



تصنيع مواد مركبة (Al-Ni+Al₂O₃+ZrO₂) بتقنية الرش الحراري باللهب

إسماعيل خليل جاسم¹ ، صالح يونس درويش² ، صايغن محمد نوري³

¹قسم الفيزياء ، كلية التربية للعلوم الصرفة ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

²قسم الفيزياء ، كلية التربية طوزخورماتو ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

³قسم الفيزياء ، كلية التربية للعلوم الصرفة ، جامعة كركوك ، كركوك ، العراق

الملخص

تم استخدام تقنية الرش الحراري باللهب في إنتاج مادة مركبة ذات أساس من الزركونيا نسبة 25% مقواه بدقائق سيراميكية من الألومينا نسبة 25% مع مادة رابطة من (Al-Ni) بنسبة 50% على قاعدة من سبيكة الفولاذ نوع (316L) بعد إن تم تهيئتها بطريقة التخشين بالعصف الحبيبي. أجريت عملية الرش باستخدام مسافات رش مختلفة (12,14,16,17,18,20) سم. اختبارات الصلادة، المسامية، وقوة التلاصق تم إجراؤها على طبقة المادة المركبة المنتجة لدراسة تأثير تغير مسافة الرش على خواص الطبقة الناتجة. تم إجراء المعاملة الحرارية على العينات عند درجات حرارة (950,1050)°C لمدة نصف ساعة. أكدت نتائج الاختبارات قبل وبعد المعاملة الحرارية بأن أفضل مسافة رش (16cm) والمعاملة الحرارية (1050°C) حيث لهما تأثير كبير في تحسين خواص طبقات المادة المركبة المنتجة خاصة الصلادة، المسامية مع قوة التلاصق.

معلومات البحث

تاريخ الاستلام: 2014 / 4 / 7

تاريخ القبول: 2017 / 12 / 11

الكلمات المفتاحية:

المواد المركبة، تقنيات الطلاء، تكنولوجيا المساحيق، المواد الهندسية.

المراسلة مع:

الاسم: صالح يونس درويش

البريد الإلكتروني:

رقم الهاتف:

المقدمة

الرش الحراري لكي تعطي غطاء حاميا بسمك يتراوح من-50µm (2mm) من مواد الطلاء [4] .
لقد بذل الباحثون في السنوات الأخيرة جهداً كبيراً لاستخدام هذه المواد المركبة على نطاق واسع في كثير من التطبيقات الكهربائية والحرارية، التي تعطي خواصاً عازلية جيدة عند مديات درجات الحرارة العالية (Thermal Barrier Coating) خاصة في محركات الطائرات النفاثة، والمحركات البحرية، والتوربينات الغازية [5]. إن المواد المركبة السيرميتية تتأثر عادة بخواص المواد الداخلة في تركيبها التي تتضمن المادة الأساس (Matrix)، وطور التقوية (Reinforcing Phase) . تمثل المادة الأساس عادة بالطور المستمر في المادة المركبة، إذ يعمل على تماسك عناصر ومواد التقوية، وربط الأجزاء معاً؛ لتكوين نظام تركيبى متماسك يمكنه إنتاج خواص ميكانيكية جيدة، تتضمن زيادة المتانة وخفة في الوزن، لذلك تم الاتجاه إلى إنتاج المواد المركبة لتكون بديلاً عن المواد الهندسية التقليدية مثل: المعادن والسبائك أو البوليميرات. أما مواد التقوية فهي تعمل على تقوية المادة الأساس وقد تكون هذه المواد سيراميكية أو معدنية أو بوليميرية وهي مختلفة

