مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

إصلاح عيوب الأنابيب الفولاذية باستخدام مادة الايبوكسي

الدكتور علي هترة *
الدكتور رامي منصور**
لورا الوزة ***

(تاريخ الإيداع 5 / 4 / 2016. قُبِل للنشر في 29/ 11 / 2016)

□ ملخّص □

يتناول هذا البحث كيفية القيام بعملية إصلاح عيوب الأنابيب الفولاذية بطريقة سهلة وبسيطة. في البداية تنظف المنطقة المحيطة بالعيب ثم تطبق مادة الايبوكسي فوق العيب بعد مزج الريزين مع المقسي بشكل جيد. تعتمد أبعاد طبقة الايبوكسي على أبعاد العيب الموجود في الأنبوب. بعدها تترك العينة فترة من الزمن لتتحقق عملية التصلب. استخدمت عدة أنواع من الايبوكسي لتحضير مجموعة من العينات التي تم اختبارها على جهاز الضغط لتقييم فعالية هذه الطريقة في الإصلاح ومعرفة قيم الضغط الذي يمكن أن تتحمله طبقة الايبوكسي. تمت معالجة أنبوب يحوي ثلاثة ثقوب متساوية الأقطار باستخدام ALTECO QUICK EPOXY STEEL وسجل مقياس الضغط قيماً وصلت حتى 18 بار. رسم المنحني الممثل للعلاقة بين الضغط الذي تتحمله طبقة الايبوكسي ومساحتها السطحية، ووجد أن العامل الأكثر تأثيراً في عملية الإصلاح هو طريقة تحضير العينة وسماكة طبقة الايبوكسي.

الكلمات المفتاحية: العيب، إصلاح الأنابيب الفولاذية، مادة الايبوكسي، الريزين، المقسي، قيمة الضغط.

* أستاذ مساعد _ قسم هندسة التصميم والإنتاج _ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية _ جامعة تشرين _ اللاذقية _ سورية.
** أستاذ _ قسم هندسة التصميم والإنتاج _ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية _ جامعة تشرين _ اللاذقية _ سورية.
*** طالبة دراسات عليا (ماجستير)_ قسم هندسة التصميم والإنتاج _ كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية _ جامعة تشرين _ اللاذقية _ سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (6) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (6) 2016

Repairing of Steel Pipelines Defects by Using Epoxy Material.

Dr. Ali Hatrah*
Dr. Rami Mansour**
Laura Alwazah***

(Received 5 / 4 / 2016. Accepted 29 / 11 / 2016)

□ ABSTRACT □

This research carries how to do steel pipelines defects repair process by a simple and easy way. At first the region that surrounds the defect is cleaned then the epoxy material is put over the defect after mixing the resin with the hardener well. Epoxy layer dimensions depend on the defect dimensions that exists in the pipe. After that, the specimen is released for a period of time to obtain the setting process. Several types of epoxy were used for preparing series of specimens, which were tested on the pressure set up to estimate the efficiency of this way in the repair, and knowing the pressure values that epoxy layer can carry. A pipe of three holes their radius are equal, was treated by using ALTECO QUICK EPOXY STEEL and the pressure gauge recorded many values that reached 18 bar. The curve, that represents the relationship between the pressure which the epoxy layer carried and its surface area, was drawn. It is found that the most effect factor in the repair process is the specimen preparing and the thickness of the epoxy layer.

Key words: the defect, steel pipelines repair, epoxy material, the pressure value, the resin, the hardener.

* **Associate Professor, Department of design and production, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Professor, Department of design and production, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*** **Post graduate Student, Department of design and production, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

تستخدم الأنابيب الفولاذية على نطاق واسع لنقل الماء والنفط في الكثير من البلدان، يتعرض سطح هذه الأنابيب بمرور الزمن، نتيجة للضغط ودرجات الحرارة، إلى التآكل ونتيجة لذلك تصبح الأنابيب بحاجة إما إلى الإصلاح أو الاستبدال. تتجسد الطرق التقليدية المستخدمة في الإصلاح عادة بقص القطعة المهترئة واستبدالها بقطعة جديدة بواسطة اللحام أو بتغطية الموقع بقطعة معدنية تركب أيضاً باللحام.

