

## تأثير المعالجة الحرارية الغازية بغاز الأمونيا $NH_3$ على بعض خصائص طبقة الانتشار السطحية في الفولاذ 20

الدكتور عدنان ميني\*

الدكتور عفيف برهوم\*\*

بتول محمد\*\*\*

(تاريخ الإبداع 7 / 6 / 2015. قُبِلَ للنشر في 17 / 8 / 2015)

### □ ملخص □

قمنا في هذا البحث بدراسة تأثير المعالجة الحرارية الغازية بغاز الأمونيا  $NH_3$  على بعض خصائص طبقة الانتشار السطحية في الفولاذ 20 عند درجات حرارة  $(550, 650, 750, 850)^\circ C$  ، ولمدة  $4h$  لكل درجة حرارة ، وذلك بهدف زيادة القساوة المجهرية ، والمتانة ، ومقاومة التآكل .

تم قياس القساوة المجهرية بطريقة *Vickers* حيث وجدنا أنها تتراوح بين  $130HV$  و  $435HV$  ، وللتحقق من هذه المعطيات قمنا بدراسة البنية الدقيقة في طبقة الانتشار السطحية باستخدام المجهر التعديني، والماسح الإلكتروني. إضافة إلى ذلك، درسنا مقاومة العينات للتآكل بغمرها في مياه البحر لمدة عامين .

**الكلمات المفتاحية:** الفولاذ 20 ، القساوة المجهرية ، البنية الدقيقة، النتردة ، مقاومة التآكل.

\* أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

\*\* أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

\*\*\* طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

## **NH<sub>3</sub> Gas Effect of Gaseous Heat Treatment on some Properties Of Spreading (Diffusion) Surface Layer of Steel 20**

**Dr. Adnan Mini<sup>\*</sup>**  
**Dr. Afif Barhoum<sup>\*\*</sup>**  
**Batool Mohammad<sup>\*\*\*</sup>**

(Received 7 / 6 / 2015. Accepted 17 / 8 / 2015)

### **□ ABSTRACT □**

We have studied in this paper the effect of thermal gaseous using  $NH_3$  – gas at some diffusion layers properties of tool steel 20 in temperature range (550 ,650 ,750, 850) °C , 4h at each one . The purpose of this heat treatment is to get and determine the micro-hardness, fatigue and corrosion resistance.

The micro-hardness was determined using Vickers' tester with values ranged between ( 130-435 ) *HV*.

In order to verify these results, we studied the microstructure if the surface layers using metallurgical microscope and SEM (Scanning Electron Microscope). Furthermore the corrosion resistance was studied after immersing it in sea water for two year.

**Keywords:** steel 20 , hardness , micro-structure , nitriding , corrosion

---

<sup>\*</sup>Prof. Physics Department- Tishreen University- Lattakia – Syria

<sup>\*\*</sup>Prof. Physics Department- Tishreen University- Lattakia – Syria

<sup>\*\*\*</sup>MA Student - Tishreen University- Lattakia – Syria

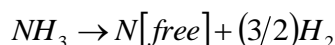
## مقدمة :

## القسم النظري :

تهدف النتردة الحرارية إلى تشكيل طبقة حماية بسماكات مختلفة أكثر صلابة تفيد في تحسين القساوة السطحية، ومقاومة التآكل والتحمل وغيرها. توجد الآن طرائق عديدة متاحة لتشكيل طبقات حماية لسطوح القطع المعدنية: CVD ، PDV ، التغليف السطحي الليزري ، التغليف الحراري ، الزرع الأيوني ، وطرائق المعالجة بانصهار السطوح باستخدام الحزم الالكترونية وغيرها.

إن تعديل الخواص البنوية والميكانيكية للأجزاء المعدنية في الاتجاه المطلوب، يعود في جزء منه إلى النتردة الحرارية ، التي يتغير بنتيجتها التركيب الكيميائي والمجهري ، إضافة إلى تغير خصائص طبقات الانتشار السطحية، وذلك نتيجة التفاعل مع الوسط المحيط سواء كان صلباً، أم سائلاً، أم غازاً، حيث تتغير الأطوار والبنية الدقيقة لهذه الطبقات [1-4] .

