إصلاح أنابيب المواد المركبة (GRP) المستخدمة في نقل البترول

يوسف سفراني
أستاذ
قسم الميكانيك التطبيقي
خير الدين طرشة كردي
قسم علم المواد الهندسية
كلية الهندسة الميكانيكية, جامعة حلب
حلب - سورية

الخلاصة:-

يهدف هذا البحث، إلى إيجاد الطريقة المثلى لإصلاح أنابيب) GRP زجاج / فينيل استر) المصنعة في شركة الشمال والمستخدمة لنقل البترول. تمت عملية الإصلاح باستخدام المواد المركبة (GRP) المؤلفة من طبقات من الألياف الزجاجية المقطعة على شكل مات والألياف المنسوجة, وذلك بعد تشكيل تلف مصطنع في عينات من الأنابيب مشابه إلى الظروف الحقيقية التي تتعرض لها الأنابيب.

بينت النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها بأن عملية الإصلاح المقترحة ذات كفاءة ميكانيكية عالية مقارنة مع الأنابيب الفولاذية التقليدية والخاضعة لنفس عملية الإصلاح، وقابلة للتطبيق الحقلي بشكل سهل عند تلف أنابيب.GRP

الكلمات المفتاحية: مواد مركبة, زجاج / فينيل استر, إصلاح أنابيب GRP, تسليح على شكل نسيج، تسليح

1- المقدمة :

تمتاز أنابيب المواد المركبة GRP (Glass Reinforced Plastic)بخفة الوزن ومقاومة التآكل الكيميائي الناتج عن المواد السائلة التي تنقلها مثل الماء و البترول و كذلك التآكل الناتج عن الصدأ للأنابيب الفولاذية عند العمل بالظروف الرطبة، حيث أشار إلى ذلك كاي وآخرون (Gay et al) [4], الأمر الذي يؤدي إلى خفض كلفة الصيانة عند استثمار هذه الأنابيب في خطوط نقل البترول. إن دخول تلك الأنابيب بشكل واسع في ذلك المجال الهام والحيوي يتطلب إيجاد طريقة مثلى لإصلاحها عند تعرضها لأشكال التلف المختلفة أو عند إصابتها بآليات ردم التربة أو ما شابه ذلك والذي يؤدي لخروج خط الأنابيب عن الخدمة وهذا ينعكس على زيادة التكاليف نتيجة التسرب و يسبب هدر وضياع في كمية السائل المنقول (البترول) ذو القيمة المادية العالية. وكذلك ما يشكله التسرب من خطر على البيئة والصحة والأكثر خطورة هو قابلية المادة المنقولة للانفجار, كما يبقى حل استبدال الأنبوب ككل خياراً غير اقتصادي من ناحية التكاليف أيضاً.

إن النظر في طرق إصلاح الأنابيب الفولاذية، والمعدة لنقل البترول والغاز، مفيد للغاية, وذلك لتراكم الخبرة في هذا المجال عبر زمن طويل وتنوع طرق إصلاحها ما بين القص والاستبدال واللحام بضماد فولاذي. وتنتهي باستخدام المواد المركبة عبر تقنيتين أساسيتين. حيث تعتمد التقنية الأولى على ضمادات معالجة مسبقاً ذات أقطار أنابيب قياسية, أما التقنية الثانية فيشار إليها باسم الضماد الرطب - (wet tape)وتعالج في مكان الإصلاح وتستعمل في الحالتين مواد رابطة مختلفة مثل (الإيبوكسي,