انتشر مؤخراً استخدام المواد البوليميرية وخاصة البوليميرات المتصلبة حرارياً thermoset polymers لإصلاح التركيبات التي بدأت تعاني من ضعف بنائي خلال زمن استخدامها وأقدم هذه المواد وأكثرها استخداماً هو الايبوكسي نظراً لقدرته على الالتصاق بمواد مختلفة مثل الاسمنت، الفولاذ، الزجاج والخشب.

وأصبحت هذه الطريقة بديلاً عن الطرق التقليدية غير المقبولة بسبب التغيرات الاقتصادية والحاجة إلى طريقة سريعة للإصلاح وعدم اللجوء إلى استبدال الأنابيب[1].

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من ضرورة تطوير تقنيات إصلاح الأنابيب الفولاذية المعرضة للتلف والمستخدمة لنقل النفط والغاز ولهذا استخدمت مؤخراً المواد المركبة التي تسمح بإصلاح الأنابيب أثناء خدمتها ويمكن من خلالها إصلاح عيوب الأنابيب المختلفة وللتأكيد على فعالية هذه الطريقة قام Mata Costa وزملاؤه [1] باستخدام أنظمة الإصلاح بالمواد المركبة composite repair systems لإصلاح خطوط الأنابيب المعدنية في مصانع الغاز الطبيعي والبتروكيماوي وكذلك خطوط أنابيب المياه المستخدمة في المنصات البحرية التي تعاني من تشوهات لدنة وغير لدنة مع تلف موضعي يفسد صلاحيتها وتضمنت العملية الخطوات التالية:

1 ـ دفع سطح المعدن بالرمل لإزالة طبقات الأكسيد.

2 ـ تنظيف السطح من الزيت، الشحم والغبار.

3 ـ وضع سدادة بلاستيكية ذات شكل بيضوي في مكان الثقب لمنع تسرب الراتنج داخل الأنبوب بسماكة مساوية تقريباً لسماكة جدار الأنبوب وطول مساوٍ ضعفي طول الثقب.

4 ـ وضع الطبقة الأولى من الايبوكسي بحجم مساوٍ خمس مرات حجم السدادة والانتظار لمدة 20 دقيقة.

5 ـ وضع طبقة ثانية من الايبوكسي بدون تنظيف أو صقل للطبقة الأولى.

6 ـ وضع حلقة مطاطية فوق الجزء الخاضع لعملية الإصلاح حول محيط الشكل مباشرة وفوقها حلقة إحكام معدنية مشابهة لتلك المستخدمة في خراطيم مياه الحدائق.

استخدمت للاختبار أنابيب فولاذية من النوع API5L والدرجة B تتواجد في المنصات البحرية لاستجرار المياه، حيث تم تحضير خمس عينات بأبعاد مختلفة وتم استخدام نوعين تجاريين مختلفين من راتنجات الايبوكسي سريعة التصلب حيث تم تشكيل نظامين للإصلاح يعتمد الأول على سبيكة فولاذ–سيليكون تدمج داخل بوليميرات عالية الوزن الجزيئي ويعتمد النظام الثاني على قاعدة بوليميرية تم تطويرها بشكل خاص من أجل الإصلاح تتألف من مزيج من راتنج الايبوكسي ومسحوق الألمنيوم.

خضعت عينات الاختبار بعد إصلاحها وفقاً للنظامين السابقين إلى اختبارات هيدروستاتيكية عند درجة حرارة الغرفة لتقييم متانتها ومدى فعالية الطريقة المقترحة. وتبين أن ضغط الأنبوب وصل إلى 30Kg/cm2 وتمت المحافظة على هذه القيمة لمدة ساعة كما نتج عن الاختبارات أيضاً أن كافة العينات قاومت خمس دورات للضغط عند درجة حرارة الغرفة وعند الدرجة 80C°.

