

## Modeling And Simulation For Thermal Stresses Distrubution In Spot Weldes

Dr. Tammam Salloum\*

(Received 30 / 10 / 2017. Accepted 14 / 2 / 2018)

### □ ABSTRACT □

In this study we are make the modeling and simulation by using finite element method by utilizing program (CATIA V5) to calculate thermal stresses in TIG Spot at different welding currents and different welding times.

These results give better distribution for thermal compressive stresses through depth and diameter of spot weld and we compared this results with others worked in other programs.

**Key words:** Computer Aided Designing (CAD), Spot Weld, Finite Element Method

---

\* Assistant Professor – Industrial Engineering Dep - Mechanical college-University Of Aleppo - Syria

## نمذجة توزيع الاجهادات الحرارية في الوصلات اللحامية

الدكتور تمام سلوم\*

(تاريخ الإيداع 30 / 10 / 2017. قَبْلُ للنشر في 14 / 2 / 2018)

### □ ملخّص □

في هذه الدراسة تم إجراء نمذجة و محاكاة باستخدام طريقة العناصر المنتهية FEM على برنامج CATIA V5 لحساب توزيع الاجهادات الحرارية في وصلة لحامية عند تيارات لحام متغيرة وأزمنة لحام مختلفة وأظهرت النتائج القيم التي يكون عندها أفضل توزيع للإجهادات الحرارية 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:** النمذجة و المحاكاة - عملية اللحام - طريقة العناصر المنتهية - تحليل الإجهادات.

---

\*مدرس - قسم الهندسة الصناعية - كلية الهندسة الميكانيكية- جامعة حلب - سورية.

## مقدمة

لحام القوس الكهربائي هو أحد أهم أنواع اللحام على الإطلاق، ويتم 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 من سلك ويلتحم عند تبريده مكوناً وصلة متينة. حيث أن اللحام هو عملية صهر معدن أو سبيكة بتعريضها لدرجات حرارة عالية تفوق درجة انصهارها ثم تجمد المعدن المنصهر تحت الظروف الطبيعية وقد تحدث إجهادات حرارية في الأجزاء الملحومة عند منطقة اللحام وينتج لدينا إجهادات 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 فشل في الوصلات الملحومة وأحيانا انفصال قطعتي اللحام. أما إذا كانت الإجهادات المتبقية من نوع إجهادات ضغط فإنها تكون مفيدة وتعمل على تحسين خواص الوصلة.

## الدراسات المرجعية

الإجهادات المتبقية هي إجهادات تبقى بعد إزالة السبب الأساسي لحدوث الإجهادات مثل القوى الخارجية والتدرجات الحرارية. تبقى هذه الإجهادات في المقطع العرضي للعنصر حتى بعد زوال المسبب الخارجي. تحدث الإجهادات المتبقية لعدة أسباب تشمل التشوهات غير المرنة والمعالجة الحرارية. الحرارة الناتجة من اللحام قد تسبب تمدد محلي أثناء اللحام إما في المعدن المصهور أو في الأجزاء الملحومة. عندما تبرد الأجزاء الملحومة فإن الأجزاء المبردة تنقلص بتفاوت تاركة إجهادات متبقية.

لقد قدم العديد من الباحثين دراسات عن الإجهادات المتبقية في الوصلات اللحامية ومنها الدراسة التي قام بها (Camilleri) حول محاكاة سطح الدرزة اللحامية باستخدام تحليل النموذج ثنائي البعد والنموذج الثلاثي الأبعاد للثلاثية الحرارية المرنة (thermo – elasto – plastic) وافترض الشروط الحدية المتغيرة من أجل الوصول إلى دقة عالية وقد قارن الإجهاد الطولي المتبقي والتشوه الناتج من أجل كل شرط حدي مع مثيلاتها التجريبية ودرس الاختلافات ومن ثم استنتج أن الوصول إلى نتائج أكثر 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. [1]

