Effect of Thermal Treatment on Some Physical and Mechanical Properties of Cermet Coating by Flame Spraying Technology

[a]Sameen F. Mohammed [b]Salih Y. Darweesh

[a]*Northern Technical University,Technical institute of Kirkuk,Dep. of Techniques electrical. Iraq*

sameen1966@yahoo.com

[b]*Tikrit University, College of Education,Tuzkormato-Dep. of Physical. Iraq.*

salih.younis@tu.edu.iq

Keywords: Coating technology, Thermal materials, Thermal spraying, Thermal treatment

Abstract

In this research, thermal flame spraying technology was used for the purpose of producing a ceramic composite material produced from a mixture of ceramic material Al_2O_3, 25% and 50% with Ni-Al bonding material by 75% and 50% respectively, Coating through tests. The paint was made of graphite after it was tarnished by teething method. The spraying distance was 12 cm. The thermal treatment of the coated samples was at 1000 ولفت and for a period of two hours only. Through the tests of porosity, hardness and x-ray resistance, it was found that the best ratio of ceramic coating was in the ratio (50% alumina) with (50% of the bonding material). Where the best porosity was about 50% of the alumina and of the bond material as it reached 10.52%, the best hardness was also at 50% of the alumina and 50% of the bonding material as it reached 47.48Hv, the thermal treatment helped reduce the porosity to 7.44% and increased the hardness to 56.22Hv at the rate of 50% of the alumina and 50% of the bonding material, Finally the thermal treatment at (1000 ℃) and for two hours helped improve the crystalline uniformity at the angles of diffraction of defects.

تأثير المعاملة الحرارية على بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لطلاء سيرميتي بتقنية الرش الحراري باللهب

سمين فاضل محمد

الجامعة التقنية الشمالية- المعهد التقني\ كركوك- قسم تقنيات الكهربائية
sameen1966@yahoo.com

صالح يونس درويش

جامعة تكريت- كلية التربية طوزخورماتو
Salih.younis@tu.edu.iq

الخلاصة

تم في هذا البحث استخدام تقنية الرش الحراري باللهب لغرض انتاج مادة مركبة سيرميتية ناتجة من خليط مادة سيراميكية هي الألومينا Al_2O_3 بنسبة ٢٥%، ٥٠% مع مادة رابطة معدنية من (Ni-Al) بنسبة ٧٥%،٥٠% على التوالي والتعرف على افضل نسبة طلاء من خلال الفحوصات. قواعد الطلاء كانت من الكرافيت بعد ان تم تخشينها بطريقة التسنين، اما مسافة الرش كانت ١٢ سم، والمعاملة الحرارية للعينات المطلية كانت عند (١٠٠٠℃) ولفترة زمنية مقدارها ساعتين فقط. من خلال اختبارات المسامية والصلادة وحيود الاشعة السينية وجد ان افضل نسبة طلاء سيرميتية كانت عند النسبة (٥٠% الومينا) مع (٥٠% من المادة الرابطة), حيث ان افضل مسامية كانت عن النسبة ٥٠% من الألومينا و من المادة الرابطة اذ وصلت الى 10.52%, افضل صلادة ايضا كانت عند النسبة ٥٠% من الألومينا و٥٠% من الماده الرابطة اذ وصلت الى 47.48Hv, المعاملة الحرارية ساعدت الى تخفيض نسبة المسامية الى 7.44% وعملت على رفع قيمة الصلادة الى 56.22Hv عند النسبة ٥٠% من الألومينا و٥٠% من المادة الرابطة، واخيرا فأن المعاملة الحرارية عند (1000 $^{\circ}C$) ولزمن ساعتين ساعد على تحسن في الانتظام البلوري عند مواقع زوايا الحيود دلالة على تجانس طبقات الطلاء وخلوها من العيوب.

الكلمات المفتاحية: تقنية الطلاء، المواد السيرمتية، الرش الحراري، المعاملة الحرارية.

