

## Digital modeling to extrapolate the failure of annular welded joint exposed to the influence of a gas pressure in stability and changeable operational circumstances

Dr. Raid Alnajjar<sup>1</sup>  
Tarek Hussein<sup>2</sup>

(Received 27 / 3 / 2017. Accepted 29 / 8 / 2017)

### □ ABSTRACT □

This research submits an analyzed study that describes the reasons of failure happened in welded joints which are subjected to effects of pressure forces of gas, that flows through carbon-steel pipe which has connection with that joints, and its induced vibration which may lead to weakening it at its special Heat Affected Zone that be considered one of the most undesirable vestiges resulting from welding procedure and previous failure had been happened through it.

We had adopted numerical modeling by using program (ANSYS.14) to analyze the stresses affecting the welded joint in two distinct issues, static and dynamic pressure, which led to a set of conclusions that could be important notes to basics of a new design, can be used as a preventive procedure to limit the effect of the causes of the collapse.

**Key words:** welded joints, HAZ, vibration, stress, numerical modeling.

---

<sup>1</sup>Assistant Professor, , Department of Design And Production Engineering, Faculty Of Mechanical and Electrical Engineering , Tishreen University , Lattakia , Syria .

<sup>2</sup> Postgraduate Student, Department of Design And Production Engineering, Faculty Of Mechanical and Electrical Engineering , Tishreen University , Lattakia , Syria .

## النمذجة الرقمية لاستقرار انهيار وصلة لحامية حلقيّة معرضة لتأثير ضغط غاز بحالتي الثبات والتغير

د. راند النجار 3

طارق حسين 4

(تاريخ الإيداع 21 / 6 / 2016. قُبِلَ للنشر في 21 / 1 / 2017)

### □ ملخّص □

يتضمن هذا البحث دراسة تحليلية لتبيان أسباب الانهيار الحاصل في الوصلات للحامية الخاضعة لتأثير قوى ضغط الغاز المار خلال أنبوب ترتبط به هذه الوصلات والتي ينتج عنها نوعاً من الاهتزازات التي تؤدي بدورها إلى إجهادها في المنطقة المتأثرة حرارياً منها والتي تعتبر أحد مخلفات عملية اللحام الأكبر تأثيراً على حالة الفشل الذي تعرضت له الوصلة .

تم اعتماد طريقة النمذجة الرقمية باستخدام برنامج (ANSYS.ver14) لتحليل الإجهادات المؤثرة في الوصلة بحالتي الضغط الستاتيكي والديناميكي الأمر الذي قاد إلى مجموعة من الاستنتاجات التي أمكن من خلالها الاستدلال لأساسيات تصميم جديد يمكن استخدامه كإجراء وقائي يحد من تأثير أسباب الانهيار التي أدت إلى فشل الوصلة للحامية السابقة .

**الكلمات المفتاحية :** الوصلات للحامية، المنطقة المتأثرة حرارياً ، اهتزازات، إجهاد ، نمذجة رقمية .

3 أستاذ مساعد - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سوريا - اللاذقية.  
4 طالب دراسات عليا ( ماجستير ) - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سوريا - اللاذقية

**مقدمة:**

تتضمن معامل انتاج الغاز العديد من المواضيع الهامة للدراسة نتيجة تنوع التجهيزات المستخدمة في الإنتاج وتوافر كم من المسائل الهندسية وما ينتج عنها من مشكلات تعتبر في بعض الأحيان مكلفة اقتصادياً وبشراً وخاصة فيما يتعلق بقضايا التسربات الغازية التي تُحاط بدرجة عالية من السلامة المهنية وذلك لتجنب أي ضرر محتمل بالدرجة الأولى للعاملين ومن ثم للمنشأة .

تعتبر الوصلات اللحامية ذات المقطع الحلقي من أهم التركيبات العملية المستخدمة في الصناعات الغازية والنفطية من أجل الربط بين الصمامات و الأنابيب وبين تركيبات الأنابيب ، وتعتبر خيار تصميمي مرغوب به من أجل تأمين إجراء وقائي فعّال ضد التسرب بالإضافة إلى المتانة الهيكلية الكبيرة ، ولكن لهذه الأهمية أثر سلبي يتمثل بعدم الاستخدام الصحيح لهذا النوع من الوصل انطلاقاً من طريقة التصميم مروراً بالبارامترات المرتبطة بعملية اللحام وانتهاءً بتغير ظروف التشغيل التي تؤثر بشكل كبير وتراكمي على أداء الوصلة خلال عملية التشغيل ، الأمر الذي يقود إلى تغير الحالة الإجهادية المؤثرة عليها وإضعافها بمرور الزمن وبالتالي يخلق مشكلة حقيقية تتمثل بحدوث تسربات غازية قد تؤدي إلى نتائج كارثية في موقع العمل . تعد الانهيارات (الكسور) في مناطق اللحام من أدق القضايا التي يجب أن تولى اهتمام أكثر تفصيلاً للبحث في الأسباب المؤدية إليها ومحاولة تجنب حدوثها أثناء عمليات التشغيل اللاحقة ، ولهذا السبب تم اختيار دراسة نوع محدد من الوصلات اللحامية المستخدمة للربط بين صمامات التنفيس وأنابيب الغاز والتي حدث عندها انهيار متكرر مرتبط بأسلوب تصميمي وظروف تشغيلية خاصة .

**أهمية البحث و أهدافه :****\_ أهمية البحث :**

تكمن أهمية البحث في نقطتين أساسيتين :

1- دراسة الوصلة اللحامية بهدف رفع كفاءتها ذلك لأن الآثار السلبية الناتجة عن هذه المشكلة تكمن في نشوء كسور ضمن هذه الوصلات وتشكيلها مصادراً لتسرب غازي بسيط يعد بدايةً لتسرب كبير يصعب ضبطه ، قد يؤدي في حال وجود أي مصدر للاشتعال إلى حدوث انفجار كارثي يؤدي بالمنشأة .

2- الكلفة الاقتصادية للتوقف الحاصل في المنشأة لفترة زمنية تتمثل بطرح كميات الغاز الموجودة ضمن وحدات المعمل وحرقتها عن طريق الشعلة بما يقارب (0.2) مليون قدم مكعب من الغاز (وهي الكمية المقدرة من قبل قسم العمليات في معمل معالجة الغاز الذي حدثت فيه المشكلة) قبل البدء بعمليات الصيانة اللاحقة .

**- هدف البحث:**

دراسة الحالة الإجهادية المؤثرة في الوصلة اللحامية المطلوبة والمتغيرة تحت ظروف التشغيل المختلفة بهدف الوصول لمجموعة من الاستنتاجات التي تمكنا من تقديم مُقترح يهدف إلى رفع كفاءتها مع إمكانية اختباره تحت ظروف تشغيلية مماثلة لواقع العمل .

