

دراسة التغيرات البنيوية ضمن طبقة الانتشار السطحية في الفولاذ الكربوني ST-20 المعالج بالتردد الحراري الغازية التقليدية في جو غاز الأمونيا NH_3

د. عدنان ميني*

د. عفيف برهوم**

بتول محمد***

(تاريخ الإيداع 12 / 2 / 2019. قُبل للنشر في 30 / 6 / 2019)

□ ملخص □

درسنا في هذا البحث تأثير المعالجة الحرارية الغازية بغاز الأمونيا NH_3 ضمن فرن حراري على بعض خصائص طبقة الانتشار السطحية في الفولاذ، وذلك عند درجات حرارة نتردة $(550,650,750,850,950)^\circ C$ ، ولأزمنة معالجة $(1,2,3,4,5,6,7,8)h$ لكل درجة حرارة نتردة، تم قياس القساوة المجهرية لكل عينة من هذه العينات بطريقة Vicker's، حيث وجدنا أنها تتراوح بين 130HV و 482HV. كما قمنا بدراسة البنية الدقيقة المتشكلة في طبقة الانتشار السطحية باستخدام جهاز قياس طيف الأشعة السينية بطريقة XRD وباستخدام المجهر الضوئي. وتم التحقق من تزايد سماكة طبقة الانتشار المقساء بازدياد درجة الحرارة، وظهر طوري النتردة معاً $\gamma' - Fe_4N$ و $\epsilon - Fe_{2-3}N$ في الطبقات السطحية الأكثر قساوة. كما ظهرت بنية البينيت Fe_3C Bainite من أجل درجة حرارة النتردة $750^\circ C$. توصلنا إلى ازدياد القساوة السطحية بازدياد سماكة طبقة الانتشار وتغير هذه القساوة بتغير تراكيب الأطوار في الطبقة السطحية.

الكلمات المفتاحية: الفولاذ الكربوني، الطبقة السطحية، القساوة المجهرية، البنية الدقيقة، سماكة الطبقة، النتردة.

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

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

*** طالبة ماجستير - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

A Study of Structural Changes Embed in Surface Diffusion Layer of Carbon Steel ST-20 Nitrided in Ammonia Furnace NH_3

Dr. Adnnan Mini *

Dr. Afif Barhoum **

Batool Mohammad ***

(Received 12 / 2 / 2019. Accepted 30 / 6 / 2019)

□ ABSTRACT □

We have studied in this paper the effects of thermal gaseous treatment using NH_3 – gas in thermal furnace , those effects are on diffusion layers properties of carbon steel nitrided in temperatures (550 ,650 ,750, 850,950) °C, at (1,2,3,4,5,6,7,8)h for each temperature. The micro-hardness was determined using Vickers's tester with results value ranged between (130-482) HV. We studied the formed microstructure of the surface layers by using X-ray diffraction technique **XRD**, the profile of surface layers was studied by metallurgical microscope. We verify the increase of thickness hard diffusion layer as increase of nitride temperature. Nitrided phases $\gamma' - Fe_4N$ and $\epsilon - Fe_{2-3}N$ appeared in microstructure, while the **Bainite** structure Fe_3C appeared when temperature increased up to 750°C. The results showed that the hardness increased by increasing in nitride diffusion layer and changing of phases suites.

Keywords: carbon steel, hardness, micro-structure, thickness layer, nitriding

* Prof. Physics Department- Tishreen University- Lattakia – Syria

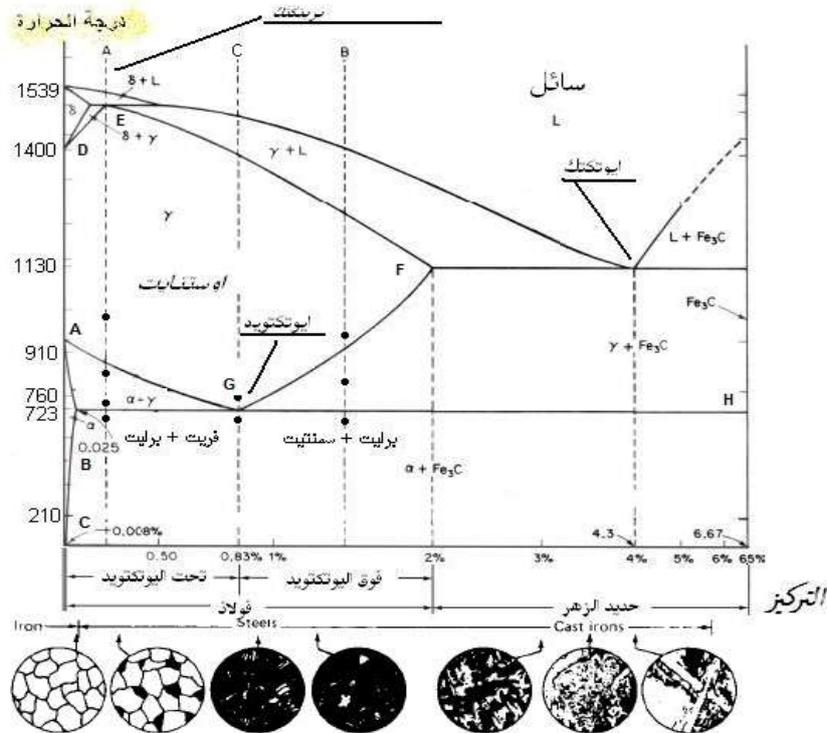
**Prof. Physics Department- Tishreen University- Lattakia – Syria

*** Postgraduate Student - Tishreen University- Lattakia – Syria

مقدمة:

تعتبر سبائك وخلات الحديد المادة الأساسية والأكثر استخداماً في الصناعة، مثل صناعة هياكل السيارات والسفن والطائرات، وتمتاز هذه الخلطات والسبائك عن الحديد النقي بخواص ميكانيكية كالمرونة واللدونة. تتعلق خواص وسلوك الأجسام الصلبة ببنيتها الداخلية، وهذا يمكننا من فهم البنية المجهرية ومنشئها، مما يتيح لنا الحصول على بيانات تعطينا ميزات العينة من أجل التطبيقات المنشودة. يهدف الفحص المجهري لبنية المعدن وخلاتيه (Metallography) إلى دراسة العلاقة بين خواصه البنيوية المميزة له وبين خواصه الفيزيائية. وترتبط خواص المواد مباشرةً ببنيتها البلورية. [1-3]

تملك جميع المعادن النقية والسبائك مخططات أطوار أو بني خاصة، ويتم توضيح تركيب بنيتها من خلال شرح مخطط أطوار لها، الذي يمثل تغيرات الطور بتغير درجة الحرارة مع الزمن. [4,5] إن مخطط الطور هو تمثيل بياني لدرجة حرارة التوازن ولحدود المركب لمجالات الطور وتفاعلاته. ويمثل مخطط الحديد - سمنتيت تغيرات الأطوار اعتماداً على تغيرات درجة الحرارة مع نسبة الكربون. يوضح الشكل (1) بنية الحديد وكربيداته، كما يبين الأطوار الموجودة عند كل درجة حرارة، ويبين أيضاً كل حد من حدود التركيب لكل طور [1-5]. تحدث ظاهرة التغلغل الذري بشكل عام في أغلب المواد التي تتم معالجتها حرارياً، وتعتبر عملية التغلغل هامة، حيث ترتبط بكل من درجات حرارة المعالجة، وبالزمن، وبمعدل التبريد.



