----- مجلة علوم الرافدين، المجلد 16، العدد 1 خاص بالفيزياء، ص81 -87، 2005 -----

إنتاج الطلاء الالومیني لمحركات التوربينات الغازية بطريقة السمنتة

مؤيد عبد الله محمد
قسم الفيزياء – كلية العلوم
جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2004/4/21 ، تاريخ القبول 2004/11/7)

الملخص

في هذا البحث تم تصميم بودقه يمكن استعمالها في إنتاج الطلاء المعدني لبعض السبائك المستخدمة في درجات حرارية عالية كأجزاء المحركات التوربيبنية والغاليات بهدف زيادة مقاومتها للتأكسد والتآكل.

ففي الطريقة التقليدية لإنتاج الطلاء ألا لوميني بطريقه السمنته يتم مزج المساحيق جميعها وهي كلا من مسحوق معدن الألومنيوم مسحوق كلوريد الامومنيوم ومسحوق الالومينا بنسب معلومة ويتم ظمر الجزء المراد طلائه داخل هذا المزيج وبعد انقضاء فتره الطلاء يهمل المزيج بأجمعه بسبب تحال كلوريد الامونيوم اثناء عمليه الطلاء والذي يصعب تعويضه بنفس النسبة وبالتالي يؤدي ذلك الى خسارة في مسحوق الالمنيوم غير المستهلك .أما في التصميم الجديد للبودقه تتوفر امكانية عزل مسحوق كلوريد الامونيوم عن بقية المزيج وبذلك يمكن تعويضه بنفس النسبة دون الحاجة الى استبدال مسحوق الالمنيوم .

Production of Aluminium Coating for Gas Turbine Engines By Cementation Method

Mooyad A. Mohammed
Department of Physics
College of Science
Mosul University

ABSTRACT

In this research ,a new pack design has been used for production of metallic coating for alloys, in order to resist oxidation and corrosion at high temperatures. Such alloys are manufactured for some parts of Gas Turbine engines and boilers.

In traditional pack cementation method for production of aluminide coating, a mixture of powders, such as, Aluminium ,Ammonium chloride ,and Alumina were mixed together at a certain percentage, and the parts to be coated are submerged in this mixture, after coating time proceeds, the mixture is usually discarded and can not be used again because the Ammonium chloride which has been dissociated can not be replaced with the same percentage again.

This process could lead to a high loss of unused Aluminium powder.

This new pack design can offers an opportunity to isolate Ammonium chloride (activator) from the rest of pack mixture, by so, one can substitute the activator alone without replacing the rest of mixture.

Such pack design has been used in the investigation of coating production at different temperatures and the structure of the coating produced was compared with that produced in traditional method for the same alloy , and the results were indicated to a good similarity of structure except in thickness.

المقدمة

تستعمل طريقة السمنتة لأنتاج الطلاء ألا لوميني لبعض أجزاء المحركات التوربينية كالزعانف و الأجزاء الدوارة الأخرى التي تتعرض لدرجات حرارية عالية مما تتسبب في أكسدتها، كما ان وجود أملاح الكبريت في الجو وخاصة كبريتات الصوديوم التي يكثر تواجدها في المناطق فوق البحار والمحيطات فضلا" عن وجود الشوائب في الوقود مثل الفناديوم والتي تؤدي إلى زيادة تآكلها بعملية تعرف بالكبرتة (Sulphidation) (Strafford et al.,1989).

ومن اجل زيادة مقاومة هذه الأجزاء ضد التآكل تتم عملية طلائها بالألمنيوم باستعمال تقنيات عديدة منها الترسيب البخاري CVD (Smith et al.,1999) والترسيب البخاري الفيزيائي PVD (Grunling,1982). ولكن اكثر التقنيات شيوعا" تلك التي تعرف بالسمنتة (Pack Cementation) (Meier et al.,1989) نظرا" لكونها سهلة التنفيذ واقل تكلفة من غيرها فضلا" عن كونها مناسبة لطلاء الأجزاء غير الضاهرة للعيان كسطوح التجاويف الموجودة في زعانف المحركات التي تصمم لتسمح بمرور الهواء من خلالها لتبريدها.

