تأثير التآكل بوجود الأهتزاز على سبيكة المنيوم (DIN 1100) الملحومة بلحام الـ TIG والعاملة في وسط بحري

محمد عبد اللطيف أحمد* أمجاد حسين جاسم * أنتصار نايف**
*الجامعة التكنولوجية /قسم الانتاج والمعادن
** وزارة التربية/مديرية التعليم المهني

الخلاصة

في هذا البحث تمت دراسة تأثير التآكل بوجود الأهتزاز على سبيكة المنيوم (DIN1100) عاملة في ماء البحر (3.5% NaCl) ومقارنة النتائج مع السبيكة ذاتها بعد لحامها بلحام الـ (TIG) و في نفس وسط التأكل و المهتز ، أضافة" الى دراسة التآكل في الوسط الساكن للسبيكة ذاتها الملحومة والغير ملحومة ومن ثم مقارنة معدل التآكل والتركيب المجهري بين الحالات الأربعة ، و لوحظ أن أعلى نسبة لمعدل التآكل تكون ؛ 43% للسبيكة الملحومة والمعرضة للتآكل بوجود الأهتزاز و أقل نسبة هي 8% للسبيكة الغير ملحومة عند التآكل في الوسط الساكن .

كلمات الدلالة : لحام الـ(TIG) ، التآكل بوجود الأهتزاز، التآكل بالتعرية، الخمولية.

EFFECT OF VIBRATION-CORROSION ON ALUMINUM ALLOY(DIN1100) THAT WELDED BY TIG TECHNIQUE AND OPERATING IN THE MARINE ENVIRONMENT

[*]Mohamed Abdu-alalatif Ahmed [*]Amjad H. Jasim *Entesar Nayyef Farhan
en1962farhan@yahoo.com
[*]University of technology / Dept. of Production Engineering and Metallurgy
[**] Ministry of Education/ Vocational Education

ABSTRACT

In this research studied the effect of corrosion in presence of vibration on aluminum alloy type (DIN1100) operating in sea water (3.5% NaCl) and compared these results with the same alloy after it was welded by TIG technique at the same vibrated corrosive medium, addition to study the corrosion in static medium for welded and non- welded alloy, then comparison between the four cases depending on corrosion rates and microstructures it was noted that ;the greatest percentage of corrosion rate was 43% of welded alloy at vibration-corrosion and least percentage of corrosion rate was 8% of non-welded alloy at static corrosion.

Key world: TIG welding, vibration- corrosion, corrosion erosion, passivity.

Received : 24-1-2019
Accepted : 25-4-2019

المقدمة

عملية لحام المعادن هي عبارة عن ربط دائمي للمعادن ناتجة عن صهر وصلتي الملحومة مع بعضها البعض مع معدن الحشو (filler) ، أي إنها أشبه بعملية صهر وصب مصغرة في منطقة محددة للحصول على الربط الدائمي للوصلتين المراد لحامها معا" وتتم بطرق مختلفة مثل لحام القوس الكهربائي و لحام المقاومة الكهربائية بأنواعه واللحام الأحتكاكي ولحام الثرميت ولحام الحداده واللحام الأنفجاري واللحام بالليزر .....الخ . ولحام الـ(TIG) يعتبر أحد أنواع لحام القوس الكهربائي وفيه نحصل على الحرارة اللازمة للأنصهار من خلال محول كهربائي يولد تيار عالي متناوب (A.C)وفولتية منخفضة ، ويضاف معدن الحشو (Filler) بالتغذية اليدوية بأستخدام سلك لحام مشابه للسبيكة المراد لحامها من حيث التركيب الكيمياوي ، وبأستخدام مساعد الصهر أيضا" ، و لأن الألمنيوم سريع الأكسدة يجب أن يكون التيار المستخدم تيار متناوب (A.C) **[Marks' Standard handbook for Mechanical Engineers]**. سبيكة الألمنيوم(1100 DIN) هي السبيكة التي يكون معدنها الأساس الألمنيوم وذات نقاوة تجارية ومن العائلة الطروقة والتابعة للسلسلة 1000 أو 1xxx . إن نسبة النقاوة لهذه السبيكة 99% و تعتبر أقسى سبائك السلسلة 1000 وأيضا" الاقوى ميكانيكا" و تعتبر هذه السبيكة فقط من بين سبائك السلسلة 1000 شائعة الأستخدام في صناعة البراشيم وفي نفس الوقت تمتاز هذه السبيكة نسبيا" عن غيرها من سبائك السلاسل الأخرى بخفة الوزن والموصلية الكهربائية ومقاومة عالية للتآكل وقابلية للتشكيل و غير قابلة للمعاملة الحرارية لذلك تقسى بالتشكيل على البارد [**Mahdi et al.**].

