



مجلة الهندسة والتنمية المستدامة

المجلد 24، العدد 01، كانون الثاني 2020

ISSN 2520-0917

<https://doi.org/10.31272/jeasd.24.1.9>

تأثير نسبة التدعيم بأكاسيد الحديد على قابلية استخدام خردة الألمنيوم كأقطاب تضحية في الحماية الكاثودية

*محمد عبد اللطيف أحمد

أستاذ مساعد ، قسم هندسة الإنتاج والمعادن، الجامعة التكنولوجية ، بغداد ، العراق

تاريخ النشر 2020/1/1

تاريخ القبول 2019/2/25

تاريخ التقديم 2018/5/27

الخلاصة: يتلخص البحث بأعادة تدوير مخلفات الألمنيوم وتحويلها الى أقطاب مضحية بها في الحماية الكاثودية بعد إنتاج مادة متراكبة مدعمة بمواد سيراميكية وبثلاثة نسب وزنية (1%, 1.5% & 2% wt) ومادة التدعيم السيراميكية هي أكاسيد الحديد (Fe_3O_4 & Fe_2O_3) ، والحماية الكاثودية بالقطب المضحي به (أي بدون تيار كهربائي خارجي قسري) لحماية الفولاذ المستخدم في المجالات النفطية X20 . ومن خلال اختبار التآكل بطريقة الأستقطاب (بأستكمال منحنى تافل) في محلول كلوريد الصوديوم (3.5% NaCl) لوحظ بأن كثافة تيار التآكل للفولاذ X20 هي (1.95 mA/Cm²) أي يتآكل بشدة أكبر بكثير من سبيكة الألمنيوم (1100ASM) والمواد المتراكبة بدون الحماية كاثودية . وأعطت المادة المتراكبة والمدعمة بنسبة (1% wt) من أكاسيد الحديد الحماية المثلى للفولاذ كأقطاب تضحية من بين أقطاب الحماية الأخرى (سبيكة الألمنيوم 1100 ، والمادة المتراكبة المدعمة بالنسب الوزنية (1.5% & 2% wt) من أكاسيد الحديد). و بطريقة فرق الوزن التقليدية تبين بأن معدل تآكل الفولاذ X20 قد أنخفض من (0.00112 gmd) الى (0.00025 gmd) بسبب أقطاب التضحية ذات نسبة تدعيم (1% Wt) بأكاسيد الحديد.

الكلمات الدالة: الحماية الكاثودية ، القطب المضحي به ، التآكل ، الأستقطاب ، المواد المتراكبة.

The influence of reinforced percentage of iron oxides on its ability utilize of Aluminum scrap as sacrificial anodes in cathodic protection.

Abstract: The research is to recycle the aluminum residues into cathodic protection electrodes (Sacrificial Anodes) after producing an composite material reinforced by ceramic material with three weight ratios (1%, 1.5% & 2% wt). The ceramic reinforcement material is iron oxides (Fe_3O_4 & Fe_2O_3), cathodic protection (Without Impressed current) to protect the steel X20 was used in the oil fields. It was observed from polarization test (Tafel Extrapolation) in (3.5%NaCl) solution that the corrosion current density of the steel X20 is 1.95 mA / Cm², which is much more corrosive than the aluminum alloy (1100ASM) and the composite materials without cathodic protection .The composite material reinforced by (1%Wt) of iron oxides gave the optimum protection for steel as a sacrificial anode among the other protection electrodes such as (aluminum alloy 1100ASM) and the composite materials reinforced by (1.5% & 2% Wt) of iron oxides. In the traditional weight loss method, the corrosion rate of steel X20 was reduced from 0.00112gmd to 0.00025 gmd due to the sacrificial anode reinforced by (1%Wt).

*الباحث المتابع metal_metal48@yahoo.com

1. المقدمة

التآكل (Corrosion) هو مشكلة لا يمكن غض النظر عنها تحيط بجميع مرافق الحياة ولا سيما الإنتاجية أو الصناعية، فهي تؤدي بالخسائر المادية والأقتصادية والصحية و المظهر العام وهدر بالطاقات، وإن تلف المنتجات أو المصانع والمعامل أو الخطوط الإنتاجية أو الخطوط الناقلة للمنتجات مثل الأنابيب الناقلة للمياه و الناقلة للمنتجات النفطية وكذلك محطات توليد الطاقة الكهربائية ومرقها مثل منظومات التبريد و أنابيب نقل الوقود وغيرها ستؤدي الى هدر بالطاقات المبذولة وخسائر فادحة قد لا يمكن تلافيها مستقبلاً" بسبب التآكل. فبدلاً من تطويع العمل والمنتجات وتوسيعه ستكون الأموال والطاقات المبذولة موجهة لأغراض الصيانة والأدامة فقط وقد تتكون ديون متراكمة بسبب تحول العمل من أنتاجي الى صيانة وأدامة فقط للتجهيز البسيط الغير كافي لسد أحتياج المنطقة أو المؤسسة من المنتج أو الطاقة. وعليه فلا بد من إيجاد حل لتقليل أثر هذه الآفة الفتاكة المسماة بالتآكل (Corrosion)؛ وهناك عدة طرق للوقاية من أضرار التآكل ولكن لا يمكن منعه تماماً" ومنها؛ تحسين التصميم والتعديل السبائكي والطلائع (المعدنية والغير المعدنية) وأضافة المثبطات أو المهبطات للوسط الأكال والحماية الكاثودية بوجود وعدم وجود تيار كهربائي قسري خارجي والحماية الأنودية و أساليب هندسية تخصصية أخرى للتقليل من حدة التآكل. [1],[2]

ويعرف التآكل في العديد من البحوث والمصادر بأنه التلف أو العيب الكيميائي أو الكهروكيميائي الذي يصيب سطوح المعادن المعرضة للوسط الأكال مسبباً أضرار في مجالات الحياة المختلفة. والتآكل لا يحدث إلا بوجود وسط أكال (الألكتروليت)، ويعتبر الألكتروليت وسط ناقل للأيونات من وإلى المعدن القابل للتآكل (الأنحلال الكيميائي أو الكهروكيميائي) وتحرر والألكتروليتات من جهة أخرى. و بذلك تنطلق أيونات المعدن المتآكل داخل الوسط الأكال مقابل الكتروليتات حرة داخل المعدن المتآكل. ونتيجة ماحدث سيكون سطح معدن تالف يحوي فجوات تعتبر مناطق لتتركيز الأجهادات وثرغرات يستمر ويتقدم فيها ضرر التآكل. [3-1] والتقليل من التآكل يتم بعدة طرق منها الحماية الكاثودية والتي عرفها العديد من الباحثين في هذا المجال بأنها الحماية الناتجة من تحويل المعدن المراد حمايته الى كاثود (قطب سالب الشحنة) بوجود معدن مضحي به كقطب أنود (قطب موجب الشحنة) في الوسط الأكال العاملة فيه كخلية كهروكيميائية، وهذا يعتمد على موقع المعدن أو السبيكة المعدنية من السلسلة الغلفانية (Galvanic Series) فالمعدن الأكثر نبلاً" أو الأكثر مقاومة للتآكل لوحده في محلول أكال يصبح أنوداً" بالمقارنة مع المعدن الآخر الأقل مقاومة منه في نفس المحلول الأكال وذلك عندما يكونان عاملان معاً" بنفس الوسط الأكال. [4-1] ولذلك فلا بد من دراسة مقاومة التآكل لكل من المعدن المراد حمايته والمعدن المضحي به للتأكد من صحة الأختيار للمعدن المراد أستخدامه كقطب مضحي به ويصبح أنوداً" في الوسط أو البيئة الأكال العامل فيها بدلاً" عن المعدن المراد حمايته والذي يصبح كاثوداً". وأن أكثر المعادن أستخداماً" كأقطاب مضحي بها هي المغنسيوم النقي والخاصين (الزنك) والألمنيوم وسبائكهم وجميعها معادن ليست رخيصة ومن الصعب أستخلاصها والحصول عليها. [4-1] وكان الغرض من أضافة أكاسيد الحديد في المادة المترابكة هو لتعويض الوسط الأكال بأيونات الحديد من القطب المضحي به بدلاً" من الفولاذ X20 المراد حمايته (قطب الكاثود)، وذلك لأن أيونات الحديد تعتبر عوامل مؤكسدة في الوسط الأكال. [1]

وأن أستخدام التيار الكهربائي القسري (Impressed Current) له عدة مضار منها خسارة بالطاقة، وتوليد تيارات شاردة قد تؤثر على خطوط الأنابيب أو الخزانات وأسس الأبنية والهياكل المعدنية المجاورة قد لا تكون معلومة الموقع لدينا مما تسبب أضرار فادحة، و وتتطلب تصاميم وحسابات فائقة الدقة، ومراقبة مستمرة وأجهزة مراقبة مكلفة، والتحكم بشدة وأستمرار التيار المسلط، وعاملين متخصصين ومراقبين، وأقطاب تضحية خاصة، وقد تكون شبكات الانابيب في مناطق جغرافية لا تتوفر فيها مصادر طاقة كهربائية لأستخدامها في تغذية نظم حماية التيار القسري فقد ظهرت العديد من البحوث التي تناولت استخدام الحماية الكاثودية بأقطاب التضحية (Sacrificial anodes) [5-7],[1]. بينما في بحثنا هذا لا نستخدم تيار خارجي قسري والأقطاب المضحي بها من نفايات الألمنيوم المستعبدة بعد إعادة تدويرها وتدعيمها بأكاسيد الحديد.