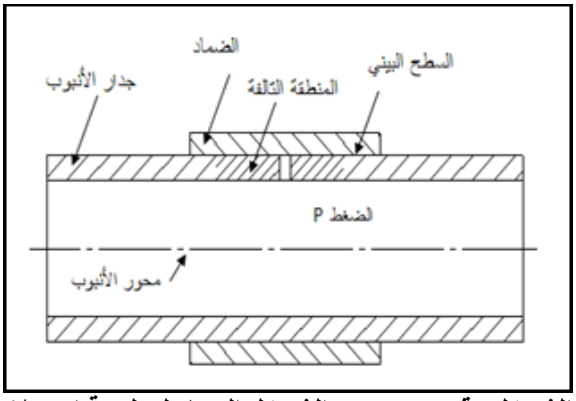
البوليستر) وألياف داعمة كالألياف الزجاجية نوع (E) على شكل مات أو نسيج أو ألياف الأراميد ومن طرق الإصلاح أيضاً ضماد الإيبوكسي (ESR) بمفرده دون ألياف والمشكل عبر قالب مؤلف من نصفي اسطوانة قشرية من الفولاذ تصنع مع الأنبوب التالف فراغاً يملأه الإيبوكسي يستخدم بعض هذه الضمادات للوصلات المستقيمة و أخرى تلائم الوصلات المنحنية و وصلات على شكل حرف T, حيث قام بتوضيح ذلك الباحثان بليفيناج و العلواني (Pluvinage & Elwany) [6].أما مزايا استخدام ضماد المواد المركبة فقد حددها الباحثان الكسندروفراشيني[3] (Alexander & Francini) والتي تتضمن استعادة المقاومة الكلية للأنبوب التالف وزيادة صلابة مقطعه ونقصان الانفعال الموضعي المحرّض بالضغط الداخلي مروراً بإيقاف نمو الشقوق والحماية من التآكل الخارجي للمنطقة التالفة, أما الباحث جودان [5] (Jodin) فقد استنتج أن مميزات الانكسار الهامة كانفتاح شفة الشق وقيمة integral-J قد انخفضت بشكل كبير بوجود الضماد اللاصق من المواد المركبة (زجاج /إيبوكسي) وذلك عندما درس عددياً عبر برنامج Cast3m أنبوباً فولاذياً معد لنقل البترول, ذي شق على شكل نصف قطع ناقص مع الضماد المذكور.

2- .إصلاح عينات أنابيب GRPباستخدام المواد المركبة

أجريت عملية الإصلاح على عينتي أنابيب ((GRPالمصنعة في شركة الشمال للأنابيب بحلب بواسطة اللف التشابكي بقطر داخلي (100(mm و طول (750 mm).يتألف جدار الأنبوب من 32 طبقة من الألياف الزجاجية الملفوفة بزاوية $\pm 55^{o}$ و المشبعة بمادة الفينيل استر كمادة رابطة، و ذلك بسمك كلي يقدر بـ 4 ((mm وفق المواصفة القياسية السورية رقم 1792 المعتمدة على المواصفة البريطانية BS 5480 والمواصفة ASTM D3681.

2.1 . تشكيل التلف بواسطة الصدم والثقب على عينتي أنبوبGRP

إن السبب الرئيسي لاختيار تلف الصدم هو حساسية المواد المركبة العالية لحمولات الصدم العمودية على مستوى التنضيد وقد تم التأكيد على منطقة الصدم بإحداث ثقب في مركز منطقة الصدم وذلك للسماح للسائل بتأثير القوة الضاغطة على الضماد مباشرةً من أجل تحديد المقاومة الميكانيكية للسطح البيني (أنبوب, ضماد), كما في **الشكل 1**



الشكل رقم 1 يبين الشكل العام لعملية إصلاح أنبوب GRPالتالف.

تم إحداث التلف في عينة الأنبوب GRP الأول من خلال سقوط حر،لكتلة صادمة (515 (gr ذات رأس صادم كروي بقطر (40 mm)ومن ارتفاع (1500 mm) ، وذلك على آلة الصدم-(ray ran).كانت النتيجة شقوق المادة الرابطة عن طريق القص على شكل دوائر متحدة المركز وسطوح خاضعة لتحنيب عند موقع الصادم وشقوق المادة الرابطة بسبب الانحناء, إضافة لشقوق على السطح الداخلي للأنبوب دون اختراق الجسم الصادم لجدار الأنبوب وكذلك منطقة فك التصاق أوسع في منطقة شقوق المادة الرابطة و بأبعاد (46.88 mm)في

الاتجاه الطولي و (40.18 mm)في الاتجاه العرضي أو المحيطي, أي بمعنى آخر البعد الأعظمي لمنطقة التلف الناشئة في جدار الأنبوب سيتم تقريبه إلى (50 mm) وهذا ما يوضحه **الشكل 2**

كما تم إحداث ثقب في مركز منطقة التلف بقطر (5 ,mm) وقد تم تأشير مكان الثقب بخط على طول الأنبوب والمار من مركزه وذلك لتحديد مكانه بعد الإصلاح.