المقدمة

إن المواد المركبة السيرمتية 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، اذ يعمل على تماسك عناصر ومواد التقوية، وربط الأجزاء معا؛ لتكوين نظام تركيبي متماسك يمكنه إنتاج خواص ميكانيكية جيدة، تتضمن زيادة المتانة وخفة في الوزن، لذلك تم الاتجاه الى إنتاج المواد المركبة لتكون بديلا عن المواد الهندسية التقليدية مثل: المعادن والسبائك أو البوليمرات. أما مواد التقوية فهي تعمل على تقوية المادة الأساس وقد تكون هذه المواد سيراميكية أو معدنية أو بوليميرية وهي مختلفة الأشكال فقد تكون بشكل مساحيق، او ألياف أو قشور [1]. ولقد شهدت طرائق تصنيع المواد المركبة في السنوات العشرة الأخيرة تطورا كبيرا في انتاج المواد المركّبة، المقواة بالألياف، أو الدقائق، أو الشعيرات، خاصة باستخدام طريقة السباكة (Casting)، وتكنولوجيا المساحيق (Powder Technology)، أو طرائق الطلاء بالرشّ الحراري (Thermal Spray Coating) [2,1]. إن أهم الأجزاء الهندسية المعرضة للفشل بسبب العيوب السطحية هي الريش التوربينية (Turbine Blades) في المحرك التوربيني، وذلك بسبب كونها أجزاء

دوارة تـعمـل فــي درجات حراريـة عاليـة، وبـوجود أوساط آكلة(Environments Corrosive).وحيث إن اختيار المواد المركبة السيرمتية المكونة من أكاسيد مواد سيراميكية ذات درجات الانصهار العالية مثل (Al_2O_3، TiO_2 ، او ZrO_2) مع عناصر مضافة من مـواد حـديدية تسمـــى بالسيرمت (Cermet) [٣]. تناول العديد من الباحثين تقنية الرش الحراري باللهب, حيث في عام (٢٠١٠) درس الباحث (عمار) تأثير عوامل الرش الحراري باللهب على معدل البلى للفولاذ متوسط الكاربون وقد تم التوصل إلى أفضل المتغيرات التي تعطي أعلى التصاقية واقل معدل بلى. حيث أوضحت النتائج إن زيادة الخشونة من (0.85µm) إلى (10.50µm) أدت إلى انخفاض معدل البلى بنسبة تصل إلى حوالي أكثر من (51%), علاوة على زيادة التصاق طبقة الطلاء بالسطح الأساس من خلال ازدياد قوة الترابط الميكانيكي بينهما بنسبة تصل إلى أكثر من (67%)[٤]. اما في عام (٢٠١٣) درس الباحث (حيدر) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لطلاءات من مادة البرونز على قواعد من الفولاذ المقاوم للصدأ نوع (٣٠٤) حيث اظهرت النتائج المتمثلة بالمسامية والصلادة والتلاصق اعتمادها على بعض متغيرات الرش مثل: (مسافة الرش، زاوية الرش، سمك الطلاء، درجة المعاملة الحرارية). أفضل مسافة للرش (15cm) عن المنفث وأفضل زاوية رش (90^o) وأفضل سمك للطلاء (٠.3 ± 1.97mm). تم الحصول على أفضل نسبة للمسامية وكانت بحدود (5.95%). وأفضل درجة معاملة حرارية (950^o) ولمدة ساعة [5]. وفي عام (٢٠١٤) درس الباحث (صالح) الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لنظام متكون من (Al_2O_3+Zr_2O_3+Al-Ni) بطريقة الرش الحراري باللهب واتضح ان معاملة حرارية ١٠٥٠°C ولزمن ساعة ونصف وعند مسافة ١٦cm اعطت افضل التصاقية واقل مسامية وافضل خصائص ميكانيكية لطبقة الطلاء الناتجة[٦]. وان الهدف من البحث الحالي هو محاولة جديدة الحصول على مواد تعمل كغطاء واقي ضد التأكل والتشقق في انابيب النفط و التوربينات المستخدمة لتوليد الطاقة الكهربائية لما تتعرض له من حرارة عالية وبخار كثيف يسبب تأكل و تشقق هذه الاجزاء, وكذلك في العديد من التطبيقات العسكرية والصناعية التي تتعرض للتأكل.

الجزء العملي

١- المواد الاولية المستخدمة في البحث

تمّ إستخدام مسحوق الألومينا المصنعة من شركة (Metco) رقم (110) كمادة أساس (Matrix) وبحجم حبيبي يتراوح من(75-100µm). تم قياس الحجم الحبيبي مرة ثانية لمادة الطلاء بواسطة التحليل بالمناخيل (Analysis Seiving) المصنعة طبقاً إلى المواصفات الأميركية (ASTM) فكانت متطابقة تماماً علماً بأن معدل هذا الحجم هو كافٍ للانصهار في جهاز الرش الحراري بهذا الحجم. اما مسحوق المادة الرابطة فقد تمّ إستخدام مادة رابطة مصنعة من شركة (Amdry) رقم (997) التي تتألف من سبيكة (Ni_{80} Al_{20}) وبحجم حبيبي (75-100µm)، وذلك لمقاومتها الجيدة للتأكسد عند الدرجات الحرارية العالية، والى تجانس إنصهارها بقوة تلاصق جيدة ما بين القواعد الاساس (Substrate) وطبقات الإكساء السيراميكية.