قام الباحث (J.Sariel) بدراسة توزيع الإجهادات المتبقية لأقراص من سبيكة (Ti6Al4V) ملحومة بطريقة اللحام النقطي وتم قياس توزيع الإجهادات باستخدام الأشعة السينية وتم استخدام ثلاثة أقراص بسماكات مختلفة (6.5mm، 8.5 mm، 10.5 mm) وأجريت عملية اللحام باستخدام تيارات مختلفة وتبين أن توزيع الإجهادات بالطرق الثلاثة كان متماثلاً مع النتائج التي تم الحصول عليها بالدراسات السابقة وكانت عبارة عن إجهادات شد بالقرب من منطقة الانصهار وتحول تدريجياً إلى إجهادات ضغط عند الابتعاد عن منطقة الانصهار. [2]

قام الباحث (N.Visniakov) بإجراء المحاكاة بطريقة العناصر المنتهية FEM عند لحام الهياكل المعقدة الشكل من سبيكة الألمنيوم سيكون وتم إجراء اللحام بطريقة القوس الكهربائي باستخدام قضبان لحام بقطر 4mm عند ظروف لحام متغيرة من التيار، السرعة، كمية الحرارة الداخلة ودراسة مدى تأثيرها على البنية المجهرية لمنطقة اللحام وكذلك جودة و نوعية اللحام وقد تم قياس توزيع درجات الحرارة عند ثلاث نقاط بالقرب من الحافة 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 والنظرية لا تزيد عن 5%. [3]

قام الباحث (Li Baoqing) بمحاكاة عملية اللحام لسبيكة الالمنيوم 5052 بطريقة العناصر المنتهية FEM واستخدمت طريقة Contact Analysis لدراسة توزيع الضغط عند مساحة التماس عند السطوح الفاصلة ما بين الاجزاء الملحومة أي عند السطوح الفاصلة بين الأقطاب و المشغولة باستخدام برنامج ANSYS وقد بينت نتائج المحاكاة أن توزيع الضغط عند منطقة الاتصال بين المشغولة والأقطاب تعتمد بشكل رئيسي على قطر الاقطاب وسماكة المشغولة ومقدار القوة المسلطة على قضيب اللحام.[4]

قام الباحث (T.Zacharia) محاكاة و نمذجة الإجهادات المتبقية في الوصلات اللحامية للفلوذا و استخدام اللحام النقطي وأجريت عملية تحليل الإجهادات بطريقة العناصر المنتهية FEM ومقارنتها بطريقة Netro Differoetions وقد وجد تطابق جيد في النتائج بين الطريقتين وتبين أن الإجهادات المتبقية الناتجة بالبرنامج الحاسوبي في منطقة الانصهار والمنطقة HAZ كانت أعلى من الإجهادات المقاسة بطريقة Netro Differoetions.[5]

### أهمية البحث وأهدافه:

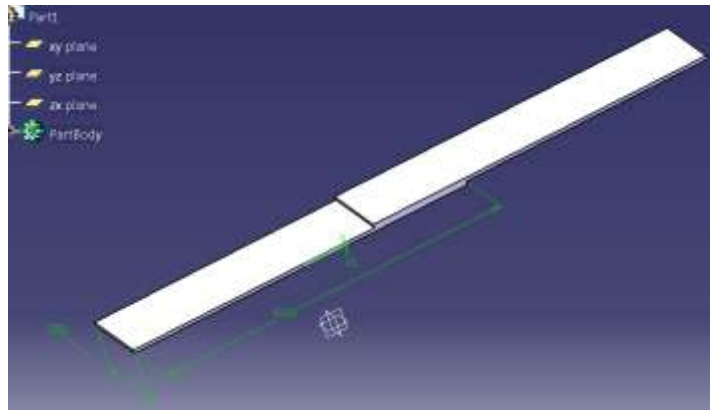
يهدف هذا البحث إلى دراسة توزيع الاجهادات الحرارية باستخدام طريقة العناصر المنتهية في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة لوصلات باستخدام برنامج CATIA V5 ومن ثم دراسة تأثير زمن و تيار اللحام على توزيع الاجهادات الحرارية في الوصلات اللحامية حيث تم اختيار العينات على شكل صفائح بسماكة 1mm لما تتميز به من متانة عالية وقدرة على التشكيل ومقاومة جيدة للتآكل مما يجعلها جيدة الاستعمال في عمليات اللحام مقارنة مع باقي أنواع السبائك عالية المتانة [8] وتم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج CATIA V5 مع نتائج دراسات مرجعية لنفس الموضوع تم اجراؤه باستخدام برامج اخرى