و قام Teng [2] باستخدام لفائف بوليميرات مقواة بالألياف FRP لتقوية أنابيب فولاذية دائرية مجوفة حيث حضرت أربعة أنابيب قصت من نفس الأنبوب ، شكلت اللفافة بعملية ترطيب حيث تتألف من صفيحة ليف زجاجي مغطسة براتنج الايبوكسي تلف حول الأنبوب بالعدد المطلوب من الطبقات وبسماكة 0.17mm للطبقة الواحدة، وذلك بعد تنظيف سطح الأنبوب بالكحول ثم أجريت اختبارات ضغط محوري على العينات ووجد أن نمط الفشل في الأنبوب العاري (الذي لم تنفذ عليه اللفافة المذكورة) هو انبعاج خارجي حول المحيط، يكون قرب نهاية الأنبوب ويعرف بشكل واسع بنمط انبعاج قدم الفيل elephant s, foot buckling mode ويحدث عادة في الأنابيب التي تكون فيها نسبة السماكة إلى القطر صغيرة نسبياً .

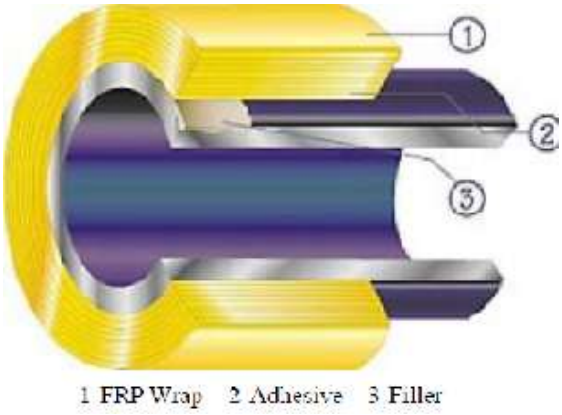
ويتضمن الفشل في الأنبوب الحاوي لفافة GFRP بطبقة واحدة تشوهات انبعاج خارجية قرب الأطراف مسببة كسر اللفافة، وفي الأنبوب الحاوي لفافة بطبقتين يحدث كسر اللفافة قرب إحدى نهايتيها بسبب امتداد تشوهات الانبعاج إلى الداخل ولا يحدث كسر اللفافة المؤلفة من ثلاث طيات حيث تكون تشوهات الانبعاج داخلية بعيدة عن الطرفين.

وأجرى Shamsuddoha وزملاؤه [3] دراسة توضح أهمية إصلاح بعض الأنابيب المعدنية (الأنبوب ذو السماكة المنخفضة أو السطح المشوه) من خلال لفها بمواد مركبة ليفية fibre composites في تخفيض كلفة الإصلاح وزيادة متانته وتكون هذه الطريقة بديلاً منافساً للطرق التقليدية ويحقق نجاحاً ملحوظاً.

واستخدموا نموذجان من أنظمة الإصلاح هما:

- نظام طبقات رطبة مرنة Flexible Wet Lay-up System: تستخدم فيه مادة الايبوكسي تطبق في حالتها غير المتصلبة وتتغلغل ضمن ألياف من الكربون أو الزجاج حيث تنتج في النهاية قشرة صلبة ويستخدم هذا النظام في حالات الإصلاح الساحلية بما في ذلك الأنابيب ذات الزوايا والانحناءات، أما استخدامه تحت الماء فيتم فقط في تطبيقات الضغط المنخفض.
- نظام الطبقات المتصلبة Pre-cured layerd system: من أمثلة هذا النظام نابض الساعة Clock Spring والمستخدم أيضاً من قبل Andrew [4] ويتم فيه تشكيل كم من مواد مركبة ليفية FRP وملء الفراغات والانخفاضات الحاصلة على سطح الأنبوب بمادة مالئة filler تؤمن وسادة ناعمة للكم المركب ثم تطبيق الكم على الأنبوب بواسطة مادة لاصقة من الايبوكسي كما هو موضح بالشكل (1)

