

دراسة تجريبية لتحديد السلوك الميكانيكي لأنابيب فولاذية ملحومة خاضعة لحمولات دورية وحمولات شد محورية

ميساء شاش*

(تاريخ الإيداع ٢٥ / ٩ / ٢٠١٩ . قبل للنشر ١٤ / ١ / ٢٠٢٠)

ملخص

تم في هذا البحث تصميم وإجراء تجارب على أنابيب من الفولاذ الكربوني المحضرة بطريقة اللحام، وذلك من أجل تحديد الخواص الميكانيكية الأساسية لهذه الأنابيب في حالتها التحميل الدوري المتناظر، والشد المحوري. أظهرت نتائج التحميل الدوري حدوث ظاهرة التطرية لمعدن الأنابيب حيث انخفضت قيمة حد المرونة الظاهري R_e بنسبة 20% حتى عتبة الاشباع R_m ، و كانت قيم معامل المرونة تساوي وسطياً 178.5 GPa ، وقيم معامل بواسون تساوي 0.3 . قيم المرونة الاصطلاحية $R_{0.2}$ تساوي وسطياً 348.6 MPa . بينما أظهرت نتائج التحميل المحوري للعينات المختبرة قيم كل من مقاومة الشد $R_m=495.5\pm 9.1$ MPa ، مقاومة والانهييار 471.2 ± 4.2 MPa وقيمة التشوه عند الانهييار 28.7 ± 1.0 % . كما أظهرت النتائج أن وجود اللحام كان له أثر على قيم كل من معامل يونغ ، معامل بواسون، مقاومة الشد وقيمة التشوه عند الانهييار. الكلمات المفتاحية: فولاذ كربوني، أنابيب ملحومة، تحميل دوري، تحميل محوري، تطرية، الانفعالات

Experimental study to determine the mechanical behavior of welded steel pipes subject to cyclic and axial tension loads

Mayssa chache*

(Received 25 / 9 / 2019 . Accepted 14 / 1 / 2020)

Absartact

In this research, experiments were designed and conducted on carbon steel tubes prepared by welding method, in order to determine the basic mechanical properties of these tubes in the cases of symmetric cyclic loading and axial tension.

The results of the cyclic loading showed the occurrence of the softening phenomenon of the metal tube, where the value of the apparent elasticity limit, R_e , decreased by 20% to the saturation threshold R_∞ , in which the values of the elastic modulus were equal to an average of 178.5 GPa, and the values of the Poisson coefficient were equal to 0.3. Values for conventional resilience $R_{0.2}$ are, on average, 348.6 MPa.

While the axial loading results of the tested samples showed the values of the tensile strength $R_m = 495.5 \pm 9.1$ MPa, resistance and breakdown 471.2 ± 4.2 MPa and the value of deformation at breakdown $28.7 \pm 1.0\%$. The results also showed that the presence of welding had an effect on the values of the Young's modulus, Poisson's coefficient, the tensile strength and the deformation value of rupture.

Key words: carbon steel, welded tubes, cyclic loading, axial load, softening, deformation

*

*Professor assistant at equipments and Machinery Department, Faculty of Technology Engineering, Tartous university.

مقدمة:

إن المواد المعدنية تتألف من هياكل بلورية مرتبطة ببعضها، وتختلف هذه البنى والهياكل البلورية من معدن لآخر، لكن الصفة المشتركة لجميع المعادن هي السلوك المرن-اللدن الذي تبديه تحت تأثير الإجهادات التي تتعرض لها .

إن هذا السلوك غاية في الأهمية في التطبيقات الصناعية والتكنولوجية المتطورة والدقيقة. وإن سلوك المعادن ليس سلوكاً مرناً بالمطلق، حيث نلاحظ ظهور تشوهات بالمعدن سواء كانت صغيرة أم كبيرة لا يمكننا تجاهلها، وبالتالي ومن أجل الحصول على التصميم الدقيق لا بد من دراسة أسباب هذه الانفعالات، وما يسببه تراكم هذه الانفعالات داخل البنى المعدنية من ظواهر مختلفة (تطرية، تقسية، تركيز للإجهادات)، وبالتالي الحصول على نتائج مغايرة بالضرورة لما هو مفترض أن يتحقق، وبالتالي انحراف القيم والمقاييس وحدوث التشوه الذي يمكن أن يتسبب بانهياب الآلة أو المنشأة[1].

كما أن السلوك الميكانيكي يختلف باختلاف نوع التحميل، وهنا نميز عدة أنواع من التحميل[2]:

-التحميل الستاتيكي:

وهي الطريقة التي يكون فيها تأثير الحمل بطيئاً ويزداد تدريجياً حتى يصل إلى قيمته القصوى بدون إحداث أي صدم أو اهتزاز، مثل اختبار الشد للمعادن، وفيه تحمل قطعة الاختبار بحمل شد محوري، ويزداد ببطء وتدرجياً حتى تنكسر قطعة الاختبار .

-التحميل الديناميكي:

وهي الطريقة التي يؤثر فيها الحمل على المادة بحيث يحدث فيها صدم أو اهتزاز، وتؤثر هذه الأحمال الديناميكية في مدة قصيرة نسبياً، ويختلف هذا النوع من التحميل عن التحميل الستاتيكي في أن الإجهادات الناتجة تكون أعلى من الإجهادات الناتجة تحت تأثير حمل بطيء له نفس القيمة.

-التحميل الدوري:

إذا تعرض جسم لتأثير حمل مراراً عديدة فإن الجسم في هذه الحالة يكون معرضاً للتحميل الدوري، وتعتبر دراسة التحميل الدوري ذات أهمية كبيرة في التطبيقات الصناعية إذ قد تتحمل المادة إجهاداً معيناً إذا كان الحمل استاتيكي، بينما قد تنهار هذه المادة تحت تأثير نفس الحمل أو أقل منه لو كان مكرراً. إن الخواص الميكانيكية تتعلق بسلوك المادة عند تعرضها للأحمال المؤثرة سواء كانت هذه الأحمال استاتيكية أو ديناميكية أو متكررة، كما أنها تتأثر بشكل كبير بطريقة تشكيل هذه المواد.

يتناول هذا البحث دراسة تجريبية لتحديد الخصائص الميكانيكية لأنابيب مصنوعة من الفولاذ الكربوني والمستخدم على نطاق واسع في مختلف التطبيقات الصناعية، كما في محطات الطاقة وأنظمة النقل والصناعات الكيماوية وغيرها. إن الأنابيب المستخدمة في المنشآت الصناعية يجب أن تتمتع بخصائص ميكانيكية عالية، على سبيل المثال، مقاومة عالية، مرونة، وصلابة، ومقاومة تآكل[3]. إن الأنابيب التي المستخدمة في هذا البحث تم تشكيلها من صفائح معدنية بطريقة النثي [4] ومن ثم إجراء عملية اللحام، إن عمليات تشكيل الفولاذ قد تؤثر على تغير في خصائصه الميكانيكية، يعتمد هذا التغير على مقدار العمل المطبق على الفولاذ[5].