الشكل رقم (2): منطقة التلف بالصدم للأنبوب GRP الأول.

أما عينة الأنبوب الثاني, فقد تم إجراء الصدم عليه كما الأنبوب الأول ولكن بكتلة (2000 gr)وبارتفاع صدم (1500 mm) وبرأس صادم كروي قطره (16 ,mm)ولكن في هذه الحالة تم الصدم أربع مرات في أربع مناطق مختلفة من الأنبوب بحيث يكون الزاوية بين موقع الصدم الأول والذي يليه °90 على محيط الأنبوب والغاية من ذلك الحصول على أربع عينات شد طولي مارة بمنطقة التلف.

كانت نتائج الصدم عند كل موقع صدم على جدار الأنبوب كما في الأنبوب الأول دون اختراق الرأس الصادم مع ازدياد حجم الشقوق المعاينة للمادة الرابطة وبشكل غير منتظم و كذلك الشقوق على السطح الداخلي للأنبوب, وكانت أبعاد منطقة فك الالتصاق في الاتجاه الطولي (60 mm) وفي الاتجاه العرضي (54.4 mm) ولكل مرة. أي أن البعد الأعظمي لمنطقة التلف الناشئة في جدار الأنبوب هي (60 mm), وبعد ذلك تم إحداث ثقب في مركز منطقة التلف بقطر (5 mm) لكل موقع صدم, كما يظهر في **الشكل 3**مع تحديد مكان الثقب بخط على طول الأنبوب والمار من مركزه.

2.2.تحديد عرض ضماد الإصلاح

تم اقتراح عرض ضماد المواد المركبة والمستخدم للإصلاح, وهو بثلاثة أمثال البعد الأعظمي لمنطقة التلف الموصوفة في الفقرة السابقة, وبذلك سيكون عرض ضماد الإصلاح لحالة الأنبوب الأول (150 mm), أما للأنبوب الثاني سيكون عرض الضماد (180 mm).

الشكل رقم (3): منطقة التلف بالصدم للأنبوبGRP الثاني مع الثقب.

2.3.تحضير منطقة الإصلاح

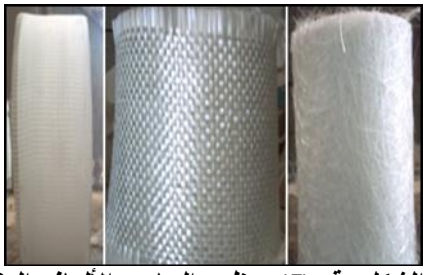
إن الغاية من عملية تحضير منطقة الإصلاح بواسطة الجلخ (Grinding), هي تنظيف السطوح التي سيتم عليها إنشاء الضماد والتخلص بشكل جزئي من الشقوق السطحية الموجودة في منطقة تلف الصدم والتي تشكل نقاط ضعف قابلة للنمو نتيجة تغلغل السائل المضغوط ضمنها, كما تؤمن هذه العملية نقل أكثر فعالية للحمولة من منطقة التلف إلى الضماد من خلال زيادة الالتصاق الفعال بين الضماد والسطح الخارجي للأنبوب, ويظهر في **الشكل 4** طريقة التحضير ومنطقة الإصلاح النهائية ويجب الإشارة أن عرض منطقة التحضير هو نفسه عرض الضماد المقترح وفي النهاية يتم التنظيف بالهواء المضغوط.

الشكل رقم(4): يبين طريقة تحضير منطقة الإصلاح لعينتي الأنبوب.GRP

2.4.إنشاء ضماد المواد المركبةGRP

إن طريقة تصنيع متممات أنابيب GRP كالأكواع والفلنجات و وصلات T وكذلك وصلات تغير القطر (نقّاصات), لا تتم بواسطة اللف التشابكي كما هو الحال في تصنيع الأنبوب وإنما بطريقة يدوية بواسطة القوالب, لذلك فإن الاقتراح الأجدى لإصلاح عينتي الأنبوب GRP التالفتين هو استخدام الدعم الإنشائي الموافق لمتممات هذا الأنبوب و الذي يتألف من تسع طبقات, منها الألياف الزجاجية المقطعة من النوع E على شكل مات (mat) ذات كتلة سطحية (375 gr/m2,)والتي تتوضع بالتناوب مع طبقات من الألياف المنسوجة بشكل متوازن (woven roving)ومن النوع E أيضاً, وذات الكتلة السطحية (500 gr/m2,)وتُشرّب تلك الألياف بالمادة الرابطة وهي الفينيل استر التي هي الاختيار الأمثل لأنها من نفس طبيعة المادة الرابطة للأنبوب GRP الأصلي, الأمر الذي يعطي تجانس أكبر بين مادة الأنبوب و الضماد.