### محاكاة عملية اللحام

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

قمنا برسم القطعتين المراد لحامهما وتم اختيار نوع اللحام تراكبي في البيئة ثلاثية البعد 3D على برنامج

CATIA كما هو مبين بالشكل رقم (1)



الشكل (1) أبعاد القطعتين المراد لحامهما

قمنا بإدخال خواص السبيكة المستخدمة في هذا البحث و يبين الجدول 1 التركيب الكيميائي للسبيكة المدروسة والجدول رقم 2 الخواص الميكانيكية للسبيكة و الجدول رقم 3 الخواص الفيزيائية للسبيكة المستخدمة في هذه الدراسة

الجدول رقم 1 التركيب الكيميائي للسبيكة المدروسة

| العنصر | Si    | Mg   | Fe    | Mn     | Cu   | Cr     | Zn     | Al   |
|--------|-------|------|-------|--------|------|--------|--------|------|
| Wt%    | 0.225 | 2.36 | 0.205 | 0.0032 | 0.05 | 0.3015 | 0.0035 | 97.9 |

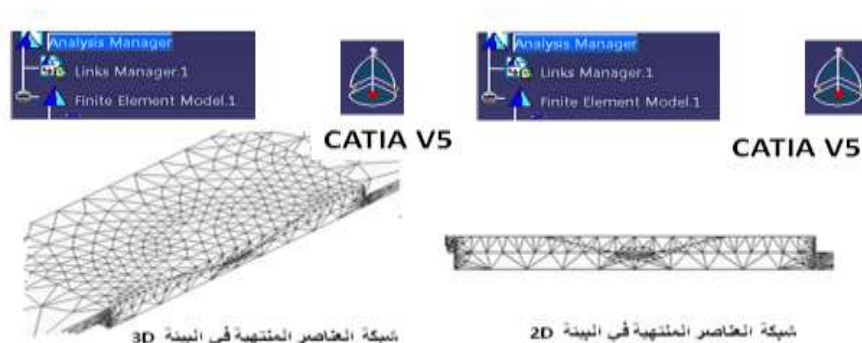
الجدول رقم 2 الخواص الميكانيكية للسبيكة المدروسة

| معامل المرونة<br>E<br>GPa | الجساءة<br>G<br>GPa | اجهاد الشد<br>$\sigma_T$<br>MPa | اجهاد القص<br>T<br>MPa | اجهاد الخضوع<br>$\sigma_y$<br>MPa | المطيلية<br>% $\delta$ | قساوة برينل<br>HB | قساوة فيكرز<br>HV |
|---------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
| 72                        | 27.3                | 196                             | 126                    | 92                                | 26                     | 52                | 52                |

الجدول رقم 3 الخواص الفيزيائية للسبيكة المدروسة

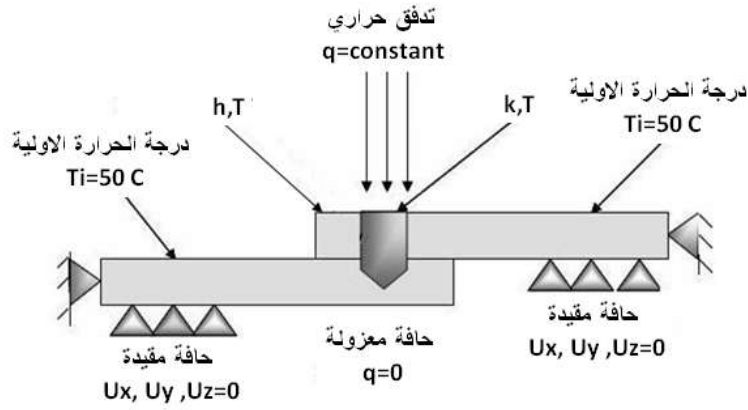
| معامل التوصيل<br>الحراري<br>$\lambda$<br>W/m.k | معامل التمدد<br>الحراري<br>$\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ | السعة الحرارية<br>Cp<br>J/kg.k | درجة التجمد<br>T <sub>so</sub><br>°C | درجة السيولة<br>T <sub>Liq.</sub><br>°C | الكثافة<br>$\rho$<br>Kg/m <sup>3</sup> | نسبة بواسون<br>$\gamma$ |
|--|--|--------------------------------|--------------------------------------|---|--|-------------------------|
| 140  | 24.7   | 904                            | 607                                  | 660                                     | 2880                                   | 0.35                    |

