----- مجلة علوم الرافدين، المجلد 16، العدد 1 خاص بالفيزياء، ص39 -49، 2005 -----

تأثير النيكل على كل من الطلاء ألا لوميني ومقاومة التأكسد الدوري للصلب السبائكي 321 AISI

مؤيد عبد الله محمد ايمن عبد الجبار الهاشمي

قسم الفيزياء – كلية العلوم

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 4200/4/24 ، تاريخ القبول 2004/10/23)

الملخص

تضمن البحث دراسة بنية واطوار الطلاء الناتج عن نوعين مختلفين من الطلاء للصلب المقاوم للصدأ من النوع الاوستنياتي 321 AISI . تضمن النوع الاول ترسيب عنصر النيكل بالطريقة الكهربائية ومن ثم المنته بطريقة بودقة السمنتة Pack cementation (طلاء المرحلتين). بينما تضمن النوع الثاني الترسيب المشترك لمسحوق مكون من عنصري النيكل والالمنيوم بطريقة السمنتة (طلاء المرحلة الواحدة).

استخدم في هذا البحث تقنية حيود الاشعة السينية X-ray diffraction والفحص المجهري للتعرف على التركيب الدقيق والأطوار الوسطية المتكونة فضلا عن سمك الطلاءات الناتجة وخواصها. كما أظهرت نتائج فحص الاكسدة الدورية لهذه الطلاءات في درجات الحرارة العالية، مقاومة جيدة للتأكسد بسبب تكون القشرة الاوكسيدية المستقرة والملتحمة $\alpha- Al_2O_3$ على مدى ساعات التعرض.

Influence of Nickel on Aluminide Coating and Cyclic Oxidation of 321 AISI Stainless Steel

Mooyad A. Mohammed **Ayman A. Alhashimee**

Department of Physics
College of Science
Mosul University

ABSTRACT

Two different types of aluminide coatings on oustenitic stainless steel 321 AISI, were investigated. One is based on predeposition of nickel by electrodeposition followed by aluminization using a pack cementation technique (double step – coating), while the other coating is based on codeposition of nickel and aluminium powder simultansly using a pack cementation (single step – coating).

The coating microstructure and intermetallic compound of the coating layers, as well as, coating thickness were identified using metallugraphy and X- ray analysis.

The coating microstructure and intermetallic compound of the coating layers, as well as, coating thickness were identified using metallugraphy and X- ray analysis.

The cyclic oxidation test of the coatings at elevated temperature reveals the formation of stable and protective scale $\alpha - Al_2O_3$ along the exposure time.

المقدمة

تتعرض السبائك والمعادن التي تستخدم في درجات الحرارة العالية وظروف بيئية قاسية مثل التوربينات الغازية الى الانهيار بسبب التأكسد والتآكل، وتلعب هندسة السطوح دورا مهما في حماية تلك المواد في مثل هذه الظروف. ولتحسين مقاومتها للتأكسد تطلى هذه السبائك بطبقة معدنية وغالبا ما تكون من الالمنيوم لتكوين القشرة الاوكسيدية الواقية Al_2O_3 اذا ما تعرضت للتأكسد (Maragoudaskis et al., 2003).

وتعمل القشرة الاوكسيدية الواقية هذه على حجب دخول الاوكسجين الى السبيكة مما يؤدي الى زيادة معدلات تأكسدها. وهناك شرطان اساسيان لنجاح عملية الطلاء وبالسمك المطلوب وهما الالتصاقية الجيدة والكثافة العالية (Misaelides et al., 1997). ومن اهم التقنيات المستخدمة في الطلاء هي طريقة السمنتة للطلاء الالومينى (Pack cementation) (Levin et al., 1998) وطريقة الغرس الايوني (Ion implantation) (Misaelides et al., 1997) واخرى عديدة ونظرا لسهولة تنفيذ تقنية السمنتة واعتدال تكاليفها، فهي الاكثر شيوعا وخاصة في الصناعة، وبهذه التقنية يتم وضع خليط من المساحيق (من بينها العنصر المراد الطلاء به) داخل بودقة وتطمر الاجزاء المراد طلائها داخل المسحوق في البودقة ثم تسخن داخل فرن مفرغ من الهواء او قد يستخدم احد الغازات الخاملة مثل الاركون، ويمكن ايجاد المزيد عن هذه التقنية في مصادر عديدة منها (Mohammed , 1983).