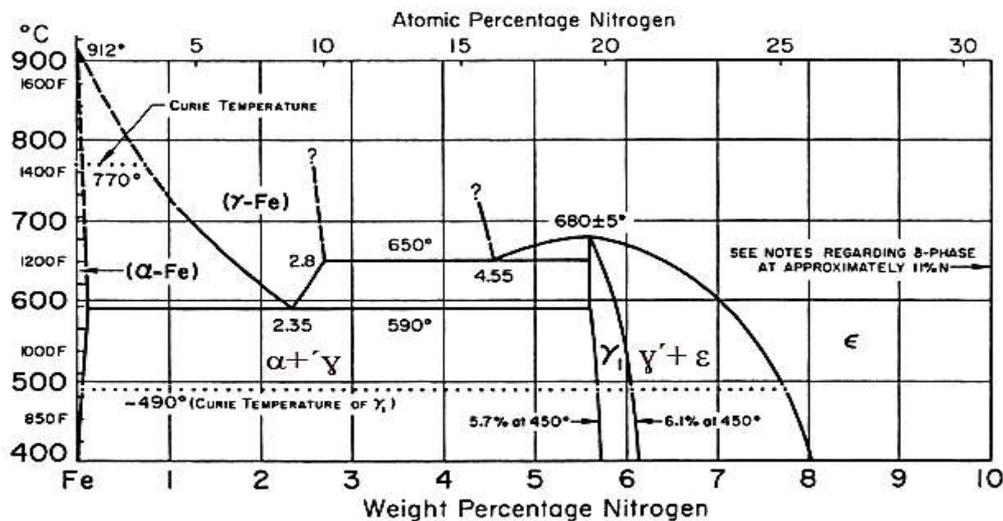
الشكل (1): مخطط أطوار حديد- كربون

تترافق عملية التغلغل هذه بعدد من عمليات التفاعل (اتحاد، تفكك) في معالجة المواد. تعتمد هذه المعالجة الحرارية على نقل الكتلة من وسط سائل، أو صلب، أو غازي إلى وسط في الطور البلوري في الجسم الصلب. تعتمد هذه المعالجة الحرارية على نقل الكتلة من وسط سائل، صلب، أو غازي إلى وسط في الطور البلوري ضمن الجسم الصلب. إن النتردة هي عبارة عن طريقة كيميائية حرارية فرايتية Ferritic thermochemical لتغلغل النتروجين الوليد إلى داخل سطح الفولاذ والحديد، وتكون عملية التغلغل هذه قائمة على ذوبانية النتروجين في الحديد [6]. إن الأطوار الأساسية التي تتشكل خلال نتردة الحديد والمواد الحديدية (فولاذ) هي:

أ. الطور الأول المتشكل: محلول صلب من حديد ألفا (α) ويمتلك هذا الطور انحلالية عظمى للنتروجين $0.11\text{wt}\%$

ب. الطور الثاني المتشكل: هو غاما فتحة (γ') وهذا الطور يملك مجالاً انحلالياً للنتروجين $5.1-6.1\text{wt}\%$ ، ويعتمد ذلك على درجة الحرارة والذي يُمثل بالصيغة Fe_4N .

ج. أما الطور الثالث فهو الإيسيلون (ϵ) والذي يُمثل بالصيغة $\text{Fe}_3\text{-}_2\text{N}$ ويمكن له أن يمتلك محتويات توازن نتروجين $7-8\text{wt}\%$ وهذا يعتمد على درجة الحرارة عند كل شكل. تم توضيح أطوار هذه العملية في مخطط التوازن حديد-نتروجين (الشكل 2). [7]



الشكل (2): مخطط أطوار حديد-نتروجين

أهمية البحث وأهدافه

أهمية البحث

تتمثل أهمية البحث في دراسة تأثير النتردة الحرارية الغازية بغاز الأمونيا NH_3 عند درجات حرارة C° (550، 650، 750، 850، 950) ولأزمنة معالجة h (1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8) لكل درجة حرارة على بعض خصائص طبقة الانتشار التفاعلية في الطبقة السطحية للفولاذ St-20، وذلك بهدف زيادة القساوة المجهريّة وتحسين الخصائص البنيوية للفولاذ مع الإبقاء على ما هو عليه من ليونة داخلية، مما يُكسب الطبقة السطحية لهذا النوع من الفولاذ خصائص تتمثل في مقاومة الاحتكاك والتآكل، والقدرة على امتصاص الصدمات التي تتعرض لها أثناء الخدمة. من هنا كانت أهداف البحث وفق الآتي:

أهداف البحث:

دراسة تأثير معاملي زمن ودرجة حرارة النتردة الحرارية الغازية بغاز الأمونيا NH_3 على:

- 1- القساوة المجهريّة في طبقة الانتشار السطحية للفولاذ ST-20 بطريقة فيكرز Vickers.
- 2- البنية الدقيقة للفولاذ 20 باستخدام مجهر ضوئي انعكاسي من النوع SCO، وجهاز التحليل الطيفي XRD.
- 3- ربط المتغيرات البنيوية بتغيرات القساوة السطحية وعمق طبقة التقسية المتشكلة بعد المعالجة.

طرائق البحث ومواده

قُمتا بتحضير عيناتنا من قطعة فولاذ St-20 على شكل منوازيات مستطيلات أبعاد كل منها (5x6x30) mm وذلك باستخدام منشار حديد وملزمة تثبيت، ثم صقلها وشحذها يدوياً للتخلص من الزوايا غير المرغوب بها، باستخدام مبرد وأوراق الصنفرة وتنظيفها من الأوساخ والشحوم العالقة بها ثم القيام بتعريضها للمعالجة الحرارية الغازية. وضعت العينات في داخل حجرة التسخين في فرن معالجة كهربائي (حجم بوتقة النتردة المستخدمة 8.66 Lit) معزول حرارياً عند درجة حرارة الغرفة. يتم تغيير الجو ضمن البوتقة 4 مرات في الساعة الواحدة بمعدل تدفق غاز النشادر إلى داخل الفرن 35 Lit/hour.

تم ضخ غاز النتروجين إلى وسط الفرن لمدة 20min عند بداية المعالجة وعند نهايتها وذلك بهدف إخراج الهواء الجوي من وسط الفرن محكم الإغلاق. تم التسخين بمعدل $5C^{\circ}/min$ بدءاً من درجة حرارة الغرفة حتى الوصول إلى درجة حرارة المعالجة المطلوبة C° (550، 650، 750، 950) وعندها يتم تثبيت درجة حرارة الجو ضمن الفرن لزمن المعالجة المطلوب h (1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8) وذلك من أجل كل عينة. تم في نهاية المعالجة إيقاف ضخ النشادر والبدء بتبريد حر متزامن مع ضخ نتروجين لمدة 20 min.

تُركت العينات بعد الانتهاء من عملية النتردة داخل حجرة التسخين لتبرد تبريداً حرّاً مع الفرن حتى تصل إلى درجة حرارة الغرفة.

