دراسة تأثير بعض معلمات الرش الحراري على بعض الخواص الترکيبية والميكانيكية لطبقات لطلاء لسبيكة البرونز الفسفوري

اسماعيل خنين جاسم[1]، محمد جاسم كاظم[2]، هالة سلمان حسن[3]

[1] وزارة العلوم والتكنولوجيا – دائرة علوم المواد

[2] الشركة التكنولوجية – قسم هندسة الإنتاج واللحام

[3] الجامعة التكنولوجية – قسم التعليم التكنولوجي

الخلاصة

أجريت عملية الرش الحراري بطريقة القوس الكهربائي لسلك من سبيكة البرونز الفسفوري (Cu Sn-P) على قاعدة من الحديد باستخدام غاز الهواء المضغوط كوسط لتكاثف الرذاذ. درست تأثير مسافة الرش على اعتبارها أحد معلمات الرش الحراري على الخواص المتعلقة بقساوة وكثافة طبقة الطلاء، المسامية ثم نوع التلاصق.

لقد تم التوصل إلى إمكانية الحصول على الخواص الميكانيكية لسبيكة البرونز الفسفوري من خلال السيطرة على معلمات عملية الرش المتعلقة وفي مقدمتها مسافة الرش، حيث تؤدي زيادة المسافة بين فوهة المرش والسطح الأساس إلى زيادة نسبة المسامية في طبقات الطلاء، مما يؤدي إلى نقصان في كثافة وصلادة و تماسكية طبقات الطلاء الناتجة.

تم التعرف على الأطوار الناتجة بعد عملية الرش من خلال مقارنة المسافة البينية بين المستويات المتعددة وشدة الأشعة المتعددة مع الجدول القياسية للمستويات البلورية.

المقدمة

تعد عمليات الرش الحراري من أهم تطبيقات الهندسة السطحية في الوقت الحالي لما لها من أهمية اقتصادية وميزة إنتاجية تكنولوجية عالية في إنتاج طلاءات بسماكة كبيرة من (50 mm) وبإنتاج عال لمدى كبير جداً من مواد الطلاء التي تشمل المعادن و السبائك المعدنية وغير المعدنية و السيراميك وبعض المواد المركبة وبعض أنواع البولیمرات على أسطح مختلفة ولمختلف التطبيقات الصناعية التي تمتد من الكهربائية إلى الميكانيكية والحرارية (الانزلاقية، التآكلية) إلى الصناعات الكيميائية[1,2].

تتصف عملية الرش بالقوس الكهربائي (Arc spray) عن بقية طرائق الرش الأخرى في كونها اقتصادية بشكل كبير، تحتاج إلى مولدين فقط لتشغيل المعدات وإنتاجها، فهي من أسهل طرائق الرش الحراري للسبائك المعدنية، وهي تمتاز بسرعة ترسيب عالية لطبقة الطلاء الناتجة وبسمك يصل إلى (2 mm) مع قوة تلاصق وصلادة عالية[3].

تتميز طلاءات البرونز الفسفوري الناتجة بمقاومتها للبلى و التعرية (Erosion and Wear) الناجمين عن الاحتكاك في درجات الحرارة المرتفعة وإمكانية استعمالها البديل لذلك فهي تستخدم في السطوح الاحتكاكية وفي إنشاء المحامل الليفة (Self- Bearing)، علاوة على إمكانية استخدامها في إنشاء هياكل الجسور والأجزاء التي تتعرض إلى ماء البحر نظراً لخواص سبيكة الفوسفور البرونزي المسامية المقاومة للتآكل القصري على سطوح هياكل السفن[4,5].

يتناول البحث التالي إجراء معالجات الطلاء الناتج بالرش الحراري بطريقة القوس الكهربائي لسبيكة الفسفور برونز وإمكانية التحكم في خواص طبقة الطلاء الناتجة عبر طريق السيطرة على معلمات الرش الحراري ومنها مسافة الرش ومن ثم إيجاد العلاقة بين معلمات الرش والخواص التركيبية والميكانيكية لطبقات الطلاء.