طرق اختبارات التآكل كثيرة منها طريقة فرق الوزن التقليدية و الفحص المجهرى و الأستقطاب بأستخدام جهاز المجهاد الساكن (potentiostate) وخصوصاً " طريقة أستكمال منحنى تافل (Tafel extrapolation) هي طريقة الأختبار الكهروكيميائية الشائعة الأستخدام كما هو الحال بطريقة فرق الوزن التقليدية فكلاهما يبين بوضوح شدة التآكل سواء بكثافة التيار مثل ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) أو قيم وزنية مثل (gmd). [1],[6][7].

المواد المترابكة معرفة في العديد من البحوث بأنها المواد الهندسية الناتجة من تدعيم مادة هندسية بمادة هندسية أخرى، وللحاجة الماسة في الوقت الحاضر لمواد هندسية متطورة ومثالية بخواصها الميكانيكية والكيميائية، لهذا توجه أكثر العاملين في مجال المواد الهندسية باستحداث أو تطوير بعض المواد الهندسية بما يواكب التطور التكنولوجي. وبناءاً على هذا فقد قام العديد من الباحثين بأنتاج بعض المواد المترابكة أو تطويرها وأجراء بعض التعديلات عليها، والمواد الهندسية المطلوبة في هذا العصر تمتاز بخواص ميكانيكية وكيميائية خاصة لا يمكن الحصول عليها بمادة واحدة من المواد الهندسية التقليدية وبشكل منفرد لذلك يجب أنتاج مواد هندسية جديدة تدعى بالمواد المترابكة. [8-10]

والمواد المترابكة ذات الأساس المعدني (metal matrix composites) تتكون من أرضية معدنية مدعمة بمادة هندسية أخرى قد تكون معدنية أيضاً" أو سيراميكية؛ وأهتم الكثير من الباحثين وبشكل متزايد في تطوير المواد المترابكة ذات الأساس المعدني التي تمتاز بكثافة منخفضة ومتانة جيدة مقرونة بصلادة ومقاومة بلى عاليتين، وهذا لا يتم إلا بتدعيم المعدن بدقائق سيراميكية، إضافة" الى إن دقائق التقوية يجب أن تكون منخفضة الكلفة ومتوفرة وسهلة التشطيب و واسعة الأستخدام في معظم بل وأغلب البحوث الهندسية مثل ($\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{WC}, \text{Graphite}, \text{B}_4\text{C}, \text{SiC}$) ولما تمتاز به من سهولة التشطيب في المعدن المنصهر بأسهل وأبسط وأرخص طريقة وهي طريقة الدوامه (vortex method). [8-11] ومن الجدير بالذكر أن التآكل الذي يصيب سطوح السبائك الحديدية يسمى بالصدأ (Rust)، والصدأ هو ناتج تآكل فولاذ تعرض الى وسط يحتوي على ماء أو بخار ماء و أوكسجين إضافة" الى عوامل مساعدة أخرى كالعوامل المؤكسدة ودرجة الحرارة والضغط وتركيز المحلول ومقدار حامضيته و زمن التعرض والأجهادات المسبقة للمعدن والتركيبي الكيميائي للسبيكة... الخ، وخير مثال على ذلك الصدأ الذي يصيب هياكل السيارات وهياكل المنشآت، والصدأ يمر بعدة مراحل لحين وصوله الى المركب النهائي المستقر والذي يسمى بأوكسيد الحديد المغناطيسي (Magnetic Iron Oxide) ورمزه الكيميائي Fe_3O_4 و تصل نسبة الحديد في الأوكسيد النقي الى (82.4%) ويسمى بالمغناتيت (Magnetite) ويعتبر من أغنى خامات الحديد وشديد التماسك ولونه أسود أو رمادي غامق أما الهيماتيت (Fe_2O_3) (Hematite) فهو أوكسيد الحديد الثلاثي اللامغناطيسي ولون الهيماتيت بين الرمادي والأحمر وقد تصل نسبة الحديد في الأوكسيد النقي الى أكثر من (60%) وتكون صلابته أعلى من صلادة الحديد النقي. [1-3],[12]

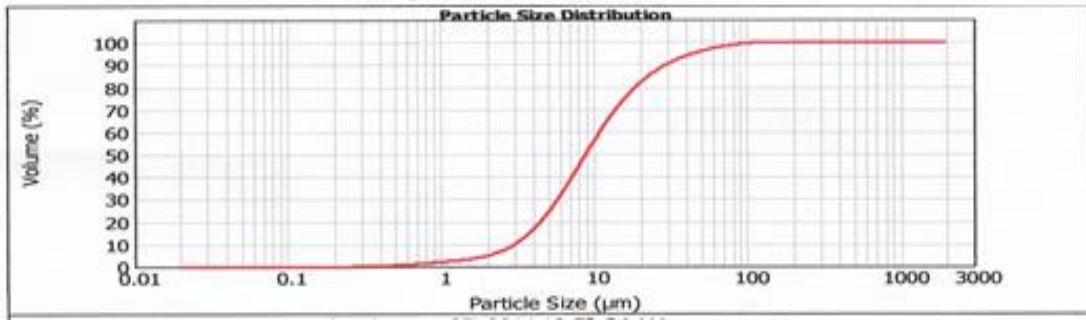
2. الهدف

يهدف البحث الى حماية الأجزاء الفولاذية X20 كاثودياً" والتي تستخدم في مجهزة الطاقة الكهربائية كأنابيب ناقلة للوقود، بأستخدام أقطاب مضحى بها (تصبح أنوداً") ناتجة من مادة مترابكة ذات أساس المنيوم بطريقة الدوامه البسيطة والواطئة الكلفة بأستثمار خرده الألمنيوم المنزلي والمسمى بالألمنيوم النقي التجاري (1100ASM) وتحويله الى مادة مترابكة بعد تدعيمه بدقائق مشتتة من أكاسيد الحديد (Fe_3O_4 & Fe_2O_3) والمسماة تجارياً" ببقايا أو مخلفات صدأ الحديد (Rust Residues) ، وهذه المادة المترابكة تمتاز بخواص جيدة (من حيث الصلادة والتآكل الكيميائي).

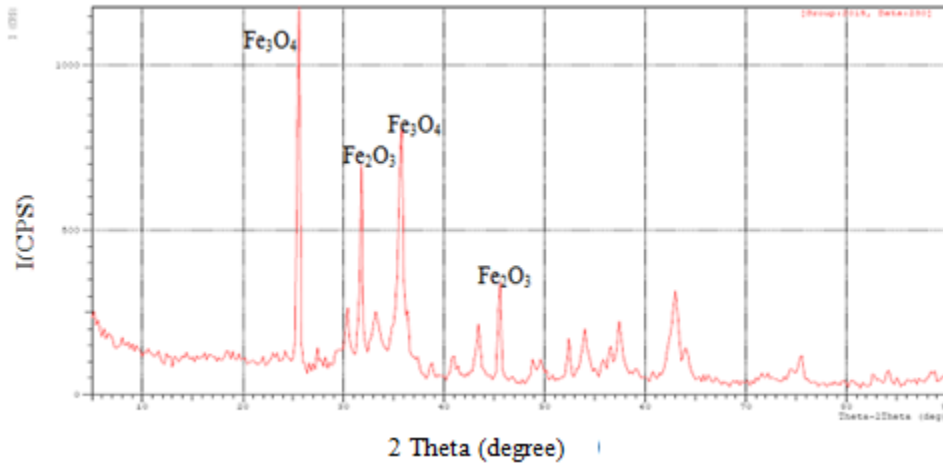
3. الجزء العملي

1.1. تصنيع المواد المترابكة

في هذا البحث تم إعادة تدوير وأستخدام خردة الألمنيوم المستبعدة من المنازل والمعامل والمصانع كخردة وفضلات أو نفايات بعد تدويرها وتحويلها الى مواد هندسية نافعة وبكلف قليلة بل و زهيدة أيضا"، وقبل كل شيء تم إجراء فحص للتركيب الكيميائي لهذه الخردة بعد إعادة صهرها وسبكها وفحص بنيتها المجهرية. ومن ثم تحويل خردة الألمنيوم هذه الى مادة متراكبة عن طريق إضافة بقايا أو نفايات نواتج صدأ الحديد أو صدأ القطع الفولاذية (Fe_3O_4 & Fe_2O_3) والتي تعتبر من المواد السيراميكية كونها أكاسيد معدنية، والأضافة كانت بالنسب الوزنية (2% wt & 1.5% & 1%) وبحجمها الحبيبي المعلوم و المحصور ما بين (0.252-158.866 μ m) كمادة داعمة للألمنيوم المذكور كما يوضحه الشكل (1) بعد إجراء اختبار قياس الحجم الحبيبي للأكاسيد في الهيئة التعدينية والمسح الجيولوجي لوزارة الصناعة والمعادن و بأستخدام جهاز نوع MASTERSIZER 2000 والذي يعطي مخطط يبين فيه العلاقة بين الحجم الحبيبي والنسبة الحجمية لعينة المسحوق المأخوذة من قبل ذلك الجهاز ذاتيا" ، وإن بقايا أو نفايات صدأ الحديد (أكاسيدالحديد) (Rust Residues) المضافة كمادة داعمة أجريت عليها عدة عمليات تحضيرية لتكون مادة مضافة وداعمة لمنصهر خردة الألمنيوم، وهذه الطريقة تنقي البيئة من تلك النفايات، وإن أكاسيد الحديد المستخدمة هنا تم فحص مركباتها من خلال أيجاد حيود الأشعة السينية (X-RD) لها وكما مبين في الشكل (2).



