نمذجة ومحاكاة تأثير شدة تيار وزمن اللحام على اجهادات الوصلات اللحامية

د. أحمد سلامة [*]

د. تمام سلوم[**]

(تاريخ الإيداع 18 / 11 / 2020. قُبِل للنشر في 2/ 6 / 2021)

□ ملخّص □

في هذه الدراسة تم إجراء نمذجة ومحاكاة باستخدام طريقة العناصر المنتهية FEM على برنامج CATIA V5 لوصلة لحامية من سبيكة ألمنيوم– مغنيزيوم عند تيارات لحام (80، 100، 110، 120) أمبير وأزمنة لحام مختلفة (6، 7، 8) ثانية وأظهرت النتائج أنه عند تيار لحام 110 أمبير وزمن 6 ثانية كان توزع الإجهادات الحرارية بشكل أفضل خلال قطر وعمق منطقة اللحام

حيث تم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج CATIA V5 مع نتائج دراسات مرجعية في هذا المجال وباستخدام برامج مختلفة.

الكلمات المفتاحية: طريقة العناصر المنتهية – عملية اللحام – النمذجة و المحاكاة – تحليل الإجهادات.

[*] **استاذ مساعد – قسم هندسة التصميم و الانتاج– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.**

[**] **استاذ مساعد – قسم الهندسة الصناعية – كلية الهندسة الميكانيكية – جامعة حلب – حلب – سورية.**

Modeling and Simulation the Effect of Welding Current and Welding Time on Welding Joint Stresses

Dr. Ahmad Salamh*
Dr. Tammam Salloum**

(Received 18 / 11 / 2020. Accepted 2 / 6 / 2021)

□ ABSTRACT □

In this study, modeling and simulation was performed using the Finite element method (FEM)terminated method on the CATIA V5 program for a welding connection at welding currents (80, 100, 110, 120) amps and different welding times (6, 7, 8) seconds and the results showed that at a welding current of 110 amps For a period of 6 seconds, the distribution of heat stress was better through the diameter and depth of the welding zone.
As the results obtained using the CATIA V5 program were compared with the results of reference studies in this field and using different programs.

Keywords: Spot Weld, Finite Element Method, Modeling and Simulation,welding connection**.**

* **Associate Professor – Design and Production Engineering Department - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University – Lattakia - Syria.**
** **Associate Professor – Dep. of Industrial Engineering - Faculty of Mechanical Engineering - University Of Aleppo – Aleppo- Syria.**

مقدمة:

اللحام هو عبارة عن عملية للحصول على وصلة دائمة غير قابلة للفك ، من خلال التسخين الموضعي لأطراف الأجزاء المراد وصلها.

أدى تنظيم العمليات التكنولوجية بشكل اقتصادي إلى الاهتمام بوصل المعادن باللحام ، فقد كانت النظرة إلى وصل المعادن باللحام نظرة قاصرة على إنها مجرد حرفة وليس علماً تطبيقياً ، وتغير هذا المفهوم وأصبح اللحام علماً في مقدمة العلوم الهندسية الميكانيكية الحديثة ، ويكفي للدلالة على ذلك إلقاء نظرة سريعة على أهم المنشآت المعدنية في العصر الحديث إبتداءً من المفاعلات النووية . الصواريخ، سفن الفضاء، الأقمار الصناعية ،الطائرات ،السفن، الجسور، وسائل النقل المختلفة، إلى أصغر وأدق الأجهزة الإلكترونية ، لنجد أنها ليست في واقع الأمر سوى مكونات معدنية تم تجميعها مع بعضها البعض بواسطة طرق اللحام المختلفة. إن أحد أهم أنواع طرق اللحام، هي طريقة اللحام بالصهر، والذي يعتمد على صهر معدن أو سبيكة بتعريضها لدرجات حرارة عالية تفوق درجة انصهارها، ثم يتجمد المعدن المنصهر تحت الظروف الطبيعية. تحدث اجهادات حرارية في الأجزاء الملحومة، عند منطقة اللحام، وينتج لدينا اجهادات متبقية Residual Stress، بعد انتهاء عملية اللحام، حيث تسبب أحيانا عدم ترابط الوصلات الملحومة بالإضافة إلى أن إجهادات شد عالية ،تتولد خاصة في المنطقة القريبة من اللحام، قد تسبب هذه الاجهادات فشل الوصلات الملحومة، وأحيانا انفصال قطعتي اللحام. أما إذا كانت الاجهادات المتبقية من نوع إجهادات ضغط فإنها تكون مفيدة وتعمل على تحسين خواص الوصلة اللحامية. إن لحام القوس الكهربائي، هو أحد أهم أنواع اللحام على الإطلاق، يحصل اللحام عن طريق الحرارة الناتجة عن القوس الكهربائي بين القطب والجزء الملحوم. تصل درجة الحرارة في هذا النوع من اللحام إلى 4000 درجة مئوية، وهي درجة حرارة كافية لصهر المعدن في نقطة اللحام، أو صهر معدن إضافي (معدن الحشو) من سلك ويلتحم عند تبريده مكوناً وصلة متينة.