قمنا بعد ذلك بتوليد شبكة العناصر المنتهية حيث إن الهدف الاساسي من التحليل باستخدام العناصر المنتهية هو تشكيل نموذج رياضي للنظام الحقيقي الهندسي حيث أن التحليل يجب أن يتم على النموذج الرياضي الذي تم انشاؤه لتمثيل الخواص الفيزيائية حيث أن توليد النموذج يعني الترتيب الهندسي لعقد النموذج (Nodes) و العناصر (Elements) وعمل الشبكة Mesh ونوعيتها Free Mesh وتم تحديد أربع درجات حرية وهي (Stresses, Ux, Uy, Uz) وتم تحديد حجم صغير للعنصر عند منطقة اللحام لأهمية هذه المنطقة مقارنة مع ما يجاورها وللحصول على دقة عالية لتوزيع الاجهادات. ويوضح الشكل 2 شبكة العناصر المنتهية في البيئتين الثنائية و الثلاثية البعد



الشكل (2) شبكة العناصر المنتهية في البيئتين الثنائية 2D و الثلاثية البعد 3D

قمنا بعد ذلك بإدخال متغيرات اللحام الرئيسية وهي تيارات لحام متزايدة من 80 الى 120 أمبير وازمنة لحام من 5 الى 8 ثانية ثم وضعنا الشروط الحدية على نموذج العناصر المنتهية كما في الشكل 3

