مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (40) العدد (5) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (40) No. (5) 2018

دراسة تأثير وسط المعالجة الحرارية الغازية على توزع عناصر الإشابة في الطبقة السطحية لسبائك التيتانيوم BT 9

الدكتور عفيف يونس برهوم*

(تاريخ الإيداع 1 / 8 / 2018. قُبِل للنشر في 21 / 10 /2018)

□ ملخّص □

درسنا في هذا البحث تأثير وسط المعالجة الحرارية الغازية [عند درجة الحرارة $950^{O}C$ باستخدام غاز NH_3 و CH_4 لمدة $8h$ لكل غاز ، وباستخدام غازي NH_3 وCH_4، لمدة $(4+4)h$] على توزع عناصر الإشابة في سبائك التيتانيوم $BT\ 9$، حيث وجدنا أن الأكاسيد تتشكل في مختلف أوساط المعالجة نتيجة انتشار الأكسجين من الطور الغازي إلى أعماق كبيرة في العينات، وأن تركيزه في الطورين α و β واحد تقريباً، وأن تراكيز C، Fe، Si، في الطورين α و β، تتفق مع تراكيزها في العينات قبل المعالجة، بينما يزداد تركيز Mo بين حبيبات الطورين α و β، $[Mo_\beta] > [Mo_\alpha]$ من ضعف إلى ثلاثة أضعاف في مجمل حجم العينات، وحتى ستة أضعاف في طبقة سطحية سماكتها $60 \sim \mu m$، كما ويزداد تركيز Al بين حبيبات الطورين αو β، $[Al_\beta] > [Al_\alpha]$ من ضعف إلى ضعفين في طبقة سماكتها $40 \sim \mu m$. إضافة إلى ذلك تتشكل محاليل صلبة انغراسية للنتروجين (TiN, Ti_2N) بعد النتردة والنتروكربنة في طبقة سطحية سماكتها $(30-80)\mu m$. علاوة على ذلك تبين من قياس القساوة المجهرية بطريقة Vickers أنها تأخذ قيما في المجال $(410-470)HV_{0.05}$. وللتحقق من هذه المعطيات درسنا الأطوار والبنية الدقيقة باستخدام المجهر التعديني، والمجهر الالكتروني الماسح.

الكلمات المفتاحية: تيتانيوم $BT\ 9$، عناصر الإشابة ، القساوة المجهرية ، البنية الدقيقة، النتردة ، الكربنة ، النتروكربنة.

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية – سلسلة العلوم الأساسية المجلد (40) العدد (5) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (40) No. (5) 2018

Studying the Effects of Gas Heat Treatment on the Distribution of the Doping Elements on the Surface Layer of Titanium Alloys BT9

Dr. Afif Younes Barhoum*

(Received 1 / 8 / 2018. Accepted 21 / 10 /2018)

□ ABSTRACT □

In this issue, the effect of gas heat treatment ambient at the temperature of 950C for 8hours using the gases NH_3 or CH_4 and using the gases NH_3 and CH_4 for (4+4)hours of the distribution of the doping elements on Titanium alloys BT9 was studied. Oxide formation at the different treatment ambient as a reason of gas-phase oxygen distribution to high depths in the samples was discovered. And its concentration in the two phases α and β was almost the same, while the concentrations of C, Fe, Si in the phases α and β was found to be agree with them in the samples before the treatment and the concentration of Mo between the little grains of phases α and β increases, $[Mo_\alpha]>[Mo_\beta]$ from one to three times at the whole samples size, even six times at the surface layer with 60μm thickness, and the concentration of Al between the little grains of phases α and β increases, $[Al_\beta]>[Al_\alpha]$ from one to two times at the surface layer with 40μm thickness. In addition to formation of inserted solid solutions of Nitrogen (TiN, Ti_2N) after the Nitriding and Nitrocarburizing of the surface layer with (30-80)μm thickness. The micro hardness of the surface layer using Vickers method has been measured, and it was found to be in the range (410-470)$HV_{0.05}$. Finally, to be sure of the results, the phases and the Microstrucrure using the mining microscope and the scanning electron microscope (SEM) was studied.

Keywords: Titanium BT9, Microhardness, Microstrucrure, Nitriding, Carburizing, Nitrocarburizing

*Professor at Physics Department, Faculty of Science, Tishreen University- Lattakia – Syria

مقدمة:

القسم النظري:

التيتانيوم معدن أبيض فضي اللون، ينصهر عند درجة الحرارة $1668^{O}C$، وهو يوجد في طورين تآصليين مختلفين: الطور α، دون درجة الحرارة $882^{O}C$، وهو عبارة عن بلورات ذات نسق سداسي كثيف التعبئة، أبعاده $a = 2.951\,A^{O}$ ، $c = 4.679\,A^{O}$، $(c/a) = 1.5856$، وكثافته الحجمية $(4.505)g.cm^{-3}$. والطور β، عند درجات الحرارة الأعلى من $882^{O}C$، وهو عبارة عن بلورات ذات نسق مكعبي مركزي الحجم أبعاده $a = 3.269\,^{O}A$، وكثافته الحجمية عند الدرجة $900^{O}C$ تساوي $(4.32)g.cm^{-3}$، [1].