1. الدراسات المرجعية

لقد قدم العديد من الباحثين دراسات عن الإجهادات المتبقية في الوصلات اللحامية حيث قام الباحث (T.Zacharia) بمحاكاة ونمذجة الإجهادات المتبقية في الوصلات اللحامية للفولاذ واستخدام اللحام النقطي وأجريت عملية تحليل الإجهادات بطريقة العناصر المنتهية FEM وقورنت بطريقة Netro Differoetions ، ولقد وجد تطابق جيد في النتائج بين الطريقتين، وتبين أن الإجهادات المتبقية الناتجة بالبرنامج الحاسوبي في منطقة الانصهار ومنطقة التأثير الحراري HAZ ،كانت أعلى من الإجهادات المقاسة بطريقة Netro Differoetions.[1]

قام الباحث (Li Baoqing) بمحاكاة عملية لحام البقعة لسبيكة الالمنيوم 5052 بطريقة العناصر المنتهية FEM، واستخدمت طريقة Contact Analysis لدراسة توزع الضغط على مساحة التماس عند السطوح الفاصلة ما بين الاجزاء الملحومة، أي عند السطوح الفاصلة بين الأقطاب والمشغولة باستخدام برنامج ANSYS، وقد بينت نتائج المحاكاة أن توزع الضغط عند منطقة الاتصال بين المشغولة والأقطاب تعتمد بشكل رئيسي على قطر الاقطاب وسماكة المشغولة ومقدار القوة المسلطة على قضيب اللحام [2].

كما أجرى الباحث (N.Visniakov) محاكاة بطريقة العناصر المنتهية FEM على لحام الهياكل المعقدة الشكل من سبيكة الالمنيوم سيليسيوم وتم إجراء اللحام بطريقة القوس الكهربائي باستخدام قضبان لحام بقطر 4mm عند بارامترات لحام متغيره من التيار ، السرعة ، كمية الحرارة الداخلة، ودراسة مدى تأثيرها على البنية المجهرية لمنطقة اللحام، وعلى جودة ونوعية اللحام، وقد تم قياس توزع درجات الحرارة عند ثلاث نقاط بالقرب من الحافة الملحومة، وقد تم التوصل

إلى أن أكبر منطقة هي المنطقة المتأثرة بالحرارة HAZ وكانت درجة الحرارة أعلى من 573K وأن الاختلاف في درجة الحرارة بين النتائج التجريبية و النظرية لاتزيد عن 5% [3] .

درس الباحث (J.Sariel) توزع الإجهادات المتبقية لأقراص من سبيكة (TI6AL4V) ملحومة بطريقة اللحام النقطي وتم قياس توزع الإجهادات باستخدام الأشعة السينية، وتم استخدام ثلاثة اقراص بسماكات مختلفة (6.5mm، 8.5 mm، 10.5 mm) واجريت عملية اللحام باستخدام تيارات مختلفة وتبين أن توزع الإجهادات بالطرق الثلاثة كان متماثلا مع النتائج التي تم الحصول عليها بالدراسات السابقة وكانت عبارة عن إجهادات شد بالقرب من منطقة الانصهار وتتحول تدريجيا الى إجهادات ضغط عند الابتعاد عن منطقة الانصهار [4] .

أجرى الباحث (Camilleri) محاكاة حرارية– مرنة لدنة (thermo – elasto – plastic) لسطح الدرزة اللحامية باستخدام تحليل لنموذج ثنائي البعد وآخر ثلاثي البعد، وافترض شروط حدية متغيرة، من أجل الوصول الى دقة عالية، ، قارن الاجهاد الطولي المتبقي والتشوه الناتج من أجل كل شرط حدي مع مثيلاتها التجريبية، ودرس الاختلافات فاستنتج ان الوصول إلى نتائج اكثر دقة يكون عند تطبيق شروط حدية تناظرية على العناصر المتناظرة بالنسبة لمحور سطح الدرزة اللحامية لكل من عناصر منطقة الانصهار وعناصر المنطقة الانتقالية باتجاه الطور الصلب [5].

أهمية البحث وأهدافه:

هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير زمن وتيار اللحام على توزع الاجهادات الحرارية في الوصلات اللحامية من خلال نمذجة ومحاكاة هذه الوصلات اللحامية، باستخدام طريقة العناصر المنتهية على برنامج CATIA V5 ، تمت الدراسة على عينات على شكل حرف T.

أهمية البحث:

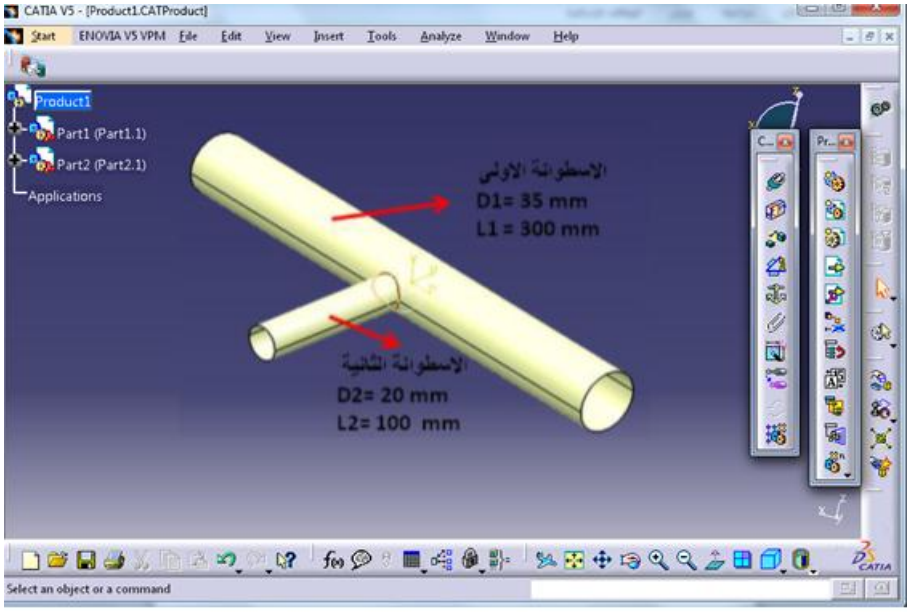
تأتي أهمية البحث في تحديد التأثير الدقيق لبارامترات عملية اللحام،(تيار اللحام ، زمن اللحام، كمية الحرارة المتولدة في منطقة اللحام)، على خواص وموثوقية الوصلة اللحامية.