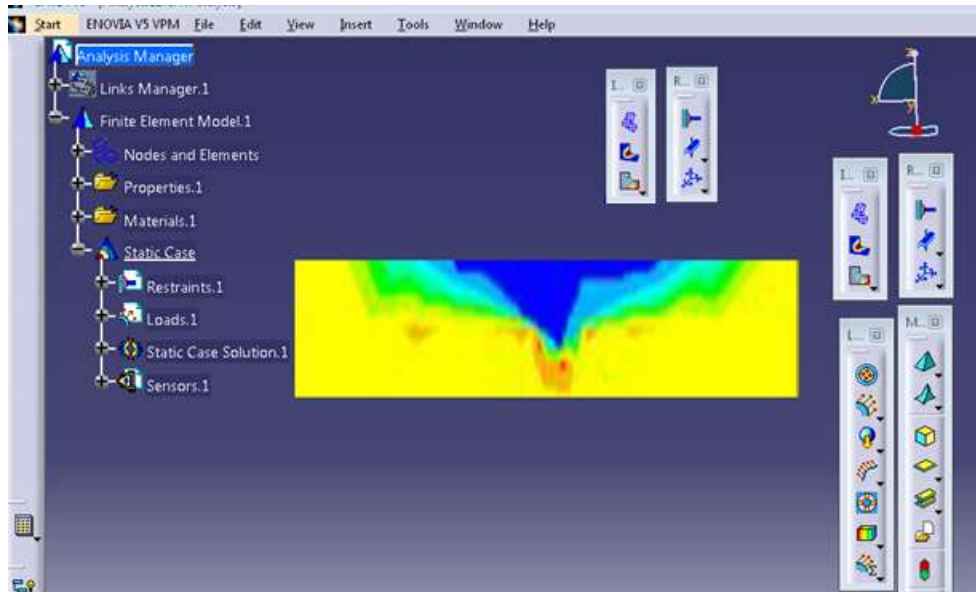


الشكل (3) الشروط الحدية المستخدمة في عملية المحاكاة للنموذج المدروس

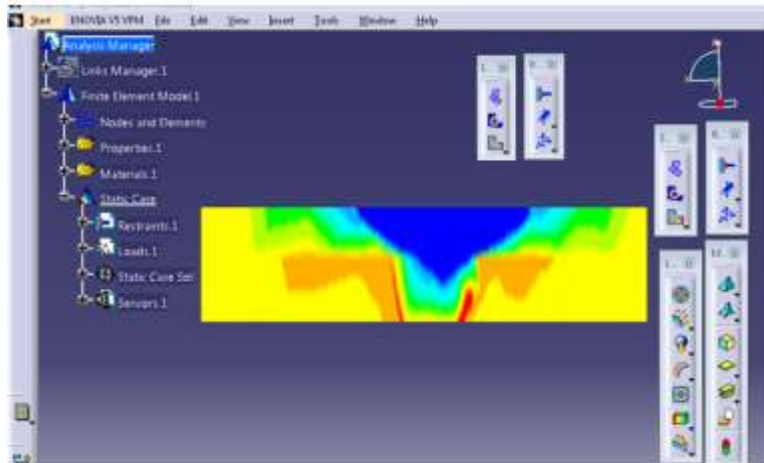
في هذه المرحلة قمنا بتعريف شكل التحليل وهو (Transient) وقد تم تطبيق الحمل الحراري الناتج عن التيار و البدء بحل العناصر المنتهية  
في هذه الخطوة تم عرض نتائج التحليل أي عرض توزيع الاجهادات الحرارية عبر قطر وعمق نقطة اللحام عند تيارات و أزمنة مختلفة.

### النتائج والمناقشة

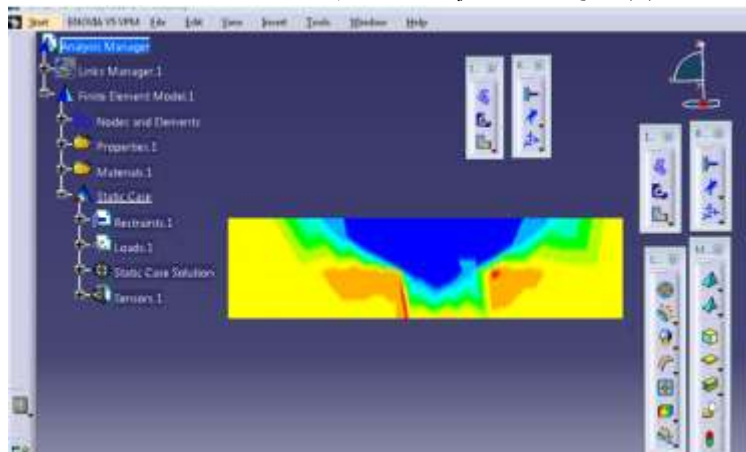
عند زيادة تيار اللحام تزداد كمية الحرارة المتولدة في منطقة اللحام مما يساعد على زيادة معدل صهر المعدن وبالتالي يزداد قطر نقطة اللحام وعمق التغلغل لمنطقة الصهر عبر السطح الفاصل ما بين القطعتين المترابنتين وخلال عملية اللحام يحدث تمدد و تقلص شديدين خلال دورة اللحام الحرارية اذ ترتفع درجة الحرارة اعلى من درجة الانصهار حتى تصل الى  $720\text{C}^\circ$  عند تيار  $120\text{ A}$  وزمن  $6\text{ sec}$  وطول قوس اللحام  $1.8\text{mm}$  وقد ترافق هذه العملية تكون اجهادات حرارية ضاغطة و شادة عبر منطقة اللحام وكذلك عبر سماكة القطعتين وهذا يعني تباين الخواص الميكانوكية و الميكانوكية ما بين منطقة اللحام و المعدن الاساس ومن ثم يؤدي إلى فشل الوصلة بسهولة و قد تؤدي التيارات العالية و الازمنة الطويلة إلى خروج المعدن المنصهر من منطقة اللحام وحدوث تشوهات وعدم انتظام وتمائل شكل قطر منطقة اللحام و يعد تيار و زمن اللحام عاملان مهمان في عملية اللحام وذلك لتأثيرهما الكبير في كمية الحرارة اللازمة لصهر المعدن وتكوين وصلة اللحام وبالتالي تأثيرهما على توزيع الاجهادات الحرارية في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة.



