تحضير طلاء بوليمري مدعم بمواد تقوية لاعضوية لحماية الأنابيب النفطية من التأكل

اسراء عبد الستار اسماعيل فارس مؤيد احمد نادية فخري ابراهيم

وزارة العلوم والتكنولوجيا / دائرة بحوث المواد

بغداد – العراق

الخلاصة

حضر طلاء بوليمري مدعم بمواد التقوية اللاعضوية للحماية الخارجية لمعدن الأنبوب النفطي من عمليات التأكل مما يعطيه مقاومة عالية ضد الكيمياويات والأملاح والرطوبة واشعة الشمس واعطاءه مقاومة للخدش والماء , هذا الطلاء يعمل في درجتي حرارة 25 م° و 35 م° وحضر من تفاعل راتنج الايبوكسي (DGEBA) Diglycidyl Ether of Bisphenol A مع المصلب Ethylenediamine ونسبه خلط المكونين كانت 3:1 استعملت في هذا الطلاء مواد التقوية ضد التأكل وهي ثاني اوكسيد التيتانيوم واوكسيد الزنك , طبقت العديد من النسب وحققت نسبة 30% افضل النتائج .هذه المواد تكون واطئة الكلفة وتزيد من عمر البوليمر وتستخدم مع الطلاء ملونات ومواد مخففة وملدنات . شخص هذا الطلاء بواسطة استعمال الطرائق الطيفية وهي (UV/Vis). اجريت العديد من الفحوصات منها فحص التأكل وفحوصات اخرى ميكانيكية وكيميائية.

الكلمات المفتاحية : طلاء تقوية ، لاعضوية ، لحماية ، الأنابيب النفطية و التأكل .

Preparation of a Reinforced Polymeric Coating with an Inorganic Fillers to Protect Oil Pipes from Corrosion

Israa Abdulsatar Esmael Faris Moayed Ahmed Nadia Fakhry Ibraheem

Ministry of Science and Technology/ Directorate of Materials Researches
Baghdad-Iraq
E-mail: israaaldoori@yahoo.com

Abstract

A polymeric coating was prepared with inorganic reinforcement materials for the external protection of the oil pipe metal from corrosion processes and gives high resistance against chemicals , salts., humidity, sun rays, scratch and water. This coating was tested at (25 and 35)°C. This coating was prepared from the reaction of epoxy resin (Diglycidyl Ether of Bisphenol A) (DGEBA) and the hardener (Ethylenediamine). The mixing ratio of the two parts was (3:1) .Reinforcement materials like titanium dioxide (TiO_2) and zinc oxide. , several ratios were used, and the results showed that the 30 % mixing percentage was the better .These materials are low cost and increase the polymer's life time, and used with coating, colorants, diluents and plasticizers materials. This coating was verified by using (UV/Vis) spectrophotometer .Several tests were conducted, including corrosion test to show its efficiency in addition to other mechanical and chemical tests.

Key Words: Reinforced Coating, Inorganic, Protection, Oil Pipes and Corrosion.