يشكل النتروجين والأكسجين ، والهيدروجين ، والكربون في التيتانيوم محاليل صلبة وأكاسيد، وكربيدات، ونتريدات، وهيدريدات قصيفة، فهي تخفض من اللدونة وقابلية التيتانيوم للحام، كما أنها تخفض من مقاومة التآكل. لذلك وبهدف تحسين بعض الخواص الميكانيكية، ومقاومة التآكل يضاف للتيتانيوم بعض عناصر الإشابة مثل الألمنيوم، والملبدين، والفاناديوم، والمنغنيز، والكروم، والقصدير، والحديد وكميات قليلة من السيليكون [3،4]. وفي أحيان أخرى تجرى للتيتانيوم معالجة حرارية غازية، بهدف إحداث بعض التغيرات في البنية الدقيقة عن طريق زرع بعض عناصر الإشابة من الطور الغازي بالشكل الذري أو الجزيئي في الطبقات السطحية باستخدام أوساط مختلفة للمعالجة الحرارية الغازية كالنتردة أو الكربنة أو النتروكربنة مما يجعل هذه الطبقات أكثر قساوة ومتانة ومقاومة للتآكل. توجد في الوقت الحاضر طرائق عديدة متاحة لتشكيل طبقات سطحية أكثر قساوة ومتانة ومقاومة باستخدام العديد من الطرائق والتقانات الحديثة مثل التغليف السطحي الليزري، التغليف الحراري،الزرع الأيوني، والمعالجة بانصهار السطوح باستخدام الحزم الالكترونية وغيرها[7-5]

- المعالجة الحرارية الغازية:

المعالجة الفيزيائية الكيميائية الحرارية الغازية (أو المعالجة الفيزيائية الكيميائية الحرارية الغازية) هي عمليات تشبع انتشاري من الطور الغازي لطبقة المعدن السطحية بالنتروجين أو الكربون، أو النتروجين والكربون معاً أو غيرهما . وهي تجرى في الأوساط الصلبة والسائلة والغازية، وهي تقترب في درجات الحرارة المرتفعة من عمليات النوع الأول **[** تتشكل في المعادن النقية تقنيا (نسبة عناصر الإشابة فيها $1\%>$) والسبائك التي تحوي كميات منخفضة من عناصر الإشابة ذات القدرة المنخفضة على تشكيل الأكاسيد والنتريدات والكربيدات والهيدريدات بالمقارنة مع المعدن الأساس **]**، وتقترب في درجات الحرارة المنخفضة من عمليات النوع الثاني (تتشكل في السبائك التي تكون فيها بعض عناصر الإشابة على ألفة كيميائية مع النتروجين أو الهيدروجين وغيرهما أكثر من المعدن الأساس). و تقسم المعالجة الحرارية الغازية تبعاً لدرجة الحرارة إلى مرتفعة الحرارة $(800-950)^{O}C$ ومنخفضة الحرارة $(500-600)^{O}C$. علاوة على ذلك إن انتشار النتروجين والهيدروجين والكربون لمسافة أكبر على شكل محاليل صلبة ، يهيئ الشروط المناسبة لتشكل النتريدات والكربيدات والهيدريدات..، ونتيجة لذلك تنفصل بعض عناصر الإشابة من المركبات الكيميائية

والمحاليل الصلبة، وتبدأ بالتوافق في المناطق العميقة تفاعلات تشكل المحاليل الصلبة والاتحادات الكيميائية المختلفة. ونشير هنا إلى تشكل عدة طبقات على سطح العينات بعد المعالجة الحرارية الغازية ، طبقة انتشار تمتد من السطح إلى عمق العينة سماكتها كبيرة ، جزء منها ويمتد من السطح يسمى طبقة التفاعلات وهي أقل سماكة، وهناك جزء يحتسب من سطح العينة من كلا الطبقتين يسمى بالطبقة المركبة أو طبقة الانتشار التفاعلية ، وهي تمثل سماكة الطبقة المقاسة من السطح إلى العمق الذي يتساوى فيه تركيز الطورين α و β لحالة سبائك التيتانيوم ، والطورين α و γ لحالة سبائك الفولاذ... وهي ذات سماكة صغيرة نسبياً بالمقارنة مع سماكة الانتشار التفاعلية، [8،9].