تم إجراء العديد من الأبحاث لدراسة الخواص الميكانيكية لأنابيب الفولاذية. حيث قام باحثون[6] بدراسة مقارنة بين الأنابيب المصنوعة من الحديد المطاوع والأنابيب الفولاذية، وقد أظهرت النتائج أن الأنابيب الفولاذية ذات

خصائص ميكانيكية أفضل من الأنابيب الحديدية، ولاسيما المتانة، الاستطالة على الشد وكذلك حد الخضوع. قام باحثون [٧] بدراسة تأثير عمليات تشكيل الأنابيب الفولاذية بطريقة الثني واللحام، وأظهرت النتائج بازدياد حد الخضوع بشكل بسيط، بينما لم يطرأ تغيرات على باقي الخصائص الميكانيكية. وبدراسة أخرى قام بها [٨] بدراسة تجريبية لفولاذ منخفض حد الخضوع تحت تأثير الحملات الدورية، وأظهرت النتائج حدوث تصدق انفعالي للمادة بفعل التحميل الدوري حيث ارتفعت قيمة حد الخضوع وكذلك قيمة مقاومة الشد. كما قام مجموع من الباحثين [٩] بدراسة سلوك دورة التخلف في الوصلات اللحامية للأنابيب الفولاذية المستخدمة في الهياكل الشبكية والخاضعة لحمولات دورية بسعات مختلفة، حيث أظهرت النتائج تراكم الانفعالات في مادة اللحام من ناحية تشكل الشقوق ومن ثم ازدياد الشقوق حتى الانهيار، بينما تم تسجيل نظرية في الأنابيب الملحومة مع ازدياد عدد دورات التحميل، وتم بناء نموذج رياضي يحاكي ظاهرة تراكم الانفعالات مع نظرية في الأنابيب يعتمد على منطقة اللدونة وطاقة التشوه.

أهمية وهدف البحث:

ان الأنابيب المعدنية المستخدمة في المجالات المختلفة تصنع من صفائح معدنية ذات سماكات محددة، حيث يتم لفها ولحامها وفق الأقطار المطلوبة. وقد يكون لطريقة التشكيل أثر على الخصائص الميكانيكية للأنابيب. لذلك فان الهدف الأساسي من هذا البحث اجراء تجارب شد محوري، وكذلك تجارب تحميل دوري متناظر من أجل قياس البارامترات الأساسية التي تحدد الخواص الميكانيكية للأنابيب الفولاذية الملحومة، وهي: معامل المرونة، معامل بواسون، حد المرونة الاصطلاحي $R_{0.2}$ ، حد المرونة الظاهري R_e ، مقاومة الشد R_m ، ومقاومة الانهيار R_r .

طرائق ومواد البحث:

• آلة الاختبار:

الآلة المستخدمة لهذه التجارب هي عبارة عن مكبس ثنائي كهربائي هيدروليكي، استطاعته $KN \pm 100$ كقوة محورية مع انتقال محوري قيمته $mm \pm 100$ و $Nm \pm 1200$ كقوة مزدوجة قتل مع دوران قدره $^\circ \pm 45$. ضمن هذا المكبس يوجد رافعتان: الأولى محورية من أجل الحملات الدورية المحورية (شد-ضغط)، والثانية دورانية من أجل الحملات الدورانية. هذا المكبس موصول بلوحة تحكم يتم من خلالها ضبط الآلة و معايرتها عند تركيب العينة عليها وذلك لضمان الدقة عند تنفيذ التجربة، وكذلك تزويد الآلة بالمعطيات اللازمة. إن قيم كل من الزمن، القوة، الانتقالات و الانفعالات في الجزء المدروس من العينة يتم تسجيلها خلال التجربة عن طريق برنامج خاص على حاسب متصل بالمكبس.

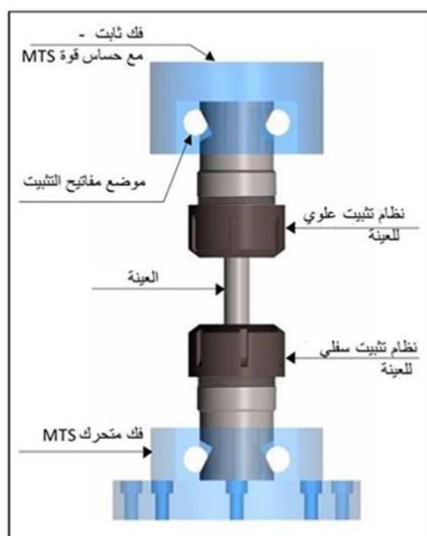
• عينات الاختبار:

ان العينات المختبرة عبارة عن فولاذ كربوني تركيبه الكيميائي مبين في الجدول (١-١)، وهي على شكل أنابيب مفرغة وملحومة بطول 6m وقطر 22 mm وبسماكة 2mm. بشكل عام الأنابيب المفرغة تكون خفيفة الوزن، ولكن ليس واضحاً كيفية تثبيت هذه العينات على جهاز الاختبار. في حالتنا يجب لا يكون للحام أي تأثير على نتائج الاختبار، وبحيث نتجنب تركيز الاجهادات وكذلك التغيرات في بنية المادة، وهذا كان التحدي الأكبر عند تحضير العينة، حيث اعتمدنا طريقة تثبيت خاصة تلغي تأثير منطقة اللحام وكذلك الآثار الأخرى عند اجراء التجربة. حيث قمنا بتصنيع نواة اسطوانية تتعشق مع العينة المعدة للاختبار وتمنع انزلاق العينة أو دورانها على الآلة أثناء

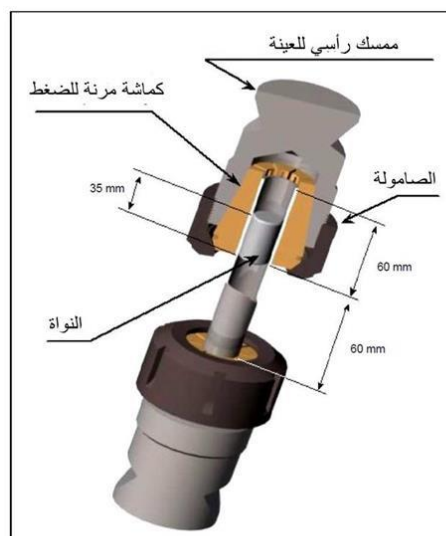
الاختبار مع نظام تثبيت كما هو مبين في الشكل (1-1-أ). تم استخدام كمامة مرنة على شكل مخروط بطول 60 mm يتم التحكم بها بواسطة الصامولة التي تسمح بتطبيق قوى ضغط قطرية على العينة تؤمن تثبيتها. الطول الكلي لعينة الاختبار 180 mm .