٢- طريقة التحضير

تم استعمال قواعد من الكرافيت وذلك لتحملها العالي لدرجات الحرارة التى تصل الى (4000C°).كما تمتاز بالتوصيل الكهربائي والحراري الجيد والتمدد الحراري الواطئ أضافة الى مقاومتة للصدمات الحرارية عالية وكما ان متانتها تزداد مع ارتفاع درجات الحرارة . يعد الكرافيت مادة سيراميكية ويتواجد في الطبيعة على شكل كاربون وهو سداسي التركيب البلوري مقاوم الى الحرارة والتفاعلات الكيميائية لذلك يستخدم في كثير من التطبيقات الحرارية العالية. تمّ تحضير المركبات السيرمتية من أخذ نسب مختلفة من مسحوق المادة الرابطة ($Ni_{80}Al_{20}$) وبنسب وزنية مقدارها % (75، 50)، وتمّت إضافتها الى مسحوق المادة الأساس من الألومينا (Al_2O_3) . بعد ذلك تمّ خلط المزيج لمادة الأساس مع المادة الرابطة بصورة جيدة من خلال إستخدام خلاط كهربائي ذي كرات من التفلون لمدة ساعتين، وذلك لغرض الحصول على خليط متجانس . ثم أجريت معاملة حرارية أولية(التلدين) لمساحيق المواد المركبة السيرمتية قبل عملية الطلاء عند درجة حرارة (150°C) لمدة ساعتين ، وذلك بإستخدام فرن نوع (Carbolite) إنكليزي المنشأ يحتوي على مسيطر حراري نوع (Euotherm), إن الغاية من أجراء المعاملة الحرارية قبل عملية الطلاء هي لتجفيف دقائق المساحيق من تأثير الرطوبة، وبالتالي ستكون الدقائق بحالة لدونة جيدة، تكون مؤهلة لإنتاج طلاءات ذات قوة تلاصق جيدة مع المادة الأساس [٦].تمّ إجراء عملية الرشّ الحراري باللهب (Flame Thermal Spray) على قاعدة من الكرافيت ،و بمسافة الرشّ (١٢سم) وهي المسافة بين فتحة مسدس الرشّ (منفث الدقائق) وسطح القاعدة . وقد استخدمت قيم نسب إضافات وزنية مختلفة لمسحوق الألومينا (Al_2O_3) المضافة الى مسحوق نيكل – ألمنيوم (Ni-Al)، وبعد اكتمال عملية الرشّ والحصول على طبقة المادة المركبة السيرمتية، أجريت اختبارات المسامية والصلادة وفحوصات الاشعة السينية والفحص المجهري للطبقة المنتجة قبل المعاملة

الحرارية وبعدها, والجدول (١) يوضح المعلمات المثالية لقيم الرش الحراري باللهب .

الجدول (1) معلمات قيم الرشّ المثالية للعينات

معلمـــات الرشّ المـثالية	القـيم
نسبة الإضافة للمادة الرابطة (Ni-Al) مع المادة الأساس (Al_2O_3)	(50%+ 50%)
مسافة الرشّ	12 cm
السمك	1.45±0.15mm
الفترة الزمنية بين رشة وأخرى	5 sec
زاوية الرشّ	90°

٣-الفحوصات والقياسات العملية

اولاً: فحص المجهر الضوئي

تم إجراء عملية الفحص المجهري للعينات التي تم طلاؤها لملاحظة التركيب الدقيق لها لمسافة الرش (12cm) قبل وبعد المعاملة الحرارية، لغرض فحص التركيب المجهري للعينات التي يجب أن يتم تحضيرها بشكل جيد وتشمل عملية التحضير عملية التنعيم (Process grinding)،عملية الصقل (Process polishing), عملية الإظهار(Eatching Process).

ثانياً: فحص المسامية

إن وجود المسامات في طلاءات الرشّ الحراري هي من أهم السمات المميزة لهذه الطلاءات ، وهي تؤثر في خواص هذه الطلاءات لذلك من الضروري معرفة قيم نسبة المسامات في الطلاء .وتمّ إجراء فحص المسامية بالإستفادة من عينات طبقة الطلاء فقط بعد خلعها من المادة الأساس عند أجراء عملية الفحص . تمّ الإعتمّاد على مبدأ أرخميدس لطريقة الغمر (Immersion Method) في حسابات نسبة المسامية وفق المواصفة القياسية رقم (ASTM – C 830) [٧] ، التي تشمل الخطوات الآتية :

١- تجفيف العينات للمادة المركبة لمدة نصف ساعة بإستخدام فرن كهربائي من نوع (Heraeus) عند درجة حرارة(75°C) ثم وزن العينات بإستخدام ميزان حساسذو حساسية (±0.001mgm) ويسمى هذا الوزن (W_1).