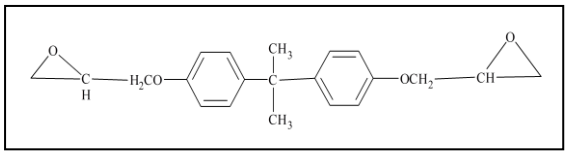
المقدمة

يحدث التأكل للسطوح المعدنية مثل الأنابيب النفطية والهياكل الفولاذية عند تماس سطحها مع التربة او الماء او تعرضها للجو الرطب ونتيجة لحدوث تفاعلات كيميائية مصحوبة بسريان الالكترونات اي سريان تيار كهربائي من منطقة الجهد الواطئ المتمثلة بحديد الانبوب الى منطقة الجهد العالي المتمثلة بالتربة فيحدث الصدأ (Frankel , 2003) . وصدأ الحديد هو مادة حمراء مائلة الى اللون الاسود وتنتج من التفاعلات الكهروكيميائية التي يحدث فيها تأين الحديد بالهواء الرطب المحيط بالتربة في عملية تدعى بالأكسدة مما يؤدي الى فقدان اجزاء من معدن الحديد اي حدوث التأكل ولأجل المحافظة على هذه الأنابيب من التأكل تجرى لها حماية متمثلة بطلاء بوليمري (Hammouda ,*et al.*,2011) يجعل من سطح المعدن منطقة اعلى جهد من محيطه الأقل جهد والمتمثلة بالهواء المحيط بالتربة اي ان هذه الحماية تعمل على تفريغ التيار الكهربائي الى البيئة وبقاء معدن الانبوب محمي بطبقة الطلاء البوليمري من عملية الصدأ والتأكل (Hare, 1998) وتعتمد طبقة الحماية هذه على عدة عوامل منها قوة التصاق طبقة الحماية بالمعدن نفسه وعلى مقاومتها لظروف الجوية (Zhongyan, *et al.*,2016) وعدم وجود تشققات بطبقة الحماية للمعدن ومدى تحمل هذه الطبقة لدرجات الحرارة العالية والرطوبة وايضا قوة تغطيتها العالية وقوة التحمل العالي للصدمات (Psarras, *et al.*,2002) وهذه العوامل جميعها تعتمد على المادة البوليمرية الاساسية المستخدمة في تركيب طلاء الحماية واهم المواد هي الايبوكسي الذي يمتاز بالمواصفات المذكورة وبالاضافة الى الحشوات والمثبتات التي تساهم في نجاح طبقة الحماية (Atsushi, *et al.*,2006) . فالمثبتات والحشوات تعمل على امتصاص الحرارة العالية وامتصاص اشعة الشمس والرطوبة وبخار الماء (Huang, *et al.*,2006)، فتمنع وصول الرطوبة الى البوليمر والذي بدوره يحافظ على المعدن حيث ان البوليمر وحده لا يفي بالغرض بسبب تعرضه للتشقق بدرجات الحرارة العالية والرطوبة وتمتاز المثبتات بعدم سميتها وسهولة استعمالها ودرجة عالية من الامتزاجية (Macarie and Ilia, 2007) والمواد المثبته (الحشوات) هي Zinc oxide (Huang, *et al*., 2011.) و ثاني اوكسيد التيتانيوم (TiO_2) وطبقه الطلاء المحضره تكون مقاومة للمذيبات العضوية وتضاف العوامل المساعدة الى الطلاء لأجل تخفيفه حيث تساعد في تسهيل عملية الطلاء كالمذيبات العضوية.

يهدف البحث الحالي تحضير طلاء خارجي للأنابيب النفطية يتحمل الظروف الجوية كمقاومة اشعة الشمس (Wang, *et al.*, 2004) وعوامل البيئة من هواء وماء لكي يقاوم عمليات الصدأ والتأكل لأنابيب خطوط نقل المنتجات البترولية والبتروكيميائية.

المواد وطرائق العمل

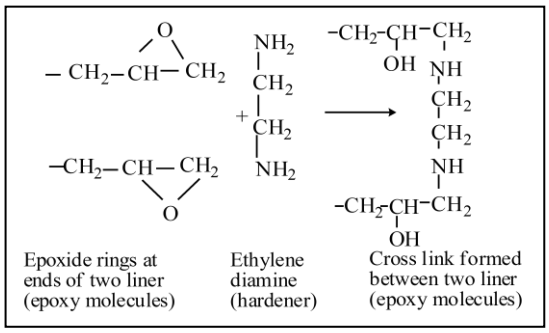
استخدم في البحث الحالي مادة راتنج الايبوكسي نوع EPLV Nito Fill وهو عبارة عن Diglycidyl Ether of Bisphenol A) (DGEBA الموضح تركيبة في الشكل (1)



الشكل (1) يوضح التركيب الكيميائي للأيبوكسي

نوع المصلب المستخدم هو Ethylendiamine وبنسبة خلط 3:1 وكانت المواد تابعة لشركة Fosroc الاردنية وفحصت حسب المواصفة العراقية م. ق.ع (1707) / 1992 والمواصفة الاسترالية (2674 / 1983) والأيبوكسي في الطلاء هو المادة الرابطة (Al –Ajaj ,*et al.*,2013) اما المواد المضافة هي حشوات تقوية من اكاسيد المعادن وهما (TiO_2)، (ZnO) ذات المنشأ الصيني وذات درجة عالية من النقاوة والحشوات المستخدمة تتحمل درجات الحرارة العالية وتزيد قوة الشد للأيبوكسي وقوة الانضغاط (Wazzan, *et al.*,2006) وبسبب خصائصه الجيدة في مقاومة التأكل جعلته جيدا في

تطبيقات طلاء الحماية الخارجية لأنابيب نقل المنتجات البترولية والبتروكيميائية. تضاف الى الطلاء مذيبات عضوية كالثنر حيث تساعد في تسهيل عملية الطلاء ويحضر الطلاء من تفاعل الراتنج مع المصلب حسب معادلة الشكل (2)



شكل (2) معادلة تفاعل الراتنج مع المصلب

1- طريقة العمل

1-1-حضرت قطع من حديد الصلب تشابة أنابيب النفطيه ذات شكل مربع ، حيث الطول والعرض 1سم تفرش عليها مادة الطلاء المكونة من راتنج الايبوكسي ذات الصيغه الجزيئية $C_{21}H_{24}O_4$ واضيف لهذا الراتنج المصلب وبنسبة خلط 3:1 مع اضافة مواد التقوية وبنسبة 30% وهذه القطع التي طليت تشابة انابيب نقل المشتقات البترولية وسوف تفحص بجهاز المجهاد الساكن لفحص التأكل الموضح في الشكل (3) التابع لشركة Wenking الالمانية فيعطي فحص الجهد.