إن أهم عوامل النتردة الحرارية الغازية ، هي درجة حرارة التسخين ومدة التعرض للمعالجة . وتترافق عمليات النتردة الحرارية الغازية بثلاث عمليات هي: التفكك والامتزاز والانتشار، الشكل 1 ، الذي يبين مخطط تفكك ، امتزاز وانتشار  $NH_3$  في الفولاذ وآلية تشكل النتريدات في طبقة الانتشار السطحية عند النتردة الحرارية الغازية [1] . إن سرعات هذه العمليات الثلاث يجب أن تكون متناسقة . تسخن العينات أو الأجزاء المعدنية عند النتردة الحرارية الغازية في الأفران ، ويستخدم لهذا الغرض غاز النتروجين أو غاز الأمونيا. في بحثنا تم استخدام غاز الأمونيا  $NH_3$  بمثابة مصدر للنتروجين . ويتفكك غاز الأمونيا  $NH_3$  عند التسخين وفق المعادلة :

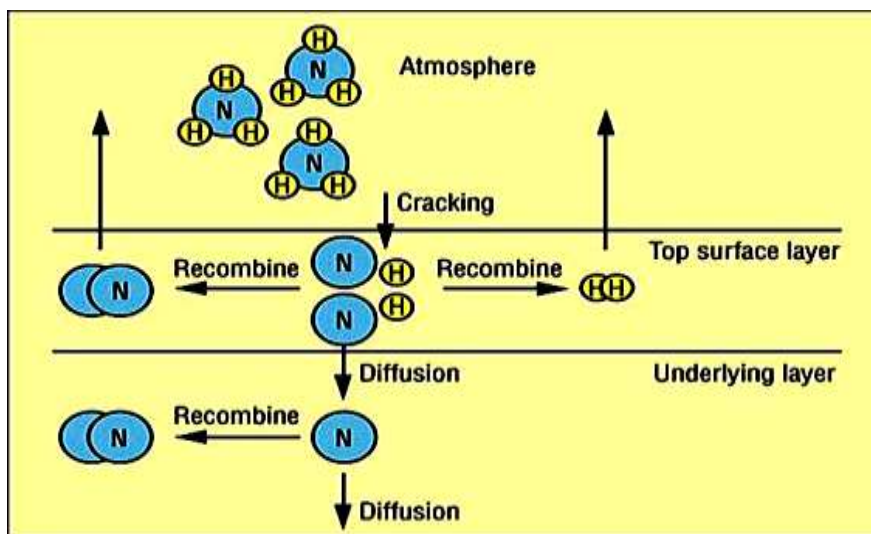


نتيجة عمليات التفكك والامتزاز والانتشار تنتشر الطبقات السطحية بعنصر النتروجين المتفاعل مع المعدن الأساس مما يؤدي إلى تشكيل محاليل صلبة أو مركبات كيميائية أو مخاليط ميكانيكية . تترافق عملية النتردة في النظام المستقر  $Fe-N$  بتشكيل عدة طبقات سطحية متتالية تحتوي على نوعين أو أكثر من النتريدات ، لأطوار نتريدية متوضعة على شكل طبقات سطحية تمثل خليط من  $Fe_{2-3}N$  للطور  $\epsilon$ -phase ، ثم طبقة  $Fe_4N + [N] \rightarrow 2Fe_2N$  ، و  $Fe_4N$  للطور  $\gamma'$ -phase ،  $4Fe + [N] \rightarrow Fe_4N$  ، ثم طبقة منفصلة من  $Fe_4N$  عائدة للطور  $\gamma'$  ، الناتج من التفكك اليوتكتيدي للطور  $\gamma$  وفق العملية  $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma'$  ، وتتوضع هذه الطبقات على الطبقة الداخلية التي هي عبارة عن محلول صلب من النتروجين في  $Fe - \alpha$  . تتغير نسبة وتركيب أطوار النتريدات اعتماداً على تركيب الفولاذ وسبائكه، حيث أن أغلب عناصر الإشبابة ( $Mo, Cr, Mn$ ) وغيرها باستثناء ( $Ti, Si, Al$ ) يخفض انحلال النتروجين في الطور  $\epsilon$  ،  $(Fe, M)_{2-3}(N)$  ، فيخفض محتوى النتروجين وسماكة الطبقة المنتردة، بينما وجود الألمنيوم والتيتانيوم والسليكون يزيد من سماكة طبقة الطور  $\gamma'$  مع تشكيل  $(Fe, M)_4N$  ، على شكل طبقات متشابهة مستمرة أو طبقات ( صفائح ) غير مستمرة تتوضع عند أطراف الانزياحات وحدود الحبيبات ، وكلما كانت العناصر المنتجة للنتريدات في الفولاذ وسبائكه أكثر ، كلما كان الطور  $\epsilon$  هو الطور السائد . يؤدي التركيز العالي للنتروجين في الطبقة المنتردة إلى تشكل نتريدات الطور  $(Fe_2N)$  ، والتي تترافق بتقصيف الطبقات السطحية وظهور المسامات ، فتتخفض لدونة هذه الطبقات وتظهر التصدعات السطحية، مما يؤدي إلى تحطمها [4].