شكل (1) مخطط يبين الحجم الحبيبي لأكاسيد الحديد المستخدمة كمادة داعمة في المادة المترابكة .



شكل (2) مخطط يبين حيود الأشعة السينية لأكاسيد الحديد المستخدمة (X-RD for Iron Oxides) لمعرفة تركيبه الكيميائي.

وكانت طريقة إعداد المادة المترابكة هذه بالسباكة التقليدية وبطريقة الدوامة (vortex method)، بعد صهر الألمنيوم الخردة وبوزن (150gm) في بودقة كرافيتية وداخل فرن كهربائي أسطواني فوهته للأعلى لتسهيل عمليات الصهر والمزج عند درجة حرارة (700°C)، وأضاف الأكاسيد المذكورة وبالنسب المبينة أعلاه لهذا المنصهر بعد خلطها بمعدن المغنسيوم النقي (مسحوق المغنسيوم النقي) وبمقدار (3gm) لكل (150gm) من الألمنيوم المنصهر لتحسين خاصية الترطيب (Wettability) فقط بين دقائق الأكاسيد ومنصهر الألمنيوم، وتم اختيار هذا المقدار الوزني لمعدن المغنسيوم بناءً على التجارب التكرارية كون معدن المغنسيوم بمقدار أقل من (3gm) كما موجود في أغلب البحوث لا يعطي الترطيب الكافي بسبب خاصية أكاسيد الحديد العالية للكتل، وهنا تكمن الصعوبة في إيجاد الوسيلة المناسبة للترطيب وعدم التكتل، وتكون الأضافة على شكل مكورات مغلفة بصفائح أو رقائق الألمنيوم (Aluminum Foil) وتسخن مكورات مزيج الأكاسيد والمغنسيوم مسبقاً قبل أضافتها لمنصهر الألمنيوم وتصل درجة حرارة التسخين إلى (250°C) لطرده الأبخرة الموجودة داخل هذه المكورات. ثم رفع درجة حرارة المنصهر الذي أضيفت له المكورات إلى (750°C)، ويتم المزج المستمر بخلاط ميكانيكي لحصول التشتيت التام لدقائق الأكاسيد في كل أجزاء الصبة أو المسبوكة المراد دراستها. ثم يصب المنصهر في قوالب فولاذية مسخنة مسبقاً إلى درجة حرارة (250°C) والتي تكون على شكل قضبان أسطوانية بقطر (2 Cm) وطول (10 Cm).

2.3. التركيب الكيميائي

لا بد من معرفة التركيب الكيميائي للفولاذ المراد حمايته للتأكد من نوعه وهذا ما يسهل تفسير نتائج الفحوصات اللاحقة وآلية الحماية الكاثودية وقابلية تحقيقها، أضافةً إلى التحقق من التركيب الكيميائي للألمنيوم المعاد تدويره والذي سيكون القطب المضحي به والذي سيتم تدعيمه بأكاسيد الحديد (المواد السيراميكية).

3.3. فحص البنية المجهرية

تم فحص البنية المجهرية للفولاذ المراد حمايته والألمنيوم المعاد تدويره والمواد المترابكة المدعمة (بنسب التدعيم الثلاثة) قبل أختبارات التآكل، ومن ثم نفحص الفولاذ بعد الحماية الكاثودية للمقارنة لمعرفة تأثير الحماية الكاثودية على البنية المجهرية للفولاذ المراد حمايته كاثودياً، كذلك نفحص البنية المجهرية المتأكلة للألمنيوم والمادة المترابكة بعد ما أصبحت أقطاب تضحية (أنودات تضحية).

4.3. فحص الصلادة

لا بد من فحص صلادة الفولاذ المراد حمايته كاثودياً. وكذلك الحال مع الألمنيوم والمواد المترابكة المدعمة بنسب وزنية مختلفة والعاملة كأقطاب مضحي بها للمقارنة فيما بينها.

5.3. أختبارات التآكل

1.5.3. الأستقطاب: استخدام طريقة الأستقطاب (أستكمال منحنى تافل) لكل من الفولاذ والألمنيوم والمادة المترابكة ذات نسب التدعيم الوزنية المختلفة (1, 1.5 & 2% wt) لمعرفة معدل تأكلها في محلول ملح الطعام (3.5% NaCl)، وكانت النماذج المفحوصة دائرية المقطع وبقطر (2cm) وبسمك (1cm)، وبعدها نضع مخططات بيانية توضح ذلك للمقارنة. ولا يمكن استخدام هذه الطريقة أثناء الحماية الكاثودية لدخول القطب المضحي به كقطب رابع (بين القطب العامل والقطب المرجعي وقطب البلاتين) في المحلول الألكتروليتي للخلية الكهروكيميائية، أي لا يمكن إجراء تآكل

وحماية من التآكل في نفس المحلول و بنفس الوقت ، علماً أن خلية الأستقطاب مكونة فقط من الأقطاب الثلاثة المذكورة أعلاه (النموذج W.E و قطب المقارنة Reference Electrode هو قطب الكالوميل و القطب المساعد Auxiliary Electrode هو قطب البلاتين).

2.5.3. طريقة فرق الوزن التقليدية أيجاد معدل التآكل بطريقة فرق الوزن التقليدية للفولاذ في محلول ملح الطعام (3.5%NaCl) لمعرفة مقاومته للتآكل قبل الحماية الكاثودية، وبعد الحماية الكاثودية في الوسط الأكال لكل شهر ولمدة أربعة أشهر متتالية. وكذلك الحال مع الألمنيوم والمادة المترابطة (الأقطاب المضحية بها) أيضاً، وبذلك يتم تخمين نسبة التدعيم المثالي للمادة المترابطة لتعمل كمصعد أو قطب أنود مضحي به بدلاً من تلف الفولاذ X20 وبذلك تتم حمايه الفولاذ، وبعدها يتم وضع جدول ورسم مخطط بياني للمقارنة قبل وبعد الحماية الكاثودية للفولاذ. بعد تحضير العينات كما تم ذكره سابقاً تجرى عمليات التآكل العام والتآكل بوجود الحماية الكاثودية في وسط التآكل الملحي وتحت ظروف قياسية لكل من درجة الحرارة والضغط (25°C ، 1atmosph) وتم استخدام طريقة فرق الوزن التقليدية لغرض حساب معدلات التآكل بوجود وعدم وجود الحماية الكاثودية للفولاذ X20 . ولغرض قياس الأوزان تم استخدام ميزان حساس من نوع (DENVER INSTRUMENT) ويعمل بدقة (0.0001 gm). تدعى هذه الطريقة أحياناً بالطريقة الوزنية وتستعمل بشكل واسع لقياس معدلات التآكل حيث تساعد في فهم تأثير التآكل ولحساب معدل التآكل بطريقة فرق الوزن يتم على وفق المعادلة التالية: [1],[5],[6]

$$(1) \quad \text{معدل التآكل} = \frac{\text{التغير في الوزن}}{\text{المساحة المعرضة للوسط الأكال} * \text{زمن التعرض}}$$

$$(2) \quad \text{التغير في الوزن} = \text{الوزن الأصلي} - \text{الوزن الناتج بعد التآكل}$$

وفي هذه الطريقة من الممكن استخدام وحدات مختلفة أما وحدات (غرام / متر² . يوم) وعادة يرمز لها بـ (gmd) أو استخدام وحدات (ملي غرام / دسم² . يوم) و يرمز لها بـ (mdd) وفي بحثنا هذا سوف يتم استخدام وحدات الـ (gmd) المشار لها آنفاً لأنها تكون كافية للتعبير عن التغير الحاصل في الوزن نتيجة لعمليات التآكل.