شكل (3) جهاز المجهاد الساكن

1-2- تهيئة شرائح زجاجية من ماده الكوارتز وتطلى عليها نماذج مختلفة من الطلاء وتفحص بجهاز الأشعة فوق البنفسجية(UV) الموضح في الشكل (4).

شكل (4) جهاز الاطياف فوق البنفسجية (UV)

1-3- تطلى قطع من الالمنيوم بالطلاء ويجرى لها فحص المرونة .

1-4- فرنToyo Seisakusho (Tokyo) لتجفيف مادة الحشوة من الرطوبة .

1-5- طاحونة ذات منشأ ياباني(National) لطحن مادة الحشوة للحد المسموح به من نعومة الطحن وفق المواصفة العراقية القياسية (م. ق .ع 87 /1990).

1-6- جهاز خلاط كهربائي المبين في الشكل(5) نوع (Citenco - F.H.D Motors).

شكل (5) جهاز خلاط لتحضير الطلاء

2- الفحوصات والاجهزة المستخدمة

2-1 الفحوصات الميكانيكية ومنها

2-1-1 فحص قوة الصلادة بجهاز (Shore- D) (Hardness Tester-HT-6510) المبين في الشكل (6) وهي خاصية مركبة تجمع بين خواص مقاومة التشويه والاختراق والتخدش فتكون على أساس مقاومة الاختراق عند ضغط المثلم في المادة اللدائنية تحت ثقل ثابت (Haque and Turner, 1987).

شكل (6) جهاز فحص الصلادة

2-1-2 فحص الانضغاطية Compressive Stress بجهاز اختبار الشد (Tinius OL SeN-H50KT) الموضح في الشكل (7).

شكل(7) جهاز فحص قوه الانضغاط

2-1-3 فحص مقاومة الخدش بثقل 1 كغم

2-2- الفحوصات الكيميائية.

2-2-1 فحص مقاومة الماء

2-2-2 فحص مقاومة التأكل .

2-2-3 فحص مقاومة اشعة فوق البنفسجية (UV)

2-3 الفحوصات الفيزيائية

2-3-1 فحص اللزوجة (Viscosity) بجهاز قياس اللزوجة وهي مقاومة انسياب سائل ما نتيجة لمحصلة تأثيري التلاصق والتماسك ويعبر عنها بوحدة بواز.

2-3-2 فحص سرعة المعالجة والتصلب (Curing Time) هي العملية التي يتفاعل بها الراتنج (A) مع المصلب (B).

2-3-3 فحص عمر التخزين (Shelf Life) وهو الحد الأقصى للزمن الذي يبقى خلاله الطلاء المخزون على شكل (A) و(B) صالح للاستخدام.

2-3-4 فحص زمن الجفاف الاولي والنهائي.

2-3-5 فحص عمر الصلاحية (Potlife) وهي أطول مدة يبقى خلالها راتنج الايبوكسي كطلاء منذ خلطه بمذيب صالح للاستخدام.

2-3- 6 فحص نعومة الطلاء.

2-3-7 اللون والقوام ومدى حرارة عمل الطلاء.

2-3-8 فحص الكثافة (Density).

2-4 الفحوصات الاخرى

2-4-1 فحص السمك وهو لتحديد سمك فلم الطلاء المبين في الشكل (8).

شكل (8) جهاز أختبار السمك

2-4-2 فحص اللمعان بجهاز قياس درجة اللمعان Mini Gloss Meter at Angle 60°, origin; Sheen/England .