تعتمد طريقة الالمنة على استخدام بودقة السمنتة وهناك اليتين للطلاء ففي الاولى يمكن استخدام بودقة ذات فعالية عالية للالمنيوم (high aluminum activity) وفيها ينتشر الالمنيوم الى داخل السبيكة لتكوين واحد او اكثر من الأطوار الغنية بالألمنيوم ، وفي الثانية تكون البودقة ذات فعالية قليلة للالمنيوم (low aluminum activity) وفيها تنتشر عناصر السبيكة نحو السطح في نفس الوقت الذي ينتشر الالمنيوم الى الداخل ليسهم في تكوين الطلاء وغالبا ما يكون طبقة الطلاء مكونة من الاطوار المتوازنة او الغنية بالعناصر الاساسية للسبيكة (Boon and Gaward, 1971). وان خواص الاطوار الناتجة وتركيبها سوف يعتمد على مكونات البودقة والسبيكة فضلا عن درجة الحرارة وزمن التعامل.

تحوير الطلاء الالومينى:

يتفق الباحثون على ان انهيار الطلاء الالومينى يحدث بسبب استنفاذ عنصر الالمنيوم من السطح اما عن طريق تكوين القشرة الاوكسيدية Al_2O_3 وتساقطها نتيجة الاجهادات الحرارية والميكانيكية او عن

وحدوث ما يعرف بانهيار الطلاء (coating degradation) والذي يتسبب في تناقص تركيز الالمنيوم عند السطح الخارجي وبالتالي تقليل احتمالية تكوين القشرة الاوكسيدية الواقية. لذا تركزت البحوث على تحسن خواص التصاق القشرة الاوكسيدية وذلك بترسيب العناصر النادرة مثل (Y,Ce,Se,La) بطرق كيمائية وفيزيائية (Seal et al., 2000) أو اضافة بعض العناصر الى بودقة الطلاء مثل Pt (Vanmanen, et al., 1993) والكروم والسيلكون (Shahrour, 1994). كما ان اضافة هذه العناصر او اكاسيدها الى السبيكة نفسها قد اسهم في تحسين مقاومة التأكسد (Kim et al., 1993) فضلا عن استخدامها في الطلاء غطاء خارجي (Over lay coating) بواسطة الغرس الايوني او ترسيبها كهربائيا قبل المنتها (Datta, et al., 2002).

يهدف البحث الى دراسة تأثير عنصر النيكل على كل من خواص الطلاء وسمكه وأطواره الناتجة وذلك بترسيبه كهربائيا قبل الالمنة (طلاء المرحلتين) (double step-coating) او اضافته كاحد مكونات مسحوق الطلاء مع الالمنيوم (طلاء المرحلة الواحدة) (single step- coating) فضلا عن دراسة تأثيره على مقاومة التأكسد الدوري لسبيكة الصلب AISI 321 .

طريقة العمل

1- تحضير الطلاءات Coating preparation:

اختيرت سبيكة الصلب AISI 321 كأساس لاجراء الطلاءات كونها من السبائك المقاومة للتأكسد في درجات الحرارة المعتدلة لاحتوائها على 18 % كروم وهذه النسبة تكفي لتكوين القشرة الاوكسيدية Cr_2O_3، الا ان المعروف ان هذا الاوكسيد اضافة الى كونه من الاكاسيد المتبخرة (Volutized oxide) فانه يتعرض للتقشر والتساقط بسبب الاجهادات الحرارية والميكانيكية. ولزيادة مقاومة هذه السبيكة للتأكسد والتآكل في درجات الحرارة العالية تم اختيارها للطلاء الالومينى بهدف الحصول على القشرة الاوكسيدية المستقرة α $-Al_2O_3$. ويبين الجدول (1) النسب المئوية للعناصر المكونة لها.

جدول 1: النسب المئوية للعناصر المكونة لسبيكة الصلب المقاوم للصدأ 321 .

Type	C %	Mn %	Si %	Ni %	Cr %	S %	Ti %	Fe
Stainless steel 321 AISI	0.0544	1.477	0.604	8.962	18.636	0.0015	0.21	Bal.