**- دراسة مرجعية تحليلية لاستقراء أسباب انهيار الوصلة اللحامية :**

عند القيام بإجراء تحليلي لانهيار الوصلة اللحامية يجب الأخذ بعين الاعتبار عدة نقاط تعتبر هامة لاستقراء أسباب الفشل [1] والتي ترتبط بظروف العمل والتشكيل لهذه الوصلة ، حيث يمثل الإسناد المرجعي رقم (1) تقريراً أعد

من قبل خبير في قضايا الجودة المتعلقة بمختلف أنواع الوصلات للحامية في معامل النفط والغاز، حيث أنه وبإجراء فحص بصري للعينة المكسورة نجد أنها ممزقة إلى قسمين في المنطقة المتأثرة بحرارة اللحام أو ما تسمى ( Heat Affected Zone) كما هو مبين بالشكل (1) :



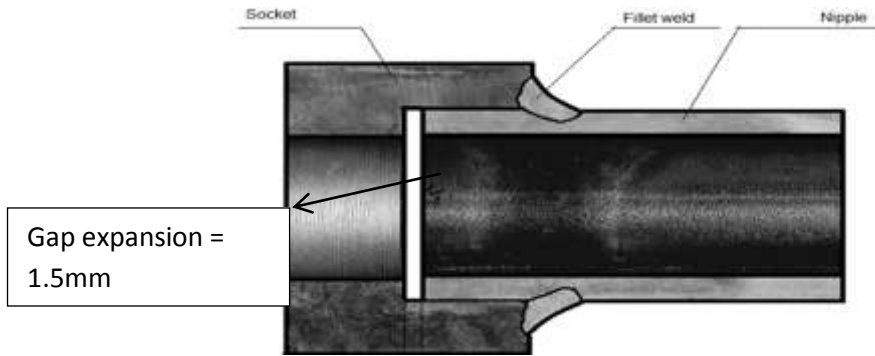
الشكل (1) الوصلة المكسورة

وأظهر المقطع العرضي للأنبوب وجود عيوب تصنيعية تمثلت بعدم تجانس سماكة هذا المقطع كما هو مبين بالشكل (2) ويعتبر هذا الأمر مؤثراً في إضعاف مقاومة معدن الوصلة للإجهادات أثناء التشغيل .



الشكل (2) مقطع الكسر الخاص بالوصلة المدروسة

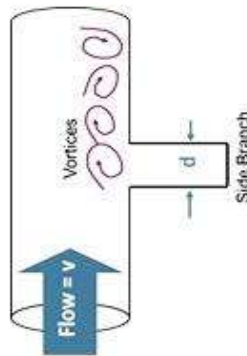
بالنسبة للتصميم العام للوصلة وأسلوب تركيبها قبل إجراء اللحام ، يمكننا أن نعرف بأن الوصلة للحامية المدروسة هي عبارة عن أنبوب ذي قطر صغير ( $3/4$ ) أو ما يسمى ب(Nipple) يتصل مع صمام تنفيس كروي عن طريق اللحام ومتداخل مع قطعة ثانية على شكل مأخذ تسمى (Socket) التي تتصل بأنبوب الغاز الرئيسي أيضاً عن طريق اللحام مع وجود ترك فراغ (Gap expansion) بين النهاية الحرة ل(Nipple) والسطح الداخلي للمأخذ والذي يُطلب تأمينه من خلال نُظْم ومقاييس عالمية حيث حددت المواصفة الاميركية (ANSI/ASME B31.3 Code) مقدار هذا الفراغ المسموح به بما يعادل تقريباً (1.5mm) وذلك للحد من الإجهادات المتبقية التي تتركز عند جذر اللحام والتي من الممكن أن تحدث أثناء تصلب معدن اللحام والسماح بحدوث تمدد للأجزاء المتداخلة حيث يتم الربط بين القطعتين عن طريق اللحام بالكترود التتغستين بوجود غاز حامل(غاز الأرغون). وُجد خلال الدراسة التحليلية للوصلة المكسورة أن العيب في التركيب كان في عدم تأمين الفراغ السابق المبين في الشكل (3)، وهنا لا بد من الإشارة إلى أهمية هذا الفراغ بالنسبة لوصلة لحامية من هذا النوع ، حيث أنه نتيجة لعملية اللحام فإن الأنبوب يتعرض لدرجات حرارة مدخلة عالية (فيض حراري) مما يؤدي إلى نشوء إجهادات حرارية (إجهادات شاده متبقية ) غالباً ما تكون مرتبطة بحدوث تغيير بنيوي غير مرغوب به يتركز في المنطقة المتأثرة حرارياً.



الشكل (3) الوصلة للحامية المكونة من ال socket و nipple مع الفراغ المتوضع بينهما

وضمن هذه الظروف وفي حال عدم تشكل الفراغ السابق المذكور، فإن هذا الأمر سيؤدي إلى نشوء إجهادات تضاف إلى الإجهادات الحرارية المتبقية التي تشكلت عند إجراء اللحام وبدورها سوف تساهم في تمدد حراري منتظم (نمو هذه الإجهادات) ينتشر ضمن الأنبوب، وبالتالي فإن أي تمدد حراري زائد مؤثر في السطح الداخلي للمأخذ سيتضمن إجهاد قص عال سيؤثر في المنطقة اللحامية وسيكون تأثيره أعلى في المنطقة التالية لها وهي منطقة (HAZ) باعتبارها الأضعف بين مناطق الوصلة الأخرى [2]، وبالتالي فإنه وبالاعتماد على كمية وزمن تأثير الإجهادات الحرارية المتشكلة ضمن الوصلة فإن عمر التعب لها سيزداد أو سيتناقص [3]. من الجوانب المهمة التي يجب أن تعطى الاهتمام المطلوب هو دراسة تأثير الاهتزازات المُنْتَهة نتيجة لاضطراب جريان الغاز خلال الأنبوب الغازي [4] حيث أن هذه الاهتزازات قد تؤدي إلى تسريع انهيار الوصلة.

في الشكل (4) لدينا تمثيل لحالتنا المدروسة عند اضطراب جريان الغاز ضمن أنبوب إسطواني الشكل :



الشكل (4) تمثيل جريان الغاز في الأنبوب الذي ترتبط به الوصلة للحامية المدروسة

حيث أن الفرع الجانبي المتصل بالأنبوب الرئيسي للغاز (side branch) يمثل الوصلة اللحامية مع ملحقاتها وهنا يجب أن يتم الأخذ بعين الاعتبار بأن قطر الفرع المتصل بالأنبوب يجب ان يحقق المتراحة التالية (1) :

$$D_{\text{branch}} < 1/(2.7 \div 3) D_{\text{pipe}} \quad (1)$$

حيث :

$D_{\text{branch}}$  = قطر الفرع الموصول مع الأنبوب الرئيسي والذي يمثل قطر ال (Nipple) ويقدر بالإنش.

$D_{\text{pipe}}$  = قطر الأنبوب الرئيسي ويقدر بالإنش.