النتائج والمناقشة

تبين من النتائج العملية للبحث بأن الفحوصات الميكانيكية للأيبوكسي(EPLV) غير المدعم بمواد التقوية تكون ذات خصائص تختلف عن الايبوكسي(EPLV) المدعم بمواد التقوية ، حيث تبين ان قوة الصلادة للطلاء غير المدعم بمواد التقوية كانت (75–85) SHORE-D المبين في (الجدول 1) وهي اكثر من قوة الصلادة للطلاء المدعم بمواد التقوية لراتنج الايبوكسي المبين في(الجدول 2) القابل للمرونة بسبب المواد التي خلطت مع المادة الرابطة ومنها المادة الملدنة مثل الألكيد اما قوة الانضغاط الموضحة في (جدول 1) فسجلت N/mm^2 85 وهي اقل من تلك الموضحة في (جدول 2) حيث سجلت N/mm^2 100 بسبب اضافة المواد الملدنة. اما فحص مقاومة الخدش بثقل 1كغم المبينة في الجدولين(1و2) فهي وفقا للمواصفة القياسية 380 . ومن الفحوصات الفيزياوية الاخرى للطلاء هو فحص جفاف الطلاء وفق م. ق. ع 66 وتشمل زمن الجفاف الاولي والنهائي في درجتي الحرارة 20 م° و 35 م° والنتائج كالاتي: زمن الجفاف الاولي لطلاء غير المدعم بدرجة 20م° هي خمس ساعات في حين كان للأيبوكسي المدعم بنفس الدرجة ثلاث ساعات بسبب احتواء الايبوكسي المدعم على مواد تزيد من سرعة الجفاف الاولي مثل الثنر اما في درجة حرارة 35م° كان زمن الجفاف الاولي للايبوكسي غير المدعم ثلاث ساعات وكان زمن الجفاف الاولي للمدعم بنفس الدرجة ساعتين و كلما زادت درجة الحرارة كلما كان زمن التصلب اسرع وان زمن الجفاف النهائي وعمر الصلاحية وعمر التخزين هذه كلها متساوية وكما مبينة في الجدولين(1 و2) كونها ضمن الحد المسموح به كطلاء وعند اجراء فحص اللزوجة للطلاء (جدول 1) فانها 2.0 Poise وهي اقل مما موضح في (الجدول 2) وذلك بسبب عدم احتواءها على مواد التقوية التي تزيد من اللزوجة ، و فحص اللمعان بزاوية 60 بعد جفاف طبقة الطلاء لمده 7 ايام حيث سجل طلاء الغير مدعم (جدول 1) قيمة كانت 45 درجة وهو اكثر من الحد المسموح به وهو 40 درجة اما الطلاء المدعم المبين نتيجتة في (جدول 2) كان اللمعان 37 درجة ضمن الحد المسموح به اي كلما زادت نسبة مواد الاضافة كلما قل اللمعان هذا ما استنتج من خلال التجارب التي عمل بها وفق المواصفة العراقية (1707) .

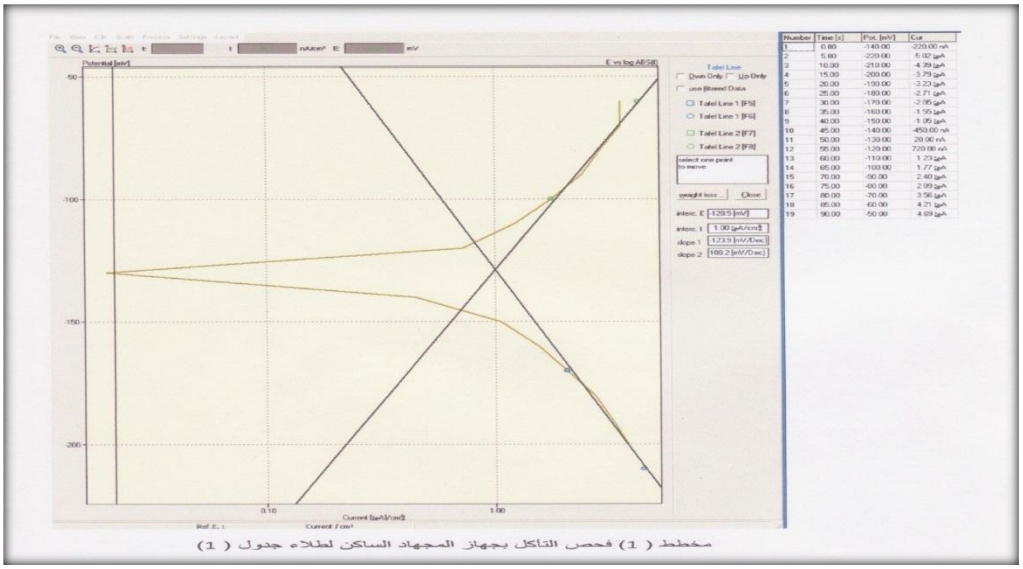
جدول (1) فحوصات الطلاءغير المدعم بمواد التقوية EPLV(No Filler)

