Vol.(4),No.(1),(2016),43-50
MUTHANNA JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY (MJET)
مجلة المثنى للهندسة والتكنولوجيا
Journal homepage:www.muthjet.com
Print ISSN:2572-0317, Online ISSN:2572-0325



تأثير التغير في الحجم الحبيبي لمسحوق طلاء (نيكل-المنيوم) المرشوش حراريا باللهب على الخواص الميكانيكية لطبقة الطلاء

عمار رزاق حسن *
قسم هندسة المواد/كلية الهندسة/جامعة الكوفة

ARTICLE INFO

Received: 28/12/2015

Accepted: 2/5/2016

الكلمات المفتاحية:

الرش باللهب، طلاء نيكل- المنيوم، الفولاذ المتوسط الكربون، الحجم الحبيبي.

الخلاصة

في هذا البحث تم إجراء عملية الطلاء الحراري بإتباع تقنية الرش باللهب من خلال استعمال خليط غازي مكون من الأوكسجين والإستيلين لغرض الحصول على طبقة سطحية من طلاء النيكل- المنيوم(metco450) على سطح الفولاذ المتوسط الكربون نوع (AISI 1050). توفر زيادة في الخواص الميكانيكية السطحية للمعدن المستعمل وتعويض الأجزاء المفقودة من السطح نتيجة عملية البلى. نفذ البحث بثلاث مراحل متلاحقة، تضمنت المرحلة الأولى تحضير النماذج وتهيئة السطح الأساس لهذه النماذج وكذلك تحضير مسحوق الطلاء وتحليل المكونات الكيمياوية للنماذج ومسحوق الطلاء. بينما تضمنت المرحلة الثانية تنفيذ عملية الطلاء(نيكل- ألمنيوم) باستخدام جهاز الرش باللهب وقد أجريت عملية الطلاء بطرائق مختلفة لكل نموذج من خلال التغير في الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء. أما المرحلة الثالثة من البحث فقد تضمنت إجراء الاختبارات القياسية المتمثلة باختبارات فحص الالتصاقية، فحص الخشونة، فحص البلى وفحص الصلادة لطبقة الطلاء علاوة على إجراء الفحص المجهري لطبقة الطلاء والسطح الأساس. حيث أوضحت النتائج إن زيادة الحجم الحبيبي من (25µm) إلى (75µm) أدت إلى زيادة معدل البلى وانخفاض في التصاقية طبقة الطلاء، كما لوحظ زيادة خشونة طبقة الطلاء بزداد الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء، كما ادى زيادة الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء الى انخفاض في صلادة طبقة الطلاء.

©2016 AL-Muthanna University. All rights reserved.

Effect of change in particle size of the powder coating (Ni- Al) thermally sprayed by flame on the mechanical properties of the coating layer

ABSTRACT

In this research was conducted thermal coating process to follow flame spray technology through the use of gaseous mixture consisting of oxygen and acetylene for the purpose of obtaining the surface layer of nickel plating - Aluminum (metco450) on the surface of medium carbon steel type (AISI 1050). Provide an increase in the mechanical properties of the surface of the metal guide and compensate for the missing parts of the surface as a result of the process of wear and tear. Was conducted in three successive phases, first phase involved the preparation of models and to create the basis for this surface models as well as the preparation of powder coating and analyze the chemical components of the models and powder coating. While the second phase involved the implementation of the coating process (nickel - aluminum) using a flame spray coating process was carried out in different ways for each model through a change in the granular size of the powder coating. The third phase of the research included the testing of standard tests check adhesion, examination of roughness, check the wear and tear and check the hardness of the coating as well as microscopic examination of the paint and the surface layer basis. Where results showed that increasing the size particleboard from (25µm) to (75µm) led to increased wear rate and a decrease in adhesion coating layer, as noted increased roughness layer coatings increase size particleboard for powder coating, also led to increase size particleboard for powder coating to a decrease in hardness layer paint.

Key words:
flame spraying, coating nickel - aluminum, medium carbon steel, particle size.

*Corresponding author.
E-mail addresses: ammarr.alshemary@uokufa.edu.iq
©2016 AL-Muthanna University. All rights reserved.
DOI: 10.18081/mjet/2016-4/43-50

مقدمة

إن تعريف الرش الحراري على وفق أل ASM هو مجموعة العمليات التي تؤدي إلى أن مواد الطلاء المعدنية أو غير المعدنية تترسب بحالة مصهورة أو شبه مصهورة على الطبقة السطحية للمعادن او السبائك لتكوين الطلاء أو طبقة الطلاء وان مادة التغطية يمكن أن تكون بشكل مسحوق (Powder) أو قضيب (rod) أو سلك (Wire)[1,2].

تعد طريقة الرش باللهب (Flame Spraying) من أقدم أنواع الرش الحراري وأكثرها شيوعا في العالم بسبب بساطتها وقلة كلفتها. تستخدم طريقة الرش باللهب، الهواء المضغوط أو الأوكسجين مخلوطا مع أحد انواع الوقود (إستيلين أو بروبلين أو بروبين أو هيدروجين) وذلك لصهر وتعجيل الدقائق المنصهرة. ويمكن استخدام غاز خامل مثل الأركون أو النيتروجين لتذرية الدقائق المنصهرة إذا كانت الأكسدة للدقائق المرشوشة غير مرغوبة. وتعطي تقنية الرش باللهب بشكل عام طلاءات بخواص واطئة نسبيا حيث تكون مساميتها عالية وقوى التماسك والتلاصق (Cohesion and Adhesion) فيها ضعيفة والسبب في ذلك هو السرعة الواطئة نسبيا للدقائق المنصهرة (50m/sec) تقريبا ودرجات الحرارة الواطئة نسبيا التي نحصل عليها (تقريبا 3000 Cº). يمكن تحسين خواص الطلاء عن طريق العمليات المسماة بالرش والانصهار (Spray and Fuse Process). إذ يتم بعد عملية الرش باللهب استخدام عملية الاحتراق لرفع درجة حرارة المادة الأساس إلى درجة قريبة من الدرجة التي بدأت معها مادة الطلاء بالانصهار سابقا والناتج يكون طلاء بكثافة عالية جدا وتلاصق عال بسبب الربط الميتالورجي بين المادة الأساس وطبقة الطلاء[4,5,6].