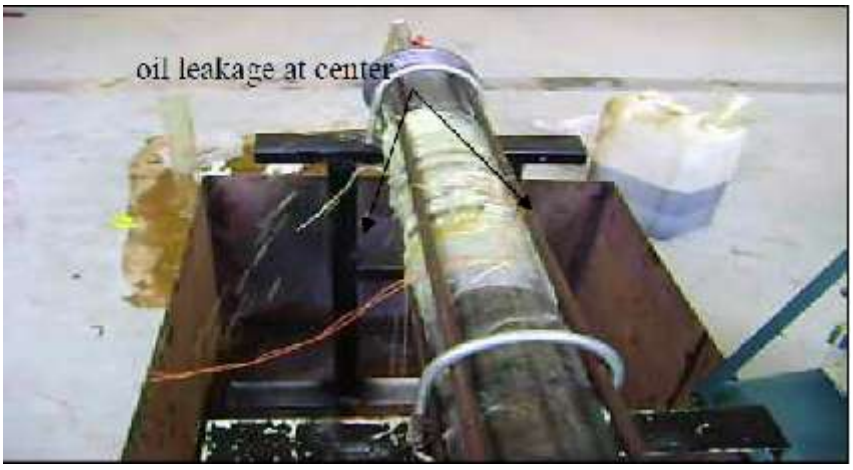
ووجد Zamzam [5] من خلال بحثه التجريبي والتحليلي إن تقنية إصلاح الأنابيب المعدنية بواسطة استخدام المواد المركبة FRPهي طريقة فعالة للإصلاح، وقد أجرى دراسته بعد تحضير ثلاث عينات أنبوبية بقطر 108mm وثخانة 12.5mmوطول 900mm قصت من أنابيب فولاذية جديدة وقام بحفر ثقب على شكل مستطيل في كل عينة بأبعاد (18*9),(14*7),(10*5) للأنابيب الثلاثة على التوالي .



الشكل (1) نظام إصلاح نابض الساعة.

بدأ الإصلاح بلف الأنبوب في مكان الثقب بطبقات عديدة من ألياف الزجاج بعد ترطيبها براتنج الايبوكسي للحصول على الثخانة المطلوبة. تركت العينات لمدة 24ساعة لتتصلب عند درجة حرارة الغرفة وتمت معالجتها لمدة ساعتين عند الدرجة 100C°.

نفذ اختبار الضغط على الأنبوب الذي يحوي العيب مستطيل الشكل ذو الأبعاد (18*9) mm وثخانة مادة مركبة 3.9mm، فشل الأنبوب عند 105bar وانفعال 9%، ويوضح الشكل (2) حدوث الفشل في مركز المنطقة المنفذ فوقها نظام الإصلاح.



الشكل (2) نمط الفشل الحاصل في مركز الإصلاح.

واستخدم Duell [6] لإصلاح الأنابيب الفولاذية طريقة الجمع بين طبقة المادة المركبة والمادة المالئة حيث يملأ الفراغ بين الأنبوب والكم الخارجي بمعجون مناسب (الايبوكسي) لتسوية الجزء المتآكل أو المحفور في الأنبوب، يقلل الايبوكسي من التشوه الخارجي ويعمل على نقل الحمل من الأنبوب إلى المادة المركبة.

ووجد Ehsani [7] أنه يمكن استخدام لفائف المواد المركبة المقواة بالألياف مع الايبوكسي لإصلاح عيوب الأنابيب الفولاذية المطمورة تحت الأرض المعرضة للتآكل من خلال تطبيق هذه المواد فوق الجزء الحاوي على العيب سواء كان دائرياً أو مستطيلاً.

واستخدم Thomas [8] نظام إصلاح سماه نظام الماس الأسود Black Diamond System لإصلاح عيوب السطوح سواء كانت من نوع التآكل السطحي ،الحت أو التلف الميكانيكي.

يتألف هذا النظام من ثلاثة مكونات:

- المكون الأول: هو الايبوكسي الصلب solid epoxy الذي يؤمن الربط الجيد ونقل الحمل بين الأنبوب المعدني والمادة المركبة.
- المكون الثاني: هو ألياف الكربون carbon fibers المتشابكة ثنائية الاتجاه التي تؤمن التقوية في الاتجاهين المحوري والقطري.
- المكون الثالث: هو راتنج الايبوكسي الرطب epoxy wet out resin الذي يحافظ على الألياف في مكانها حول الأنبوب كسدادات محكمة ويحفظها من العوامل البيئية.

ينفذ نظام الماس الأسود بعدة طبقات تلف حول المنطقة التي تحوي العيب من الأنبوب.

ودرس Lim Kar وزملاؤه [9] الخواص الميكانيكية لنوعين من الايبوكسي متوفرين تجارياً، تم اختيارهما بنسب مختلفة للراتنج النقي والمقسي. وكانت النتائج تتراوح بين 60–88 MPa لمقاومة الضغط و 35–43 MPaلإجهاد الانحناء و 19–33 MPa لمقاومة الشد.