4. النتائج والمناقشة

1.4 التركيب الكيميائي

النموذج المراد حمايته من الفولاذ المنخفض السبائكية والمسمى بـ X20 والمستخدم في المجالات النفطية على شكل أنابيب ناقلة داخل المصافي. وكان تركيبه الكيميائي كما موضح في الجداول (1)، أما خردة الألمنيوم المستخدمة فأتضح من خلال تركيبها الكيميائي بأنها من النوع المسمى بالألمنيوم ذو النقاوة التجارية (1100ASM) وكما يبينه التركيب الكيميائي في جدول (2). وتم التحليل الكيميائي باستخدام جهاز المطياف الضوئي:

(ARUN Technology, Metal Scan, Desktop Metals Analyser , 2500 Series, Spectrometer, Made in England).

جدول (1) التركيب الكيميائي للفولاذ المنخفض السبائكية X20.

X20 Chemical Composition%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Analytical	0.247	0.368	0.725	0.01	0.039	0.94	0.394	0.141

X20 Chemical Composition%	Al	Cu	Ti	V	W	B	Fe
Analytical	0.513	0.119	0.005	0.01	0.015	0.001	Rem.

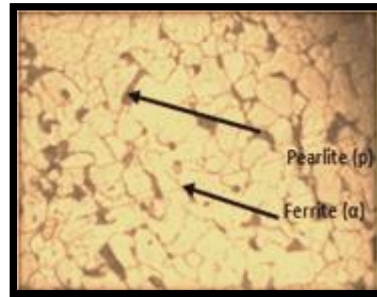
جدول (2) التركيب الكيميائي لخرقة الألمنيوم النقي التجاري.

Chemical Composition%	Fe	Zn	Ti	Cr	Al
Percentage Weight	0.29	0.06	0.04	0.03	Rem.

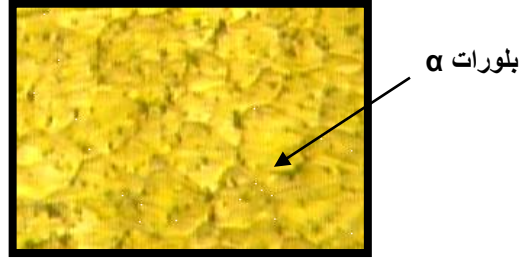
2.4. البنية المجهرية

يتضح من خلال البنية المجهرية للفولاذ X20 بأنه مكون من أرضية فرايتية (α) موزعا فيها بلورات بيرلايتية (P) شكل (3)، وهذا ينطبق مع تركيبها الكيميائي الذي يؤكد ذلك. أما البنية المجهرية للألمنيوم ذو النقاوة التجارية (سبيكة 1100ASM) بأنها فرايتية الطور (α) فقط (أحادية الطور) وكما في الشكل (4)، أما المادة المترابطة فهي مؤلفة من الألمنيوم ذو النقاوة التجارية ويطوره الفرايتي على شكل أرضية وموزعا فيها حبيبات أودقائق من أكاسيد الحديد (Fe_3O_4 & Fe_2O_3) الداعمة وبشكل منتظم لهذه الأرضية، والمادة المترابطة والمدعمة بنسبة (1%) من أكاسيد الحديد والموضحة في الشكل (5) تبين بأن نسبة الأكاسيد الداعمة في الأرضية أقل بالتأكيد مما هو موجود في المادة المترابطة والمدعمة بنسبة (1.5%) من أكاسيد الحديد شكل (6) ونسبة (2%) من أكاسيد الحديد شكل (7).

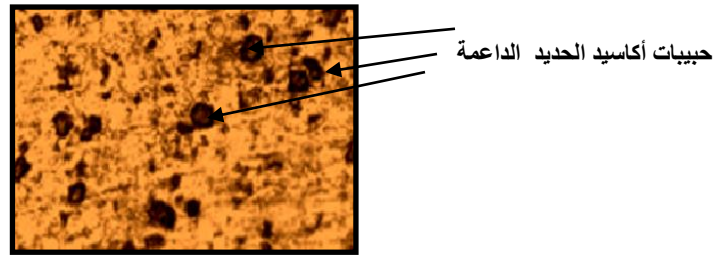
أما البنية المجهرية للفولاذ بعد التآكل وبدون حماية كاثودية فقد بينت بأن الفولاذ يتآكل تآكلا منتظما وعاما الشكل (8)، أما بعد الحماية الكاثودية فإن التآكل سيكون عاما أيضا ولكن أقل شدة من التآكل بدون حماية وخصوصا عند حمايته بقطب التضحية المدعم بنسبة (1% Wt) والشكل (9) يبين ذلك، وتكون البنية المجهرية متآكلة بأكثر شدة وبشكل منتظم أيضا عند التوصيل السلكي بالمواد المترابطة المدعمة بنسبة (1.5% & 2% Wt) وكما يبينه الشكل (10) ولهذا لا يمكن اعتباره حماية كاثودية. أما بالنسبة للألمنيوم (1100ASM) سيكون متأثر بالتآكل التنقري فقط شكل (11)، والمواد المترابطة فإن بنيتها المجهرية بعد التآكل ستكون متأثرة بالتآكل التنقري والتآكل الغلفاني الضمني معا وهذا موضح في الشكل (12) حيث يلتقي التآكل الغلفاني الضمني مع التآكل التنقري، وكانت النماذج المفحوصة دائرية المقطع وبقطر (2cm) وبسمك (1cm)، ويكون ربط خلية التآكل بوجود الحماية الكاثودية كما في الشكل (13).



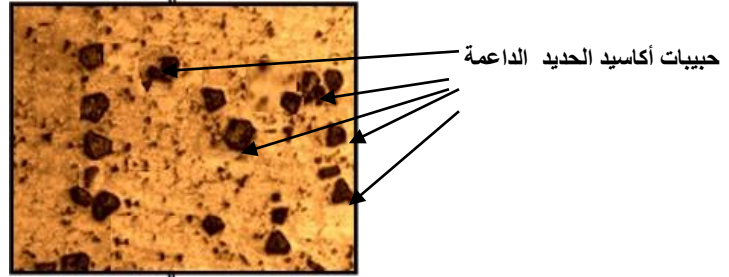
شكل (3) البنية المجهرية للفولاذ X20 قبل إجراء عمليات التآكل وبقوة تكبير (125X).



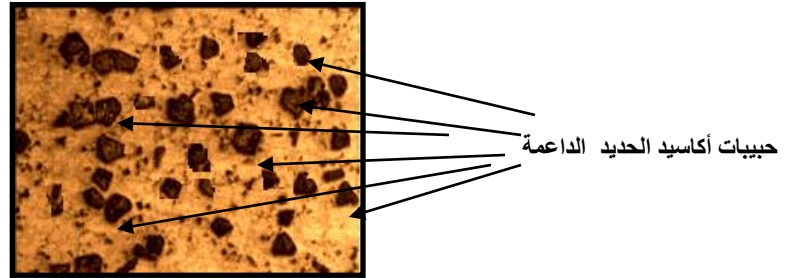
شكل (4) البنية المجهرية للسبيكة الأساس لخرده الألمنيوم النقي (1100 ASM) و بقوة تكبير (125X).



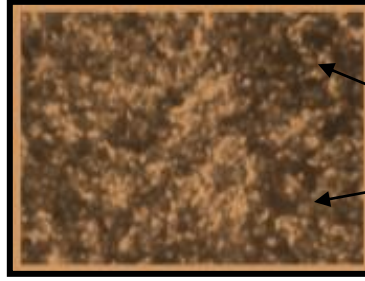
شكل (5) البنية المجهرية للمادة المترابطة المدعمة بـ(1% Wt) من أكاسيد الحديد (Fe_2O_3 & Fe_3O_4) و بقوة تكبير (125X).



شكل (6) البنية المجهرية للمادة المترابطة المدعمة بـ(1.5% Wt) من أكاسيد الحديد (Fe_2O_3 & Fe_3O_4) و بقوة تكبير (125X).

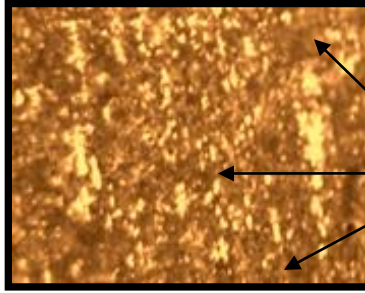


شكل (7) البنية المجهرية للمادة المترابطة المدعمة بـ(2% Wt) من أكاسيد الحديد (Fe_2O_3 & Fe_3O_4) و بقوة تكبير (125X).



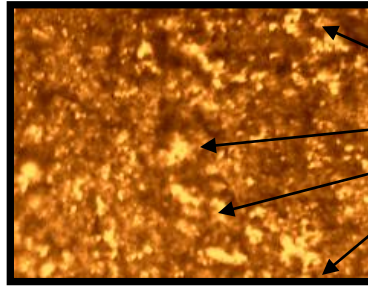
تآكل غير محدد الموقع ولا الشكل وشديد

شكل (8) البنية المجهرية لفولاذ X20 في حالة التآكل بعد أربعة أشهر من الأختبار دون حماية كاثودية وبقوة تكبير (125X) .