تم قص كل عينة بعد إخراجها من حجرة التسخين بغية دراسة القساوة المجهريّة لها، وتثبيتها على حوامل اسطوانية، ثم صقل مقطعها العرضي بشكل جيد بواسطة الشحذ والتلميع ومسحها بمزيج 98% من الكحول الأيثيلي و2% من حمض الآزوت. ثم غُسلت هذه العينات بالماء وجففت بالهواء. تم استخدام جهاز قياس القساوة فيكرز Vicker's

Indenter من النوع FRANK لقياس القساوة المجهرية لعيناتنا، وذلك عند حمولة قدرها 100gr، في مدة تحميل (20sec). ومن ثم تم قياس قطر الطبعة عند التكبير 200X، ثم أخذ القطر الوسطي للطبعة لكل طبعة من الطبقات المطبقة على العينة بدءاً من سطحها نحو داخلها بمعدل 0.01mm لكل خطوة بين كل طبعة والتي تليها **step by step**.

حسبنا القساوة المجهرية اعتماداً على العلاقة: [8,9]

$$HV = 1.8544 (P/\langle d \rangle^2) \quad (2)$$

حيث P الحمولة، d القطر الوسطي للطبعة.

قمنا بتحليل الأطوار البلورية المتشكلة في العينات المنتردة عند الدرجات °C550 و °C650 و °C750 ولأزمنة (3, 4, 5, 6) لكل درجة حرارة. وذلك بإجراء قياسات انعراج الأشعة السينية على هذه العينات باستخدام جهاز انعراج أشعة سينية XRD من النوع XYLON smart 583. قمنا بتحليل أنماط انعراج الأشعة السينية لهذه العينات باستخدام برنامج X'Pert High Score Plus الذي يحدد الأطوار المتشكلة والمجموعات النقطية كما يعطي التحليل البلوري لها.

قمنا بتصوير البنية الدقيقة للعينات بواسطة مجهر ضوئي انعكاسي ماركة (SCO) بدقة تكبير بمقدار (150X)، بهدف توضيح أثر التردد على طبقة الانتشار، ويظهر في الصور المجهرية طبقة الانتشار المتشكلة ضمن الطبقة السطحية لعينات الفولاذ المنترد عند درجات حرارة °C (750, 950) ولأزمنة نتردة h (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

النتائج والمناقشة:

تم رسم المنحنيات البيانية الممثلة لتغير القساوة المجهرية بتغير عمق طبقة الانتشار السطحية وفق المخططات البيانية ونعرضها في الشكل (3) الذي يبين منحنيات تجريبية لتغيرات قيم القساوة المجهرية بتابعية عمق طبقة الانتشار للعينات المنتردة عند درجات الحرارة °C (550, 650, 750, 850, 950) ولأزمنة نتردة h (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) عند كل درجة حرارة. ننتين من المنحنيات التجريبية الموضحة في الشكل (3) ما يلي:

▪ إن قيمة القساوة المجهرية تكون عظمى عند سطح العينة وتتناقص قيمة هذه القساوة بشكل سريع ابتداءً من السطح، ثم تثبت هذه القيم من أجل نقاط في عمق الطبقة لكل عينة، حيث نلاحظ أن جميع المنحنيات البيانية تُبدي انخفاضاً واضحاً لقيم القساوات ضمن مجالات عمق طبقة انتشار لكل درجة حرارة وفق القيم كما يلي:

▪ يكون مجال عمق طبقة انتشار μm (30-110) من أجل العينات المنتردة عند الدرجة °C 550 ، ويكون للعينة المنتردة عند الدرجة °C 650 مجال عمق للطبقة μm (40-130) ، ويكون للعينة المنتردة عند الدرجة °C 850 مجال عمق للطبقة μm (60-150) ، أما العينة المنتردة عند الدرجة °C 750 يكون لها مجال عمق للطبقة μm (70-160) ، بينما يكون للعينة المنتردة عند الدرجة °C 950 مجال عمق طبقة الانتشار يتراوح بين μm (80-190) . تتميز الطبقة السطحية للعينات المنتردة عند درجات الحرارة °C (750, 850, 950) بطبقة انتشار أكثر عمقاً وأعلى قساوة من العينات المنتردة عند درجتي الحرارة °C (550, 650).

▪ يوضح الشكل (3-e) أنه من أجل درجة حرارة نتردة °C 950 وزمن نتردة 5h نحصل على أعلى قيمة قساوة 482.4HV على سطح هذه العينة، وتتناقص قيمة هذه القساوة ابتداءً من السطح وتصل عند عمق 190 μm إلى

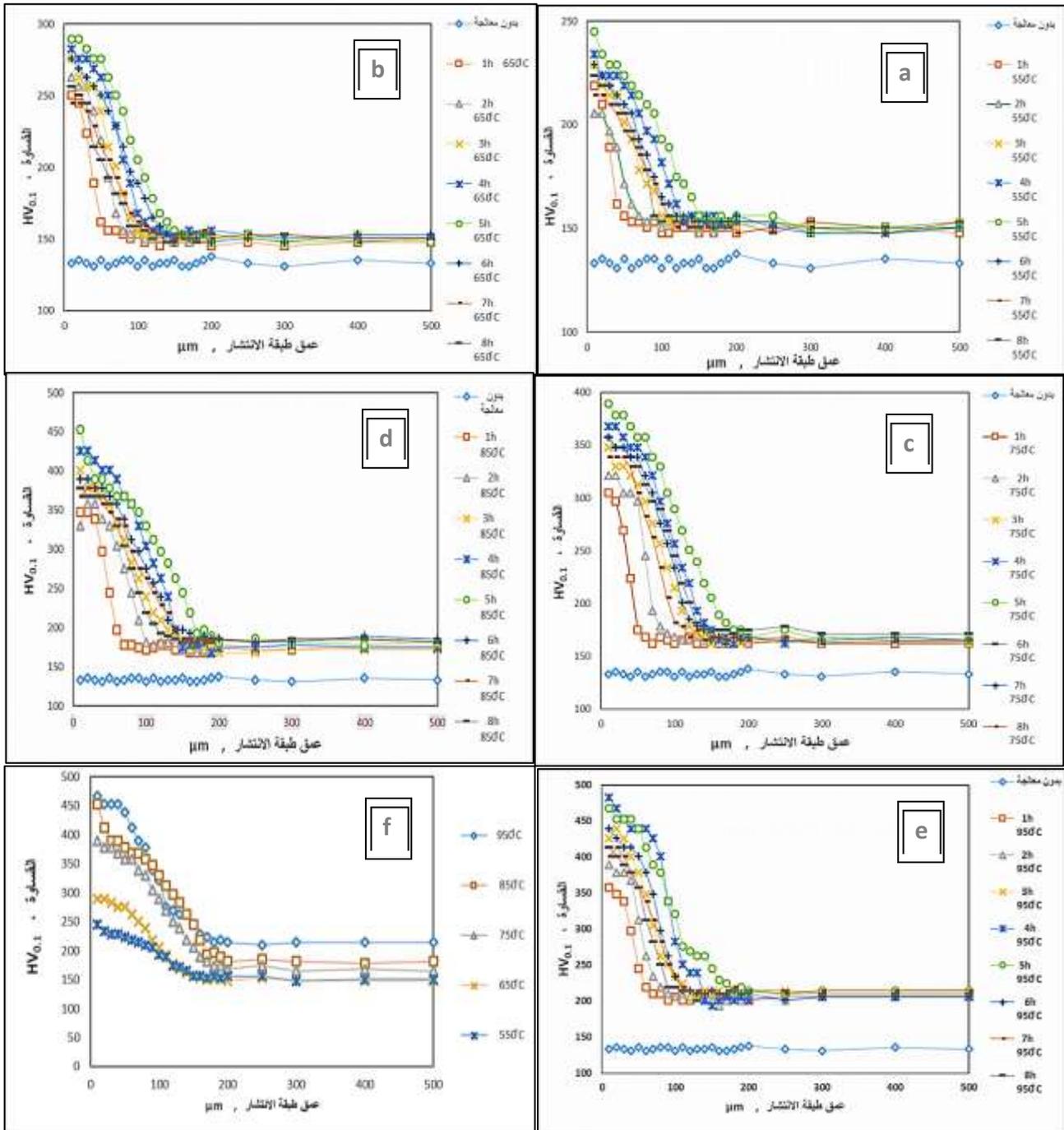
قيمة قساوة 219.1HV . ومن أجل زمن النتردة 4h تبدي العينة تحسناً في قيمة القساوة السطحية حيث تصل إلى 467.2HV ، والعينة المنترة لمدة 6h تبدي أيضاً قساوة سطحية 438.9HV .