إن من أهم محاسن عملية الرش باللهب هي[7,8,9]:
1- سهولة استخدام الجهاز وعدم احتياجه لخبرات عمل خاصة.
2- ملائمة الجهاز للنماذج المصنعة.
3- توفر الجهاز بشكل واسع.
4- توفر المسحوق المعدني الملائم لعمل الجهاز.
5- قلة كلفة العمل.
6- توفيره لمعدلات ترسيب عالية.

ألا أن من أهم مساوئ هذه الطريقة هي[10,11,12,13]:
1- قوة ترابط ضعيفة قياسا بطرائق الرش الأخرى.
2- مدى قليل في درجات حرارة التشغيل.
3- انتقال حرارة عال إلى الطبقة التحتية (Substrate) أكثر مما في حالة الرش بالبلازما.
4- خشونة عالية لسطح طبقة الطلاء.
5- لاتستخدم للمساحيق ذات درجات الانصهار العالية.
6- لا تستخدم إلا للأجزاء الصغيرة والمتوسطة الحجم نسبياً وذلك لضرورة أجراء عملية الاندماج (Fusion) بعد اكمال الرش الحراري مباشرة.

وفيما يلي سرد لعدد من البحوث السابقة التي اهتمت بدراسة بعض معلمات الرش الحراري بواسطة اللهب:

حيث بين الباحث (Smith) [1984] بان استخدام الرش بطريقة اللهب يسمح بطلاء طبقة سمكها يتراوح بين (0.51-2) ملم وبمعدل (0.13) ملم لكل شوط. أما بخصوص المسافة بين المنفث والسطح الأساس فقد أوضح بان أفضل مسافة للرش تتراوح بين (180-300) ملم. في حين إن درجة حرارة السطح الأساس قبل عملية الطلاء تكون محصورة بين (370 Cº -260 Cº).

وأكد الباحثان (Kulkarni) و(Anand) [1984] إن أفضل سمك لطبقة الطلاء عند الرش باللهب هو (0.13 – 0.25) ملم في الوقت الذي يكون فيه أفضل سمك لطلاء عند الرش بالبلازما (Plasma Spraying) هو (0.13 – 0.4)ملم. أما بخصوص درجة حرارة السطح قبل الرش فقد حددها الباحث بأقل من (150 Cº) [3,5].

أما الباحثان (Alisin) و (Kragelsky) [1986] فقد درسا تأثير درجة حرارة السطح قبل الطلاء وتوصلا إلى إن درجة الحرارة يجب ألا تكون أكثر من (200 Cº) من اجل توفير طبقة طلاء ذات التصاق جيد.

وبين الباحث (Steffens) [1983] إن أفضل مسافة لعملية الرش لمساحيق طبقة الطلاء تتراوح بين (180 - 200) ملم بينما أفضل مسافة لرش المساحيق الرابطة تتراوح بين (140- 160) ملم. أما خشونة السطح قبل الرش يجب ألا تقل عن 30 ما يكرون وأشار إلى ضرورة عدم رفع درجة حرارة السطح إلى أكثر من (250Cº) [3,5].

أهداف البحث (Aims of the research)

بالنظر لما تمثله عمليات الرش الحراري باللهب من إمكانية الحصول على أسطح هندسية ذات أداء عالي في مدى واسع من التطبيقات الصناعية فأن البحث يهدف الى:

١- تحديد العلاقة بين الحجم الحبيبي والخواص الميكانيكية لطبقة الطلاء عن طريق اجراء اختبارات البلى، الالتصاقيه، الخشونة والفحص المجهري لطبقة الطلاء.
٢- تقليل الخسائر الناتجة عن فشل الأسطح الهندسية بسبب أنواع البلى المختلفة التي تتعرض لها سطوح المكائن ذات الحركات الاحتكاكية أو الانزلاقية أو الترددية المصنوعة من الفولاذ المتوسط الكربون بواسطة رشها بطبقة من طلاء (نيكل – المنيوم) بدل استبدال الجزء.

المواد المستخدمة Materials used:

تشمل المواد المستخدمة ما يلي:

حديد صلب متوسط الكربون (Medium carbon steel)

تم استعمال قضيب من الفولاذ متوسط الكربون نوع(AISI-1050) وقد تم تشغيله وتقطيعه لغرض الحصول على عينات الفحوصات المطلوبة على شكل اسطواني بأبعاد (20mm*10mm) وقد تم إجراء تحليل المكونات لهذه العينات في قسم هندسة المواد بواسطة جهاز تحليل المعادن (Portable Metals Analyses) وقد ظهرت النتائج كما مبين في الجدول(1).

جدول رقم (1) : التحليل الكيمياوي للفولاذ متوسط الكربون نوع (AISI-1050)

العناصر	Fe%	C%	Si%	Mn%	Al%	Co%
النسبة المئوية للعناصر %	97.2	0.510	0.811	0.308	<0.020	0.181
العناصر	Cr%	Cu%	Mo%	Ni%	Ti%	V%
النسبة المئوية للعناصر %	<0.030	0.320	<0.377	0.128	<0.020	0.116

استخدم ثلاثي كلورو الاثيلين كمذيب ومنظف كيمياوي لإزالة الدهون والشوائب عن السطوح الخارجية للنماذج قبل البدء بعملية الطلاء.

أوكسجين وإستيلين ($O_2 – C_2H_3$)

استخدم خليط الأوكسجين الإستيلين لغرض إكمال عمليات التسخين والرش (Spraying) ثم إجراء عملية الاندماج (Fusion) لكافة النماذج.