٢- غمر العينات في إناء مملوء بالماء المقطر لمدة (24hr) ثم وزن العينات المشبعة بالماء ،وتسخن لدرجة (100 °C)وتترك لتبرد ثم توزن ويسمى هذا الوزن (W_2) .

٣- وزن العينات وهي مغمورة ومعلقة في الماء المقطر ويسمى هذا الوزن (W_3) .

٤- يمكن حساب نسبة المسامات المفتوحة (P_o %) بإستخدام العلاقة الاتية [٨] :

$$P_o\ \% = [(W_2 - W_1) / (W_2 - W_3)] \times 100 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

أما نسبة المسامات الكلية(P_T %) فيمكن إيجادها من العلاقة ادناه[٧]:

$$P_T\% = [1-(\rho_B/\rho_s)] \times 100 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث أن :

ρ_B:تمثل الكثافة الظاهرية لمادة الطلاء.

ρ_s: تمثل كثافة مادة قاعدة الطلاء,وتحسب بنفس الطريقة.

وأن الكثافة الظاهرية لمادة الطلاء تحسب من العلاقة [٨]:

$$\rho_B = [W_1 / (W_2 - W_3)]\rho_w \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

ρ_w: تمثل كثافة الماء وهي ($1gm/cm^3$).

ثالثاً: فحص الصلادة

تم قياس الصلادة بطريقة فيكرز(Vicker's Hardness) للنماذج التي تم طلاؤها وذلك بعد إجراء عملية تنعيم وصقل قبل وبعد إجراء المعاملات الحرارية, وإن الأثر المستخدم هو ضاغط ماسي هرمي الشكل ذي زاوية (136º) بين الوجهين المتقابلين بتسليط حمل مقداره (100 gm) مع زمن تسليط مقداره (10sec) ويتم رفعه اوتوماتيكياً بعد إضاءة المؤشر الضوئي بانتهاء الفترة الزمنية المحددة ومن ثم يتم حساب ابعاد الأثر الناتج في المحورين وباتجاهين متعامدين وبأخذ خمس قراءات واحتساب متوسطها الحسابي للحصول على قيمة الصلادة من الشاشة الرقمية المثبتة على الجهاز بشكل مباشر, والعلاقة التالية تمثل صلادة فيكرز [٦]:

$$H_V = 1.854\frac{P}{dav.^2} \quad \text{.....(4)}$$

حيث أن

HV : صلادة فيكرز

P : الحمل المسلط (gm) .

dav: متوسط قطر الأثر.

وقد تم قياس الصلادة في عدة مناطق مختلفة من العينة، حيث أخذت الصلادة على الأطراف وفي المركز وتم جمعها للحصول على قيمة تقريبية لمعدل الصلادة.

رابعاً: فحوصات الاشعة السينية

لأجل التعّرف على الأطوار المتكونة لعناصر مواد الرشّ المستخدمة والتحولات الطورية التي حدثت بعد عملية الرشّ. تمّ استخدم جهاز حيود الأشعة السينية (X-ray Diffactionmetrs) المنتج من شركة (Philips) حيث كان الهدف المستخدم (Target) في أنبوبة الأشعة السينية هو النحاس ذو الطول الموجي (Cu Kα) الذي يساوي (1.542A°) وحسب المعلمات المبينة في الجدول (٢).

الجدول (٢) معلمات التحليل بحيود الاشعة السينية

Voltage	40 Kv
Current	40 mA
Scan Speed	12 θ/min
ScanRange	10° - 60°

ومن خلال معرفة الطول الموجي (λ) وقياس زاوية الحيود (2 θ) ، تمّ الحصول على قيم المسافة بين المستويات الذرية (d) وذلك بإستخدام معادلة براك المعطاة بالعلاقة التالية [5] :

$$2\,d \sin\theta = n\,\lambda \quad \text{.....(2-3)}$$

حيث أن :