2. محاكاة عملية اللحام

- تطبيق على سبيكة ألمنيوم –مغنيزيوم، التي تستخدم على نطاق واسع في صناعة أوعية الضغط (الخزانات)، وفي التطبيقات البحرية، وفي صناعة السيارات والطائرات، لما تتمتع به من قوة وقابلية اللحام، ومقاومة عالية للتآكل

تمت نمذجة عملية اللحام للوصلات وذلك باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM) وذلك على برنامج CATIA V5 كما يلي :

- تم رسم القطعتين المراد لحامهما وتم اختيار نوع اللحام في البيئة ثلاثية البعد 3D على برنامج CATIA كما هو مبين بالشكل (1)



الشكل(1) أبعاد القطعتين المراد لحامهما

- تم إدخال خواص السبيكة المستخدمة في هذا البحث وهي سبيكة الالمنيوم مغنزيوم حيث يبين الجدول 1 التركيب الكيميائي للسبيكة المنيوم مغنزيوم كما يبين الجدول (2) الخواص الميكانيكية للسبيكة والجدول (3) الخواص الفيزيائية للسبيكة المستخدمة في هذه الدراسة

الجدول(1)التركيب الكيميائي للسبيكة المدروسة

العنصر	Si	Mg	Fe	Mn	Cu	Cr	Zn	Al
Wt%	0.215	2.26	0.215	0.0042	0.04	0.3025	0.0025	96.9

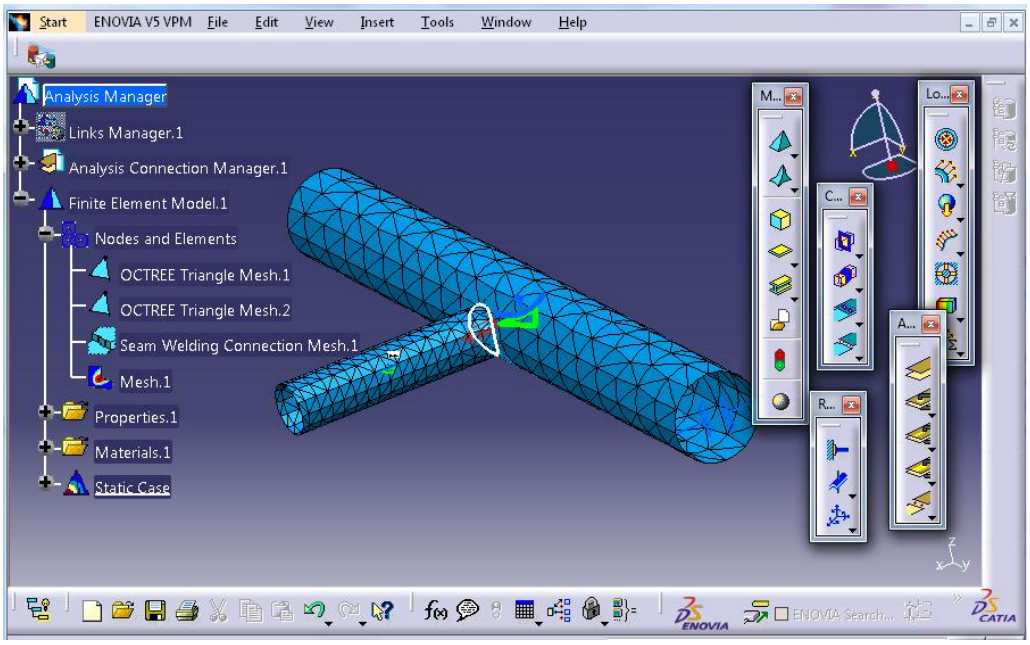
الجدول (2) الخواص الميكانيكية للسبيكة المدروسة

معامل المرونة E GPa	الجساءة G GPa	اجهاد الشد σT MPa	اجهاد القص T MPa	اجهاد الخضوع σy MPa	المطيلية %δ	قساوة برينل HB	قساوة فيكرز HV
70	26.3	195	125	90	25	50	50

الجدول (3)الخواص الفيزيائية للسبيكة المدروسة

معامل التوصيل الحراري λ W/m.k	معامل التمدد الحراري µm/m-ºC	السعة الحرارية Cp J/kg.k	درجة التجمد T_{so} ºC	درجة السيولة $T_{Liq.}$ ºC	الكثافة ρ Kg/m3	نسبة بواسون γ
138	23.7	901	605	650	2860	0.33

تم توليد شبكة العناصر المنتهية في بيئة Analysis and Simulation، حيث تم اختيار نوع العقد و العناصر من خلال Node and Element شبكة العناصر المنتهية كما هو مبين بالشكل(2)