- تتعلق القساوة السطحية للفولاذ المنترد بزمن النتردة، وكانت أعلى قيم لهذه القساوات على الطبقة السطحية للعينات المنتردة ضمن المجال الزمن بين $h(4-6)$ ، وذلك من أجل جميع درجات حرارة النتردة لعيانتنا.
- يبين الشكل (3-f) تغيرات قيم القساوة بتأثير عمق طبقة الانتشار للعينات المنتردة عند درجات حرارة النتردة المعتمدة في دراستنا $(550, 650, 750, 850, 950)^\circ\text{C}$ ولمدة 5h لكل درجة حرارة ونلاحظ فيه أن:
 - ✓ قيم القساوة السطحية للفولاذ تزداد بازدياد درجة حرارة النتردة من 250HV وحتى 480HV .
 - ✓ وجود مرحلة انتقالية في قيم القساوة، أي ازدياد واضح في قيم القساوة من قيم القساوة للطبقة السطحية للعينات المنتردة عند درجة حرارة 650°C إلى قيم القساوة للطبقة السطحية للعينات المنتردة عند درجة حرارة 750°C .

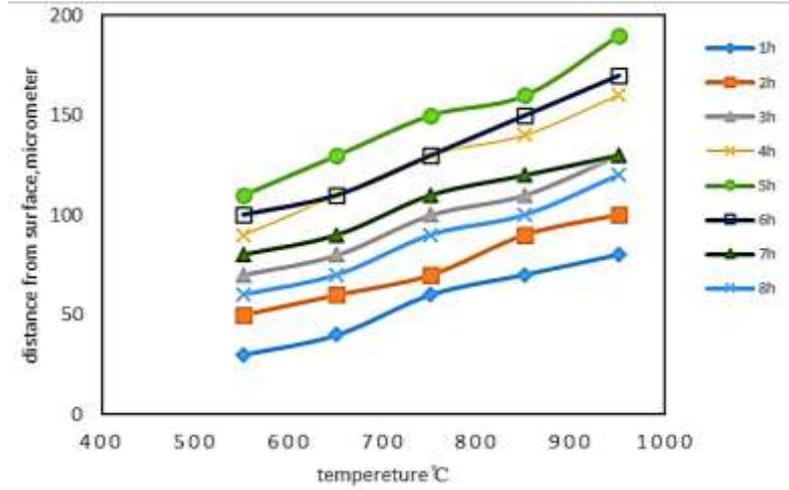
✓ قيمة القساوة للعينة المنتردة عند 650°C تكون $(\sim 250\text{HV})$ بينما قيمة القساوة للعينة المنتردة عند درجة حرارة 750°C تصل إلى حوالي $(\sim 389\text{HV})$. كما يوضح الشكل (3-f).
قمنا بدراسة تغيرات سماكة طبقة الانتشار بدءاً من سطح العينات بتغير كل من زمن ودرجة حرارة النتردة لهذه العينات كما في الشكل (4):

وتُظهر المنحنيات البيانية للشكل (4) نتيجة هذه الدراسة كما يلي:

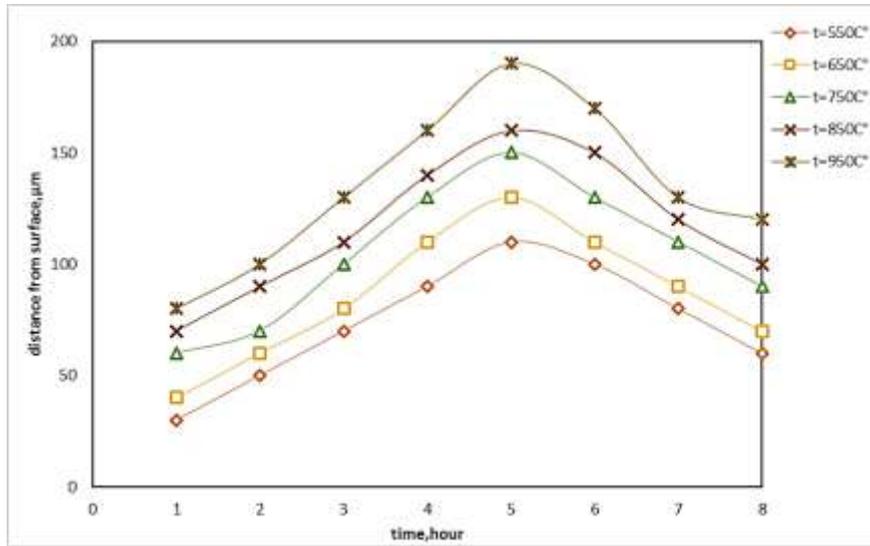
يزداد عمق طبقة الانتشار المقاسة بازدياد درجة حرارة المعالجة وهذا يتفق مع ما تم التوصل له في نتردة فولاذ سبائكي في الدراسة التي أجراها الباحث **M.A.Maleque** عام 2017 [10] . في دراستنا وصلت أكبر سماكة في عيناتنا إلى حوالي $190\ \mu\text{m}$ عند درجة حرارة نتردة 950°C وبزمن معالجة 5h . ويمكن تفسير ذلك بأنه حدث رفع طاقة التنشيط لذرات النتروجين الوليد مما يسمح بتغلغل أكبر ضمن طبقة الفولاذ المسخن عند هذه الدرجة وبالتالي فإن الشبكة البلورية للفولاذ في عيناتنا تتأثر بدورها بتغير درجة حرارة النتردة حيث تُبدي هذه الشبكة قابلية لاستيعاب عدد أكبر من ذرات النتروجين نتيجة ازدياد مرونة الروابط في الوسط البلوري الصلب.



الشكل (3): المخططات البيانية الممثلة لتغير القساوة المجهرية للطبقة السطحية بتغير عمق طبقة الانتشار للعينات المنتردة عند درجات الحرارة $^{(550, 650, 750, 850, 950)}^{\circ}\text{C}$ وذلك من أجل أزمنة التردد المعتمدة لدراستنا وهي (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) h لكل درجة.