ووفقاً للخواص المقترحة من قبل Mendis [10] وجد أنه يمكن استخدام هذين النوعين في تقوية التراكيب .ووفقاً لدراسة Thandavamoorthy [11] تبين أن أعلى قيمة لإجهاد الضغط 88 MPa مناسبة لإعادة تأهيل الوصلات الأنبوبية التالفة بسبب التعب fatigue .

وقام Farrag [12] بإجراء مسح لشركات نقل الغاز الطبيعي في مشروع لتقييم تقنيات إصلاح الأنابيب بالمواد المركبة. حدد المسح حاجة الأنبوب للإصلاح وخبرة العاملين مقارنة مع طرق الإصلاح الأخرى، واستجابت للمسح إحدى عشرة شركة تبين من خلال الأجوبة أن تآكل الأنابيب هو السبب الأكثر حاجة إلى الإصلاح وأن العامل المؤثر في طريقة الإصلاح هو زمن إنجازه وديمومته ووجد أن خبرة العاملين في أنظمة الإصلاح بالمواد المركبة ذات درجة ممتازة.

طرائق البحث ومواده:

استخدمت لتحضير العينات أنابيب فولاذية تم إحضارها من معمل الغزل في مدينة جبلة، قصت عينات الاختبار من خطوط طويلة بسبب وجود عيوب (ثقوب) فيها ناتجة عن تأثير الوسط المحيط وعمر الاستخدام بالأبعاد التالية:

طول الأنبوب حوالي 50 cm وقطره 20 cm.

تم إغلاق جهتي الأنبوب بصفائح معدنية بعملية اللحام وتركيب جزء لولبي في إحداهما ليسهل تركيبها على جهاز قياس الضغط الموجود في مخبر البلاستيك في كلية الهمك بجامعة تشرين كما هو موضح بالشكل(3).

الشكل (3) عينة اختبار موصولة مع جهاز قياس الضغط.

واستخدمت للإصلاح أنواع مختلفة من الايبوكسي بجزأيه A،B وهي:

a) **ABRO EPOXY STEEL 4 MINUTE KWIK – SET** وهو من إنتاج مجموعة MAG الماليزية.

b) **ALTECO QUICK EPOXY STEEL**: وهو من إنتاج شركة **ALTECO** الاندونيسية.

c) **DIAMANT metallplastic**: وهو من إنتاج شركة **DIAMANT** الألمانية.

d) **ABRO EPOXY CLEAR**: وهو من إنتاج مصانع **ABRO** الأميركية.

e) **Xtraseal 4 MINS EPOXY STEEL**: وهو من إنتاج شركة **MOHM**.

تتألف كافة أنواع الايبوكسي المستخدمة من راتنج الايبوكسي Epoxy resin والبولي أمين Polyamine resin.

في جميع التجارب المنفذة تم تنظيف سطح العينة حول محيط الثقب بالجلخ ومن ثم بورق السنفرة لإزالة الأكاسيد والغبار وتنظيفه بمادة الأسيتون للحصول على سطح خالٍ من جميع الأوساخ.

بعدها تم مزج جزأي الايبوكسي A , B بكميات متساوية وبشكل جيد.

يبين الجدولان (1,2) طرق العمل التجريبي والملاحظات المرافقة لكل تجربة مع زمن تصلب ثابت لمادة الايبوكسي مقداره 24 ساعة.

الجدول (1) طرق تحضير العينات لبعض أنواع الايبوكسي.