الجدول(1-1): التركيب الكيميائي للعينات المختبرة

العنصر	C	Si	Mn	P	S	Mo
النسبة %	0.1	0.3	0.45	0.01	0.03	0.009



(b) تثبيت العينات على آلة الشد



(a) مقطع يوضح نظام تثبيت العينات على آلة الشد

الشكل (1-1): نظام تثبيت العينات على آلة الشد

تم تحضير ٣٠ عينة، وتم قياس القطر الداخلي والخارجي للعينات بواسطة ميكرومتر بدقة 0.001، الجدول (1-2) بين تسمية العينات وأبعادها. قيم الأقطار الداخلية والخارجية هي القيمة المتوسطة لقيمتي قياس.

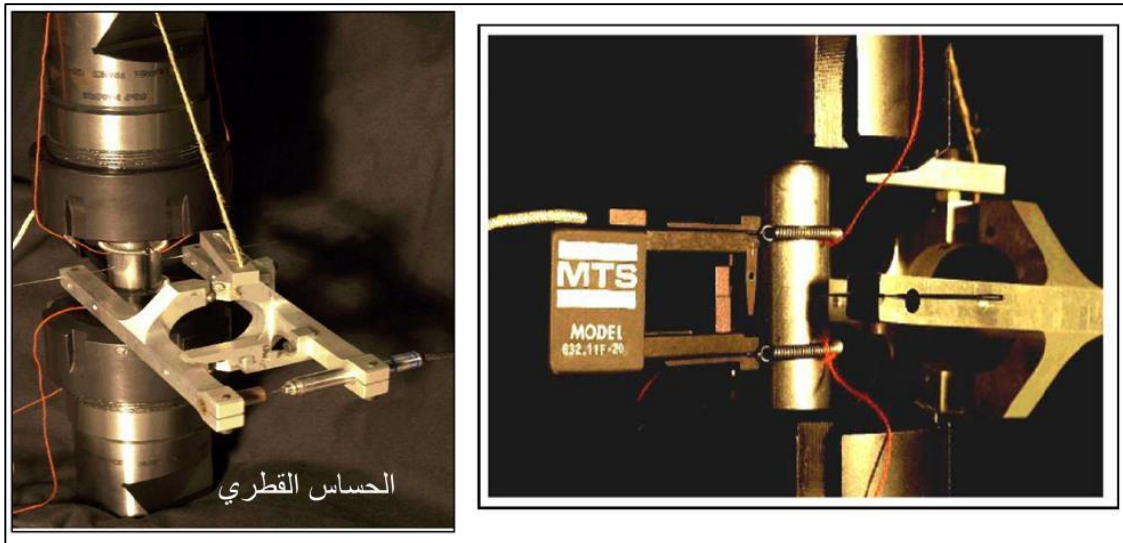
الجدول (١-٢): أرقام العينات وقيم أقطارها الخارجية <Dext> والداخلية <Dint>

<Dext> (mm)	<Dint> (mm)	رقم العينة	<Dext> (mm)	<Dint> (mm)	رقم العينة
21.925	17.918	A ₁₆	21.910	17.958	A ₀₁
21.920	17.915	A ₁₇	21.905	17.968	A ₀₂
21.905	17.930	A ₁₈	21.890	17.928	A ₀₃
21.910	17.908	A ₁₉	21.890	17.935	A ₀₄
21.910	17.928	A ₂₀	21.928	17.963	A ₀₅
21.923	17.925	A ₂₁	21.918	17.905	A ₀₆
21.915	17.915	A ₂₂	21.928	17.930	A ₀₇
21.923	17.918	A ₂₃	21.918	17.855	A ₀₈
21.903	17.943	A ₂₄	21.920	17.953	A ₀₉
21.905	17.923	A ₂₅	21.915	17.940	A ₁₀
21.910	17.900	A ₂₆	21.913	17.943	A ₁₁
21.908	17.943	A ₂₇	21.925	17.920	A ₁₂
21.915	17.905	A ₂₈	21.908	17.965	A ₁₃
21.908	17.973	A ₂₉	21.915	17.955	A ₁₄
21.915	17.925	A ₃₀	21.908	17.935	A ₁₅

قبل البدء بالتجربة يتم التحقق من مطابقة محور العينة مع محور الآلة ، بحيث لا يحدث انحناء في الجزء الفعال من العينة أثناء التجربة كما هو مبين في الشكل (١-١-b). ثم تثبت العينة على آلة الاختبار عن طريق التحكم بقوة الشد المطبقة على الصامولة والتي تقدر بحدود 0.5-0.8 KN . كذلك فان العينة قبل بدء التجربة لا تتعرض لأي اجهادات أولية، وعليه فان نتائج الاختبار تكون ناتجة فقط عن التحميل.

• قياس الانفعالات أثناء الاختبار:

يتم قياس الانفعالات المحورية (الاستطالة) باستخدام حساس قياس الانفعالات المحوري نوع MTS من طراز 632.11F-20، مدى القياس فيه 25 mm، ومقدار تشوهات حتى $\pm 15\%$. بينما الانفعالات القطرية فقد تم استخدام حساس قطري تم تصنيعه لهذه الغاية [10]، وهو يعتمد في قياسه على حركة الأذرع الجانبية المتناظرة والتي هي عبارة عن ابرتين بقطر 1mm تتغمس بالعينة بمقدار $20\mu\text{m}$. قيم الخطأ المطلق المرتكب أثناء قياس الانفعالات يقدر بحدود $\pm 0.5 \times 10^{-4}$. حيث يتم وضع حساسات القياس على عينة الاختبار أثناء التجربة كما هو مبين في الشكل (١-٣).



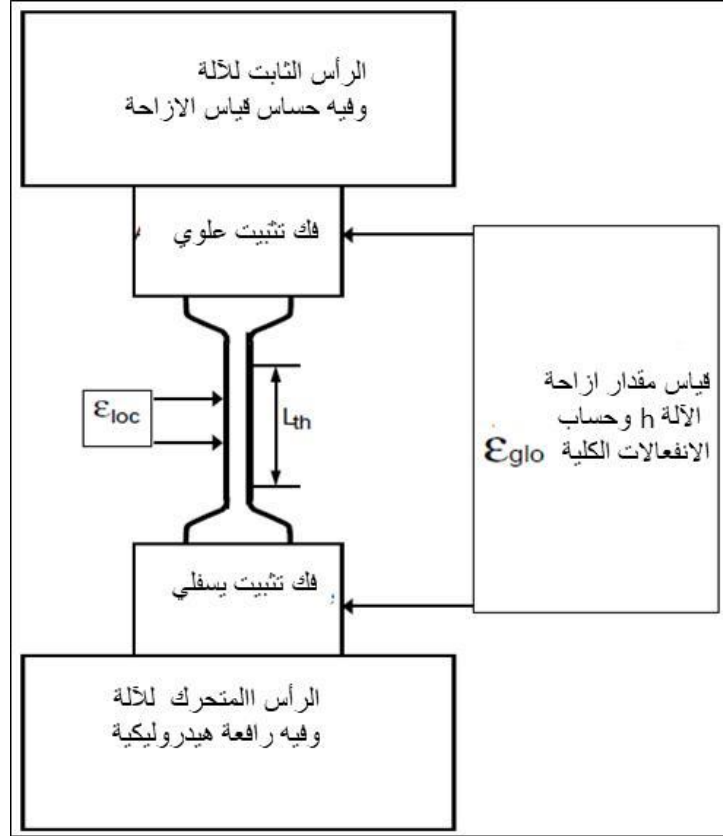
الشكل (1-3): تثبيت حساسات قياس الانفعالات المحوري والقطني