الجانب العملي

استخدم في هذا البحث قواعد للطلاء من الفولاذ متوسط الكاربون (0.45%C) وعلى شكل أقراص ذات قطر (28 mm) وبسمك (6 mm)، أما مادة الطلاء فكانت سلك قطره (2.0 mm) من سبيكة البرونز الفسفوري (Phosphor Bronze) لعلمت تحليلها في الجدول (1) وتلك المستخدمة في مجتمع سطوح المواطئة الاحتكاك (Low Friction Surface)، وكذلك بناء سطوح التحمل (Bearing Surface) علاوة على وجود تطابق مثالي في الخواص الحرارية للقاعدة والتقارب بين مادة الطلاء والمادة الأساس.

حضرت سطوح القواعد لعملية الرش من خلال زيادة خشونة سطحها الخارجي بطريقة التعفير الحبيبي (Grit Blasting) باستخدام حبيبات من كربيد السيليكون وبسعة لا تقل قيمة خشونة سطحها (8.5 μm)، كما تم إجراء تنظيف بالكوحول الإيثانول وحمام بالموجات فوق الصوتية للتخلص من الأتربة والشوائب وبقايا مواد التعفير.

تم إجراء عملية الرش الحراري باستخدام مطوعة الرش بالقوس الكهربائي (Electric Arc Spraying)، الجدول (1) يوضح أيضاً معلمات الرش الحراري المناسبة التي تم استخدامها في عملية الطلاء.

أجريت فحوصات المسامية و نسبة الأكاسيد للطلاء باستخدام طريقة الغمر (Immersion Method) وفق المواصفة القياسية (ASTM-C830)[6]، في حين أجري فحص الالتصاقية لطبقة الطلاء (Adhesion Test) وفق المواصفة القياسية (ASTM C633)[7]، وباستخدام جهاز الكشف أما فيما يخص الصلادة الميكروية (Hardness) فقد تم إجراؤها عن طريق مقياس صلادة روكويل (Rockwell Hardness) نوع (HR 15 T) باستخدام كرة بقطر (1/16 in) كأداة غوز خلال عملية الضغط بمقدار (15 kg)، أخيراً فالأطوار التي حدثت بعد عملية الرش فقد تم التعرف عليها من خلال جهاز الانعراج بالأشعة السينية

(XRD).كما تم أيضاً استخدام المجهر الضوئي نوع (Universal Camera Microscope) لغرض فحص ودراسة طبقات الطلاء وقياس سمك طبقات الطلاء وتم تقريبه إلى 0.01.

النتائج والمناقشة

أجريت جميع عمليات الطلاء تحت متغيرات عملية الرش الموضحة في جدول رقم (1). الشكل (1) يوضح العلاقة بين مسافة الرش وقيم قدرة التصاق، حيث لوحظ ازدياد قدرة التصاق بزيادة مسافة الرش وخصوصاً عند المسافات البعيدة مما يشير إلى انخفاض كثافة الرش الحراري الفسفوري التي تزداد فيها المسامات والفراغات بين دقائق الطلاء وهي تلك التي تتجمد الجزئي للدقائق قبل الاصطدام بالمعدن بسبب ازدياد المسافة عن القواعد الأساسية للطلاء أما نتائج حسابات الكثافة لطبقات الطلاء (Bulk Density) فقد تبين حصول انخفاض في كثافة طبقة الطلاء مع زيادة مسافة الرش كما هو موضح في الشكل (2) بين (10-15) سم وهذا عزى إلى ازدياد المسامية الطبقة بزيادة المسافة مما يؤدي إلى انخفاض كثافة الطلاء بمقدار (10%) في المسافات البعيدة (35 cm).

أما نتائج حيود الأشعة السينية لطبقة الطلاء عند مسافة الرش والمبينة في جدول (3) وضحت من حيود عملية تسييح (Casting) بين مادتي سبيكة الطلاء، حيث تم تحديد وجود طورين أحدهما (α) وهو المحلول الجامد للنحاس (Cu-Solid Solution) ويظهر بكمية كبيرة، أما الطور الآخر (ε) فيظهر بصورة قليلة من طور (α) وهو نتائج من انتشار عنصر الزنك (Cu-Sn)، تم تحديد هذه الأطوار استكمالاً من جداول مقارنة نتائج قيم المسافة البينية بين المستويات المحددة وكذلك شدة الأشعة الحادة مع الجداول القياسية لمستويات ميلر (Miller Indices).