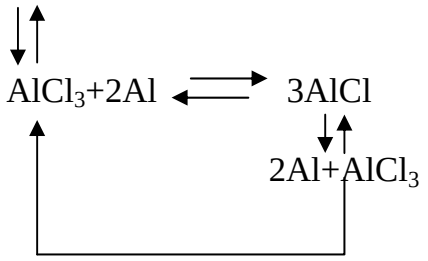
في طريقة الطلاء بالسمنتة تغمر الأجزاء المراد طلائها داخل بودقة تحتوي على مزيج من المساحيق مثل مسحوق معدن الطلاء (الألمنيوم) ومسحوق منشط (Activator) مثل كلوريد الأمونيوم ومسحوق خامل لمنع تكتل معدن الطلاء مثل ثالث أو كسيد الألمنيوم. يتم خلط هذه المساحيق بنسب معلومة ثم توضع داخل البودقة، وبعد ان تعمر الأجزاء المراد طلائها، تسخن البودقة مع محتوياتها في فرن مفرغ من الهواء أو بوجود غاز الاركون إلى درجات حرارية تتراوح بين (900-1050) م5 ولفترات زمنية معينة حيث ان تركيبة الطلاء الناتج وسمكه يعتمد عليها فضلا" عن نسب مكونات المسحوق و نوع السبيكة المستخدمة.

وتتلخص التفاعلات الكيميائية داخل البودقة كما يلي، (Mohammed,1983).

$$3NH_4Cl \xrightarrow{\Delta} 3NH_3+3HCl$$

$$+$$

$$Al$$



$\frac{3H_2}{2}$ يخرج من المنظومة

وكما هو واضح من معادلات التفاعل فأن الكلور التحرر هو المسؤول عن نقل عنصر الألمنيوم الى الجزء المراد طلاءه وذلك بترسيبه على السطح. وان كلوريد الأمونيوم يتحلل إلى غاز كلوريد الهيدروجين وغاز الامونيا بدرجة (500-550) م^5 (Squillace et al.,1999) وإن عملية نقل عنصر الألمنيوم إلى السطح تتم في هذه الدرجة و ان الهدف من مسحوق كلوريد الأمونيوم بنسبة معينة هو لأكمال عمليات التفاعل والذي سوف يستهلك بعد كل عملية طلاء مما يتطلب تنشيط المسحوق بنفس النسبة، وهذا ليس بالأمر السهل لكونه موجود مع المساحيق الأخرى لذا يتطلب استبدال المسحوق بأكمله في حين ان مسحوق الألمنيوم لم يستهلك كليا" مما يجعل عملية الطلاء مكلفة خاصة إذا ما أخذنا بنظر الاعتبار ان هذه التقنية تستخدم صناعيا" وقد يستهلك عشرات الكيلو غرامات من مسحوق الألمنيوم.

أما هذه الدراسة فهي محاولة لإنجاز عملية الطلاء باستخدام بودقة يوضع فيها مسحوق كلوريد الأمونيوم بصورة منفصلة عن بقية مكونات المسحوق وبذلك يمكن من الناحية العملية تعويضه بسهولة وبنفس النسبة المطلوبة دون ان يكون هناك خسارة في مسحوق عنصر الألمنيوم بعد إتمام كل عملية الطلاء.