تعتبر دراسة التآكل في هندسة المعادن لها دور مؤثر في حياتنا اليومية حيث أنه يسبب فشل ميكانيكي وكيميائي وتلف للمنتجات إضافة الى أضراره والخسائر الصحية والمادية والبيئية الفادحة المصاحبة له ، ولهذا لا يمكن الأستهانه بـه ولا بد من دراسة علم التآكل وأصنافه بشكل مفصل لمعرفة أسبابه وطرق الوقاية منه ؛ ويعرف التآكل (Corrosion) بأنه التلف أو الضرر الكيميائي أو الكهروكيميائي الذي يصيب سطوح المعادن مسببا" الخسائر المذكورة أعلاه وأختلافا" بالأبعاد الهندسية أيضا" و تتولد أماكن تركيز الأجهادات في مناطق التآكل نفسها أي عند سطوح المعادن التي تعتبر منشأ للأجهادات [**Davis**] . والتآكل يكون على أنواع تآكل موضعي وتآكل عام بالنسبة لهيئة التآكل أو منطقة التلف بالتآكل ويصنف التآكل أيضا" حسب درجة الحرارة أو الرطوبة كالتآكل الجاف والتآكل الرطب . ولا ننسى بأن التآكل الذي يصيب سطح سبائك الألمنيوم هو من النوع الموضعي والمسمى بالتآكل النقري أو التنقري (Pitting Corrosion) كونها سبائك من النوع النشط – خامل (Active – Passive) التي لها القدرة على تكوين طبقة الخمولية (Passivity) وخصوصا" في الأوساط البحرية الحاوية على الهاليدات أو الهالوجينات **[Gustafsson]**. ويزداد تأثيرها كلما كان الوسط ساكنا" أو راكدا" والتآكل من هذا النوع يعتبرخطير جدا" وغدار لأن عمقه لايمكن تخمينه ، أما في منطقة اللحام والمنطقة المجاورة لها والمسماة بالمنطقة المتأثرة باللحام (HAZ) فيتكون فيها نوع آخر من التآكل الموضعي والمسمى بتآكل حد السكين والتآكل مابين الحبيبات (Inter granular corrosion) الذي يحدث بسبب الأختلاف في التركيب الكيميائي بين منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة باللحام ، ففي المنطقة المتأثرة باللحام لسبائك المنيوم – سيليكون يكون تركيز السيليكون (Si) داخل البلورات أقل مما هو عليه عند الحدود البلورية بسبب ترسيب مركب أوكسيد السيليكون (السيليكا SiO_2) عند الحدود البلورية ونضوبها من داخل البلورة ، وهذه الحاله مماثله لما يحدث في سبائك الفولاذ المقاوم للصدأ نوع (18 Cr: 8Ni) حيث يحدث نضوب لنسبة الكروم من داخل البلورة بينما تزداد نسبته عند حدودها نتيجة تكوين كاربيد الكروم في المنطقة المتاثرة باللحام وفي كلتا الحالتين سواء كانت سبائك المنيوم – سيليكون أم سبائك الفولاذ المقاوم للصدأ ستكون الحدود البلورية في المنطقة المتاثرة باللحام هي القطب السالب (الكاثود) ومركز البلورة يكون القطب الموجب (الأنود) عند وجود وسط أكال محيط بالسبيكة الملحومة **[Eltai et al.] . [Venkatasubramanian** et al.] **محمد** و امجاد] . أما الأهتزاز فهو تاثير ميكانيكي صرف ويعرف بالحركة الترددية بالنسبة لعامل الزمن ضمن مسافة محدودة وهي تناوبية كما في أهتزاز الهواء أثناء أنتقال الصوت أو أنتقال موجة في الماء عند رمي حجر في بركة ماء أو أهتزاز الشوكة الرنانة أو أوتار الآلات الصوتية والحبال الصوتية ؛ أي أنها خاصية فيزيائية ناتجة من حركة ميكانيكية ترددية ضمن أوساط مختلفة ناقلة لها غازية مثل الهواء أوسائلة مثل الماء أوصلبة مثل الأوتار [San Jose University] **Fundamentals of Electrodynamic Vibration Testing Handbook**] وبما إن الوسط الأكال يكون وسط سائل وقادر على نقل الحركة الترددية (الاهتزاز) أضافة" لقابليته على إتلاف سطوح المعادن مولدا" التآكل ؛ لذلك يعتبر الوسط الأكال المهتز أكثر خطورة من الوسط الأكال الساكن ، والتآكل بوجود الأهتزاز أو التآكل المصاحب للأهتزاز يعتبر أحد أنواع التآكل بالتعرية . حيث التآكل في السبائك ذات طبيعة نشط – خامل لا تستمر بشكل متزايد ولكن سرعان ما ينخفض معدل التآكل بسبب تكوين طبقة واقية خاملة عند سطح السبيكة المتأثرة بالتآكل وتسمى هذه المرحله بالخمودية أو الخمولية ، أي الأنتقال من المرحلة النشطة الى الخامله بسبب تكوين طبقة خمولية من نواتج تآكل المتراكمة عند سطح السبيكة ، وبوجود الأهتزاز سيهتز المحلول الأكال ويرتطم بسطح السبيكة بشدة كاسرا" لتلك الطبقة الواقية (طبقة الخمولية) وجارفا" لنواتج التآكل بعيدا" عن سطح السبيكة تاركة" وراءها سطحا" جديدا" نشطا" مستعدا" لأستمرار التآكل

وتكرار العمليات ذاتها **[Davis]** وبهذه الحالة تتولد فجوات عميقة وغير محددة الأشكال خصوصا" في المناطق المختلفة في التركيب الكيميائي ؛ وبصورة عامة فالتآكل يكون ضمن المعادلة التآلي**[Gustafsson]**

$$M + NaCl \longrightarrow M^{+n}\, nCl^{-} + Na_2\downarrow \qquad (1)$$

يهدف البحث الى دراسة تأثير الأهتزاز الميكانيكي المصاحب لعملية التآكل الكيميائي لعينة ذات أساس ألمنيوم ملحومة وغير ملحومة بطريقة لحام ال(TIG).