يعتبر الشكل (4) حالة تصميمية تستخدم في أنظمة تدفق الغاز ذي السرعات العالية يحدث خلالها تغير في التدفق (نتيجة عوامل مرتبطة بظروف التشغيل) ينتج عنه حركة دوامية (تيارات دوامية) تسبب نوع من الإثارة الحركية لجزيئات المائع (الغاز في حالتنا المدروسة) في منطقة الفرع الجانبي المتصل بالأنبوب الرئيسي للغاز [5]. إن هذا

النوع من الظواهر سينشئ عنه نبضات غازية ذات ضغط عال(والذي يمثل البارامتر الأساسي المتغير بالنسبة للحالة المدروسة) وذلك عندما يتزامن تردد الاهتزاز الناشئ عن اضطراب الجريان مع التردد الطبيعي للفرع ( الوصلة المدروسة) ، وهذا التفاعل ما بين الترددتين سيؤدي إلى اهتزاز الوصلة مع احتمالية فشلها عند مناطق الضعف فيها مع مرور الزمن وتكرار حالة التحميل الضغطية الحاصلة . عندما يحصل تداخل بين هيكل الأنبوب و وسيط التشغيل (الغاز) بمعنى (إن جدران الأنبوب ستؤثر على الغاز وفي نفس الوقت سيؤثر هذا الغاز على الجدران الداخلية للأنبوب) سنتج ظواهر معقدة تعتمد على مقدار التأثير المتبادل (قوة التداخل) مسببة بتشكيل محصلة قوى  $(W_{x,t})$  ذات تأثير واضح في الخصائص الدينامية لهيكل الأنبوب نتيجة الاهتزازات الناتجة عن حركة المائع [6] وهذه القوى على نوعين قوى الضغط الناتجة عن تأثير ضغط الغاز المار والتغير في التدفق وتؤدي إلى انحناء غير مستقر، والنوع الثاني هو قوى الدوران الناتجة عن دوران جزيء المائع اذ يكون تأثيرها مزدوجاً للزمن والموقع ويمكن تمثيل هذه القوى بالمعادلة (2) والتي تم استنتاجها من معادلة الحركة العامة للاهتزاز القسري لأنبوب ينقل مائعاً يحتوي على حاجز [7] والغير محمد بالاعتماد على نظرية (Beam Theory) وبإهمال التشوه القصي (Shear Deformation) وتأثير عزم القصور الذاتي الدوار (Rotatory Inertia):

$$(2) \quad W(x,t) = (m_f \cdot v_f^2 + PA_f) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + (2m_f v_f) \frac{\partial y}{\partial x \partial t}$$

حيث :

$m_f$  : كتلة مائع التشغيل (الغاز) لكل واحدة طول وتقدر ب kg/m .

$v_f$  : سرعة الغاز وتقدر ب m/s .

$P$  : ضغط الغاز  $(N/m^2)$  .

$A_f$  : مساحة مقطع جريان المائع  $(m^2)$  .

وبحلبها يمكن حساب قوى الغاز المؤثرة في معادلة الحركة للاهتزاز القسري لأنبوب ينقل مائعاً حيث تعتبر الاهتزازات حرة عندما  $(W_{x,t})$  تساوي صفراً.

وكنتيجه لهذه الدراسة التحليلية تمكنا من تحديد ماهي القوى المؤثرة في الوصلة للحامية المدروسة والتي سنتمكن من خلال معرفتها من إجراء نمذجة رقمية دقيقة لمعرفة مدى تأثير هذه القوى على الوصلة للحامية .

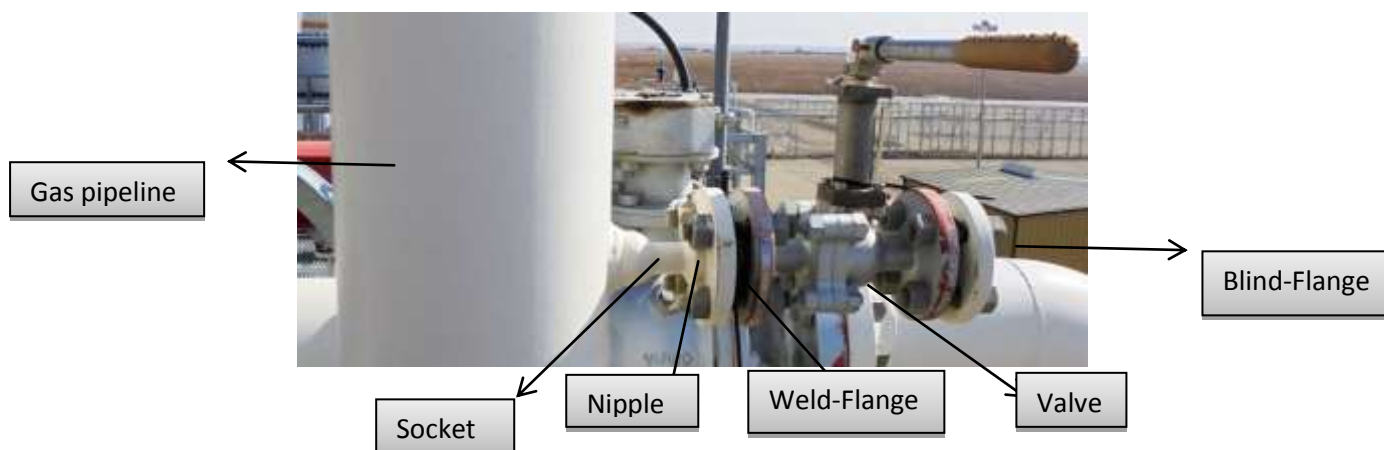
### طرائق البحث ومواده:

سيتم خلال هذا البحث دراسة تأثير ضغط الغاز كبارامتر أساسي مؤثر في الظاهرة المدروسة على الوصلة للحامية وذلك بالاستعانة بالنمذجة الرقمية باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM)، حيث يتم دراسة المتغيرات وإيجاد قيمها على أطراف و داخل العناصر بالاستفادة من توابع التقريب. يتم تقريب الحل في مناطق خاصة من العناصر تدعى العقد، ومن ثم باستخدام نظام معادلات جبرية مناسبة ليتم تقريب الحل في بقية مناطق العنصر بالاعتماد على الحلول العقدية. تمت النمذجة الرقمية باستخدام برنامج ANSYS العالمي الذي يعتمد طريقة العناصر المنتهية.

### خطوات النمذجة الرقمية :

1-تشكيل نموذج هندسي ثلاثي الأبعاد للجملّة المدروسة : تتضمن هذه الجملة الأجزاء التالية بالتتابع :

(Socket, Nipple, Weld-Flange , Valve and Blind-Flange) كما في الشكل (5) :

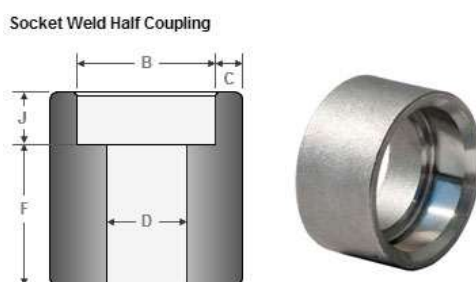


الشكل (5)

وفيما يلي توضيح لبعض التصاميم الخاصة ببعض أجزاء النموذج والتي تم الاستفادة منها أثناء تشكيل التصميم الثلاثي الأبعاد علماً أن هذه التصاميم متطابقة مع المواصفات المطلوب تواجدها في قطع التصميم الفعلي وهي كالتالي :

**1-1- المأخذ (socket) :** يمثل الشكل (6) الرسم الهندسي لها مع جدول الأبعاد الضرورية المطلوبة للرسم

الجدول (1) كما في التالي :