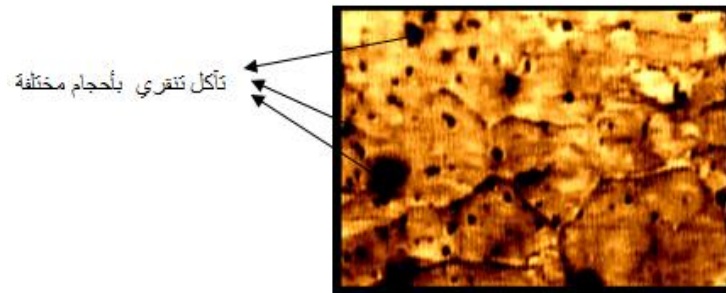
تآكل بسيط غير محدد الموقع ولا الشكل

شكل (9) البنية المجهرية لفولاذ X20 في حالة التآكل بعد أربعة أشهر من الأختبار بوجود الحماية الكاثودية بأقطاب التضحية المدعمة بنسبة (1% Wt) والسبيكة (1100ASM) وبقوة تكبير (125X) .



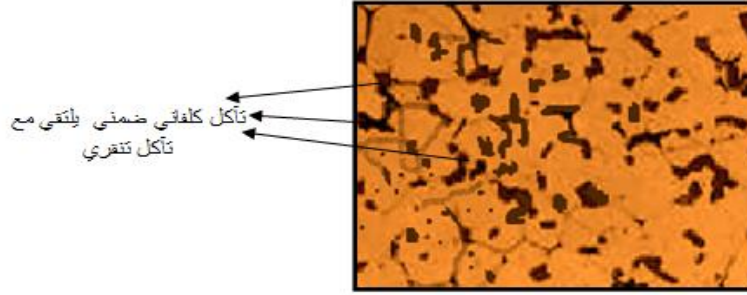
تآكل غير محدد الموقع ولا الشكل وشديد جدا

شكل (10) الفولاذ X20 في حالة تآكل شديد جدا" بعد التوصيل السلكي مع المواد المترابطة المدعمة بنسبة (1.5&2% Wt) وبقوة تكبير (125X) .

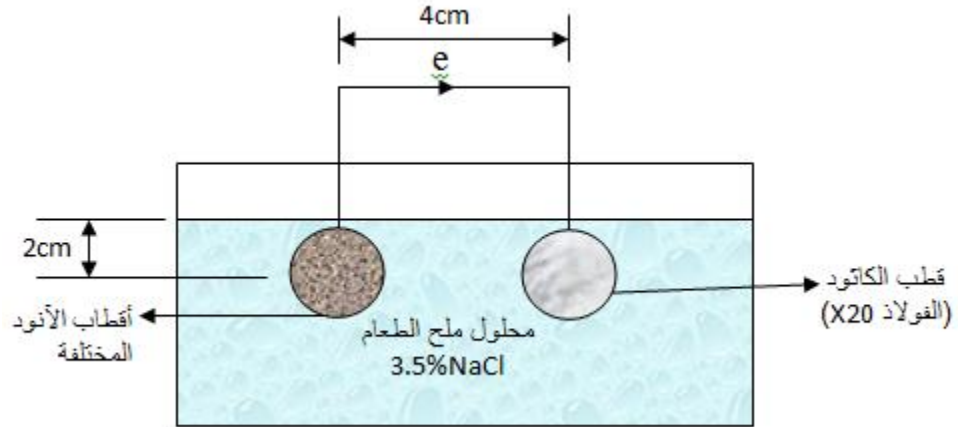


تآكل تنقري بأحجام مختلفة

شكل(11) السبيكة الأساس (1100 ASM) بعدالتآكل التنقري في محلول ملحي (3.5% Na Cl) وبعد أربعة شهر و بقوة تكبير(125X).



شكل (12) المادة المترابطة المقواة بـ (1.5% Wt) من أكاسيد الحديد بعد التآكل في محلول ملحي (3.5% Na Cl) وبعد أربعة أشهر وبقوة تكبير (125X).



شكل (13) يبين ربط الفولاذ X20 المراد حمايته كاثوديا" بربطه سلكيا" بأقطاب التضحية المضحي بها (الأنودات المختلفة).

3.4. الصلادة

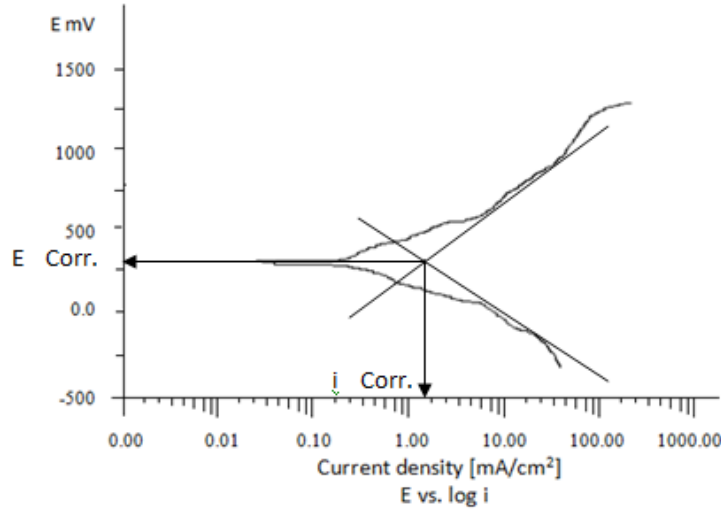
بعدها تم فحص صلادة الفولاذ المستخدم X20 بتقنية فيكر، تبين بأن صلادته تصل إلى (1630 HV) وبناءاً على هذه القيمة يعتبر الفولاذ متوسط الصلادة . أما بالنسبة لأقطاب التضحية ذات أساس ألنيوم فتم فحصها وتبين بأن صلادة السبيكة الأساس قد ارتفعت من (775 HV) إلى (810 HV) بعد تحويلها لمادة مترابطة مدعمة بنسبة (1% Wt) من أكاسيد الحديد ثم إلى (860 HV) عند التدعيم بنسبة (1.5% Wt) وأخيراً إلى (910 HV) بعد التدعيم بنسبة (2% Wt) وكما موضح في الجدول (3) بعد إجراء صلادة فيكر HV عليها ، ونستنتج من ذلك بأن الزيادة الحاصلة في صلادة المادة المترابطة يعود إلى وجود حبيبات أو دقائق أكاسيد الحديد كمادة داعمة للأرضية ، حيث إن الحبيبات تمتاز بأنها موزعة بشكل منتظم داخل الأرضية كما توضحه الأشكال (5)(6)(7) ونجد الصلادة كمؤشر للتأكد من أن إضافة المواد السيراميكية قد أثمر ميتالورجياً" على السبيكة الأساس. [8],[10],[13],[14]

جدول (3) يبين الصلادة للفولاذ ولأقطاب التضحية.

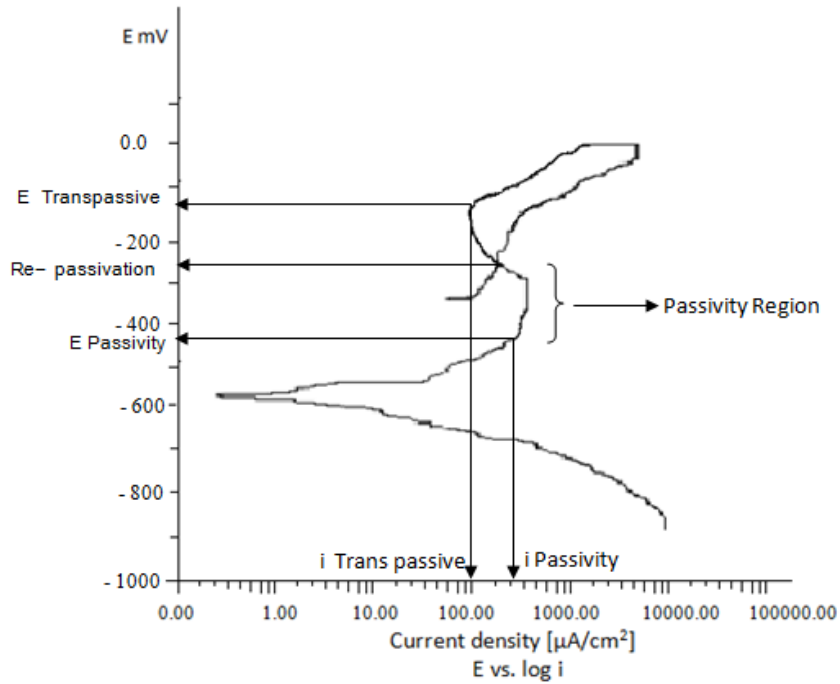
الصلادة HV	أسم المادة المفحوصة
1630	الفولاذ X20
775	الألمنيوم 1100ASM
810	المادة المترابكة بنسبة 1% Wt
860	المادة المترابكة بنسبة 1.5% Wt
910	المادة المترابكة بنسبة 2% Wt