الجزء العملي :

تحضير العينات:

تم تحضير العينات وتهيئتها من سبائك الألمنيوم نوع (DIN 1100) وهي أحدى سبائك الألمنيوم – سيليكون على شكل عينات بأبعاد ($5x2x0.5cm^3$) .

أيجاد التركيب الكيميائي :

للتأكد من التركيب الكيميائي للسبيكة بأنها من نوع (DIN 1100) تم إعادة تحليلها كيميائيا" الشركة العامة للتأهيل والفحص الهندسي وكانت النتائج كما في الجدول رقم (1).

لحام الـ TIG :

تمت عملية اللحام بأستخدام ماكنة نوع CEBORA نموذج MMA4040/T-Cell Art.332 بعلامة Italy via A.Costa24-40057-Cadriano-Bolonga- ، وبوجود مساعد الصهر (flux) باستخدام سلك مليء نوع ER4047) (و الحاوي على نسبة عالية من السيليكون والذي يعطي سيولة عالية لبركة اللحام ويقلل من الأنكماش أثناء عملية اللحام وهذا السلك يعطي منطقة لحام لامعة وخالية من السخام ومدى أنصهاره (576.67-582.22 °C) ويستخدم هذا السلك في التطبيقات العاملة عند درجات الحرارة المرتفعة ذو تركيب كيميائي نموذجي والمبين في الجدول رقم (2).

البنية المجهرية :

بعد تحضير القطع المعدنية الملحومة والغير الملحومة تم فحص التركيب المجهري لها بأستخدام المجهر الميتالورجي نوع (METGT TECH ML 8000 SERIES JAPAN 3003) المربوط بالحاسوب، ولا يتم تحضير العينة المعرضة للتآكل لغرض الفحص المجهري تجنبا" لإزالة الأشكال والتضاريس النتاتجة عن التآكل .

عمليات التآكل :

تم أجراء أختبارات التآكل في الوسط الساكن و من ثم التآكل بوجود الأهتزاز بعد تحضير عينات الألمنيوم الملحومة والغير ملحومة وبأستخدام ماء البحر كوسط أكال في كلتا الحالتين ، وهو وسط أكال ملحي يحتوي على كلوريد الصوديوم بمقدار (35 gm) لكل (1 litter) من الماء المقطر و المحضر مختبريا" وأجريت أختبارات التآكل عند (25C°, 1atomspher) وبأستخدام طريقة فرق الوزن التقليدية حيث تم حساب معدل التآكل في الوسط الساكن لعينات الألمنيوم الملحومة وغير الملحومة وكذلك التآكل بوجود الأهتزاز لعينات الألمنيوم الملحومة وغير الملحومة . تم أستخدام الميزان الحساس نوع (DENVER INSTRUMENT) وبدقة (0.0001gm) لقياس الأوزان. وفي كلتا الحالتين من أختبارات التآكل (في الوسط الأكال الساكن والمهتز) تم وزن العينات لتحديد الوزن الأصلي أو الأبتدائي لها مع حساب المساحة السطحية لها والمعرضة للوسط الأكال . ومن ثم تم غمر العينات في الوسط الأكال المحضر ولفترة أختبار محددة ، وبعد أنتهاء فترة الغمر المحددة لعملية التآكل ؛ أستخرجت العينات من الوسط الأكال (الساكن أو المهتز) وتم تنظيفها من نواتج التآكل وغسلها بالماء المقطر والفرشاة جيدا" وبعدها بالكحول وتجفيفها بالمجفف الكهربائي وتم قياس أوزان العينات لتحديد فرق الوزن الحاصل و كالأتي:

فرق الوزن = الوزن الأصلي أو الأبتدائي – الوزن الناتج بعد التآكل

وتم أستخدام القانون التالي لحساب معدل التآكل**[Davis]**:

$$\text{معدل التآكل وبوحدة الـ (gmd)} = \frac{\text{فرق الوزن}(gram)}{\text{المساحة السطحية المعرضة للتآكل}(m^2) * \text{زمن التعرض للتآكل}(day)} \qquad (2)$$

كيفية تحديد معدل التآكل للحالات الأربعة :

التآكل في الوسط الساكن :

يتم تسجيل الوزن الأبتدائي للعينات (الملحومة وغير الملحومة) قبل غمرها في الوسط الأكال الساكن أي عندما يكون تردد الجهاز (0Hz) ثم حساب تغير الوزن الحاصل لها بعد كل أسبوع من مدة التعرض للوسط الأكال والبالغة (6) أسابيع لغرض أحتساب معدل التآكل كما موضح في الفقرة السابقة .