الشكل (4-a): تغير عمق طبقة الانتشار المقاسة للعينات المنتردة بتغير درجة حرارة التبردة



الشكل (4-b): تغير عمق طبقة الانتشار المقاسة للعينات المنتردة بتغير زمن التبردة

نلاحظ مما تقدم ما يلي:

- يشير تناقص القسوة المجهرية بدءاً من سطح العينة نحو الداخل إلى تناقص في كمية النتروجين المتغلغل كلما ابتعدنا عن السطح من أجل جميع درجات حرارة التبردة لعيناتنا.
- تتوافق بشكل معقول نتائج تغيرات قيم القسوة المجهرية لعيناتنا بتابعية عمق طبقة الانتشار مع نتائج الدراسات لباحثين آخرين [12]. ينتج لدينا أن عمق طبقة الانتشار من أجل جميع عيناتنا يزداد بازدياد درجة حرارة التبردة، وهذا يتوافق مع نتائج دراسة التبردة على الفولاذ السباتكي التي قام بها الباحث M.A.Maleque في عام 2017. [10]

- نلاحظ من الشكل (4-a) تزايد سماكة طبقة الانتشار بازدياد زمن التبردة من (1 - 5)h من أجل جميع درجات حرارة التبردة، ثم تناقص قيم هذه السماكة من أجل أزمنة التبردة (6 - 8)h ولكن قيم هذه السماكة أكبر مما كانت عليه في الأزمنة الأقل من الـ (1 - 5)h. كما يوضح الشكل (4-b) وهذا يُعزى لكل من تغيرات البنية الدقيقة واختلاف استقرار الأطوار، وقابلية البنية الدقيقة للإشباع بالنتروجين.

الدراسة البنيوية:

قمنا بإجراء تحليل للأطوار والبُنى البلورية المتشكلة في الطبقة السطحية لعيناتنا المنتردة عند ثلاث درجات حرارة فقط ($C^{\circ}550, C^{\circ}650, C^{\circ}750$) ، ومن أجل أزمنة نتردة h (3, 4, 5, 6) لكل درجة حرارة، وذلك بإجراء قياسات انعراج الأشعة السينية لهذه العينات. وقمنا بدراسة طيوف الانعراج لكل عينة باستخدام جهاز انعراج أشعة سينية **XRD** ، كما قمنا بتحليل أنماط انعراج الأشعة السينية باستخدام برنامج **X'Pert High Score Plus** ، ومقارنة تغيرات كل من شدة القمم وزوايا الانعراج المقابلة لها باستخدام برنامج **XPowder** ، وبالتالي تمكنا من تحديد تغيرات كل من الأطوار والبنى البلورية بتغيير كل من درجة حرارة وزمن النتردة.

يبين الشكل (5) مقارنة مخططات انعراج الأشعة السينية التي أُجريت على العينات المنتردة، ومنه نلاحظ ما يلي:

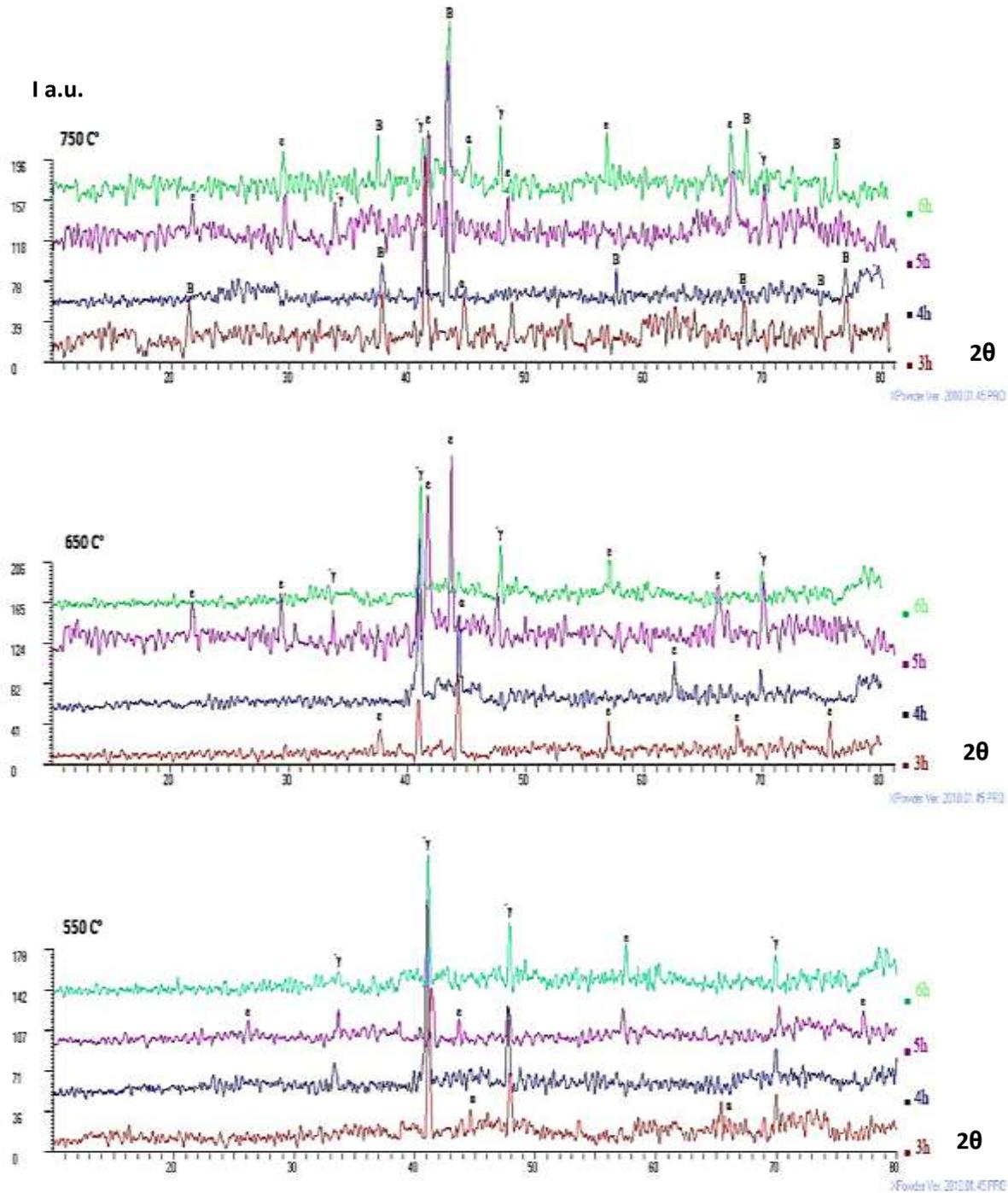
- يظهر الطور γ' بشكل واضح ، والذي يُمثل نتريدات الحديد Fe_4N مترافق مع ظهور الفرايت **Ferrite** $Fe - \alpha$ ، حيث يكون الطور $\gamma' - Fe_4N$ مسيطراً في العينات المنتردة عند درجتي الحرارة $(550, 650)^{\circ}C$ من أجل كل أزمنة النتردة باستثناء تلك العينات المنتردة عند الزمن $5h$ ، حيث يظهر الطور $\epsilon - Fe_3N$ ، وتراكب الطورين $\gamma' - Fe_4N$ و $\epsilon - Fe_3N$ في بنية الطبقة السطحية للعينات التي تميزت بقيم قساوة أعلى، وكان فيها الطور $\epsilon - Fe_3N$ مسيطراً . كما نلاحظ من أجل العينات المنتردة عند درجة حرارة $750^{\circ}C$ ظهور بنية البينيت **Fe₃C Bainite** وهذا ينسجم مع مخطط أطوار حديد - سمنتيت في الشكل (1)، ومع نتائج الدراسة للباحث [11] Dimitarste.

