تأثير عوامل الرش الحراري على مقاومة البلى للفولاذ متوسط الكربون

أ.م.د.علي حسين عتيوي* أ.م.د.فاضل عطية جياد* المهندس عمار رزاق حسن*

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 الطلاء السيراميكي على سطح الفولاذ المتوسط الكربون نوع (AISI 1050). والتي توفر زيادة في الخواص السطحية للمعدن المستعمل المتمثلة في مقاومة البلى. نفذ البحث بثلاث مراحل متلاحقة، تضمنت المرحلة الأولى تحضير النماذج وتهيئة السطح الأساس لهذه النماذج وكذلك تحضير مساحيق الطلاء وتحليل المكونات الكيمياوية للنماذج ومساحيق الطلاء. بينما تضمنت المرحلة الثانية تنفيذ عملية الطلاء الرابط (نيكل- ألمنيوم) والطلاء الرئيسي (الالومينا) باستخدام جهاز الرش باللهب وقد أجريت عملية الطلاء بطرائق مختلفة لكل نموذج من خلال التغير في عوامل الرش المختلفة، والتي تضمنت خشونة السطح الأساس للنماذج، درجة حرارة السطح الأساس للنماذج قبل عملية الطلاء، المسافة بين منفث مسدس الرش وسطح النموذج وسمك طبقة الطلاء. أما المرحلة الثالثة من البحث فقد تضمنت إجراء اختبار البلى علاوة على إجراء الفحص المجهري لطبقات الطلاء المتتالية والسطح الأساس.

تم التوصل إلى أفضل المتغيرات التي تعطي أعلى التصاقية واقل معدل بلى. حيث أوضحت النتائج إن زيادة الخشونة من (0.85µm) إلى (10.50 µm) أدت إلى انخفاض معدل البلى بنسبة تصل إلى حوالي أكثر من (51%) أي أكثر من النصف، أما أفضل درجة حرارة يسخن فيها السطح الأساس قبل عملية الطلاء للحصول على اقل معدل للبلى تتراوح بين (200 °C) إلى (300 °C). بينما المسافة المثلى بين فوهة جهاز الرش و السطح الأساس تتراوح بين (150 mm) إلى (200 mm) والسمك الأمثل لطبقة الطلاء تتراوح بين (0.15 mm) إلى (0.5 mm) للحصول على أفضل طبقة طلاء ذات اقل معدل بلى.

الكلمات الدالة: الرش باللهب، الطلاء السيراميكي، الفولاذ المتوسط الكربون، مقاومة البلى.

Effect of Thermal Spray Parameters on Wear Resistance for Medium Carbon Steel

Abstract

This research was conducted following the process of coating by thermal spray flame technology through the use of a mixture gas composed of oxygen and acetylene for the purpose of obtaining a surface layer of ceramic coating on the surface of the medium carbon steel type (AISI 1050), provides an increase in the surface properties of the metal which is represented by wear resistance. The research carried out in three successive stages, the first stage included the preparation of the surface of specimens as well as the preparation of powder coating and analysis of chemical components of the specimens and coating powders. While the second stage included the implementation of the connector coating process (nickel - aluminum) and coating the main (alumina) using a flame spray coating process conducted in different ways for each specimen by change in spraying factors, which included the surface roughness of the base specimens, the temperature of the surface of the base specimens before the coating process, the distance between the spray gun nozzle and the surface of the specimens and thickness of the coating. The third stage included the testing of standard tests, which includes adhesion test, check wear and roughness of different coatings in addition to a microscopic examination of the successive layers of coat and surface basis.

It has been reached on the best variables that give the high adhesion and the lowest wear rate, where the results showed that the increase of roughness from (0.85 μm) to (10.50 μm) led to the low rate of wear by up to about (51%) more than half, The best temperature of the heated surface of the foundation before the coating process to obtain the lowest rate of wear and higher adhesion ranging from (200 C º) to (300 C º). While the optimal distance between the spray nozzle and the surface of the specimen ranging from (150 mm) to (200 mm) and thickness optimized for coating ranging from (0.15mm) to (0.5mm) for the best coating with the lowest wear rate.