θ: زاوية الحيود

n : مرتبة الحيود وتساوي 1

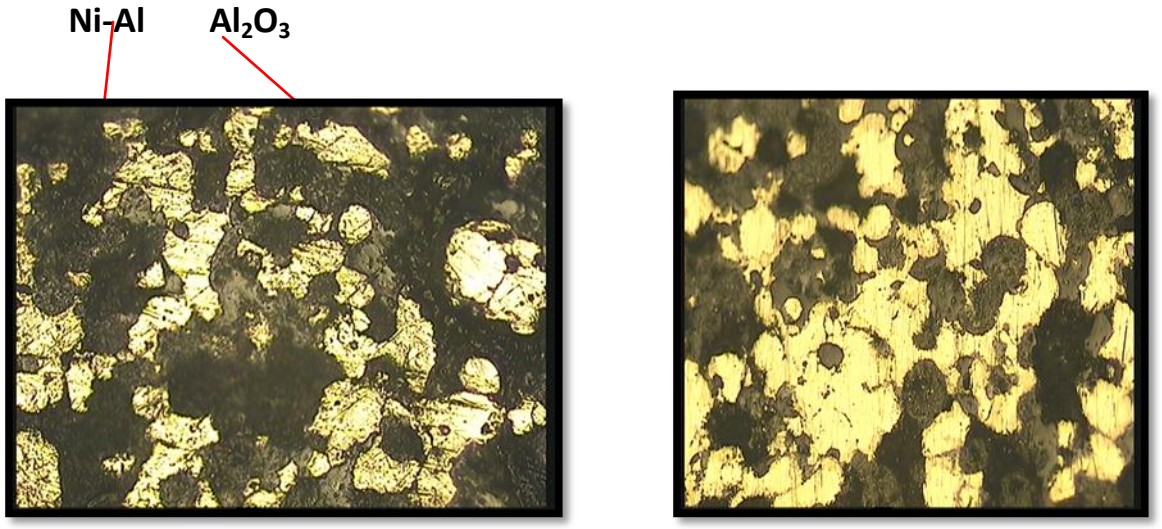
λ : الطول الموجي للاشعة السينية ويساوي (1.542A°)

تمّ تحديد الأطوار المتكونة من خلال إجراء مقارنة لقيم المسافات البينية بين المستويات المحادة (d) وشدة الاشعة المحادة من خلال الجداول القياسية الأمريكية(ASTM).

٤-النتائج والمناقشة

٤-١: تأثير المعاملة الحرارية على التركيب المجهري للطلاء السيرمتي

بعد إجراء عملية الرش لمسافة الرش (12)cm أخذت الصور المجهرية بعد عملية الرش وقبل المعاملة الحرارية لمادة الطلاء كما في الشكل (a- 1) (b- 1) .وعند قوة تكبير ثابتة هي (×500).



الشكل (1-b) البنية المجهرية لطبقة الطلاء عند درجة (1000 °C) **الشكل (1-a) مسافة الرش12cm**

عند مسافة الرش (12cm) في الشكل اعلاه في اليسار (a) لوحظ التجانس في طبقة الطلاء مع تلاصق جيد مع قاعدة الطلاء وبوضوح حيث تحتوي طبقة الطلاء على خواص مثالية وهنالك تجانس وانصهار تام ومسامات قليلة. اما الشكل اعلاه نحو اليمين (b) نلاحظ من خلال الشكل حصول عمليات التلبيد والانتشار لطبقة الطلاء وتحسن في الخواص الفيزيائية عند المعاملة الحرارية ويعزى ذلك الى انخفاض قيم المسامية وأزاله الإجهادات الداخلية بين طبقات الطلاء.

٤-٢: تأثير المعاملة الحرارية على مسامية الطلاء السيرمتي

لقد أوضحت نتائج القياسات التجريبية للمسامية بظهور نسب مختلفة للمسامات في مادة الطلاء تبعا لاختلاف نسب الترسيب المعتمّدة في بحثنا وهي % (50, 75) من المادة الرابطة (Ni-Al) مع ما يقابلها من مادة الألومينا (Al_2O_3). ومن ملاحظة الجدول (3) نجد أن نسبة المسامات قد تراوحت بين (١٠.٥٢%) للنسبة (50% (Ni-Al) + 50% (Al_2O_3) وبين (20.0%) للنسبة [25% (Al_2O_3) + Ni-Al) (75%] .

الجدول (٣) يوضح نسبة المسامات الناتجة لنسب الطلاءات السيرمتية[(Ni-Al) + (Al_2O_3)] المستخدمة قبل وبعد المعاملة الحرارية.