التآكل بوجود الأهتزاز (الوسط مهتز) :

في حالة التآكل بوجود الأهتزاز يستخدم نفس الوسط الأكال في حالة التآكل في الوسط الساكن ، ولكن موضوع داخل حجرة خاصة ضمن جهاز التآكل بوجود الأهتزاز المحلي الصنع حسب المواصفة الأميريكـية المعدلة(ASTM G32) والشكل (1) يوضح الجهاز المستخدم **[Davis]**

وهنالك خطوات أساسية يجب مراعاتها في التجارب المختبرية الخاصة بالتآكل بوجود الأهتزاز ليتم أعتمادها في دراسة تاثير الاهتزازات على تاكل العينات (الملحومة والغير الملحومة) وهي :

1- بعد تثبيت ثلاثة عينات ملحومة وثلاثة غير ملحومة في ماسكات جهاز التآكل بوجود الأهتزاز وبعد تحديد وزنها الأبتدائي بحيث تكون هذه العينات متدلية في الحاويات الخاصة بجهاز الأختبار المليئة بالمحلول الأكال . و يجب أن تكون قيمة تردد الجهاز (25 Hz) وفترة الأختبارات الكليه للتآكل بوجود الأهتزازات سواء للقطع الملحومة والغير ملحومة لا تتجاوز 6 ساعات وهو زمن الأختبار الكلي ويتم تحديد تغير الوزن لعينات الأختبار كل(1) ساعة بعد التنظيف والتجفيف. بأستخدام الميزان الحساس نوع (Denver) ذو دقة (0.0001gm).
2- تسجيل البيانات لرسم العلاقات البيانية بين فرق الوزن وزمن الأختبارات، و كذلك معدلات التآكل و زمن الأختبارات.
3- فحص البنية المجهرية قبل وبعد التآكل أيضا" لعينات الألمنيوم الملحومة و الغير الملحومة في حالة التآكل في الوسط الساكن أو الوسط المهتز للمقارنة بين الحالات الأربعة من حيث البنية المجهرية.

النتائج:

يتضح من خلال البنية المجهرية لعينات الأختبار (قبل اللحام) بأنها مكونة من طور ألفا (α) ومحاطة بحبيبات السيليكون والشكل (2) يؤكد ذلك ، أما الشكل (3) فيبين البنية المجهرية لعينة الأختبار بعد لحام الـ (TIG) حيث يلاحظ أختلاف في بنيتها بين منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة باللحام (HAZ) ومنطقة المعدن الأساس و أختلاف بالأطوار أيضا" كما معروف (أختلاف بمحتوى السيليكون) ، وهذه المناطق المختلفة الأطوار بدورها تؤثر على مقاومة التأكل لعينات الأختبار الملحومة سواء في الوسط الأكال الساكن كما موضحة في الشكل (4) أو الوسط الأكال المهتز كما موضحة في الشكل(5) حيث يظهر أن التآكل الحاصل في بنيتها ليس مشابها" للبنية المجهرية للعينة الغير ملحومة والمتآكلة في نفس الوسط ألأكال المهتز كما موضح في الشكل (6) ، أما البنية المجهرية للعينة الغير ملحومة في الوسط الساكن فيظهر أن التآكل فيها شبه منتظم أو عام كما موضح في الشكل (7) . لوحظ من خلال مقارنة التغير بالوزن ومعدلات التآكل بأن

تأثير التآكل بوجود الأهتزاز يكون أكثر شدة من التآكل في الوسط الأكال الساكن نتيجة الأهتزاز المتزامن مع التآكل و الشكل (8) يبين علاقة بين معدل التآكل و مدة الأختبار للعينات الملحومة وغير الملحومة ، أما الشكل (9) فيبين علاقة معدل التآكل مع مدة الأختبار للعينات الملحومة وغير الملحومة في الوسط الأكال المهتز وهذا يطابق التغيرات في البنية المجهرية الموضحة أعلاه. وللمقارنة بين حالات التآكل الأربعة أعلاه فأن الشكل (10) يبين المقارنة بين النسبة المئوية لمعدلات التآكل و بين حالات التآكل الأربعة.