إن إعادة تشكل تفاعلات الاتحادات الكيميائية يولد كمية ليست كبيرة من العناصر المصفوفية، التي يمكن أن تشكل مراكز مزروعة داخل البنية الدقيقة (محاليل صلبة انغراسية). عندئذ الخسائر الأكثر احتمالا لا تكون كبيرة من الذرات المحجوبة بتيار النتروجين المنتشر عبر السطح المشبع نتيجة تواجد كمية ليست كبيرة من النتروجين أو الهيدروجين أو الكربون الذري أو الجزيئي ومساهمتها من جديد في توليد المسامات التي تشكل مستودعات لتجمع الغاز، مما يؤدي إلى توليد ضغوط عالية تساهم في استمرار تزايد المسامات في المناطق بين الطورية ، وترتبط هذه الفعالية بمدة المعالجة للوصول إلى حالة الإشباع. نشير هنا إلى أن النتريدات الدقيقة (الناعمة البنية) والهيدريدات وغيرهما، والتي تتشكل نتيجة عملية التبريد النهائية تكون خالية من المسامات، إضافة إلى أنها لا تؤثر على التشكل غير المباشر لمنطقة الإشباع نتيجة جريان تفاعلات الاستبدال الكيميائي [13– 10] .

يعود تغير خصائص أسطح القطع المعدنية، في جزء منه إلى المعالجة الحرارية الغازية، التي يتغير بنتيجتها التركيب الكيميائي والمجهري في الطبقات السطحية، نتيجة التفاعل مع الوسط المحيط ، وتتغير الأطوار والبنية الدقيقة لهذه الطبقات [14،15].

إن أهم عوامل المعالجة الحرارية الغازية، هما درجة حرارة التسخين ومدة المعالجة، وهي تترافق بثلاث عمليات سرعاتها متوافقة هي: التفكك والامتصاص والانتشار [19– 16،17]. تسخن العينات عند المعالجة الحرارية الغازية في الأفران الكهربائية العادية، ويستخدم لهذا الغرض الغاز الطبيعي أو الغازات الاصطناعية الناتجة عن التفكك الحراري للمواد الهيدروكربونية السائلة – الكيروسين والبنزين وغيرها، إضافة إلى غاز النتروجين أو غاز الأمونيا. في بحثنا تم استخدام غاز الأمونيا NH_3 بمثابة مصدر للنتروجين، وغاز الميتان CH_4 بمثابة مصدر للكربون.

ويتفكك غاز الأمونيا NH_3 عند التسخين وفق المعادلة:

$$NH_3 \rightarrow N[free] + (3/2)H_2$$

وتتفكك المركبات الهيدروكربونية عند التسخين وفق المعادلة:

$$C_nH_{2n+2} \rightarrow (2n+2)H + nC$$

$$for\ n=1: CH_4 \rightarrow 4H + C_{atm},$$

$$2CO \rightarrow C + CO_2$$

نتيجة عمليات التفكك والامتصاص والانتشار تتشبع الطبقات السطحية بالنتروجين أو الكربون أو النتروجين والكربون معاً مما يؤدي إلى تشكيل محاليل صلبة انحلالية وانغراسية (أكاسيد ، ونتريدات ، وهيدريدات) أو مركبات لاتحادات كيميائية. من هنا جاء هدف البحث ليكون مخصصا لدراسة تأثير الخصائص المشتركة لتشبع الطبقات السطحية بالنيتروجين أو الكربون أو النتروجين والكربون معاً من الطور الغازي على توزع عناصر الإشابة في طبقة الانتشار السطحية لسبائك التيتانيوم BT 9، والبنية الدقيقة والقساوة المجهرية باستخدام الطريقة التقليدية للمعالجة الحرارية الغازية في الأفران عند درجة حرارة $950^{O}C$، لمدة $8h$ عند النتردة بغاز NH_3 أو الكربنة بغاز CH_4، ولمدة $(4+4)h$ عند النتروكربنة بغازي NH_3+CH_4 . ويبين الجدول (1) التركيب الكيميائي للعينات المدروسة.

الجدول(1). التركيب الكيميائي لخلائط التيتانيوم BT 9

Elements	*C*	O_2	*Al*	*Si*	*Fe*	*Mo*	*Ti*
%*W*	1.32	0.12	5.41	0.25	0.23	3.6	89.07

القسم التجريبي:

1- القساوة المجهرية للعينات:

قمنا بقياس القساوة المجهرية للعينات بعدالمعالجة الحرارية الغازية في أوساط مختلفة بطريقة Vickers باستخدام حمولات صغيرة $P=100gr$ بزمن تحميل وقدره $15\,s$، ويعبر عن قساوة Vickers بالنسبة بين الحمولة P ومربع متوسط قطري الأثر $\langle d\rangle^2$ المطبوع على السطح المختبر [20]. ويعطى رقم قساوة فيكرز HV، بالعلاقة:

$$HV=\frac{2p\sin(\alpha/2)}{<d^2>}=1{,}8544\frac{\mathrm{p}}{<\mathrm{d}^2>}$$

أهمية البحث وأهدافه:

تتمثل أهمية هذا البحث في تحسين بعض خواص الطبقات السطحية في سبائك التيتانيوم $BT\ 9$ عن طريق إضافة بعض العناصر الجديدة من الطور الغازي بالشكل الذري وإعادة توزعها مع عناصر الإشابة في الطبقة السطحية لهذه السبائك باستخدام أوساط غازية مختلفة للمعالجة مما يكسب الطبقات السطحية لهذا النوع من السبائك خصائص تتمثل في قساوة مجهرية عالية ومتانة ومقاومة للتآكل في الأوسط المختلفة، والقدرة على مقاومة الإجهادات الميكانيكية والحرارية التي يمكن أن تتعرض لها عند الاستخدام،[21،22]. من هنا كان هدف هذه البحث:

1- دراسة تأثير وسط المعالجة الحرارية الغازية على توزع كلٍ من العناصر المضافة وعناصر الإشابة في الطبقات السطحية لسبائك التيتانيوم $BT\ 9$.

2- قياس القساوة المجهرية في الطبقات السطحية لهذه العينات بطريقة Vickers.

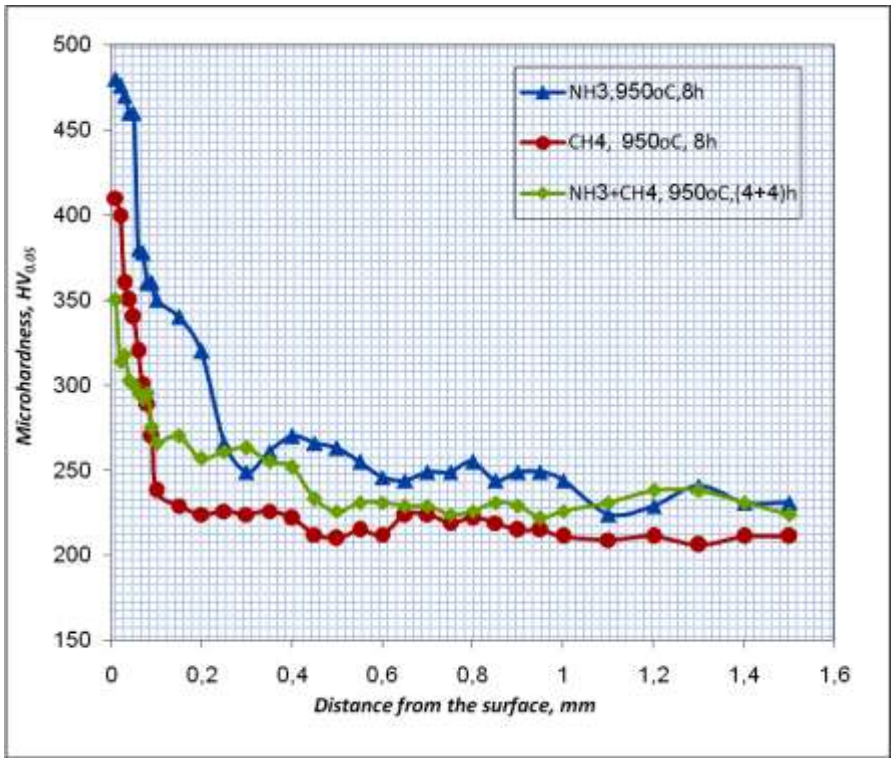
3- دراسة تأثير المعالجة المقترحة على البنية المجهرية (الدقيقة) للعينات المدروسة، باستخدام المجهر التعديني والمجهر الإلكتروني الماسح SEM ، أجريت معالجة ودراسة العينات في جامعة تشرين، وهيئة الطاقة الذرية بدمشق.

طرائق البحث ومواده:

حضرت العينات على شكل متوازي مستطيلات $(8\times10\times30)mm$ ، حيث جرى صقلها وتنظيفها، ووضعت مجموعة أولى مكونة من ثلاث عينات داخل حجرة التسخين في فرن أنبوبي كهربائي عادي عند درجة حرارة الغرفة، خلال ذلك ضخ غاز الأمونيا NH_3 إلى حجرة التسخين لمدة $30\min$ لإخراج الهواء، ثم أجريت لهذه المجموعة من العينات النتردة الحرارية الغازية بغاز NH_3 لمدة $8h$، عند درجة حرارة $950^{O}C$ ، ومن ثم أجريت لمجوعة ثانية مكونة من ثلاث عينات الكربنة الحرارية الغازية بغاز CH_4 ولمدة $8h$ عند نفس درجة الحرارة. وفي المرحلة الأخيرة أجريت لمجموعة ثالثة مكونة من ثلاث عينات نتردة بغاز NH_3 لمدة $4h$ تليها مباشرة كربنة بغاز CH_4 ولمدة $4h$، عند درجة الحرارة السابقة أيضاً. تم قياس درجة الحرارة في حجرة التسخين باستخدام مزدوجة كهراحرارية من البلاتين بدقة $\pm5^{O}C$. سرعة تدفق الغاز إلى حجرة التسخين $30\ cm^3/\min$ في العمليات الثلاث وبعد الانتهاء من كل عملية كانت العينات تترك داخل حجرة التسخين لتبرد مع الفرن إلى درجة حرارة الغرفة بسرعة تبريد $50\sim{}^{O}C/h$، وبعد إخراج العينات من حجرة فرن التسخين قمنا بصقل المقطع العرضي لكل منها بشكل جيد وذلك لقياس القساوة المجهرية ، ولدراسة البنية الدقيقة تم إظهار سطحها بمزيج $5ml$ من حمض فلورايد الهيدروجين $HF(48\%)$ و $100\,ml$ من الماء المقطر ولمدة $10\sec$.