إن تشكل السطوح المسامية مرتبط بالأطوار المستقرة، في مناطق الانزياحات وحدود الحبيبات وفي الفراغات المتطورة، حيث تتشكل مختلف أنواع المسامات الحاوية على كميات كبيرة من غاز النتروجين تحت ضغط عالٍ، في البداية بالشكل الذري ومن ثم بالشكل الجزيئي، حيث تتواجد على شكل نقط فردية منفصلة أو على شكل نظام متصل بقنوات عميقة تسبب تخريب عميق للسطح يمكن رصده عند التكبير البسيط [5].

وفق معطيات البحث [6]، تظهر المسامات المتشكلة في الطور الانتقالي  $\mathcal{E}$ ، ويبقى هذا الجزء من الطبقة بعد التبريد أحادي الطور، فتغيب المسامية في طبقة الطور  $\mathcal{E}$ ، ويزداد بالتبريد البطيء في هذه الطبقة الطور  $\gamma'$ ، ومع زيادة مدة التبريد لا تتغير سماكة الطور  $\mathcal{E} + \gamma'$ ، وإنما تزداد تصدعات الطور  $\mathcal{E}$  [7]، كما أن ازدياد محتوى الكربون في الفولاذ يزيد بشكل حاد من سماكة الطبقة المسامية، وغالبا ما تكون جدران حدود المسامات مؤكسدة عند التبريد في الهواء [8].

إن منطقة التبريد هي منطقة متعددة الأطوار، محاليل صلبة من نتريدات المعدن الأساس، النتريدات ونتريدات عناصر الإشابة، واستنادا إلى النشاط الكيميائي لعناصر الإشابة يمكن أن نميز بين منطقتين: منطقة التبريد من النوع الأول ومنطقة التبريد من النوع الثاني. تتشكل منطقة التبريد من النوع الأول في المعادن النقية تقنيا والسبائك التي تحوي كميات منخفضة من عناصر الإشابة ذات القدرة المنخفضة على تشكيل النتريدات بالمقارنة مع المعدن الأساس. تتكون في هذه الحالة منطقة الانتشار من محاليل صلبة من النتريدات، إضافة إلى نتريدات منطقة الانتشار تحت السطحية (مناطق التبريد الداخلية) للمعدن الأساس، وتتميز مناطق التبريد الداخلية من النوع الأول برقم قساوة منخفض لكنها تزيد من قدرة الفولاذ وسبائكه على التحمل. تتشكل مناطق التبريد من النوع الثاني في السبائك التي تكون فيها عناصر الإشابة على ألفة كيميائية مع النتروجين، فيزداد انحلال النتروجين بشكل ملحوظ وتكون حركته الانتشارية أكبر من الحركة الانتشارية لعناصر الإشابة، أما الطبقة التحت انتشارية (طبقة الانتشار الثانوية) فتتمثل مناطق التبريد الداخلية العائدة للنوع الثاني، وهي مكونة من محاليل صلبة لنتريدات الحديد العائدة للطور  $\gamma'$  ونتريدات عناصر الإشابة. تتشكل بسبب التغيرات المرافقة للمحاليل الصلبة في البداية مناطق مترابطة، ثم مناطق من نوع "غينير-بريستون"، مرفقة بمناطق منفصلة لأطوار ذاتية مستقلة. إن تشكل النتريدات يؤدي إلى انخفاض طاقة جيبس الحرة لا سيما عندما يصبح للأجنة (نوى البلورات - *nuclei of crystals*) شكل كروي (حالة التوازن)، ويرافق نمو الأجنة ذوبان الأقراص والمناطق ذات الشكل الصفائحي نتيجة انفصال النتريدات وإفقار المحاليل الصلبة وعناصر الإشابة من النتروجين [9 - 15]. من هنا جاء هذا البحث ليكون مكرساً لدراسة تأثير تشبع طبقة الانتشار السطحية للفولاذ 20 بالنتروجين من الطور الغازي باستخدام الطريقة التقليدية للتبريد الحرارية الغازية باستخدام فرن أنبوبي كهربائي عادي وذلك في الوسط المحيط.