الأستنتاجات

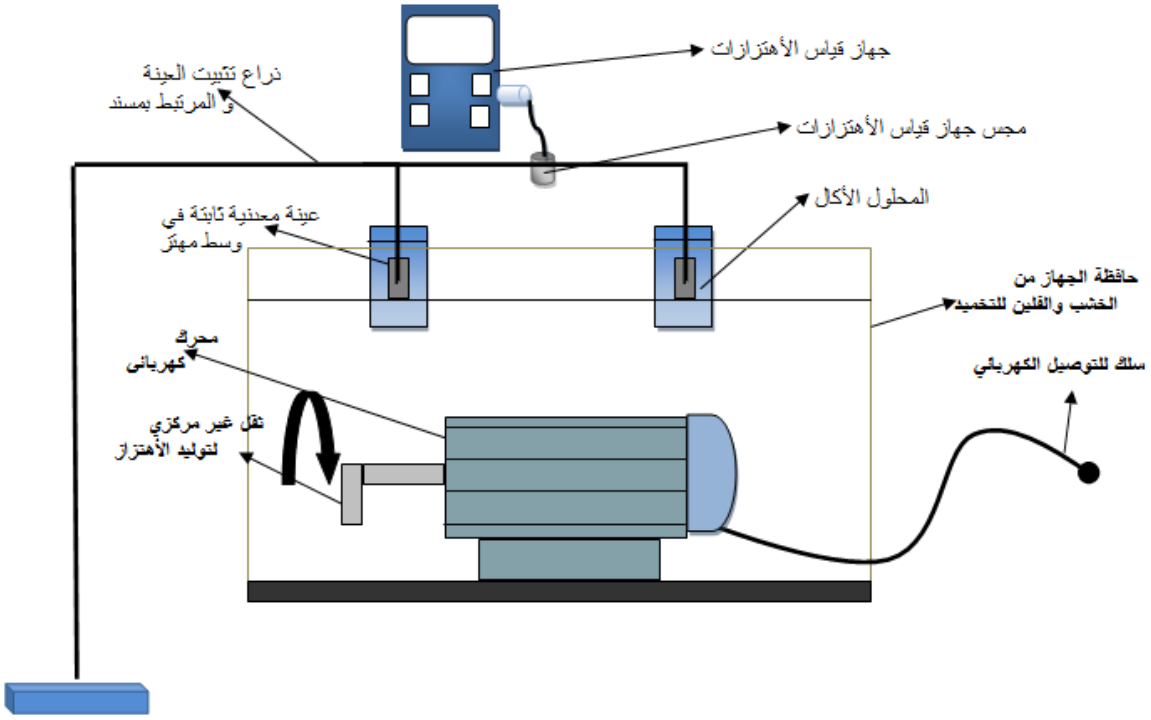
يلاحظ من المخططات البيانية و البنية المجهرية للحالات المختلفة أعلاه بأن معدل التآكل بوجود الأهتزاز يكون ذو تأثير قاسي جدا" خصوصا" على العينات الملحومة ومن ثم الغير الملحومة. أما في حالة التآكل في الوسط الأكال الساكن يلاحظ أن العينات الملحومة أقل مقاومة للتآكل من العينات الغير الملحومة ؛ وحسب المخططات البيانية و البنيات المجهرية . والشكل (10) يبين المقارنة بين النسبة المئوية لحالات التآكل الأربعة وهو دليل واضح على صحة النتائج . وعلى كل حال فالتآكل بوجود الأهتزاز يكون مؤثر جدا" وبشكل مُعَجَل ومُحَفَز عما هو عليه في حالة التآكل بالوسط الساكن سواء للعينات الملحومة أوالغير الملحومة ، وذلك لأن الأهتزاز يعمل على إثارة الوسط الأكال وتحريكه بسرعة عالية ليصطدم بسطوح العينات المتآكلة مزيلا" بذلك نواتج التآكل (المعيقة لأستمرار التآكل) الموجودة على سطوح العينات المعرضة للوسط الأكال وينتج بذلك سطوح جديدة مهيأة لعملية التآكل الجديدة وتتكرر هذه العملية بشكل دوري مؤدية الى أنهيار شديد للعينات المتآكلة في حالة أستمرار الأهتزاز المصاحب للتآكل. أما بالنسبة لأختلاف شدة التآكل بين العينات الملحومة وغير الملحومة فتعود الى إن اللحام يؤدي الى أختلافا" بالأطوار من خلال أختلاف توزيع السيلكون وتركيزه من منطقة الى أخرى ضمن نفس العينة الملحومة ، ومن ثم تتكون مناطق مختلفة بالجهود في الوسط الأكال مسببة" التآكل الغلفاني الضمني لنفس العينة الملحومة بين منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) وهذا لا يحدث بالعينات الغير الملحومة ؛ وهذا ينطبق مع البنية المجهرية سواء في حالتي التآكل في الوسط الساكن أو المهتز .

جدول رقم (1): التركيب الكيميائي لسبيكة الألمنيوم المستخدمة.

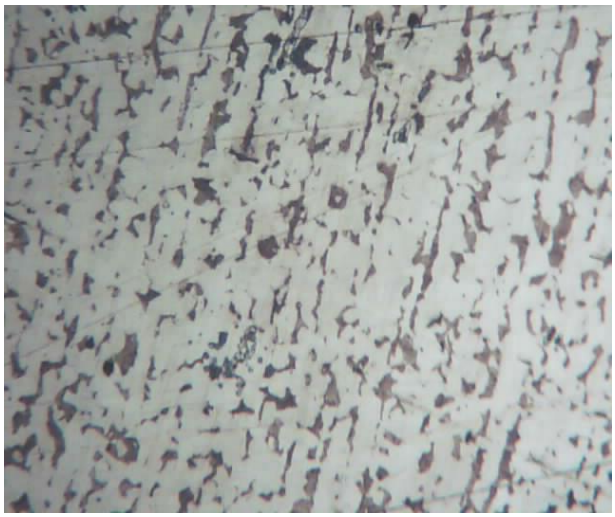
عنصر السبك	Si	Fe	Cr	Cu	Mn	Mg	Ti	Zn	Be	Al
نسبته المئوية	0.3	0.5	0.016	0.1	0.03	0.05	0.001	0.09	0.0002	Rem.