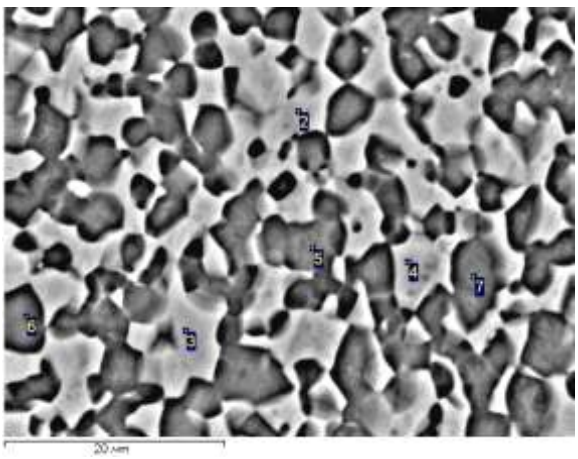
النتائج والمناقشة:

يبين الشكل 1. نتائج توزع القساوة المجهرية بدلالة عمق طبقة الانتشار في سبائك التيتانيوم $BT\ 9$ بعد المعالجة الحرارية الغازية في أوساط مختلفة NH_3 ، CH_4 عند درجة الحرارة $950^{O}C$ لمدة $8h$ لكل غاز و CH_4 أو NH_3 عند درجة الحرارة $950^{O}C$ لمدة $(4+4)h$ لكل غاز. ويتضح من الشكل أن القساوة المجهرية بعد المعالجة بغاز الأمونيا NH_3 أو غازي الأمونيا والميتان (NH_3+CH_4)تصل إلى $(410-470)HV_{0.05}$ في طبقة سطحية سماكتها $80\mu m\sim$ وتعود المساهمة الرئيسية في ازدياد القساوة هنا بمقدار $(200-240)HV_{0.05}$ إلى تشكل مناطق مترابطة من الطورين $(\alpha+\beta)$ على شكل صفائح منفصلة لمحاليل صلبة انغراسية من نتريدات (TiN,Ti_2N) ، وأكاسيد TiO إضافة إلى ازدياد تراكيز Al ، Mo في هذه الطبقة. وهذا بدوره مرتبط بالمسامات المتولدة، أي بالقساوة بين المناطق المسامية المرفقة بفجوات (ثقوب) مملوءة بالنتروجين أو الأكسجين الذري.

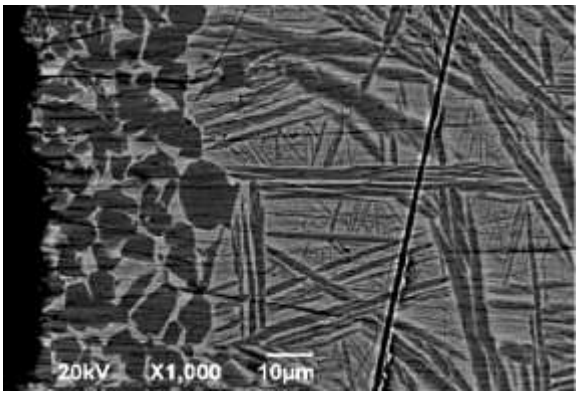


شكل 1. تغير قساوة المجهرية لسبائك التيتانيوم $BT\ 9$ بدلالة عمق طبقة الانتشار بعد المعالجة الحرارية الغازية في أوساط مختلفة