أما نتائج فحوص الصلابة لاختبار مقاومة مادة الطلاء للاختراق فيمكن ملاحظتها من الشكل (3) الذي يوضح تأثير المسافة بين مصدر الرش وقاعدة الطلاء على قيمة الصلابة لطبقات الطلاء المنتجة بالرش الحراري.

لقد لوحظ أن زيادة مسافة الرش تؤدي إلى نقصان في قيمة الصلابة وذلك بسبب ضعف قوة ترابط الطلاء وانتاج عدد من الجيوب السطحية من مسامية وتكسر طبقات الطلاء.

أما دراسة نتائج قوة التلاصق للطلاءات والتي هي عبارة عن القوة اللازمة لفصل وحدة مساحة من طبقة الطلاء للبوزون الفسفوري عن المعدن الأساس، فيمكن ملاحظتها من الجدول (2) عند تغيير مسافة الرش.

لقد لوحظ أن قوة التلاصق تكون عالية عند المسافة القريبة(10cm) بسبب وصول القطرات المتسيحة إلى السطح الأساس بدرجة حرارة وطاقة عالية، بحيث تنساب بسهولة حول السطح لتشكل القاعدة الأساس، وتتحرر في الجوانب خشونة السطح الأساس مكونة مناطق احكام القبضة بتغلغله التشار وترابط جزء من الدقائق المتجمدة كلياً وسطح طبقة الأساس في المسافات القريبة، أما عند ازدياد مسافة الرش فيلاحظ تناقص قوة التلاصق والتماسك وحدوث فقد تدريجي لمادة الطلاء عند المسافات البعيدة والناتج من نقصان طاقة الصدمة لدقائق الرش ودرجة حرارتها مع احتمالية ازدياد تعرضها لأكسدة مما يؤدي إلى عدم حدوث تشابك وربط ميكانيكي جيد بين طبقات الطلاء والقاعدة الأساس.

الاستنتاجات

من خلال استقراء نتائج لعملية الرش الحراري باستخدام تقنية القوس الكهربائي لطلاء سبيكة البرونز الفسفوري على قواعد فولاذية متوسطة الكاربون يمكن أن نستنتج ما يلي:

1. إمكانية السيطرة على الخواص الميكانيكية والتركيبية لطبقات الطلاء الناتجة عن طريق السيطرة على مسافة الرش، حيث يمكن تقليل وجود المسامية و العيوب السطحية في طبقات الطلاء من خلال اختيار مسافة الرش المناسبة.
2. مسافة الرش بين مصدر الرش و قاعدة الأساس هي من أهم المتغيرات التي يجب ضبطها للسيطرة على الخواص الناتجة، حيث تؤدي زيادة مسافة الرش إلى نقصان كثافة وصلادة وانخفاض نوعية طبقات الطلاء الناتجة.
3. تم الحصول على أفضل مسافة عند مسافة رش (15 cm) أما أعلى قوة تلاصق هي (48.6 MPa) تم الحصول عليها عند مسافة رش (10 cm).

المصادر

1. M. Taraya & T. Godfrey, *"Advance Engineering Material"*, Vol. 2, No. 3, 2000, P. 85.
2. J. J. Clare & D. P. Crawmer, *"Thermal Spray Coating in Metals"*, Hand Book 9th Ed., Vol. 5, Ohio, 1985.
3. C. Syan, A. Matthews & K. C. Swift, *"Surface and Coating Technology"*, Vol. 33, 1987, P. 165.
4. G. W. Stachowiak & A. W. Batchelor, *"Engineering Tribology"*, 2nd Ed., 2001.
5. M. A. Meyers & K. K. Chawla, *"Mechanical Behavior of Materials"*, 1999.
6. Annual Book ASTM Standards, American Society for Testing Material, U.S.A., 1989, C 850.
7. Annual Book ASTM Standards, American Society for Testing Material, U.S.A., 1988, C633.

جدول (1): معلمات عملية الرش الحراري.