قطعت النماذج بشكل شرائح ابعادها mm (2*10*20) واجريت لها عمليات التجليخ والتنعيم (Grinding) باستخدام ورق كار بيد السيلكون حجمه الحبيبي 1200,600,220 وبعد غسل النماذج وتنظيفها من الشحوم صنفت الى مجموعتين:

1-1: طلاء المرحلتين double step – coating:

أولا:- استخدم في طلاء هذه النماذج خلية كهربائية لترسيب النيكل داخل حوض يحتوي على 180غم/لتر من حامض البوريك H_2BO_3 وتيار كثافته $8Am / dcm^2$ وفي درجة حرارة 45 م° وزمن طلاء يتراوح بين 35 – 40 دقيقة (الزهيري، 2001).

ثانيا:- اجريت عملية الطلاء بالالمنيوم بعد طلائها بالنيكل وذلك باستخدام بودقة تحتوي على خليط من المساحيق مكونة 25 % مسحوق الالمنيوم، 5 % مسحوق كلوريد الامونيوم و70 % مسحوق الالومينا وبعد مزج هذا الخليط لمدة 12 ساعة يوضع في بودقة الطلاء وتطمر العينات المراد طلائها داخل البودقة التي توضع مع محتوياتها داخل فرن كهربائي انبوبي بدرجة 1000 م° ثم يفرغ من الهواء الى حوالي 10^{-3} تور.

اعدت الطلاءات لفترات زمنية 4، 2 و8 ساعات وفي كل مرة تبرد البودقة داخل الفرن قبل استخراج النماذج المطلية.

1-2 طلاء المرحلة الواحدة single step coating :

ويستخدم فيها بودقة تحتوي على خليط مكون من 12.5% مسحوق الالمنيوم، 12.5 % مسحوق النيكل، 5 % مسحوق كلوريد الامونيوم و70 % مسحوق الالومينا ويتم طلاء النماذج كما في الطريقة السابقة.

2- اختبار الأكسدة Oxidation tests :

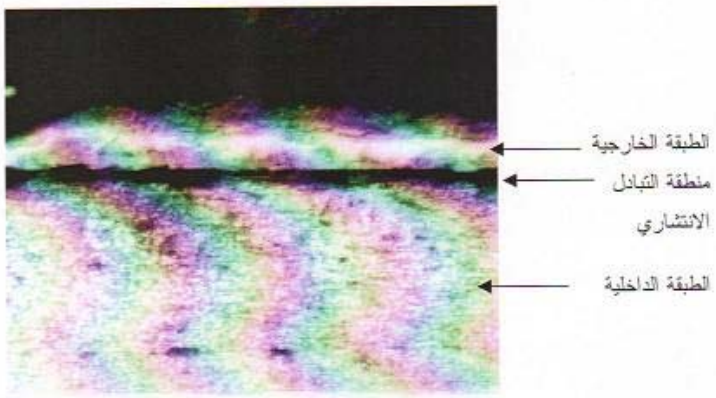
تضمنت عمليات اختبار الاكسدة للعينات المطلية باستخدام الفرن الانبوبي مفتوح الطرفين ومسخن بدرجة 1000 م° وتحت الضغط الجوي الاعتيادي واختبرت عمليات الاكسدة بطريقة الدورات الحرارية (Cyclic oxidation) كونها تمثل الوجه الحقيقي لاستخدام هذه الطلاءات التي تتعرض لدورات حرارية متكررة.

وللتعرف على حركية الاكسدة وتقييم معدلات تأكسدها، سجلت أوزان العينات باستخدام ميزان حساس قبل وبعد التعرض التي استغرقت 22 ساعة لكل دورة حرارية أي ما مجموعه 220 ساعة. وللتعرف على انواع الاكاسيد وتحديد نوع الاوكسيد، استخدمت فحوصات الاشعة السينية ايضا.

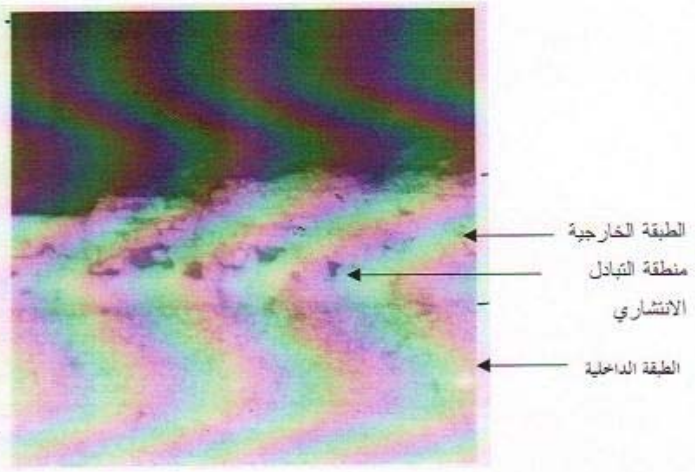
النتائج والمناقشة

نظرا لكون البحث يتضمن جزأين اساسيان وهما تحضير الطلاء والاكسدة الدورية فسوف يتم مناقشتها كل على انفراد.