جدول رقم (2) يبين التركيب الكيميائي النموذجي لسلك اللحام نوع (ER4047) [10]

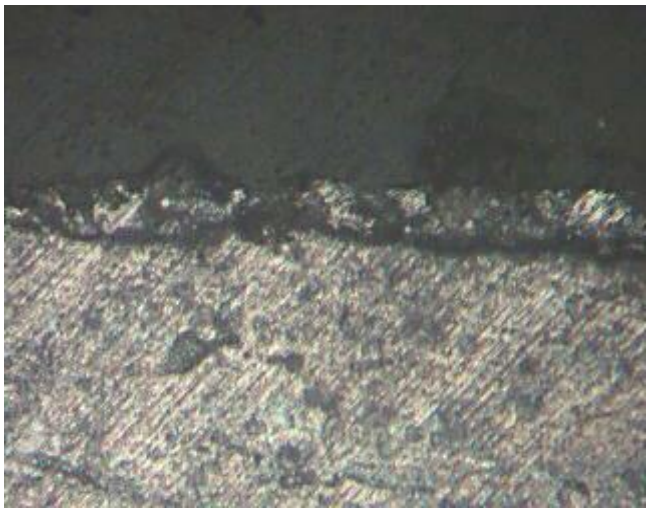
المعدن	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Zn	%Be	%Al
المقدار الفعلي	12.5	0.5	0.15	0.065	0.05	0.08	0.0001	Rem.
المقدار القياسي	11.0-13.0	0.8 max	0.3 max	0.15 max	0.1 max	0.2 max	0.0003 max	Rem.



شكل(1) يوضح جهاز التآكل بوجود الأهتزاز.

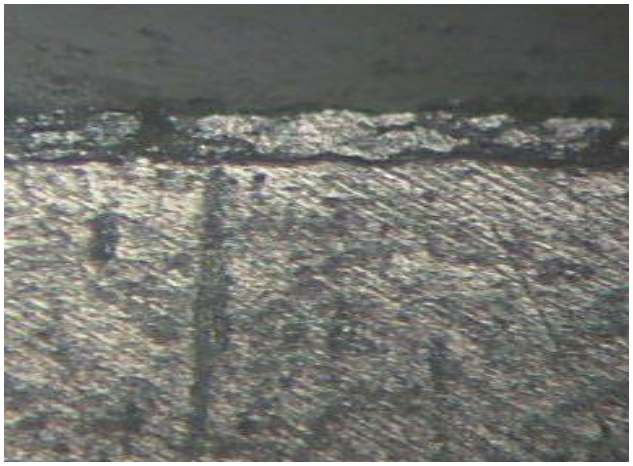


شكل(2) البنية المجهرية لعينة الألمنيوم قبل اللحام و تأثير التآكل.

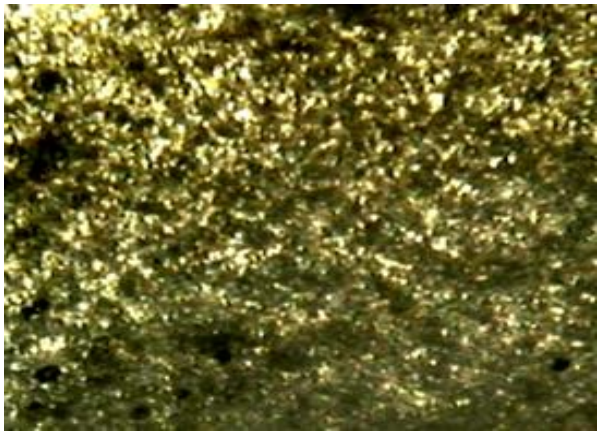


شكل(3) البنية المجهرية لعينة الأختبار بعد لحام الـ (TIG).

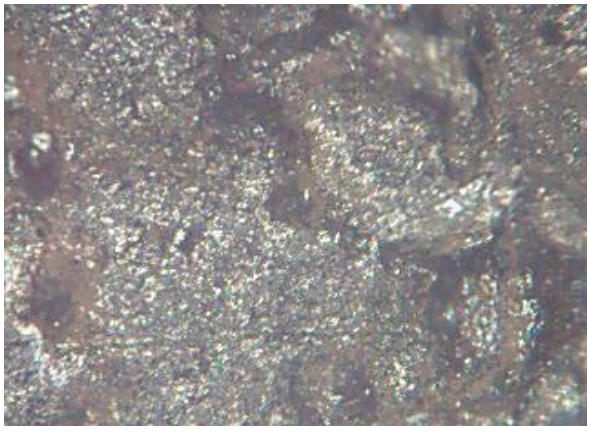
شكل (5) البنية المجهرية لعينة الأختبار الملحومة بعد التآكل في الوسط المهتز.