ت	الفحوصات	EPLV(No Filler)
1	زمن الجفاف الاولي (Touch Dry)	at 20 °C 5 hours at 35°C 3hours
2	زمن الجفاف النهائي (Fully Cured)	7days 5days
3	عمر التخزين (Shelf Life)	12 months 10months
4	اللزوجه للرزن (Viscosity)	at Astm D445 = 2.0 Poise
5	نسبة التصلب للراتنج (by Weight Solids)	100% mixed
6	الكثافة (Density)	(1.1-1.2 g/cm^3)
7	الصلادة (Hardness)	(75-85) Shore-D
8	قوة الانضغاط (Compressive Strength)	(85) N /mm^2
9	الو زن النوعي (Specific Gravity)	بدون المذيب :1.52
10	فحص الخدش بثقل 1كغم (Tear Resistance)	مقاوم للخدش
11	درجة الوميض (Flash Point)	at Astm D93 > 150
12	اللمعان بزاويه 60°	45 درجة
13	اشعة UV	أمتصاص قليل ونفاذية عالية
14	فحص التأكل (Icorr)	(1.0) مايكرو امبير

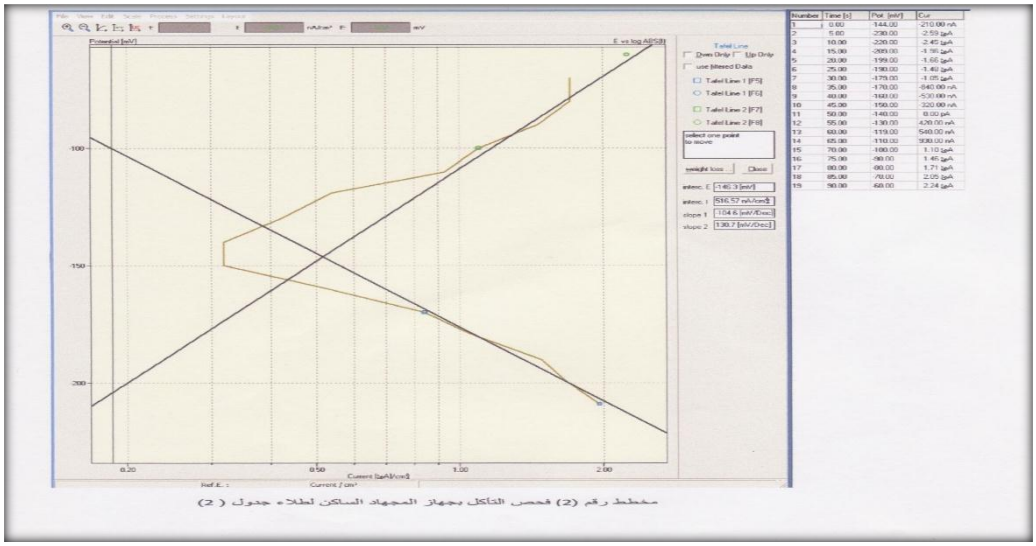
جدول (2) فحوصات الطلاء المدعم بمواد التقوية (ZnO) , (TiO_2) EPLV and

ت	الفحوصات	EPLV and (TiO_2),(ZnO)
-1	زمن الجفاف الاولي (Touch Dry)	at 20 ^{O}c at 35 ^{O}c 3 hours 2hours
-2	زمن الجفاف النهائي (Fully Cure)	7days 5days
-3	عمر التخزين (Shelf Life)	12 months 10months
-4	اللزوجة للرزن (Viscosity)	at Astm D445 (6.0 Poise)
-5	نسبة التصلب لراتنج (by Weight Solids)	100% mixed
-6	الكثافة (Density)	(1.08-1.10 g/cm^3)
-7	الصلادة (Hardness)	(60 -70) Shore-D
-8	قوة الانضغاط (Compressive Strength)	(100) N/mm^2
-9	الو زن النوعي (Specific Gravity)	1.82 بدون مذيب
-10	فحص الخدش بثقل 1كغم (Tear Resistance)	مقاوم للخدش
-11	درجة الوميض (Flesh Point)	at Astm D93 > 150
-12	اللمعان بزاويه 60^{O}	37 درجة
-13	اشعة UV	امتصاص عالي ونفاذية قليلة
-14	فحص التأكل (Icorr)	(516.5) نانو امبير