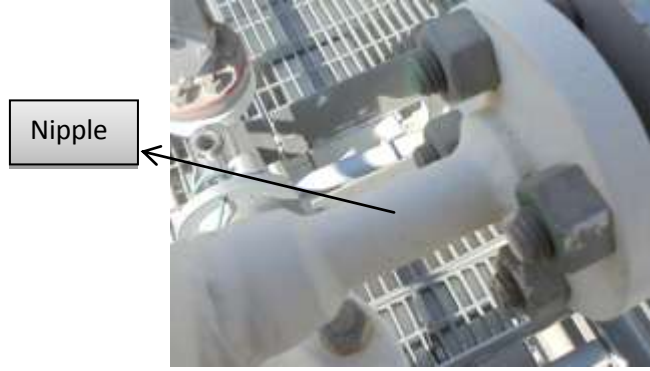
الشكل (6) الرسم الهندسي للمأخذ

الجدول (1) أبعاد المأخذ المطلوبة لرسم التصميم الثلاثي الأبعاد

Socket weld half couplings - NPS ½ - 2" – 6000LBS – ASME B16.11					
NPS/inch	B/mm	J/mm	D/mm	C/mm	F/mm
3/4	27.30	13	16.3	6.95	23.5

**2-1- الأنبوب ذو القطر الصغير (nipple) :**

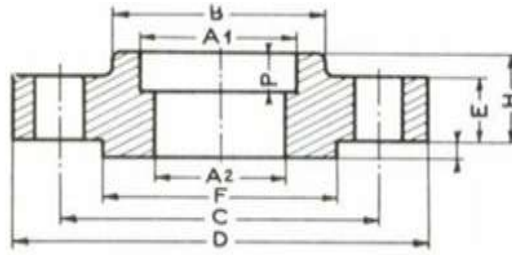
عبارة عن انبوب يحمل المواصفات (D=3/4" – L=100mm – t= 5.5mm) ، مصنوع من الفولاذ الكربوني ويتمتع بنهاية مستوية من الجانبين وجاء هذا التوصيف متناسباً مع المواصفة الأمريكية (ASME B36.10) كما في الشكل (7) :



الشكل (7) يمثل قطعة الـ nipple المشار إليها كجزء أساسي من الوصلة للحامية

### 3-1- الشفة للحامية ذات المآخذ ( socket weld flange ) :

وهي قطعة ميكانيكية تستخدم كوصل بين الصمام الغازي والأنبوب ذي القطر الصغير المسمى بـ (nipple) وتستخدم طريقتين للربط بوجود هذه القطعة بالنسبة للجزأين المذكورين ، حيث يستخدم لحام من جهة الـ nipple و براغي شد مع الشفة الخاصة بالصمام الغازي . تعتبر هذه القطعة جزءاً غير عاملاً (مؤثراً) بالنسبة للدراسة كونها لا تتعرض لأي نوع من التأثير ووجودها فقط يقتصر على زيادة الكتلة (الوزن) المرتبطة بالوصلة للحامية المدروسة والشكل (8) يوضح الرسم التصميمي الهندسي للقطعة مع جدول الأبعاد الأساسية المطلوبة للرسم الجدول (2) :



الشكل (8) الرسم التصميمي الهندسي للشفة للحامية

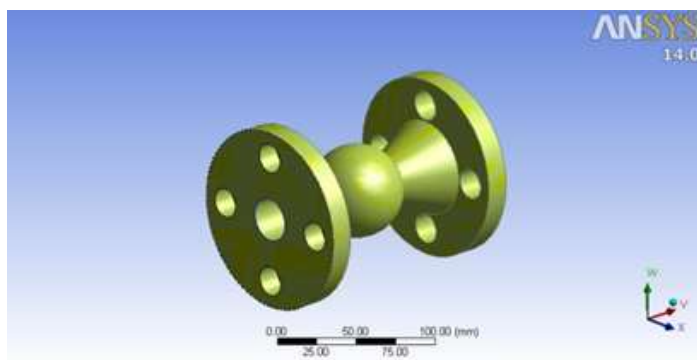
الجدول (2) يمثل الأبعاد الأساسية للشفة للحامية

Nominal Bore /inch	mm						Drilling/mm		
	>Dia. (D)	Thick. (E)	Dia. (F)	Dia. (B)	Dia. (A)	Height1 (H)	Nbr	Holes	Dia. (C)
3/4	115	15.9	48	42.92	27.7	25	4	19.05	82.6

### 4-1- صمام التنفيس (تخفيض الضغط) الكروي (ball vent valve) :

نتيجة لكثرة التفاصيل الغير ضرورية في إبراز شكل الصمام الفعلي والغير مؤثرة على الدراسة والتي تؤدي إلى تعقيد الحل ، تم اعتماد تصميم مبسط للصمام مقارب للشكل الفعلي له بكتلة معينة (مطابقة للكتلة الفعلية والتي تقدر بـ 8.5 Kg) وكرة كاملة بقطر (20mm) مع شفاه (flanges) بأقطار مطابقة لكلاً من الشفة للحامية ذات المآخذ و الشفة العمياء ومن مادة تصنيع من نوع (C.I/C.S/SS304/SS316) وقيمة ضغطية مساوية لـ (42 bar) وذلك حسب الرمز القياسي (API602) لصمامات الفولاذ الكربوني المستخدمة في معامل النفط والغاز والصادرة عن معهد البترول الأمريكي كما في الشكل (9)



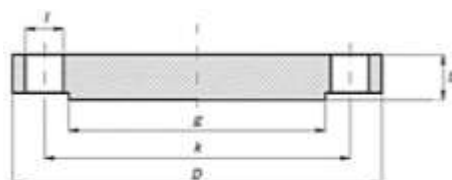


الشكل (9) تصميم ثلاثي الأبعاد للوصام المطلوب

### 1-5- الشفة العمياء (blind flange) :

وهي القطعة الأخيرة الملحقة في التصميم والتي يتم استخدامها لإغلاق الطرف الثاني من وصام التنفيس

الكروي كما الشكل (10) :



الشكل (10) الرسم التصميمي الهندسي للشفة العمياء

يوضح الجدول (3) كافة الأبعاد الضرورية المطلوبة للرسم ضمن برنامج ANSYS Ver.14 وتقدر ب

:(mm)

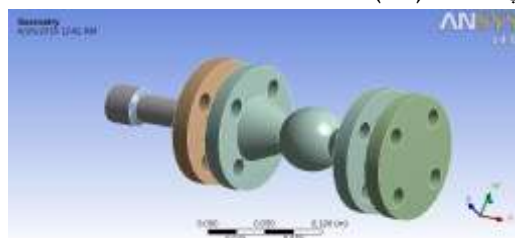
الجدول (3): الأبعاد الأساسية للشفة العمياء

ANSI/ASME/ASA B16.5 150lb/sq.in. Flange BLIND-RF							
ø	D	b	g	k	Holes	l	Kg.
1/2"	88,9	11,1	34,9	60,3	4	15,9	0,400
3/4"	98,4	12,7	42,9	69,8	4	15,9	0,700
1"	107,9	14,3	50,8	79,4	4	15,9	0,900
1 1/4"	117,5	15,9	63,5	88,9	4	15,9	1,300
1 1/2"	127,0	17,5	73,0	98,4	4	15,9	1,600
2"	152,4	19,0	92,1	120,6	4	19,0	2,600