4.4. اختبارات التآكل

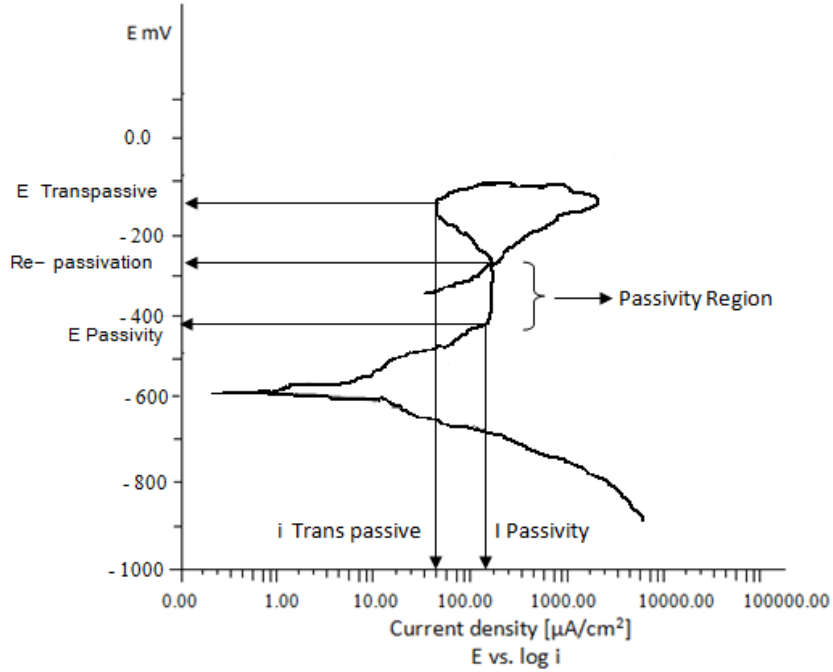
لوحظ من خلال الاستقطاب بأستكمال منحنى تافل الشكل (14) بأن الفولاذ X20 يعطي جهد و تيار تآكل بمقدار ($E_{Corr.}=285 \text{ mv} \ \& \ i_{corr.}=1.95 \text{ mA/Cm}^2$) أي شديد التآكل مقارنة" بسبيكة الألمنيوم (1100ASM) ذو النقاوة التجارية الشكل (15) والمادة المترابكة بنسبة (1% Wt) الشكل (16) واللذان تمران بمرحلة (نشط - خامل) بينما يكون تآكل المواد المترابكة بنسبة (1.5% Wt) الشكل (17) والمادة المترابكة بنسبة (2% Wt) الشكل (18) أكبر تآكل من السبيكة (1100ASM) والمادة المترابكة بنسبة (1% Wt) بسبب حبيبات التدعيم السيراميكية المضافة ولكن أقل أيضا" من الفولاذ X20 ؛ وعليه سيكون استخدام المادة المترابكة بنسبة (1% Wt) ويليه استخدام سبيكة الألمنيوم (1100ASM) هي المثلى كأقطاب تضحية أكثر من استخدام المواد المترابكة (1.5% & 2%) كونها لا تمر أطلاقا" بمرحلة (النشط - خامل) و تكونان شديدتا التآكل مقارنة" بالسبيكة (1100ASM) والمادة المترابكة بنسبة (1% Wt) اللتان أظهرتا مناطق للخمولية أو الخمودية (Passivity) فكان لها نقاط لجهد الخمولية (E pass.) و كثافة تيار الخمولية (i pass.) وجهد مابعد الخمولية (E Trans pass.) وكثافة تيار مابعد الخمولية (i Trans pass.) ونقطة إعادة الخمولية (Re-passivation) والتي تعتبر نقطة نشوء التفرق أو التآكل النقري وهذا الجهد لا يجوز الوصول إليه مطلقا" لأنه سيعطي التيار اللازم لحدوث التآكل النقري لاحظ الجدول (4) الذي يعطي المقارنة بسلوك الخمولية للألمنيوم (1100ASM) والمادة المترابكة بنسبة (1% Wt) ، وبهذا فإن كلاهما يكونان أكثر مقاومة للتآكل من الفولاذ X20 بسبب تكوين طبقة الخمولية . أما المادة المترابكة ذات أساس المنيوم والمدعمة بالأكاسيد بنسبة (1.5% Wt) فأنها تبدي مقاومة تآكل أكبر من المادة المترابكة ذات أساس المنيوم والمدعمة بالأكاسيد بنسبة (2% Wt) وذلك لزيادة نسبة الأكاسيد في المادة المترابكة الأخيرة حيث تعمل هذه الأكاسيد كحبيبات سالبة الشحنة (كاتودات ضمنية) في أرضية موجبة الشحنة (أرضية أنودية) وهذا ما يولد تآكل غلفاني ضمني للمادة المترابكة عند تعرضها للوسط الأكال ولا تتكون فيها طبقة الخمولية ولا تمران بمرحلة (النشط-خامل) والجدول (5) يبين الفرق بين سلوكي تآكلهما من حيث جهد التآكل (Ecorr.) وكثافة تيار التآكل (icorr.) لكلا المادتين المترابكتين (1.5% & 2% Wt)، [13],[15-17] وهذا هو الدليل الذي يبين بأن المواد المترابكة (1.5% & 2% Wt) تكون أكثر عرضة للتآكل وبشكل شديد مقارنة" بالسبيكة (1100ASM) والمادة المترابكة والمدعمة بنسبة (1% Wt). وجميعها يكون تآكلها أقل شدة من تآكل الفولاذ X20 ولكن المادة المترابكة والمدعمة بنسبة (1% Wt) تكون أكثر مقاومة للتآكل من السبيكة (1100ASM) وكلاهما أكبر مقاومة للتآكل من المواد المترابكة بنسبة (1.5% & 2% Wt) وعليه فيمكن استخدامها كأقطاب تضحية (أنودات تضحية).



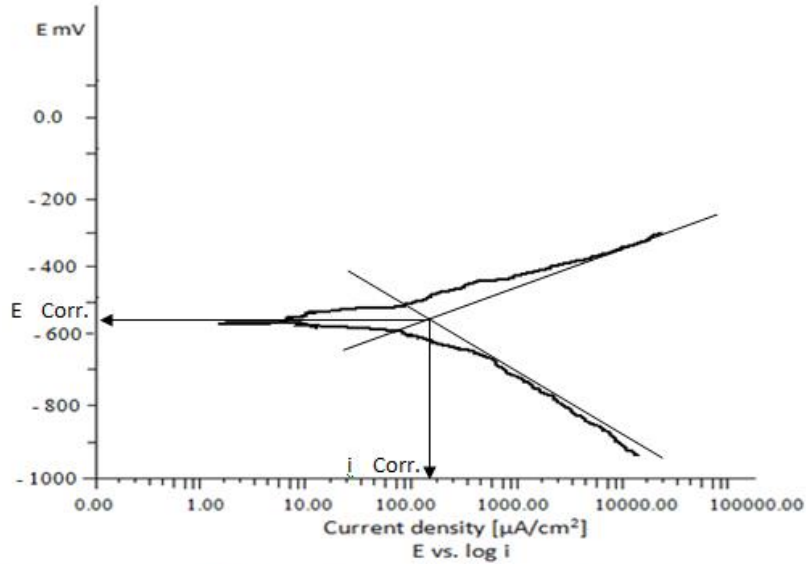
شكل (14) يبين منحنى الأسقطاب للفولاذ X20 في 3.5%NaCl عند درجة حرارة الغرفة وبضغط 1 جو.



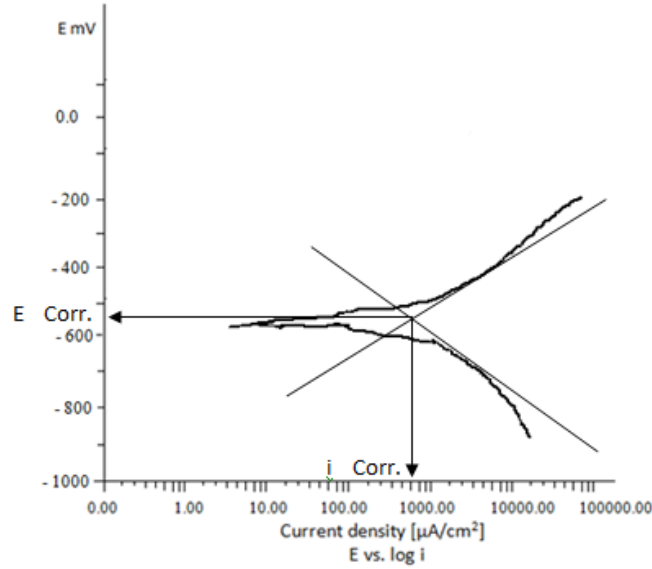
شكل (15) يبين منحنى الأسقطاب للألومنيوم 1100ASM في 3.5%NaCl عند درجة حرارة الغرفة وبضغط 1 جو.