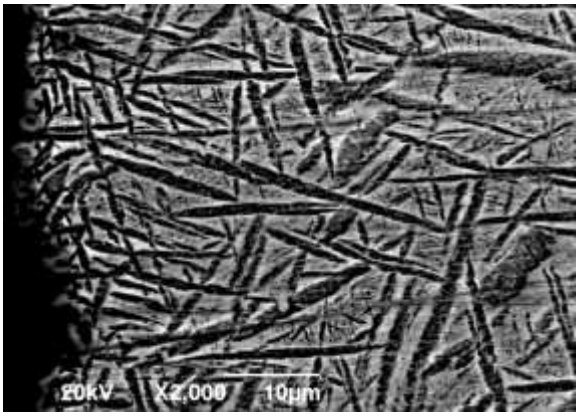
وبهدف التحقق من هذه المعطيات قمنا بدراسة البنية الدقيقة لعينات سبائك التيتانيوم $BT\ 9$ بعد المعالجة الحرارية الغازية في أوساط مختلفة، عند الدرجة $950\ ^{O}C$ باستخدام المجهر التعديني والماسح الإلكتروني. حيث تبين من دراسة تغيرات البنية الدقيقة لسبائك التيتانيوم $BT\ 9$ ، الشكل(2)، أن تأثير وسط المعالجة على توزع عناصر الإشابة والتغيرات المرافقة لتشكل المحاليل الصلبة عند المعالجة بغاز الأمونيا NH_3 أو بغازي الأمونيا والميتان NH_3 و CH_4 يؤدي بداية إلى تشكل مناطق مترابطة من الطورين $(\alpha+\beta)$، البقع السوداء الشكل (2-b) ، ثم مناطق من نوع غيغر – بريستون مرفقة بمناطق بينية منفصلة لمحاليل صلبة انغراسية من النتريدات TiN_2 و TiN. إضافة إلى ذلك فإن تـداخل الطورين $(\alpha+\beta)$ يعود إلى أن تـركيز Mo بين



(a)



(**b**)



(**c**)

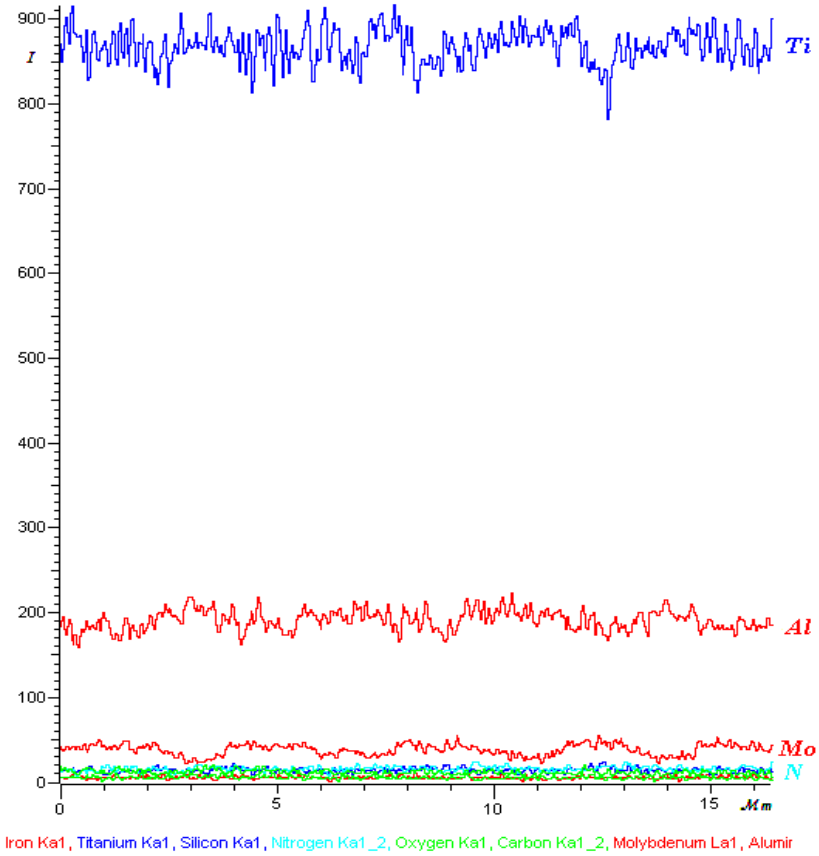
الشكل 2. البنية الدقيقة لسبائك التيتانيوم $BT\ 9$

a) بدون معالجة، b) بعد النتردة بغاز الأمونيا NH_3 **عند درجة الحرارة** $950^{O}C$ **، ولمدة** $8h$ **،**

c) بعد النتروكربنة بغازي $NH_3 + CH_4$ **عند درجة الحرارة** $950^{O}C$ **، ولمدة h (4+4) لكل غاز**

حبيبات هذين الطورين $[Mo_\beta] > [Mo_\alpha]$ ، يؤدي إلى تثبيت أو ازدياد مساحة منطقة الطور α في مخطط الحالة (Mo مثبت للطور α)، في حين أن ازدياد تركيز Al بين حبيبات هذين الطورين $[Al_\alpha] > [Al_\beta]$ يؤدي إلى تثبيت أو ازدياد مساحة منطقة الطور β (Al مثبت للطور β) ، وهذا بدوره يؤدي إلى ترابط (أو تشابك) في المحاليل الصلبة للطورين α و β (على شكل صفائح انغراسية) لها مختلف الاتجاهات، وتصل سماكتها في طبقة الانتشار السطحية إلى $60 \sim \mu m$ ، الشكل (2-c). علاوة على ذلك إن ازدياد تركيزي Mo و Al وترابط (أو تشابك) المحاليل الصلبة للطورين α و β يكون على حساب إفقار هذه المحاليل (الصفائح الانغراسية) من النتروجين لا سيما في طبقات الانتشار السطحية التي تزيد سماكتها عن $100\ \mu m$.