السيرميت (Cermets) هي مواد خليطه من السيراميك والمعدن وتحمل صفات مشتركة للسيراميك (الصلادة، مقاومة التآكل، تحمل الحرارة العالية) والمعدن (المطيلية، مقاومة الصدمة الحرارية، التوصيل الحراري، التوصيل الكهربائي) ولذلك سنحصل على مادة ذات صفات جديدة تؤهلها للاستخدام في كثير من التطبيقات التكنولوجية مثل حماية الريش التوربينية، وحواجز حرارية (Thermal Barrier) وكثير من التطبيقات التكنولوجية التي تتطلب خواص حرارية وميكانيكية جيدة [1]. لقد شهدت طرائق تصنيع المواد المركبة (السيرميتية) في السنوات العشرة الأخيرة تطوراً كبيراً في إنتاج المواد المركبة، المقواه بالألياف، أو الدقائق المعدنية أو غير المعدنية، خاصة باستخدام طريقة السباكة (Casting)، تكنولوجيا المساحيق (Powder Technology)، أو طرائق الطلاء بالرش الحراري (Thermal Spray Coating) [2,3]. أحدثت التطورات الكبيرة في تكنولوجيا هندسة السطوح تطبيقات عملية لحماية الأجزاء المعرضة للتلف وإعادتها إلى الخدمة وتقليل الكلفة وتحسين الأداء عن طريق عمليات

والمناطق المعاملة حرارياً فقد تم تحديدها باستخدام حيود الأشعة السينية عندما كان الهدف المستخدم (Target) في أنبوية الأشعة السينية هو النحاس (Cu) ذو الطول الموجي الذي يساوي (1.541Å) . تم استخدام طريقة أرخميدس في قياسات المسامية، إما قوة التلاصق فقد تم استخدام طريقة الشد (Tensile Test) بينما تم قياس الصلادة الدقيقة باستخدام طريقة برينيل (HB).

جدول (1) تحليل العناصر لقاعدة الطلاء من الفولاذ المقاوم للصدأ

Elements	Standard AISI -316L pct	Analysis
C	<0.03	0.02
Si	<1.00	0.94
Mn	<2.00	1.93
P	= <0.04	-
S	= <0.03	-
Cr	17.00	16.98
Mo	2.25	2.22
Ni	12.00	12.31
Fe	Rem	Rem

جدول (2) معلمات عملية الرش الحراري بالطلاء لتحضير المادة المركبة السيرميتية (Ni-Al + Al₂O₃ + ZrO₂)

Properties	Values
OXY – Acetylene Mixing	4 , 0.7
Spraying Distances	(12,14,16,17,18,20) cm
Thickness Coating	1.35 ± 0.35 mm
Flame spray temp	(3000-3025)°C
Particle size of powder	(75-100) μm
Coating Time	(1-2) min
Time between two spray proses	5 sec

النتائج والمناقشة

1- الفحص المجهري بالأشعة السينية: (Microstructure and

(X-ray

أوضحت نتائج الفحوص المجهري للمجهر الضوئي (10X) وبمسافة رش (16cm) والموضحة في الشكل (1) إلى تأثير المعاملة الحرارية في أخفاء العيوب السطحية وإعطاء طبقات الطلاء السيرميتي خواص فيزيائية وميكانيكية جيدة مع ازدياد قيم الطاقة الحرارية المستخدمة عند 1050 °C.

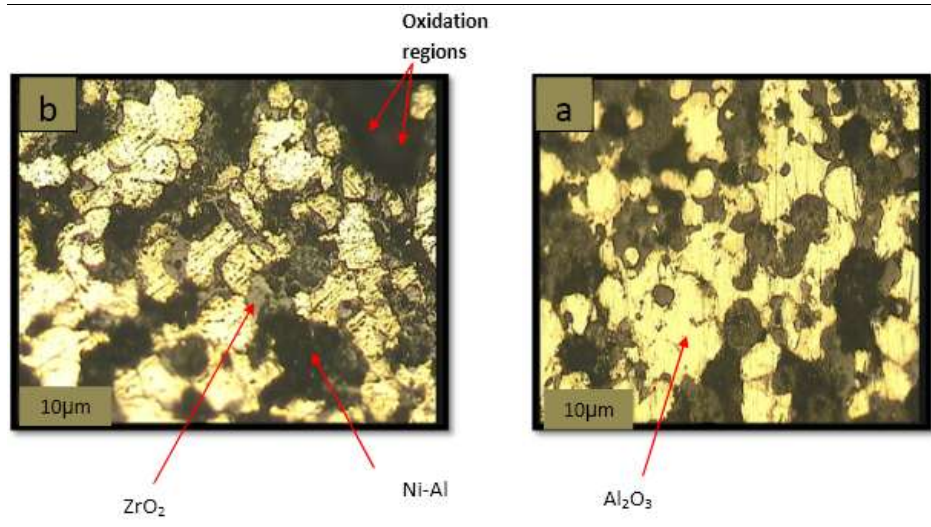
الأشكال فقد تكون بشكل مساحيق معدنية، أو ألياف أو قشور [2]. إن الدراسة الحالية تمثل استخدام تقنية المعاملة الحرارية لغرض تحسين خواص طبقات الطلاء السيرميتية المنتجة بطريقة الرش الحراري بالطلاء (Thermal Spray Coating) .