اما الفحوصات الكيميائية فكانت هي مقاومة الماء المقطر والماء الحاوي على الاملاح والكلور، حيث فحصت النماذج بعد غمرها لمدة 24 ساعة في تلك المياه فاجتازت الفحص اما فحص التأكل بجهاز المجهاد الساكن والمحلول المستخدم للفحص هو محلول ملحي فتبين ان تيار التأكل(Icorr) لطلاء الغير مدعم (جدول1) يساوي (1.0) مايكرو امبير بدرجة حرارة الغرفة وهو اكثر تأكل بسبب عدم احتواءه على مواد مانعة للصدأ وكما يوضحه مخطط (1) اما الطلاء المدعم والمبينه نتائجه في (جدول2) ، حيث يكون فيه تيار التأكل (Icorr) يساوي (516.5) نانو امبير وبدرجة حرارة الغرفة وهذه القيمة لفحص التأكل اقل بكثير من ما اشير له في (جدول 1) وذلك بسبب احتواء طبقة الطلاء على مواد مانعة للصدأ والمبينة في مخطط (2)حيث هذة المواد المانعة تجعل سطح المعدن اعلى جهد اما المحلول الملحي الموضوع فيه العينة فيكون اقل جهد مما تعمل على تفريغ التيار الكهربائي من سطح المعدن الى المحلول الملحي وهذا ما يشابه طلاء الانبوب الممتد على سطح التربة وبقائه بدون تأكل لمئات السنين وايضا طبقة الحماية هذه تحوي على مواد تمتص الرطوبة مثلTiO_2 فتمنع وصولها الى البوليمر فتحافظ عليه من التشققات وبالتالي تحفظ سطح المعدن من التأكل .

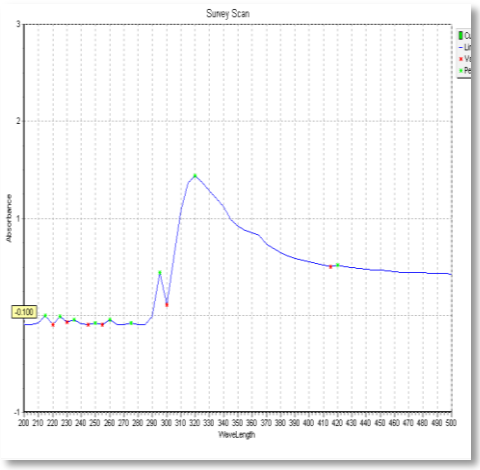


مخطط (1) فحص التأكل بجهاز المجهاد الساكن للطلاء غير المدعم

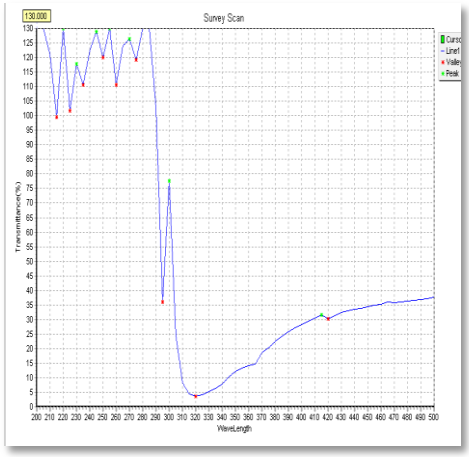


مخطط (2) فحص التأكل بجهاز المجهاد الساكن للطلاء المدعم

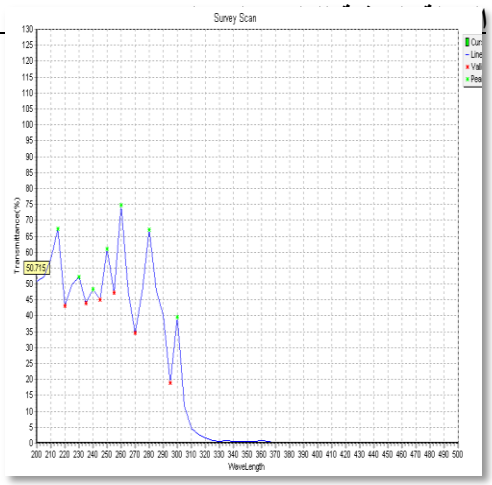
اما الفحوصات الاخرى فهو فحص اشعة UV وهو فحص مهم لفحص مدى تحمل طبقة الطلاء لأشعة UV والضوء حيث تتعرض البوليمرات الى نوع من الاشعة البنفسجية وهيB-UV الاكثر فاعلية للاطوال الموجية وتتراوح من nm (315 – 290)، مما تسبب التحلل الضوئي الكيميائي الذي يحدث في اللدائن ويحدث هذا عندما يكون البوليمر بدون مواد اضافة (تقوية) حيث الامتصاص قليل كما في المخطط (3) حيث هذه الاشعة تقوم بفك الارتباط للاواصر التي تربط الذرات في السلسلة البوليمرية بسبب اختراق الاشعة سطح البوليمر مما يسبب تشقق السطح وتلاشي اللون والمخطط (4) يوضح زياده نفاذية الاشعة (Transmittance %) لسطح البوليمر غير المدعم مما يسبب تلف للبوليمر ، واما المخطط (5) فانه لا يعاني هذا التشقق بسبب احتواءه على مواد مثبطة لتأثير الاشعة فوق البنفسجية ، حيث تعمل على الأمتصاص (Absorbance) العالي لهذه الاشعة وتمنع نفاذيتها ووصولها الى البوليمر وهذه المواد تخلط مع البوليمر عند تحضير طلاء الحماية ، اما المخطط (6) يبين قلة نفاذية الاشعة لسطح البوليمر بسبب احتواءه على مواد مثبطة لتأثير اشعة فوق البنفسجية UV.