رقم التجربة	نوع مادة الايبوكسي	طريقة العمل	الملاحظات
1	DIAMANT metallplastic	الثقب على شكل قطع ناقص قطره الكبير 6mm وقطره الصغير 4mm، قصت قطعة كاوتشوكية دائرية الشكل بقطر 50mmمساوٍ تقريباً عشر مرات قطر الثقب ووضعت طبقة من الايبوكسي على محيط الثقب وعلى القطعة الكاوتشوكية ثم طبقت القطعة فوق الثقب بحيث يتوسط الثقب في مركزها تقريباً، وأحيطت بلاصق شفاف يؤمن لها ضغط خفيف للتثبيت.	وجد أن الرقاقة الكاوتشوكية شبه معزولة عن جسم الأنبوب المعدني وتم نزعها ولوحظ بقاء غشاء رقيق من مادة الايبوكسي على شكل سدادة للثقب كما هو موضح بالشكل (4).
2	ABRO EPOXY CLEAR	نفس الخطوات في التجربة 1.	تعذر نزع الرقاقة الكاوتشوكية باليد.
3	ABRO EPOXY CLEAR	طبقت مادة الايبوكسي بدون القطعة الكاوتشوكية على محيط الثقب بعد وضع قصاصة ورقية فوق الثقب لضمان عدم تسرب المادة داخل الأنبوب.	تصلبت المادة بشكل كافٍ.
4	Xtraseal 4 MINS EPOXY STEEL	نفس الخطوات في التجربة 1.	تبين أن مادة الايبوكسي غير متصلبة بشكل كاف في منطقة السدادة الكاوتشوكية.
5	Xtraseal 4 MINS EPOXY STEEL	نفس خطوات التجربة 3.	تصلبت المادة بشكل كافٍ.

الجدول (2) طرق تحضير عينات بأنواع أخرى من الايبوكسي.

رقم التجربة	نوع مادة الايبوكسي	طريقة العمل	الملاحظات
6	ABRO EPOXY STEEL 4 MINUTE KWIK –SET	نفس الخطوات في التجربة (1).	تشكل الغشاء بعد نزع الرقاقة.
7	ALTECO QUICK EPOXY STEEL	نفس الخطوات في التجربة (1).	تشكل الغشاء بعد نزع الرقاقة.
8	ALTECO QUICK EPOXY STEEL	استخدمت قطعة مستطيلة من الكرتون بسماكة 727.2 ميكرون وفرغت دائرة من وسطها بقطر أكبر من قطر الثقب بعشر مرات تقريباً وثبتت على الأنبوب بحيث يكون الثقب في مركز الدائرة. وضعت مادة الايبوكسي في منطقة الثقب وحوله ليغطي كامل الدائرة بحيث تتشكل سدادة سماكتها تساوي سماكة القطعة الكرتونية ثم أزيلت قطعة الكرتون.	تصلب الايبوكسي بشكل كافٍ.
9	ALTECO QUICK EPOXY STEEL	حضرت قطعة من الكرتون بسماكة مساوية ضعفي السماكة السابقة 1150 ميكرون ووزع المزيج في المساحة الدائرية المحيطة بالثقب وأحيطت بلاصق شفاف لتحقيق التجانس في السماكة، وتركت لمدة 24 ساعة بعدها أزيل اللاصق.	تصلب الايبوكسي بشكل كافٍ.

رقم التجربة	نوع مادة الايبوكسي	طريقة العمل	الملاحظات
10	ALTECO QUICK	استخدم أنبوب يحوي ثلاثة ثقوب ونظف السطح المحيط بالثقوب بالجلخ اليدوي، ثم	بعد إجراء اختبار الضغط انسلخ جزء من الرقعة المطبقة

	EPOXY STEEL	وسعت الثقوب بريشة ثقب قطرها 10mm لتوحيد قطر الثقوب الثلاث، وجهزت ثلاث قطع من الكرتون متساوية السماكة وفرغ وسطها بدوائر مختلفة القطر 30,40,50mmوطبقت على الأنبوب ليتطابق مركزها مع مركز الثقب. ووزع الايبوكسي على محيط الثقوب الثلاث بعد إغلاق الثقب بقصاصة ورقية لمنع تسرب الايبوكسي، وطبق لاصق شفاف لمجانسة سماكة طبقة الايبوكسي في الدوائر الثلاثة وتأمين ضغط خفيف على الرقعة، تركت العينة لمدة 24 ساعة وأزيل اللاصق الشفاف.	حول الثقب وخرج الماء منه.

الشكل (4) السدادة الايبوكسية المتشكلة.