الجزء العملي

تم استخدام سبيكة من الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless Steel) نوع (316L-AISI) كقاعدة لطبقات الطلاء؛ وذلك نظراً لاستخدام هذه السبيكة في كثير من التطبيقات الهندسية التي تتطلب خواص ميكانيكية وحرارية جيدة عند ارتفاع درجات الحرارة فضلاً على مقاومتها الجيدة للتأكسد . تم تحليل عناصر السبيكة بجهاز تحليل العناصر للامتصاص الذري والموضحة بالجدول (1) وهي مقاربة جداً للمواصفات الأمريكية (AISI). تعدّ عملية تحضير أسطح عينات القواعد قبل عملية الرش الحراري مهمة بالنسبة لإنجاح عملية الطلاء. تم تقطيع العينات على شكل أقراص بقطر (21mm) وسمك (3mm) لوضعها في حامل العينات. تم استخدام جهاز عصف حبيبي (Blast Grit) مصنع محلياً؛ لغرض زيادة خشونة سطح العينات وذلك من خلال استخدام حبيبات الرمل (SiO₂) بمدى أقطار من (0.7-1.5 mm) .

المركبات السيرميتية حضرت من أخذ (Ni .Al) بنسبة وزنيه مقدارها % (50)، وتمت إضافتها إلى مسحوق المادة الأساس المكون من الألومينا (Al₂O₃) التي نسبتها % (25) مع نسبة % (25) من مسحوق (ZrO₂) وذلك لزيادة تثبيت طور الألومينا. طبقات الرش المنتجة بتقنية الرش الحراري بالطلاء (FTS) كانت ذات سمك بحدود (1.35mm±0.35) وتم إنتاجها باستخدام المتغيرات الموضحة بالجدول (2).

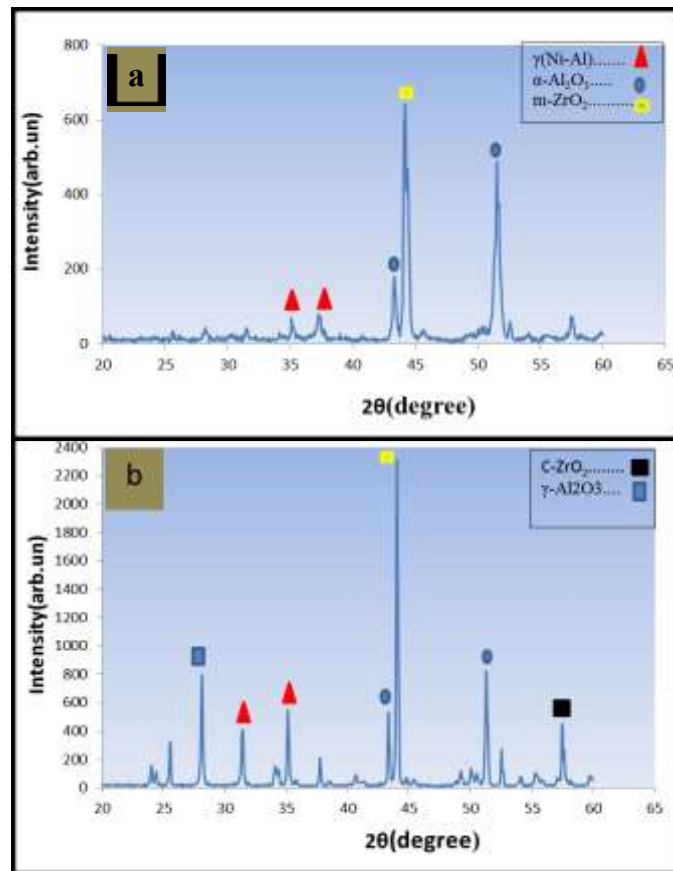
طبقات الطلاء السيرميتية التي تم إنتاجها تم معالمتها حرارياً عند 950,1050)°C ولمدة نصف ساعة ثم تركت النماذج إلى التبريد البطيء (Slow cooling). كما أخذ بنظر الاعتبار فحوصات الصلادة والمسامية وقوة التلاصق للطبقات المنتجة التي سوف يتم مناقشتها لاحقاً، إما الأطوار المتكونة لطبقات الطلاء السيرميتية