ورق سنفرة (Emery paper)

تم استعمال ورق سنفرة بدرجات مختلفة (1000،800،600,400,300,220,120,100,80,60,40) لغرض تخشين أو تنعيم السطوح في مرحلة تحضير النماذج قبل عملية الرش أو لغرض تحضير النماذج للفحص المجهري.

مسحوق الطلاء المستخدم:

تم استخدام مسحوق طلاء من (النيكل-الألمنيوم) نوع (Metco 450) يعمل على توليد مناطق تفاعلات كيميائية تعمد على تعزيز قوة الالتصاق، فعند التسخين إلى درجة حرارة (1400 Cº) سوف يحدث تفاعل ما بين النيكل والألمنيوم يؤدي إلى توليد حرارة عالية تصل إلى حوالي (3180 Cº) تكون الحرارة كافية لإحداث مناطق انصهار على السطح، وتكون مادة طلاء على شكل دقائق الألمنيوم يغلفها فلز النيكل[1,3,5]. والجدول رقم(2) يمثل تحليل الكيمياوي لمسحوق الطلاء باستخدام جهاز الأشعة السينية (X-Ray) نوع (Twin-X) في وزارة العلوم والتكنولوجية.

جدول رقم (2): التحليل الكيمياوي لمساحيق الطلاء

مسحوق الطلاء	Al-Ni	
النسبة المئوية للعناصر %	Ni	Al
	93 %	7 %

بينما يمثل الجدول رقم(3) أهم مميزات مسحوق الطلاء المستخدم.

جدول رقم (3) :أهم مميزات الطلاءات المستخدمة

مسحوق الطلاء	اللون	درجة الانصهار Cº	الحجم الحبيبي µm		
نيكل-الألمنيوم	رمادي	1350	25	50	75

الأجهزة والمعدات المستخدمة:

مقياس درجة الحرارة عن بعد (Infrared Thermometer)

تم استعمال مقياس درجة الحرارة عن بعد لغرض تحديد درجة حرارة السطوح قبل عملية الرش (Spraying) ولتحديد درجة حرارة الاندماج(Fusion) بعد إكمال عملية الرش.

مقياس سمك طبقة الطلاء (Automation)

تم استعمال مقياس سمك طبقة الطلاء من انتاج شركة (Quanix) وهو الماني الصنع، لغرض تحديد سمك طبقة الطلاء بعد عملية الرش(Spraying).

ماكنة خراطة نوع (Colchester 600)

تم استخدم ماكنة خراطة من نوع (Colchester 600) إنكليزية الصنع، لغرض خراطة وتهيئة النماذج وكذلك إجراء عمليات التشغيل لزيادة خشونة سطوحها.

ماكنة خراطة نوع (Burnerd Model 30)

تم استخدم ماكنة خراطة من نوع (Burnerd Model 30) إنكليزية الصنع، ضمن منظومة الرش المختبرية حيث تم تثبيت النماذج وتنفيذ عملية الرش من اجل تساوي الرش في كل أجزاء النموذج.

ذراع حمل مسدس الرش

تم تصنيع ذراع متحرك من الفولاذ في وحدة الخراطة في الجامعة التكنولوجية لغرض حمل مسدس الرش وتحريكه إلى المسافة المطلوبة الرش منها.

محور حمل النماذج (Mandrel)

تم تصنيع محور(Mandrel) من الفولاذ في وحدة الخراطة في الجامعة التكنولوجية لغرض حمل وتثبيت النماذج على عينة المخرطة لغرض التسخين والرش والاندماج.

مسدس الرش نوع (Rototec 80)

تم استخدام مسدس الرش نوع (Rototec 80) من انتاج شركة (Castolin) وهو الماني الصنع، لرش المسحوق باستخدام اللهب المبين بالشكل رقم(1) وقد أجريت بعض التعديلات على المسدس حيث تم إضافة صمامات تحكم للغازات في المسدس بدل التحكم من القناني وذلك لسهولة السيطرة على اللهب الناتج من المسدس علاوة على إضافة صمامات أمان تمنع رجوع اللهب إلى الخلف.



الشكل رقم (1): مسدس الرش نوع (Rototec 80)

مستلزمات العمل الأخرى (Other Working Materials)

والتي تتضمن معدات الخراطة والإسناد وأقلام القطع والمثاقب إضافة إلى أجهزة قياس الأبعاد وبعض العدد اليدوية.

أجهزة فحص (الشد، خشونة السطح، البلى، الصلادة).

مراحل تنفيذ الجزء العملي:

تم تنفيذ الجانب العملي بثلاث مراحل متعاقبة هي :

مرحلة تحضير النماذج (Samples Preparation)

لغرض تحضير النماذج وتهيئة سطوحها لعملية الرش الحراري باستخدام اللهب تم إتباع الأتي:

1- تقطيع قضيب الفولاذ إلى عينات بلى ذات شكل اسطواني وبأبعاد (20mm*10mm) بواسطة عمليات الخراطة والقطع بالمنشار الكهربائي.

2- عمل عينات صلادة ذات شكل اسطواني وبأبعاد (10mm*20mm).

3- عمل سن داخلي في احد السطوح الجانبية للعينة لغرض تثبيت العينة في محور حمل العينة.

4- زيادة خشونة السطح الخارجي للعينات بواسطة تشغيل العينة على المخرطة باستخدام ورق سنفرة بدرجة (40)، وكانت خشونة العينات بمعدل (1.37 Ra).