يبين الشكل (3) تأثير وسط المعالجة على توزع عناصر الإشابة في كامل سماكة طبقة الانتشار التفاعلية بعد النتردة بغاز الأمونيا NH_3 ، لمدة $8h$ عند الدرجة $950^{O}C$. حيث نلاحظ أن ازدياد تركز كل من Mo و Al بين حبيبات الطورين α و β كلا العنصرين يقوم بتثبيت طوره (زيادة مساحة طوره الخاص α أو β) في مخطط الحالة، مما يؤدي إلى ترابط (تشابك) هذين الطورين وإفقار المحاليل الصلبة (الصفائح الانغراسية) من النتروجين في طبقات الانتشار التي تزيد سماكتها عن $60\ \mu m$.



الشكل 3. توزع عناصر الإشابة في طبقة الانتشار التفاعلية لسبائك التيتانيوم $BT\ 9$ بعد النتردة الحرارية الغازية بغاز الأمونيا NH_3 ، لمدة $8h$ ، عند درجة الحرارة $950^{O}C$

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال هذا البحث نستنتج الآتي:

1- تم التوصل إلى أن انتشار الأكسجين في مختلف أوساط المعالجة الحرارية الغازية لسبائك التيتانيوم $BT\ 9$ ، من الطور الغازي يصل إلى أعماق كبيرة، وأن تركيزه في الطورين α و β واحدة تقريباً، وأن تراكيز C، Fe، Si في الطورين α و β، وفي مختلف أوساط المعالجة بما فيها الكربنة بغاز الميتان تتفق تقريباً مع تراكيزها في العينات قبل المعالجة.

2- تبين أن تركيز Mo يزداد بين حبيبات الطورين α و β، $[Mo_\beta] > [Mo_\alpha]$ من ضعف إلى ثلاثة أضعاف في مجمل حجم العينات، وحتى ستة أضعاف في طبقة انتشار سطحية سماكتها μm 60 ~ ، كما ويزداد تركيز Al بين حبيبات الطورين α و β، $[Al_\beta] > [Al_\alpha]$ من ضعف إلى ضعفين في طبقة انتشار سماكتها μm 40 ~ .

3- تبين أن ازدياد تركيزي Mo و Al وترابط (تداخل) الطورين α و β يكون على حساب إفقار المحاليل الصلبة TiN , Ti_2N (الصفائح الانغراسية) من النتروجين لا سيما في طبقات الانتشار التي تزيد سماكتها عن μm 100.

4- يؤدي ترابط (تداخل) الطورين α و β إلى تشكل محاليل صلبة انغراسية مما يؤدي إلى ازدياد القساوة المجهرية إلى القيمة $HV_{0.05}$ 470 بعد النتردة بغاز الأمونيا في طبقة انتشار تصل سماكتها μm60 ~ ، وإلى القيمة $HV_{0.05}$ 410، في طبقة انتشار تصل سماكتها μm40 ~ بعد النتروكربنة بغازي الأمونيا والميتان.

5- إن إمكانية ظهور الطور α' المارتنسيتي نتيجة تأثير شروط المعالجة وسرعة التبريد، واحتمالية تشكل فجوات ومسامات مغلقة مملوءة بالنتروجين أو الأكسجين أو الهيدروجين في الطورين α و β يتطلب المزيد من الدراسة.

المراجع

[1] Ильин А.А., Колачёв Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, Свойства , Справочник. — М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. — 520 с.

[2] Danil Vershinin, Marina Smolyakova,, Influence of Phase-Structure Composition on Properties of Titanium Alloys at Low–Temperature Nitriding in Mixtures of Gases. National research university «Belgorod State University» Centre NSMN ct.,(2011), pp.32-34.

[3] Andrea C. Sudik, Andrew R. Millward, Nathan W. Ockwig, Adrien P. Côté, Jaheon Kim, and Omar M. Yaghi .,Design, Synthesis, Structure, and Gas (N_2, Ar, CO_2, CH_4, and H_2) Sorption Properties of Porous Metal-Organic Tetrahedral and Heterocuboidal Polyhedra , Soongsil University, Seoul , Korea ,(2005), pp.157-743.

[4] Emeline A. V. , Sheremetyeva N. V. , Khomchenko N. V. , Ryabchuk V. K. Photoinduced Formation of Defects and Nitrogen Stabilization of Color Centers in N-Doped Titanium Dioxide, Institute of Physics, St. Petersburg State University, and Dipartimento di Chimica Organica, Universita , Italia, (2007), 111 (30), pp 11456–11462.

[5] Yong Luo , Wei Chai , Li Yang, Maocai Tian, Hao Xu, Wenwen Chen, The surface characterization of microporous titanium carbide coating on titanium alloys**,** Journal of Engineering Tribolog ,(2014), Vol. 228, ; pp. 521–528 .