تم تجهيز كلا نوعي الدعم بحيث يكون عرضهما مساوياً لعرض الضماد المقترح, مع استخدام نسيج بوليستر مع الطبقات أثناء التغطيس بالمادة الرابطة, و يجب أن ننوه إلى أن جميع المواد المذكورة سابقاً هي من شركة الشمال للأنابيب والمستخدمة في عمليات التصنيع ويبين **الشكل 5** الألياف الزجاجية المستخدمة للإصلاح مع نسيج البوليستر.



الشكل رقم (5): يظهر المات والألياف المنسوجة ونسيج البوليستر على الترتيب و المستخدمة في الإصلاح.

تم في المرحلة الأولية تحضير المادة الرابطة (الفينيل استر) مع المقسي (hardener) والمحفز, ويجب الانتباه إلى عدم تلامس هاتين المادتين مع بعضهما بسبب خطر نشوء حريق, ثم تم تشريب السطح الخارجي للأنبوب في منطقة الإصلاح بالمادة الرابطة المحضّرة بواسطة الفرشاة الخاصة, تلا ذلك لف طبقة المات على الأنبوب بعد تشريبها بالمادة الرابطة, بعد ذلك تم لف طبقة الألياف المنسوجة والمشربة بالمادة الرابطة مع إمالة الألياف لكل من السدى واللحمة بزاوية °45 مع محور الأنبوب, ويؤمن ذلك دعم منطقة الإصلاح بالاتجاه المحوري و المماسي.

تم تكرار العملية السابقة بإضافة طبقة من المات و طبقة من الألياف المنسوجة مع الإشارة أنه بعد طبقتي مات و طبقتي ألياف منسوجة يلف نسيج من البوليستر ليؤمن طرد فقاعات الهواء ويضمن تشريب كامل للألياف بالمادة الرابطة, ويبين **الشكل 6** طريقة تشكيل طبقات الدعم للضماد.

الشكل رقم(6): يبين طريقة تشكيل طبقتي المات والألياف المنسوجة مع لف نسيج البوليستر.

تُكرر العمليات السابقة بحيث يصبح ترتيب الدعم كما في **الجدول 1,** ومن أجل إتمام البلمرة أُستخدم سخان كهربائي متنقل مع تدوير عينتي الأنبوب بشكل يدوي منتظم.

يوضح **الشكل 7** عينتي أنبوب GRP بعد إتمام عملية الإصلاح بواسطة ضماد المواد المركبة.GRP

3. الدراسة التجريبية على عينتي أنبوب GRPبعد الإصلاح

إن الغاية من هذه الدراسة إجراء اختبار حمولة ضغط داخلي زائد على عينة أنبوب GRP الأول بعد الإصلاح للتأكد من قدرته على مقاومة حمولة الضغط الزائدة وتحديد الضغط الداخلي الأعظمي الذي يمكن أن يتحمله الضماد, ومن جهة ثانية إجراء اختبار شد طولي على عينات من الأنبوب GRP الثاني لتحديد مقاومة منطقة الإصلاح في الاتجاه الطولي.

الطبقة	طبقة الألياف مع المادة الرابطة
1	ألياف زجاجية على شكل مات.
2	ألياف زجاجية منسوجة بزاوية°45.
3	ألياف زجاجية على شكل مات.
4	ألياف زجاجية منسوجة بزاوية°45.
5	لف نسيج بوليستر
6	ألياف زجاجية على شكل مات.
7	ألياف زجاجية منسوجة بزاوية°45.
8	ألياف زجاجية على شكل مات.
9	ألياف زجاجية منسوجة بزاوية°45.
10	ألياف زجاجية على شكل مات.
11	لف نسيج بوليستر

الجدول رقم (1): يبين ترتيب طبقات الدعم المستخدمة لتشكيل ضماد الإصلاح.