مرحلة تنفيذ الطلاء (Coating Operation)

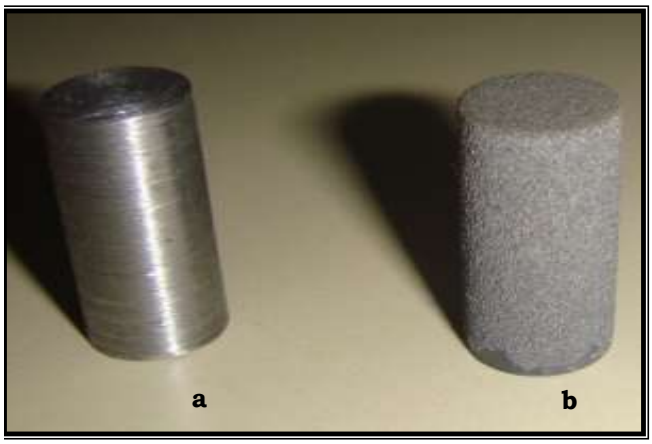
تم تصميم وتنفيذ منظومة الرش باللهب (Flam Spray System) في مختبر اللحام في قسم هندسة المواد باستخدام مسدس الرش حيث تنتج

الشعلة الحرارية من حرق غازي الأوكسجين والإستيلين حيث يحمل المسحوق المصهور في تيار خليط الغازين ويلتصق على السطح المطلوب طلاءه بفعل درجة الحرارة العالية للشعلة التي قد تصل إلى 3000 Cº.
ومن الضروري التحكم بضغوط الغازات للحصول على اللهب المتعادل علاوة على سرعة اندفاع المسحوق إذ يجب ضبط ضغط الأوكسجين بما لا يزيد عن (4 bar) وضغط الإستيلين بما لا يزيد عن (0.7 bar) قبل البدء بعملية الرش.

طلاء النماذج

1- تثبيت النموذج على المحور الذي يرتبط بعينة المخرطة.
2- تثبيت مسدس الرش على الذراع المصنع محليا موجها للنموذج وبشكل عمودي على مسافة (150mm).
3- تنظيف السطح الخارجي للنموذج بالمنظف الكيمياوي ثلاثي كلورو الاثيلين مع تلافي لمس النموذج بعد التنظيف لمنع تلوثه بالمزينات والشوائب.
4- تدوير النموذج بسرعة بطيئة وثابتة خلال عملية الرش.
5- ضبط ضغط الأوكسجين على (3bar) وضغط الإستيلين على (0.5bar) من القناني، بعدها تم التحكم بالغازات بواسطة الصمامات الموجودة في المسدس، حيث تم فتح غاز الإستيلين أولاً لإشعال الشعلة وبعدها تم فتح غاز الأوكسجين.
6- تسخين النموذج بواسطة الشعلة الأوكسي إستيلينية إلى درجة حرارة (300 Cº) حيث يتم مراقبة درجة الحرارة بواسطة مقياس درجة الحرارة عن بعد (Infrared Thermometer).
7- إجراء عملية رش طلاء (نيكل- الألمنيوم) من مسافة (150mm) (المسافة مابين فتحة مسدس الرش وسطح النموذج)، وبعد إجراء التجارب تم التوصل إلى الوزن المطلوب رشه من المسحوق، حيث تم وزن (1.5) غم من المسحوق للجزء الاسطواني و (0.75) غم للقاعدة، للحصول على السمك المطلوب بدون تشغيل طبقة الطلاء للاستفادة من خشونة السطح الناتج، حيث جرت عملية الطلاء بأحجام حبيبية مختلفة.
8- إن سمك الطلاء الذي تم الحصول هو بحدود (0.25) ملم. أي أصبح أبعاد النموذج بعد الطلاء الرابط هو (20.25mm*10.5mm).
10- ترك النموذج ليبرد في الهواء.

والشكل رقم (2) يمثل عملية طلاء العينة.



شكل رقم (2) :مرحلة تنفيذ عملية الطلاء
(a) قبل عملية الطلاء
(b) بعد عملية الطلاء

مرحلة الاختبارات (Tests)

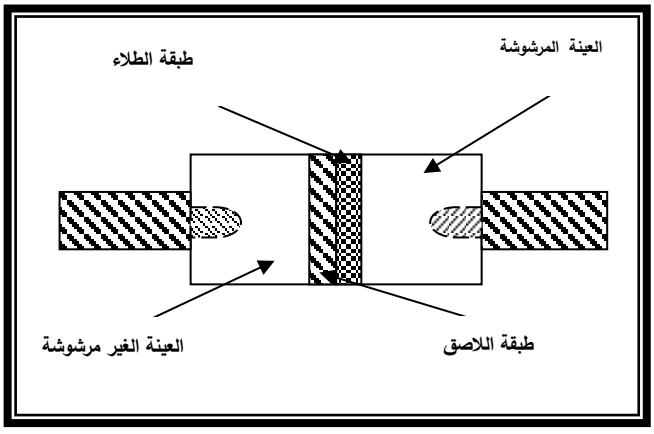
اختبار الالتصاقية (Adhesion test)

اجري فحص الالتصاقية لطبقة الطلاء باستعمال جهاز الشد من نوع (Microcomputer Controlled Electronic Universal Testing Machine (WDW-50E)) مصنع من قبل شركة (Time Group Inc.) حسب المواصفة (ASTM A370)، حيث تم تثبيت عينات الالتصاقية في فكوك جهاز الشد.