نسبة الترسيب	نسبة المسامات (porosity %)
50 %(Ni-Al) + 50% (Al_2O_3)	10.52%
75% (Ni-Al) + 25% (Al_2O_3)	20%
At 1000 ℃	7.44%

والجدول اعلاه يوضح بأن أقل نسبة مسامية تكون عند نسبة الترسيب (50%) حيث كانت المسامية بحدود (10.52%). ولغرض التقليل من نسبة المسامية في مادة الطلاء السيرمتية الناتجة أجريت المعاملة الحرارية للعينات ذات المواصفات القياسية ، كونها المواصفات التي سجلت عندها أقل قيمة للمسامية قبل المعاملة الحرارية. وقد أجريت المعاملة الحرارية في فرن حراري غير مفرغ، وعند درجة حرارة (°C 1000)، ولفترة (2 hr) وقد لوحظ تغير ملحوظ في نسبة المسامية، إذ انخفضت قيمتها الى (7.44%) إن هذا التغيّر في قيمة المسامية يعزى الى تكوين مناطق ترابط بين طبقات الطلاء السيرمتية بسبب حدوث عمليات تلبيد وانتشار للذرات عن طريق انتقال الذرات فيما بينها، ومحاولتها غلق المسامات عند إجراء المعاملة الحرارية.

٤-٣: تأثير المعاملة الحرارية على صلادة الطلاء السيرمتي

من خلال استعراض النتائج المستحصلة لقيم الصلادة للعينات ذات نسب الإضافة المختلفة لمادة الطلاء مع المادة الرابطة قبل إجراء المعاملة الحرارية، نجد أن القيم تراوحت بين (32.2 **Hv**) للنسبة [75% (Ni- Al) + 25% Al_2O_3]الى (47.48**Hv**) للنسبة 50% (Ni-Al) +50% (Al_2O_3). وكما مبين في الجدول (٤).

الجدول (4) يوضح قيم الصلادة مع نسب الإضافة المختلفة قبل وبعد اجراء المعاملة الحرارية.

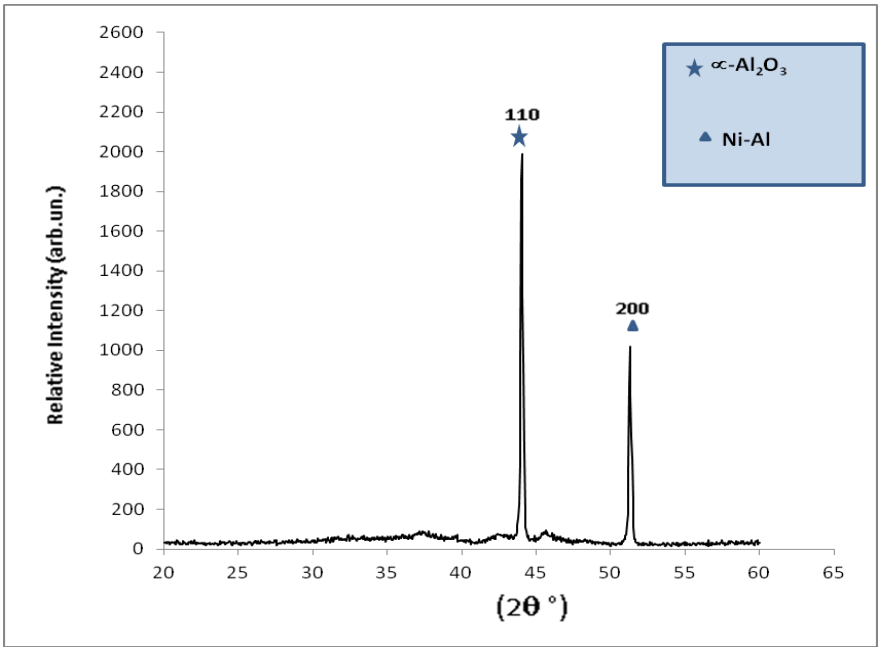
نسب الترسيب	قيم الصلادة (H_vT)
75% (Ni-Al) + 25% (Al_2O_3)	32.2
50 %(Ni-Al) + 50% (Al_2O_3)	47.48
At 1000℃	56.22

من الجدول اعلاه نلاحظ أن أحسن قيمة للصلادة كانت عند نسبة الترسيب [50 %(Ni-Al) + 50% (Al_2O_3)] وهذا يعزز ما تمّ مناقشته في موضوع المسامية، إذ أن أقل قيمة للمسامية ناظرتها أعلى قيمة للصلادة وعند نسبة الإضافة نفسها. وعند إجراء المعاملة الحرارية للعينات ذات المواصفات القياسية ولمدة (2 hr) وعلى درجة حرارة (1000°C) نلحظ حدوث تغير ملحوظ في قيم الصلادة لطبقة الطلاء السيرمتي، إذ

تزداد القيمة الى ($56.22H_vT$) . إن ذلك يعود الى ازدياد الترابط بين ذرات طبقة الطلاء بفعل الحرارة مما أدى الى تجانس طبقات الطلاء وانخفاض العيوب السطحية كما لوحظ ذلك من خلال قلة نسبة المسامات وبالتالي ازدياد قيم صلادة طبقات الطلاء السيرمتي.