مقدمة (Introduction)

إن تعريف الرش الحراري وفق أل ASTM هو مجموعة العمليات التي تؤدي إلى أن مواد الطلاء المعدنية أو غير المعدنية تترسب بحالة منصهرة أو شبه منصهرة على الطبقة السطحية لتكوين 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 واحد من أنواع الوقود (إستيلين أو بروبلين أو بروبين أو هيدروجين) وذلك لصهر وتعجيل الدقائق المنصهرة[4,3]. 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 (50 m/sec) تقريبا ودرجات الحرارة الواطئة نسبيا التي نحصل عليها (تقريبا 3000 ºC) [6,5]. 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 [9,8,7].

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

حيث بين الباحث (Smith) [10] بان استخدام الرش بطريقة اللهب يسمح بطلاء طبقة سمكها يتراوح بين (2 mm-0.51 mm) وبمعدل (0.13) ملم لكل شوط. أما بخصوص المسافة بين المنفث والسطح الأساس فقد أوضح بان أفضل مسافة للرش تتراوح بين (300 mm-180 mm). في حين إن درجة حرارة السطح الأساس قبل عملية الطلاء تكون محصورة بين (370 ºC-260 ºC).

وأكد الباحثان (Kulkarni) و(Anand) [11] إن أفضل سمك لطبقة الطلاء عند الرش باللهب هو (0.25 mm – 0.13 mm) في الوقت الذي يكون فيه أفضل سمك لطلاء عند الرش بالبلازما (Plasma Spraying) هو (0.4 mm – 0.13 mm) . أما بخصوص درجة حرارة السطح قبل الرش فقد حددها الباحث بأقل من (150 ºC).

أما الباحثان (Alisin) و(Kragelsky) [12] فقد درسا تأثير درجة حرارة السطح قبل الطلاء وتوصلا إلى إن درجة الحرارة يجب أن لا تكون أكثر من (200 ºC) من اجل توفير طبقة طلاء ذات التصاق جيد.

وبين الباحث (Steffens) [13] إن أفضل مسافة لعملية الرش لمساحيق طبقة الطلاء تتراوح بين (200 mm −180 mm) بينما أفضل مسافة لرش المساحيق الرابطة تتراوح بين (160 mm −140 mm). أما خشونة السطح قبل الرش يجب أن لا تقل عن 30 مايكرون وأشار إلى ضرورة عدم رفع درجة حرارة السطح إلى أكثر من (250 ºC).

الجزء العملي (Experimental Part)

تشمل المواد المستخدمة ما يلي:

تم استعمال قضيب من الفولاذ متوسط الكربون نوع (AISI-1050) وقد تم تشغيله وتقطيعه لغرض الحصول على عينات الفحوصات المطلوبة على شكل اسطواني بأبعاد (20*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).

كما تم اختيار مسحوق الطلاء من الالومينا (Al_2O_3) وذلك لمقاومته العالية للبلى. واستخدام مسحوق طلاء رابط من (النيكل– الألمنيوم) نوع (Metco 450) يعمل على توليد مناطق تفاعلات كيميائية تعمد على تعزيز قوة الالتصاق، فعند التسخين إلى درجة حرارة (1400 ºC) سوف يحدث تفاعل ما بين النيكل والألمنيوم يؤدي إلى توليد حرارة عالية تصل إلى حوالي (3180 ºC) تكون الحرارة كافية لإحداث مناطق انصهار على السطح، وتكون مادة طلاء الربط على شكل دقائق الألمنيوم يغلفها فلز النيكل. والجدول رقم(2) يمثل تحليل الكيمياوي لمساحيق الطلاء باستخدام جهاز الأشعة السينية (X-Ray) نوع (Twin-X) المصنع من قبل شركة (Oxford Instruments) في وزارة العلوم والتكنولوجيا.