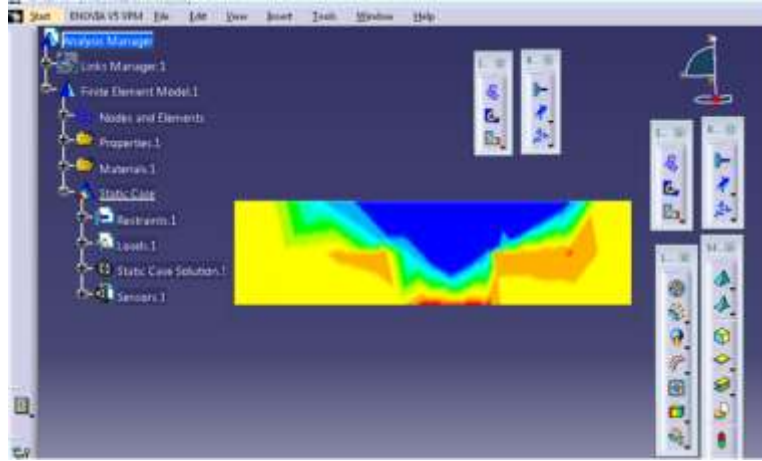
الشكل (4) توزيع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار 80 A وزمن 6sec



الشكل (5) توزيع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار 100 A وزمن 6sec

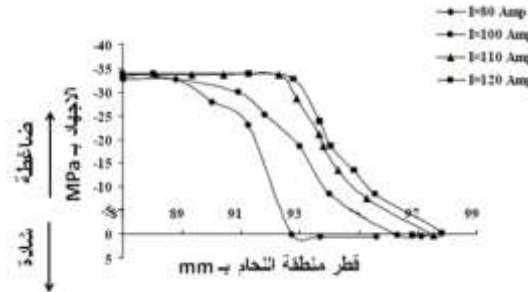


الشكل (6) توزيع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار 110 A وزمن 6sec

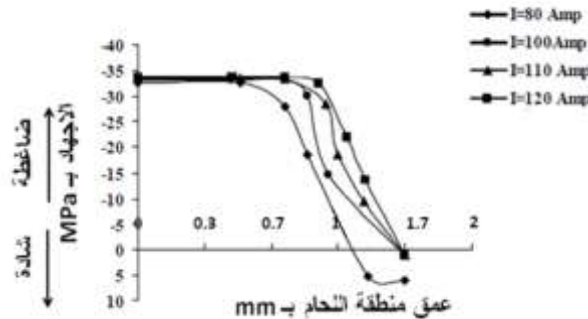


الشكل (7) توزيع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار 120 A وزمن 6sec

أن الأشكال 4,5,6,7 تعبر عن توزيع الاجهادات في منطقة اللحام وفي الصفيحتين المدروستين كما هو مبين في الشكل 3 سابقاً. عند التدقيق في الأشكال 4,5,6,7 عند تيارات تتراوح بين 80-120 A و زمن 6sec وطول قوس 1.8 mm نلاحظ أن الاجهادات الضاغطة تتركز عند منطقة اللحام أي عند المعدن المنصهر لمنطقة اللحام وتزداد قيمة هذه الاجهادات وتنتسح خلال قطر منطقة اللحام بزيادة تيار اللحام في حين تكون إجهادات شد تتركز أسفل منطقة اللحام وكذلك فإن توزيع الاجهادات خلال عمق وصلة اللحام تزداد بزيادة تيار اللحام وصولاً إلى أسفل الصفيحة عند التيارات العالية ويبين الشكل 7 وجود اجهادات ضغط قيمتها 33.8MPa تتركز عند منطقة معدن اللحام و اجهادات شد عند المنطقة المتأثرة بالحرارة إذ تتراوح قيمتها بين 27.8 MPa و 11.7 MPa حيث تم الحصول على هذه القيم من البرنامج كقيم عظمى وقيم صغرى