٤-٤: نتائج حيود الاشعة السينية (X-ray Diffraction Results)

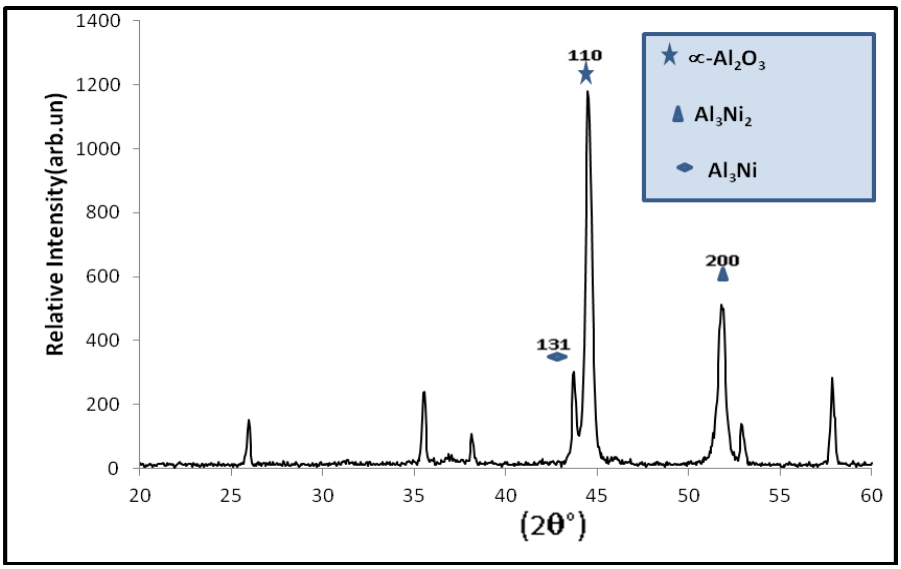
تعد دراسة عينات البحث بوساطة الأشعة السينية من الوسائل المهمة للتعرف على هوية و طبيعة وتركيب المادة المستخدمة في عملية الرش الحراري أولا ومراقبة التغيرات الطورية التي تحدث عليها ثانيا .والشكل (٢) يمثل نتائج حيود الأشعة السينية لمسحوق مادة الطلاء الناتج من مزج (50%) من ($\propto$-Al_2O_3) مع (50%) من المادة الرابطة (Ni-Al) قبل الطلاء.



الشكل (٢) يوضح حيود الأشعة السينية لمسحوق الطلاء (Al_2O_3 +Ni-AL) قبل عملية الطلاء