وقد اجري الفحص حسب الخطوات الآتية:
١- تجهيز عينات من المادة الأساس بدون طلاء بعدد مساوٍ للعينات المرشوشة.
٢- إجراء التنظيف الكيمياوي باستعمال ثلاثي كلورو الاثيلين لكل من العينات المرشوشة وغير المرشوشة وذلك للتخلص من الدهون وباقي الملوثات التي تعيق عملية التصاق القطعتين معاً.
٣- استعمال لاصق (Epoxy) نوع (REP-15-0104) للصق العينتين معاً (المرشوشة وغير المرشوشة). حيث تم وضع طبقة رقيقة ومنتظمة من اللاصق على سطح الطلاء بحيث تغطي جميع مساحة الطلاء ومن ثم تكبس القطعتين معاً لمدة ساعة تقريباً ثم توضع في مجففة لمدة (18) ساعة وبدرجة حرارة (40 Cº) ، كما موضح في الشكلين (3) و(4).
٤- تم تسليط حمل شد عمودي لكل عينة بمعدل شد (1 mm/min) ولحين حصول الفشل للعينة حيث يتم تسجيل أعلى حمل مسلط.
٥- حساب قيمة مقاومة الالتصاق أو مقاومة التماسك للطلاء وبالعلاقة الآتية:

$$\text{مقاومة التماسك أو التلاصق} = \frac{\text{أعلى حمل مسلط}}{\text{مساحة سطح العينة}}$$

٦-تم الحصول على قراءتين لكل نموذج وحساب معدلهما. تمثل القيمة التي تم الحصول عليها من الفحص مقاومة اضعف جزء في النظام سواء كانت في الطلاء نفسه أو عند الحد الفاصل بين الطلاء والسطح الأساس. تعد قيمة القراءة هي مقاومة التلاصق إذا كان الفشل في منطقة الحد الفاصل بين منطقة الطلاء والسطح الأساس فيما تمثل مقاومة التماسك إذا حدث الفشل داخل الطلاء نفسه (الطلاء الرئيسي أو الطلاء الرابط).
٧-استعمال المجهر الضوئي لتحديد موقع الفشل.



شكل رقم (3) :مخطط يوضح طريقة تثبيت عينات الالتصاقية في فكوك جهاز الشد



شكل رقم (4) :طريقة تثبيت عينات الالتصاقية في فكوك جهاز الشد

اختبار البلى (Wear test)

تم استخدام جهاز البلى الالتصاقي نوع (Pin on Disk) وهو محلي الصنع لإجراء اختبار البلى للعينات المطلية، حيث يتم حساب معدل البلى من خلال حساب مقدار الفرق الحاصل في وزن النموذج المحَك أو المتماس قبل وبعد الاختبار بتطبيق القانون التالي:

$$W.R = \triangle W/S.D \quad (1)$$

حيث إن:
W.R: معدل البلى ألانزلاقي ألوزني (gm/mm)
$\triangle W$: التغير في الوزن وتحسب من العلاقة الآتية:

$$\triangle W = W_1 - W_2 \quad (2)$$

حيث إن:
W_1: وزن العينة قبل إجراء الاختبار (gm)
W2 : وزن العينة بعد إجراء الاختبار (gm)

$$S.D = S*t \quad (3)$$

حيث إن:
S.D: تمثل مسافة الانزلاق وتحسب من القانون الأتي:
S: سرعة الانزلاق (cm/min)
t: زمن الانزلاق (min)

وتحسب سرعة الانزلاق من خلال قياس قطر البكرة الصغيرة (D_1) وقطر البكرة الكبيرة (D_2) ونصف قطر دوران العينة (r) لجهاز البلى الالتصاقي، حيث إن:

$D_1 = 66$ mm , $D_2 = 226$mm , r = 70 mm , N_{motor} =950 r.p.m.

بينما تحسب نسبة التخفيض للبكرات (نسبة السُرع) (i) من خلال القانون التالي:

$$i = D_2/D_1 = 226/66 = 3.424$$

حيث إن :
N_1: السرعة الدورانية للبكرة الصغيرة

$$N_1 = N_{motor} = 950 \text{ r.p.m.}$$

N_2: السرعة الدورانية للبكرة الكبيرة (سرعة القرص)

ودائما ($N_1 > N_2$)

$$3.424 = 950/N2$$

$$N_2 = 277.4 \text{ r.p.m.}$$

السرعة الخطية للقرص والتي هي نفسها سرعة الانزلاق (S)

$$S = (2 \pi N_2/60)*r \quad (4)$$

$$S = (2 \pi *277.4/60)*0.07 = 2 \text{ m/s} = 12000 \text{ cm/min}$$

وان القرص مصنوع من فولاذ العدة (Tool steel) وذو صلادة (385 HV).

وقد تم الحصول على قراءتين لكل نموذج وحساب معدلها.

اختبار الخشونة السطحية (Surface Roughness test)

الجهاز المستعمل هو من نوع ((Hand-Held Roughness Tester TR 200)) مصنع من قبل شركة (Time Group Inc.)، يستعمل لقياس خشونة السطح وهو مزود بمتحسس من الماس وأقصى مسافة يتحركها (11) ملم. تم الحصول على ثلاث قراءات لكل إنموذج وحساب معدلها.

اختبار الصلادة (Hardness test)

تم الفحص باستخدام جهاز (Material tester) واستخدام عينات من الفولاذ متوسط الكربون على شكل قرص اسطواني بابعاد (10mm*20mm), وجرى الاختبار حسب الخطوات التالية:

١- تترك العينه على مسافة (15mm) بين كرة الاختبار وصفيحة الضغط.
٢- وضع العينة في مكان الفحص.
٣- ننزل اداة الاختبار بتدوير العجلة يدويا.
٤- نسلط بهدوء قوة الاختبار(9.8KN) بتدوير العجلة بشكل بطئ، حيث ان فترة زيادة القوة الى اقصى قيمة يجب ان تستغرق على الاقل خمسة ثواني.
٥- تثبيت الحمل لمدة (15s-10s) ثم يتم رفع الحمل.
٦- يتم بعد ذلك رفع العينة والقيام بقياس قطر الاثر بأستخدام مجهر يحتوي على مقياس عيني دقيق ليكون بالامكان قياس الاثر بدقة.
٧- بعد اجراء الاختبار والقيام بقياس قطر الاثر يتم استخدام القانون الاتي لحساب الصلادة:

$$HB = 0.102F/0.5\pi D[D-(D^2-d^2)]^{0.5} \quad (5)$$

تم الحصول على ثلاث قراءات لكل إنموذج وحساب معدلها.