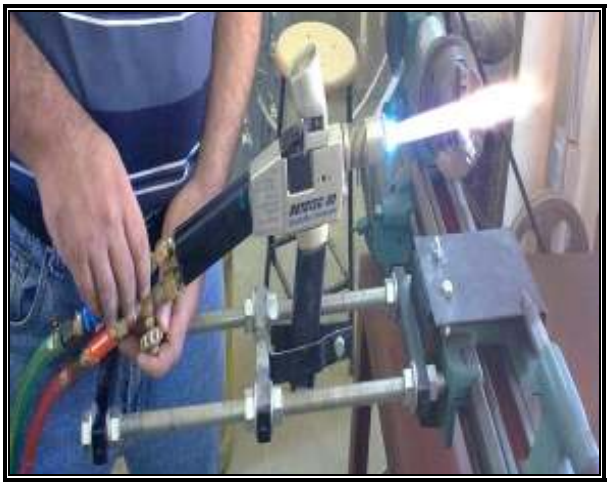
بينما يمثل الجدول رقم(3) أهم مميزات مساحيق الطلاءات المستخدمة.

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

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

كما تم استعمال ورق سنفرة بدرجات مختلفة (40-1000) لغرض تخشين أو تنعيم السطوح في مرحلة تحضير النماذج قبل عملية الرش أو لغرض تحضير النماذج للفحص المجهري.

وقد تم استخدام مسدس الرش نوع (Rototec 80) لرش المسحوق باستخدام اللهب وهو من إنتاج شركة (Castolin+Eutectic) وهو الماني الصنع 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)

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 ذات شكل اسطواني وبأبعاد (20*10mm).

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

3- تنعيم السطح الخارجي للعينة رقم(1) بواسطة ورق السنفرة بدرجات متتالية (600,400,300,220,120).

4- زيادة خشونة السطح الخارجي للعينة رقم(2) باستخدام طريقة العصف بدقائق كاربيد السليكون باستخدام جهاز العصف في وزارة العلوم والتكنولوجية حيث كانت متغيرات العصف باستخدام دقائق كاربيد السيلكون كما في الجدول رقم (4):

5- زيادة خشونة السطح الخارجي للعينة (3) بواسطة تشغيل العينة على المخرطة باستخدام ورق سنفرة بدرجات متتالية (100,80,60,40).

6- زيادة خشونة السطح الخارجي للعينة (4) بواسطة تشغيل العينة على المخرطة باستخدام ورق سنفرة بدرجة (40).

7- زيادة خشونة السطح الخارجي العينة رقم(5) بواسطة تشغيل العينة على المخرطة باتجاهين مختلفين على شكل معيني ذات خطوة قدرها (0.6 mm) وعمق سن قدرها (0.3 mm) مع تسطيح قمم الأسنان باستخدام مبرد ناعم.

8- قياس خشونة السطح لجميع النماذج قبل عملية الطلاء وذلك لأخذه كمتغير حيث وجدت الخشونة كما موضح في الجدول رقم(5).

طلاء نماذج المجوعة الأولى

تضمنت نماذج المجموعة الأولى خمسة نماذج ذات سطوح مختلفة الخشونة، جرى تخشين العينات حسب طرق التخشين الخمسة المذكورة سابقا، كما جرى تجفيف المساحيق في فرن تجفيف إلى درجة (200 ºC) لمدة (30) دقيقة، حيث جرت عملية الطلاء على مرحلتين حسب التسلسل التالي:

المرحلة الأولى: طلاء المسحوق الرابط

1-تسخين النموذج بواسطة الشعلة الأوكسي إستيلينية إلى درجة حرارة (300 ºC).

2- إجراء عملية رش الطلاء الرابط (نيكل– الألمنيوم) من مسافة (200 mm) (المسافة مابين فتحة مسدس الرش وسطح النموذج).