عند تطبيق الحمولة فان العينة سوف تبدأ بالانفعال وهذا يؤثر على استقرار حساسات القياس، لذلك تم تحديد سرعة التحميل اعتمادا على حركة الآلة ، من خلال مقارنة قيم الانفعالات المقاسة ϵ_{loc} بواسطة حساس MTS، وقيم والانفعالات الكلية ϵ_{glo} المقاسة بواسطة حساس قياس حركة الآلة والمحسوبة وفق العلاقة:

$$\epsilon_{glo} = \frac{h}{L_{th}} \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن: h تمثل مقدار ازاحة الآلة، و L_{th} الطول الفعال ويساوي في دراستنا 60 mm، كما هو موضح في الشكل (1-4). ان قيمة الانفعالات الكلية ϵ_{glo} المحسوبة تكون أكبر من قيم الانفعالات المحورية المقاسة ϵ_{zz} . كما تم تحديد الطول المكافئ الفعال للعينة المختبرة على اعتبار الانفعالات الكلية تعادل الانفعالات الموضعية المقاسة وفق العلاقة:

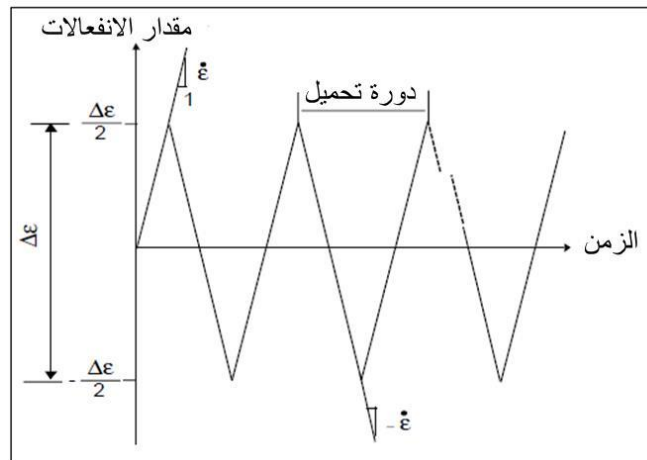
$$L_{equ} = \frac{h}{\epsilon_{zz}} \dots \dots \dots (2)$$



الشكل (٤-١): قياس الانفعالات الكلية بناءً على ازاحة فكوك الآلة

١- إجراء التجارب:

- تجربة تحميل دوري متناظر (شد-ضغط) بسرعة تحميل ثابتة: حيث تم إجراء ست تجارب تحميل دوري (شد- ضغط متناظر) كما هو مبين في الشكل (٥-١)، و بسرعة انفعال ثابتة وقدرها $5 \times 10^{-4} S^{-1}$ ، ولكن بسعات تشوه مختلفة، وقد تم تحديد سرعة الانفعال تجريبياً من خلال التناسب بين الانفعالات المأخوذة من الحساس المحوري وبين سرعة حركة الفك المتحرك لآلة الاختبار وفق العلاقات (2,1). يوضح الجدول (٣-١) أرقام التجارب وسرعة التحميل، وسعة التحميل .



الشكل (٥-١): مخطط التحميل الدوري المتناظر

الجدول(١-٣): بارامترات تجارب التحميل الدوري المتناظر.

رقم العينة	A ₀₁	A ₀₂	A ₁₀	A ₀₄	A ₀₅	A ₀₃
سعة الانفعالات $\Delta\varepsilon/2$ (%)	1.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
سرعة الانفعال $\dot{\varepsilon}$ ($10^{-4} S^{-1}$)	5.0	2.7	5.0	5.0	5.0	5.0

• تجربة شد محوري بسرعة تحميل ثابتة: وفي هذه التجارب تم تحديد سرعة الانفعالات بناء على

سرعة حركة الفك المتحرك لألة الاختبار. بين الجدول (١-٤) أرقام التجارب لكلا الحالتين وقيم سرعة التحميل.

الجدول(١-٤): بارامترات تجارب الشد المحوري.

رقم العينة	A ₀₇	A ₀₉	A ₁₂	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆
سرعة الانفعال $\dot{\varepsilon}$ ($10^{-4} S^{-1}$)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

النتائج والمناقشة :

أثناء التجارب تم قياس كل من الزمن، القوة، الازاحة والانفعالات وتسجيلها وفق برامج مرفقة بآلة الشد المستخدمة للاختبار على شكل ملفات تمت معالجتها لاحقا حاسوبياً.

• حساب النتائج ومناقشتها:

١ - حساب الاجهادات:

تم اعتبار محور العينة Z، والمحور العرضي r، والمحور المماسي θ . الاجهادات المحورية σ_{zz} معرفة بدلالة القوة المحورية F_z ومساحة المقطع S وفق العلاقة:

$$\sigma_{zz} = \frac{F_z}{S} = \frac{F_z}{S_0(1-\nu\varepsilon_{zz})^2} \dots\dots\dots(3)$$

حيث أن ε_{zz} الانفعالات المحورية للعينة، ν معامل بواسون، S_0 مساحة المقطع الأولي للعينة. $(1-\nu\varepsilon_{zz})^2$: معامل تصحيح المقطع يقارب الواحد في حالة التحميل الدوري وعليه يمكن حساب

الاجهادات بالنسبة للمقطع الأولي للعينة. أما في حالة الشد والضغط فان قيمة معامل بواسون تساوي 0.5 وعليه يتم اعتماد معامل تصحيح المقطع عند حساب الاجهادات المحورية [1].

من أجل حساب مقدار التصلد الانفعالي الناتج عن التحميل الدوري، نعتمد على القيمة المطلقة

للاجهادات عند انعكاس التحميل من شد الى ضغط وفق العلاقة: $S_i = |\sigma_{zz}^i|$ ، حيث تسمح هذه القيمة

بتحديد قيم الاجهادات عند الضغط و(أو) الشد في التحميل الدوري المتناظر [9].

٢ - حساب الانفعالات:

تم قياس الانفعالات المحورية باستخدام الحساس MTS، وتم حساب قيمها وفق العلاقة التالية:

$$\varepsilon_{zz} = \frac{u_z}{Z_0} = \dots\dots\dots(4)$$

حيث أن: u_{zz} مقدار الازاحة المحورية المقاسة باستخدام حساس الازاحة، Z_0 مدى قياس الحساس وتساوي 25 mm.

تعطى قيم الانفعالات القطرية وفق العلاقة :

$$\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{2u_{rr}}{D_{ext}} = \dots\dots\dots(5)$$

حيث: $2u_{rr}$ مقدار التغير القطري المقاس باستخدام الحساس القطري.