الشكل(2) شبكة العناصر المنتهية في البيئة الثلاثية البعد 3D

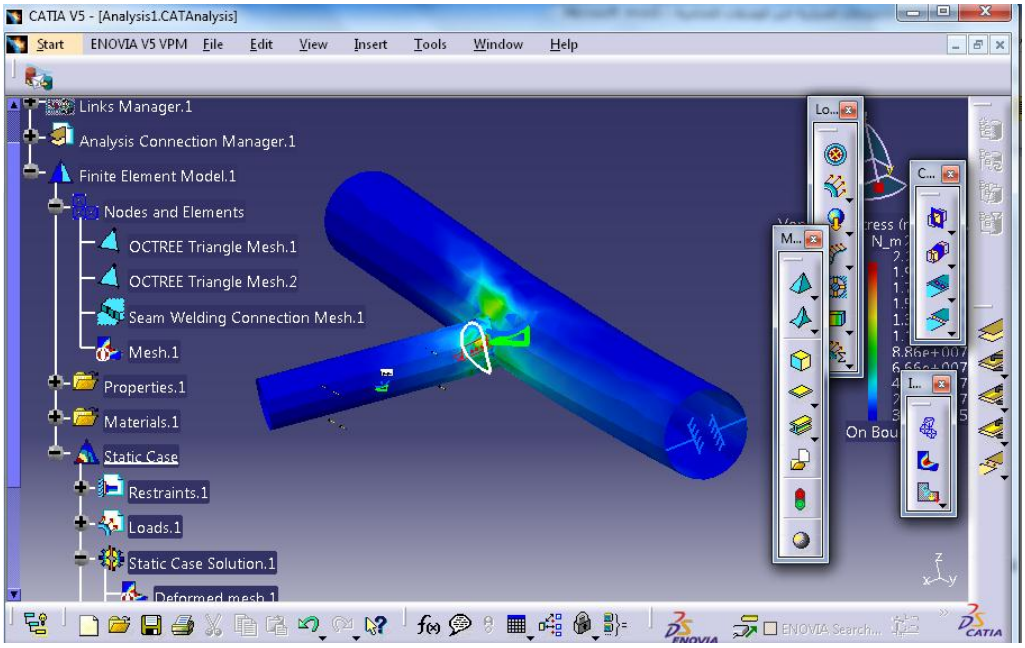
تم ذلك بإدخال متغيرات اللحام الرئيسية، وهي تيارات لحام (80، 100، 110، 120) أمبير وازمنة لحام (6، 7، 8) ثانية، وتم وضع الشروط الحدية على نموذج العناصر المنتهية، وفي هذه المرحلة، تم تعريف شكل التحليل وهو (Transient)، وتطبيق الحمل الحراري الناتج عن التيار والبدء بحل العناصر المنتهية، وعرض نتائج التحليل، (عرض توزع الاجهادات الحرارية)عبر قطر وعمق منطقة اللحام عند تيارات و أزمنة مختلفة.

النتائج والمناقشة:

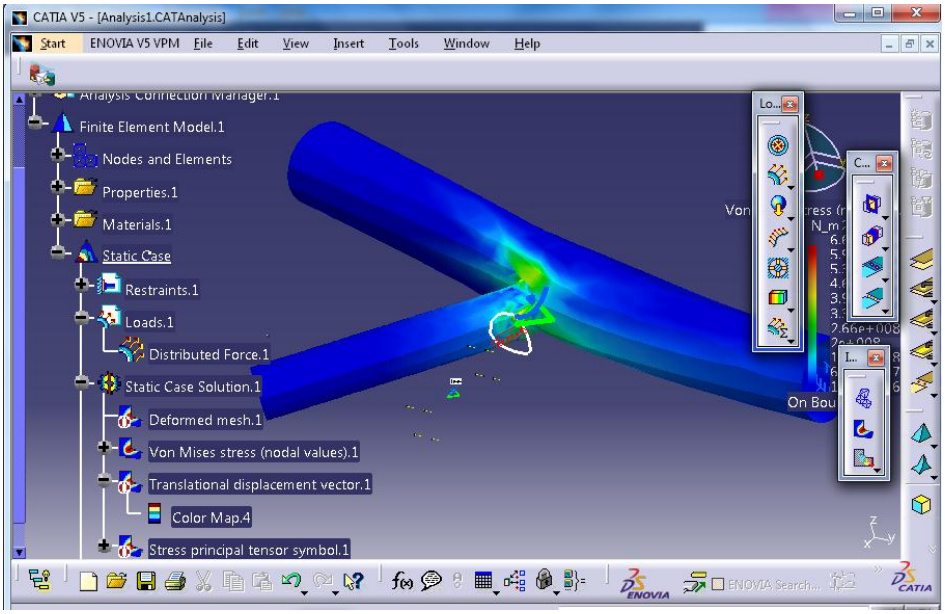
تزداد كمية الحرارة المتولدة في منطقة اللحام، عند زيادة تيار اللحام، مما يساعد على زيادة معدل صهر المعدن، وبالتالي يزداد قطر منطقة اللحام وعمق التغلغل لمنطقة الصهر، عبر السطح الفاصل ما بين القطعتين الملحومتين، وخلال عملية اللحام يحدث تمدد وتقلص شديدين، خلال دورة اللحام الحرارية، اذ ترتفع درجة الحرارة إلى قيمة أعلى من درجة الانصهار حتى تصل الى 700C° عند تيار 120 A وزمن K6 sec وطول قوس اللحام 1.6mm، وقد ترافق هذه العملية اجهادات حرارية ضاغطة و شادة عبر منطقة اللحام، وكذلك عبر سماكة جدار القطعتين، وهذا يعني تباين الخواص الميتالورجية والميكانيكية مابين منطقة اللحام ومعدن الاساس ومن ثم يؤدي إلى فشل الوصلة بسهولة، وقد تؤدي التيارات العالية والازمنة الطويلة، إلى خروج المعدن المنصهر من منطقة اللحام وحدوث تشوهات وعدم انتظام وتماثل لشكل قطر منطقة اللحام. يعد تيار وزمن اللحام عاملان مهمان في عملية اللحام، وذلك لتأثيرهما الكبير في كمية الحرارة اللازمة لصهر المعدن، وتكوين وصلة اللحام، وبالتالي تأثيرهما على توزع الاجهادات الحرارية في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة الحرارة.