النتائج والمناقشة:

أظهرت نتائج اختبار العينات المبينة في الجدول (1) أن كافة المواد واردة الذكر فيه لا تلائم الهدف التجريبي وتبين عدم تحملها لضغوط الاختبار على الرغم من إجراء خطوات مختلفة في تحضير العينات. ربما يعود السبب في ذلك إلى انتهاء عمر استثمار هذه المواد خاصة إذا علمنا أن معظمها ولاسيما metallplastic DIAMANT يستخدم لترميم أجزاء الآلات كما أن مادة ABRO EPOXY CLEAR مخصصة لإجراء التصاق المعادن مع بعضها البعض. وبناء على ذلك استثنيت الأنواع المذكورة في الجدول (1) وتم البحث عن مواد أخرى متوفرة في الأسواق المحلية والمذكورة في الجدول (2) أعطت نتائج ممتازة من حيث تحملها للضغوط الداخلية المؤثرة ونتائجها مبينة في الجدول (3).

الجدول (3) نتائج الاختبار للمواد الجيدة من الايبوكسي.

رقم التجربة	الضغط الذي تتحمله الرقعة [bar]
6	16
7	18

8	10
9	12
10	الرقعة ذات القطر 30mm تحملت ضغط مقداره 10. الرقعة ذات القطر 50mm تحملت ضغط مقداره 13. الرقعة ذات القطر 40mm تحملت ضغط مقداره18.

تبين من التجربتين (9,10) حدوث انسلاخ لمادة الايبوكسي بجوار الثقب وعلى الرغم من اختلاف بارامترات التجربة (مساحة الرقعة وسماكتها، وضغط الانفجار) وجدنا أن مساحة منطقة الانسلاخ متساوية تقريباً ولا علاقة لهذه المساحة بمساحة الرقعة المحضرة وهذا واضح من خلال الأشكال 5,6,7 التي توضح الضرر الحاصل في منطقة الالتصاق بجوار الثقب.

-5-

-6-

-7-

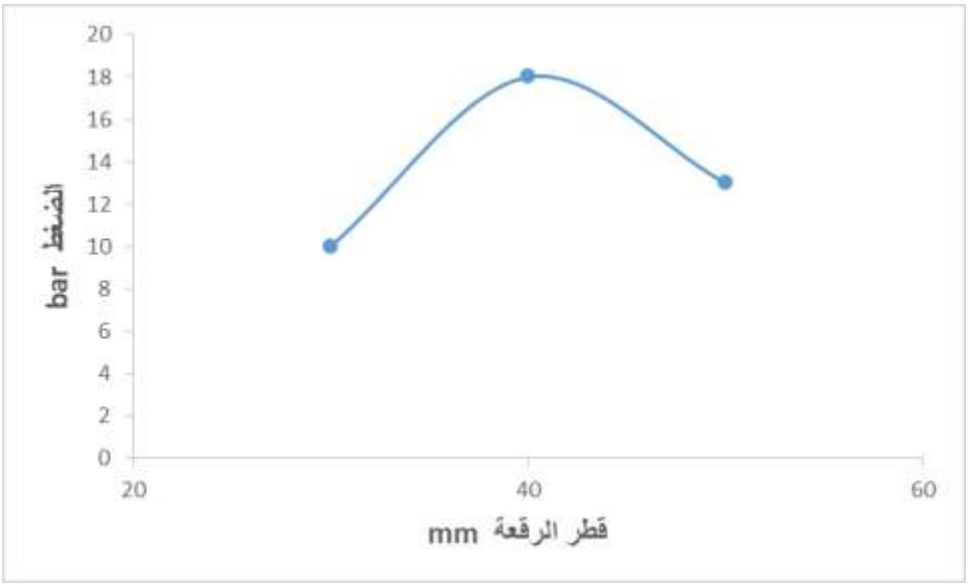
لوحظ من الأشكال السابقة أيضاً انحراف الضرر باتجاه على حساب الاتجاه الآخر ربما يعود ذلك إلى نشوء إجهادات قاصة ناتجة عن قوى الضغط الداخلي المطبق.

تم قياس سماكة الرقعات المنفذة على الثقوب الثلاثة في التجربة (10) وقيمها مبينة في الجدول (4)

الجدول (4) سماكة الرقعات المنفذة فوق ثلاثة ثقوب.