الشكل (1) يوضح المعاملة الحرارية للنماذج المحضرة عند: a- (950 °C) b- (1050 °C)

المسامية. لقد اتضح إن أفضل معاملة حرارية كانت عند (1050°C) وخلال نصف ساعة إذ تعطي خصائص فيزيائية وميكانيكية جيدة الى طبقات الطلاء السيرميتية المحضرة. إما تأثير المعاملة الحرارية على الفحوص التركيبية لطبقات الطلاء السيرميتية فيمكن ملاحظتها من خلال نتائج فحص حيود الأشعة السينية والموضحة في الشكل (2).

يلاحظ من خلال الشكل (1) حصول عمليات التليد والانتشار لطبقة الطلاء وتحسن في الخواص الفيزيائية بازدياد درجة الحرارة حيث نلاحظ من خلال الشكل (1-a) عند المعاملة بحرارة (950°C) بداية انصهار وتجانس جزئي مع تواجد بعض المسامات إما عند المعاملة الحرارية (1050 °C) كما في الشكل (1-b) فقد لوحظ هنالك تداخل بيني (Enter-diffusion) كامل وتجانس واضح وعدم ظهور أية عيوب سطحية أو تشققات (cracks) مع انخفاض واضح في قيم



الشكل(2) يوضح حيود الأشعة السينية لطبقة الطلاء بعد إجراء المعاملة الحرارية عند: a - (950 °C) b- (1050 °C)

لقطرات المادة المنصهرة مما يؤدي بالتالي إلى حدوث استطرارة لهذه القطرات وبتجاهات مختلفة [7].

(3) - تأثير المعاملة الحرارية على مسامية الطلاء السيرميتي: (Effect of Heat Treatment on porosity of cermets coating)

تعدّ ظاهرة المسامية أو وجود المسامات من الصفات المميزة لأغلب طلاءات الرش الحراري ، ولها تأثير واضح وكبير في خواصها، لذا كان من الضروري معرفة مقدار نسبة المسامات في الطلاء وتأثير معلمات الرش والمعاملة الحرارية عليها . الجدول (4) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها.

جدول (4) يوضح علاقة المسامية عند درجات حرارية مختلفة مع مسافات الرش المختلفة.

Spray Distance (cm)	Porosity %	
	950 °C	1050 °C
12	9.889	8.004
14	7.898	6.101
16	6.032	4.341
17	6.591	4.893
18	7.034	5.630
20	8.921	7.007

الجدول (4) يوضح علاقة انتشار نسبة المسامات مع مسافات الرش المختلفة قبل وبعد المعاملة الحرارية. لقد لوحظ انخفاض واضح في قيم المسامات بعد المعاملة الحرارية (1050 °C) عند جميع المسافات، إلا أنه كانت النسبة المثالية للانخفاض (6.032) و (4.341) عند درجات المعاملة (950 °C) و (1050 °C) على التوالي خلال الفترة الزمنية (1/2 hr). إن هذا التغير في قيمة المسامية يعزى إلى تكوين مناطق ترابط بين طبقات الطلاء السيرميتية بسبب حدوث عمليات تليد وانتشار للذرات عن طريق انتقال الذرات فيما بينها، ومحاولتها غلق المسامات عند إجراء المعاملة الحرارية [7]. إما تأثير المعاملة الحرارية على صلادة (Hardness) طبقات الطلاء السيرميتية فكان واضحاً بعد المعاملة الحرارية (1050 °C) حيث تم الحصول على صلادة ميكانيكية عالية كما موضح بجدول رقم (5) ادناه. إن ذلك يعزى إلى زيادة الترابط بين ذرات طبقات الطلاء والتجانس المثالي الحاصل مما أدى إلى انخفاض نسبة المسامات وزيادة قيمة الصلادة لطبقات الطلاء السيرميتية [7]. أن هذه النتيجة تتفق على ما تم استنتاجه من فحوصات البنية المجهرية والمسامية وقوة التلاصق حيث تم الحصول على طبقات طلاء متجانسة تماماً وخالية من العيوب السطحية والتشققات عند درجة معاملة حرارية (1050 °C) ومسافة رش مثالية (16 cm).