٣- حساب قيم الاجهادات والانفعالات لكل جزء في حالة التحميل الدوري:

من أجل تحديد قيم معامل المرونة ومعامل بواسون في حالة التحميل الدوري : تم تحديد قيم

الاجهادات والانفعالات عند كل فرعة وفق العلاقة:

$$\Delta\sigma_{zz} = \sigma_{zz} - \sigma_{zz}^i , \quad \Delta\varepsilon_{zz} = \varepsilon_{zz} - \varepsilon_{zz}^i \dots\dots\dots(6)$$

حيث أن: σ_{zz}^i , ε_{zz}^i قيم الانفعالات والاجهادات المحورية في نقاط انعكاس التحميل كما هو

مبين في الشكل (٦-١). على اعتبار معامل المرونة يمثل مماس المنحني عند التحميل الأول، وهو

يوازي مماس المنحني عند نقاط الانعكاس، وعليه فقد تم تعريف نوعين من المماس وفق العلاقات

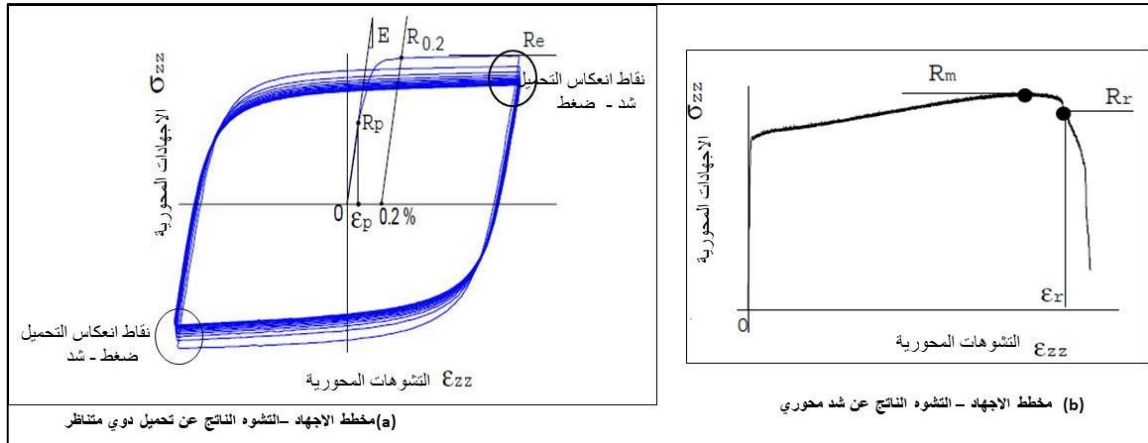
التالية:

$$M_E = \frac{d\Delta\sigma_{zz}}{d\Delta\varepsilon_{zz}} , \quad C_v = \frac{d\Delta\varepsilon_{\theta\theta}}{d\Delta\varepsilon_{zz}} \dots\dots\dots(7)$$

وعلى اعتبار المماس في منطقة المرونة يكافئ ميل المنحني عند التحميل الأول، فتصبح

العلاقات السابقة وفق التالي:

$$E = \lim_{\Delta\varepsilon_{zz} \rightarrow 0} M_E , \quad \nu = \lim_{\Delta\varepsilon_{zz} \rightarrow 0} C_v \dots\dots\dots(8)$$



الشكل (٦-١): مخطط الاجهاد والانفعالات a- حالة التحميل الدوري- b- حالة التحميل المحوري

-نتائج تجربة التحميل الدوري:

الغاية الأساسية من هذه التجربة تحديد الخصائص الأساسية للمادة الخاضعة لحمولات دورية: معامل المرونة E، معامل بواسون ν ومقدار التصلد الانفعالي في العينة. من أجل تحديد قيم E و ν . تم قياس القيم عند التحميل الأول، وعند بداية كل فرعة. تم تسجيل النتائج لحساب قيم معامل المرونة في الجدول (١-٥)، والقيم اللازمة لحساب قيم معامل بواسون في الجدول (١-٦). وفي كلا الجدولين تم حساب الانحراف المعياري σ_E و

σ_v من أجل n قيمة والتي تم استخدامها لحساب القيم المتوسطة $\langle E \rangle$ و $\langle v \rangle$ ، وكذلك الانحراف المعياري للقيم المتوسطة $\sigma_{\langle E \rangle}$ و $\sigma_{\langle v \rangle}$ ، وفق قانون التوزيع النظامي، كما في العلاقات التالية:

الجدول (٥-١) نتائج قياس معامل يونغ

رقم العينة	$\dot{\epsilon}$ $10^{-4} S^{-1}$	$\frac{\Delta \epsilon}{2}$ %	$\langle E \rangle$ GPa	σ_E GPa	n	$\sigma_{\langle E \rangle}$ GPa	$\frac{\sigma_{\langle E \rangle}}{\langle E \rangle}$ %
A ₀₁	5.0	1.0	187.4	43.3	٤٣	6.6	3.6
A ₀₂	2.7	1.0	179.5	10.3	٣٥	1.7	1.0
A ₁₀	5.0	1.5	174.1	17.6	٣١	3.2	1.8
A ₀₄	5.0	2.0	178.6	17.7	٣١	3.2	1.8
A ₀₅	5.0	2.5	180.4	70.4	١٩	16.1	8.9
A ₀₃	5.0	3.0	171.0	31.9	١١	9.6	5.6

الجدول (٦-١) نتائج قياس معامل بواسون

رقم العينة	$\dot{\epsilon}$ $10^{-4} S^{-1}$	$\frac{\Delta \epsilon}{2}$ %	$\langle v \rangle$ -	σ_v -	n	$\sigma_{\langle v \rangle}$ -	$\frac{\sigma_{\langle v \rangle}}{\langle v \rangle}$ %
A ₀₁	5.0	1.0	0.298	0.016	٤٣	0.002	0.7
A ₀₂	2.7	1.0	0.290	0.011	٣٥	0.002	0.7
A ₁₀	5.0	1.5	0.303	0.026	٣١	0.005	1.7
A ₀₄	5.0	2.0	0.300	0.024	٣١	0.004	1.3
A ₀₅	5.0	2.5	0.293	0.032	١٩	0.007	2.4
A ₀₃	5.0	3.0	0.327	0.037	١١	0.011	3.4