أولا: يمثل الشكل (1 a) المقطع العرضي لطلاء المرحلتين و(b) لطلاء المرحلة الواحدة والمحضرتين بدرجة حرارة 1000 م° وزمن 8 ساعات.



a- X 900



b- X225

شكل 1: المقطع العرضي الذي يوضح التركيب المجهري للعينات المطلية.
(a) بمرحلتين بدرجة 1000م بعد 8hr.
(b) بمرحلة واحدة بدرجة 1000م بعد 8hr.

يظهر الفحص المجهري لنوعي الطلاء بانه مكون من طبقتين مميزتين (داخلية وخارجية) ويفصل بينهما منطقة يمكن تميزها بسهولة وتعرف بمنطقة التبادل الانتشاري (inter diffusion zone). ويبين الجدول (2) تفاصيل قياس السمك لهذه الطبقات والاوزان المكتسبة بعد الطلاء، ويتضح من مقارنة الارقام ان السمك الكلي وكذلك سمك الطبقات المتعددة هو اقل بكثير من طلاء المرحلة الواحدة ، ويفسر هذا أن ترسيب طبقة النيكل كهربائيا على السطح قبل الالمنة قد تسبب في (1) إعاقة انتشار الألمنيوم الى داخل سطح السبيكة أي سرعة انتشار الالمنيوم في حالة غياب النيكل كانت هي الاكبر وبالتالي فان سمك طبقة الطلاء هي الاقل. (2) ان التباطؤ في سرعة انتشار الالمنيوم في حالة ترسيب النيكل كهربائيا (طلاء المرحلتين) تسبب ايضا في ظهور اطوار غنية بالالمنيوم مثل Ni_2Al_3 و Al_9Cr في الطبقة الخارجية، في حين لم يتأكد وجود الاطوار في طلاء المرحلة الواحدة، حسب ما اشارت اليه نتائج تحليل الاشعة السينية الجدولين (3 و 4).

جدول 2: تفاصيل معدلات الوزن المكتسب وسمك الطلاء المحضر بمرحلتين وبمرحلة واحدة بدرجة الحرارة 1000 °C.

Two stage						
Temp. °C	Time of coating hr	Avg. thickness of coating µm				Avg. weight gain mg/cm²
		Inner layer	Inter diffusion zone	Outer layer	total	
1000 °C	2 4 8	- - 64	- - 4.4	30 60 12	30 60 80.4	50 70.4 80
One stage						
Temp. °C	Time of coating hr	Avg. thickness of coating µm				Avg. weight gain mg/cm²
		Inner layer	Inter diffusion zone	Outer layer	total	
1000 °C	2 4 8	133 235 195	7 15 30	40 50 100	180 300 325	35 48 56

كذلك يبين الجدول (2) والشكل (2)ان معدل وزن الالمنيوم المكتسب في طلاء المرحلة الواحدة هو اقل مما هو عليه في طلاء المرحلتين مع ان كليهما يخضعان لقانون القطع المكافئ أي ان عملية الطلاء تكون محكومة بقوانين الانتشار التي تقل معدلاتها مع الزمن . ويتضح من ذلك أيضا ان إضافة مسحوق النيكل الى بودقة الطلاء ، يعمل على تقليل فعالية الألمنيوم في البودقة ويتفق ذلك مع ملاحظة الباحث (Levin, et al., 1998) عند إضافة الحديد في بودقة الطلاء .

جدول 3: نتائج فحص حيود الأشعة السينية XRD للطلاء الناتج بمرحلتين (نيكل – ألمنيوم) بدرجة الحرارة 1000 ^{0}C .