3- إن سمك الطلاء الذي تم الحصول هو بحدود (0.25 mm).

المرحلة الثانية: طلاء المسحوق الرئيسي

وتتم مباشرة بعد المرحلة الأولى من الطلاء وحسب الخطوات التالية:

1- تسخين النموذج بواسطة الشعلة الأوكسي إستيلينية إلى درجة حرارة (300 ºC).

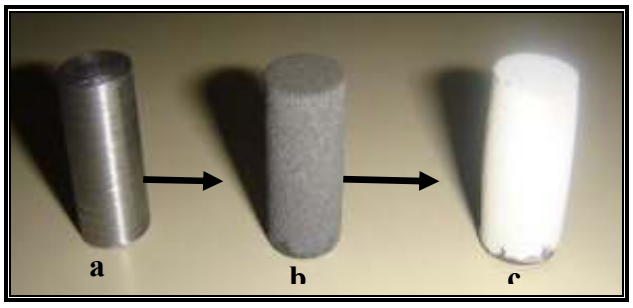
2- إجراء عملية رش الطلاء الرئيسي (ألومينا) من مسافة (200 mm)، وبعد إجراء التجارب تم التوصل إلى الوزن المطلوب رشه من المسحوق.

3- إجراء عملية الاندماج الحراري (Fusion) من خلال تسخين النماذج مباشرة بعد إكمال الرش إلى درجة حرارة تتراوح مابين (1000 ºC - 950 ºC) وتثبيتها في هذه الدرجة لمدة (15) دقيقة وبعدها يتم التبريد في الفرن.

4- إن سمك الطلاء الذي تم الحصول هو بحدود (0.5 mm).

5- ترك النموذج ليبرد في الهواء.

والشكل رقم (2) يمثل مراحل طلاء العينة.



شكل رقم (2) مراحل تنفيذ الطلاء

(a) عينة غير مطلية (b) الطلاء الرابط (c) الطلاء الرئيسي

والجدول رقم (6) يوضح متغيرات الخشونة لكل نموذج من نماذج المجموعة الأولى.

طلاء نماذج المجوعة الثانية

تضمنت نماذج المجموعة الثانية خمسة نماذج ذات سطوح متساوية الخشونة، جرى تخشين النماذج حسب طريقة تخشين العينة رقم (4)، حيث جرت عملية الطلاء بنفس تسلسل نماذج المجموعة الأولى ماعدا عملية تغير درجة حرارة سطح النموذج قبل عملية رش الطلاء الرابط والرئيسي. والجدول رقم (7) يوضح متغيرات درجة حرارة سطح النموذج لكل نموذج من نماذج المجموعة الثانية.

طلاء نماذج المجوعة الثالثة

تضمنت نماذج المجموعة الثالثة خمسة نماذج ذات سطوح متساوية الخشونة، جرى تخشين النماذج حسب طريقة تخشين العينة رقم (4)، حيث جرت عملية الطلاء بنفس تسلسل نماذج المجموعة الأولى ماعدا عملية تغير المسافة بين فتحة مسدس الرش وسطح النموذج عند رش الطلاء الرابط والرئيسي مع تغير أوزان المساحيق المرشوشة حسب مسافة الرش كما في الجدول رقم (8) وتثبيت بقية المتغيرات.

والجدول رقم (9) يوضح متغيرات مسافة الرش لكل نموذج من نماذج المجموعة الثالثة.

طلاء نماذج المجوعة ألرابعة

تضمنت نماذج المجموعة الرابعة خمسة نماذج ذات سطوح متساوية الخشونة، جرى تخشين النماذج حسب طريقة تخشين العينة رقم (4)، حيث جرت عملية الطلاء بنفس تسلسل نماذج المجموعة الأولى ماعدا عملية تغير سمك طبقة الطلاء الرئيسي مع تغير وزن المسحوق المرشوش حسب سمك طبقة الطلاء كما في الجدول رقم (10) مع تثبيت بقية العوامل الأخرى.