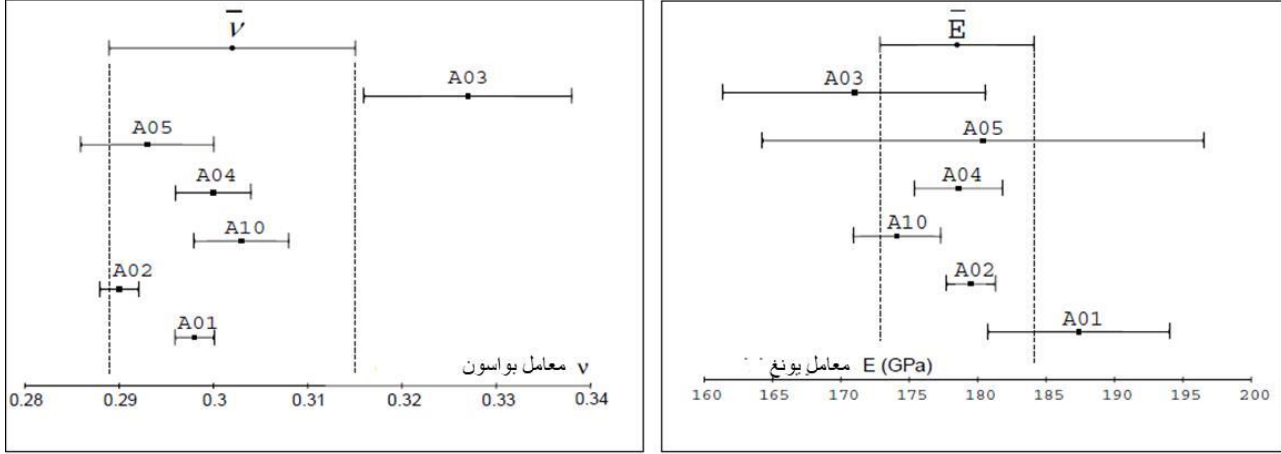
$$\sigma_{\langle E \rangle} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma_E, \quad \sigma_{\langle v \rangle} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma_v \dots \dots \dots (9)$$

يبين الشكل (٧-١) القيم المتوسطة لكل من معامل المرونة ومعامل بواسون على التوالي مع مجال الدقة وذلك للعينات الست المختبرة. تبين نتائج القياس أن القيمة الوسطية لمعامل المرونة تساوي تقريباً: 178.5 ± 5.6 GPa ، وقيمة معامل بواسون تساوي 0.3 ± 0.01 و بدقة قياس في الحالتين بحدود 68%. ويمكن حساب قيمة الخطأ المرتكب بناءً على قيمة الانحراف المعياري للقيم الوسطية وفق التالي:

$$\frac{\Delta E}{\langle E \rangle} = \frac{5.6}{178.5} = 3.1\% \dots \dots \dots (10)$$

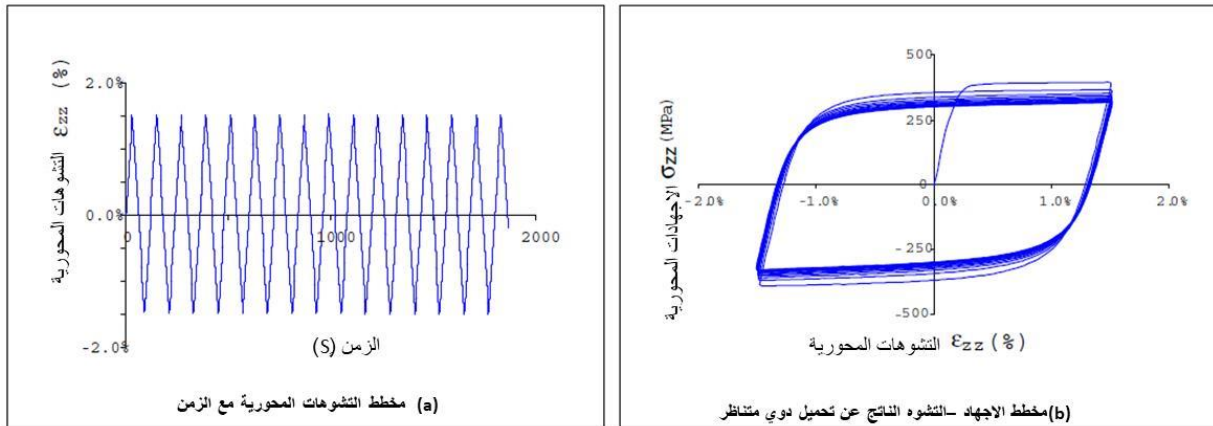
$$\frac{\Delta v}{\langle v \rangle} = \frac{0.01}{0.3} = 3.3\% .$$

ان قيم الخطأ في قياس كل من معامل يونغ ومعامل بواسون تجاوزت ١% ، والسبب في ذلك وجود اللحام في الأنابيب المختبرة من جهة ، ومن جهة أخرى قد يكون بسبب تباين في بنية المادة الأساسية المشكلة منها الأنابيب.



الشكل (٧-١): نتائج قياس معامل يونغ ومعامل بواسون

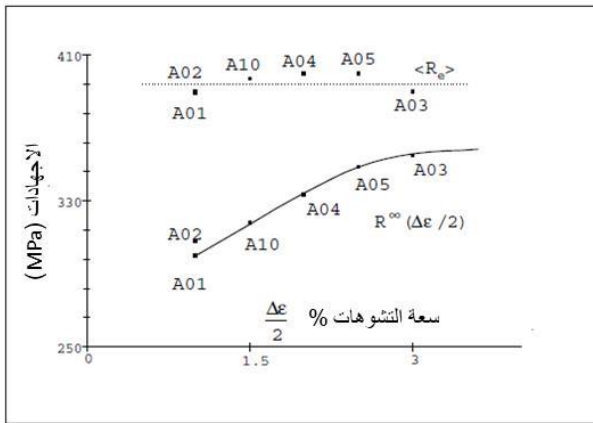
يبين الشكل (١-٨-١) مقدار تغير الانفعالات المحورية المقاسة بواسطة الحساس MTS بدلالة الزمن والذي يمثل سرعة التحميل، في حين الشكل (١-٨-٢) مخطط الاجهاد والتشوه الناتج عن التحميل الدوري المتناظر. من دراسة الجزء الأول من منحنى الاجهاد والانفعال والذي يمثل حالة التحميل الأولى في التجربة نلاحظ أن المادة أبدت سلوك مرن في البداية ثم ينتقل الى اللدونة، إن منطقة اللدونة تأخذ شكل أفقي تقريبا وبالتالي فان قيمة ميل المنحنى لهذه المنطقة والذي يعبر عن المرونة المتبقية تتقارب من الصفر. ومن دراسة المنحنى الناتج عن التحميل الدوري يمكن ملاحظة ظاهرة التصلد الانفعالي مع تطرية الناتج في العينة، حيث تناقصت قيمة الاجهادات مع استمرار التحميل حتى حد معين تسمى بعتبة الاشباع.