شكل 1. مخطط تفكك، امتزاز وانتشار  $NH_3$  في الفولاذ [1]

## أهمية البحث وأهدافه:

- تتمثل أهمية البحث في دراسة تأثير النتردة الحرارية الغازية بغاز الأمونيا  $NH_3$  على بعض خصائص طبقة الانتشار السطحية في الفولاذ 20 ، بهدف زيادة القساوة المجهرية ، وتحسين الخصائص البنيوية مع بقاء جزءها الداخلي على ما هو عليه من ليونة مما يكسب الطبقة السطحية لهذا النوع من الفولاذ خصائص تتمثل في مقاومة الاحتكاك ، والتآكل ، والقدرة على امتصاص الصدمات التي يتعرض لها أثناء الخدمة ، من هنا كان هدف هذه البحث:
- 1- قياس القساوة المجهرية في طبقة الانتشار السطحية للفولاذ 20 بعد النتردة الحرارية الغازية ، بطريقة Vickers باستخدام جهاز  $PMT-3$  microhardness .
  - 2- دراسة تأثير النتردة الحرارية الغازية على البنية الدقيقة باستخدام المجهر التعديني  $MIM-7$  Optical microscope ، والماسح الإلكتروني  $Scanning microscope$  .
  - 3- دراسة مقاومة العينات للتآكل بعد النتردة الحرارية الغازية بغمرها في مياه البحر المتوسط لمدة عامين بطريقة الوزن العادية باستخدام ميزان حساس نوع  $Sartorius TE65(60g \times 0.1 mg)$  .

## 2. القسم التجريبي:

### 1.2. القساوة المجهرية للعينات:

تم قياس القساوة المجهرية للعينات المدروسة بطريقة **Vickers** باستخدام حمولات صغيرة  $P=50gr$  ، بزمن تحميل  $(10 sec)$  . وتمثل قساوة المواد النسبة بين التحميل ومتوسط مربع قطري الأثر المطبوع  $d^2$  على سطح العينة المراد قياس قساوتها . ويعطى رقم القساوة  $HV$  بالعلاقة الآتية [3-4]:

$$HV = \frac{2p \sin(\alpha/2)}{d^2} = 1.8544 \frac{P}{d^2} \text{ N/mm}^2 , \quad \alpha = 136^\circ$$

### 2.2. طريقة البحث :

حضرت العينات على شكل أسطوانات أنصاف أقطارها  $4mm$  وارتفاعها  $30mm$ . ويبين الجدول (1) التركيب الكيميائي لهذه العينات. جرى تنظيفها جيدا، ووضعت في أنبوبة من الكوارتز لمدة  $30min$  داخل حجرة التسخين في فرن أنبوبي كهربائي عادي عند درجة حرارة الغرفة. خلال ذلك ضخ غاز الأمونيا إلى الوسط العامل لإخراج الهواء الجوي من النظام. ثم أجريت النتردة بغاز  $NH_3$  عند درجات الحرارة  $0, 650, 750, 850$  °C، ولمدة  $4h$  لكل درجة حرارة، وتم قياس درجة الحرارة في منطقة العمل باستخدام مزدوجة كهراحرارية من البلاتين وبدقة  $\pm 5$  °C. سرعة تدفق الغاز إلى حجرة التسخين  $15 cm^3/min$ . بعد الانتهاء من عملية المعالجة تركت العينات داخل حجرة التسخين لتبرد مع الفرن إلى درجة حرارة الغرفة بمعدل  $50$  °C/h، وبعد أخراج العينات من حجرة التسخين تم تحضير وصلف مقطوعها العرضي بشكل جيد لقياس القساوة المجهرية، وإظهار سطحها بمزيج  $98\%$  من الكحول الأيثيلي و  $2\%$  من حمض الآزوت  $HNO_3$  ولمدة  $15sec$ ، وذلك لدراسة البنية الدقيقة باستخدام المجهر التعديني والماسح الإلكتروني. ولدراسة مقاومة التآكل تم استخدام ميزان حساس نوع Sartorius TE65(60g x 0.1 mg)، وذلك لقياس مقدار التغير في كتلة العينات التي تم غمرها في مياه البحر لمدة عامين، ويدور قدره ثلاثة أشهر.

يبين الجدول 1 التركيب الكيميائي للعينات المدروسة.