وجدنا أن قيم القساوة المجهريّة للطبقة السطحية تتغير بتغيير كل من زمن ودرجة حرارة النتردة، ويتوافق هذا مع تغيير في البنية الدقيقة لهذه الطبقات، وبالتالي تتعلق قساوة الفولاذ المنترد بكل من الأطوار البلورية والبنى الدقيقة المتشكلة بتابعية كل من درجة الحرارة وزمن النتردة وكمية النتروجين المنحل. تتسجم هذه النتائج مع دراسة الباحث Almedia عام

[13] 2015

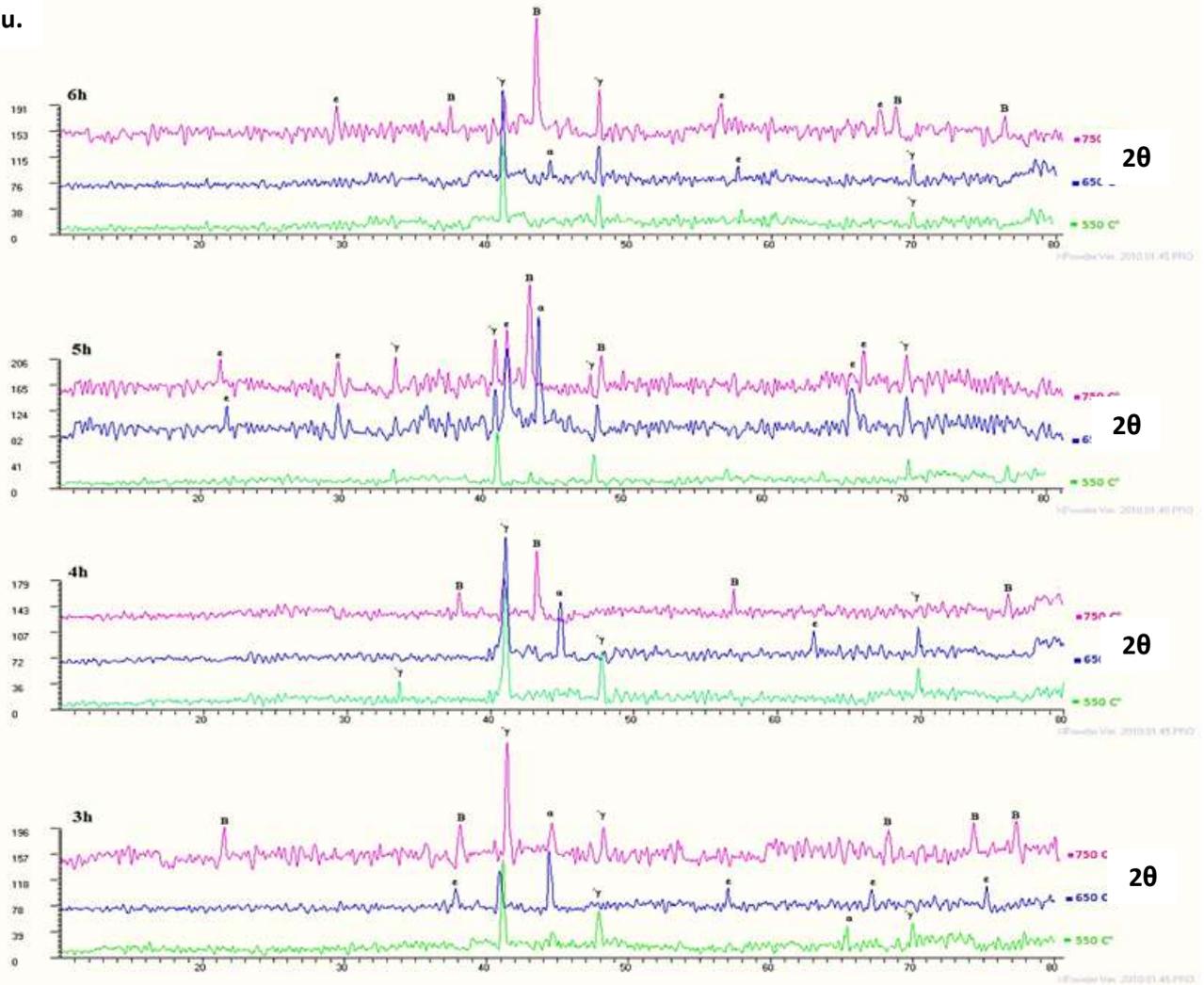
- يبين الجدول (1) الأطوار التي تشكلت بالنترة من أجل كل من درجات الحرارة المنترة $(550, 650, 750)^\circ\text{C}$ وأزمنة المعالجة h (3,4,5,6) لكل درجة حرارة. يحتوي الجدول (1) على بيانات الطور $\gamma' - \text{Fe}_4\text{N}$ والطور $\varepsilon - \text{Fe}_{2-3}\text{N}$ الذي يمثل نتريدات الحديد Fe_2N و Fe_3N . تم التحليل البلوري لهذه الأطوار من خلال تحديد كل من المجموعة النقطية وبنية الخلية الأولية وحجمها. تُظهر البنية السداسية للطور $\varepsilon - \text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ميلاً لاستيعاب عدد أكبر من ذرات النتروجين، وبالتالي يكون أكثر استقراراً. يتفق ظهور هذه الأطوار

مع أطوار الطبقة المركبة **Compound layer [10]** المتعارف عليها، ومع البطاقات المرجعية في قاعدة بيانات برنامج **X'Pert High Score Plus** .



الشكل (5.b): مقارنة الطيوف المدروسة بالنسبة لزمن المعالجة

I a.u.