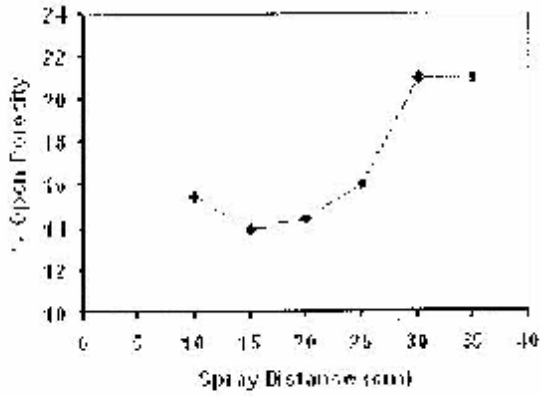
تخمين نسب عناصر مادة الطلاء Wt%	Cu 84.25, Sn 15.1, P 0.65
حجم حبيبات كربيد التنغستن المستخدمة في المسحوق المجفف.	5-30 μm – 2 mm
سمك طبقات تقاعدية.	2-9 μm
ضغط هواء التغذية	0.4 MPa
ضغط هواء التغذية لمسحوق مادة الطلاء.	0.2 MPa
السرعة الانتقالية للمسدس عبر مسطح الرش.	6 m/min
سمك طبقة الطلاء الناتج.	145 mm

جدول (2): تأثير مسافة الرش على قوة التلاصق لطبقات الطلاء

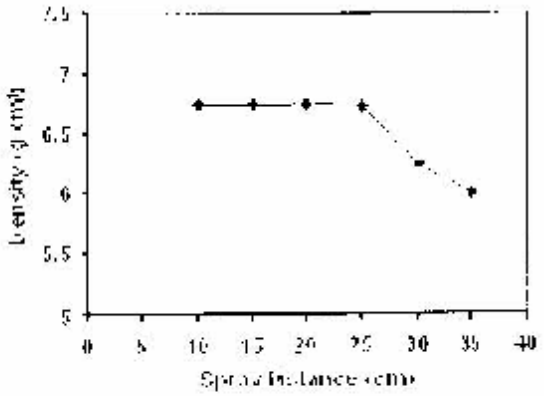
مسافة الرش (cm)	قوة التلاصق (MPa)
10	18.6
15	33
20	57
30	25.4

جدول (3) نتائج تحليل حيود الأشعة السينية لطبقة البرنز.

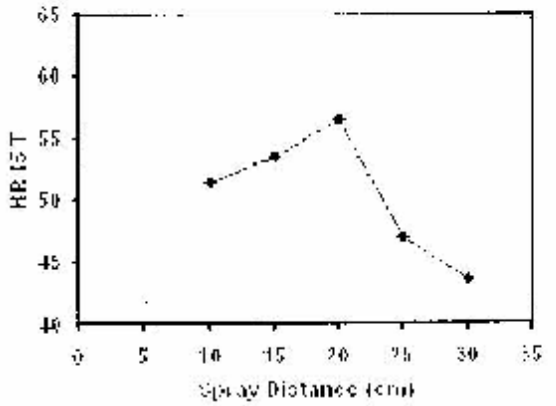
2θ (degree)	d. measured nm	d. standard nm	Phase	Relative Intensity
42.4	0.213	0.213	α	8.0
43.8	0.21	0.206	α	64.00
49.0	0.186	0.186	ε	100
50.2	0.182	0.18	α	96.00
73.9	0.129	0.128	α	36.00
77.7	0.123	0.122	α	12.0



شكل (1) العلاقة بين مسافة الرش ونسبة المسامية المفتوحة في طبقات الطلاء.



شكل (2) العلاقة بين مسافة الرش وكثافة طبقات الطلاء



شكل (3) تأثير مسافة الرش على قيمة الصلادة لطبقات الطلاء الناتجة.

Abstract

The spraying process has been applied by spraying of phosphor bronze wire (Cu-Sn P) on a mild steel substrate. The effect of spraying parameters on coating properties have been studied and it shows considerably affect on the microstructure features and other properties such as hardness, porosity and the adhesion strength the experimental result had assured that the best properties of layer coating were found at the optimum condition when the distance of spraying was (15 cm). Increasing the spraying distance would give high porosity therefore, density, hardness, and adhesion are reduced clearly. The X-ray diffraction data proved existing of different phases after the process of spraying.