكون ذات حبيبات طولية الشكل ومتجهة نحو مركز نقطة اللحام بينما تكون الحبيبات ناعمة ومتساوية المحاور في وسط منطقة اللحام وسطح اللحام حيث يكون عندها معدل التبريد عالياً أي ان معدل نمو الحبيبات يكون قليلاً ويعزى هذا إلى الموصلية الحرارية العالية لسبيكة الألمنيوم وفقدان الحرارة بسرعة إلى الهواء.

لصفيحتين مترابكتين من سبيكة (Al-Mg) وبسمك (1mm) لكل منهما . وكان معدل جريان الغاز (15Liter/min) ونوع الغاز المستخدم هو الاركون بفاوة (99.999%) واستعمل قطب التنكستن بقطر واحد (3.2mm) ومن نوع (EWTh2) ونوع التيار المستخدم هو تيار مباشر (DCSP) بقطبية مباشرة . وأجريت عملية اللحام النقطة الانصهاري عند أزمان لحام وتيارات لحام مختلفة ولاطوال اقواس هي (1.6 ، 3.4 ، 4.8) وكما موضحة في الفقرة السابقة. وتم قياس قطر نقطة اللحام (وصلة اللحام) وعمقها عبر المقطع العرضي لها باستخدام مجهر ضوئي يحتوي على عدسة مدرجة وعند ظروف اللحام المختلفة وتم تحديد الظروف المثلى لمتغيرات اللحام. وقد تم مقارنة هذه النتائج مع النتائج العملية للباحثين في المصدر [14] وكذلك النتائج النظرية المستحصلة من البرنامج الحاسوبي.

4. مناقشة النتائج

تأثير تيار اللحام

يعد التيار عاملاً مهماً في التحكم في خواص منطقة اللحام نتيجة الحرارة المتولدة من مرور التيار الكهربائي و المطلوبة لصهر المعدن وتكوين وصلة اللحام وتحسب كمية الحرارة كالتالي: $Q=IVt$ حيث أن I هو التيار الكهربائي (A) و V هي الفولتية (V) و t هو زمن اللحام (sec). والجدول (4) يوضح قيمة أعلى درجة حرارة لمنطقة اللحام عند تيارات مختلفة ويلاحظ في الأشكال (1، 2، 3) عند تيارات مختلفة تتراوح من (110-140)Amp وعند زمن 5sec وطول قوس 1.6mm تبين التوزيع الحراري خلال قطر وعمق نقطة اللحام وقد بلغت درجة الحرارة عند المنطقة المتأثرة بالحرارة (عند تيار 110 Amp) ما بين $538.209 - 119.756^{\circ}\text{C}$ اما عند تيار (140 Amp) تراوحت بين $619.662 - 121.208^{\circ}\text{C}$. يلاحظ عند التيارات العالية جداً أن عمق المعدن المنصهر يخترق سمك القطعتين إلى نهاية الصفيحة السفلية ومن ثم توقع فشل اللحام بسبب خروج وتناثر (Splashing) المعدن المنصهر خارج نقطة اللحام عند السطح الفاصل مما يؤدي إلى نقصان سمك او عمق منطقة اللحام (Weld depth) وأكدت نتائج البحث الحالي مطابقتها للنتائج التي توصل إليها الباحثين في المصادر [10, 11, 12]. أما توزيع درجات الحرارة خلال قطر نقطة اللحام فإنه يزداد مع زيادة تيار اللحام ومن ملاحظة الأشكال أعلاه يلاحظ أن زيادة التيار إلى مقدار (140Amp) تؤدي إلى عدم انتظام التوزيع الحراري لنقطة اللحام وهذا يعني تكوين وصلة لحام غير منتظمة مما يؤدي إلى فشل اللحام . والأشكال (6، 7، 8) توضح توزيع درجات الحرارة لنقطة اللحام عند زمن 5sec وطول القوس 1.6mm وعند تيارات مختلفة.

يوضح الشكلان (9، 10) العلاقات البيانية للتوزيع الحراري خلال قطر نقطة اللحام وعمق اللحام على التوالي حيث يوضحان ان هنالك علاقة طردية بين قطر النقطة والتيار وكذلك بين سمك اللحام والتيار يمكن أن نحدد منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة خلال قطر وعمق اللحام وان زيادة التيار تؤثر في زيادة سمك اللحام حيث انه عند تيار (140Amp) إن المعدن المنصهر يخترق سمك الصفيحتين أي من الصفيحة العلوية (الأولى) إلى أسفل الصفيحة السفلية (الثانية). وهذا يعني أن عمق المعدن المنصهر يصل إلى نسبة 100 % من سمك القطعة الثانية وهذا يعطي نقطة لحام فاشلة لأنها ليست ضمن السمك المسموح به الذي هو النسبة (20-80)% من سمك القطعة السفلية التي تغطي نقطة لحام جيدة ضمن السمك المسموح به [1,2,3] وجاءت هذه النتائج مطابقة لنتائج التجارب العملية التي أجريت في هذا البحث.

تأثير زمن اللحام

الشديدة نتيجة لعمليتي التسخين والتبريد، وكذلك بسبب الموصلية الحرارية العالية للألمنيوم وسبائكها حيث وصلت أعلى قيمة لدرجة الحرارة للمعدن المنصهر في نقطة اللحام إلى 698°C تقريباً عند زمن 6sec وتيار لحام المعدن الأساس البعيد عن منطقة اللحام.

٥. إن أفضل توزيع حراري لعملية اللحام النقطي بطريقة TIG كان عند تيار (90Amp) وزمن لحام (7sec) حيث أعطى توزيعاً حرارياً متجانساً وانتظاماً لنقطة اللحام وتغلغلاً جيداً مناسباً في الصفيحة السفلية وبالتالي لحام مناسب.
٦. تقارب النتائج النظرية مع النتائج العملية في قياس وتحديد قطر وعمق نقطة اللحام وعند الظروف المثلى لمتغيرات عملية من تيار وزمن اللحام وكذلك طول القوس.