جدول (5) يوضح قيم الصلادة مع اختلاف درجات الحرارة عند مسافة

16 cm

Spray distance (cm)	Hardness at 950°C	Hardness at 1050°C
16	73HB	76HB

الاستنتاجات

من خلال البحث الحالي يمكن استنتاج النقاط الأتية:

لقد لوحظ في الشكل (2-a) وجود أطوار مختلفة هي (α -Al₂O₃) وهو ثلاثي التركيب (Tetragonal)، ومن المادة الرابطة (Ni-Al) المتكونة من طور (γ FCC) وهو احد اطوار هذه المادة الرابطة، وكذلك من الطور (Monoclinic) أحادي الميل (m-ZrO₂) احد اطوار الزركونيا وذلك من خلال مقارنة النتائج مع الجداول القياسية الأمريكية American Society for Testing and Materials (A.S.T.M) رقم (2004 Section 06). وجداول حيود المساحيق حيث وجد زيادة في النمو البلوري من خلال الزيادة في الشدة إضافة إلى تكون قمم أخرى جانبية سوية دلالة على تجانس طبقات الطلاء. إما عند إجراء المعاملة الحرارية على العينات المرشوشة عند حرارة (1050 °C) في الشكل (2-b) فقد لوحظ زيادة كبيرة في النمو البلوري وخصوصاً زيادة الشدة مع ظهور بعض القمم الأخرى التي كانت منخفضة الشدة عند المعاملة الحرارية الأقل دلالة على حدوث انصهار وتجانس بالأطوار للعناصر مما أدى إلى ظهور هذه القمم الجانبية. كما لوحظ ظهور الطور γ -Al₂O₃ دليل على وجود الطور الرباعي للألومينا وهذا دليل على التجانس والانصهار التام والتداخل بين مكونات المادة المركبة السيرميتية [6].

2- تأثير المعاملة الحرارية على قوة التلاصق للطلاء السيرميتي:

(Effect of Heat Treatment on the Adhesion force of cermet coating)

يمكن تعريف قوة التلاصق على أنها القوة المكافئة للقوة اللازمة لخلع وحدة مساحة من طبقة الطلاء عن القاعدة. النتائج التجريبية لقوة التلاصق عند مسافات رش مختلفة ومعاملات حرارية مختلفة موضحة في الجدول (3).

جدول (3) يمثل قوة التلاصق عند مسافات رش مختلفة ودرجات حرارة

مختلفة

Spray Distance (cm)	Adherentforce (Mpa)	
	950 °C	1050 °C
12	10.007	12.903
14	15.987	19.988
16	20.351	23.959
17	18.519	17.895
18	12.889	18.009
20	9.999	12.007

إن أحسن قيمة لقوة التلاصق كانت عند مسافة الرش (16 cm) ويتفق ذلك مع ما حصلنا عليه في فحوصات المسامية والصلادة، وفي كلتا الحالتين عند (950 °C)، (1050 °C) حيث لوحظ التماسك الجيد بين مكونات مادة الطلاء الناتجة. أن زيادة مسافة الرش تؤدي إلى وصول قطرة مادة الطلاء المنصهرة بشكل متجمد إلى سطح القاعدة ، وبالتالي تكون طاقتها الحركية قليلة، ومن ثم فإن سرعة ارتطامها بسطح القاعدة تكون واطئة نسبياً، وغير كافية لحدوث التحام أو التصاق بينها وبين سطح القاعدة، وبالتالي تكون منطقة الارتباط مع سطح القاعدة ضعيفة . في حين إن قلة مسافة الرش تؤدي إلى قلة قوة الالتصاق أيضاً بسبب المسامية العالية الناتجة من الحرارة العالية