[6] Коломенский А.Б., Шахов С.В., Коломенский Б.А. Влияние Газонасыщенных Слоев на Механические Харктеристики Листов из Титановых Сплавов , МиТОМ, Москва, (2016), № 6 (732) , С.30-35.

[7] Коллеров М.Ю, Мамонов А.М, Засыпкин В.В, Спектор В.С, Рунова Ю.Э. Особенности Формирования Структуры Титана при Термодиффузионном Насыщении Водородом ., МиТОМ, Москва, (2016), № 6 (732) , С.25-29.

[8] Илларионов А.Г., Попов А.А., Илларионова С.М.-Влияние Микролегирования, Включая РЗМ, на Структуру , Фазовый Состав и Свойства (α + β)-Титанового Сплава ., МиТОМ, Москва, (2015) ,№12 (726) , С. 17-23.

[9] Yasuhiro Morizono , Yuka Kawano, Sadahiro Tsurekawa,-Surface Hardening of Titanium by Using a Simplified Carbon and Nitrogen Diffusion Technique with Steel and Carbon Powders , The Japan Institute of Metals and Materials, (2013), Vol. 54, No.8 pp. 1454 – 1459.

[10] Vershinin, D.S. ; Smolyakova, M. Yu. . Influence of Phase-Structure Composition on Properties of Titanium Alloys at Low-Temperature Nitriding in Mixtures of Gases., Proceedings of 9th International Conference "Interaction of Radiation with Solids", Minsk, Belarus,(2011), Vol.46, pp.32-34.

[11] Ruike Yang, Chuanshuai Zhu, Qun Wei ,Zheng Du. Investigations on Structural, Elastic, Thermodynamic and Electronic Properties of TiN,Ti_2N and Ti_3N_2 under High Pressure by First-Principles, J. of Physics and Chemistry of Solids, (2016), 98 pp.10-19.

[12] Агзамов Р. Д. , Тагиров А. Ф. , Николаев А. А. Исследование Влияния Режиов Низкотемпературнго Ионного Азотирования на Структуру и Свойства Титанового Сплава ВТ6., Вестник (УГАТУ) ,(2017), Т. 21, № 4 (78), С.11–17.

[13] Коршунов Л.Г., Черненко Н.Л. Влияние Фрикционной Обработки на Структуру и Износостойкость Поверхносног Слоя Титана ВТ1-0, Подвергнутого Азотированию, Вестник ПНИПУ, (2014),Т. 16, № 4, С. 31- 48.

[14] Илларионов А.Г., Желнина А.В., Попов А.А., Щетников Н.В., Ледер, М.О., Калиенко М.С. Влияние Содержания Примесей на Температуру Полиморфного Превращения и Свойства Высокопрочных Титановых Сплавов, -. МиТОМ, Москва,(2018), № 5 (755), С.25-30.

[15] pairs Yuh-Ping Chang , Huann-Ming Chou1 , Li-Ming Chu and Jin-Chi Wang. Effects of Oxygen and Nitrogen Gases on the Dynamics Between the Interfaces of Self-Mated Titanium. Advances in Mechanical Engineering ,(2016), Vol. 8(4),pp.1–9.

[16] Y. Yang, D. Zhang, W. Yan, "Microstructure and wear Properties of TiCN /Ti Coatings on Titanium Alloy by Laser Cladding," Opt. Lasers Eng., (2010) ,48, pp.119–124.

[17] Владимирович З. И. Повышение Износостойкости Поверхностм Двухфазных Титановых Сплавов Азотированием в Тлеющем Разряде с Полым Катодом,- Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук., Уфа , (2017), 116 С.

[18] Hefeng Wang , Rui Zhang ,Zhi Yuan ,Xuefeng Shu ,Erqiang Liu ,Zhijun Han- A Comparative Study of the Corrosion Performance of Ttanium (Ti), Titanium Nitride (TiN), Titanium Dioxide (TiO_2) and Nitrogen-Doped Titanium Oxides (N–TiO_2), as Coatings for biomedical applications.- Ceramics International, (2015), Vol. 41, Part B, pp.11844-11851.

[19] Syropyatov V. Ya., Zintchenko V.M., Perekatov Yu. A. , Current concept of the nitrogen potential . MiTOM , Moscow ,(2004), №1 , pp.7-12.

[20] Zhecheva A., Malinov S., Sha W. Studying and Modeling Surface Gas Nitriding for titanium alloys , The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society,(2007), Vol. 59,Issue 6, pp 38-40.

[21] Zhecheva A., Malinov S., Sha W. Titanium Alloys after Surface Gas Nitriding ., Surface and Coatings Technology, (2006), vol. 201pp. 2467-2474.

[22] Малинов Л.С., Зечева А., В. Связь Микроструктуры и Свойств Промышленных Митановых Сплавов с Параметрами Процесса Азотирования из Газовой Фазы., МиТОМ, (2004), №7,С. 21-28.