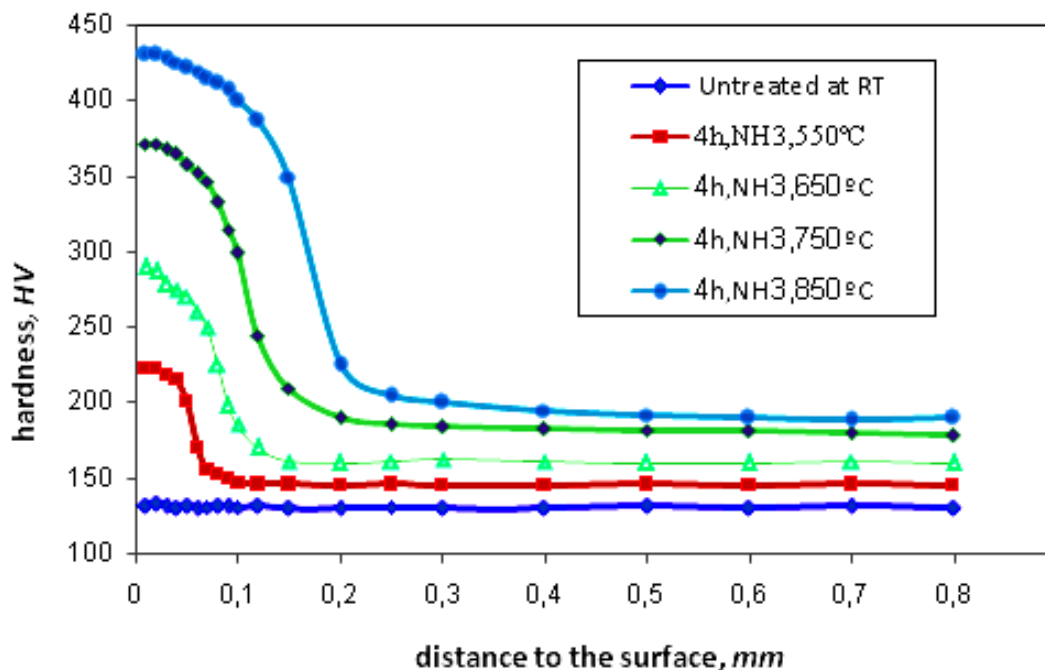
جدول(1). التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ 20

Elements	C	Si	Mn	Ni	S	P	Ti	Cu	As	rest
%W	0.18	0.24	0.43	0.16	0.02	0.03	0.14	0.21	0.06	Fe

## النتائج والمناقشة:

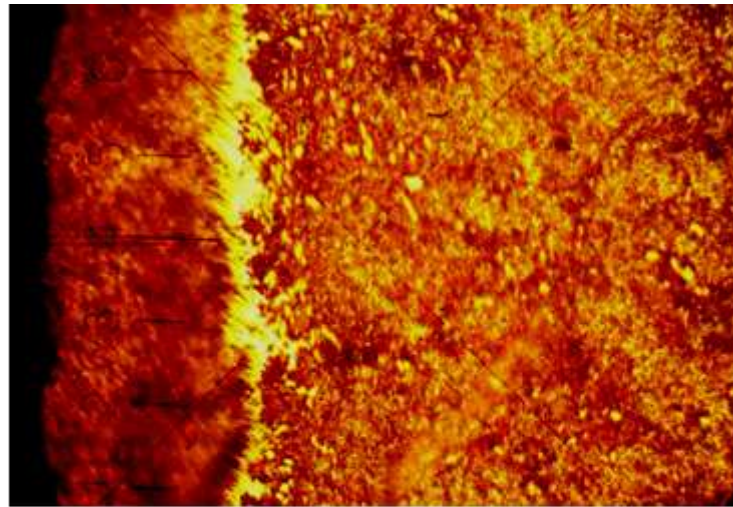
يبين الشكل 2 نتائج توزيع القساوة المجهرية بدلالة سماكة طبقة الانتشار السطحية في الفولاذ 20 بعد النتردة الحرارية الغازية بغازات  $NH_3$  عند درجات حرارة  $0, 550, 650, 750, 850$  °C) ولمدة  $4h$  لكل درجة، ويتضح من الشكل أن القساوة المجهرية عند درجة الحرارة  $550$  °C، تتأرجح بين  $130HV$  و  $240HV$  في طبقة سطحية تصل سماكتها  $50\mu m$  ~ وتعود المساهمة الرئيسية في ازدياد القساوة المجهرية بمقدار  $90HV$  إلى الطور  $\epsilon - Fe_{2-3}N$ . بزيادة درجة الحرارة إلى  $650$  °C تزداد القساوة المجهرية بمقدار  $130HV$  في طبقة انتشار سطحية تصل سماكتها  $90\mu m$  ~ وهذا مرتبط بالمسامات المتولدة في الطور  $\epsilon - Fe_{2-3}N$ ، أي بالقساوة بين المناطق المسامية والفجوات (التقوب) المملوءة بالنتروجين الذي، ومع ارتفاع درجة الحرارة إلى  $750$  °C نلاحظ أن القساوة المجهرية تزداد من  $135HV$  إلى  $375HV$ ، أي تزداد أكثر من 2.5 مرة، وتزداد معها سماكة الطبقة المنتrede إلى  $160\mu m$  ~. تعود المساهمة الرئيسية في ازدياد القساوة إلى الطور  $\epsilon - (Fe, M)_{2-3}(N)$  الذي ينشط فيه انحلال النتروجين وحركة انتشاره بشكل ملحوظ نتيجة مشاركة بعض عناصر الإشابة مثل التيتانيوم  $Ti$  والسليكون  $Si$  والتي هي على ألفة كيميائية مع النتروجين في عمليات النتردة (نتردة من النوع الثاني)، وبارتفاع درجة الحرارة إلى  $850$  °C يغيب عملياً الطور  $\epsilon - phase$ ، وتزداد القساوة المجهرية تقريبا 3.5 مرة لتصل إلى  $435HV$ ، وسماكة طبقة الانتشار  $200\mu m$  ~. تعود المساهمة الرئيسية في ازدياد كل من القساوة المجهرية وسماكة طبقة الانتشار إلى الطور  $\gamma' - phase$ ،  $4Fe + [N] \rightarrow Fe_4N$ ، الناتج من التفكك اليوتكتويدي