والجدول رقم (11) يوضح متغيرات سمك طبقة الطلاء لكل نموذج من نماذج المجموعة الرابعة.

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[14]:

$$W.R = \Delta W / S.D \quad \text{..... (1)}$$

حيث إن:

W.R: معدل البلى ألانزلاقي ألوزني (gm/mm)

ΔW: التغير في الوزن

الفحص المجهري (Microscopic Examination)

أستخدم المجهر الضوئي مزود بكاميرا تصوير لغرض فحص ودراسة طبقات الطلاء وتقيم الحد الفاصل ومدى الإنغرازية لطبقات الطلاء بواسطة القطع العمودي وبقوة تكبير (200X).

النتائج والمناقشة (Results & Discussion)

نتائج اختبارات البلى

وهي تشمل نتائج اختبارات البلى لكافة النماذج التي جرى طلاءها حسب المتغيرات المختلفة والتي ورد ذكرها سابقا، علما انه قد جرى قياس البلى للعينة الأساس قبل عملية الطلاء وقد كان مقدارها ($12*10^{-9}$ gm/min).

نتائج تأثير خشونة السطح الأساس قبل الطلاء في مقدار البلى بعد الطلاء

تم رسم منحني العلاقة بين الخشونة وبين مقدار البلى بالشكل رقم(3). إذ يوضح المنحني تحسن في مقاومة البلى مع زيادة خشونة السطح الأساس للنموذج قبل عملية الطلاء. فقد انخفض مقدار البلى من ($10.8*10^{-9}$ gm/min) إلى ($6.29*10^{-9}$ gm/min) بسب ارتفاع خشونة السطح الأساس من(0.85) مايكرون إلى(10.50) مايكرون، نتيجة زيادة تداخل جزيئات مساحيق الطلاء مع السطح الأساس مكونة جذور تعمل على تثبيت طبقة الطلاء.

نتائج تأثير درجة حرارة السطح الأساس قبل الطلاء في مقدار البلى بعد الطلاء

تم رسم منحني العلاقة بين درجة حرارة السطح وبين مقدار البلى بالشكل رقم(4). إذ يوضح المنحني إن اقل مقدار للبلى يتم الحصول عند تسخين النموذج قبل عملية الطلاء إلى درجة حرارة تتراوح بين (200 ºC) إلى (300 ºC). حيث يلاحظ إن انخفاض درجة حرارة السطح الأساس عن (200 ºC) يعطي ترابطا ضعيفا ومعدل بلى عالي بسبب عدم قدرة جزيئات المسحوق على الإنغراز في سطح المادة الأساس مما يقلل من قوة الالتصاق ويزيد من مقدار البلى، كما إن ارتفاع درجة حرارة السطح الأساس إلى أكثر من (300 ºC) يؤدي إلى تأكسد السطح الأساس قبل رش المسحوق مما يعطي معدل بلى عالي بسبب تكون أغشية من أوكسيد المعدن على السطح الأساس تمنع تكون أواصر التصاق بين سطح المادة الأساس وجزيئات المسحوق.

نتائج تأثير مسافة الرش في مقدار البلى بعد الطلاء

تم رسم منحني العلاقة بين مسافة الرش عن السطح وبين مقدار البلى بالشكل رقم (5). إذ يوضح المنحني إن المسافة المثلى بين فوهة جهاز الرش و السطح الأساس تتراوح بين (150 mm) إلى (200 mm) للحصول على أفضل طبقة طلاء ذات اقل معدل بلى. حيث يزداد معدل البلى عند الرش بمسافة اقل من (150 mm) بسبب ارتفاع درجة حرارة السطح الأساس نتيجة قرب

فوهة جهاز الرش من السطح مما يؤدي إلى تأكسد السطح الأساس وكذلك إن ارتفاع درجة الحرارة يقلل من كثافة طبقة الطلاء حيث يتم تشتيت جزيئات المسحوق عند ارتطامها بالسطح، كما يزداد معدل البلى عند الرش بمسافة أكثر من (200 mm) بسبب فقدان جزيئات المسحوق نسبة كبيرة من طاقته الحركية والحرارية خلال هذه المسافة وبذلك يضعف أواصر التصاق طبقة الطلاء لعدم إنغراز جزيئات المسحوق وعدم تكوين جذور مثبتة في السطح الأساس.