الاستنتاجات Conclusions

١. ان استخدام الحاسبة في تحليل ومحاكاة اتوزيع الحراري وذلك ببناء أنموذج ثلاثي الأبعاد بطريقة العناصر المحددة ساعد كثيراً بالوصول الى توزيع درجات الحرارة خلال نقطة اللحام والتي يصعب قياسها عملياً وقد وفرت كثيراً في الوقت والجهد والكلفة.
٢. التوزيع الحراري لقطر نقطة اللحام وكذلك عمق اللحام يزداد مع زيادة تيار وزمن اللحام وعند طول قوس ثابت خلال السطح الفاصل بين القطعتين المترابكتين.
٣. إن التوزيع الحراري للأنموذج (3-D) يزداد مع زيادة طول القوس عند ثبات متغيرات اللحام الأخرى وبالتالي يؤثر في تشتت الحرارة على مساحات واسعة مما يقلل من كفاءة وعدم انتظام نقطة اللحام ومن ثم يعطي تغلغل قليل للمعدن المنصهر لوصلة اللحام التراكبية.
٤. منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة تتعرض إلى انحدار وتباين كبيرين في درجات الحرارة بسبب الدورة الحرارية

جدول (1) التركيب الكيميائي (wt%) لسبيكة (5052-O) AL-Mg.

| Element | Si | Mg | Fe | Mn | Cu | Cr | Zn | Al |
|---------|-------|------|--------|--------|------|--------|---------|------|
| wt% | 0.215 | 2.26 | 5 0.21 | 0.0042 | 0.04 | 0.3025 | 0.00250 | 96.9 |

جدول (2) الخواص الميكانيكية لسبيكة (5052-O)AL-Mg [9]

| معامل المرونة E, Gpa | معامل الجساءة G, Gpa | إجهاد الشد σ_t , MPa | إجهاد القص T, MPa | إجهاد الخضوع σ_y , MPa | الهبطية $\delta\%$ | صلادة بريئل HB | صلادة فيكرز HV |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| 70 | 26.3 | 195 | 125 | 90 | 25 | 50 | 50 |

جدول (3) الخواص الحرارية لسبيكة ألومنيوم-مغنيسيوم (5052-O) [9]

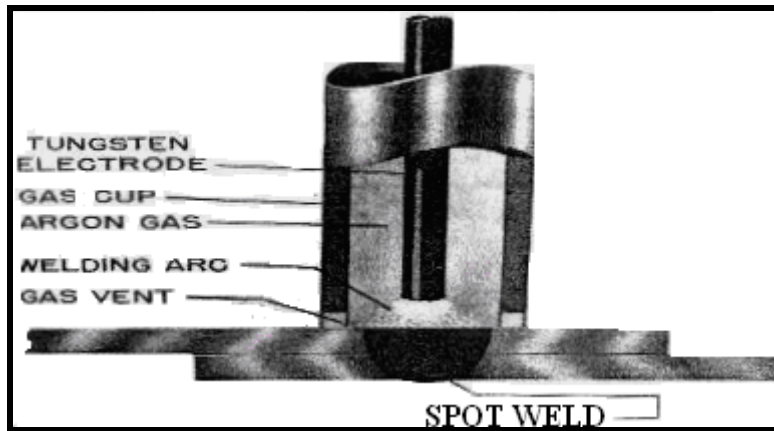
| معامل التوصيل الحراري λ , W/m.k | معامل التمدد الحراري α , $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{C}^{\circ}$ | السعة الحرارية C_p , J/kg.k | درجة التجمد T_{sol} , $^{\circ}\text{C}$ | درجة السيولة T_{Liq} , $^{\circ}\text{C}$ | الكثافة ρ kg/m ³ | نسبة بويسن γ |
|--|--|----------------------------------|---|--|--|------------------------|
| 138 | 23.7 | 901 | 605 | 650 | 2860 | 0.33 |

جدول (4) توزيع درجات الحرارة في نقطة اللحام عند تيارات مختلفة وطول القوس 1.6mm وزمن 5sec

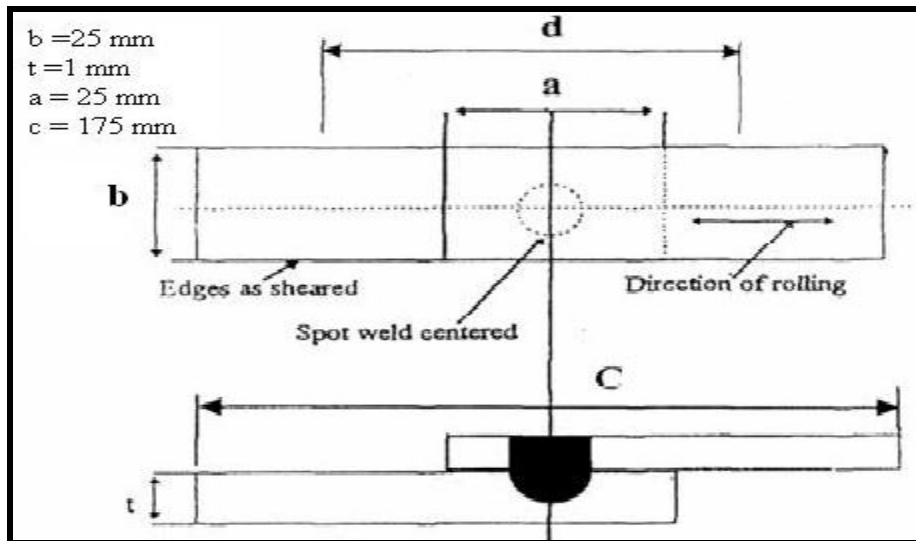
| تيار اللحام (Amp) | 110 | 120 | 130 | 140 |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|--------|
| درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$) | 577.826 | 682.174 | 686.522 | 690.87 |

جدول (5) توزيع درجات الحرارة في نقطة اللحام عند أزمان مختلفة وطول القوس Amp.70 وتيار 4.8mm

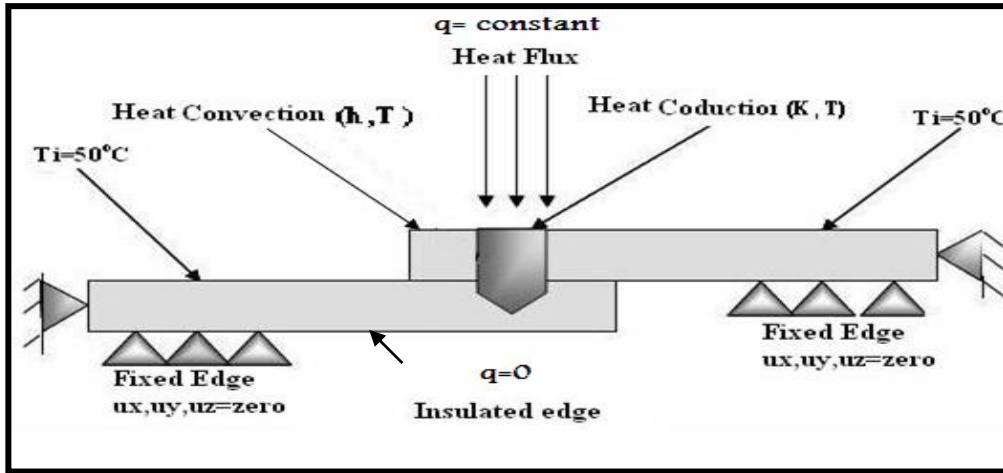
| 4 | 5 | 6 | 7 | زمن اللحام (sec) |
|---------|---------|---------|---------|-------------------|
| 654.348 | 660.435 | 666.522 | 672.609 | درجة الحرارة (°C) |



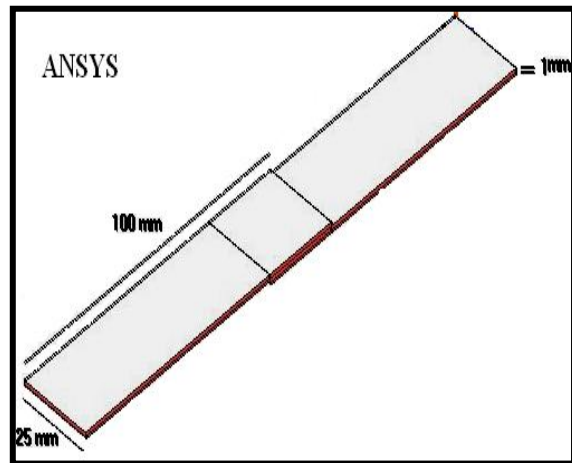
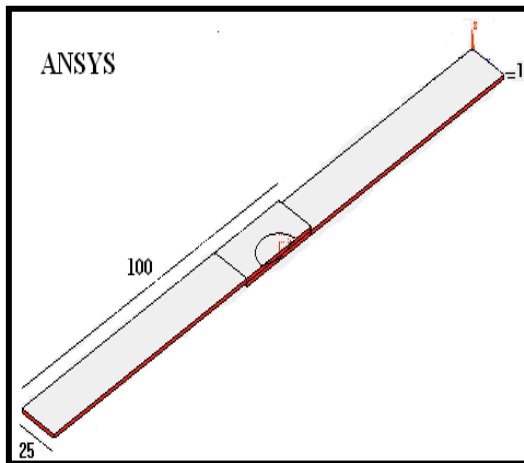
شكل (1) مبدأ عملية اللحام النقطي (TIG Spot).



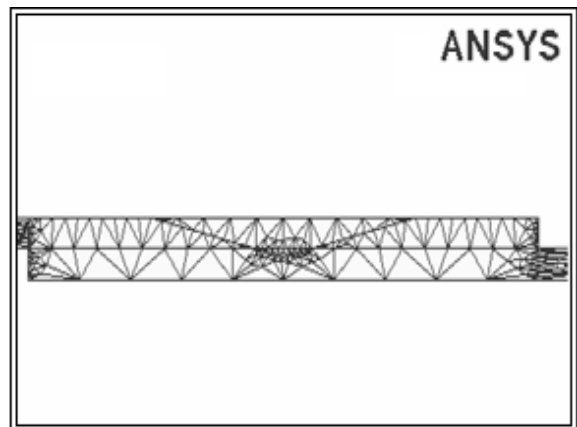
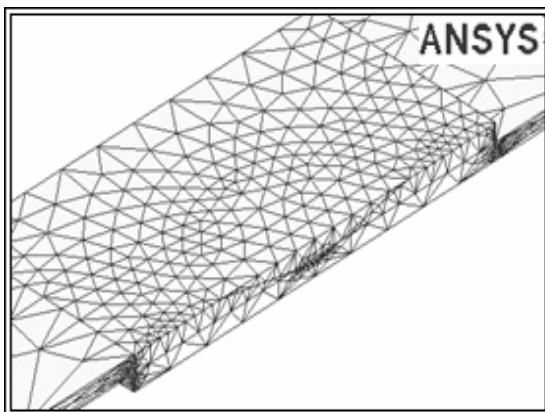
شكل (2) العلاقة ما بين ابعاد القطعتين المراد لحامهما.



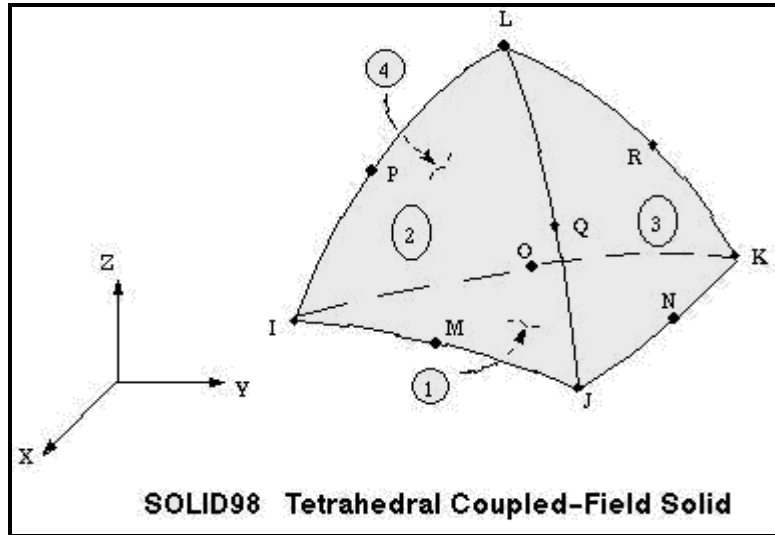
شكل (3) يوضح الشروط الحدية لتثبيت القطعتين.



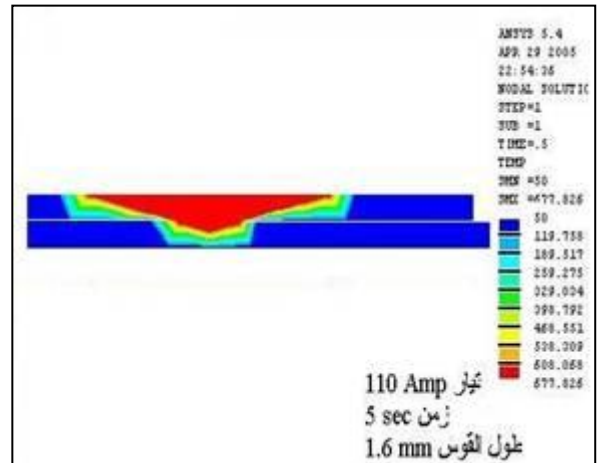
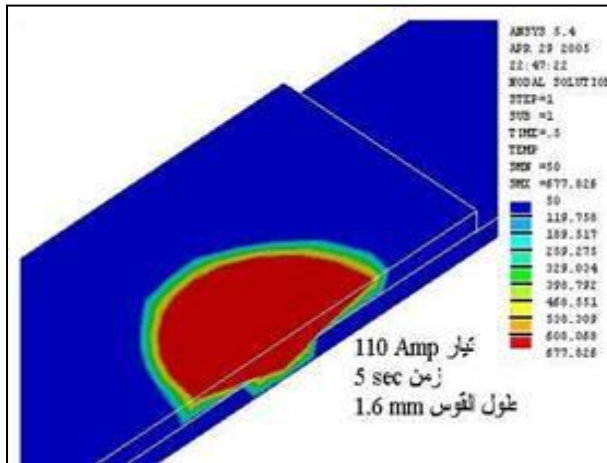
شكل (4) يبين ابعاد القطعتين المراد لحامهما.



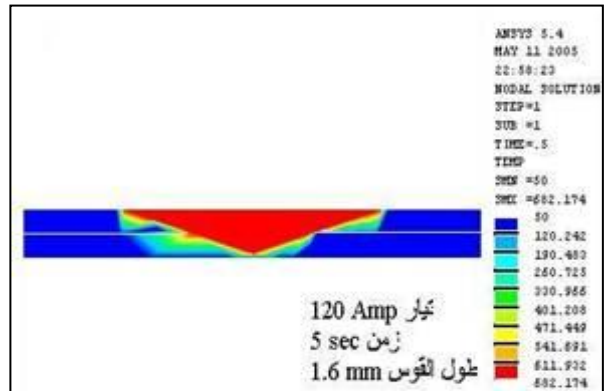
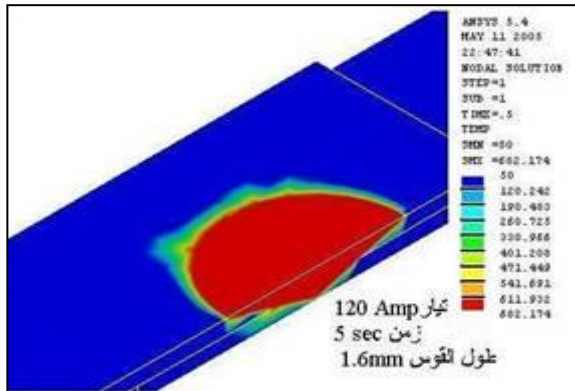
شكل (5 a) يوضح الشبكة في حالة (3-D) وحالة (2-D).



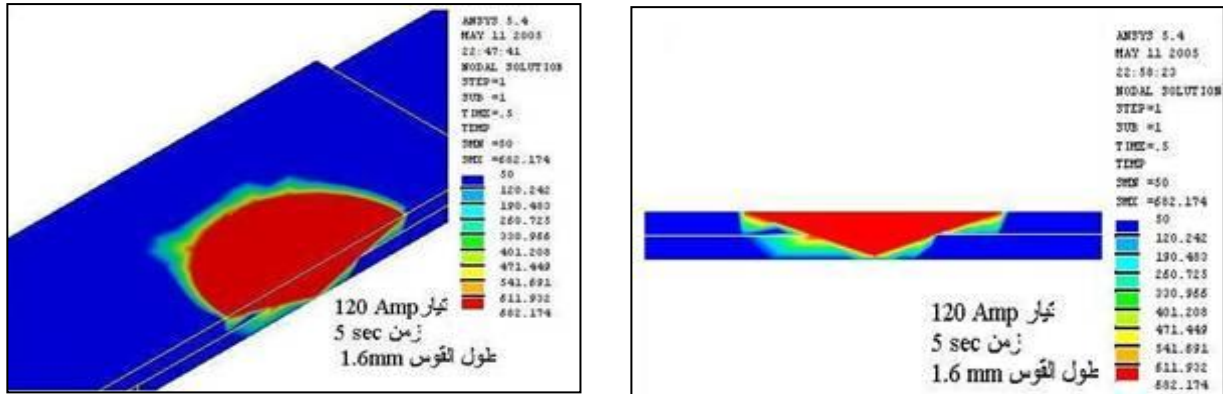
شكل (5 b) شكل العنصر الذي استخدم في التحليل



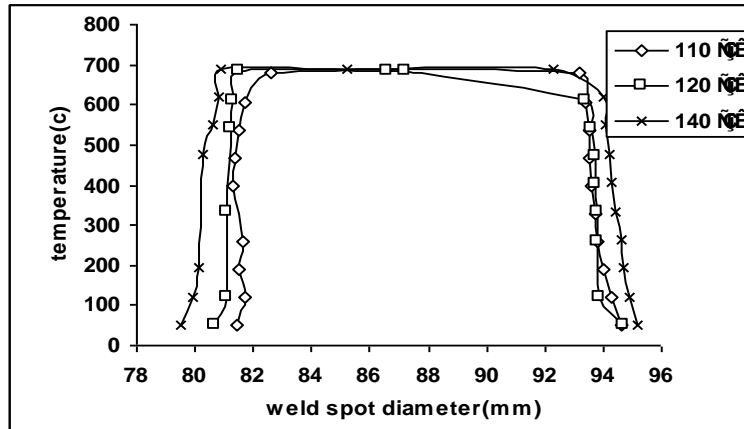
شكل (6) يوضح توزيع درجات الحرارة لنقطة اللحام عند زمن 5sec وتيار 110 Amp وطول القوس 1.6mm.



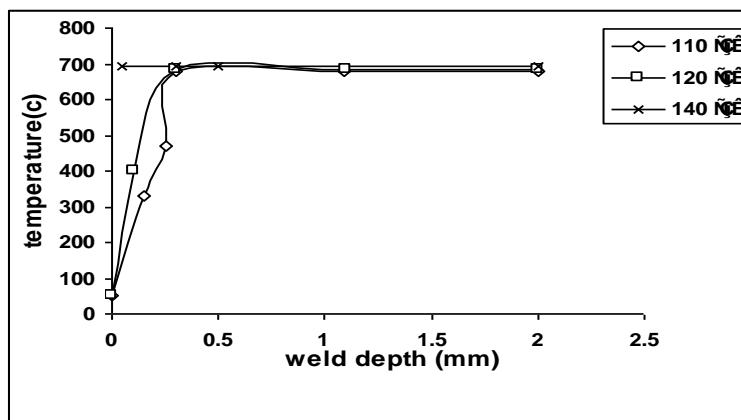
شكل (7) يوضح توزيع درجات الحرارة لنقطة اللحام عند زمن 5sec وتيار 120 Amp وطول القوس 1.6mm.



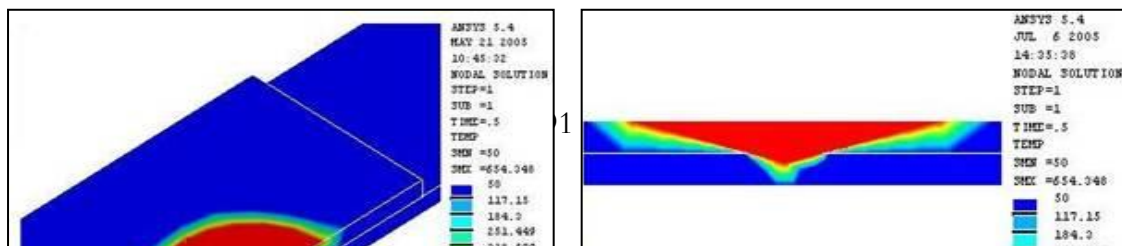
شكل (8) يوضح توزيع درجات الحرارة لنقطة اللحام عند زمن 5sec و تيار 140 Amp وطول القوس 1.6mm



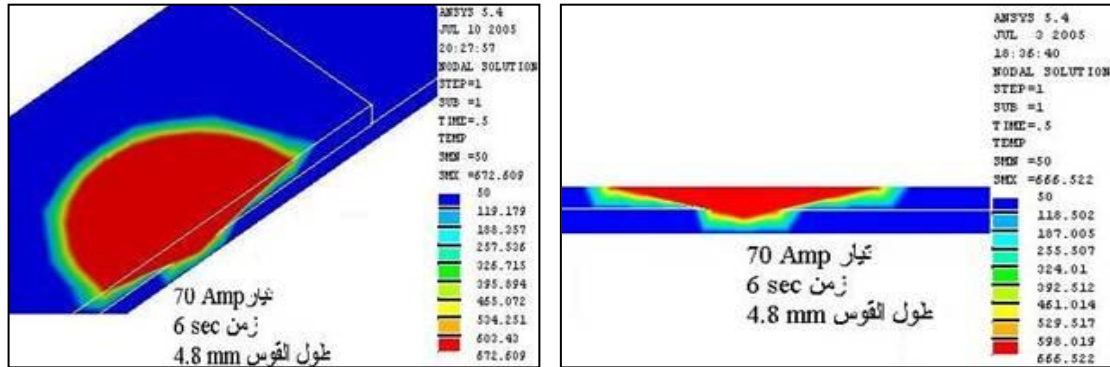
شكل (9) يوضح توزيع درجات الحرارة مع قطر نقطة اللحام عند زمن 5sec وطول القوس 1.6mm.



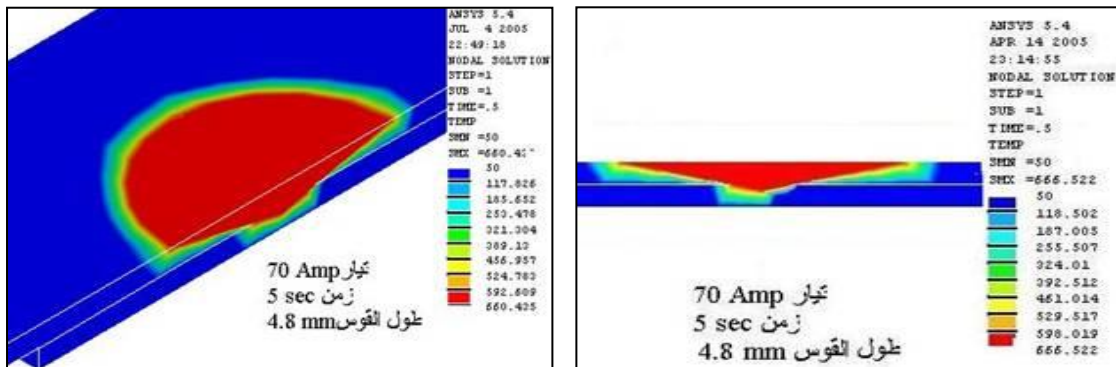
شكل (10) يوضح توزيع درجات الحرارة مع عمق اللحام عند زمن 5sec وطول القوس 1.6mm.



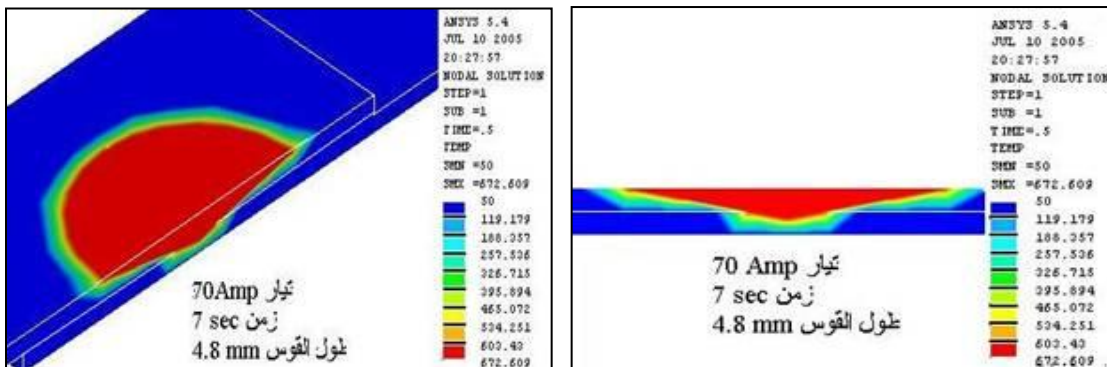
شكل (11) يوضح توزيع درجات الحرارة في نقطة اللحام عند زمن 4sec و تيار 70 Amp وطول القوس 4.8mm.



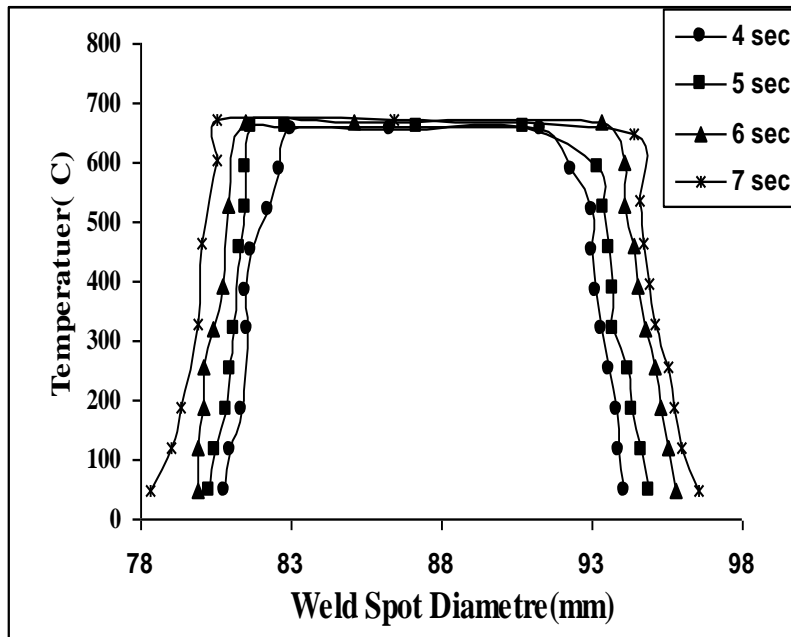
شكل (12) يوضح توزيع درجات الحرارة في نقطة اللحام عند زمن 5 sec و 70Amp وطول القوس 4.8mm.



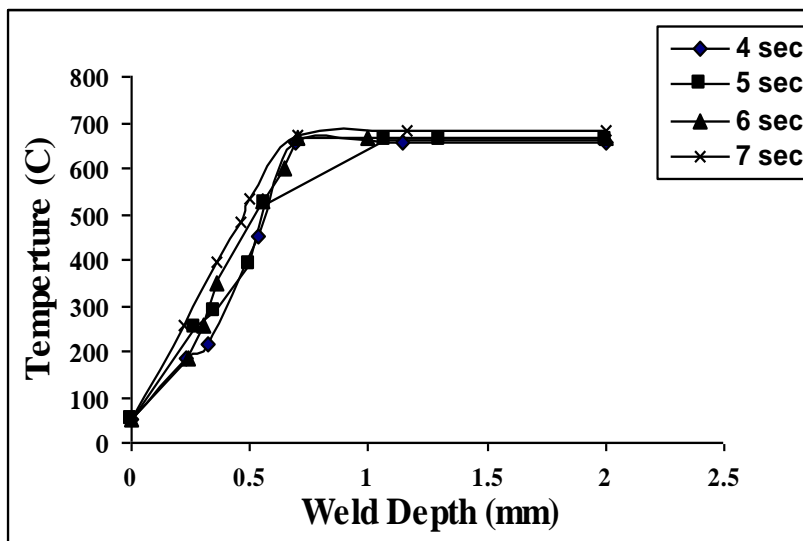
شكل (13) يوضح توزيع درجات الحرارة في نقطة اللحام عند زمن 6sec و تيار 70A وطول القوس 4.8mm.



شكل (14) يوضح توزيع درجات الحرارة لنقطة اللحام عند زمن 7sec و تيار 70Amp وطول القوس 4.8mm.

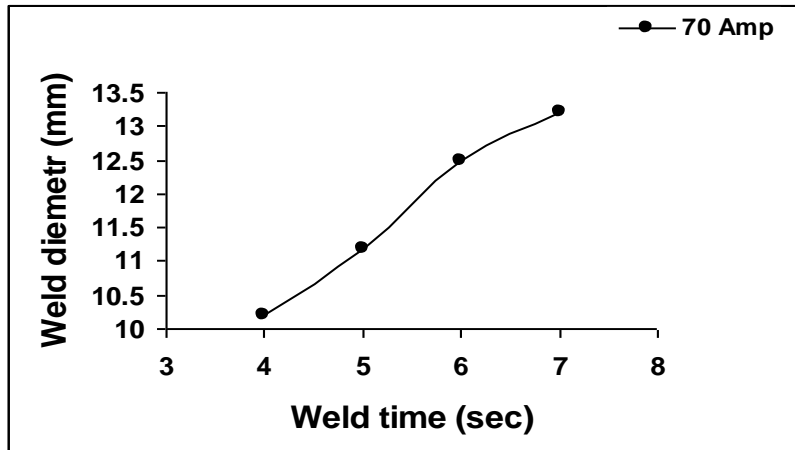


شكل (15) يوضح توزيع درجات الحرارة مع قطر نقطة اللحام عند تيار 70Amp وطول القوس 4.8 mm لازمنة مختلفة.

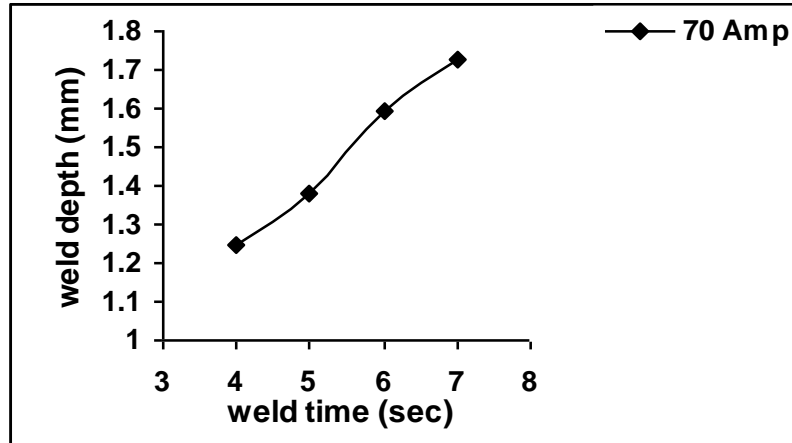


شكل (16) يوضح توزيع درجات الحرارة مع عمق اللحام عند تيار 70Amp.

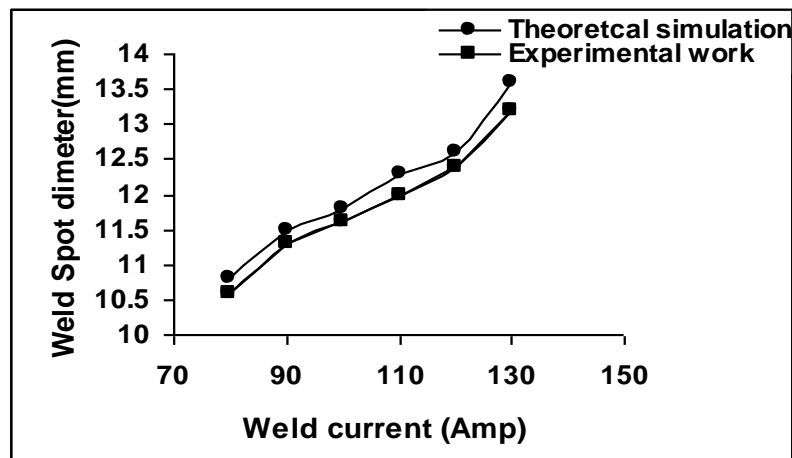
وطول القوس 4.8 mm لأزمنة مختلفة



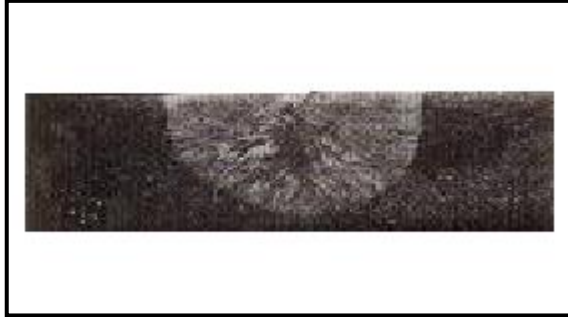
شكل (17) يوضح العلاقة البيانية بين زمن اللحام وقطر منطقة اللحام عند تيار 70Amp وطول القوس 4.8mm .



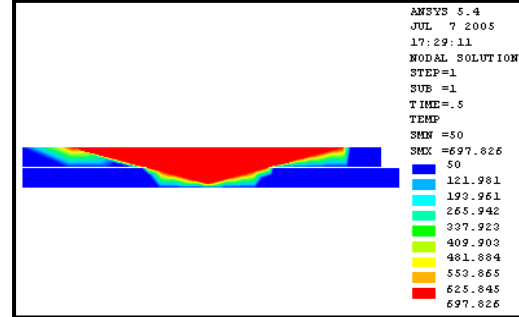
شكل (18) يوضح العلاقة البيانية بين التيار وقطر نقطة اللحام عند زمن اللحام 6 Sec وطول القوس 1.6mm .



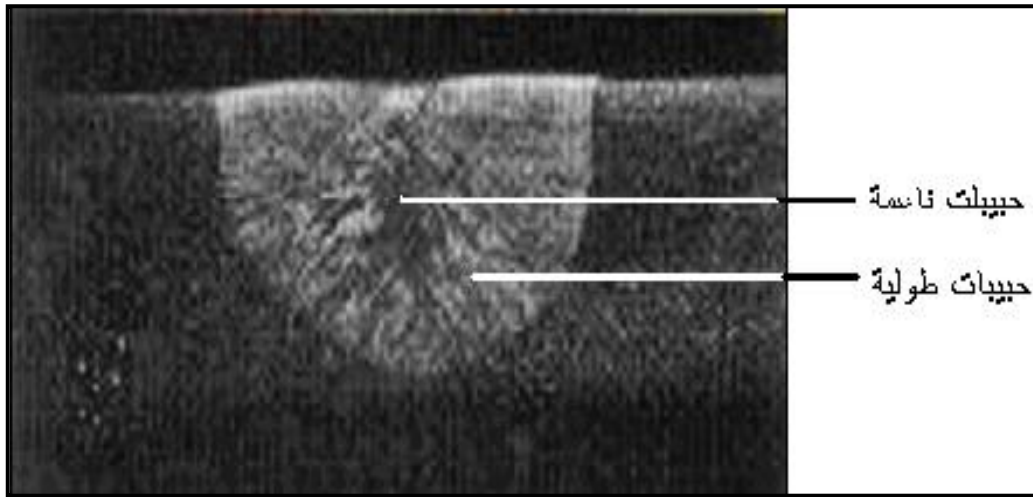
شكل (19) يوضح العلاقة البيانية بين التيار وقطر نقطة اللحام عند زمن اللحام 6 Sec وطول القوس 1.6mm .



(b) النتائج العملية



(a) النتائج النظرية



(C)

شكل (20) يوضح صورة فوتوغرافية للمقطع العرضي لوصلة اللحام النقطي بقطب التنكستن المحمي بالغاز الخامل (TIG Spot) عند الظروف المثلى لمتغيرات اللحام (زمن اللحام 6sec و تيار اللحام 130Amp وطول قوس 1.6mm) عند قوة تكبير 7x.

References

- [1] Stuart W. Gibson, "Advanced Welding", First Published by Macmillan Press LTD, London, 1997.
- [2] Society for American Metal, Metals Handbook, Vol.6, 9th Edition, Copyright, 1983.
- [3] Sindo Kou, "Welding Metallurgy", 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc. Publication, 2003.
- [4] Justin D. Francis, "Welding Simulations of Aluminum Alloy Joints By Finite Element Analysis", MSc.Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State university, Blacksburg, Virginia, April 2002 .
- [5] Daniel Berghand, " Simulation of Welding and Stress Relief Heat Treating in the development of Aerospace Components", Licentiate Thesis, Lulea Tekniska University, 2001 .
- [6] Finite Element Analysis, Theory and Application With ANSYS", Second Moaveni, Prentice Hall, 1999.
- [7] Huebner K. H. and Thornton E. A., "The Finite Element Method For Engineering", 2nd Edition, Wiley- Intrscience, Publication, 1982.
- [8] Hidekazu Murakawa and Jianxun Zhang "FEM Simulation of Spot Welding Process (Report I) – Effect of Initial Gap on Nugget Formation", Trans. JWRI, Vol.27, No.1, 1998, pp75-88.
- [9] "Aluminum Select Physical and Elastic Properties", Matter Project, The University of Liverpool, <http://www.matter.com> 2001
- [10] 10-N.Gomesan, V.P. Rayghupathy, "Predication of Temperature Distribution During Circumferential Welding of Thin Pipes Using Finite Element Method", Welding Journal, Vol.7(1), February, 1995, pp.34-45.
- [11] Aravintton A, V.Balendron, "Modeling and Simulation of a Spot Welding Process an Overview", Department of Computing Trent University, Burton St Nottingham <http://www.dcutn.ntu.com> 2001.
- [12] H.A. Nied, "The Finite Element Modeling of the Resistance Spot Welding Process", Welding Journal, Vol. 63, No. 4, 1984, PP. 1235-1325.
- [13] Miller Electric Mfg. Co., "Hand Book For Resistance Spot Welding ", USA, July 2005, pp1-12. www.millerwelds.com.
- [14] 14- Muna K.A. & Haitham Y. Abud-M., "A Study Effect of Some Variables in TIG Spot Welding For (Aluminum- Magnesium) Alloy". Journal of Engineering. College of Engineering, University of Baghdad, No.2, Vol.11. 2006, PP.19-30.
- [15] 15- Abbass F. , " Study of TIG Spot in Al-Mn Alloy, MSc.Thesis University of Technology, 2001.

Simulation of Temperature Distribution in TIG Spot Welds of (Al-Mg) Alloy Using Finite Element Method

Dr. Muna K Abbas* Dr. Abdul Hussain G. Al-Maliky**

Ahlam Abid Ameer Alkhafajy**

* Dept. of Production and Metallurgy Engineering ,University of Technology, Baghdad- Iraq

**Dept. of Educational Technology , University of Technology, Baghdad- Iraq

* E-mail : mukeab2005@yahoo.com

(Received 11 July 2006 ; accepted 24 September 2007)

Abstract

This research concern to analyse and simulate the temperature distribution in the spot welding joints using tungsten arc welding shielded with inert gas (TIG Spot) for the aluminum-magnesium alloy type (5052-O).

The effect of and the quantity of the heat input that enter the weld zone has been investigated welding current, welding time and arc length on temperature distribution. The finite element method (by utilizing programme ANSYS 5.4) is presented the temperature distribution in a circular weld pool and the weld pool penetration (depth of welding) through the top sheet ,across the interface into the lower sheet forming a weld spot.

A three dimensional (3-D) model has been constructed to study the temperature distribution and the depth or penetration of the weld spot. The results showed that the weld zone and heat affected zone (HAZ) suffer from high temperature variation caused by severe thermal cycle. The temperature reaches the highest value of the melt metal at the weld spot 698°C at weld current 130 Amp, weld time 6 sec and arc length 1.6 mm, then drops further away from the weld spot in the direction the base metal.

Figurs were plotted to explain the results and to show the temperature distribution and its value in the weld spot and heat effected zone.