للطور  $\gamma$  وفق المعادلة  $\gamma \rightarrow \alpha + \gamma'$  محاليل صلبة من النتريدات  $[Fe_4N + (Fe, M)_4N]$ ، وهذا ما يتفق مع نتائج الأبحاث [10-15].

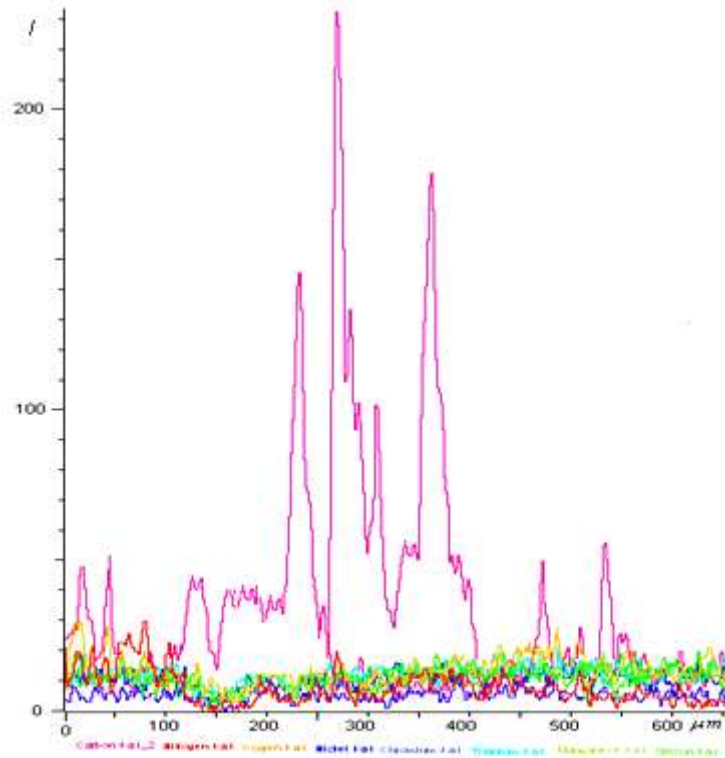


شكل 2. تغير القساوة المجهرية للفولاذ 20 بدلالة سماكة طبقة الانتشار السطحية

بهدف التحقق من هذه المعطيات قمنا بدراسة البنية الدقيقة لعينات الفولاذ 20 باستخدام المجهر التعديني . ويبين الشكل 3a تغير البنية الدقيقة عند درجة حرارة  $850^{\circ}C$  بعد النتردة الحرارية الغازية بغاز الأمونيا  $NH_3$  لمدة 4h . يتضح من هذا الشكل أن سماكة طبقة الانتشار مقاسه من سطح العينة مباشرة تصل إلى  $200 \mu m$  ~ وهي طبقة غنية بأطوار النتريدات المختلفة ، وتمثل خليط من  $Fe_{2-3}N$  العائد للطور  $\epsilon$ - phase و  $Fe_4N$  ، شكل 3b ، تم استخدام الماسح الإلكتروني ، ويتضح من هذا الشكل أن طبقة الانتشار السطحية المتشكلة مؤلفة من عدة طبقات تعود لأطوار مختلفة نتيجة العمليات المعقدة التي ترافق عملية المعالجة الحرارية الغازية ، يلي ذلك، الطبقة الداخلية للعينة والتي بقيت تقريبا على ما هي عليه من خواص . نلاحظ أن نتائج توزيع عناصر الإشابة الرئيسية في طبقة الانتشار السطحية التي تم التوصل إليها باستخدام الماسح الإلكتروني تتوافق مع نتائج قياس القساوة المجهرية ونتائج دراسة البنية الدقيقة للعينات المدروسة .