نتائج تأثير سمك طبقة الطلاء في مقدار البلى

تم رسم منحني العلاقة بين سمك طبقة الطلاء وبين مقدار البلى بالشكل رقم (6). إذ يوضح المنحني السمك الأمثل لطبقة الطلاء تتراوح بين (0.15 mm) إلى (0.5 mm) للحصول على اقل معدل بلى. حيث يزداد معدل البلى عند زيادة السمك عن (0.5 mm) لان الترابط الرئيسي بين طبقة الطلاء و السطح الأساس هو ترابط ميكانيكي وان الزيادة في السمك يضعف هذا الترابط.

نتائج البنية المجهرية

يتضح من الشكلان رقم (7) و(8)، الخاصان بالبنية المجهرية لطبقات الطلاء للنماذج رقم (7) بعد إجراء عملية الاندماج بعد عملية الطلاء وبدون إجراؤها على التوالي، مدى الإنغرازية والترابط النموذجي لطبقة الطلاء الرابط مع المعدن الأساس وطبقة الطلاء الرئيسي مع طبقة الطلاء الرابط، وان توافق المعدن الأساس مع نوع مسحوق الطلاء الرابط من جهة و مسحوق الطلاء الرابط مع مسحوق الطلاء الرئيسي له دور كبير في مدى إنغرازية طبقات الطلاء ومدى التصاقيتها. وقد ساعدت عملية الاندماج الحراري التي أجريت على كافة نماذج البحث في درجة حرارة تتراوح بين (950 ºC) و(1000 ºC) على زيادة مدى الإنغرازية وبناء جذور التثبيت في الطبقات المتعاقبة.

ويتضح من الشكل رقم (10) الخاص بالبنية المجهرية لطبقات الطلاء للنموذج رقم (10) وبالمقارنة مع الشكل رقم (7) الخاص بالبنية المجهرية لطبقات الطلاء للنماذج رقم (7)، تأثير طبقة الأوكسيد المتكونة نتيجة تسخين السطح الأساس قبل عملية الطلاء إلى (500 ºC) على إنغرازية طبقة الطلاء الرابط في السطح الأساس.

كما يتضح من الشكل (9) الخاص بالبنية المجهرية لطبقات الطلاء للنموذج رقم (15) وبالمقارنة مع الشكل رقم (7) الخاص بالبنية المجهرية لطبقات الطلاء للنماذج رقم (7)، تأثير مسافة الرش على مسامية طبقة الطلاء. إذ لوحظ زيادة في المسامية مع زيادة مسافة الرش مما يؤدي إلى تقليل ربط التماسك بين الدقائق وانخفاض الخواص الميكانيكية للطلاء.

الاستنتاجات

1- تتحسن قابلية عينة الفولاذ متوسط الكربون على مقاومة البلى عند طلاءها بأوكسيد الألمنيوم (ألومينا)، إذ لوحظ انخفاض معدل البلى في عينات الفولاذ متوسط الكربون المطلية ب(ألومينا) بنسبة تصل في بعض الأحيان إلى حوالي أكثر من (56%) عن العينات الغير مطلية.

2- تتحسن قابلية طبقة الطلاء على مقاومة البلى عند زيادة خشونة السطح الأساس، إذ لوحظ إن زيادة الخشونة من (0.85 µm) إلى (10.50 µm) أدت إلى انخفاض معدل البلى بنسبة تصل إلى حوالي أكثر من (51%).

