

## تأثير التقسية بالتيارات التحريضية عالية التردد على مقاومة ال فولاذ الكربوني للتآكل الكيميائي والاهتراء بالاحتكاك

الدكتور نبيل مقدسي\*

الدكتور فؤاد ضحية\*\*

ميلاد حمدان\*\*\*

تاريخ الإيداع 21 / 1 / 2010. قُبل للنشر في 30 / 5 / 2010

### □ ملخص □

تمت مناقشة تأثير التقسية بالتيارات التحريضية عالية التردد على مقاومة التآكل والاهتراء لنوعي الفولاذ الكربوني (0.35% C , 0.59% C) الأكثر استخداماً في تصنيع قطع التبديل في السوق المحلية، حيث تمت تقسية عينات من نوعي الفولاذ بالتيارات عالية التردد، ومن ثم تم تعريضها لوسط تآكل متمثل بماء البحر، ولظروف اهتراء ناتجة عن الاحتكاك بورق صنفرة ذي درجة نعومة (80) تحت تأثير وزن ثابت (1 kgf) ، حيث اعتمد مبدأ الفقد الوزني لتحديد معدلات التآكل والاهتراء للعينات، كما تمت مراقبة درجات حرارة العينات خلال اختبار الاهتراء، وبعد إجراء التجارب والاختبارات أظهرت النتائج ازدياد مقاومة التآكل الكيميائي والاهتراء بالاحتكاك لكل من نوعي الفولاذ بعد المعالجة بالمقارنة مع الفولاذ قبل المعالجة .

الكلمات المفتاحية: التقسية التحريضية، التآكل، الاهتراء، الفولاذ الكربوني.

\* أستاذ - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
\*\* أستاذ - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث - حمص - سورية.  
\*\*\* طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## The Effects of Induction Hardening on Chemical Corrosion and Wear Properties of Carbon Steel

Dr. Nabil Makdissi\*  
Dr. Fouad Dahiye\*\*  
Milad Hamdan\*\*\*

(Received 21 / 1 / 2010. Accepted 30 / 5 / 2010)

### □ ABSTRACT □

The effects of induction hardening on corrosion and wear properties of two kinds of carbon steel (0.59%c , 0.35%c) that are widely used in local industry , were discussed by exposed specimens that were induction-hardened to corrosion test by quenching it in sea water, and evaluating wear behavior of induction hardened specimens by exposing it to dry sliding under sandpaper of (80) smoothness degree with constant applied load of (1 kgf). The corrosion and wear volume was evaluated by determining the loss in specimens weight before and after treatment , and by determining specimens temperature during wear test .

The results of tests showed that the wear and corrosion resistance of carbon steel becomes greater when induction hardening is used.

**Key Words :** induction hardening – corrosion – wear – carbon steel .

---

\* Professor, Department of Design and Production, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

\*\* Professor, Department of Design and Production, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Albaath University, Homs, Syria

\*\*\*Postgraduate Student, Department of Design and Production, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

**مقدمة:**

تكتسب دراسة التآكل والاهتراء أهمية قصوى نظراً لتأثير مشاكله اقتصادياً وبيئياً وعلى سلامة الإنسان. فضلاً عن أننا كثيراً ما نرى التآكل في البيت في الشارع في المصنع في جميع الأدوات المصنوعة من المواد المعدنية وغير المعدنية. فلا توجد مادة بعينها تكون مناسبة للتطبيقات والاستخدامات كافة في منأى عن عملية التآكل. هذا وتعدُّ المسائل المتعلقة باحتكاك عناصر الآلات و اهترائها ، وضرورة رفع مدة خدمتها في أثناء العمل، من أهم المسائل التي تهتم بها مراكز البحث العلمي والمؤسسات الأكاديمية بشكل مستمر، وهذا يجعل قضية تكوين تقانة عالية الإنتاجية لثمتين هذه العناصر ووضعها في الخدمة من القضايا الأساسية في قطاع بناء الآلات، ومن أجل ذلك يهتم الباحثون منذ زمن بالمعالجة التي تسمح لهم بتحسين خواص السطح بهدف الحصول على سطح له مقاومة جيدة للتآكل والاهتراء، مع أساس معدني يحقق المتطلبات الميكانيكية المرغوبة و ذات سعر غير مكلف اقتصادياً .

تعد التقسية السطحية من بين أساليب التمتين السطحي الأكثر انتشاراً، فهي تسمح بالحصول على سطوح ذات متانة عالية، ولا تحتاج إلى مواد استهلاكية إضافية، وتعد من الناحية التقنية عملية جداً .

توفر هذه الطريقة قساوة أعظمية للطبقة المقساة مع إنتاجية عالية، كما أن الميزة الأهم لهذه الطريقة هي أن التسخين يتم عند معدل عال جداً أكبر بمئات أو آلاف المرات من معدل التسخين المنتج في الأفران أو منابع الحرارة الخارجية، ومن الممكن أيضاً أتمتة المعاملة الحرارية للقطع الفولاذية ووصلها بالخط العام لإنتاج الورشة الميكانيكية.

وبعد الإطلاع على واقع عمليات التصنيع في عدد من المناطق الصناعية وبعض شركات القطاع العام لاحظنا أن معظم عناصر الآلات والقطع التي تصنع محلياً تصنع من الفولاذ الكربوني نظراً لرخص ثمنه وسهولة تشغيله على المكنتات أيضاً، كما يستخدم لتصنيع بعض الأجزاء كقطع تبديل لأجزاء أخرى مصنوعة من أنواع مغايرة من الفولاذ .

توضع هذه القطع مباشرة بعد التصنيع في الاستثمار (دون أي معالجات حرارية أو سطحية) وبالتالي تكون هذه العناصر عرضة للتآكل والاهتراء نظراً لضعف مقاومة الفولاذ الكربوني للتآكل والاهتراء .

لذلك كان اتجاه هذا البحث نحو تطبيق إحدى طرائق المعالجة السطحية على عناصر مصنوعة من الفولاذ الكربوني، وهي التقسية بالتيارات عالية التردد التي تعد إحدى أهم الطرائق لزيادة كفاءة العناصر والمعدات وتقليل نفقات عمليات الصيانة .

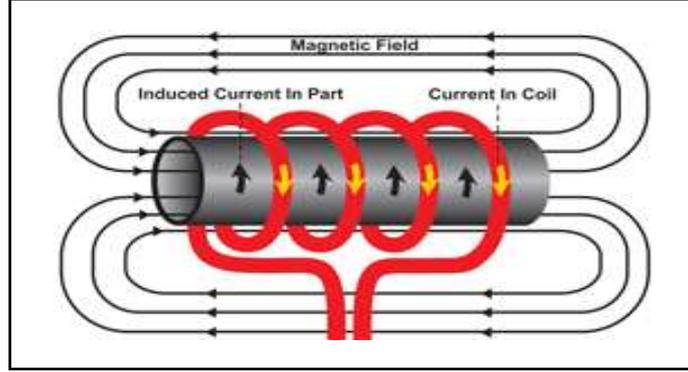
تعدُّ طريقة التقسية السطحية بالتيارات عالية التردد واحدة من أفضل الطرائق الحديثة المستخدمة في التطبيقات الصناعية [1].

يتضمن جوهر عملية التقسية السطحية بالتيارات عالية التردد إجراء تسخين سريع للطبقات السطحية باستخدام ظاهرة التحريض الكهرومغناطيسي إلى درجة أعلى من النقطة الحرجة، حيث تتحول البنية في هذه الطبقات ولعمق محدد إلى أوستنيت، ثم التبريد بسرعة أكبر من السرعة الحرجة للفولاذ، وذلك للحصول على البنية المارتنسييتية في هذه الطبقات [2].

عند التقسية بتيارات عالية التردد توضع القطعة المراد تسخينها داخل حلزون (لولب) مصنوع من النحاس ثم يمرر عبر هذا الحلزون تيار عالي التردد والشدة (بضعة آلاف من الأمبيرات) وذي توتر منخفض (Current in Coil)، الشكل (1).

هذا التيار يولد حول الناقل حقلًا مغناطيسياً متناوباً قوياً (Magnetic Field)، لذلك تتولد في القطعة الفولاذية الموجودة في هذا الحقل المغناطيسي تيارات قصر ثانوية (تيارات تحريضية)

## [3] (Induced Current in Part)



الشكل (1) ظاهرة التحريض الكهروضي .

تتركز التيارات على سطح القطعة الفولاذية بسبب ظاهرة الفعالية السطحية (skin effect) وبما أن الفولاذ ذو مقاومة كهربائية عالية فإن سطحه سوف يسخن .

يؤدي التسخين السريع للطبقة السطحية مع التبريد بسرعة أكبر من سرعة التبريد الحرجة، إلى تشكل بنية من حبيبات المارتنيسيت والكربيد الناعمة التي تتمتع بقساوة مرتفعة، أما حالة المعدن في عمق هذا العنصر فتشابه الحالة الأولية التي كانت عليها قبل المعالجة، أي تتم المحافظة على البنية الأولية للمعدن [7]. هناك عدة طرائق للتقسية بالتردد العالي، وذلك حسب شكل وأبعاد القطع وأيضاً حسب عمق الطبقة. ومن أهم هذه الطرائق:

- التقسية المباشرة (المتواقتة) . الشكل (a-2) .

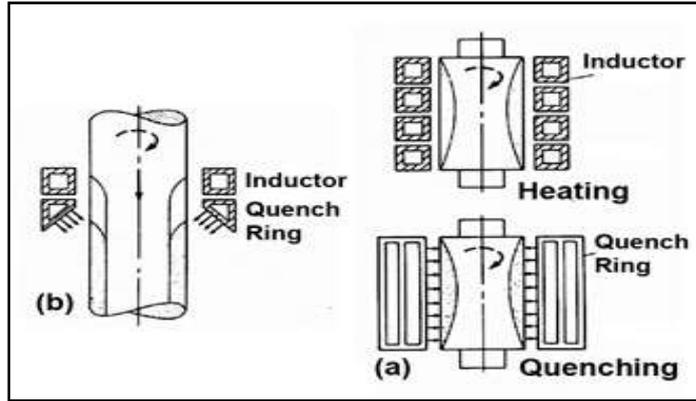
- التقسية المستمرة المتتالية . الشكل (b-2) .

تستخدم الطريقة الأولى (a) لتقسية القطع الصغيرة حيث يتم تسخين كامل السطح المعد للتقسية في وقت واحد ومن ثم تبريد القطعة كاملة، وتعدّ هذه الطريقة جيدة في خطوط الإنتاج المتلاحقة للقطع المتماثلة، مثلاً (ذكر القلاووظ - القطع المعيارية) مع تحكم آلي بالوقت ودرجة حرارة التسخين.

أما الطريقة الثانية (b) فتستخدم لتقسية القطع الكبيرة فلا يسخن السطح المعد للتقسية بشكل كامل، وإنما على أجزاء و بالتتابع، حيث يقع الجزء المسخن داخل المحرض، وخلف المحرض تتوضع آلة التقسية الرشاشة على بعد معين.

تتحرك القطعة بسرعة محددة فتنتقل من الأعلى إلى الأسفل بحيث يتعرض السطح المسخن للدوش المائي وتتم

تقسيته [4] .



الشكل (2) طرق التقسية بالتيارات عالية التردد

### أهمية البحث وأهدافه:

للبحث أهمية اقتصادية كونه يعالج مشكلة تعاني منها الصناعة السورية، المتمثلة بانخفاض العمر الاستثماري للمنتجات (قطع التبدل المعدنية) بالمقارنة مع عمرها التصميمي نتيجة لظاهرة التآكل والاهتراء، وبالتالي فإن إلقاء الضوء على هذه المشكلة ووضع بعض الحلول والاقتراحات المستخلصة من هذه الدراسة في أيدي المهندسين والفنيين في شركات القطاع العام والخاص وأيدي الصناعيين يساعد ويسهم في رفع مستوى الصناعة السورية .  
أما أهداف البحث فهي إظهار تأثير التقسية بالتيارات عالية التردد على معدلات التآكل والاهتراء لعينات من الفولاذ الكربوني، بالاعتماد على مبدأ الفقد الوزني للعينات المعالجة وغير المعالجة، وعلى درجات الحرارة المتولدة نتيجة لظروف اختبار الاهتراء .

### طرائق البحث ومواده:

أجري هذا البحث مابين مخابر جامعة تشرين ومخابر معمل الجرارات بحلب (الفرات)، حيث تم إجراء عمليات التقسية السطحية بالتيارات عالية التردد في معمل الجرارات، وتم تحديد معدلات التآكل والاهتراء في مخابر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين .  
اعتمد البحث على تطبيق طريقة التقسية المستمرة المتتالية على نوعين من الفولاذ الكربوني (0.59%c , 0.35%c) من أكثر أنواع الفولاذ استخداما في التصنيع المحلي، التركيب الكيميائي لنوعي الفولاذ موضح بالجدول (1) \_ أجري تحليل المعادن في كلية الهك بجامعة تشرين \_ :

الجدول (1) التركيب الكيميائي لنوعي الفولاذ الكربوني موضوع البحث

العنصر	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
النسبة %	97.4	0.59	0.321	0.624	0.037	0.058	0.135	0.217	0.417
	98.3	0.35	0.205	0.632	0.012	0.016	0.191	0.019	0.215

شمل البحث إخضاع عينات من الفولاذ الكربوني (0.35% c , 0.59% c) لتقسية بتيارات عالية التردد في معمل الجارات باستخدام أجهزة تسخين نوع (Radyne) بريطانية الصنع .  
ثم تم قياس القساوة لكل نوع من الفولاذ باستخدام جهاز نوع (Hoytom) في معمل الجارات.  
تم إخضاع العينات للتآكل الكيميائي عن طريق الغمر بماء البحر، و للاهتراء عن طريق تعريض العينات للاحتكاك بورق صنفرة تحت تأثير حمل ثابت (1 kgf) ( نظراً لعدم توفر جهاز لإجراء اختبار الاهتراء في وسط رملي)، تم تحديد فقد الوزني باستخدام ميزان حساس نوع (sartorius) كما تم قياس درجة الحرارة بمقياس ليزري نوع (sentry) .

#### برنامج التجارب:

• شمل برنامج التقسية التحريضية ما يأتي:

أخضعت العينات للتقسية باستخدام تيار عالي التردد (2000 Hz) بطريقة التقسية المتتالية وبسرعة تحرك لوشية (ملف) التسخين (2 mm/sec) .

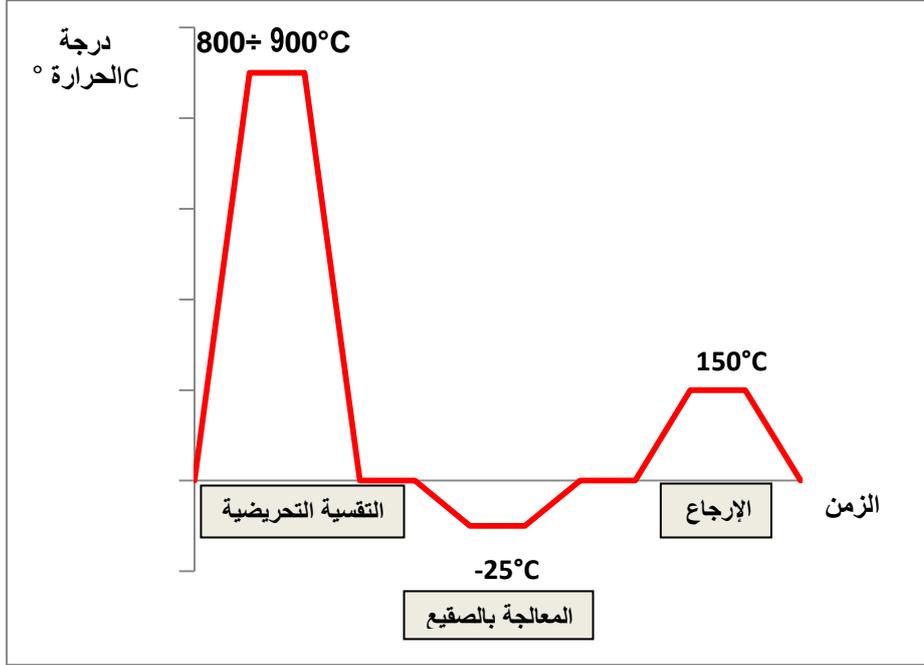
عينات الاختبار كانت بشكل محاور بأقطار (13 mm) وطول (130 mm).

تم تغيير قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة وذلك لمناقشة تأثير تغيير قيم القساوة السطحية على مقاومة التآكل والاهتراء .

تم تسخين العينات حتى الدرجة (800÷900°C)، ومن ثم التبريد الرشاشي بالماء للفولاذ الحاوي (0.35% C) وبخليط الزيت والماء للفولاذ الحاوي (0.59% C) .

أخضعت عينات الفولاذ (0.59% c) إلى معالجة بالصقيع للتخلص من الأوستنيت المتبقي [7]، حيث غمرت العينات بالتلج مع كمية من ملح الطعام لمدة (15 min) ، وصلت درجة حرارة المعالجة إلى (-25°C) .  
أخضعت العينات من نوعي الفولاذ إلى إرجاع منخفض الحرارة عند الدرجة (150°C) لمدة ساعة وتركت لتبرد تلقائياً في الهواء .

يبين الشكل (3) مخطط عملية المعالجة الحرارية للفولاذ (0.59% C)، أما الفولاذ (0.35% C) لم يمر بمرحلة المعالجة بالصقيع.



الشكل (3) مخطط المعالجة الحرارية المتبعة في الدراسة.

• شمل برنامج الاختبارات :

- أجري اختبار التآكل الكيميائي للعينات المعرضة للتقسية بالتيار عالي التردد بطريقة الفقد الوزني في مخابر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين .

تم غمر كامل العينات بعد تقسيئها بالتيار عالي التردد في ماء البحر لمدة (70) يوم، بينما تم تغطيس عينات أخرى مقساة بماء البحر ثم تركت في الهواء الجوي والرطوبة الجوية لمدة (70) يوم، تراوحت درجة حرارة الوسط (22÷32°C) ومتوسط الرطوبة الجوية (60÷85%) .

تم حساب وزن كل عينة قبل تعريضها لماء البحر وبعد فترة الاختبار بعد تنظيفها جيداً من نواتج التآكل لحساب معدل التآكل (تم أخذ متوسط ثلاث قراءات) [8].

يعطى معدل تغلغل التآكل (Corrosion penetration rate) بالعلاقة [9] :

$$CPR = \frac{87.6 \times W}{A \times d \times t} \quad [\text{mm/year}]$$

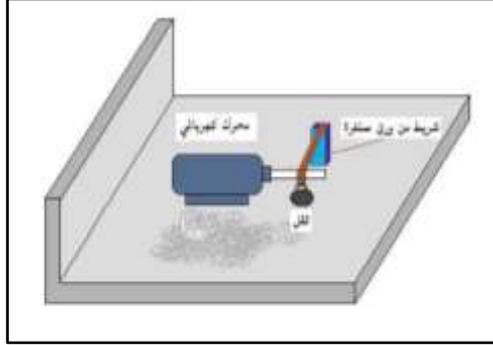
حيث : CPR : معدل التآكل (mm/year) .

W : النقص بالوزن ويساوي الوزن الأولي \_ الوزن النهائي (mg) . A : مساحة السطح المعرض للوسط (cm<sup>2</sup>)

t : زمن الاختبار (ساعة) . d : كثافة المعدن (للفولاذ الكربوني 7.86 g/cm<sup>3</sup>) .

- تم إجراء اختبار الاهتراء باستخدام جهاز قمنا بتصميمه وتصنيعه، باستخدام محرك كهربائي يعطي (900 r.p.m) (عدد دورات عينة الاختبار)، وشريط من ورق الصنفرة مغطى بطبقة من أكسيد الألمنيوم وبدرجة نعومة (80)، كما تم استخدام وزن قدره (1 kgf) لتأمين الاحتكاك، واستخدم ميزان حرارة ليزري لقياس درجة الحرارة الناتجة عن الاحتكاك في أثناء الاختبار، حيث تم قياس درجة الحرارة عند الأزمنة (30, 60, 90, 120 sec) لكل عينة، كما تم قياس وزن العينات المقساة وغير المقساة قبل وبعد الاختبار لتحديد الفقد الوزني بتأثير الاختبار، ثم تم تحديد

معامل للمقارنة سميناه نسبة الاهتراء الذي نحصل عليه بقسمة الفقد الوزني على عرض منطقة الاهتراء (باعتبار العينات لها القطر 13mm نفسه)، أجري الاختبار بدرجة حرارة للوسط (20°C)، يبين الشكل(4) مخطط جهاز الاختبار .



الشكل (4) مخطط جهاز اختبار الاهتراء المستخدم في البحث

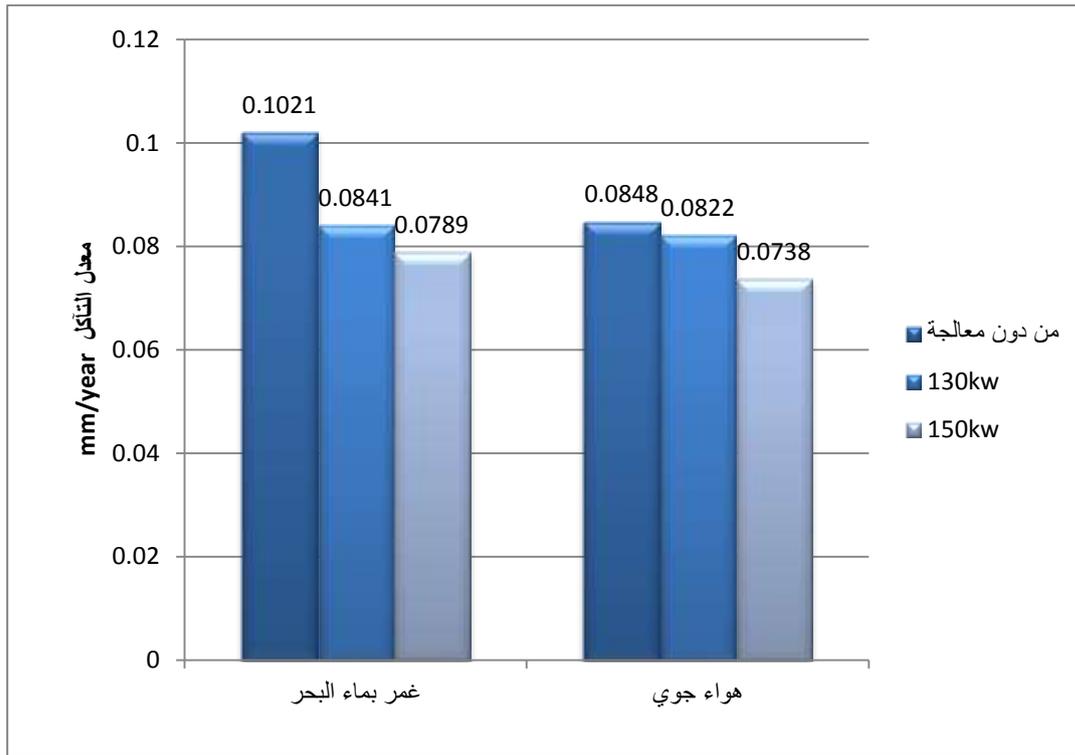
### النتائج والمناقشة:

• أظهر اختبار القساوة تحسن قيم القساوة السطحية لنوعي الفولاذ بازدياد قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة كما هو مبين في الجدول(2)، ويمكن تفسير ذلك بازدياد كمية البنية المارتنسييتية المتشكلة في الطبقات السطحية للعينات المقاسة .

الجدول(2) قيم القساوة لنوعي الفولاذ(0.59%C, 0.35%C) قبل وبعد التفسية.

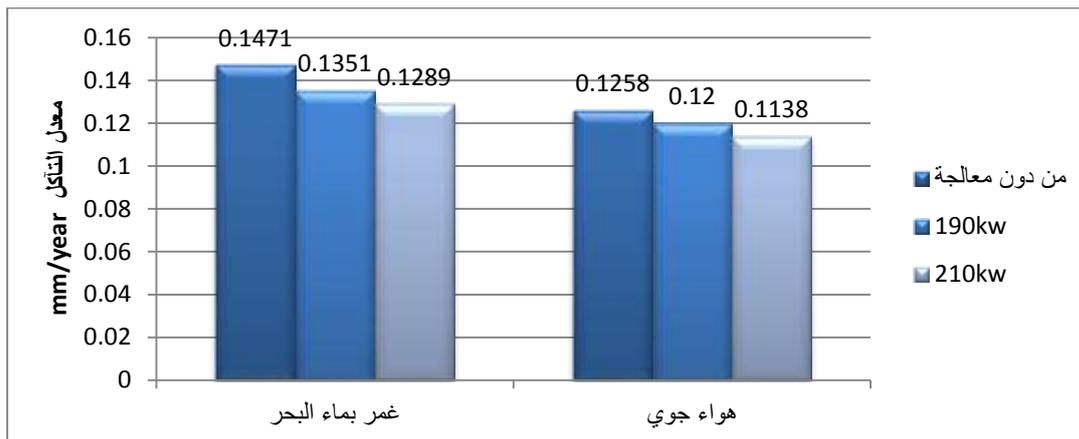
0.59%C	القساوة [HRC]	0.35%C	القساوة [HRC]
بدون معالجة	22.2	بدون معالجة	18
190Kw	60	130Kw	38.5
210Kw	64.3	150Kw	50.1

• أظهر اختبار التآكل بماء البحر الذي أجري لعينات مقساة من الفولاذ (0.35%c) انخفاض معدلات التآكل عند الغمر بماء البحر، وكذلك في الهواء الجوي بعد التغطيس بماء البحر، مع ارتفاع قيمة الاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التفسية التحريضية كما هو مبين بالشكل (5) .



الشكل (5) تأثير التقسية التحريضية على معدلات تآكل الفولاذ (0.35%c)

• كما أظهر اختبار التآكل الذي أجري لعينات مقساة من الفولاذ (0.59%c) أيضا انخفاض معدلات التآكل في ماء البحر، وكذلك في الهواء الجوي بعد التغطيس بماء البحر، مع ازدياد قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة، كما هو مبين بالشكل (6)

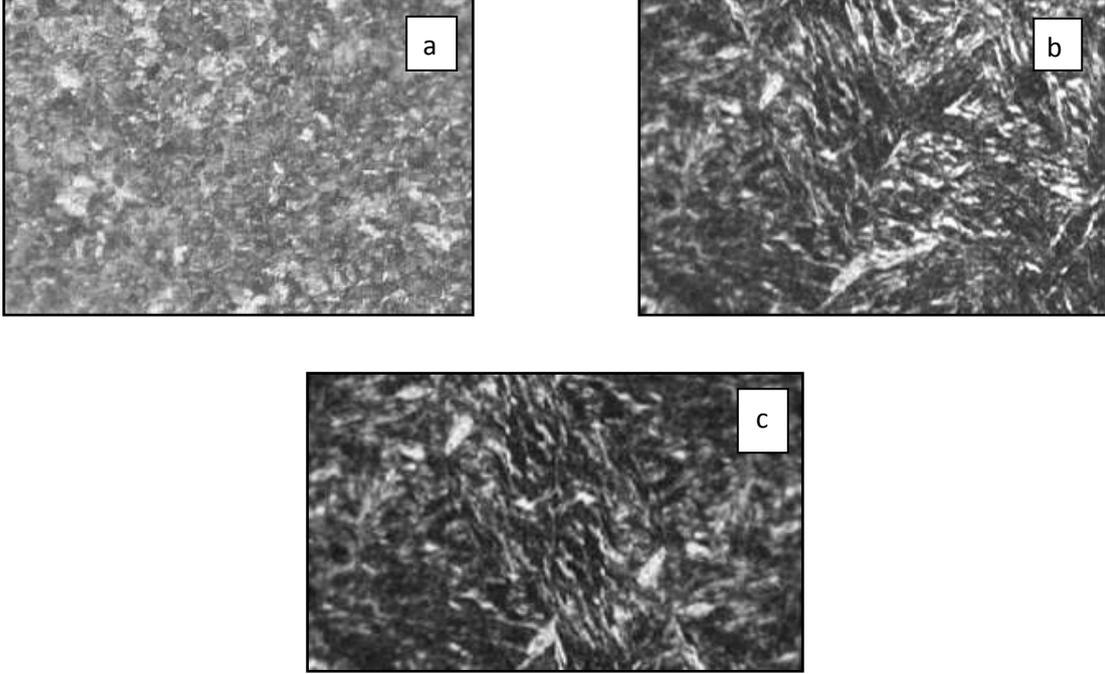


الشكل (6) تأثير التقسية التحريضية على مقاومة الفولاذ (0.59%c) للتآكل

يظهر من الأشكال (5) ، (6) انخفاض معدلات التآكل الكيميائي في ماء البحر وفي الهواء الجوي بعد التغطيس بماء البحر بارتفاع قيم القساوة السطحية المرافقة لاستخدام قيم استطاعة أعلى ، ويمكن تفسير ذلك بكون

البنية المتشكلة بعد التقسية هي بنية مارتنسيتية إبرية ناعمة كما هو موضح بالشكل (7) ، وهذا يعيق نمو وانتشار التشققات الناتجة عن التآكل [4].

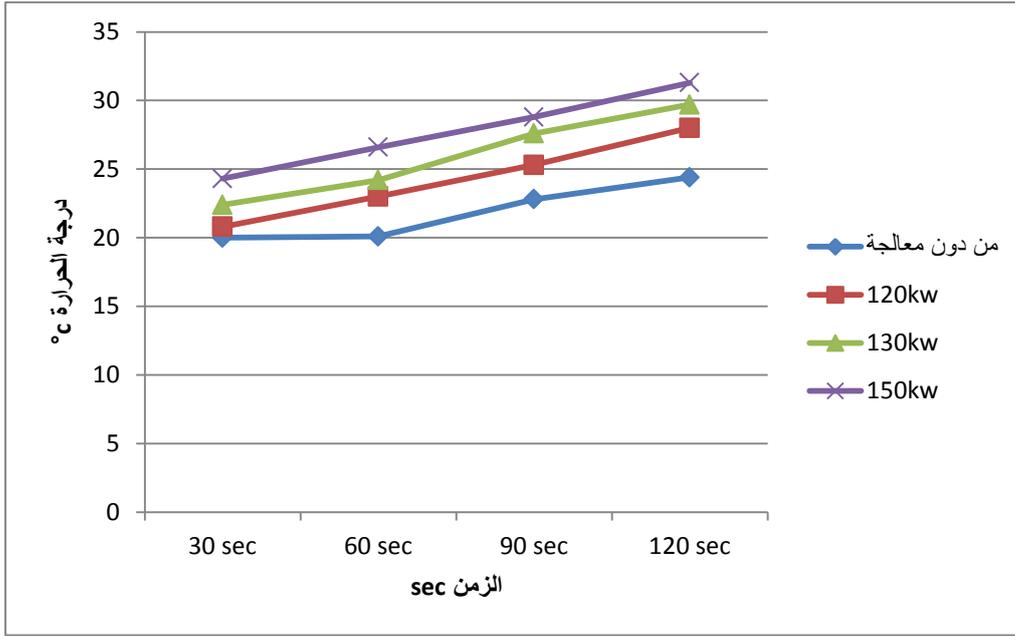
يظهر من الشكل انخفاض كمية الأوستنيت المتبقي (البقع النيرة) بعد المعالجة بالصقيع، وظهور المارتسيت الإبري الدقيق.



الشكل (7) البنية الميكروية للفولاذ (0.59%C) (مقسى باستطاعة 190kw). (350X)  
(بنية الفولاذ (a) بدون معالجة، (b) تقسية بدون معالجة بالصقيع، (c) تقسية ومعالجة بالصقيع)

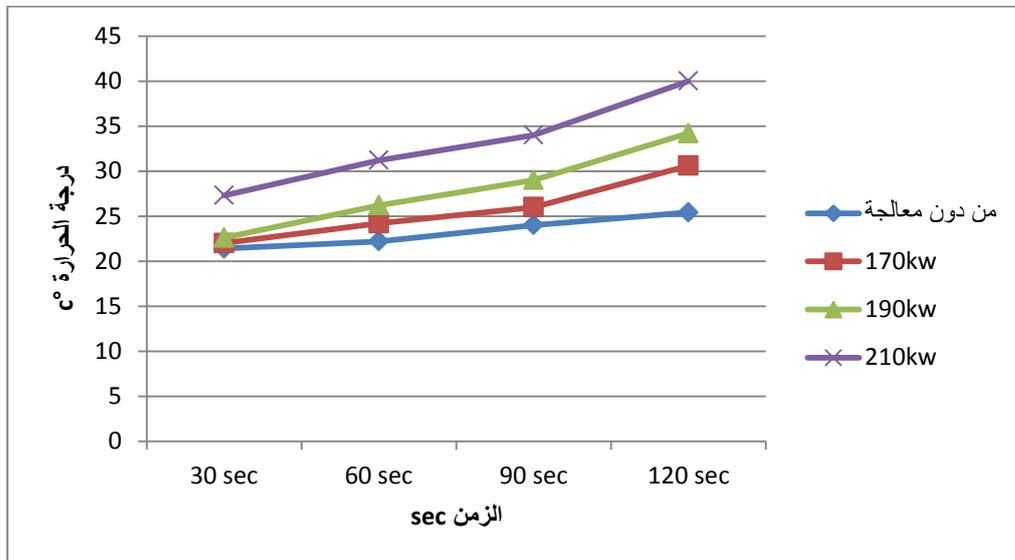
هذا بالإضافة إلى أن تماس الفريت والسمنتيت في البنية غير المعالجة يزيد معدلات التآكل [5]. كذلك فإن التبريد السريع المستخدم في التقسية يعيق انفصال كربيد الكروم عند حدود الحبيبات، وبالتالي يقلل تشكل المناطق المنزوعة الكروم حول الحدود الحبيبية [8].

• أظهر اختبار الاهتراء الذي أجري لعينات من الفولاذ (0.35%c) ارتفاع درجة الحرارة نتيجة الاحتكاك تحت حمل ثابت بمرور الزمن خلال الاختبار، كما أظهر الاختبار ازدياد درجات الحرارة المتولدة عند قيم الزمن نفسها بازدياد قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة، كما هو واضح بالشكل (8)، ويمكن تفسير ذلك بارتفاع قساوة الطبقة السطحية للمعدن نتيجة للتقسية التحريضية .



الشكل (8) التخطيط البياني لعلاقة درجة الحرارة بالزمن للفولاذ (0.35%c)

• كما أظهر اختبار الاهتراء الذي أجري لعينات مقساة من الفولاذ (0.59%c) ارتفاع درجة الحرارة نتيجة الاحتكاك تحت حمل ثابت بمرور الزمن خلال الاختبار، كما أظهر الاختبار ازدياد درجات الحرارة المتولدة عند قيم الزمن نفسها بازدياد قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة، وما يصاحبه من ارتفاع في قساوة الطبقة السطحية للعينات، كما هو واضح بالشكل (9).



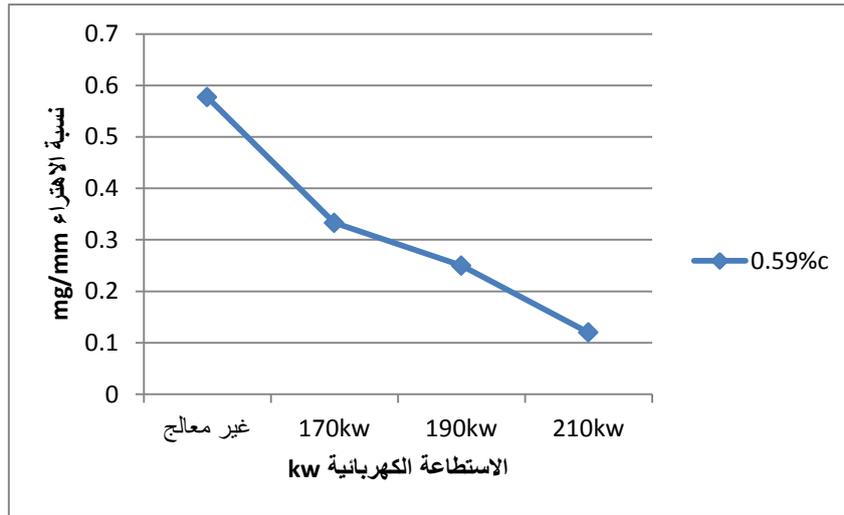
الشكل (9) التخطيط البياني لعلاقة درجة الحرارة بزمن الاختبار للفولاذ (0.59%c)

• أظهر اختبار الاهتراء انخفاض نسبة الاهتراء (نسبة الفقد الوزني/ عرض منطقة الاهتراء) للعينات من نوعي الفولاذ موضوع البحث (0.59% c , 0.35% c) كلما ازدادت قيمة الاستطاعة الكهربائية المستخدمة، ازدادت القساوة السطحية لهذه العينات بالمقارنة مع عينات الفولاذ غير المعالجة، وذلك موضح بالجدولين (3)،(4) .

الجدول (3) معدلات الفقد الوزني للفولاذ (0.59% c) نتيجة لاختبار الاهتراء :

رقم العينة	I	II	III	IV
الاستطاعة المستخدمة	غير معالج	170 Kw	190 Kw	210 Kw
الفقد الوزني mg	15	8	6	3
نسبة الاهتراء mg/mm	0.577	0.333	0.250	0.120

يبين الشكل (10) علاقة نسبة الاهتراء بالاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التفسية التحريضية للفولاذ الكربوني (0.59% c) . حيث تتناقص النسبة بازدياد الاستطاعة أي بازدياد القساوة الناتجة .

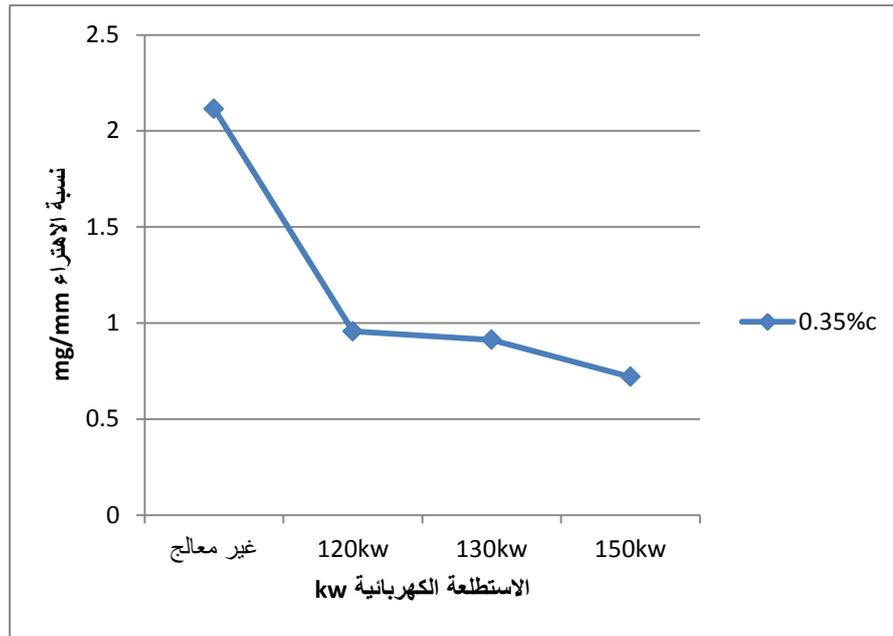


الشكل (10) علاقة نسبة الاهتراء بالاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التفسية التحريضية للفولاذ (0.59% c)

الجدول (4) معدلات الفقد الوزني للفولاذ (0.35% c) نتيجة لاختبار الاهتراء :

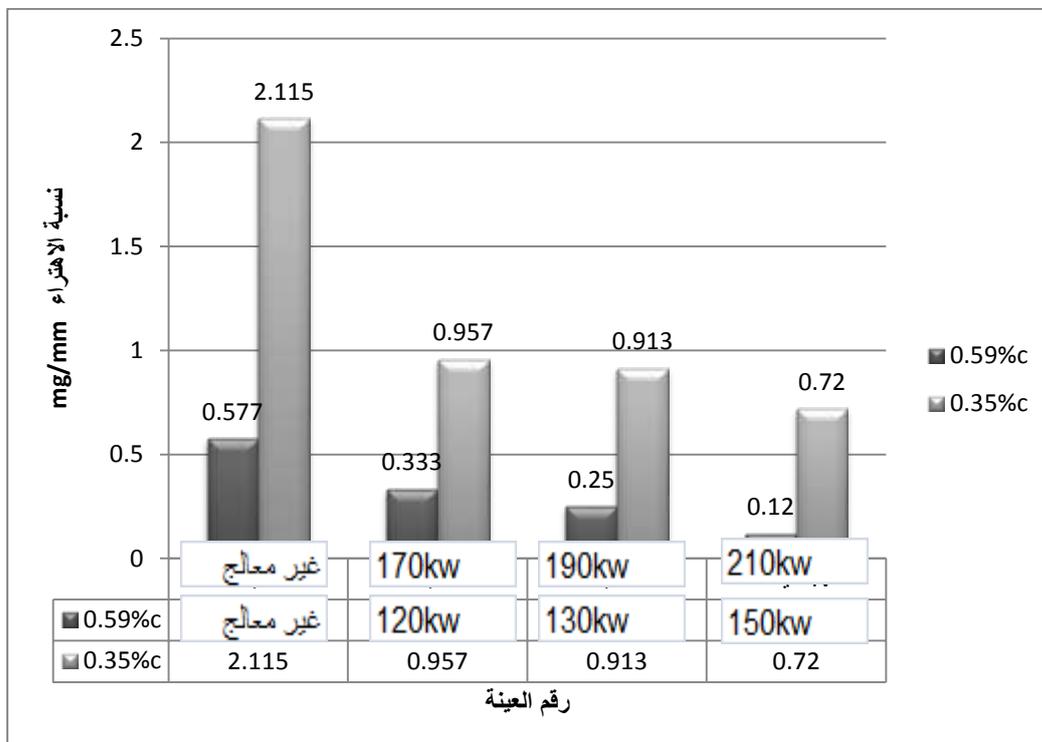
رقم العينة	I	II	III	IV
الاستطاعة المستخدمة	غير معالج	120 Kw	130 Kw	150 Kw
الفقد الوزني mg	55	22	21	18
نسبة الاهتراء mg/mm	2.115	0.957	0.913	0.720

يبين الشكل (11) علاقة نسبة الاهتراء بالاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التفسية التحريضية للفولاذ الكربوني (0.35% c) .



الشكل (11) علاقة نسبة الاهتراء بالاستطاعة الكهربائية المستخدمة بالتقسية التحريضية للفولاذ (0.35%c)

يبين الشكل (12) مقارنة بين تأثير التقسية التحريضية على مقاومة الاهتراء لنوعي الفولاذ من خلال معدلات نسبة الاهتراء .



الشكل (12) المقارنة بين تأثير التقسية التحريضية على مقاومة الاهتراء لنوعي الفولاذ (0.35%c , 0.59%c)

حيث يظهر من الشكل ازدياد مقاومة الاهتراء للفولاذ الكربوني بعد الترسية التحريضية بنسب عالية جداً، ويمكن تفسير ذلك بالإجهادات الضاغطة المتبقية في الطبقة السطحية للفولاذ بعد الترسية التحريضية، التي تعيق تشكل الشقوق الميكروية الناتجة عن تأثير الحمل المسبب للاهتراء، إضافة لازدياد نسبة البنية المارتنسييتية في الطبقة السطحية [6].

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

- من خلال اختبار التآكل الكيميائي في ماء البحر الذي أجري لنوعي الفولاذ. يظهر أن الترسية التحريضية لها مفعول إيجابي في رفع مقاومة التآكل للفولاذ الكربوني، سواء المغمور بماء البحر أو المعرض لماء البحر بشكل منقطع (على الشاطئ)، وبالتالي فإننا ننصح باستخدام تقنية الترسية التحريضية لعناصر الآلات العاملة في البيئة الساحلية التي قد تتعرض لماء البحر مثل (محاور الزوارق والسيارات التي تعمل في المرافئ.... الخ) .

- تزداد مقاومة الفولاذ الكربوني للتآكل الكيميائي بازدياد قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة للترسية التحريضية .

- من خلال اختبار الاهتراء وجمع النتائج المتعلقة بارتفاع الحرارة مع النتائج المتعلقة بانخفاض نسبة الاهتراء للعينات المعرضة للاختبار، يمكن الحكم على فاعلية الترسية التحريضية في التأثير على مقاومة الفولاذ الكربوني للاهتراء، حيث تزداد هذه المقاومة بالترسية التحريضية، وترتفع مع استخدام قيم استطاعة أعلى (الحصول على قساوة أعلى في الطبقات السطحية نتيجة ارتفاع درجة حرارة المعالجة) فإن الترسية التحريضية مفيدة في رفع مقاومة عناصر الآلات المعرضة للاحتكاك والاهتراء وينصح بها .

### التوصيات:

- دراسة سلوك التآكل الغازي لعينات معالجة بالترسية التحريضية .
- إجراء دراسة حول تأثير هذه الترسية على الخواص الميكانيكية للفولاذ الكربوني للوصول إلى البارامترات التي تحقق أفضل المواصفات الميكانيكية ومقاومة للتآكل والاهتراء .
- إجراء مزيد من الأبحاث والدراسات على بعض الأنواع الأخرى من الفولاذ .
- إجراء بعض المعالجات المزدوجة التي تشمل الترسية التحريضية مع المعالجات الحرارية الأخرى للاستفادة من نتائج أكثر من نوع من المعالجات .

## المراجع:

- 1- AHN,T.S.; KIM, S.D.; WON, J.N. *Microstructural evolution and mechanical properties of low alloy steel tempered by induction heating*. Journal of Materials Processing Technology, Netherlands, Vol.160,No.1,2005, 54–58.
- 2- KAYACAN, C.M.; ÇOLAK, O. *A fuzzy approach for induction hardening parameters selection*. Materials and Design, Netherlands, Vol. 25,No.3, 2004, 155–161.
- 3- SHEN, A.; YAO, Z.Q, SHI,Y.J, HU.J. *Study on Temperature Field Induced in High Frequency Induction Heating*. Acta Metallurgica , China, Vol.19, No.3, 2006, 190-196.
- 4- ASM Handbook . *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*. Vol.13A, ASM International , U.S.A, 2003, 2597.
- 5- AL-HASSAN.S.; MISHRA, B.; OLSON,D.L.; SALAMA, M.M. *Effect of Microstructure on Corrosion of Steel in Aqueous Solutions* . Corrosion Engineering Section, NACE International, Houston, Vol.54, No.6, 1998, 480- 491.
- 6- KIM, M.H.; RHEE, K.Y.; PAIK, Y.N.; HONG, J.S . *Experimental investigation on the mechanical behavior of induction-hardened mild carbon steel*. Materials and Design, Netherland, Vol.31, No.85, 2008, 31-38.
- 7- هنرة، علي. *المعالجات الحرارية للمعادن*. منشورات جامعة تشرين، سوريا، 2000، 331.
- 8- المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، *علم المواد التطبيقي والتآكل*، المملكة العربية السعودية، 2007، 95.
- 9- أحمد، غالب. *علم المواد المستخدمة في بناء السفن*. منشورات جامعة تشرين، سوريا، 2004، 434.