مخطط (3) فحص الامتصاصية(Absorbance) بجهاز اشعة (UV) للطلاء غير المدعم

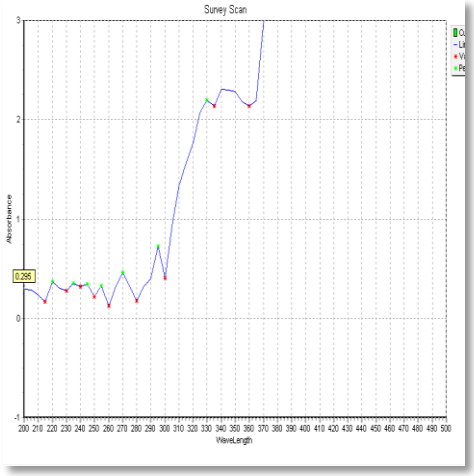


مخطط (4) فحص النفاذية (Transmittance %)بجهاز فحص اشعة(UV) للطلاء غير المدعم



مخطط (5) فحص الامتصاصية (Absorbance) بجهاز فحص اشعة (UV) للطلاء المدعم

ان اهم صفات الطلاء الاخرى موضحة في الجدولين (3 و4) ومنها المرونة والالتصاق بالسطح ، حيث اجريت ست مراحل لأختبار مرونة الطلاء حيث تبين ان المرحلة الاولى للطلاء المدعم (جدول 2) وبسمك من (100–500) مايكرون على قضيب من القصدير وبقطر 6 مم وبزاوية 180° ثم تبدء المرحلة الثانية بثني القضيب بزاويه 45° والمرحلة الثالثة هي ثني القضيب بزاوية 60° اما المرحلة الرابعة فتكون بزاوية 90° وفي المرحلتين الخامسة والسادسة البدء بارجاع القضيب الى زاوية 180° كما في المرحلة الاولى فتبين من هذا الفحص بان الطلاء المدعم بمواد التقوية المبينه نتائجه في (جدول 2) قابل للانثناء بدون حدوث تكسر او تشقق بطبقة الطلاء وجيد الالتصاق بالسطح مقارنة مع طلاء الغير مدعم والمبينه نتائجه في (جدول 1) فانه يعاني التشقق والتكسر عند اجراء هذا الفحص عليه بسبب عدم احتواءه على مواد التقوية التي تثبته بالسطح ، وتبين من خلال الجداول والمخططات المذكورة سابقا بان الطلاء المكون من مادة الايبوكسي EPLV غير المدعم بمواد التقوية والمضافات الاخرى يمتاز بقابلية



مخطط (6) فحص النفاذية(% Transmittance) بجهاز فحص اشعة (UV) للطلاء المدعم

لصق عالية تجاه المعادن ويمتاز بقوة صلادة ممتازة لكنه لا يتحمل الظروف الجوية من رطوبة ودرجات الحرارة العالية والمنخفضة لمدة طويلة وذو خصائص ميكانيكية مثل قوة الانضغاط وكذلك خصائص فيزيائية وكيميائية اضعف من الطلاء المدعم بمواد التقوية (Fillers) والمضافات الاخرى وبسبب هذه الخصائص يكون عرضة للتكسر لانه ايضا غير حاوي على المادة الملدنة التي تحسن من انثنائية الطلاء المجفف . اما المضافات ومواد التقوية والمواد المثبتة لطلاء المدعم والمبينه نتائجه في (جدول 2) تعمل على اطالة عمر البوليمر حيث تعمل على امتصاص اشعة الشمس فتحفظ طبقة الطلاء من تاثير هذه الاشعة ويمتاز هذا الطلاء بالقوة وخفة الوزن ومقاومة التآكل ونسبة القوة للوزن عالية وبسبب خصائصه المتفوقة والرائدة في مقاومة التآكل جعلته صالحا للاستخدام كطلاء حماية خارجية للأنابيب الناقلة للمشتقات النفطية وكطلاء معالجة بعد عمليات اللحيم التي تجرى على الانبوب ، لذا فهو مثالي للأستخدام من قبل الشركة العامة للأنابيب النفطية .