ظهور أطوار أخرى مختلفة ناتجة من تفاعل واتحاد مكونات عناصر المادة السيرميتية المستخدمة.
4. أفضل قوتلاصق تم الحصول عليها هي (23.959 Mpa) عند المعاملة الحرارية (1050 °C).
5. القيم المثالية للحصول على طبقات طلاء سيرميتية متجانسة السطوح عند مسافة رش (16 cm) وعند معاملة حرارية (1050 °C) هي نسبة مسامية (4.341%) و صلادة لطبقات الطلاء بحدود (76 HB).

1. تمتاز طبقات الطلاء السيرميتية المنتجة باستخدام تقنية الرش الحراري باللهب بوجود الفجوات والمسامية وبعض الدقائق غير المنصهرة (In melted) مع وجود بعض العيوب السطحية الأخرى .
2. أدت المعاملة الحرارية لطبقات الطلاء السيرميتية إلى تحسن واضح بإزالة العيوب السطحية من الفجوات والمسامية مقرونا بتحسين واضح في البنية المجهرية .
3. الفحوص التركيبية بواسطة حيود الأشعة السينية أكدت بوجود عدة أطوار (α -Al₂O₃) مع الطور (γ -Al₂O₃) وطور (m-ZrO₂) مع

المصادر

- [1]: W. Bolton, "Engineering Materials Technology", 3rded., Butterworth-Heinemann, Oxford, (1998).
[2]: J.R. Vinson, T.W. Chou, "Composite Material and their use in Structure", Applied Sciences publisher LTD, London, (2010).
[3]: L.F. Mondolfo, "Aluminum Alloys: structure and properties" Butter worth com., London , (2011) .
[4]: O.sarikaya, "effect of some parameters on microstructure and hardness of alumina coating prepared by air plasma spray process" , Surface and coating Technology, Vol. 190, pp. (388- 393), (2005).

- [5]: M.M Schwartz, " composite Material, Hand Book " , Mc-Graw Hill, New York, (2006).
[6]: رزاق ، عمار ، تأثير عوامل الرش الحراري باللهب على معدل البلى للفولاذ المتوسط الكربون / رسالة ماجستير / الجامعة التكنولوجية / (2010) /
[7]: فرمان ، أنوار خالد، "دراسة الخواص الفيزيائية لطبقات الطلاء السيرميتية المنتجة من (Al +Ni -Al₂O₃) بطريقة الرش الحراري" ، اطروحة دكتوراة ، الجامعة المستنصرية. ، كلية العلوم (2005).

Manufacturing of composite (Ni-Al +Al₂O₃-ZrO₂) by using Flame Thermal Spray Technique.

I.K Jassim¹, S.Y. Darweesh², S.M. Nuri¹

¹ Department of Physics , College of Education and Pure Science , Tikrit University , Tikrit , Iraq

² Department of Physics , College of Education- Tuzkormato , Tikrit University , Tikrit , Iraq

Abstract

Flame Thermal Spray technique was used to produce matrix composite of ZrO₂ (25%) reinforced with Alumina (25%) with (Al-Ni) (50%) have been spray into base substrate of stainless steel type (316L). All samples were grit blasted as initial preparation state and all spraying done at different distances from substrate (12, 14, 16,17, 18, 20) cm test of stiffness, porosity and adhesion has been experienced on the compound layer which produced to study the effect of changing the spraying distance on the layer characteristic. All samples were heated at (950, 1050) °C for(1/2hr). The results before and after heat treatment show that the optimum condition for spraying distance at (16 cm) and heat treatment at (1050 °C) which are most effective to give best results especially hardness, porosity and adherence bond.

Keywords: Composite Materials, Spray Techniques, Powder Technology, Material Engineering.