الفحص المجهري(Microscopic Examination)

أستخدم المجهر الضوئي نوع (Reflected Metallurgical Microscope (XJL-101) مزود بكاميرا تصوير لغرض فحص ودراسة طبقات الطلاء وتقيم الحد الفاصل ومدى الإنغرازية لطبقات الطلاء بواسطة القطع العمودي وبقوة تكبير(200X).

تم إظهار منطقة الطلاء والمعدن الأساس والمنطقة الانتقالية بين الطبقتين لغرض دراسة البنية المجهرية للنموذج المطلي بحجم حبيبي لمسحوق

الطلاء (25) ما يكرون ولنموذج اخر مطلي بحجم حبيبي لمسحوق الطلاء (75) مايكرون وقد تم تنفيذ عملية الإظهار حسب الآتي:

1- إجراء عملية التنعيم (Grinding) للإنموذج باستعمال ورق التنعيم.
2- إجراء عملية صقل (Polishing) للإنموذج باستعمال قطع الصقل مع مادة الالومينا.
3- وضع النموذج في محلول الإظهار (Nital) المكون من حامض النتريك بنسبة (2%) مع كحول بنسبة (98%) لمدة (10) ثواني حيث تحصل عملية التفاعل بين المحلول والسطح المطلوب إظهاره.
4- غسل النموذج بالماء المقطر لإيقاف عملية التفاعل ومن ثم غسله بالكحول وبعدها يتم تجفيف النموذج وتتم عملية الفحص المجهري.

النتائج والمناقشة

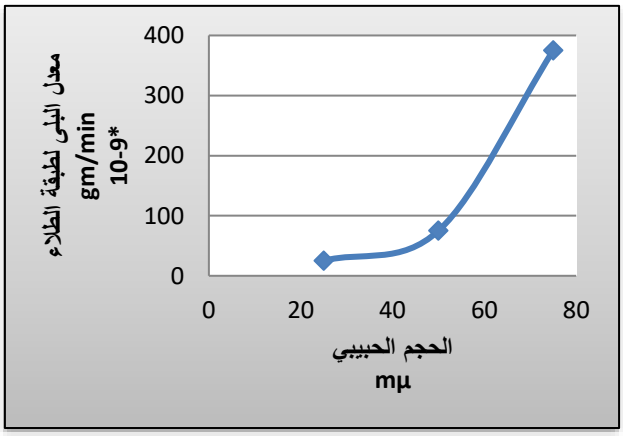
نتائج تأثير الحجم الحبيبي في معدل البلى لطبقة الطلاء

يوضح الجدول (4) معدل البلى لكل نموذج من النماذج التي جرى طلاءها بحجوم حبيبية مختلفة.

جدول رقم (4): معدل البلى لطبقة الطلاء مع تغير الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء

رقم النموذج	الحجم الحبيبي (µm)	معدل البلى (gm/min)	زمن البلى (min)	القوة العمودية (N)
1	25	$25*10^{-9}$	20	5
2	50	$75*10^{-9}$	20	5
3	75	$375*10^{-9}$	20	5

حيث تم رسم منحني العلاقة بين الحجم الحبيبي وبين مقدار البلى بالشكل رقم (5). إذ يوضح المنحني زيادة في معدل البلى مع زيادة الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء. فقد ارتفع مقدار البلى لطبقة الطلاء من ($25*10^{-9}$) غم\دقيقة إلى ($375*10^{-9}$) غم\دقيقة بسب ارتفاع الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء من(25) مايكرون إلى(75) ما يكرون، نتيجة زيادة تداخل جزيئات مسحوق الطلاء ذات الحجم الحبيبي الصغير مع السطح الاساس مكونة جذور تعمل على تثبيت طبقة وبالتالي تزداد التصاقية ويقل معدل البلى والعكس صحيح. ان النتيجة التي تم التوصل اليها تتطابق مع ما توصل اليه الباحثون (Scott) و(Nicholas) و(James) ومعظم المتخصصون في هذا المجال، من ان نظافة السطح والخشونة السطحية هما من العوامل التي تحدد التصاقيه طبقة الطلاء [3,5].



شكل رقم (5) :مقدار معدل البلى لطبقة الطلاء مع تغير الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء

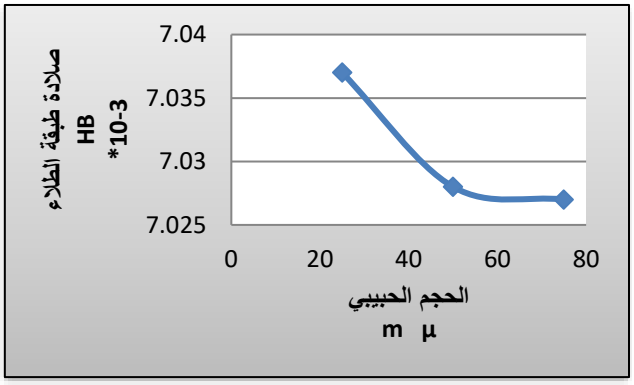
نتائج تأثير الحجم الحبيبي على صلادة طبقة الطلاء

يوضح الجدول (5) مقدار الصلادة لطبقة الطلاء لكل نموذج من النماذج التي جرى طلاءها بحجوم حبيبية مختلفة.

جدول رقم (5) :مقدار صلادة طبقة الطلاء مع تغير الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء

رقم النموذج	الحجم الحبيبي µm	صلادة طبقة الطلاء HB
1	25	$7.037*10^{-3}$
2	50	$7.028*10^{-3}$
3	75	$7.027*10^{-3}$

حيث تم رسم منحني العلاقة بين الحجم الحبيبي وبين مقدار الصلادة بالشكل رقم (6). إذ يوضح المنحني انخفاض في صلادة طبقة الطلاء مع زيادة الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء. حيث انخفضت الصلادة لطبقة الطلاء من ($7.037*10^{-3}$) إلى ($0.027*10^{-3}$) بسب ارتفاع الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء من(25) مايكرون إلى(75) مايكرون، نتيجة زيادة المسامية عند الحجوم الحبيبية الكبيرة. ان النتيجة التي تم التوصل اليها تتطابق مع ما توصل اليه الباحث (Arata) وجماعته والذي بين ان نسبة المسامات تنخفض مع زيادة السمك [3,5].