3- أفضل درجة حرارة يسخن فيها السطح الأساس قبل عملية الطلاء للحصول على اقل معدل للبلى تتراوح بين (200 ºC) إلى (300 ºC)، إذ لوحظ إن تسخين السطح الأساس قبل عملية الطلاء بدرجة حرارة دون (200 ºC) يزيد من معدل البلى لطبقة الطلاء بنسبة تصل إلى (48%)، بينما تسخين السطح الأساس قبل عملية الطلاء بدرجة حرارة أعلى من (300 ºC) يزيد من معدل البلى لطبقة الطلاء بنسبة تتراوح بين (13%) إلى (57%).

4- المسافة المثلى بين فوهة جهاز الرش و السطح الأساس تتراوح بين (150 mm) إلى (200 mm) للحصول على أفضل طبقة طلاء ذات اقل معدل بلى، إذ لوحظ إن رش الطلاء بمسافة اقل (150 mm) يزيد من معدل البلى لطبقة الطلاء بنسبة تصل إلى (34%)، بينما رش الطلاء بمسافة أكثر من (200 mm) يزيد من معدل البلى لطبقة الطلاء بنسبة تتراوح بين (33%) إلى (51%).

5- السمك الأمثل لطبقة الطلاء تتراوح بين (0.15 mm) إلى (0.5 mm) للحصول على أفضل طبقة طلاء ذات اقل معدل بلى. حيث يزداد معدل البلى عند زيادة السمك عن (0.5 mm) بنسبة تتراوح بين (53%) إلى (70%).

6- ضرورة إجراء عملية الاندماج الحراري (Fusion) بعد عملية رش مسحوق الطلاء لان ذلك يساعد على زيادة مدى الإنغرازية وبناء جذور التثبيت بين طبقات الطلاء المتتالية وبين طبقة الطلاء والسطح الأساس.

المصادر

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

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

فراس قاسم محمد، "دراسة تأثير المساحيق المستخدمة في الرش -3الحراري باللهب على بعض الخواص الميكانيكية للفولاذ المتوسط الكربون" رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة الإنتاج والمعادن في الجامعة التكنولوجية، 2007.

د.صاحب مهدي الصفار و د.وليد عاصم حنا، "هندسة -4 السطوح المعدنية"، دار المناهج للنشر والتوزيع، عمان، 2010.

5- C.W.Smith, "Science and Technology of Surface Coating", NATO Advanced Study Institute on the Science and Technology of Surface Coating , Imperial College of Science Technology and Medicine, London, Academic press, p. 262, Eds. B.N. Chapman and J.C. Anderson, 1974.

6- B.Towler, "Engineering Design Guilds", Vol. 25, Oxford University Press, 1977.

7- H.Herman and S.Sampath, "Thermal Spray Coating", Internet Site 1996. (http: // www.dol 1.eng.sunysb.edu/1st/thermal/article 1.html)

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

9- Powder Metallurgy International, "Thermal Spray Alloy for Corrosive Applications", Vol. 24, No. 5, P. 296, 1992.

10- Dave Smith, "Welding Skills and Technology", P. 494-524, McGrow Hill, Inc-1984.

11- Kishor M.Kulkarni and Vidhn Anand, "Metal Powder used for Hard Facing" in (Metals Hand Book), 9th Ed., Vol. 7, p. 823-836, 1984.

12- V.V.Alisin and I.V.Kragelsky, "Friction Wear Lubrication Tribology Hand book", Vol. 1, P. (283-289), 1986.

13- H.D.Steffens, "10th International Thermal Spraying Conference", P. (1-6), May 1983.

"عمار رزاق حسن، -14تأثير عوامل الرش الحراري باللهب على " معدل البلى للفولاذ المتوسط الكربون" رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المواد في الجامعة التكنولوجية، 2010.