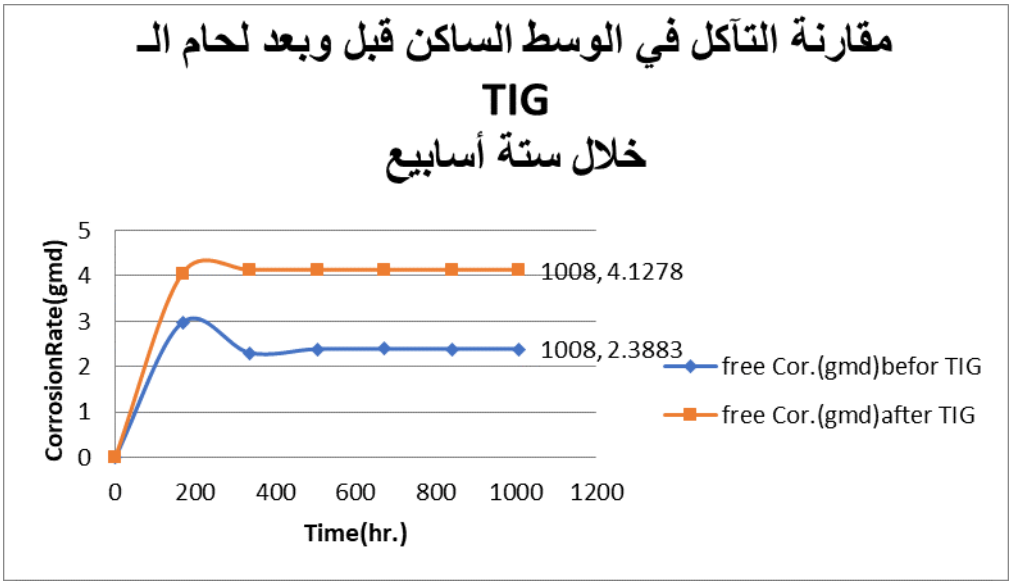
شكل (4) البنية المجهرية لعينة الأختبار الملحومة بعد التآكل في الوسط الساكن



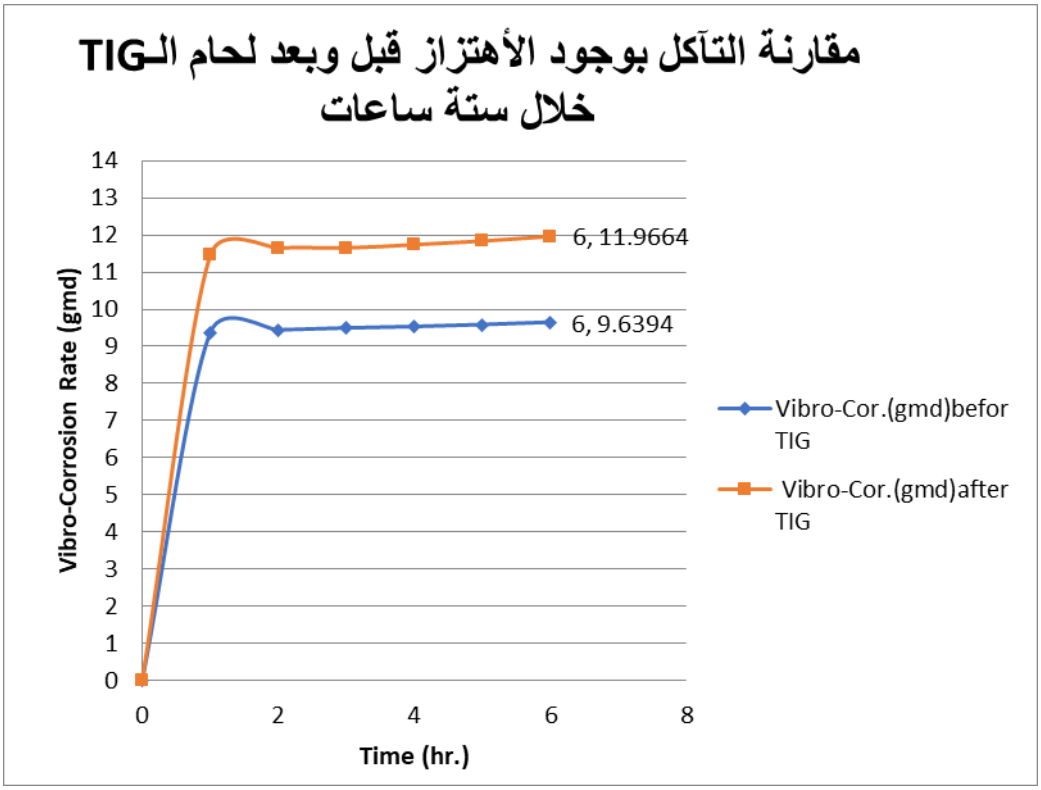
شكل (7) يوضح البنية المجهرية لعينة الأختبار الغيرملحومة بعد التآكل في الوسط الساكن.