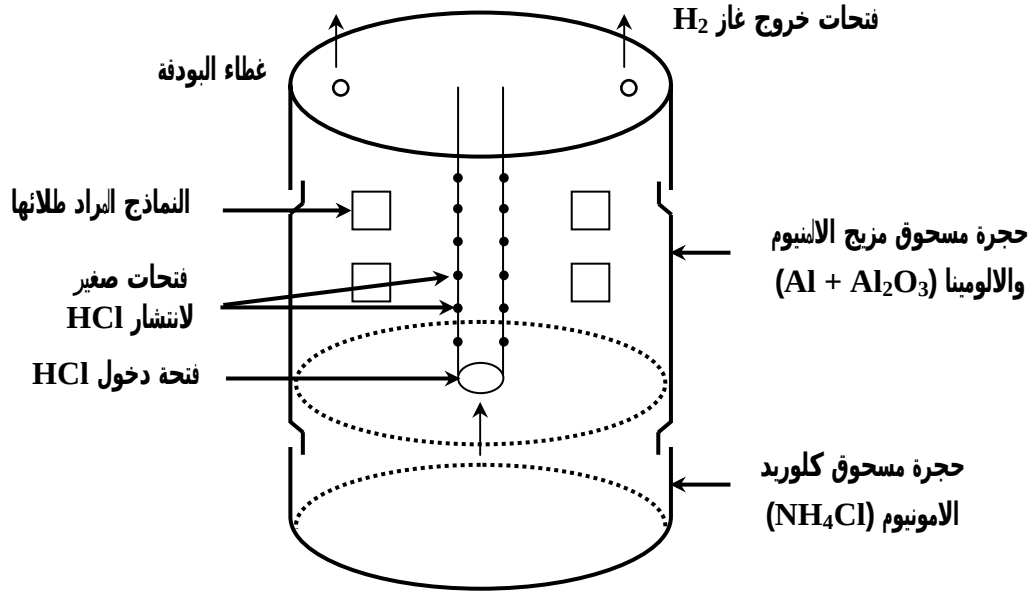
طرائق العمل

يتضمن العمل تصميم بودقة كما موضح في الشكل (1) و تتكون هذه البودقة من حجرتين معزولتين بحيث يمكن فصلهما عن بعضهما دون ان تخلط المساحيق, يتم وضع مسحوق كلوريد الأمونيوم في الحجرة السفلية المنفصلة عن بقية أجزاء البودقة فعند تسخينها يمرر غاز كلوريد الهيدروجين خلال الفتحة الموجودة اسفل الحجرة العليا والتي ترتبط بأنبوب يحوي على فتحات صغيرة موزعة على طوله وتسمح لمرور الغاز من خلالها ليتم تفاعل الالمنيوم الى الجزء مع غاز كلوريد الهيدروجين لتكوين الهاليد (كلوريد الأمونيوم) داخل الحجرة العليا و الذي يقوم بدوره بنقل الألمنيوم الى الجزء المراد طلائه.

استخدمت هذه البودقة لطلاء عينات من سبيكة الفولاذ. المقاوم للصدأ (Stainless steel 321) وكما يلي :

1. طلاء عينات بدرجة حرارة تتراوح بين (500-550) م^5 داخل فرن مفرغ من الهواء و لفترة زمنية قدرها 4 ساعات، الشكل (2 أ).
2. طلاء عينات بدرجة حرارة تتراوح بين (1000-1050) م^5 داخل فرن مفرغ من الهواء ولفترة زمنية قدرها 4 ساعات، الشكل (2 ب).
3. طلاء عينات بدرجة حرارة تتراوح بين (500-550) م^5 داخل فرن مفرغ من الهواء و لفترة زمنية قدرها ساعتين ثم أعقبها إجراء معاملة حرارية للعينات بدرجة حرارة تتراوح بين (1000-1050) م^5 و لمدة ساعتين أخريين الشكل (2 جـ).
4. طلاء عينات بدرجة (500-550) م^5 داخل فرن مفرغ من الهواء و لفترة زمنية قدرها ساعتين ثم أعقبها إجراء عملية تلدين للنموذج بدرجة (1000-1050) م^5 لمدة 8 ساعات، الشكل(2 د).

تم فحص بنية الطلاء لكل حالة بعد أجراء العمليات المتالورجية المعروفة ويتضمن صب النماذج وقطعها وتجليخها وتلميعها ثم استخدمت بعض المحاليل الكيميائية في عملية حفر النماذج (Etching) وبالتالي فحصها بواسطة المجهر الضوئي الاعتيادي للتعرف على بنية الطلاء (coating structure) وقياس السمك.



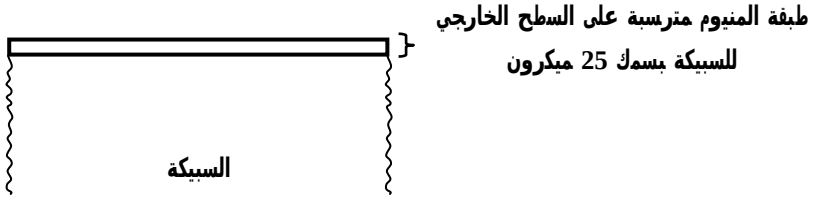
شكل 1: شكل تخطيطي للبودقة المصممة لعملية الطلاء.