شكل رقم (6) :مقدار صلادة طبقة الطلاء مع تغير الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء

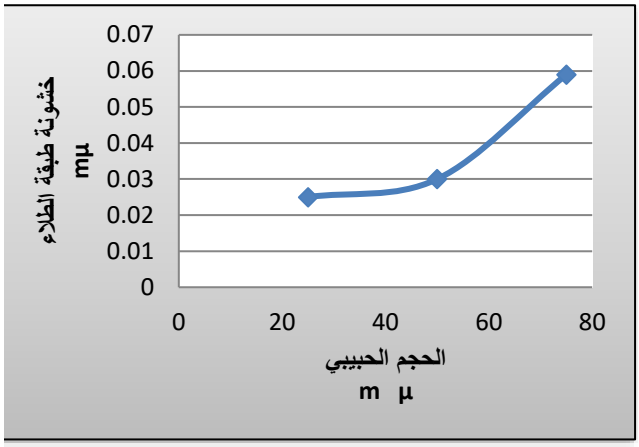
نتائج تأثير الحجم الحبيبي في مقدار خشونة طبقة الطلاء

يوضح الجدول (6) مقدار خشونة طبقة الطلاء لكل نموذج من النماذج التي جرى طلاءها بحجوم حبيبية مختلفة.

جدول رقم (6): مقدار خشونة طبقة الطلاء مع تغير الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء

رقم النموذج	الحجم الحبيبي µm	خشونة طبقة الطلاءµm
1	25	0.025
2	50	0.03
3	75	0.059

حيث تم رسم منحني العلاقة بين الحجم الحبيبي وبين مقدار خشونة طبقة الطلاء بالشكل رقم (7). إذ يوضح المنحني زيادة في خشونة طبقة الطلاء مع زيادة الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء بسبب زيادة المسامية في الحجوم الحبيبية الكبيرة وبالتالي زيادة خشونة طبقة الطلاء. ان النتيجة التي تم التوصل اليها الباحث (كاظم) وجماعته والذي أشار الى زيادة في الخشونة السطحية لطبق الطلاء عند زيادة مسافة الرش وذلك ناتج عن التناقص الحاصل في كل من سرعة ودرجة حرارة الدقائق عند اصطدامها بالسطح الأساس [3,5].



شكل رقم (7): مقدار خشونة طبقة الطلاء مع تغير الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء

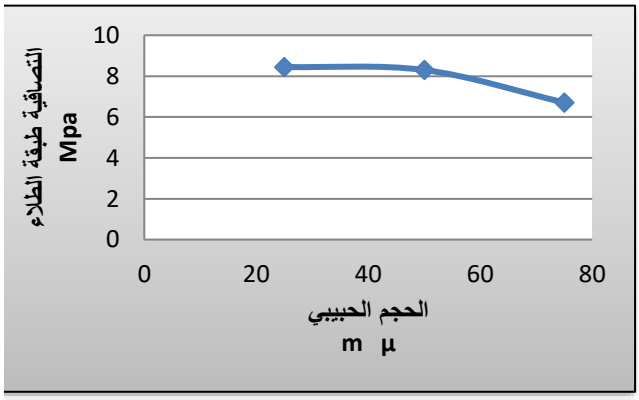
نتائج تأثير الحجم الحبيبي في مقدار التصاقية طبقة الطلاء

يوضح الجدول (7) مقدار التصاقية طبقة الطلاء لكل نموذج من النماذج التي جرى طلاءها بحجوم حبيبية مختلفة.

جدول رقم (7) :مقدار التصاقية طبقة الطلاء مع تغير الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء

رقم النموذج	الحجم الحبيبي µm	التصاقية طبقة الطلاء MPa
1	25	8.45
2	50	8.30
3	75	6.71

حيث تم رسم منحني العلاقة بين الحجم الحبيبي وبين مقدار التصاقية طبقة الطلاء بالشكل رقم (8). إذ يوضح المنحني زيادة في التصاقية طبقة الطلاء مع انخفاض الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء بسبب زيادة الترابط الميكانيكي (Mechanical interlocking) بين الطلاء ونتوءات السطح الاساس في الحجوم الحبيبية الصغيرة التي تعمل على زيادة التصاقية طبقة الطلاء ويقل هذا الترابط بالحجوم الحبيبية الكبيرة. ان النتيجة التي تم التوصل اليها تتطابق مع ما توصل اليه الباحث (Smith) والذي حدد درجة حرارة السطح الأساس قبل عملية الطلاء بمقدار يتراوح بين (260 C^o) و(370 C^o) من اجل توفير طبقة طلاء ذات التصاقيه جيدة [3,5].



شكل رقم (8) :مقدار التصاقية طبقة الطلاء مع تغير الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء

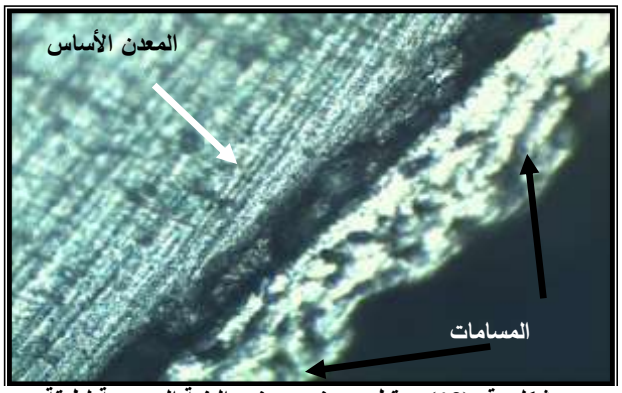
نتائج البنية المجهرية

يتضح من الشكل رقم (9) الخاص بالبنية المجهرية لطبقة طلاء مطلية بمسحوق ذات حجم حبيبي (25) مايكرون، مدى الإنغرازية والترابط النموذجي لطبقة الطلاء مع المعدن الأساس، حيث ان الحجم الحبيبي الصغير لمسحوق الطلاء له دور كبير في مدى إنغرازية طبقة الطلاء ومدى التصاقيتها. وقد ساعدت عملية الاندماج الحراري التي أجريت على كافة نماذج البحث على زيادة مدى الإنغرازية وبناء جذور التثبيت في السطح الاساس.