الشكل رقم (7): يبين كلٌ من عينة الأنبوب GRP الأول والثاني بعد الإصلاح.

3.1. اختبار حمولة الضغط الداخلي الزائد

تم إجراء هذا الاختبار على عينة الأنبوب الأول GRP بعد إصلاحه وذلك وفق المواصفة القياسية السورية 1792 والتي تسمح بضغط الانبوب بعامل أمان مقداره مرة ونصف من الضغط الاسمي و الذي يبلغ (40Bar) للأنبوب الأصلي, و في اختبارنا هذا تم تجاوز هذه القيمة لحد كبير.

تم في البداية تركيب سدادات الإغلاق الفولاذية ذات القطر الداخلي المماثل للقطر الخارجي لعينة الأنبوب, وثُبتت بإحكام بواسطة البراغي الفولاذية, وبعد ذلك ملئت العينة بالماء وتم الوصل مع مضخة رفع الضغط الهيدروليكية كما في **الشكل8**

تبين من الاختبار, أنه لم يظهر أي مؤشر للانهيار حتى الوصول لضغط داخلي قيمته (165 Bar) حيث بدأت العينة بعد ذلك بالانهيار في منطقة الإصلاح من خلال سماع صوت فك الالتصاق بين الضماد والأنبوب وظهور شقوق ميكروية في المادة الرابطة وذلك من جهة الثقب والمنطقة التالفة بالصدم والمؤشرة مسبقاً, ويفسر ذلك بتسرب السائل المضغوط عبر الثقب إلى الشقوق المجهرية في السطح البيني (ضماد / أنبوب) ونموها بشكل كبير عند الضغوط العالية جداً ونتج عن حركة فك الالتصاق شقوق المادة الرابطة المشاهده من على السطح الخارجي للضماد, كما يظهر في **الشكل 9**

الشكل رقم (8): يبين اختبار الضغط الداخلي لأنبوب GRP الأول بعد الإصلاح.

الشكل رقم (9): يبين مؤشرات انهيار ضماد الإصلاح لأنبوب GRP الأول.

3-2اختبار الشد الطولي

تم تحضير عينات اختبار الشد الطولي من الأنبوب GRPالثاني بعد الإصلاح, ولعينة طولها (400 mm) وعرض منطقة الاختار (20 mm) و من الطرفين (40 mm) كما تم قص أربع عينات بحيث تكون منطقة تلف الصدم مع الثقب في منطقة الاختبار وذلك بواسطة منشار قرصي خاص, ويوضح الشكل رقم (10) عينات الشد الطولي قبل إجراء الاختبار.

تم إجراء الاختبار على آلة شد هيدروليكي عامودي (techno-test), وذات البعد الأصغري بين الفكين (200 mm), كما في **الشكل 11**

الشكلرقم (10): يبين عينات الشد الطولي من الخارج والداخل على الترتيب.

الشكل رقم (11): يبين آلة الشد الطولي وعينة GRP بين فكوك الآلة.

تبين بعدإجراء الاختبار,أن انهيار العينات قد تم من الأطراف خارج المنطقة الفعالة (منطقة الضماد), ويبين **الشكل 12** عينات الشد الطولي بعد الانهيار.

يدل حدوث الانهيار في أطراف العينات, أن منطقة الضماد تبدي مقاومة على الشد الطولي أكبر من المقاومة التي تبديها المنطقة السليمة وذلك لأن مقطع المنطقة الفعالة أكبر بقليل من المقطع عند الأطراف، وهذا يعود لصعوبة إمكانية تحقيق تساوي في المقاطع للمنطقتين (الأطراف والفعّالة) قبل قص العينات حيث سمك ضماد الإصلاح المضاف غير معلومة, أي غير مقاسة بدقة قبل القص وبالتالي ستكون هناك فروق في المقاطع, حيث تبين بعد القص أن السمك التقريبي للضماد هو (6 mm).

الشكل رقم (12): يبين عينات الشد الطولي بعد الانهيار.

يبين **الجدول (2)** نتائج اختبار عينات الشد الطولي الأربعة ونلاحظ أن قيمة الإجهاد الوسطي على الشد الطولي عند المنطقة الخاضعة للإصلاح هي (79.1 MPa) وهي قيمة عالية إذا ما قورنت مع قيمة إجهاد الانهيار الوسطي على الشد الطولي لجدار الأنبوب GRP الأصلي وهي (93.77 MPa) وهذا يدل على الخصائص الميكانيكية العالية في منطقة الإصلاح حيث أثبتت المعاينة البصرية لهذه المنطقة بعد الاختبار عدم تأثر سطح اللصق الفعّال (ضماد / أنبوب).