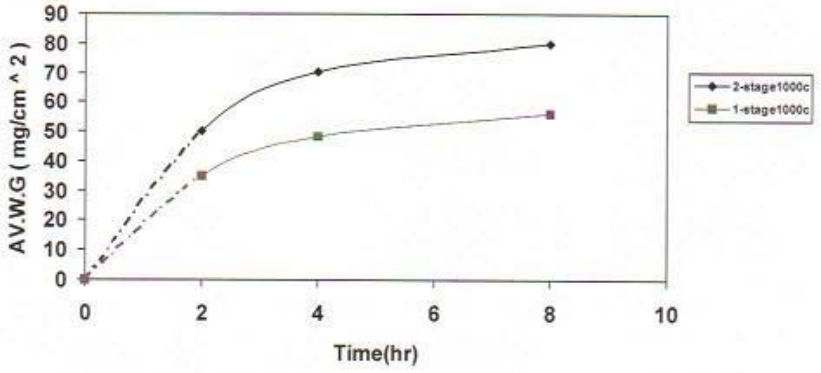
Peak No.	Value of 2θ (degree)	Relative Int. I_{max}/I_0	Value of d^0/A $d=\lambda/2\sin\theta$	Phase Type
1	31.1	19.2	2.86	©
2	33.6	9	2.65	Φ
3	41.6	15	2.15	O
4	43.5	100	2.07	Φ □
5	63.2	13	1.468	©
6	72.9	9.6	1.29	O
7	80.6	15	1.189	+

Φ Ni_3Al σ- FeCr © Ni_2Al_3 O Al_5Cr + FeAl

جدول 4: نتائج فحص حيود الأشعة السينية XRD للطلاء الناتج بمرحلة واحدة (نيكل + ألمنيوم) بدرجة الحرارة 1000 ^{0}C .

Peak No.	Value of 2θ (degree)	Relative Int. I_{max}/I_0	Value of d^0/A $d=\lambda/2\sin\theta$	Phase Type
1	43.3	100	2.08	© O Φ
2	49.7	21	1.83	
3	52.3	11	1.74	©
4	74.3	12	1.27	Φ
5	76.3	13	1.24	Φ
6	81.4	65	1.17	© ?
7	85.2	19	1.13	Φ

Φ Ni_3Al O FeNi © [Cr–Ni–Fe] ? NiAl



شكل 2: الوزن المكتسب الناتج من عملية الطلاء المحضر بمرحلتين وبمرحلة واحدة بدرجة ^{o}C 1000 .

ثانيا:- الأكسدة الدورية:

يبين الشكل (3) حركية التأكسد لكلا النوعين من الطلاءات اضافة الى نموذج مطلي بالالمنيوم فقط (الطلاء التقليدي) وآخر غير مطلي لاجل المقارنة. ويتضح جليا ان النموذج غير المطلي اصابه الانهيار الكامل بعد اقل من اربعة دورات حرارية (88) ساعة وان الفقدان في وزن النموذج بلغ حوالي 95 % من وزنه الاصلي، بينما بلغ الفقدان في الوزن للنموذج المطلي بالالمنيوم فقط حوالي $40\ mg/cm^2$ بعد 220 ساعة.

اما بالنسبة للنماذج المطلية بالنيكل والالمنيوم ولكلا النوعين فانهما لم يفقدا من وزنيهما بعد طيلة فترة الدورات الحرارية وهذا يؤكد ان اضافة النيكل قد اسهم في تحسين خواص التصاق القشرة الاوكسيدية الواقية والملتحمـــة $\alpha - Al_2O_3$ لان نتائج تحليل الاشعة السينية الموضحة بالجدولين (6,5) تؤكد وجودها بعد طيلة فترة التعرض، كما تشير ايضا الى وجود بعض الاكاسيد الثنائية (Spinel) مثل $NiCr_2O_4$ و $FeCr_2O_4$.

من المعروف ان الاكاسيد الثنائية تتميز بمعدلات نمو عالية وان تكونها قد يعزى الى قلة الالمنيوم في طبقة الطلاء الخارجية حيث ان الطور السائد لطلاء المرحلة الواحدة بعد الاكسدة ما زال هو الطور الغني بالنيكل Ni_3Al بينما نجد ان طلاء المرحلتين ما زالت تتمتع بوجود الطور الغني بالالمنيومNi_2Al_3 الذي يعمل على توفير عنصر الالمنيوم لفترة اطول.