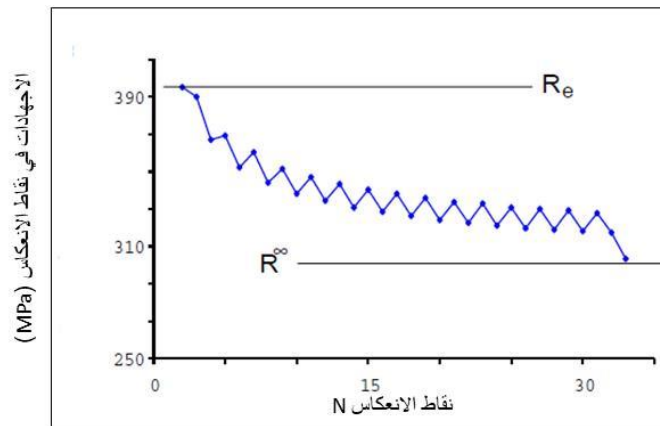
الشكل (٨-١): نتائج التحميل الدوري للعينة

الشكل (١-٩) يبين العلاقة بين قيم الاجهادات في نقاط عكس التحميل (شد-ضغط) بدلالة عدد دورات التحميل، حيث يبدو بشكل أوضح ظاهرة التطرية الناتجة من التحميل الدوري، حيث تتناقص قيم الاجهادات في نقاط انعكاس التحميل من القيمة R_e التي تمثل حد المرونة الظاهري أو عتبة الخضوع الى عتبة الاشباع الناتجة عن التحميل الدوري

R_{∞} . كما نلاحظ أن المنحني يأخذ شكل أسنان المنشار، وهذا يساعد في تحديد نقاط الانعكاس في حالة الشد عن نقاط الانعكاس في حالة الانضغاط لكل دورة تحميل. ان قيم كل من R_{∞} و R_e للعينات المختبرة مبينة في الشكل (١-١٠) بدلالة سعة الانفعالات، حيث نلاحظ أن قيم المرونة الظاهرية R_e والموافقة لحالة التحميل الأولي تقريباً متساوية لكل العينات وتساوي وسطياً 394.2 MPa وغير مرتبطة بسعة الانفعالات، في حين قيمتها تتغير مع التحميل المتكرر لتصل الى عتبة الاشباع R_{∞} والتي يبدو واضحاً بأنها مرتبطة بسعة الانفعالات وتزداد مع ازديادها.



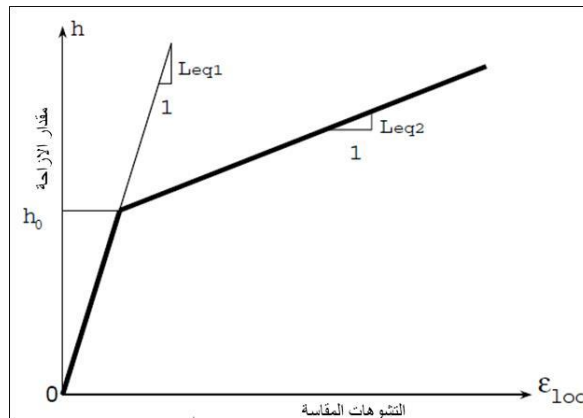
الشكل (١-١٠): قيم R_{∞} و R_e للعينات المختبرة



الشكل (١-٩): منحني التصلد الانفعالي مع التطرية لعينة

- العلاقة بين قيم الانفعالات المقاسة وقيم ازاحة الآلة :

يبين الشكل (١-١١) نموذج للعلاقة بين ازاحة الآلة وقيم الانفعالات المحورية عند التحميل الأول، حيث تم اعتبار أن هذا المنحني يتألف من جزأين خطيين: الأول يعبر عن السلوك المرن، والثاني يعبر عن السلوك اللدن. وميل كل جزء يحدد الطول المكافئ L_{eq1} و L_{eq2} .



الشكل (١-١١): نموذج العلاقة بين قيم ازاحة الآلة وقيم الانفعالات المحورية المقاسة

تم حساب قيم الأبعاد المكافئة للطول الفعال للعينات المختبرة، والتي تم تحديدها نظرياً وفق العلاقات (١) و (٢) من خلال نتائج التحميل الدوري وقيم الانفعالات المحورية المقاسة، وحصلنا على القيم المحسوبة المبينة في الجدول (٧-١):

الجدول (٧-١): العلاقة بين قيم الازاحة وقيم الانفعالات المحورية المقاسة

رقم العينة	L_{eq1}	L_{eq2}	h_0
A ₀₁	312.2	54.0	0.951
A ₀₂	264.0	60.3	0.783
A ₀₄	248.8	55.9	0.930
A ₀₅	320.9	53.4	0.916
A ₀₃	330.0	58.5	0.920

نلاحظ من دراسة القيم المبينة في الجدول السابق أن الطول المكافئ L_{eq2} قريب من الطول النظري للمنطقة الفعالة أي: $L_{eq2}=L_{th}=60 \text{ mm}$ ، ويمكن تفسير ذلك أنه أثناء السلوك اللدن للعينات المختبرة تكون قيم القوة المطبقة تقريباً ثابتة والانفعالات متركرة في الجزء الفعال للعينة المختبرة . بالمقابل نلاحظ أن قيم الطول المكافئ L_{eq1} الموافق للسلوك المرن للعينات المختبرة أكبر بكثير من الطول النظري L_{th} ، والسبب أنه في المنطقة المرنة يكون التشوه في العينة متوافق مع حركة الآلة.

-نتائج تجربة الشد المحوري:

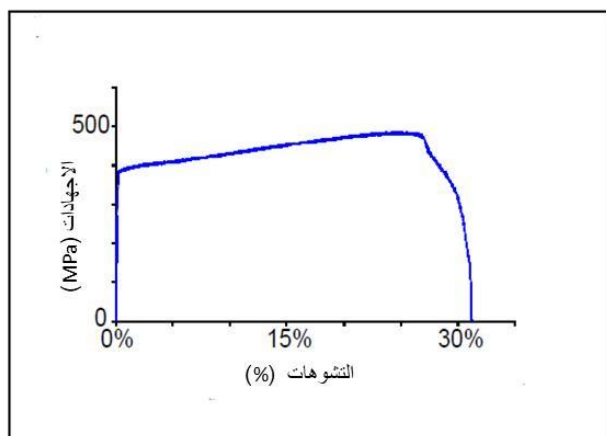
بينت نتائج تجارب الشد المحوري أن انهيار العينة كان في منتصف الطول الفعال، ومستوي الانهيار يميل بزاوية قريبة من 45° (مستوي اجهادات القص الأعظمية) كما هو مبين في الشكل (1-12).



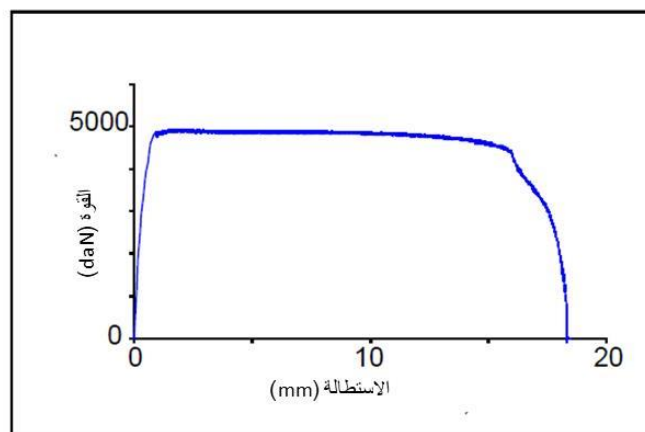
الشكل(١٢-١): شكل انهيار العينة المختبرة

يبين الشكل (a-12-1) العلاقة بين القوة المطبقة أثناء التجربة وقيمة الاستطالة الموافقة، بينما الشكل (12-

b-1) يبين العلاقة بين قيم الاجهاد وقيم الانفعالات المحورية المقاسة أثناء التجربة.