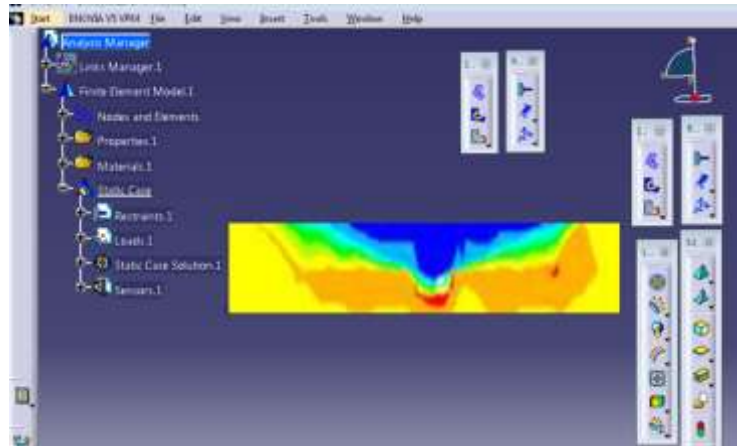
الشكل (8) العلاقة بين توزيع الاجهادات و قطر منطقة اللحام عند زمن 6 sec



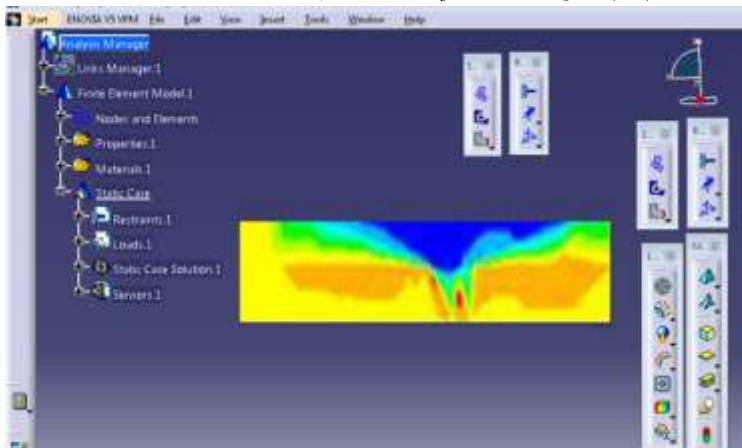
الشكل (9) العلاقة بين توزيع الاجهادات و عمق منطقة اللحام عند زمن 6 sec



اما الشكلين 8 و 9 يوضحان العلاقة البيانية لتوزيع الاجهادات (الشادة و الضاغطة) مع قطر منطقة اللحام وعمق 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

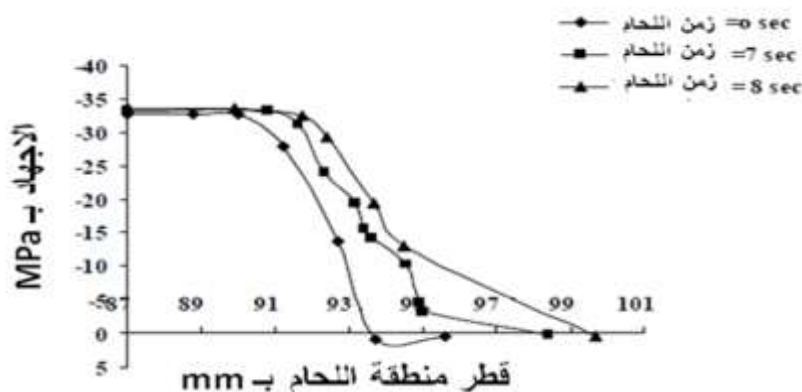


الشكل(10) توزيع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار 80 A وزمن 7sec