وعلى الرغم من ان هناك العديد من البحوث استخدمت فيها عناصر او اكاسيدها لتحسين التصاقية القشرة الاوكسيدية الا ان تأثير النيكل ظل بعيدا عن اطار هذه الدراسات، حيث استخدم البلاتين والراديوم قبل المنة سبيكة اساسها نيكل MAR-Moo2 (Bachorczyk, et al., 2000) وكذلك تـــعمل العناصـــر

Mo,Ta,Nb عند ترسيبها على السطح بطريقة الترذيذ (Sputter deposition)(Habazaki et al., 2002) وكما هو الحال في استخدام عنصر البورون في السنوات الاخيرة (Maragoudakis et al., 2003) وكذلك استخدام Y_2O_3 المرسبة كيمائيا قبل وبعد المنة سبائك الصلب الحاوية 30 % كروم (oungninou, et al, Accepted) ولم تقتصر دراسة تحسين الالتصاقية للقشرة الاوكسيدية للطلاءات بل اصبحت تضاف الى السبائك نفسها ولنفس الغاية وخاصة للسبائك التي تحتوي على نسب عالية من الكبريت حيث يضاف عنصر Hf لتحسين الالتصاقية لقشرة Al_2O_3 (Haynes et al., 2000) واستخدام CeO_2 لعدد من سبائك الصلب 321,316,347,304 (Seal et al., 2000) وعلى سبيكة ثنائية من الحديد – كروم(Rhys and Grabke, 1988) واضافة Y_2O_3 (Pint et al., 1999)، وقد لا توجد الية ثابتة ومحددة حول دور هذه العناصر والمركبات على عملية تعزيز التصاقية القشرة الاوكسيدية الا ان عددا من الاليات قد تكون هي الاساس في ذلك ومنها تعزيز الاكسدة الاختيارية للالومينا او تقليل نمو الاكاسيد الاخرى الثنائية والمنفردة او منع تساقط القشرة الاوكسيدية عن طريق تشكيل ما يشبه الاذرع (Piggs) او تقليل الفجوات المتكونة في المنطقة البينية بين الاوكسيد والسبيكة(Moon, 1989).

جدول 5: نتائج فحص حيود الأشعة السينية XRD للنموذج المؤكسد والمطلي بمرحلتين (نيكل – ألمنيوم) بدرجة الحرارة ^0C 1000 .

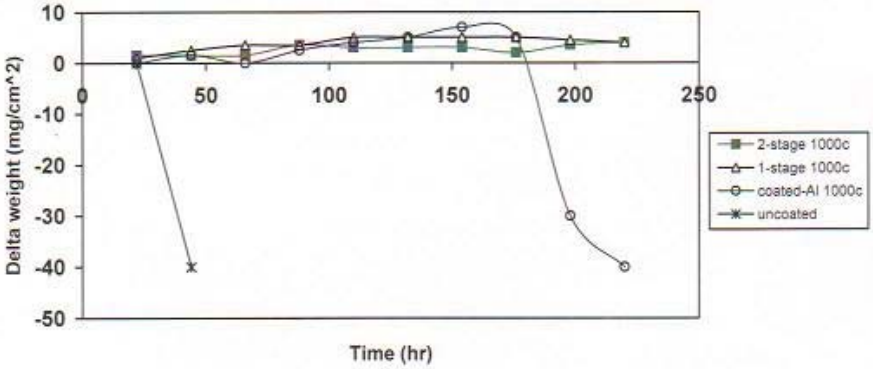
Peak No.	Value of 2θ (degree)	Relative Int. I_{max}/I_0	Value of d^0/A $d=\lambda/2\sin\theta$	Phase Type
1	35.5	100	2.522	□□+
2	43	22.2	2.098	+ ô
3	52	33.3	1.75	□
4	57.3	17.7	1.60	+ ô
5	62.8	31	1.47	+ ô

Al_2O_3 ô NiCr2O4 + $FeCr_2O_4$

جدول 6: نتائج فحص حيود الأشعة السينيةXRD للنموذج المؤكسد والمطلي بمرحلة واحدة (نيكل+ألمنيوم) بدرجة الحرارة ^0C 1000 .

Peak No.	Value of 2θ (degree)	Relative Int. I_{max}/I_0	Value of d^0/A $d=\lambda/2\sin\theta$	Phase Type
1	30.2	51.2	2.95	+ ô
2	35.6	71.1	2.514	+
3	42.9	100	2.101	ô
4	51.8	48.7	1.76	□
5	57.1	69.2	1.61	+ ô
6	62.9	38.4	1.47	+ ô
7	66.4	46	1.4	□

Al_2O_3 ô $NiCr_2O_4$ + $FeCr_2O_4$



شكل 3: حركية التأكسد للعينات المطلية بالالمنيوم فقط والمطلية بمرحلتين وبمرحلة واحدة والعينات الغير مطلية بدرجة ^0C 1000 .