جدول رقم (2): نتائج اختبار عينات الشد الطولي.

العينة	القوة عند الانهيار [N]	مقطع انهيار العينة [mm^2]	المقطع في المنطقة الخاضعة للإصلاح [mm^2]	الإجهاد في مقطع الانهيار [Mpa]	الإجهاد عند المنطقة الخاضعة للإصلاح [Mpa]
1	16900	174.36	201.14	96.92	84.02
2	16200	175.92	208.52	92.08	77.69
3	16800	175.14	212.5	95.92	79.05

75.67	90.16	211.43	177.46	16000	4
79.1	**93.77**	**الإجهاد الوسطي**			

3.3. الاستنتاج التحليلي

إن استنتاج قيمة الضغط الداخلي والتي تولد قيمة الإجهاد الوسطي على الشد الطولي في المنطقة الإصلاح, تم بواسطة العلاقة التحليلية التي تعطي الإجهاد الطولي المتولد لأنبوب قطره الداخلي (D=100 mm) وسمك ضماد(t=6 mm) كما يلي [5]:

$$\sigma_a = \frac{p \times D}{4t} \qquad (1)$$

فتصبح بعد الإصلاح:

$$p = \frac{\sigma_a \times 4t}{D} \qquad (2)$$

فتكون قيمة الضغط الداخلي (189.84 Bar) والذي يولد الإجهاد الطولي الوسطي في منطقة الإصلاح

$$\sigma_a = 79.1 \text{ Mpa.}$$

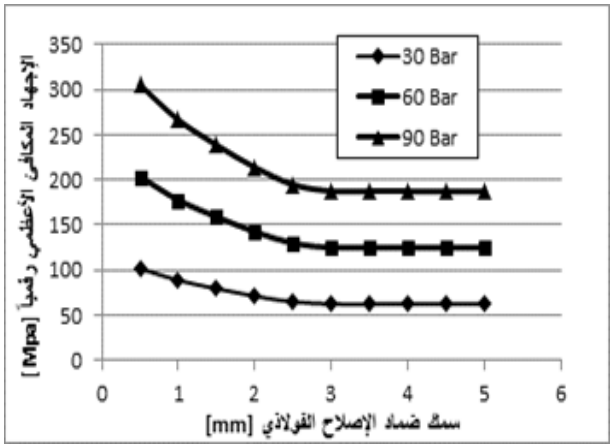
4- الدراسة الرقمية لأنبوب فولاذي مع الإصلاح

إن الغاية من هذه الدراسة إيجاد مقارنة بسيطة بين أداء الأنابيب الفولاذية بعد الإصلاح والمستخدمة لنقل البترول وأداء أنابيبالمواد المركبة (GRP) بعد إصلاحها والذي تمت دراسته تجريبياً, وإن اقتصارنا على الدراسة التجريبية دون الرقمية جاء نتيجةً لصعوبة نمذجة هذه الحالة بوجود ضماد لاصق من المواد المركبة وثقب في الأنبوب مع تلف الصدم المعقد.

لذلك ومن أجل الاستئناس بالنتائج العددية فقد تمت النمذجة بطريقة العناصر المحددة بواسطة برنامج ANSYS 11 لنصف أنبوب فولاذي بسمك جدار (4 mm)وطول (750 mm) وقطر داخلي(100 mm) مع ضمادة فولاذية بعرض (50 (mm لإصلاح تلف في الأنبوب الفولاذي على شكل ثقب قطره 5) ,(mmوبالنظر إلى **الشكل (13)** والذي يرسم العلاقة بين الإجهاد المكافئ الأعظمي رقمياً وفق معيار (von mises)مع سمك ضماد الإصلاح الفولاذي عند ثلاث ضغوط داخلية مختلفة, تم اختيار سمك الضماد الفولاذي δ=3 mm

والذي تثبت عنده قيمة الإجهاد المكافئ الأعظمي رقمياً.

في هذه الدراسة تم استخدام العنصر المحدد solid 45 وعدد العناصر /104886/.