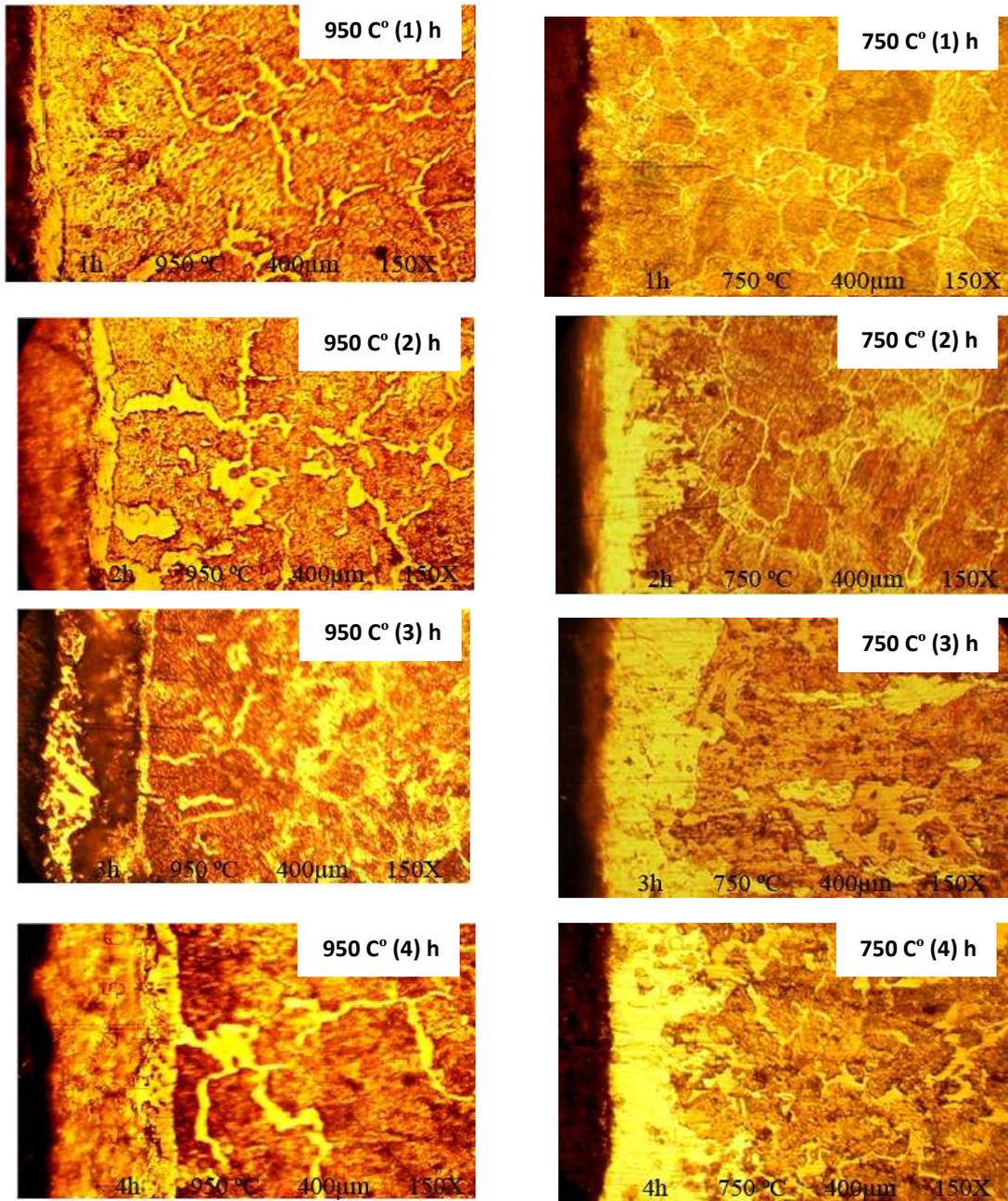


الشكل (5.a): مقارنة الطيوف المدروسة بالنسبة لدرجة حرارة التندرة

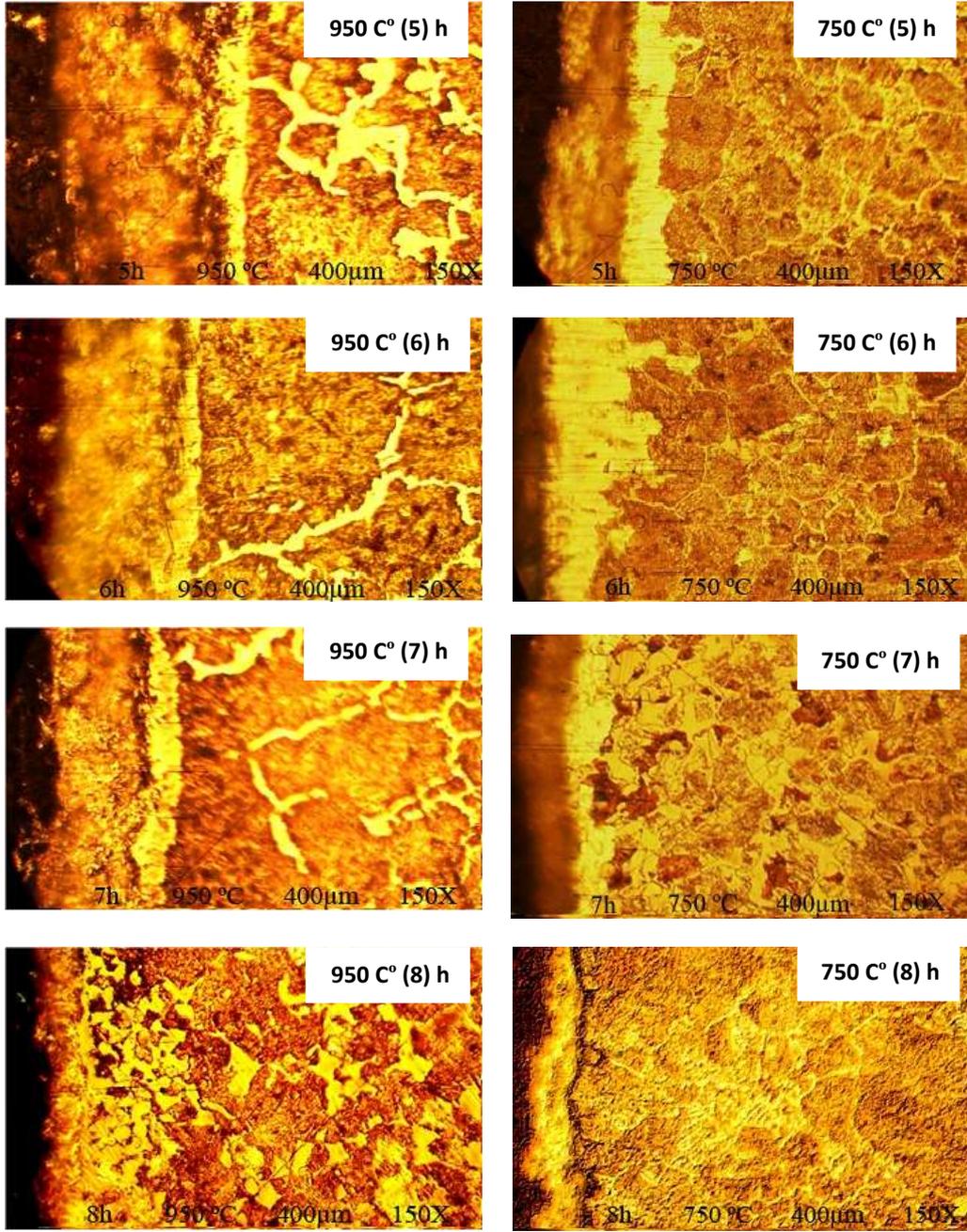
جدول (1): الأطوار المتشكلة في عمليات التندرة والتحليل البلوري للبنية الناتجة:

Phase	Space group	X'PERT card	Crystal system	A pm	B pm	C Pm	Volume cell (pm ³)*10 ⁶
Fe-α(ferrite)	Im-3m	00-006-0696	Cubic	2.8664	2.8664	2.8664	23.55
ε Fe ₂ N	P312	01-073-2102	Hexagonal	4.7870	4.7870	4.4200	87.72
ε' Fe ₃ N	P312	01-072-2125	Hexagonal	4.7890	4.7890	4.4100	87.59
γ Fe ₄ N	Pm-3m	00-006-0627	Cubic	3.7950	3.7950	3.7950	54.66
Fe ₃ C (Bainite)	P6322	01-089-2005	Hexagonal	4.7670	4.7670	4.3540	85.69

بهدف توضيح أثر التردد على طبقة الانتشار، قمنا بتصوير البنية الدقيقة لعينات الفولاذ المنترد عند درجتي حرارة $(750, 950) ^\circ\text{C}$ ولأزمنة نتردة $(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) \text{ h}$ بواسطة مجهر ضوئي انعكاسي ماركة (SCO) بدقة تكبير بمقدار $(150\times)$ ، ويظهر في الصور المجهرية التالية طبقة الانتشار المتشكلة ضمن الطبقة السطحية:



الشكل (7. a): صور البنى المجهرية للعينات المنتردة عند الدرجتين 950°C و 750°C بأزمنة معالجة $(1, 2, 3, 4) \text{ h}$.