شكل (16) يبين منحنى الأستقطاب للألمنيوم المدعم بالسيراميك بنسبة (1%wt) والعامل كقطب أنود في 3.5%NaCl عند درجة حرارة الغرفة وبضغط 1جو.



شكل (17) يبين منحنى الأستقطاب للألمنيوم المدعم بالسيراميك بنسبة (1.5%wt) والعامل كقطب أنود في 3.5%NaCl عند درجة حرارة الغرفة وبضغط 1جو.



شكل (18) يبين منحني الاستقطاب للألمنيوم المدعم بالسيراميك بنسبة (2%wt) والعامل كقطب أنود في 3.5%NaCl عند درجة حرارة الغرفة وبضغط 1 جو.

جدول (4) المقارنة بين أحدثيات تآكل السبيكة (1100ASM) والمادة المترابكة والمدعمة بالأكاسيد بنسبة (1% Wt).

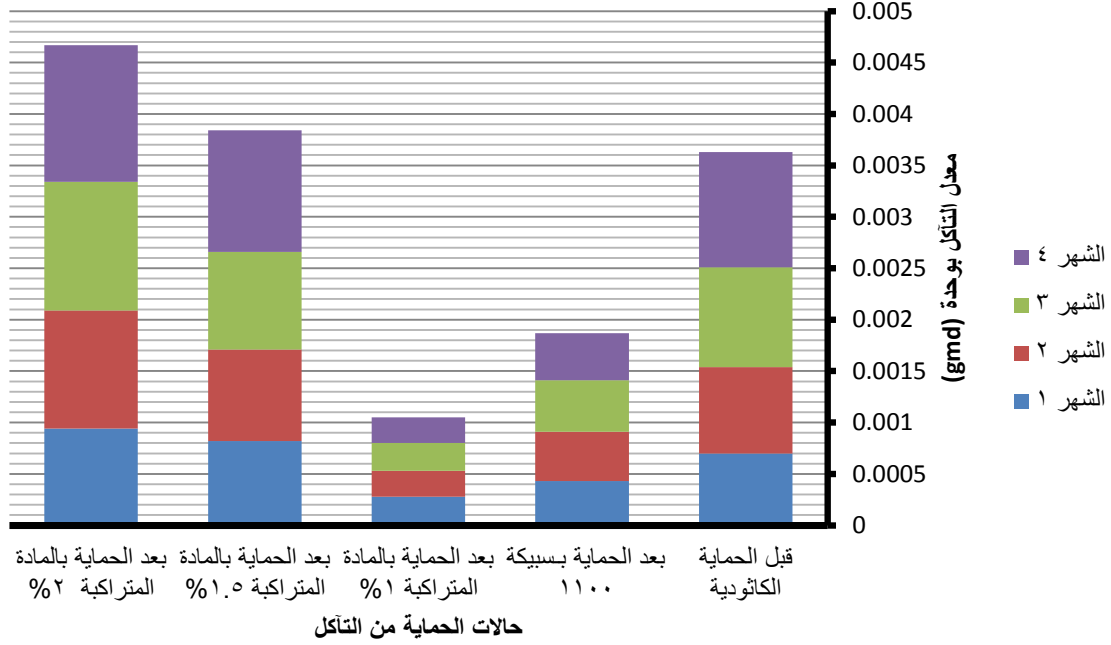
i_{pit} ($\mu A/Cm^2$)	E_{pit} (mV)	Re-passivation (mV)	$i_{Trans Pass..}$ ($\mu A/Cm^2$)	$E_{Trans Pass..}$ (mV)	$i_{Pass..}$ ($\mu A/Cm^2$)	$E_{Pass..}$ (mV)	نوع المادة الهندسية المتآكلة
211	-263	-263	98	-133	330	-425	المنبيوم (1100ASM)
197	-278	-278	53	-148	179	-430	المادة المترابكة و المدعمة بنسبة (1% Wt)

جدول (5) المقارنة بين أحدثيات تآكل المواد المترابكة المدعمة بأكاسيد الحديد بنسبة (1.5% Wt) ونسبة (2% Wt).

$i_{Corr.}$ ($\mu A/cm^2$)	$E_{Corr.}$ (mV)	نوع المادة المترابكة
199	-560	المادة المترابكة المدعمة بنسبة (1.5% Wt)
640	-570	المادة المترابكة المدعمة بنسبة (2% Wt)

أما بالنسبة لطريقة فرق الوزن التقليدية فتم استخدامها مع الفولاذ X20 قبل وبعد الحماية الكاثودية فوجد بأن أعلى شدة للتآكل عندما يكون الفولاذ X20 متصل سلكياً بالمادة المترابكة المدعمة بنسبة (2% Wt) في الوسط الأكال ثم أقل شدة عند الربط السلكي مع المادة المترابكة بنسبة (1.5% Wt) في نفس الوسط الأكال ويليه بالشدة عندما يكون الفولاذ X20 وحده في الوسط الأكال ومنخفض جداً" عندما يكون محمي كاثودياً" بالتوصيل مع السبيكة (1100ASM) أما عندما يكون الفولاذ X20 محمي كاثودياً" بالتوصيل السلكي مع المادة المترابكة بنسبة تدعيم (1% Wt) سيكون تأكله منخفض وبشكل ملحوظ وقد لا يكون محسوب للمدى القريب أي كأن التآكل غير مؤثر أو

ملحوظ على الفولاذ X20 وهذا ما تبينه الصور المجهرية للفولاذ بعد حالات التآكل بوجود وعدم وجود الحماية الكاثودية و الشكل (19) يوضح ذلك علماً أن ظروف التآكل كانت بدرجة حرارة الغرفة وبضغط 1 جو وبدون تسليط تيار كهربائي خارجي قسري (Impressed Current) ولمدة أربعة أشهر متواصلة تتوثق فيها النتائج بعد كل شهر من الأشهر الأربعة لأختبارات التآكل.



شكل (19) مخطط يبين معدل التآكل الحاصل للفولاذ قبل وبعد الحماية الكاثودية خلال أربعة أشهر من أختبارات التآكل.

والسبب في ذلك كون المادة المترابطة تتحول من حالة (نشط - خامل) الى نشط وبشكل متسارع كلما زادت فيه نسبة أكاسيد الحديد (الدقائق السيراميكية) ؛ لأن نسبة أكاسيد الحديد تعمل على زيادة نشاط التآكل الغلفاني الضمني (self- Galvanic corrosion) وتصبح هذه الأكاسيد مراكز كاثودية ضمنية داخل المادة المترابطة في أرضية الألمنيوم التي ستصبح أنوداً قابل للتآكل و الأنهيار أي ستكون هذه الأكاسيد كاثودات معجلة لتآكل الأرضية المكونة من سبيكة الألمنيوم (1100ASM) و بشكل شديد كلما زادت نسبة هذه الأكاسيد.[13-17] فعند ربط السبيكة X20 كقطب كاثود في الوسط الأكال و وضع الأقطاب الأنودية (السبيكة ASM1100 والمواد المترابطة بالنسب الثلاثة) التي ستعمل كأقطاب تضحية لوحظ بأن أقل تآكل يكون عند توصيله سلكياً" (كقطب كاثود) بالأنود ذو نسبة تدعيم (1% Wt) ويزداد التآكل قليلاً" عند التوصيل بالسبيكة (1100ASM) ولكن تآكل الفولاذ X20 يكون شديد و ملحوظ عند توصيله بالأقطاب الأنودية المدعمة بالنسب (2% & 1.5% Wt) كون القطب بنسبة (1% Wt) والسبيكة (1100ASM) تمران بمرحلة (نشط- خامل) عندما يكونان لوحدهما في الوسط الأكال المذكور أعلاه أي أشبه بالمعادن النبيلة لقابلية تكوين طبقة الحماية المتجددة و الشديدة الألتصاق (طبقة الخمولية) وفي حال جعلها أقطاب تضحية في الحماية الكاثودية فأن قابلية تكوين طبقة الخمولية ستندعم وتصبح أقطاب أنودية سريعة التفاعل مع الوسط الأكال و تتآكل بدلاً" من الفولاذ X20 الذي سيصبح كاثوداً".[3],[4],[7].