النتائج والمناقشة

يبين الشكل (2 أ) الفحص المجهري لبنية الطلاء الناتج بدرجة (500-550) م^5 وهي عبارة عن طبقة من الألمنيوم المترسب على السطح الخارجي للسبيكة و بسمك يتراوح بين (20-25) ميكرون و لم تظهر عملية

الحفر (التنميش) ما يشير الى حدوث عملية انتشار الالمنيوم الى داخل سطح السبيكة. بينما يوضح الفحص المجهري، الشكل (2 ب) والشكل (2 أ) بنية الطلاء الناتج وهو مكون من طبقة خارجية وبسمك حوالي (150-175) ميكرون وهي تمثل الطبقة الرئيسية للطلاء، واخرى داخلية لا يتجاوز سمكها 25 ميكرون مما يفسر انتشار الالمنيوم الى داخل سطح السبيكة بفعل استخدام درجات الحرارة المرتفعة (1000-1050) م^5 ولنفس زمن الطلاء. وفضلا" عن انتشار الالمنيوم الى داخل سطح السبيكة الذي اسهم في تكوين الطبقة الخارجية فأن الانتشار المعاكس لعنصر السبيكة أيضاً قد أسهم في تكوين الطبقة الداخلية الرقيقة من الطلاء والدليل على ذلك هو تكوين ما يعرف بمنطقة التبادل الانتشاري (Interdiffusion zone).

كما يوضح الشكل (2 جـ) التركيب البنيوي لطلاء الناتج خلال المرحلتين و التي تضمنت المرحلة الاولى، وهي عملية الطلاء لمدة ساعتين بدرجة حرارة (500-550) م^5 ثم أعقبها المرحلة الثانية وهي عملية أجراء المعاملة الحرارية للطلاء. لمدة ساعتين بدرجة تراوحت بين (1000-1050) م^5 و بصورة عامة فان الطلاء مكون من طبقة خارجية رئيسية بسمك (200-225) ميكرون واخرى داخلية وهي تمثل منطقة التبادل الانتشاري وبسمك يتراوح بين (35-40) ميكرون. ان هذا التركيب يشبه الى حد كبير التركيب الذي حصلنا عليه بمرحلة واحدة بدرجة (1000-1050) م^5 باستثناء الزيادة الحاصلة في سمك الطلاء الناتج ولكلا المنطقتين المكونة للطلاء، وكما اوضح الفحص المجهري ان بعض الترسبات والاطوار الثانوية الموجدة اصلاً في السبيكة او تلك التي تكونت بفعل المعاملة الحرارية قد ظهرة في الطبقة الخارجية مما يؤكد انتشار الالمنيوم في داخل السبيكة فضلاً عن الانتشار الماكس لعناصر السبيكة والذي تسبب في تكوين المنطقة الداخلية للطلاء، الا ان الزيادة الحاصلة في سمك كلا من المنطقتين تعزى الى زيادة زمن التعامل الحراري،أي ان استمرارية التبادل الانتشاري بين الالمنيوم الى داخل سطح السبيكة من ناحية والعناصر المكونة نفسها بألاتجاه المعاكس من ناحية اخرى. تؤكد هذه الطريقة في الطلاء الحصول على طبقة واحدة متجانسة ومؤلفة من طور واحد بعد اجراء عملية التلدين الحراري (Annealing) بدرجة 1050 م^5 لمدة 8 ساعات كما يتبين من الشكل (2 د).



أ: الطلاء الناتج بعد 4 ساعات بدرجة (500 – 550)^{o}م.

شكل 2: بنية الطلاءات الناتجة على السبيكة مع تغير الزمن ودرجة الحرارة.

REFERENCES

Smith, A.B.; Kempstar, A. and Smith, J.; 1999. Vapour Aluminide Coating of Internal Cooling Channels in Turbine Blades and Vanes Surface and Coatings Technology, Vol. 120, No.121, pp.112-117.

Squillace, A.; Bonetti, R.; Archer, N.J. and Yeatman, J. A., 1999. The Control of The Composition and Structure of Aluminide Layers Formed by Vapour Aluminising ,Surface and Coating Technology. Vol. 120,No.121, pp.118-123.

Meier, G.H. and Pettit, F.S., 1989. High Temperature Corrosion of Aluminium Forming Coatings for Super alloys, Surface Coating Technology ,Vol.39,No.140, pp.1-17.

Grunling, H.W. and Bauer, R., 1982. The Role of Silicon in Corrosion-Resistance High Temperature Coatings Thin Solid Films, 95, pp. 3-20

Strafford, K.N. and Datta, P.K., 1989. Design of Sulphidation Resistance Alloys,Material Science and Technology, Vol.5, 765 p.

Mohammed, M.A.,1983.Some Aspects of Aluminide Coatings on Nimonic Alloys, Ph.D. thesis, Loughborough Univ. of Tech., Loughborough, U.K.