شكل رقم (9) :مقطع عرضي يوضح البنية المجهرية لطبقة الطلاء عند الحجوم الحبيبية الصغيرة لمسحوق الطلاء (200X)

ويتضح من الشكل رقم (10) الخاص بالبنية المجهرية لطبقة طلاء مطلية بمسحوق ذات حجم حبيبي (75) مايكرون وبالمقارنة مع الشكل رقم (9) الخاص بالبنية المجهرية لطبقة طلاء مطلية بمسحوق ذات حجم حبيبي (25) مايكرون، المسامية العالية لطبقة الطلاء مما يؤدي إلى تقليل ربط التماسك بين الدقائق وانخفاض الخواص الميكانيكية للطلاء وقلة الإنغرازية في السطح الأساس.



شكل رقم (10) :مقطع عرضي يوضح البنية المجهرية لطبقة الطلاء عند الحجوم الحبيبية الكبيرة لمسحوق الطلاء (200X)

الاستنتاجات

1- تتحسن قابلية طبقة الطلاء على مقاومة البلى عند الحجوم الحبيبية الصغيرة لمسحوق الطلاء، إذ لوحظ إن زيادة الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء من (25) مايكرون الى (75) مايكرون أدى الى زيادة معدل البلى لطبقة الطلاء بشكل كبير.

2- زيادة التصاقية طبقة الطلاء بالسطح الاساس في الحجوم الحبيبية الصغيرة لمسحوق الطلاء من خلال زيادة قوة الترابط الميكانيكي بين الطلاء ونتوءات السطح الاساس.

3- تزداد خشونة طبقة الطلاء بزيادة الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء بسبب زيادة المسامية بالحجوم الحبيبية الكبيرة لمسحوق الطلاء وبالتالي زيادة خشونة طبقة الطلاء.

4- تنخفض صلادة طبقة الطلاء بزيادة الحجم الحبيبي، إذ لوحظ زيادة الحجم الحبيبي لمسحوق الطلاء من (25) مايكرون الى (75) مايكرون ادى الى انخفاض صلادة طبقة الطلاء بسبب زيادة المسامية لطبقة الطلاء عند الحجوم الحبيبية الكبيرة لمسحوق الطلاء.

المصادر

١.د.علي حسين عتيوي، د.فاضل عطية جياد، عمار رزاق حسن، 2011، "تأثير عوامل الرش الحراري باللهب على مقاومة البلى للفولاذ متوسط الكربون"، المجلة العراقية للهندسة الميكانيكية وهندسة المواد، المجلد11، العدد3.

٢-هيثم رزوقي صالح، 2008 ، "دراسة سلوك البلى لطبقة طلاء Al-SiC محضرة بطريقة الرش بالبلازما"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد26، العدد1.

٣-فراس قاسم محمد، 2007 ، "دراسة تأثير المساحيق المستخدمة في الرش الحراري باللهب على بعض الخواص الميكانيكية للفولاذ المتوسط الكربون" رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة الإنتاج والمعادن في الجامعة التكنولوجية.

٤-د.صاحب مهدي الصفار و د.وليد عاصم حنا، 2008 ، "هندسة السطوح المعدنية"، دار المناهج للنشر والتوزيع، عمان.

٥-كنعان احمد توفيق، 1998 ، "دراسة بعض العوامل المؤثرة في كفاءة إكساء السطوح بطريقة الرش باللهب"، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المكائن والمعدات في الجامعة التكنولوجية .

6- Fauchais P., J. Heberlein and M. Boulos, 2012, "Thermal spraying, (pub.) Elsevier Amsterdam", NL, to be published.

7- Soveja A., S. Costil, H. Liao, P. Sallamand, and C. Coddet, 2010," Remelting of Flame Spraying PEEK Coating Using Lasers", Journal of Thermal Spray Technology ,vol. 19,no, 1-2 pp.439-447.

8- Vaben R., M. O. Jarligo, T. Steinke, D. E. Mack, D. Stöver, 2010, "Overview on advanced thermal barrier coatings, Surface & Coatings Technology" vol.205,pp. 938–942

9- Zhang C., G. Zhang, V. JI, H. Liao, S. Costil, C. Coddet, 2009, "Microstructure and mechanical properties of flame-sprayed PEEK coating remelted by laser process", Progress in Organic Coatings vol.66,pp. 248–253.

10- Ali H. Ataiwi, 2008, "Effect of Some Processing Parameters on Arc Sprayed Coating", Engineering & Technology Journal, University of Technology, Vol. 26, No. 12.

11- Harsha S., D.K. Dwivedi , A. Agrawal, 2007, "Influence of WC addition in Co–Cr–W–Ni–C flame sprayed coatings on microstructure, microhardness and wear behavior", Surface & Coatings Technology vol.201,pp. 5766–5775.

12- Fukuda Y., K. Kawahara, and T. Hosoda, 2000, "Application of High Velocity Flame Sprayings for Superheater Tubes in Waste Incinerators", Corrosion 2000, 00264.1-00264.14.

13- J.R. Davis, "Handbook of Thermal Spray Technology", 2004, Thermal Spray Society and ASM International.

- Lin L. and K.Han, 1998," Optimization of surface properties by flame spray coating and boriding", Surface and Coatings Technology vol.106, pp.100–105.