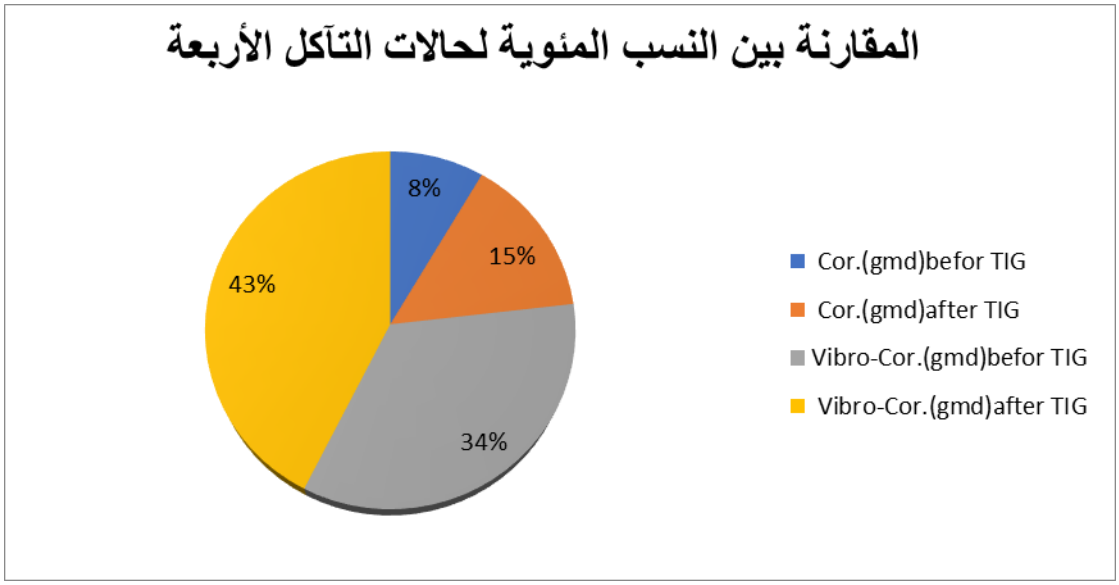
شكل (6) البنية المجهرية لعينة الأختبار الغيرملحومة بعد التآكل في الوسط المهتز.



شكل (8) يوضح مقارنة التآكل الحاصل في الوسط الساكن قبل وبعد عملية اللحام بالـ (TIG)



شكل (9) يبين مقارنة التآكل بوجود الأهتزاز قبل وبعد عملية اللحام بالـ (TIG).



شكل (10) المقارنة بين النسب المئوية لحالات التآكل الأربعة

REFERENCES

Elsadig. Eltai , E. Mahdi, Akram Alfantazi, "The Effects of Gas Tungsten Arch Welding on the Corrosion and Mechanical Properties of AA 6061 T6" , Qatar University, Department of Mechanical and Industrial Engineering, P.O. Box 2713, Doha, Qatar, Int. J. Electrochem. Sci., 8 (2013) 7004 - 7015.

Farouk M. Mahdi, Abdul Mun'em A. Karim, Eman G. Gi'baz "Study of pitting corrosion behavior for Aluminum Alloy 1100in 3% NaCl solution"وDiyala Journal of Engineering Sciences, University of Diyala, Vol.2 ,No.1 ,June 2009.

J.R. Davis, "Corrosion of aluminum and aluminum alloys" (#06787G), Copyright 1999 ASM International ® All Right reserved, www..asminternational.org.

Marks' Standard handbook for Mechanical Engineers, 8th Ed., Mc Graw Hill, pp.6-50to 6-58.

محمد عبد اللطيف أحمد و أمجاد حسين جاسم " المقارنة بين التآكل في الوسط الساكن والمهتز لفولاذ متوسط الكاربون نوع CK45 "، مجلة الهندسة والتنمية ، المجلد السابع عشر ، العدد الرابع ، تشرين الأول 2013، (11-21)pp.

Sofia Gustafsson, "Corrosion properties of aluminum Alloys and surface treated alloys in tap water", UPTEC K 11028, Examensarbete30hp, Uppsala university, June 2011.

Venkatasubramanian G. , Sheik Mideen A and Aboy K. Jha, "Effect of pH on the Corrosion Behavior of Aluminium Alloy Welded Plate in Chloride Solutions", Department of Chemistry, Sathyabama University, Jeppiaar Nagar, Chennai-600119, INDIA, Research Journal of Chemical Sciences, ISSN 2231-606X Vol. 3(6), 74-80, June (2013).

Fundamentals of Electrodynamic Vibration Testing Handbook, Written and published by Thermotron Industries, Holland, MI Copyright 2006.

San Jose State University , Department of Mechanical and Aerospace , Engineering,ME 120 Experimental Methods, Vibration Measurement, BJ , Furman 22NOV05, BJ Furman SJSU MAE.

MAXAL Guide for Aluminum Welding " The Welder's Choice for Quality Aluminum Weld Wire", maxal.com, Maxal International.Inc., June 2011.