المصادر العربية

الزهيري، فراس فرحان سيد، 2001. دراسة تأثير الطلاء المعدني على مقاومة سبيكة النيكل. رسالة ماجستير، مقدمة إلى الجامعة التكنولوجيا.

المصادر الأجنبية

Bachorczyk, R.; Danielewski, M.; Datta P.K.; Robort, F. and Fisher, G., 2000, Computer simulation of hetrogeneous Reactions Controlled by Diffusion in Modified Aluminide Coatings on a Nickel–Based super alloy,Solid state Phenomena,Vol. 72, pp. 53-58.

Datta S.; Filipek, R. and Danielewski, M., 2002. Interdiffusion issues in Pt – Modified NiAl Coatings, Defect and Diffusion Forum, Vol 5. 203 –205, pp. 47 – 60.

Goward, G.W. and Boone, D.H, 1971. Mechanism of formation of diffusion aluminide Coatings on nickel–base super alloys oxidation of Metals,Vol. 3,No. 5,pp.475– 495.

Habazaki,H.; Mitsui,H.; Ito.,K.; Asami,K.; Hashimoto, K., and Mrowec, S., 2002. Rolles of aluminium and Chromium in sulfidation and Oxidation of sputter – deposited Al and Cr – refractory metal alloys, Corrosion Science, Vol. 44, pp. 285 – 301.

Houngninou, C.; Chevalier, S. and Larpin, J. P., Accepted in J. of Material Science Eng.

Haynes, J.A.; More, K.l.; pint, B.A.; Wright, I.G.; Cooley, K., and zhang, Y., 2000. Effects og platinum additions on the adherence of alumina Scale to CVD aluminide bond Coatings, Contract DE–ACO5– 960R 22464 with Lockheed Martin Energy Research Corporation.

Ky.kim, J.H. and Jun and Lee, J.K., 1993. High temperature corrosion study on Yttrium modified aluminide coating on IN 713 C. Journal de Physique IV.3 (c9 part2):251-529.

Levin, L.; Ginzburs, A.; klinger, L.; Werber, T.; Katsman, A. and Schaaf, P., 1998. Controlled formation of surface layers by pack aluminization. surface and coating technology, No. 106, pp 209-213.

Maragoudakis, N.E.; Tsipa, S.D.; Stergiouds, G.; Omar, H. and Tsipas, D.N., 2003. Boro –Aluminide Coatings for protection aginst high Temperature Steam oxidation, J. of Corrosion Science and Engineering, Vol. 6, paper Ho25. pp. 1-7.

Misaelides,P.; Noli, F.; Riviere, J.P. and Delafond, J., 1997. Surface characterisation and Corrosion behaviour of Sic- Coated AISI 321 stainless steel, No. 129, pp. 221-227.

Mohammad, M. A., 1983. Ph.D Thesis, Loughborogh university of Technology, U.K.

Menzies,I.A. and Mortimer, 1966. the oxidation of chromium diffusion Coatings on iron: chromium volatility and experimental technique, Corrosion Science, Vol. 6, pp. 517-539.

Moon, D.P., 1989. Role of reactive elements in alloy protection Materials science and echnology, vol.5, pp. 754-764.

Pint, B.A.; Tortorelli, P.F., 1999. Cyclic oxidation of high temperature Materials, Schütze and Quadakkers eds., The institute of materials, London, 111 p.

Rhys, Jones, T.N, and Grabke, H.J.,1988. Use of cerium and cerium Oxide additions to improve high temperature oxidation of Fe-Cr alloys, Materials science and technology, Vol. 4.

Seal, S.; Roy, S.K.; Bose, S.K. and Kuiry, S.C., 2000. Ceria-Based high-temperature coatings for oxidation prevention , J. of oxidation of metals, Vol. 52, No. 1, pp.1-7.

Shahrour, K.M.N., 1994. Some aspects of chromium and silicon– aluminide coatings on 321 stainless steel alloy, M.S.Cthesis, University of Mosul, Iraq .

Vanmanen,P.A.; Leibbrandt, G.W.R. and Dewit, J.H.W, 1993. the oxidation mechanism of pt20 Ni30 Al50, Journal. De physique IV.3, (c9. Part 1), pp. 123-131.