\_ بعد اعتماد الرسومات الهندسية الخاصة بالقطع المكونة للجملة بمقياس رسم غير مصغر مُنقذً بالأبعاد

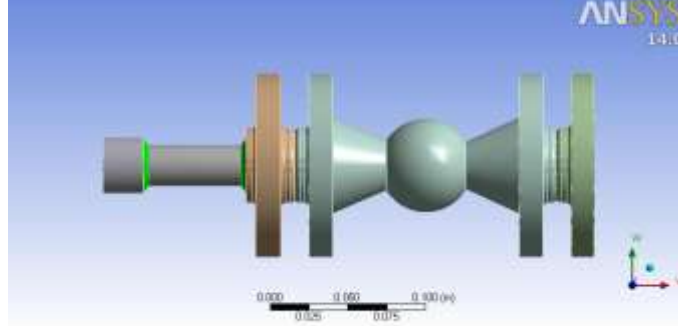
الحقيقية للقطع وإدخال المواصفات والخواص الميكانيكية تم الحصول على النموذج الهندسي الممثل للجملة المدروسة

التي حصل عندها انهيار وذلك كما في الشكل (11) :



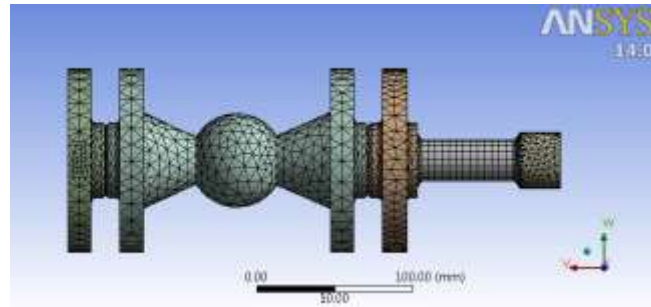
الشكل (11) النموذج الهندسي للتصميم المعرض سابقاً للانهيار وفق الأبعاد المعتمدة من قبل هيئة التصنيف الأمريكية ASME

يبين الشكل (12) مناطق اللحام الملونة باللون الأخضر و التي ستكون محط تركيز الدراسة باعتبارها عموماً نقاط ضعف و تتركز إجهادات كما تشير الدراسات المرجعية السابقة ، أما بالنسبة لبقية الأجزاء تم افتراض اتصال مع بعضها عن طريق براغي (screws) مثبتة فيما بينها .



الشكل (12) مناطق اللحام في جملة الصمام

2- **تشكيل شبكة العناصر (Mesh)** : يجب تقسيم النموذج المدروس إلى جملة عناصر مناسبة من أجل تجهيزها للحل الرقمي ، حيث تم تشكيل شبكة باستخدام عناصر هرمية رباعية العقد مؤلفة من 16233 عنصر و 31264 عقدة ، يبين الشكل (13) الشبكة العنصرية للنموذج المدروس كما يظهر تنعيم الشبكة في بعض المناطق الحساسة كنقاط الاتصال و اللحام للحصول على أفضل دقة ممكنة للنتائج بأقل وقت ممكن للمحاسبات.



الشكل (13) الشبكة العنصرية للنموذج الهندسي

### 3- تنظيم إعدادات الحل الرقمي :

في هذه المرحلة يتم تنظيم إعدادات الحل الرقمي و وضع الشروط الحدية و القوى المؤثرة على جملة الصمام الغازي وفق الخطوات و الفرضيات التالية :

1- تمت الاستعاضة عن ضغط الغاز على السطوح الداخلية لجملة الصمام بقوة ضغط مباشرة عمودية على الأسطح.

2- دراسة ضغط الغاز على جملة الصمام بشكل استاتيكي ثابت مع الزمن في حالة العمل الطبيعية للجملة لأن البيانات الحلقية تشير إلى استقرار قيمة ضغط الغاز ضمن الجملة على قيمة وسطية حوالي 36 بار طيلة يوم عمل اعتيادي .

3- دراسة التصميم في حالة تفريغ الغاز بشكل تابع للزمن بما يتناسب مع القراءات الحلقية.

4- تمت الاستعاضة عن البراغي المثبتة لأجزاء الجملة بقوى مكافئة توثق القطع بالنسبة إلى بعضها دون التأثير على دقة الحل.

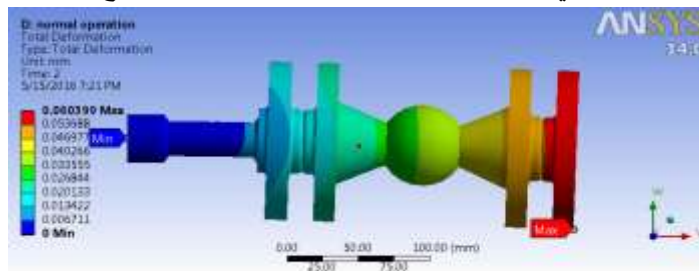
- 5- تم اعتبار نقطة اتصال جملة الصمام بأنبوب الغاز الرئيسي نقطة توثيق كامل للجملة.  
 6- تم إدخال تسارع الجاذبية الأرضية على الجملة لحساب تأثير كتلة أجزاء الجملة المعلقة في الهواء.  
 7- تم إدخال سلوك المواد غير الخطي في الحساب لضمان نمذجة سلوك الجملة في حال وصلت التشوهات في الجملة إلى حد اللدونة .

## النتائج والمناقشة :

### 1- استعراض نتائج الحل الرقمي :

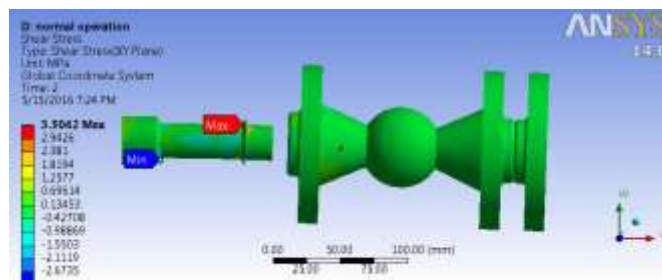
- 1-1- الحالة الأولى :** حالة محاكاة العمل الطبيعي للجملة تحت تأثير ضغط ثابت . في هذه الحالة سنستعرض تأثير الضغط الداخلي للغاز على الجملة و تغير الشكل و الإجهادات و التشوهات الناتجة عنه.  
**1-1-1- تأثير الضغط الثابت على تغير الشكل للجملة :**

يظهر الشكل (14) تغير الجملة تحت تأثير الكتلة الذاتية للأجزاء المعلقة في الهواء مع تأثير ضغط ثابت 36 بار . حيث نلاحظ أن تغير الشكل الأعظمي للجملة جاء من مرتبة 0.06 mm و يتوضع عند Blind-Flange .