(a)

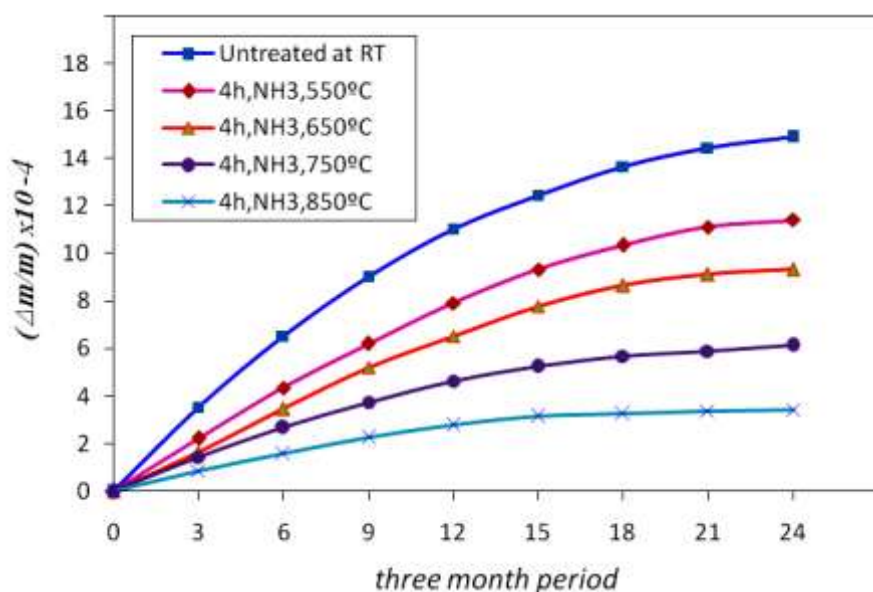


(b)

شكل 3. البنية الدقيقة للفولاذ 20 ، وتوزع عناصر الإشابة الرئيسية .  
(a) البنية الدقيقة بعد النتردة  $850^{\circ}C$  ، لمدة 4h ، (x 300) ،  
(b) توزع عناصر الإشابة الرئيسية في طبقة الانتشار السطحية بعد النتردة بغاز الأمونيا  $NH_3$  ،  $850^{\circ}C$  ، ولمدة 4h .



يبين الشكل 4، مقاومة عينات الفولاذ 20 للتآكل بمياه البحر المتوسط ، والذي يتضح منه أن مقاومة العينات للتآكل عند  $550^{\circ}\text{C}$  تزداد تقريبا 1.5 مرة ، ربما يعود ذلك إلى المسامات والفجوات (الثقوب) المتولدة في الطور  $\epsilon - \text{Fe}_{2-3}\text{N}$  . ومع ارتفاع درجة الحرارة لمعالجة إلى  $850^{\circ}\text{C}$  نلاحظ أن مقاومة التآكل تزداد تقريبا أربع مرات، هنا تعود المساهمة الرئيسية في ازدياد مقاومة التآكل للطور  $\gamma'$  ، [ محاليل صلبة من  $\gamma' - (\text{Fe}, \text{M})_4\text{N}$  ، وإلى غياب الطور  $\epsilon$  وتشكل طبقات أكثر تجانسا نتيجة ازدياد إزاحة النيتروجين للكربون من طبقة الانتشار وحركة الأخير باتجاه داخل العينة .