أما المواد المترابطة بالنسب (2% & 1.5% Wt) فيكونان غير قابلتان للحماية كونها لا تستطيع أن تنتج طبقة الحماية لأحتوائها على نسبة كبيرة من أكاسيد الحديد (الكاثودات الذاتية المعجلة للتآكل) عندما تكون لوحدها في الوسط الأكال وتعمل كمحفزات للتآكل الذاتي في المادة المترابطة وهذا ينطبق مع ما بينه الباحثين في بحثهم [13-17]

. وتتغير حالة المواد المترابكة (1.5%&2% Wt) من الأنود (القطب المضحي به) الى كاثود عند توصيلها بالفولاذ X20 في داخل الوسط الأكال (عند محاولة القيام بالحماية الكاثودية) كونها محفزة ذاتيا لتكوين نواتج تآكل سريعة ومترابكة على سطح المادة المترابكة وهي شديدة الالتصاق وتعمل كجدار واقى تحول السطح من أنود فعال الى كاثود ويبقى سطح الفولاذ X20 نشطا ومتسارع بالتفاعل مع الوسط الأكال ، ولهذا فلا بد من تجنب استخدام نسب التدعيم (1.5%&2% Wt) في الألمنيوم لتكوين مواد مترابكة تعمل كأقطاب تضحية ؛ ونوصي باستخدام الألمنيوم المدعم بالنسبة (1% Wt) كأفضل أقطاب تضحية أو الاقطاب المثلى ثم نستخدم السبيكة (1100ASM) كقطب تضحية إن لم تتوفر لدينا المادة المترابكة بالنسبة (1% Wt) كقطب تضحية. [1],[5],[7],[18-20]

5. الاستنتاجات

- نستنتج مما سبق بأن معدل تآكل الفولاذ X20 يكون (0.00112 gmd) في المحيط الملحي (مثل 3.5% NaCl عند درجة حرارة الغرفة وبضغط 1 جو والوسط الأكال ساكن) وينخفض الى (0.00025 gmd) عندما يكون محمي كاثوديا" بالقطب المضحي به المتكون من الألمنيوم المدعم بأكاسيد الحديد بنسبة (1% Wt) بعد أربعة أشهر من اختبار التآكل، وأقل انخفاض (0.00046 gmd) عندما يكون محمي كاثوديا" بالقطب المضحي به المكون من سبيكة الألمنيوم (1100ASM) ، أما عندما نستخدم المادة المترابكة ذات أساس المنيوم والمدعمة بأكاسيد الحديد بنسبة (1.5% Wt) كقطب أنود مضحي به فإن معدل تآكل الفولاذ قد ارتفع الى (0.00118 gmd) ، وبأستخدام المادة المترابكة ذات أساس المنيوم والمدعمة بأكاسيد الحديد بنسبة (2% Wt) كقطب أنود مضحي به فإن معدل تآكل الفولاذ قد ارتفع كثيرا" الى (0.00133 gmd). أي يجب أستخدام الألمنيوم المدعم بالنسبة (1% Wt) كأفضل أقطاب تضحية يليها أستخدام السبيكة (1100ASM) وتجنب تماما" أستخدام الأقطاب المكونة من الألمنيوم المدعم بالنسب (1.5%&2% Wt) من أكاسيد الحديد.

- البنية المجهرية للفولاذ تبين بأن التآكل قد أنخفض عند الحماية الكاثودية بأقطاب التضحية المكونة من المادة المترابكة بنسبة (1% Wt) وأقل حماية بأقطاب التضحية المكونة من السبيكة (1100ASM) وتكون متآكلة بشدة وبشكل متسارع عند ربطها سلكيا" داخل وسط أكال بالمواد المترابكة المدعمة بنسبة (1.5% Wt) و (2% Wt) من أكاسيد الحديد .

- صلادة الألمنيوم تزداد عند التدعيم بأكاسيد الحديد وبشكل طردي ولكن مقاومة التآكل للمواد المترابكة تنخفض من الجهة الأخرى. وكذلك يكون سلوك التآكل لسبيكة الألمنيوم (1100ASM) من النوع (نشط-خامل) وأيضا" الحال مع المادة المترابكة المدعمة بنسبة (1% Wt) من الأكاسيد كما تبينه منحنيات الأستقطاب ، بينما لا يظهر هذا السلوك في المواد المترابكة المدعمة بالنسب الوزنية (1.5% Wt) و (2% Wt) .

6. المراجع

1. R.Winston Revie , Herbert H. Uhlig (2008). "Corrosion and Corrosion Control An Introduction to Corrosion Science and Engineering", Book, Fourth Edition , A JOHN WILEY & SONS, INC., Canada.
2. Oki, M.; A. A. Adediran and P. A. Anawe (2015). " Corrosion Monitoring in the Oil Pipeline Industry", Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, Vol. 2, No. 1, pp.299 – 302.

3. Mokhatab, S.; S. P. Santos and G. Lamberson (2007). " *Pipeline System: Control and Integrity Management*", Journal of Pipeline Engineering, Vol. 6, No.4, pp. 262 – 267.
4. Shiwen Zou, Yanxian Zhang , Wen Xu , Yingqi Wan , Chang He, Chaofang Dong , Xiaogang Li (2016). " *Galvanic Corrosion Behavior of Aluminum Alloy (2219 and ZL205A) Coupled to Carbon Fiber-Reinforced Epoxy Composites*", Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 11 , No. 25, pp. 9625 – 9633.
5. E. S. Ameh, S. C. Ikpeseni , L.S. Lawal (2017). " *A Review of Field Corrosion Control and Monitoring Techniques of the Upstream Oil and Gas Pipelines*" , Nigerian Journal of Technological Development, Vol. 14, No. 2, pp. 67-73.
6. Jamil Enani (2016). " *Corrosion control in oil and gas pipelines*", International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 7, Issue 4, ISSN 2229-5518 , pp.1161-1164.
7. Ameh, E.S. and Ikpeseni, S.C. (2017). " *Pipelines Cathodic Protection Design Methodologies for Impressed Current and Sacrificial Anode System*", Nigeria Journal of Technology, Vol. 36, No.4, pp.1072 – 1077.
8. P. Rohatgi, B. Schultz (2007). " *Lightweight metal matrix Nano composites – stretching the boundaries of metals*", materials Matters, Vol. 2, pp.16-19.
9. B.Babu, S.K.Karthikeyan, V.Adithya (2014). " *Experimental Investigation and Analysis of Corrosion and Hardness using Aluminium Composites*" , International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET), Vol. 4, Issue 4 , pp.37-46.
10. K.K. Alaneme, B.O. Ademilua, M.O. Bodunrin(2013). " *Mechanical Properties and Corrosion Behaviour of Aluminium Hybrid Composite Reinforced with Silicon Carbide and Bamboo Leaf Ash*", Tribology in Industry, Vol.35, No.1, pp. 25-35.
11. B. BOBIĆ, S. MITROVIC, M. BABIC, I. BOBIĆ (2009). " *Corrosion of Aluminium and Zinc-Aluminium Alloys Based Metal-Matrix Composites*", Tribology in industry, Volume 31, No. 3&4, pp. 44-52.
12. Agarwal, S., Kumar M. and Kamal M.(2015). " *Corrosion: A General Review*", Internal Conference of Advance Research and Innovation, India, pp. 181-183.
13. K.K. Alaneme, M.O. Bodunrin(2011). " *Corrosion behavior of alumina reinforced Al(6063) metal matrix composite* ", Journal of Minerals and Materials Characterisation and Engineering ,Vol. 10, No. 2, pp. 53-65.
14. G.M Pinto, N. Jagannath , A.N. shetty(2009). " *Corrosion Behavior of 6061 Al vol.pct. SiC Composite and its Base Alloy in Mixture of 1:1 hydrochloric and Sulphuric Acid Medium*", International Journal of Electrochemical Science, Vol. 4, pp. 1452-1468.
15. Y.B. Zamri ,J.B. Shamsul and K.R. Ahmad(2006). " *Corrosion of Aluminium Matrix Composite*" , Conference Paper , NMC2006,pp.128-129.

16. Rajendra U. Vaidya, Darryl P. Butt, Larry E. Hersman(1997). "*Corrosion of Aluminum and Al₂O₃ – Particle Reinforced Aluminum Composite in A Pseudomonas Bacteria / Sea water Environment*", Corrosion Reviews, Vol. 15, Nos. 3-4, pp. 387-404.
17. J. Bienia , M. Walczak, B. Surowska, J. Sobcza(2003) ." *MICROSTRUCTURE AND CORROSION BEHAVIOUR OF ALUMINUM FLY ASH COMPOSITES*", Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 5, No. 2, pp. 493 - 502.
18. Ryszard Pietrzak , Roman Szatanik(2010). " *Effect of magnetic field on the corrosion of iron as studied by positron annihilation*", NUKLEONIKA, Institute of Physics, Vol.55, No.1 , pp.31-34.
19. Al-Jaroudi, S. S., Ul-Hamid, A., & Al-Gahtani, M. M.(2011). "*Failure of crude oil pipeline due to microbiologically induced corrosion*", Corrosion Engineering, Science and Technology, Vol. 46, No.4, pp. 568-579.
20. Popoola, L., Grema, A., Latinwo, G., Gutti, B., & Balogun, A.(2013). "*Corrosion problems during oil and gas production and its mitigation*", International Journal of Industrial Chemistry, Vol. 4, No.1, pp. 33-35.