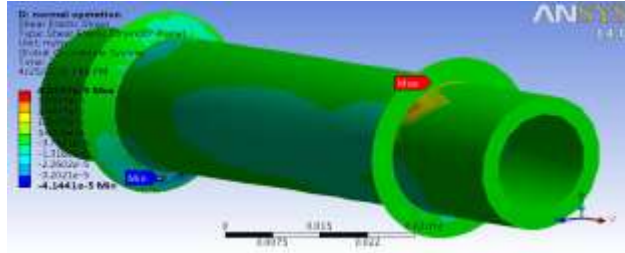
الشكل (14)

- 1-1-2- تأثير الضغط الثابت في تشكيل إجهادات قص وتشوه قصي في بعض مناطق الجملة :**  
 يُظهر الشكل (15) إجهادات القص المؤثرة على الجملة أثناء العمل الطبيعي ، حيث نلاحظ بأن القيم العظمى لإجهادات القص تتوضع في مناطق اللحام بين (Nipple-Socket) و (Nipple-Weld flange) مما يجعل هذه المناطق نقاط ضعف مرشحة أكثر من غيرها لحدوث انهيار .



الشكل (15)

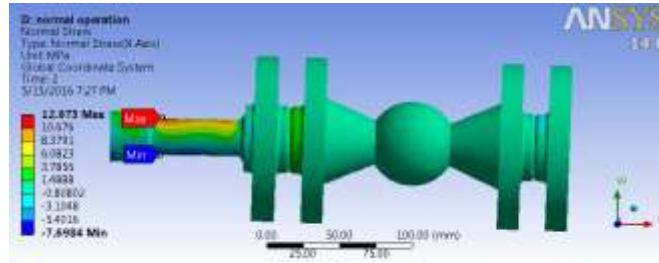
يبين الشكل (16) القيم العظمى للإجهاد والتي تعرض باللون الأحمر بينما القيم الدنيا و التي هي عظمى و لكن بالاتجاه المعاكس تعرض باللون الأزرق . بقية قيم الإجهاد بين القيمتين تعرض بتدرج لوني طيفي بين اللونين على جسم الجملة .



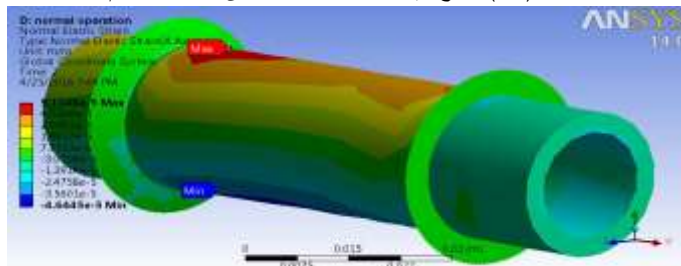
الشكل (16) التشوه الناتج عن قوى القص في مناطق اللحام

### 1-1-3- تأثير الضغط الثابت في تشكيل إجهادات ناظرية في بعض مناطق الجملة :

الشكل (17) والشكل (18) يظهران توزيع الإجهادات الناظرية على أجزاء جملة الصمام ، حيث نلاحظ توزيع القيم الحديدية العظمى و الدنيا على جسم Nipple في المنطقة المجاورة للحام والتي حدث عندها انهيار سابقاً، مما يجعل هذه المنطقة الأكثر تعرضاً للإجهاد الناظمي الناتج عن ضغط الغاز، و بالتالي هي المرشحة الأقوى لحدوث تشوه وانهيار فيها .



الشكل (17) توزيع الإجهادات الناظرية على جملة الصمام



الشكل (18) توزيع التشوه الناظمي في المناطق الحرجة من الجملة (Nipple-Weld)

**1-2- الحالة الثانية :** وهي حالة التفريغ المفاجئ للغاز نتيجة ارتفاع ضغطه في الوحدة التشغيلية المرتبطة بها الجملة ، الأمر الذي يرافقه تغيرات لحظية في قيمته مع الزمن وما يتبع ذلك من تغيرات كبيرة في الحالة الجريانية للغاز (اضطراب جريان الغاز) وما ينتج عنها من تأثيرات على الوصلة للحامية المدروسة تسرع في انهيارها . هنا تم دراسة حالة التفريغ السريع لجملة الصمام و ذلك على مدى أربع ثواني بالاستفادة من المعطيات الحلقية التي تم الحصول عليها من قبل قسم العمليات في المنشأة و المقدمة لدينا هنا وفق الجدول رقم (4) .

الجدول (4): يمثل المجال الزمني الذي حدث عنده التفريغ وما يقابله من قيم الضغط المتغيرة خلاله

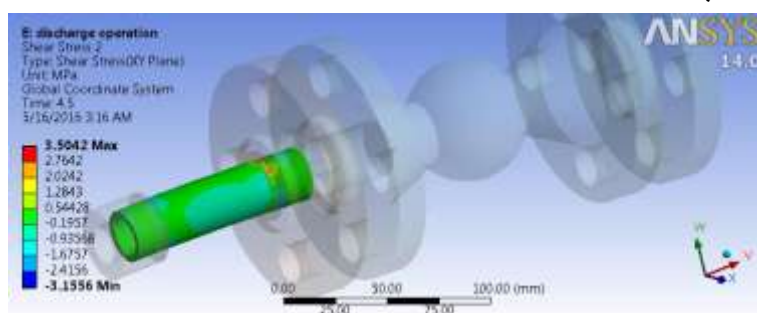
Time Second	Pressure Bar
0	37.1
1	33
2	40

3	37.1
4	36

بعد إجراء عملية التحليل خلال المجال الزمني المبين أعلاه يمكن استعراض الحالات التالية:

### 1-2-1- تأثير الضغط الديناميكي في تشكيل إجهادات قص :

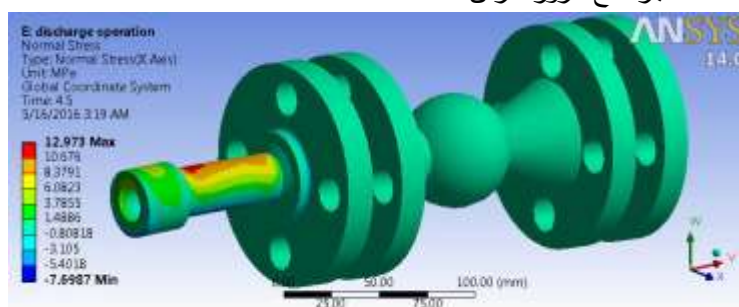
عند دراسة توزيع إجهادات القص على جملة الصمام نلاحظ أن القيم العظمى لهذا الإجهاد تتركز على Nipple الذي يتحمل إجهاد قص أعظمي و بالاتجاهين خصوصاً في مناطق الاتصال باللحام كما هو مبين بالشكل (19)، مما يجعل هذه المناطق نقاط ضعف رئيسية أثناء العمل الطبيعي و أثناء التفريغ و بالتالي هي مرشحة للانهييار و التلف مع الزمن بسبب إجهادات التعب.



الشكل (19) توزيع إجهادات القص الأعظمي على Nipple

### 1-2-2- تأثير الضغط الديناميكي في تشكيل إجهادات ناظرية :

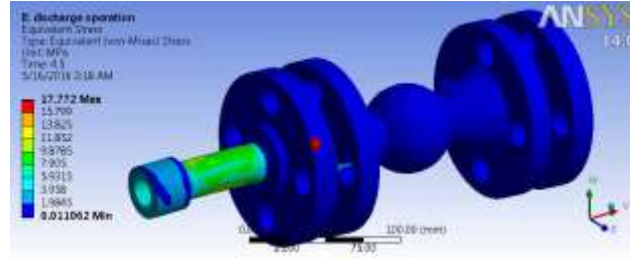
الشكل (20) يُظهر توزيع الإجهادات الناظرية على جملة الصمام حيث نلاحظ توزيع تأثير الضغط الناظمي على كافة سطوح ال Nipple وتركز هذا التأثير على الوجهين العلوي والسفلي بالقرب من منطقة اللحام وتحديداً في المنطقة المتأثرة حرارياً الامر الذي يدل على تعرض ال Nipple لكمية الاجهاد الأكبر بالمقارنة مع بقية أجزاء الجملة مما يساهم بإضعاف هذا الجزء مع مرور الزمن .