(b): منحنى الاجهاد- التشوه



(a): منحنى القوة- الاستطالة

الشكل (1-12): نتائج تجربة الشد المحوري للعيينة A₀₇

تم قياس قيم كل من اجهاد حد التناسب R_p ، وقيم حد المرونة الاصطلاحي $R_{0.2}$ تخطيطياً من منحنى الاجهاد-التشوه في حالة التحميل الدوري كما في الشكل (1-12a)، والتحميل المحوري كما في الشكل (1-12b)، وسجلت النتائج بالجدول (1-8). نلاحظ من النتائج أن الانحراف المعياري لحد التناسب أكبر من قيمته بالنسبة لحد المرونة الاصطلاحي، وهذا يدل على أن مفهوم حد المرونة الاصطلاحي أكثر دقة من مفهوم حد التناسب.

الجدول (1-8): نتائج قياس R_p و $R_{0.2}$

$R_{0.2}$ (MPa)	R_p (MPa)	رقم العينة	نوع التحميل
381.8	242.2	A ₀₁	نتائج تجارب التحميل الدوري
384.5	266.0	A ₀₂	
348.9	215.0	A ₁₀	
386.2	219.6	A ₀₄	
381.9	235.4	A ₀₅	
378.8	241.0	A ₀₃	
384.0	260.3	A ₀₇	نتائج تجارب الشد المحوري
391.6	286.7	A ₀₉	
385.5	253.5	A ₁₂	
386.8	258.4	A ₁₄	
384.4	349.4	A ₁₅	
384.6	257.0	المتوسط	
3.3	36.9	الانحراف المعياري	

في حين تم قياس قيم كل من مقاومة الشد R_m و اجهاد الانهيار R_r وقيمة التشوه عند الانهيار ϵ_r بشكل تخطيطي من منحنى الاجهاد-التشوه لتجارب الشد المحوري كما في الشكل (1-6-b)، ويبين الجدول (1-9) القيم المقاسة لجميع العينات المختبرة على الشد المحوري.

الجدول(1-9): نتائج قياس R_r ، R_m و ϵ_r

نوع التحميل	رقم العينة	R_m (MPa)	R_r (MPa)	ϵ_r (%)
نتائج تجارب الشد المحوري	A ₀₇	480.9	467.9	26.0
	A ₀₉	501.6	484.4	32.0
	A ₁₂	480.0	475.6	29.0
	A ₁₄	528.7	459.8	29.0
	A ₁₅	486.5	467.9	27.7
	المتوسط	495.5	471.2	28.7
	الانحراف المعياري	20.5	9.4	2.2

من الجدول السابق تم حساب القيم الوسطية للقيم المقاسة مع تحديد نسبة الخطأ أثناء عملية القياس:

- مقاومة الشد $R_m=495.5\pm 9.1$ MPa وبنسبة خطأ قدرها 1.8%.

- مقاومة الانهيار $R_r=471.2\pm 4.2$ MPa وبنسبة خطأ قدرها 0.89%

- قيمة التشوه عند الانهيار $\epsilon_r=28.7\pm 1.0$ MPa وبنسبة خطأ قدرها 3.4 %

نلاحظ أن نسبة الخطأ في حساب كل من مقاومة الشد ومقدار التشوه عند الانهيار تجاوزت قيمتها 1%، ويمن

تفسير ذلك لوجود خط اللحام في الأنابيب.

الاستنتاجات والتوصيات :

من خلال اختبار أنابيب الفولاذ الملحومة من خلال تجارب التحميل الدوري المتناظر (شد- ضغط) ، وتجارب الشد

المحوري ، تمكنا من تحديد أهم الخصائص الميكانيكية الأساسية لهذه الأنابيب:

- بينت نتائج التحميل الدوري المتناظر أن معدن الأنابيب يبدي ظاهرة التبرية (softening) .

- قيم معامل يونغ للمعدن المختبر تساوي وسطياً 178.5 GPa وبنسبة خطأ قياس بحدود 3.1%

- قيم معامل بواسون تساوي 0.3 وبنسبة خطأ حوالي 3.3%.

- قيم المرونة الاصطلاحية $R_{0.2}$ تساوي وسطياً 348.6 MPa بنسبة خطأ قدرها 0.3%

- مقاومة الشد $R_m=495.5\pm 9.1$ MPa وبنسبة خطأ قدرها 1.8%.

- مقاومة الانهيار $R_r=471.2\pm 4.2$ MPa وبنسبة خطأ قدرها 0.89%

- قيمة التشوه عند الانهيار $\epsilon_r=28.7\pm 1.0$ MPa وبنسبة خطأ قدرها 3.5 %

- وجود اللحام كان له أثر على قيم كل من معامل يونغ ، معامل بواسون، مقاومة الشد وقيمة التشوه

عند الانهيار، حيث تجاوزت نسبة الخطأ 1% .

التوصيات:

-نوصي بإجراء اختبارات تحمل على الضغط لهذه الأنابيب .

-دراسة تأثير مادة اللحام وطريقة اللحام على الخصائص الميكانيكية للأنايبب الملحومة.

المراجع:

- 1-Chache, M "*Etude de l'érouissage cyclique des matériaux métalliques et des phénomènes de rochet*" PhD thesis-2004 ,université Josef Fourier, Grenoble1.
- ٢-٢. ميساء شاش، علم المواد وخواصها . جامعة طرطوس 2019
- 3-Youngseon Lee¹ , Jeongsuk Lim¹ and Younghoon Moon."*Mechanical Characteristics of Low-Carbon-Steel Pipe Bent by Local Induction Heating with Small Bending Radii*".Materials Transactions, Vol. 53, No. 5 (2012) pp. 847 to 852
- 4-Spyros A. Karamanos."*Mechanical behavior of steel pipe bends;an overview*". Journal of Pressure Vessel Technology (2015)
- 5-Welded Steel Pipe Design Manual : Merits, Design Standards, Technical Data and References. American iron and steel institute. 2007
- 6-Brent Keil, Jack Devletian."*Comparison of the Mechanical Properties of Steel and Ductile Iron*".ASCE (2011). pp. 1301 to 1312
- 7-Brent Keil, "*Mechanical Property Changes in Steel during the Pipe Making Process*".Pipelines(2010) pp.381 to 392
- 8-Meng Wang, Larry A. Fahnstock, Fengxia Qian, Weiguo Yang ."*Experimental cyclic behavior and constitutive modeling of low yield point steels*". Construction and Building Materials . Elsevier (2016).
- 9-Yaqi Suo , Wenwei Yang, and Peng Chen" *Study on Hysteresis Model of Welding Material in Unstiffened Welded Joints of Steel Tubular Truss Structure "*. Appl. Sci. 2018, 8, 1701.
- 10-Tourabi,A "*Contribution a l'étude de hystérésis élastoplastique et de l'érouissage de métaux et alliage réels*" PhD-1988 thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble.