

دراسة تأثير النتردة الغازية على بعض الخواص الميكانيكية والبنوية لعينات فولاذ 410s في أبراج التقطير الجوي في مصفاة بانياس

أ. د. حسن عبد الكريم سليمان *

د. محمّد كامل ابراهيم **

فخر هيثم عباس ***

(تاريخ الإيداع 2021 /10 /11 – تاريخ النشر 2021 /12 /14)

□ ملخّص □

درسنا في هذا البحث تأثير المعالجة الحرارية الغازية بغاز الأمونيا NH_3 على بعض الخواص السطحية لفولاذ 410s ضمن فرن حراري في المجال الحراري $950 - 750$ °C ولأزمنة معالجة h (4-5-6) لكل درجة حرارة نتردة لتحسين الخصائص التالية: المتانة السطحية، ومقاومة التآكل. حُدّدت مقاومة التآكل وفق قياس معدّل التآكل للعينات المعالجة بطريقة الفقد الوزنية ومقارنتها مع عينات لم تُعالج. بالإضافة إلى ذلك، دُرست البنية الدقيقة في الطبقات السطحية وأبعاد الحبيبات السطحية باستخدام مجهر القوة الذرية AFM. للتحقق من مقاومة العينات للتآكل غمرت في مياه البحر لفترات زمنية دورية قدرها شهرين ولمدة عام. **الكلمات المفتاحية:** فولاذ 410s؛ المتانة السطحية؛ البنية الدقيقة؛ النتردة؛ مقاومة التآكل؛ الخصائص الميكانيكية.

*أ. د. في كلية العلوم، قسم الفيزياء، جامعة طرطوس

**د. في كلية العلوم، قسم الفيزياء، جامعة طرطوس

***دراسات عليا_ماجستير_ كلية العلوم، قسم الفيزياء، جامعة طرطوس

Study of the Effect of Gaseous Nitriding on some Mechanical and Structural Properties of 410s Steel Samples at Atmosphere Distillation at the Baniyas Refinery

Pr. Hasan Abd Alkareem Suleiman*

Dr. Mohamad Kamel Ebrahim**

Fakher Haitham Abbas***

(Received 11/10 /2021.Accepted 14/12/2021)

□ABSTRACT □

We have studied in this paper the effects of thermal gaseous treatment using NH₃ on some surface properties of 410s steel in a thermal furnace in the heat range (750-950)°C and for processing times (4-5-6 h) for each nitriding temperature to improve the following properties: Surface toughness, and abrasion resistance. The corrosion resistance was determined by measuring the corrosion rate of the treated samples by the weight loss method and comparing it with the untreated samples. In addition, the microstructure in the surface layers was studied using AFM atomic force microscopy. To check the corrosion resistance, the samples were immersed in seawater for periodic periods of two months and up to one year.

Keywords: 410 stainless steel, hardness, microstructure, nitriding, properties mechanic.

*Prof. Physics Department - University Tartous - Tartous - Syria

**Dr. Physics Department - University Tartous - Tartous - Syria

***Postgraduate student - University Tartous - Tartous – Syria

مقدمة:

تعد مسألة زيادة موثوقية ومتانة أجزاء الآلات والمرافق المعدنية وتحسين أدائها وزيادة مدة خدمتها وبالتالي الاقتصاد في استهلاك الأجزاء المعدنية وخفض التآكل من المسائل الملحة والهامة في الوقت الحاضر لا سيما وأن المعطيات المتوفرة في هذا المجال تؤكد أن أكثر من 90% من أعطال أجزاء المنشأة والآلات المعدنية مرتبط بالخلل أو العيوب التي تصيب السطوح، لذلك أهتم الباحثون والعاملون في مجال التعدين وعلم المواد بدراسة الخصائص السطحية بهدف تحسين أداء ومدة خدمة أجزاء الآلات والمرافق المعدنية. إنَّ الأعطال التي تحدث في أغلب المنشآت والآلات المعدنية تتطلب وجود حل فعلي يساعد في تحسين مقاومة هذه الآلات، نظراً لما تسببه هذه الأعطال من تخريب في بنية السطوح وتآكلها وإضعاف مقاومة هذه المرافق المعدنية لعوامل الضَّغط ودرجة الحرارة ممَّا يقلل من فترة استخدامها إلى الحدِّ الأقصى. بناء على ما سبق، فقد قام أغلب الباحثون بإجراء دراسات للبنية السطحية وتأثير العوامل التي تتعرض إليها مثل درجة حرارة وضغط عالي، وهذا يقتضي استخدام طرق قد تساعد في تحسين البنية السطحية ومقاومتها ومن أهم هذه الطرق المستخدمة هي المعالجة الحرارية. إنَّ علم المواد المعروف أيضاً باسم علم وهندسة المواد، مجال متعدد التخصصات يتعامل مع اكتشاف وتصميم مواد جديدة، سيَّما وأنَّ المواد الجديدة دائماً تفتح الباب أمام التقنيات الجديدة، سواء كانت في الهندسة الكيميائية أو المدنية أو الإنشائية أو النووية أو الزراعية أو الجوية أو الطبية الحيوية أو الكهربائية أو الميكانيكية. يدرس علم المواد العلاقة بين تركيب وتشكيل وخصائص وبنية وأداء المواد التي تمتلك وظائف هندسيَّة، يمكن أن تكون خصائص المواد ذات الأهمية كهربائية أو ميكانيكية أو بصرية أو مغناطيسية. يمكن أن تؤثر الوظيفة الهندسية على الصناعات المشاركة في الإلكترونيات والاتصالات والنقل والتصنيع والطب والترفيه والبيئة وطاقة [1-2-3-4].

أهمية البحث وأهدافه: تتمثل أهمية هذا البحث في زيادة قساوة الطبقات السطحية في فولاذ 410s المتواجد في أبراج التَّقطير الجوّي في مصفاة بانياس مع إبقاء الجزء الداخلي على ما هو عليه من ليونة مما يكسب هذا النوع من الصلب أهمية خاصة لمقاومة الاحتكاك والتآكل والإجهادات المتولدة ليكون قادراً على امتصاص الصدمات التي يتعرض لها أثناء الخدمة. وعليه فإنَّ هدف هذه الدراسة:

دراسة مقاومة العينات للتآكل بغمرها في مياه البحر الأبيض المتوسط لمدة عام بطريقة الوزن العادية

باستخدام ميزان حساس:

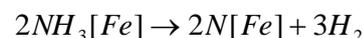
SartoriusTE64 (60 g x 0.1 mg)

دراسة مقاومة العينات للتآكل بغمرها في النِّقْط لمدة عام بطريقة الوزن العادية باستخدام ميزان حساس:

SartoriusTE64 (60 g x 0.1 mg)

1. القسم النظري: إنَّ تغير خصائص سطوح المنتجات المعدنية (الميكانيكية، الكهربائية... وغيرها)، يعود في جزء منه للمعالجة الحرارية الغازية التي يتغير بنتيجتها التركيب الكيميائي والمجهري (البنية الدقيقة)، وتتغير خصائص

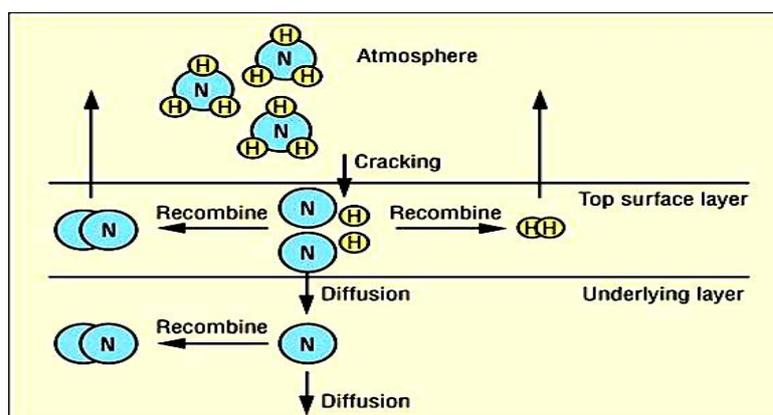
الطبقات السطحية نتيجة التفاعل مع الوسط المحيط سواء أكان صلباً، أم سائلاً، أم غازاً، وذلك بالتسخين. ونتيجة ذلك تتغير الانتقالات في الطور وتتغير البنية المجهرية لهذه الطبقات. إن أهم عوامل المعالجة الحرارية الغازية، هي درجة حرارة التسخين ومدة المعالجة، وتترافق المعالجة الحرارية الغازية بثلاث عمليات هي: التفكك والامتزاز والانتشار، الشكل (1)، وإنَّ سرع هذه العمليات الثلاث يجب أن تكون متناسقة. ويتفكك غاز الأمونيا عند التسخين وفق المعادلة:



ينتشر النتروجين الناتج داخل الفولاذ عبر سطح القطعة مشكلاً كبريدات الحديد Fe₄N ونتيجة عمليات التفكك والامتزاز والانتشار تشبع الطبقات السطحية بالعنصر المتفاعل مع المعدن الأساس مما يؤدي إلى تشكيل محاليل صلبة بينية أو مركبات لاتحادات كيميائية. من هنا جاء هذا البحث ليكون مكرساً لدراسة تأثير تشبع الطبقات السطحية بالنيتروجين على مقاومة تآكل الطبقات السطحية والبنية الدقيقة باستخدام الطريقة التقليدية للمعالجة الحرارية بغاز NH₃ في الأفران.

جدول (1): التركيب الكيميائي لفولاذ 410s

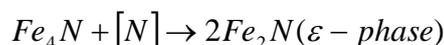
Elements	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	rest
%W	0.074	0.87	0.69	0.25	0.025	0.032	13.45	0.16	Fe



الشكل (1): مخطط يوضح عملية النتردة الحرارية بغاز الأمونيا NH₃ [1]

1.1 النتردة الحرارية الغازية:

النتردة: هي عملية تشبع انتشاري للطبقات السطحية للصلب بالنتروجين، وتجري النتردة بتسخين الصلب في الأوساط الصلبة والسائلة، الغازية. الأكثر شيوعاً النتردة الغازية في وسط من غاز الأمونيا. وتؤدي النتردة الغازية إلى زيادة القساوة المجهرية ومقاومة التآكل في الهواء والماء وبخار الماء وغيرها. تترافق عملية النتردة في النظام المستقر Fe-N بتشكيل عدة طبقات سطحية متتالية تحتوي على نوعين أو أكثر من النتريدات، مؤلفة من أطوار نتريدية متوضعة على شكل طبقات تبدأ بطبقة سطحية تمثل خليط من Fe₂-3N للطور:





تليها طبقة منفصلة من Fe_4N للطور γ' ، الطبقة التالية تنتج من التفتك اليونكتويدي للطور γ وفق العملية $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma'$. أما الطبقة الأخيرة فهي عبارة عن محلول صلب من النتروجين في $\alpha - Fe$. تتغير اعتماداً على تركيب الفولاذ وسبائكه، نسبة و تركيب أطوار النتريدات، حيث أن أغلب عناصر الإشابة (Mo, Cr, Mn) وغيرها باستثناء (Ti, Si, Al) يخضع انحلال النتروجين في الطور \mathcal{E} ، (Fe, M)₂₋₃(N)، فيخفض محتوى النتروجين وسماكة الطبقة المنتردة.

إن وجود الألمنيوم والتيتانيوم والسليكون يزيد من سماكة طبقة الطور γ' مع تشكيل (Fe, M)₄ N على شكل طبقات متشابهة مستمرة أو طبقات (صفائح) غير مستمرة تتوضع على حدود الانزياحات وحدود الحبيبات، وكلما كانت العناصر المنتجة للنتريدات في الفولاذ الكرومي 410s وسبائكه أكثر، كلما كان الطور \mathcal{E} هو السائد. يقود التركيز العالي للنتروجين في الطبقة المنتردة إلى تولد الطور (Fe_2N)، الذي يتشكل عند تبريد مناطق الطور \mathcal{E} . عند نتردة الصلب في وسط الأمونيا الذي يتفكك عند التسخين ليعطي نتروجين ومن ثم الإشباع بالماء المقطر، تتشكل الكربيدات ($Fe_{2-3}(N, C)$) والكربيدات المؤكسدة ($Fe_{2-3}(N, C, O)$)، وتترافق النتردة في وسط غني بالنتروجين بتقصف الطبقات السطحية وظهور المسامات، مما يؤدي إلى انخفاض لدونة الطبقات المنتردة، وظهور التصدعات في الطبقات السطحية مما يؤدي إلى تحطمها [4-5-6-7-8].

إن تشكل السطوح المسامية مرتبط بالأطوار المستقرة، في مناطق الانزياحات وحدود الحبيبات وفي الفراغات المتطورة، حيث تتشكل مختلف أنواع المسامات الحاوية على كميات من غاز النتروجين تحت ضغط عالٍ، في البداية بالشكل الذري ومن ثم بالشكل الجزيئي، وتكون على شكل نقط فردية منفصلة أو على شكل نظام متصل بقنوات متتالية وعميقة تسبب تخريب عميق للسطح يمكن رصده عند التكبير الصغير [4]. إن منطقة النتردة هي منطقة متعددة الأطوار، محاليل صلبة من نتريدات المعدن الأساس، النتريدات ونتريدات عناصر الإشابة. واستناداً إلى النشاط الكيميائي لعناصر الإشابة يمكن أن نميز بين منطقتين: منطقة النتردة من النوع الأول، ومنطقة النتردة من النوع الثاني. تتشكل منطقة النتردة من النوع الأول في المعادن النقية تقنياً والسبائك التي تحوي كميات منخفضة من عناصر الإشابة ذات القدرة المنخفضة على تشكيل النتريدات بالمقارنة مع المعدن الأساس. وتتكون في هذه الحالة، منطقة الانتشار تحت السطحية (منطقة النتردة)، من محاليل صلبة من النتريدات، مشمولة بنتريدات منطقة الانتشار تحت السطحية للمعدن الأساس. ومع ازدياد كثافة النتريدات ينخفض تركيز مناطق النتردة القادرة على النمو بالقرب من سطح المعدن بينما يزداد تركيز هذه المناطق في حجم وعمق منطقة الانتشار. في حين تتشكل مناطق النتردة من النوع الثاني في السبائك التي تكون فيها عناصر الإشابة على ألفة كيميائية مع النتروجين أكثر من المعدن الأساس. هنا يزداد انحلال النتروجين بشكل ملحوظ وتكون حركته الانتشارية أكبر من الحركة الانتشارية لعناصر الإشابة. أما الطبقة تحت انتشارية (طبقة الانتشار الثانوية) فتمثل مناطق النتردة الداخلية العائدة للنوع الثاني، وهي مكونة من

محاليل صلبة لنتريجات الحديد في الطور γ' وعناصر الإشابة. وبسبب التغيرات المرافقة للمحاليل الصلبة تتشكل مناطق مترابطة أولاً، ثم مناطق من نوع "غينير - بريستون"، متبوعة بمناطق منفصلة لأطوار ذاتية مستقلة [9-10-12-13].

2. القسم التجريبي:

2.1. طريقة البحث: تم تحضير العينات من الفولاذ 410S على شكل أسطوانات مختلفة الأبعاد حيث تم قياس أبعادها متمثلة بالطول والعرض والارتفاع باستخدام أدوات القياس، ثم وضعت في أنبوبة من الكوارتز (11) لمدة 30min داخل حجرة التسخين في فرن أنبوبي كهربائي عادي عند درجة حرارة الغرفة الشكل (2). خلال ذلك ضخ غاز النتروجين إلى الوسط العامل لإخراج الهواء الجوي من النظام، ثم أجريت النتردة بـ NH_3 لمجموعة من العينات في أنبوبة الكوارتز لفترات h (4-5-6) خلال درجات الحرارة التي تتراوح ($750\text{ }^\circ\text{C}$, $850\text{ }^\circ\text{C}$, $950\text{ }^\circ\text{C}$) وتم قياس درجة الحرارة بمنطقة العمل باستخدام مزدوجة كهحرارية من البلاتين بدقة $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$. واكب عملية النتردة أكسدة باستخدام الماء المقطر لمدة تصل إلى 10min حيث بلغت سرعة تدفق الغاز إلى الوسط العامل $20\text{cm}^3/\text{min}$ ، بعد الانتهاء من عملية المعالجة تركت العينات داخل حجرة التسخين لتبرد مع الفرن إلى درجة حرارة الغرفة. وبعد إخراج العينات تم أخذ مقطع عرضي لكل عينة من العينات المدروسة، ثم صقل صقلا جيدا لقياس مقاومة التآكل، ومن ثم إظهار البنية الدقيقة بمزيج 96% من الكحول الإيثيلي و4% من حمض الأزوت HNO_3 ، لمدة 10sec.

تمت دراسة تآكل العينات الفولاذية بعد معالجتها وغمرها في أوساط تآكل (نפט خام - مياه مأخوذة من مياه البحر في مدينة اللاذقية)، وقياس أوزانها بالطريقة التقليدية والتي تسمى طريقة **الفقد الوزني** وقمنا بحساب معدّل التآكل (mpy) باستخدام العلاقة الآتية [11]:

$$\text{mpy} = \frac{365.7 \times \Delta m}{D \times T \times S}$$

حيث:

Δm : مقدار الفقد الوزني خلال مدة فترة المعالجة وتساوي: $\Delta m = m_0 - m$ [gr]

m_0 : كتلة العينة الابتدائية [gr].

m : كتلة العينة النهائية [gr].

D : ثابت يتعلّق بنوع الفولاذ المستخدم ويساوي لنوع الفولاذ في هذا البحث 0.0076

T : الزمن الموافق لغمر العينات في أوساط التآكل [month].

S : مساحة سطح العينة الأسطوانية المستخدمة للمعالجة ($S = 2\pi r \cdot h + 2\pi r^2$)، [cm^2].

mpy: معدّل تآكل العينات خلال فترة الغمر [mm/year]

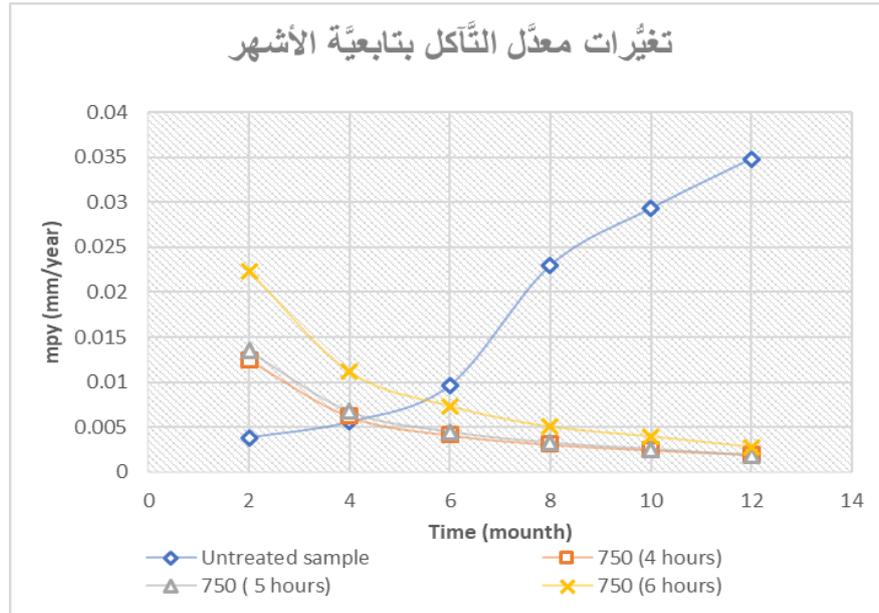
h: ارتفاع العينة [cm].

r: نصف قطر قاعدة العينة [cm].



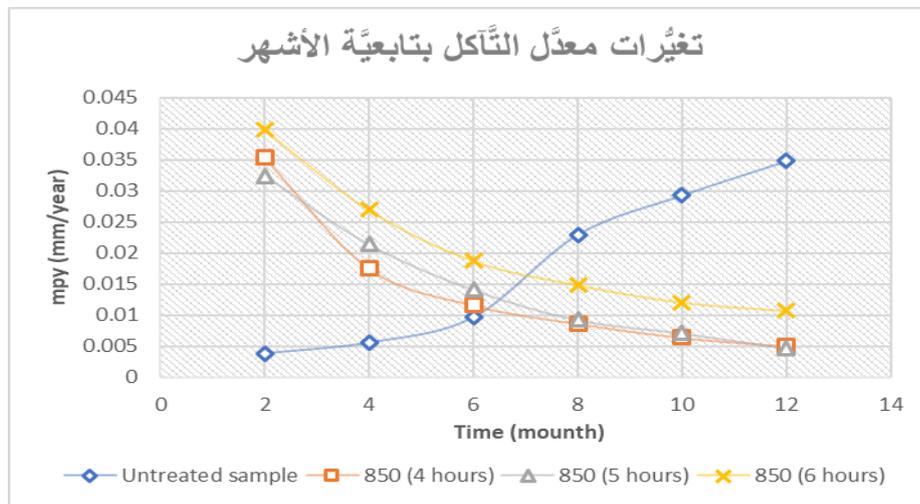
الشكل (2): فرن كهربائي للمعالجة الحرارية مزود بأسطوانة من غاز الأمونيا إضافة إلى مبخر للماء المقطر

3. النتائج والمناقشة: يبيّن الشكل (3) نتائج معدّلات التآكل بدلالة فترة غمر العينات (الأشهر) لعينات فولاذ 410s بعد غمرها في مياه البحر لفترات زمنية دورية قدرها شهرين ولمدة عام بعد المعالجة الحرارية بغاز الأمونيا NH₃ عند درجات حرارة (750 , 850, 950) °C لمدة (4-5-6) h. يتضح أن معدّل التآكل عند 750 °C ينخفض إلى حدود كبيرة حيث بلغت القيمة الأعظمية عند فترة نتردة (6 hours) مساوية 0.022 في حين بلغت عند نتردة (5hours) القيمة 0.012mm/year وتتناقص هذه القيمة لتصبح 0.011mm/year خلال فترة (4hours) ويعود ذلك إلى الطور ϵ ، وهذا مرتبط بالمسامات المتولدة أي البنية المجهرية بين المناطق المسامية والفجوات (الثقوب) المملوءة بالنتروجين الذري.



الشكل (3): يبيّن معدّل التآكل للعينات المغمورة بمياه البحر عند درجة حرارة 750 °C

وعند ارتفاع درجة الحرارة إلى 850 °C الشكل (4)، نلاحظ انخفاض في معدّل التآكل من قيمة أعظمية بلغت 0.04mm/year خلال نتردة (6hours) إلى 0.035mm/year خلال نتردة (4hours)، وتعود المساهمة الرئيسية في انخفاض القيمة الأعظمية عند درجة الحرارة 850 °C إلى الطور γ' (محاليل صلبة من النتريدات Fe4N).



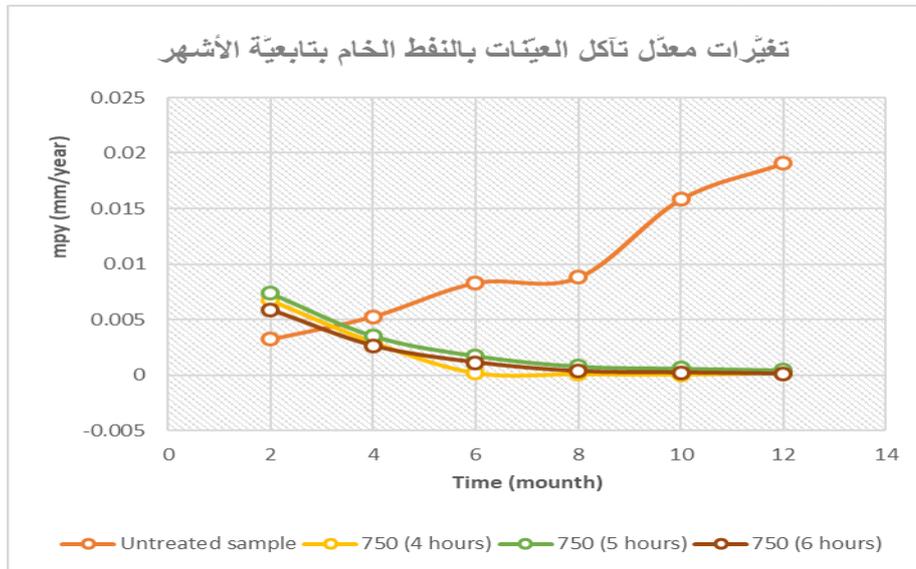
الشكل (4) يبيّن معدّل التآكل للعينات المغمورة بمياه البحر 850 °C

وعند ارتفاع درجة حرارة التبردة إلى 950 °C نلاحظ انخفاض القيم الأعظميّة لمعدّلات التآكل عن الدرجات السابقة نظراً لغياب الطور ϵ الشكل (5)، وهذا يتفق مع نتائج الأبحاث [5,6]. لذلك ونظراً لعدم تشكل طبقة موحدة من $(Fe - \alpha)$ ، وإنما طبقة مسامية من الطور ϵ تستمر عملية التبردة لأن المسامات والفجوات في هذه الحالة تكون

مملوءة بالنيتروجين الجزئي تحت ضغط 30atm، تبين معدلات التآكل بمياه البحر تشكل طبقة سطحية تمنح الفولاذ المستخدم مقاومة أعلى للتآكل وتحمل الإجهادات مما يزيد من مدة فترة استخدامها.

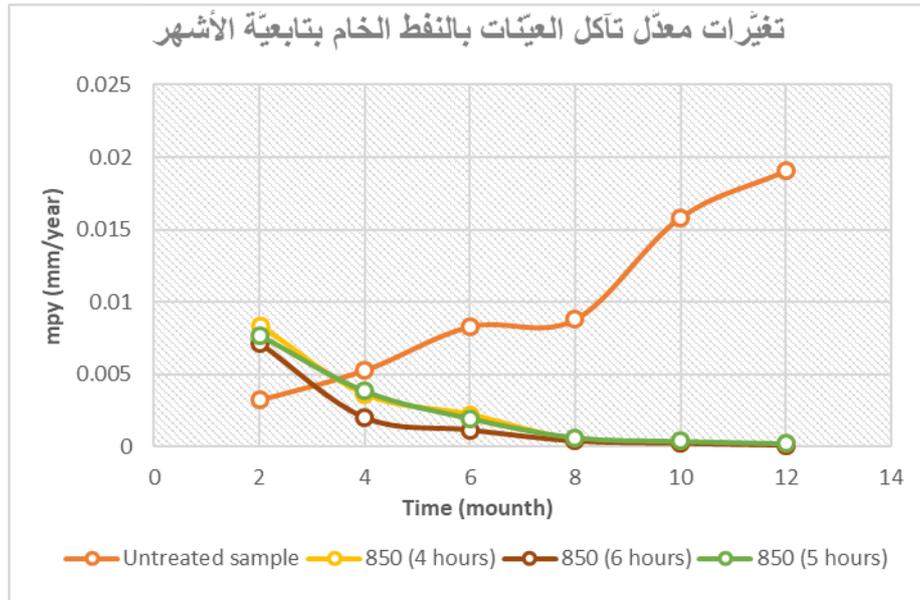


الشكل (5) يبيّن معدّل التآكل للعينات المغمورة بمياه البحر 950 °C
 يبيّن الشكل (6) معدّلات التآكل للعينات الفولاذية المعالجة والمغمورة في وسط تآكل النفط الخام عند درجة حرارة 750 °C حيث تظهر انخفاض معدّلات التآكل لتبلغ قيم أعظمية متقاربة أقل من 0.01mm/year خلال فترات التّرددة h (4-5-6).

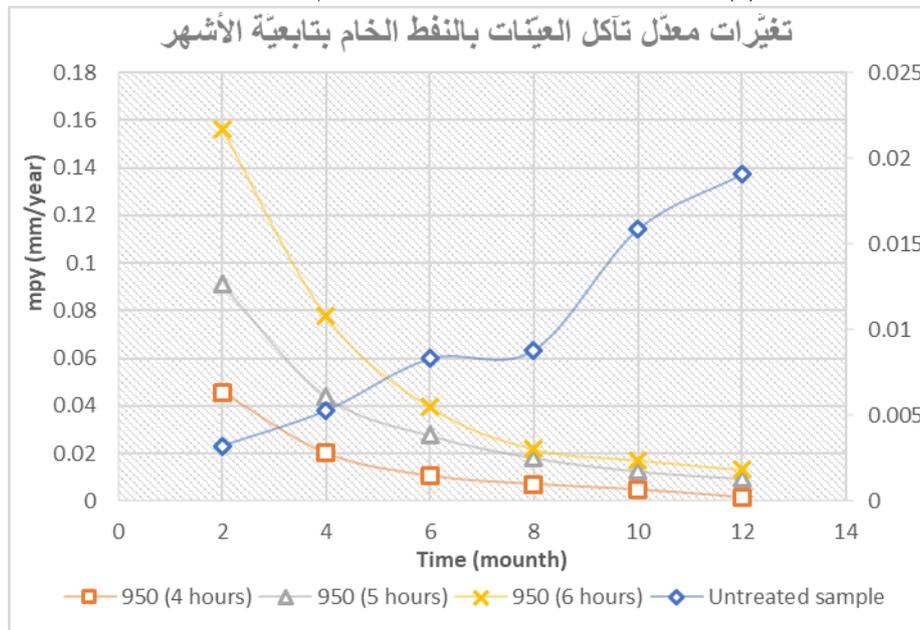


الشكل (6) يبيّن معدّل التآكل للعينات المغمورة بالنفط الخام 750 °C

عند ارتفاع درجة حرارة المعالجة إلى 950°C ($850-950$) نلاحظ انخفاض في معدلات التآكل وتتراوح القيمة الأعظمية للتآكل بقيم متقاربة أقل من 0.01mm/year للدرجة 850°C لتصبح ذات قيم أعلى عند ارتفاع درجة الحرارة إلى 950°C حيث بلغت 0.016mm/year بالنسبة للنتردة 6hours يعود ذلك لاختفاء الطور ϵ وحدوث تناقص في الكتلة وتخریب للبنية الخارجية للعينات، إذن نستنتج بالمقارنة بين معدلات التآكل في أوساط (مياه البحر - النفط الخام) الأثر الإيجابي للمعالجة الحرارية بالنتردة والذي يضيف طابع القساوة للبنية السطحية للعينات مما يجعلها أكثر قدرة على تحمل الإجهادات والتآكل عند مقارنتها بالعينات الغير معالجة كما هو موضح بالأشكال.



الشكل (7) يبين معدل التآكل للعينات المغمورة بالنفط الخام عند الدرجة 850°C



الشكل (8) يبين معدل التآكل للعينات المغمورة بالنفط الخام عند الدرجة 950°C

تبيّن نتائج التآكل بمياه البحر فاعليتها الكبيرة على تناقص الكتل للعينات المعالجة مقارنةً بنظيرتها في النّقط الخام نظراً للخسارة الكبيرة في وزن هذه العينات الذي يعود إلى الملوحة الكبيرة لمياه البحر في حين كان تناقص الكتل ذو قيم أقل عند الغمر بالنّقط الخام نظراً لتشبع سطوح العينات المعالجة بالنّقط عند الغمر لفترات طويلة مما يجعل معدّل الخسارة الوزنية أقل من نظيرتها الموافقة للغمر في مياه البحر.

4. الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال هذا البحث نتوصل إلى النتائج الآتية:

- تم التوصل إلى تأثير المعالجة الحرارية الغازية على خصائص وقياسات منطقة الانتشار التفاعلية في الفولاذ 410S، وذلك نتيجة تشكل مناطق مترابطة، متبوعة بمناطق منفصلة لأطوار ذاتية مستقلة ترافق العمليات المعقدة التي تحدث في الطور $\epsilon + \gamma'$ ، محاليل صلبة (نتريدات)، مسامات وفجوات (ثقوب) مملوءة بالنتروجين وغيرها، مما يساهم في ازدياد سماكة هذه الطبقة من 1.5 إلى 3 مرات.
- تم التوصل إلى أن النتردة الحرارية الغازية، بدلالة العامل الحراري تؤدي إلى تناقص معدّلات التآكل للعينات المعالجة مقارنة مع نظيرتها الغير معالجة مع الاحتفاظ داخل العينة بليونته ليكون قادراً على امتصاص الصدمات وتحمل الاجهادات الخارجية التي يمكن أن يتعرض لها أثناء الخدمة.
- تم التوصل إلى تأثير العامل الحراري على ازدياد مقاومة تآكل العينات بعد المعالجة الحرارية الغازية بفار الأمونيا من 2 إلى 3 مرات بعد غمرها في مياه البحر والنّقط الخام لمدة عام.
- توصي الدراسة المجراة في هذا البحث إلى عدم استخدام درجة الحرارة العالية والتي قد تصل إلى 950 °C لتأثيرها السلبي على هيكل العينات الخارجي والتناقص الكبير في كتلتها.
- إن بحث احتمالية وجود مسامات مغلقة مملوءة بالنتروجين الجزئي في الطور ϵ ، وتأثير وسط المعالجة، وتأثير الأوكسجين على النتردة الحرارية الغازية يتطلّب المزيد من الدراسة.

المراجع

- [1] David Pye. Steel Heat Treatment, *Metallurgy and Technologies*, Edited by George E. Totten CRC Press 2006, ٨٢١.
- [2] Piskovets V. M. - *The effect of thermohydrogen treatment on the mechanical and technological properties of low-carbon steel*, - Journal "metal and heat treatment of metals" , Moscow, Russia - № 6 , 2007, P. 25-27
- [3] Н.Фраге , Л.М. Капуткина , В.Г.Прокошкина . *Изменение фазового состава , структуры и твердости металлокерамики "карбид титана – высокоуглеродистая сталь при термической обработке.*-МиТОМ, Москва, Россия. - №4-2007 ,Ст. 11-15.
- [4] В.Г.Барьяхтар , Ю.М.Буравлёв , А.Г.Милославский , Н.П.Иваницын. *Проблемы оптимизации процессов газовой химико-физической (термической) обработки металлов и сплавов.*-Донецкий Национальный Университет , Украина, Донецк .-2009.- 180с.
- [5] П.И. Игнатенко, Н.П. Иваницын., *Физика прочности и пластичности кристаллов, Донецкий Национальный Университет , Украина, Донецк .-2005.- 277с.*
- [6] M. Goodarzi, S.P.H. Marashi, M. Pouranvari , *Dependence of overload performance on weld attributes for resistance spot welded galvanized low carbon steel .,* Journal of Materials Processing Technology , Moscow, Russia. - 2009, T 209.- № 9.P. 4379-4384.
- [7] Волосков С.А., Трусов В.А, Нижегородов С.Ю., *Коррозия сталей под воздействием микроорганизмов .- МиТОМ, Москва, Россия.- №4, 2008 , Ст.44-48.*
- [8] Buravlev Yu.M., Kushnir M.P., Miloslavski A.G. barhoum A .- *The peculiarities of formation the upper layers of steels after their gas chemical and physical treatment,- Bulletin of Donetsk National University, Series A. Natural Sciences,- Donetsk,- № 1 – 2010 , 107-111.*
- [9] Tao P , Yu H, Fan Y, Fu Y.- *Effects of cooling method after intercritical heat treatment on microstructural characteristics and mechhanical properties of as-cast high-strength low alloy steel.- Journal " Materials and Design " Elsevier Science Publishing Company, Inc. T.54 , 2014 , P. 914-923.*
- [10] Tao P , Yu H, Fan Y, Fu Y.- *Effects of cooling method after intercritical heat treatment on microstructural characteristics and mechhanical properties of as-cast high-strength low alloy steel.- Journal " Materials and Design " Elsevier Science Publishing Company, Inc. T.54 , 2014 , P. 914-923.*
- [11] Stephen C.D., *Galvanic Corrosion*, University of Delaware, U. S. A., 2003.
- [12] Ma H. Y., He Y. S., Lee K. Y., Shin K., *Effect of Heat Treatment on Microstructural Evolution of 13CrMartensitic Stainless Steel*, Key Engineering Materials, 2017, 727, 29-35.
- [13] Krishna S. C., Karthick N. K., Jha A. K., Pant B., Venkitakrishnan P. V., *Microstructure and Properties of Nitrogen-AlloyedMartensitic Stainless Steel*, Metallogr. Microstruct. Anal., 2017, 6, 425-432.