الشكل (20) توزيع الإجهادات الناظرية على جملة الصمام أثناء عملية التفريغ

### 1-2-3- تأثير الضغط الديناميكي في تشكيل إجهادات مكافئة مؤثرة على الجملة :

يبين الشكل (21) توزيع الإجهادات المكافئة بطريقة Von-Mises على جملة الصمام مع نهاية عملية التفريغ. يشير الشكل بوضوح أيضاً إلى تعرض Nipple إلى أعلى مستوى من الإجهادات بالنسبة لبقية أجزاء الجملة.

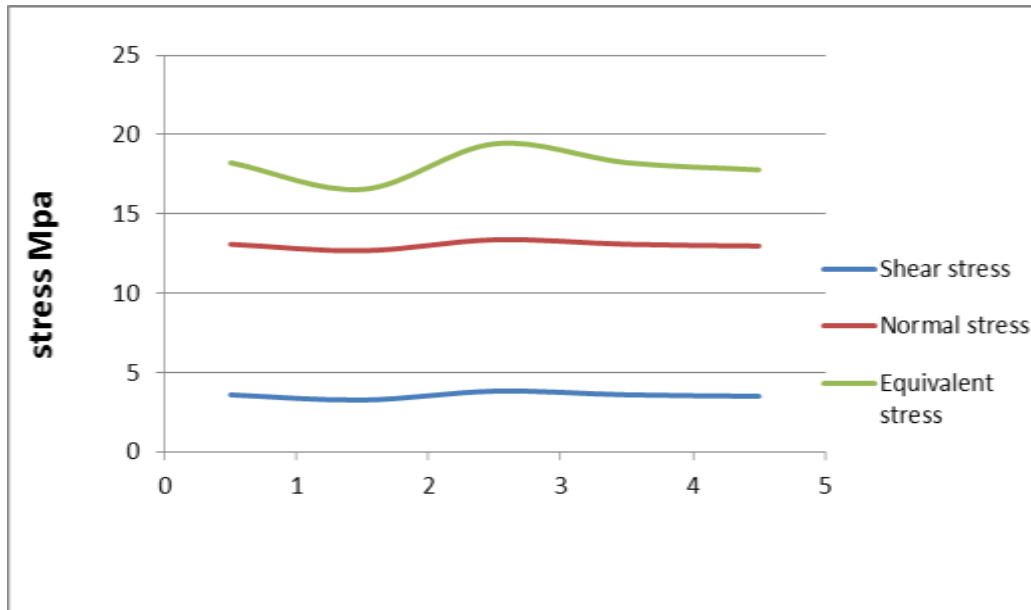


الشكل (21) توزيع الإجهادات المكافئة على جملة الصمام

## 2- استعراض الحل البياني :

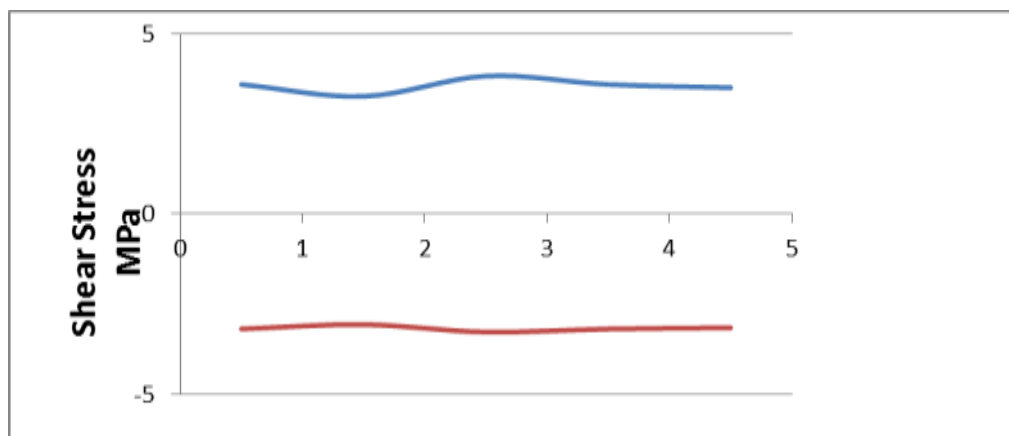
يمكن أيضاً استعراض تغير الإجهادات المؤثرة على الجملة بيانياً مع تغير زمن التأثير كما سيتم عرضه لاحقاً و ذلك لإيضاح آلية تغير الإجهاد المؤثر على جملة الصمام أثناء انخفاض الضغط و من ثم ارتفاعه وعودته في النهاية إلى حالة الاستقرار مع نهاية عملية التفريغ الحاصلة وهذه النتائج كما يلي :

1- يبين الشكل (22) تغير الإجهادات المؤثرة على جملة الصمام مع تغير الزمن (الذي يمثله المحور الأفقي ويقدر بالثانية) مع استعراض القيم العظمى لكل إجهاد في كل مرحلة زمنية فقط . نلاحظ سلوك مشابه لإجهاد القص، الناظمي والمكافئ أثناء التغير مع الزمن، حيث ينخفض الإجهاد بسبب انخفاض ضغط الغاز المؤثر داخل جملة الصمام حتى نهاية العملية و من ثم يعود ليرتفع مع زيادة ضغط الغاز و العودة للعمل الطبيعي. يبين الأشكال (19)، (20، 21) أن الإجهادات الأعظمية تتوضع بمختلف أنواعها على جزء Nipple من الجملة وإن تكرار عملية التفريغ و الضغط سيؤدي إلى تعب معدن أجزاء الجملة وخاصة في المناطق المجاورة للحام على سطح ال Nipple علماً أن الإجهادات الناظرية تأخذ قيم كبيرة بالنسبة لقيم إجهاد القص و بالتالي لها تأثير أكبر على الجملة.