الشكل رقم (13): يبين ثبات قيمة الإجهاد المكافئ الأعظمي رقمياً بالنسبة لسمك الضماد

إن معرفة وصول الأنبوب للانهيار ستتم عبر العلاقة التالية [6]:

$$\sigma_{eq\ \max\ (von\ mises)} \le [\sigma] \qquad (3)$$

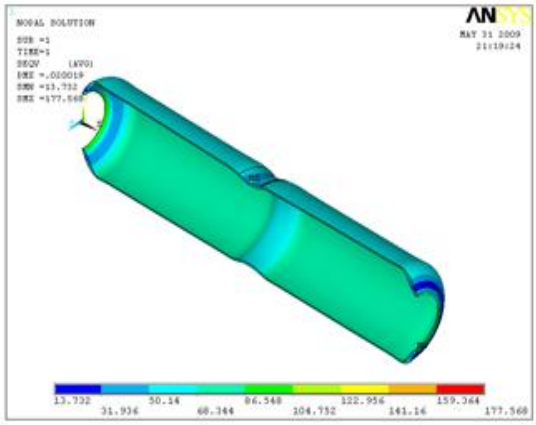
تحدد قيمة الإجهاد [σ] المسموح به من أجل الأنبوب الفولاذي المستخدم لنقل البترول بعد تطبيق علاقة النظم الأمريكية [1] (ANSI B31.8-1966) والتي تأخذ بعين الاعتبار إجهاد التمزق الحدي للفولاذ (500 MPa) مضروباً بعوامل أخرى كثابت ظروف عمل أجزاء خط الأنابيب وثابت ظروف عمل المعدن وعامل تجانس المعدن وبذلك تكون قيمة الإجهاد المسموح به

$[\sigma] = 336\ \text{Mpa}$.

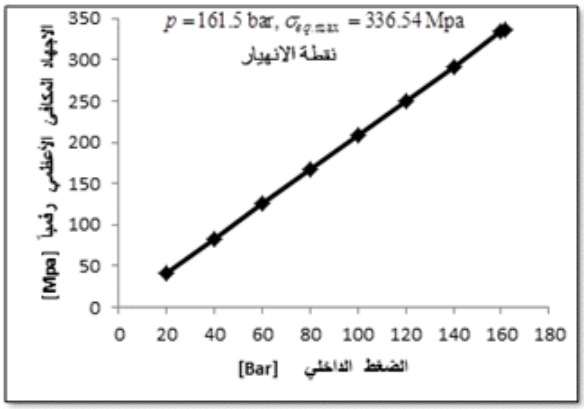
يبين الشكل (14) تشوه نصف الأنبوب وقيم الإجهاد المكافئ عند قيمة ضغط داخلي (60 Bar) حيث نجد أن قيمة الإجهاد المكافئ الأعظمي تكون عند موقع الثقب والضماد الفولاذي.

أما الشكل (15) فيبين العلاقة الخطية بين تغير الإجهاد المكافئ مع الضغط الداخلي حتى الانهيار المعاين وفق العلاقة (3) أعلاه, حيث أن قيمة الضغط المقابل للانهيار رقمياً هي (161.5 Bar) وقيمة الإجهاد

$$\sigma_{eq\ \max} = 336.54\ \text{MPa}.$$



الشكل رقم (14): يبين التشوه الناتج عن تطبيق الداخلي P = 60 Bar.



الشكل رقم (15): تغير الإجهاد المكافئ الأعظمي مع زيادة الضغط الداخلي رقمياً حتى الانهيار.

5- مقارنة النتائج

تبين النتائج التي حصلنا عليها من الدراسة الرقمية لأنبوب فولاذي بعد الإصلاح مع النتائج التجريبية لأنبوب المواد المركبة GRP بعد الإصلاح, أن هناك تقارب في قيم الانهيار وتطابق قيم المقاومة الميكانيكية كما في **الجدول 3.**