أن الأشكال 3,4,5,6 تعبر عن توزع الاجهادات في منطقة اللحام وفي الأسطوانتين المدروستين،من أجل قيم متغيرة للتيار وبثبات زمن اللحام وطول القوس، كما هو مبين في الشكل 2سابقا. عند التدقيق في الاشكال 3,4,5,6 عند تيارات تتراوح بين 80–120 A وزمن 6sec وطول قوس 1.6 mm، نلاحظ أن الاجهادات الضاغطة تتركز عند

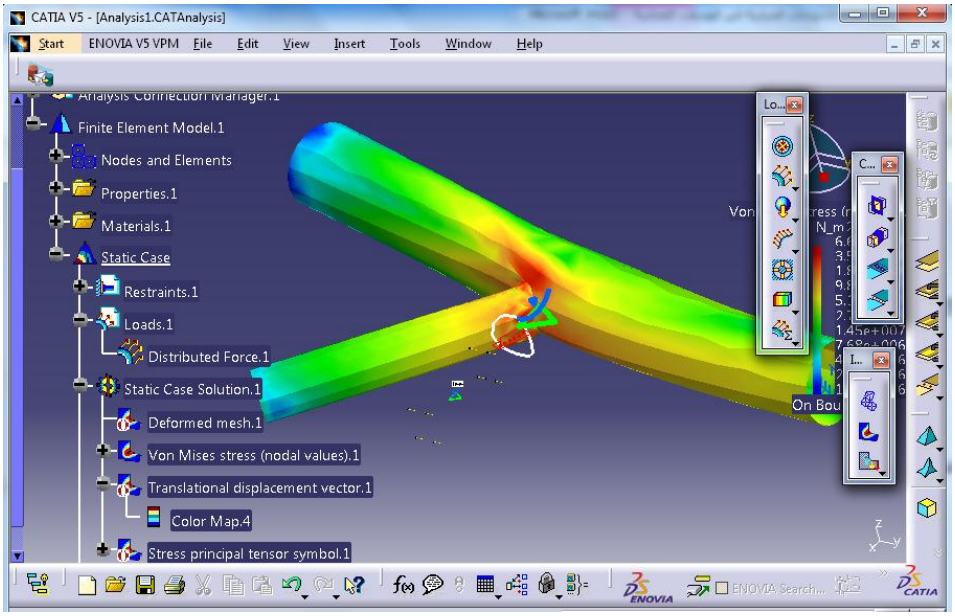
منطقة اللحام أي عند المعدن المنصهر لمنطقة اللحام، وتزداد قيمة هذه الاجهادات، وتتسع عبر قطر منطقة اللحام، بزيادة تيار اللحام، في حين تتكون إجهادات شد متركز أسفل منطقة اللحام، وكذلك فان توزع الاجهادات خلال عمق وصلة اللحام يزداد بزيادة تيار اللحام، وصولا إلى أسفل الوصلة عند التيارات العالية.



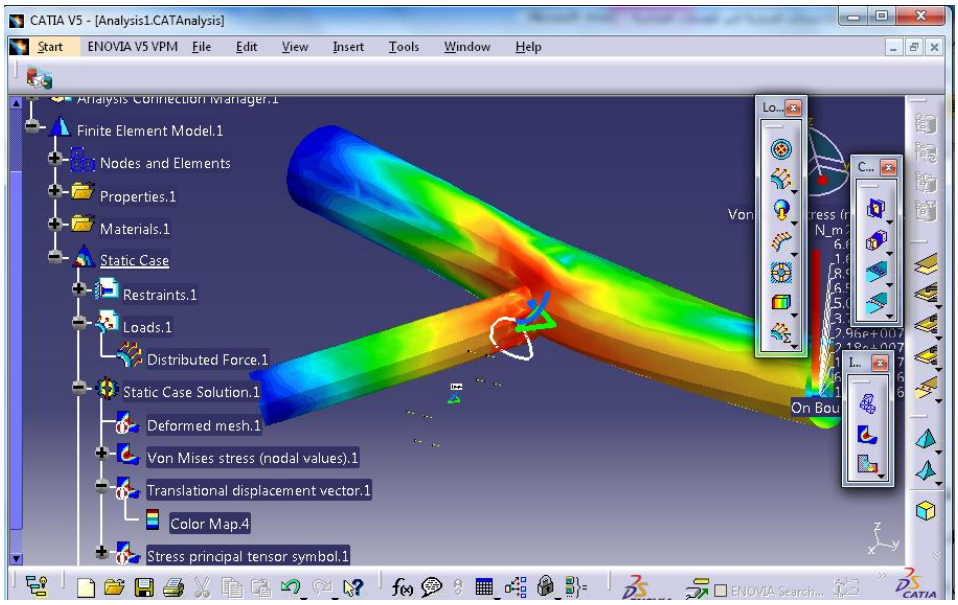
الشكل(3) توزع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار A 80 وزمن 6sec وطول قوس 1.6 mm



الشكل(4)توزع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار A 100 وزمن 6sec وطول قوس 1.6 mm