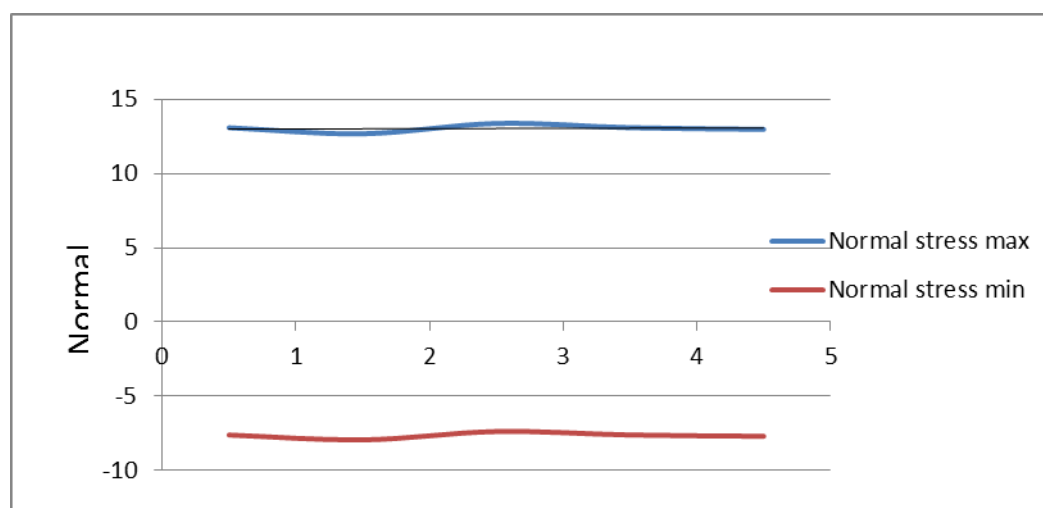
الشكل (22) يظهر تغير الإجهادات الأعظمية المؤثرة على الجملة مع الزمن

2- في الشكل (23) قمنا باستعراض قيم إجهاد القص على جزء Nipple من الجملة و التركيز عليه باعتباره يتعرض للمقدار الأعظمي من الإجهادات. يوضح الشكل توزيع إجهاد القص على أسطح Nipple و بالاتجاهين حيث يشكل مزدوجة قص تؤثر على مناطق الاتصال مع اللحام و بالتالي تخرب اللحام لاحقاً، حيث أن القيم السالبة للإجهاد (الممثلة بالخط ذو اللون الأحمر) هي قيم الإجهاد المعاكس بالاتجاه للإجهاد الموجب (الممثل بالخط الأزرق) .



الشكل (23) مزدوجة القص المؤثرة على Nipple أثناء عملية التفريغ

3- نلاحظ من الشكل (24) توزيع الإجهادات الناعمية المؤثرة على ال Nipple من الجملة. حيث يتعرض هذا الجزء لأعلى قيمة من الإجهادات الناعمية و بالاتجاهين. نلاحظ قيمة الإجهاد في الاتجاه العكسي تزداد حتى مع انخفاض الضغط حتى قيمة محددة و من ثم تنخفض مع تناقص قيمة الضغط حتى استقراره من جديد عند القيمة 36 bar .



الشكل (24) توزيع الإجهادات الناعمية على Nipple أثناء التفريغ

### الاستنتاجات والتوصيات :

#### الاستنتاجات :

1- إن تأثير الكتلة الذاتية المعلقة في الهواء (وزن الجملة) عند ضغط ثابت لا يظهر في منطقة انهيار الوصلة (منطقة الكسر) وإنما تركّز في المنطقة الأبعد عنها وغير الخاضعة لتأثير ضغط الغاز الأمر الذي نتوصل من خلاله إلى أن الوزن لم يلعب دوراً أساسياً بحدوث الانهيار كون التغيير الناتج عنه بعيد عن منطقة الفشل السابقة الذكر .

2- تشير المحاكاة الحاسوبية لجملة الصمام الغازي ضمن شروط العمل الاعتيادية وفي ظروف التفريغ المفاجئ إلى تمركز الإجهادات الأعظمية (القص، الناعمية) في منطقة اللحام التي تصل (Socket-Nipple) مع



بعضهما وفي المنطقة المجاورة لها، مما يجعلها مرشحة مع الزمن و نتيجة التعب لكي تكون نقطة ضعف و تلف جملة الصمام و بالتالي ضرورة استبدال أجزاء من الجملة بما يتطلب ذلك من تكاليف اقتصادية تتمثل بحرق كميات كبيرة من الغاز لإجراء عملية التبديل واللحام من جديد ومدة زمنية طويلة تتطلبها الصيانة .

3- يلاحظ عدم تباين قيم الإجهادات في الحالتين نتيجة صغر تفاوت الاختلاف بين القيم الضغطية المتغيرة في حالة التفريغ خلال فاصل زمني قصير جدا ، ولكن تذبذب هذه القيم خلال هذا الزمن نتيجة اضطراب الجريان يخلق حالة اهتزازية تعتبر العامل الأكثر تأثيراً في إجهاد الوصلة وإن تكرار التحميل (حالة التفريغ) سيضعف الوصلة مع الزمن وصولاً إلى انهيارها كما أُشير سابقاً في الدراسة التحليلية المرجعية.

4- إن الأحمال والضغط المؤثرة في النموذج لم تصل به إلى حالة التشوه اللاخطي حيث أن الإجهادات المتشكلة لم تتجاوز قيم إجهاد الخضوع للمادة حيث بقي تغير الشكل خطياً (بسيطاً ضمن ظروف التشغيل المطبقة) وبقيت كل الإزجات والتشوهات ضمن الحدود المسموح بها .

### التوصيات :

■ إلغاء تأثير منطقة الضعف في الوصلة (HAZ) وتقليل تركيز الإجهادات الأعظمية فيها عن طريق تعديل تصميم الجملة وفق التوصية السابقة بالإستعاضة عن عملية اللحام بين ال Nipple وال Socket بصناعة كلا من القطعتين من مادة واحدة بجسم واحد ، وبهذا الإجراء نكون قد ساهمنا بتقوية منطقة الضعف الأكثر تعرضاً للإجهادات من جملة الصمام. في الحالة الجديدة يلغى تأثير ال (gap expansion) التي وجدت في التصميم الأول حسب المواصفة الأمريكية ASME (B16.11) وبالتالي يلغى تأثير وجودها نتيجة إلغاء عملية اللحام ، وبهذا نساهم في نقل منطقة تركيز الاجهاد إلى مناطق أخرى من الجملة أقل تأثراً بظروف التشغيل السابقة . بعد تبني التصميم الجديد يفضل اختباره من أجل نفس الشروط الحدية وتحت تأثير الظروف التشغيلية ذاتها للتأكد من منطوية فكرة إلغاء تأثير تركيز الإجهادات في منطقة الإنهيار كعامل أمان يستخدم لرفع وثوقية الوصلة لضمان عمر تشغيلي أطول لها .

### المراجع :

- [1] HADIDI, M, E. *failure analysis for EBCO GTP, 3/4"socket*. Ebla Petroleum Company, Syria, 2011, 17.
- [2] BOYD G. M. "Effects of residual stresses in welded structures" – Brit. weld, 1995, 24.
- [3] عبد الكاظم، محمد ، دراسة تأثير درجة الحرارة على الاستجابة الدينامية لمحور باستخدام طريقة المصفوفة [3] الانتقالية ، منشورات الجامعة الدولية للتكنولوجيا، بغداد، 2000، 27.
- [4] LITTLE J.F. and WEAVER D.S., " The effect of damping on the stability of heat exchanger tube", Island fluids Mechanics meting, 2002, 31.
- [5] SAKAMOTO, H.; HANIU, H. "A study on vortex shedding from spheres in uniform flow". Journal of Fluids Engineering. 2011, 386–392.
- [6] ALAA.A.M.H, "the effect of induced vibration on a pipe with a restriction conveying fluid", Ph.D. thesis, University of technology, 2001.
- [7] ZENA KHALEFA, "The effect of induced vibration and heat transfer on an annulus pipe conveying fluid ", Ph.D. thesis, University of technology, 2005.