جدول (3) صفات الطلاء غير المدعم بمواد التقوية EPLV(No Filler)

ت	الخصائص	الصفات
1	قابلية الالتصاق	قابل على الالتصاق
2	اللون	سائل شفاف عديم اللون
3	الصفة الاكمالية	سائل شفاف خالي من العيوب
4	سمك الطلاء	(100-500) مايكرون
5	مدى الحرارة التي يعمل بها الطلاء	(20-60) ^{o}م
6	المرونة	غير قابل للمرونة

جدول (4) صفات الطلاء المدعم بمواد التقويه EPLV and (TiO_2) , (ZnO)

ت	الخصائص	الصفات
1	قابلية الالتصاق	قابل على الالتصاق
2	اللون	اخضر فاتح
3	الصفة الاكمالية	سائل متوسط القوام وخالي من العيوب
4	سمك الطلاء	(100-500) مايكرون
5	مدى الحرارة التي يعمل بها الطلاء	(20-90) ^{o}م
6	المرونة	قابل للمرونة

References

Al-Ajaj, I. A.; Muhannad, M. Abd and Harith, I. Jaffer., (2013) .Mechanical Properties of Micro TiO_2 / Epoxy Composites, Inter. J. of Min. ,Meta .Mech. Eng. (IJMMME), 1(2) , 93-97 **.**

Atsushi, N.; Manwar, H.; Shigehiro, N. and.Koichi, N. (2006) Effects of Coupling Agents on the Mechanical Properties Improvement of the TiO_2 Reinforced Epoxy System, Inter. J. of Adhesion and Adhesives , 26 (6), 406–413.

Frankel, G. S., (2003) Corrosion Science in the 21st Century, J.of Corrosion Sci.and Engi., 6, 1-15**.**

Hammouda, N.; Chadli, H.; Guillemot, G.and Belmokre, K.,(2011) The Corrosion Protection Behaviour of Zinc Rich Epoxy Paint in 3% NaCl Solution, Advanc. in Chem. Engi. and Sci., 1, 51-60.

Haque, Z.U. and Turner, D.T. ,(1987) Influence of Particulate Fillers on the Indention Hardness of a Glassy Cross - Linked Polymer, J. of Materials Sci., 22, 3379.

Hare, C. H., (1998) Mechanisms of Corrosion Protection with Surface Treated Wollastonite Pigments, J.of Protect. Coat., 14, 47-82.

Huang, K. S. ; Nien, Y. H.; Chen, J. S. and Chen, J.W., (2006) Synthesis and Properties of Epoxy / TiO_2 Composite Materials, J. of Poly. Composites, 27(2), 195–200**.**

Huang, T-C; Su, Y-A;Yeh, T-C;Wu, C-P and Huang, K-Y., (2011) Advanced Anticorrosive Coatings Prepared from Electro Active Epoxy-ZnO Composite Materials. Electro Him Acta.,56 , 9 - 614**.**

Macarie, L. and Ilia,G., (2007) Influence of Pigment Properties on UV-Curing Efficiency, J. of Applied Polymer Science, 104 (1), 247-252.

Psarras, G.; Manolakaki, E .and Tsangaris, G.M., (2002) Electrical Relaxations in Polymeric Particulate Composites of Epoxy Resin and Metal Particles. Composites A,33, 84-375**.**

Wang, D.; Sung, L.; Tseng, H.; Craig, B. and Raymond, F. (2004) " Effect of TiO_2 Pigment Type on the UV Degradation of Filled Coatings (Report)".JCT Coatings Tech,.1 (5), 32-38.

Wazzan, A. A ; Al-turaif, H. A. and Abdwlkader, A. F., (2006) Influence of Submicron TiO_2 Particles on the Mechanical Properties and Fracture Characteristics of Cured Epoxy Resin , J. Polymer - plastics Tech. and Eng., 45(10), 1155–1161**.**

Zhongyan, D.; Shaoguo, W.; ihu, W.; Changle, Y. ; Dayang Y. and Jian, L.(2016) The Review of Powder Coatings, J. of Materials Sci. and Chemi. Engi., 4, 54-59**.**