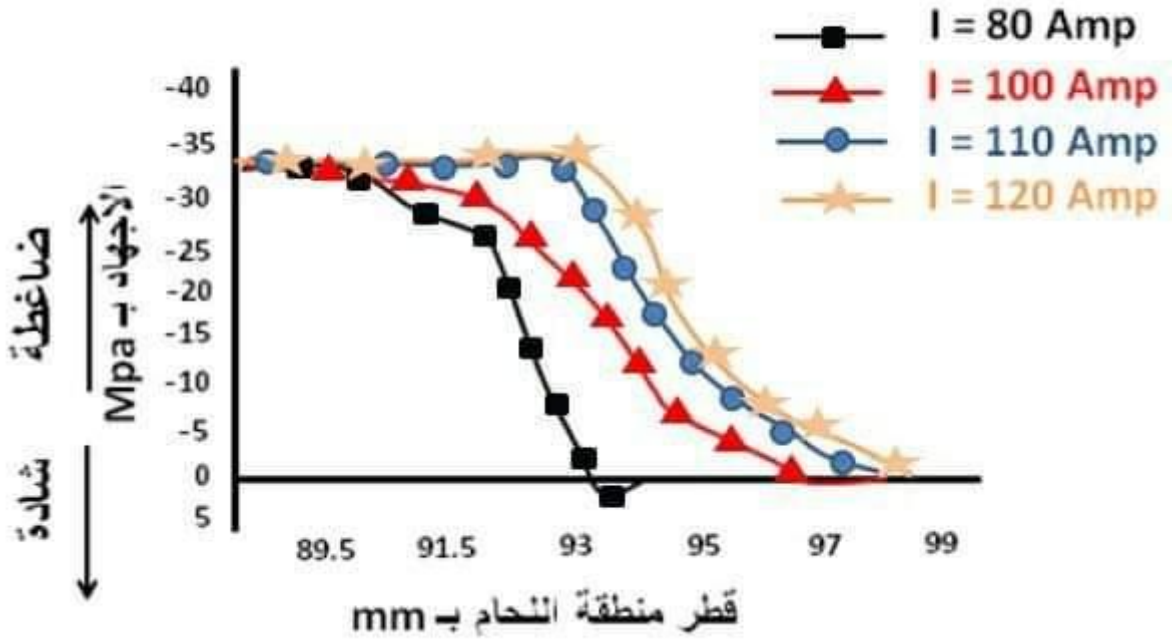


الشكل(5) توزع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار A 110 وزمن 6sec وطول قوس 1.6 mm

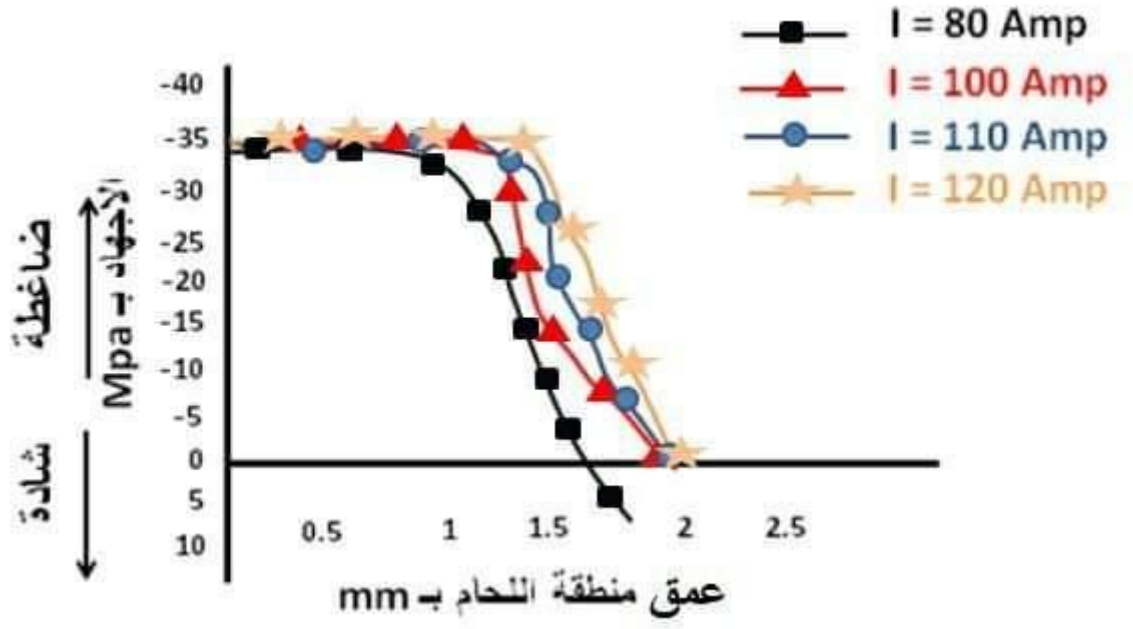


الشكل(6) توزع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار A 120 وزمن 6sec وطول قوس 1.6 mm

يبين الشكل 6 وجود اجهادات ضغط قيمتها 33.8MPa، تتركز عند منطقة معدن اللحام واجهادات شد عند المنطقة المتأثرة بالحرارة، إذ تتراوح قيمتها بين 27.8 MPa و11.7 MPa، حيث تم الحصول على هذه القيم من البرنامج كقيم عظمى وقيم صغرى. يوضح الشكلان 7 و 8 العلاقة البيانية لتوزع الاجهادات (الشادة والضاغطة) مع قطر منطقة اللحام وعمق اللحام فمن أجل قيم مختلفة للتيار ،عند زمن ثابت وطول ثابت لقوس اللحام على التوالي، حيث يلاحظ أن قيمة إجهادات الضغط تزداد مع زيادة التيار وتتركز في منطقة اللحام حيث أن إجهادات الشد تتضاءل باتجاه المعدن الاساسي خلال قطر منطقة اللحام وكذلك باتجاه عمق اللحام.

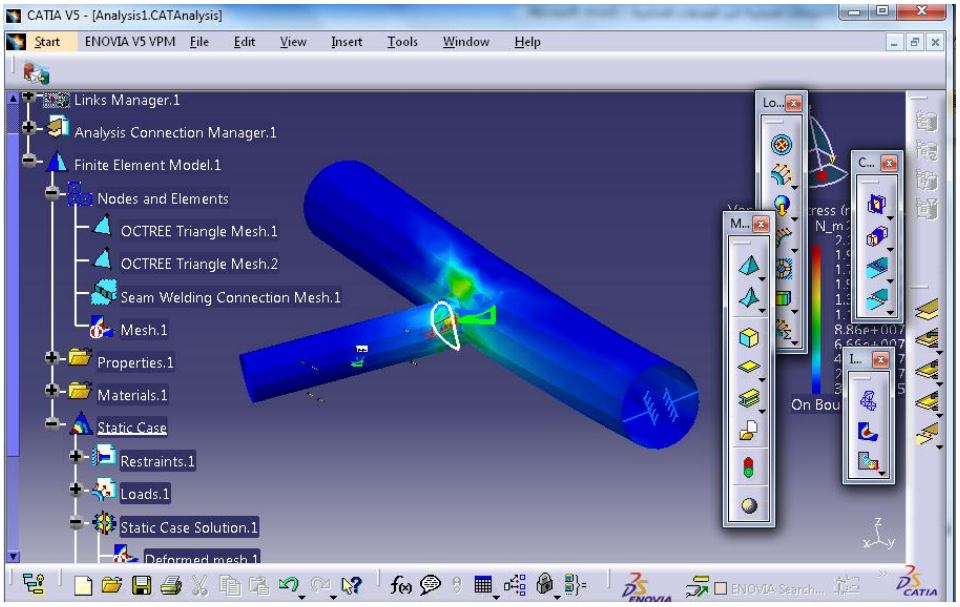


الشكل(7) تأثير شدة التيار على توزع الاجهادات و قطر منطقة اللحام عند زمن 6 sec

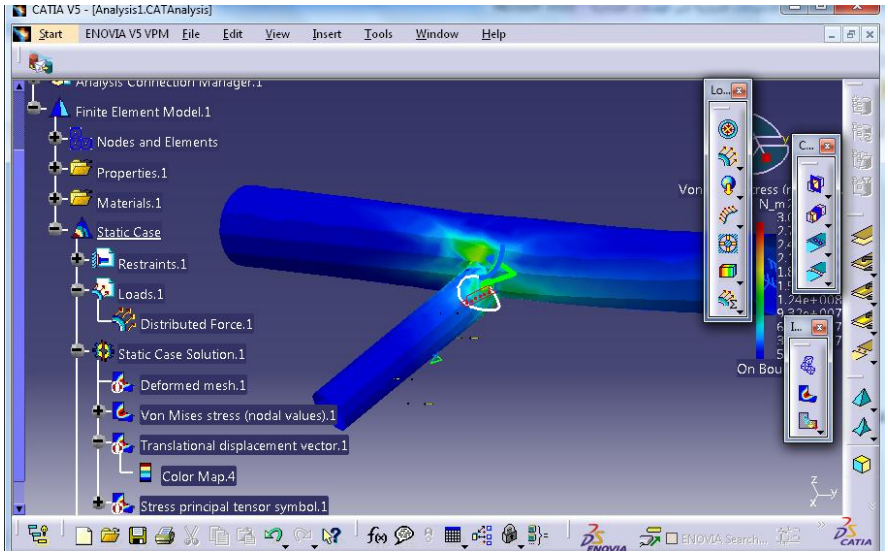


الشكل(8) تأثير شدة التيار على توزع الاجهادات عبر منطقة اللحام عند زمن 6 sec

يوضح الشكلان 9 و 10 تأثيرزمن اللحام على توزع الاجهادات عند تيار ثابت قيمته A 80، حيث يلاحظ أن زيادة زمن اللحام، يؤدي الى زيادة التشتت في توزيع الإجهادات وعدم انتظامها.

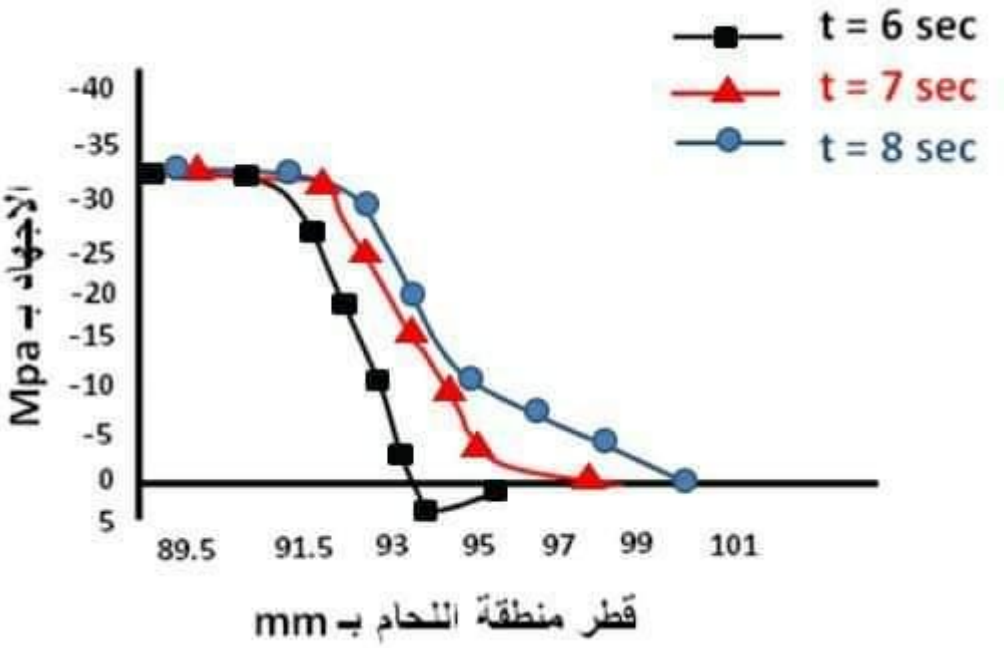


الشكل(9) توزع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار A 80 وزمن 7sec وطول قوس 1.6 mm

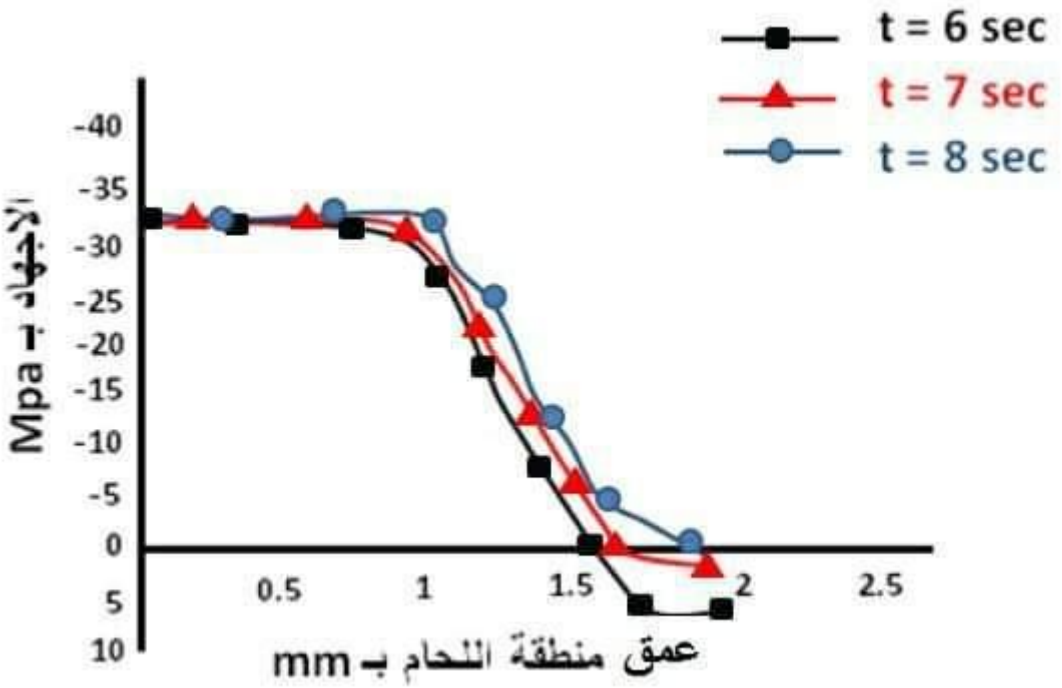


الشكل(10) توزع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار A 80 وزمن 8sec وطول قوس 1.6 mm

يبين الشكلان 11 و 12 العلاقة البيانية لتوزع الإجهادات خلال قطر منقطة اللحام وسماكة اللحام على التوالي، ويلاحظ أن زيادة زمن اللحام يؤثر على زيادة توزع الاجهادات خلال قطر وعمق اللحام



الشكل(11) العلاقة بين توزع الاجهادات و قطر منطقة اللحام عند تيار 80A وطول قوس 1.6mm



الشكل(12) العلاقة بين توزع الاجهادات و عمق منطقة اللحام عند تيار 80A وطول قوس 1.6mm

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- ✓ أن أعلى قيمة لإجهادات الضغط وصلت لها عند مركز منطقة اللحام عند لحامها بتيار A 110 وزمن 6sec، والتي هي أفضل توزيع لإجهادات الضغط خلال قطر وعمق منطقة اللحام، ومن ثم تتلاشى هذه الإجهادات، وتصل إلى الصفر خلال المنطقة المتأثرة بالحرارة HAZ.
- ✓ إن قيمة إجهادات الشد تتناقص باتجاه المعدن الأساس خلال قطر منطقة اللحام وكذلك باتجاه عمق اللحام.

التوصيات:

- ✓ استخدام تيار لحام 110 أمبير بزمن لحام 6 ثانية عند اجراء عمليات اللحام لمثل هذه السبائك، وذلك بسبب التوزع المنتظم للاجهادات.
- ✓ إجراء الدراسة على أنواع أخرى من سبائك اللألمنيوم.

References:

[1]. T.ZACHARIA , B.TALJAT and B.RADHAKRISHNAN," *Modeling of Stresses in Hy-100 Weldments*",ICES97,International Conference on Computational Engineering Science, Jan Jose, Costa Rica,May4-7,1997,P.P 1-5

[2]. Li-BAOQING, SHAN PING LIAN, Hu SHENGSUN, " *Study of Contact Behavior in the Pre- Squeeze Stage of Aluminum Alloy Resistance Spot Welding*",2002

[3]. N.VISNIAKOV, D.SEEKATUROVIENE, O.CERNASEJUS, "*Modeling of Thermal Processes in A Dissymmetrical Welded Cast Aluminum Desingns*",4*P*th International DAAAM Conference 29-30th April 2004, PP223-226.

[4]. J.SARIEL, L.DAHAN, R.REUVEN, M.SZANTO and A.STERN, "*Residual Stress Distribution in GTA Spot welded Ti6Al4V Disks*",Copy right JCPDS-Iternational Center for Diffraction Data 2006 ISSN 1097-2002 PP195-200.

[5]. D.CAMILLERI and T.G.F GARY*"Computational efficient welding distortion simulation techniques"* Modeling Simulation Material Science Engineering 2006