شكل 4. تأثير التردد الحراري الغازية على مقاومة عينات الفولاذ 20 للتآكل بغيرها في مياه البحر الأبيض المتوسط لمدة سنتين بدور قدره ثلاثة أشهر .

### الاستنتاجات والتوصيات:

نستنتج من هذا البحث الآتي :

- 1- تم التوصل إلى أن التردد الحراري الغازية تؤدي بدلالة العامل الحراري إلى أزيد القساوة المجهرية في طبقة الانتشار السطحية تقريبا 3.5 مرة ، وأزيد قياسات هذه الطبقة تقريبا 4 مرات ، وذلك نتيجة العمليات المعقدة التي تجري في الطور  $\epsilon + \gamma'$  .
- 2- تم التوصل إلى أن التردد الحراري الغازية تؤدي بدلالة العامل الحراري إلى أزيد مقاومة تآكل العينات المدروسة عند غمرها في مياه البحر المتوسط تقريبا 4 مرات .
- 3- إن بحث احتمالية وجود مسامات وفجوات مغلقة في طبقة الانتشار السطحية مملوءة بالنيتروجين الذي ، وتأثير الأكسجين على عمليات المعالجة يتطلب المزيد من الدراسة.

## المراجع:

- 1- Danial H. Herring ., *Principles of Gas Nitriding , part 2 .*, by: Danial H. Herring , - Industrial Heating , vol.78 , 2011., Issus 5 , 53
- 2- Goodarzi M.; Marashi S.P.H.; Pouranvari M., *Dependence of Overload Performance on Weld Attributes For Resistance Spot Welded Galvanized Low Carbon Steel*, Journal of Materials Processing Technology , Moscow. T 209.- № 9. 2009 , 4379-4384.
- 3- Buravlev Yu.M.; Kushnir M.P.; Miloslavski A.G., *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.
- 4-Yakub Adesoca TijaniI, *Modeling and Simulation of Thermochemical Heat Treatment Processes (A Phase Field Calculation of Nitriding in Steel)*,Dissertation , Bremen , Germany, 2008, p.10, Uni.
- 5-Matijevic B. ; *A Study of Growth of Boride Layer on The Surface of Carbon Steels*, Metal and Heat Treatment of Metals , Moscow. № 5, 2014, 41-45
- 6- Toro, A. Sinatra, D.K. Tanaka , A. P. , *Tschiptschin . Carrosion – Erosion of Nitrogen Bearing Martensitic Stainless Steels in Seawater–Quartz Slurry* , Wear251, 2001, 1257-1264.
- 7- 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., T 209.- № 9 , 2009,P. 4379-4384.
- 8- David Pye., *Steel Heat Treatment , Metallurgy and Technologies* , Edited by George E. Totten CRC Press . , 2006 ,p. 821A.
- 9- Ratajski, J. *Model of Growth Kinetics of Nitrided Layer in The Binary Fe-N System*. Zeitschriftfur Metallkunde, , 2004,P.23-29.
- 10-Burakowski, T. ;Wierchoń,T ., *Surface Engineering of Metals: Principles, Equipment, Technologies*; Taylor and Francis Group, LLC: Boca Raton, FL, USA, 2008 ,P.108-113
- 11- Zolotarevskii N.Y., Panpurin S.N., Titoets Y.F., Zisman A.A., Golosienko S.A., Khlusova E.I., *Effect of The Grain Size and Deformation Substructure of Austenite on The Crystal Geometry of Bainite and Martensite in Low-Carbon Steels*, Metal Science and Heat Treatment, Moscow. № 9-10, 2014, 550-558 .
- 12- Amini Kamran, Hoda Mohammad Reza, Shafyei Ali , *Investigation of the Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties and Microstructure of DIN 1.4057 Martensitic stainless steel* , Metal and Heat Treatment of Metals , Moscow. №9, 2013, 44-48
- 13- Malov V.S., Vasil'ev V.A , *Effect of reduction ratio and heat treatment on mechanical properties of forgings from steel 14Kh17N2* , Metal and Heat Treatment of Metals , Moscow. №4, 2014, 33-35 .
- 14- Руденький С.Г. , *Вакуумно-активированное хромирование стали 20 в нанокристаллическом прошке*, НИЦ "Харьковский физико - технический институт" , 2012, 29-35
- 15- Grebenkov S.K., Shatsov A.A., Ryaposov I.V., *Strain Hardening of Low-Carbon Martensitic Steels With Manifested Structural Inheritance*, Metal Science and Heat Treatment, Moscow. № 11-12, 2014, 608-613