إن قيمة الإجهاد الوسطي على الشد المحوري للمنطقة الخاضعة للإصلاح والتي تقابل ضغطاً داخلياً بقيمة (189.84 Bar) تحليلياً, وذلك بدون حصول الانهيار, والذي يفوق أعلى ضغط داخلي مرجعي عند نقل البترول وهو (100 Bar) حسب [6], ويتوافق كذلك مع اختبار حمولة الضغط الداخلي الزائدة تجريبياً, حيث تم انهيار تلك المنطقة عند (165 Bar). يفسر الفارق بين القيمة التحليلية والتجريبية بسبب الشقوق المجهرية في منطقة السطح البيني (ضماد/ أنبوب) والمسامية الزائدة في منطقة الإصلاح وكذلك البلمرة غير المتجانسة بسبب عدم انتظام تدوير الأنبوب يدوياً وأخطاء أخرى غير متوقعة, وعلى الرغم من ذلك أعطت عملية الإصلاح بتلك الطريقة, مقاومة ميكانيكية عالية وقابلية للتطبيق على أرض الواقع عند تلف أنابيب GRP المستخدمة في نقل البترول

الجدول رقم (3): يبين مقارنة الدراسة الرقمية والتجريبية لأنبوب فولاذي مع أنبوبGRP.

نوع الدراسة	نوع الأنبوببعد الإصلاح	الضغط الداخلي عند الإنهيار في مكان الإصلاح (*Bar*)
رقمية	أنبوب فولاذي	161.5
تجريبية	أنبوب (GRP)	165

6- الاستنتاجات

- إن تقارب نتائج الدراسة الرقمية لأنابيب (GRP) الخاضعة لضغط داخلي مع نتائج الاختبارات التجريبية تحثنا على نمذجة طيف واسع من المواد المركبة وتساهم في التخفيف من الاختبارات الميكانيكية وتسمح بسرعة دراسة المتغيرات الميكانيكية مع المتغيرات الأخرى.
- إن إصلاح أنابيب المواد المركبة (GRP) بطريقة الضماد الرطب (wet-tape) من المواد المركبة (GRP), يعطي إمكانية الإصلاح بسرعة وفي الحقل مباشرة و يلائم الأجزاء المنحنية والوصلات T, وأعطت عملية الإصلاح قيم مقاومات ميكانيكية عالية بعد الدراسة التجريبية.
- دلت المقارنة المنجزة بين أنابيب النفط الفولاذية ونظيرتها من المواد المركبة (GRP) بعد إصلاحهما من حيث قيم الانهيار عند موقع الوصلة, على تقارب الأداء الميكانيكي، وتنفرد أنابيب (GRP) بمقاومتها العالية للمواد المرافقة للنفط الخام كغاز هيدروجين الكبريت (H_2S) والذي يسرع تآكل الأنابيب الفولاذية.

7- المصادر :

1- الجاجة هيثم, 1982- نقل وتخزين النفط و الغاز الطبيعي، منشورات جامعة البعث, 99

2- زنرني محمد نظمي, 1989- مقاومة المواد, منشورات جامعة حلب, 76.

3- ALEXANDER C.; FRANCINI B., 2006- "State of the Art Assessment of Composite Systems used to RepairTransmission Pipelines", 6th International Pipeline Conference, Calgary, Canada.

4- GAY D.; HOA S.V.; TSAI S.W., 2003- "Composite materials design and applications"France
5- JODIN P.,2006- "Repairing of Damaged Pressure Pipes with a Composite Sleeve"Materials Science Forum(518), 531-536.
6- PLUVINAGE G.; ELWANY M . H., 2008- " Safety, Reliability and Risks Associated with Water, Oil and GasPipelines". Published by Springer

An analytical study to statement the effect material alucobond that use in the packaging of the buildings on the cooling load

Youssef Sefrani
Dept. of Applied Mechanics
KheirEddineTarshaKurdi
Dept. of Materials Science
Faculty Mechanical Engineering,
University of Aleppo-Syria.

Abstract:

This research aims to find the best way to repair the glass reinforced plastic pipes (Glass/Vinyl Ester), which are produced by AL SHAMAL pipes company, and used for petroleum transportation. The repair process completed by using composite materials GRP consisting of layers of glass fiber in the form of chopped fibers mat and woven roving after the formation of an artificial damage in samples of GRP pipes.

The experimental results obtained showed thatthe repair process proposed has a high mechanical efficiency compared with conventional steel pipes subject to the same repair process and can be field easily applied when damage caused in GRP pipes.

Keywords: composite materials, Glass/Vinyl Ester, GRP pipes repair, Textile reinforcement, mat reinforcement