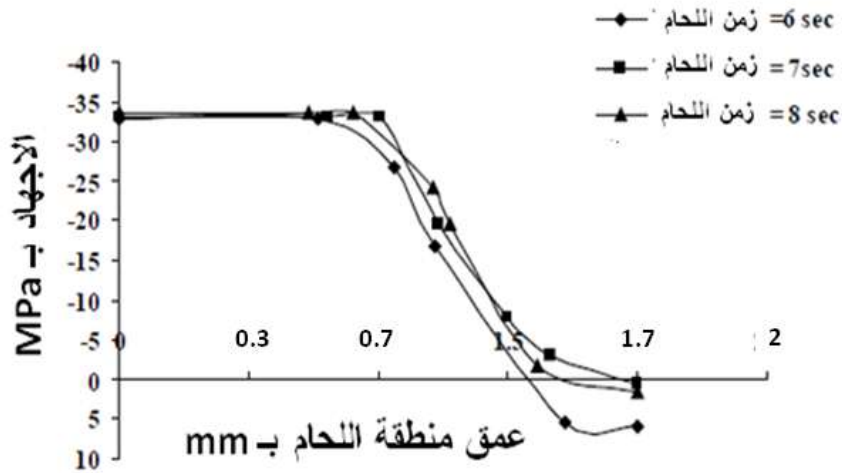


الشكل(11) توزيع الاجهادات في منطقة اللحام عند تيار 80 A وزمن 8sec

يوضح الشكلان 10 و 11 توزيع الاجهادات عند زمن 7, 8 sec عند تيار ثابت قيمته 80 A حيث يلاحظ أنه عند زيادة زمن اللحام يؤثر على زيادة تشتت في توزيع الإجهادات وعدم انتظامها و يبين الشكلان 12 و 13 العلاقة البيانية لتوزيع الإجهادات خلال قطر منطقة اللحام وسماكة اللحام على التوالي ويلاحظ أن زيادة زمن اللحام يؤثر على زيادة توزيع الاجهادات خلال قطر وعمق اللحام



الشكل(12) العلاقة بين توزيع الاجهادات و قطر منطقة اللحام عند تيار 80A



الشكل(13) العلاقة بين توزيع الاجهادات و عمق منطقة اللحام عند تيار 80A

### الاستنتاجات والتوصيات

إن أعلى قيمة لإجهادات الضغط وصلت لها عند مركز منطقة اللحام عند لحامها بتيار 110 A وزمن 6sec والتي هي أفضل توزيع لإجهادات الضغط خلال قطر وعمق منطقة اللحام النقطي 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

### المراجع

- [1]. D.CAMILLERI and T.G.F GARY "Computational efficient welding distortion simulation techniques" Modeling Simulation Material Science Engineering 2006
- [2]. J.SARIEL, L.DAHAN, R.REUVEN, M.SZANTO and A.STERN, "Residual Stress Distribution in GTA Spot welded Ti6Al4V Disks", Copy right JCPDS-International Center for Diffraction Data 2006 ISSN 1097-2002 PP195-200.
- [3]. N.VISNIAKOV, D.SEEKATUROVIENE, O.CERNASEJUS, "Modeling of Thermal Processes in A Dissymmetrical Welded Cast Aluminum Desingns", 4Pth International DAAAM Conference 29-30th April 2004, PP223-226.
- [4]. Li-BAOQING, SHAN PING LIAN, Hu SHENG SUN, " Study of Contact Behavior in the Pre- Squeeze Stage of Aluminum Alloy Resistance Spot Welding", 2002
- [5]. 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
- [6]. R. NANDAN, G.G. ROY, T. J. LIENERT and T. DEBROY, "Numerical modelling of 3D plastic flow and heat transfer during friction stir welding of stainless steel", Science and Technology of Welding and Joining 2006, 552-537.
- [7]. M.B. BILGIN, C. MERAN, "The effect of tool rotational and traverse speed on friction stir weldability of AISI 430 ferritic stainless steels", Materials&Design, 2012, 376-383.