الشكل (7. b): صور البنية المجهرية للعينات المنتردة عند الدرجتين 950°C و 750°C بأزمنة معالجة h (5,6,7,8).

نلاحظ من الشكل (7) تغيرات البنية المجهرية للطبقة السطحية المنتردة بتغير أزمنة الترتدة عند درجتى حرارة نتردة 750°C و 950°C، وقد أظهرت الصور المجهرية تشكل طبقة بيضاء ذات سماكة أعظمية عند العينات المنتردة لمدة 5h، وعند الأزمنة الأخرى تدرجت هذه السماكة حيث تزايدت بزيادة مدة الترتدة وتراجعت بعد مدة 5h. يمكن القول إن بنية البينيت الإبري غير واضحة في الصور المجهرية مما قد يتم تفسيره بأن انحلال الأوستنايت (كربيدات الحديد Fe_3C) بين حبيبات الفرايت قد سبب ظهور قمم ممثلة لبنية البينيت في البنية الدقيقة عند قياسات XRD.

الاستنتاجات والتوصيات:**الاستنتاجات:**

1-تزداد القساوة السطحية للفولاذ المنترد بازدياد درجة حرارة النتردة، حيث وصلت قساوة العينات المعالجة عند الدرجة 950 C° ولزمن 5 h إلى القيمة 482.40 HV على سطح العينة ثم تناقصت حتى وصلت عند عمق $190\text{ }\mu\text{m}$ إلى قساوة 209 HV ، بينما كانت قساوة العينات المنتردة عند الأزمنة الأخرى أقل من 245 HV وأبدت تناقصاً لقيم القساوة مع العمق.

2-تميزت العينات المنتردة عند الزمنين بين $h(4-5)$ بأعلى قيم قساوة ، وبشكل خاص الطبقات السطحية للعينات المنتردة لمدة 5 h والتي تقابل أعلى قيم قساوة، وهذا يتفق مع دراسة سابقة [14].

3-تبينا بالدراسة الطيفية ظهور الطور $\epsilon - Fe_3-2N$ وتشكيله تركيب أطوار مع الطور $Fe_4N - \gamma'$ و/أو بنية البينيت Fe_3C Bainite في البنية البلورية للطبقة السطحية للعينات، وبالتالي يكون هذا الزمن 5 h مناسباً لانتشار عدد أكبر من ذرات النتروجين الوليد ضمن الشبكة البلورية للفولاذ وموافقاً لتشكل تراكب أطوار نترديية أكبر بالمقارنة مع العينات المنتردة عند الأزمنة الباقية، كما تكون هذه الأطوار أكثر استقراراً.

4-يتوافق ظهور تراكب الطورين $\epsilon + \gamma'$ وسيطرة للطور $\epsilon - Fe_3N$ بظهور الخواص الأفضل في القساوة. 5-يؤدي تشكل الأطوار النترديية في طبقة الانتشار إلى زيادة القساوة الميكروية بشكل ملحوظ ، وتندرج القساوة المجهرية بحسب المناطق المختلفة للطبقة النترديية. كما توصلنا إلى أن علاقة القساوة المجهرية بعمق طبقة الانتشار عند أزمنة ودرجات حرارة النتردة التي تم استخدامها في هذه الدراسة، تتناقص قيم القساوة بالتدرج بدءاً من السطح وحتى العمق وهذا ما يسمح لنا بالاستدلال على تشكل الطبقة النترديية المركبة $\epsilon + \gamma'$ في الطبقة السطحية على حساب منطقة التغلغل الانتشارية $\alpha + \gamma'$.

التوصيات:

1-دراسة تأثير عامل زمن النتردة على تركيز النتروجين المنحل في الشبكة البلورية وعلى أنثروبوية منظومة المحلول الصلب.

2-دراسة تأثير النتردة على خواص الفولاذ عالي السبائكية والأطوار الناتجة عن النتردة فيه

3-دراسة ارتباط الخواص السابقة بخواص ميكانيكية وكهربائية للمعدن.

المراجع

- [1] William, D., Callister, Jr. *Materials Science and Engineering an Introduction*. The University of Utah. -John Wiley & Sons. Inc.- Brazil. (seventh edition). 2007.
- [2] ASM International, *Materials Park*, OH, 1992.
- [3] ASM Handbook, Vol. 9, *Metallography and Microstructures*, ASM International, *Materials Park*, OH, 1985.
- [4] Gordon, P., *Principles of Phase Diagrams in Materials Systems* - McGraw-Hill Book Company Reprinted by Krieger Publishing Company- New York Melbourne, FL, 1983.
- [5] Massalski, T. B. (Editor), *Binary Phase Diagrams*, (2nd edition) -ASM International, *Materials Park*- OH, 1990. Three volumes.
- [6] ASM International. (#06950G). *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing-Chapter1: An Introduction to Nitriding*. USA. ASM. 2003.
- [7] T. Gressman, M. Wohlschlogel, S. Shan, U. Welzel, A. Leineweber, E. Mittemeijer and Z. Liu. *Elastic anisotropy of gamma prime Fe₄N and elastic grain interaction in gamma prime Fe₄n(1-n) layers on alfa iron: first-principles calculations and diffraction stress measurements*. *Acta Materialia*, vol. 55, 2007. pp. 5833-5843.
- [8] Raymond A.Higgins. (Sixth edition). *Engineering Metallurgy, Part I, Applied Physical Metallurgy*. ARNOLD, A member of the Hodder Headline Group. 1993.
- [9] *Carbon Steel Handbook*. (EPR Project Manager D.Gandy. (California USA). Electric Power Research Institute. 2007.
- [10] M.A.Maleque, P.H.Lailatul, A.A.Fathaen, K.Norinsan and J. Haider. *Nitride alloy layer formation of duplex stainless steel using nitriding process*. *Materials Science and Engineering*. 2017. doi:10.1088/1757-899X/290/1/012015.
- [11] Krav, Dimitarste. (ISBN: 978-953-51-0467-4). *Improvement of Corrosion Resistance of Steels by Surface Modification*. (Corrosion Resistance). Bulgaria INTECH. 2012.
- [12] D.M.M.Cardonam, J.W.Nagam, H.Jimenez, T.G.Langdon. *Effect on hardness and microstructure of AISI 1020 Low-Carbon Steel Processed by High-Pressure Torsion*. *Journal of Materials Research and Technology*. 2017. 6(4).355-360.
- [13] Santos de Almedia. Cesar Edil da Costa. Julio Cesar Giubilei Milan. *Study of the nitride layer obtained by different nitriding methods*. *REVISTAMATERIA*. 2015. Vol.20. No.02. pp 460-465.
- [14] Barhoom.A. *Effect of gaseous heat treatment with (NH₃) Gas on some properties of Spreading (diffusion) layer surface of carbon tool steel 20*. Tishreen Univ. *Journal for Reasearch and scientific studies*, Vol. 37, No.4, 2015.