الرقعة	قطرها	السماكة الوسطية (ميكرون)
1	30 mm	1116
2	40 mm	أكبر من 1300
3	50 mm	1157

وتبين من الجدولين (3,4) أن العلاقة بين الضغط الذي تتحمله الرقعة وقطرها ليست علاقة خطية وهذا مبين في الشكل (8)



الشكل (8) علاقة الضغط الذي تتحمله الرقعة مع قطرها.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تبين من التجارب السابقة أن:

- إصلاح عيوب الأنابيب الفولاذية باستخدام مادة الايبوكسي هي طريقة سهلة وبسيطة وذات فعالية.
- تعتمد طريقة الإصلاح بشكل أساسي على أسلوب تحضير الرقعة وسماكتها.
- يلعب نوع مادة الايبوكسي دوراً كبيراً في تحقيق الفعالية المطلوبة من الإصلاح وتحمل الضغط الداخلي الذي يطبق الأنبوب.
- تنظيف السطح المحيط بالعيب (الثقب) قبل البدء بعملية الإصلاح ضروري لتأمين التصاق الايبوكسي مع الفولاذ بشكل جيد.
- ونظراً للنتائج الجيدة لهذه الطريقة في إصلاح الثقوب الموجودة في الأنابيب حيث أنه يمكن للرقعة أن تتحمل ضغط يصل إلى 18bar فإن هذه الطريقة تعتبر ممتازة لإصلاح العيوب السطحية من تلف خارجي على شكل خدوش أو طعجات.

التوصيات:

- البحث عن طرق لتحسين الارتباط بين مادة الايبوكسي والأنبوب الفولاذي بغية الحصول على قيم أعلى للضغط الذي يمكن أن تتحمله الرقعة المتشكلة.

المراجع:

1**)** COSTA-MATTOS, H. S; REIS, J. M. L; SAMPAIO, R.F & Perrut, V. A. *A simple methodology to repair localized corrosion damage in metallic pipelines with epoxy resins*. Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2009, 20.

2**)** TENG, J.G& HU, Y.M. *Behavior of FRP-jacketed circular steel tubes and cylindrical shells under axial compression*. ScienceDirect, Hong Kong, China, Construction and Building Materials, vol. 21, 2007, 827–838.

3) SHAMSUDDOHA, M; ISLAM, M. M; ARAVINTHAN, T & MANOLA, A. "*Fibre Composites for High Pressure Pipeline Repairs, in-air and subsea-An Overview*." Hokkaido University, Japan, 2012, 8.

4) PATRICK, A. J. *Composites – Case Studies of Pipeline Repair Applications*. Pigging Products and Services Association Copyright © 2004, 12.

5**)** ALSHARIF, Z.A. *Design model of damaged steel pipes for Oil and Gas Industry using Composite Materials*. International Journal or Power Engineering and Energy (IJPEE), Tripoli, Libya, Vol. (5) – No. (2*)*, 2014, 450-457.

6) DUELL, J.M; WILSON, J.M & KESSLER, M.R. *Analysis of a carbon composite overwrap pipeline Repair system.* International Journal of Pressure Vessels and Piping, Elsevier, Alberta, Canada, vol. 85, 2008, pp. 782–788.

7) EHSANI, M. *FRP Super Laminates Present Unparalleled Solutions to Old Problems.* Reinforced Plastics, Elsevier Ltd., Kidlington, Oxford, 2009, pp: 40-45.

8) REHBERG, T; SCHAD, M & GREEN, M. "Non-Metallic Composites Repair Systems for Pipes and Pipelines." pipeline technology, 2010, 5.

9**)** SING, L.K; AZRAAI, S.N.A; YAHAYA, N & NOOR, N. *Comparison of Mechanical Properties of Epoxy Grouts for Pipeline Repair.* Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 11(12), 2015: 1430-1434.

10) MENDIS, P. *Commercial applications and property requirements for epoxies in construction.* SP. ACI Special, 1985, pp: 127-140.

11) THANDAVAMOORTHY, T.S; MADHAVA A.G. & SANTHAKUMAR, A.R. *Development of a fly ash and epoxy based high-performance grout for the repair of offshore platforms.* ACI Special Publication, 2001, 199: 239-258.

12**)** FARRAG, K. *Composite Pipe Repair Technologies Evaluation.* Gas Technology Institute, Research Report 20342, 2010.