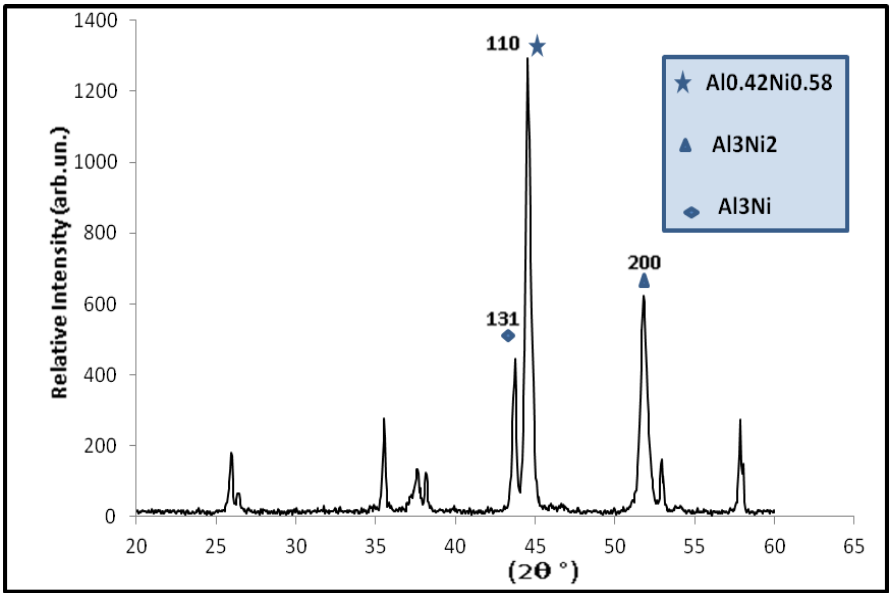
ومن خلال الشكل اعلاه نجد أن النوع المستخدم في عملية الرشّ الحراري كان الومينا من نوع-$\propto$ (Al_2O_3) وهو ثلاثي التركيب (Trigonal)، ومن المادة الرابطة (Ni-Al) المتكون من طور(FCC) γ. وذلك من خلال مقارنة النتائج مع الجداول القياسية الامريكية (ASTM) [٩، ١٠] . الشكل (3) ادناه يمثل نتائج حيود الأشعة السينية للمادة المؤلفة الناتجة من مزج (50%) من ($\propto$-Al_2O_3) مع (50%) مع المادة الرابطة (Ni-Al) بعد عملية الطلاء، إذ لم يُلحظ أثناء الطلاء (Coating) ظهور أي تحولات طوريه كاملة (Transformation) الى γ- Al_2O_3 (Cubic) أو جزيئية (Metastable) الى Al_2O_3 (γ-$\propto$) بل كانت مستقرة على طور ($\propto$-Al_2O_3) . مع ظهور اطوار مختلفة من (Ni-Al) β والمسمى (، B2 ordered BCC).على شكل(Al_3Ni_2) و(Al_3Ni) إن ظهور هذه الأطوار يدل على وجود تفاعل وتداخل (Interface) قد حصل بين مكونات مادة الطلاء السيرمتي، وهذا يتفق مع النتائج التجريبية لتحاليل البناء المجهري (microstructure) الموضحة سابقا. النتائج المستحصلة تتفق مع ما وجده العالمان (Vilms

ومجموعته) مع (Zhu ومجموعته) من خلال دراسات الأشعة السينية التي أجرياها على طبقات الطلاء السيرمتية المحضرة بطريقة البلازما، والتي أكدت على أن ظهور الأطوار الأخرى يحسن من الخواص الفيزيائية والميكانيكية لطبقات الطلاء [١١، ١٢].من أجل تحسين الخواص تم أجراء المعاملة الحرارية لغرض تحسين الخواص الفيزيائية لطبقات الطلاء السيرمتية.



الشكل (٣) حيود الأشعة السينية لخليط الألومينا والمادة الرابطة [50 %Al_2O_3 + 50 %(Ni-Al)] بعد أجراء عملية الطلاء.

أما الشكل التالي(4) يوضح نتائج حيود الأشعة لمادة الطلاء وبعد أجراء المعاملة الحرارية بواسطة الفرن بدرجة حرارة (1000 ˚C) ولمدة 2 hr.



الشكل (٤) نتائج حيود الأشعة لمادة الطلاء بعد المعاملة الحرارية بدرجة حرارة (1000 ˚C) ولمدة 2 hr.

من خلال الشكل(4) نلاحظ تحسن في الانتظام البلوري عند مواقع زوايا الحيود دلالة على تجانس طبقات الطلاء وخلوها من العيوب .

٥- الاستنتاجات:

الحصول على طلاء متجانس وتام الانصهار وجيد الالتصاق عند مسافة رش حراري (١٢سم).وافضل مسامية كانت عن النسبة ٥٠% من الألومينا و٥٠% من المادة الرابطة اذ وصلت الى 10.52%.

وافضل صلادة ايضا كانت عند النسبة ٥٠% من الألومينا و٥٠% من المادة الرابطة اذ وصلت الى 47.48Hv.

وان المعاملة الحرارية ساعدة الى تخفيض نسبة المسامية الى 7.44% وعملت على رفع قيمة الصلادة الى 56.22Hv عند النسبة ٥٠% من الألومينا و٥٠% من المادة الرابطة.

وكما اظهرت نتائج حيود الاشعة السينية ان النوع المستخدم من مادة الومينا نوع ($\propto$-Al_2O_3) وهو ثلاثي التركيب (Trigonal)، ومن المادة الرابطة (Ni-Al) المتكـــون من طــور(FCC) γ. وكذلك بعد الطلاء نلاحظ ظهور اطوار مختلفة من (Ni-Al) β على شكل(Al_3Ni_2) و(Al_3Ni) .

وان المعاملة الحرارية عند (1000 $^{\circ}$C) ولزمن ساعتين ساعد على تحسن في الانتظام البلوري عند مواقع زوايا الحيود دلالة على تجانس طبقات الطلاء وخلوها من العيوب.

المصادر

[1] J.R. Vinson, T.W. Chou, "Composite Material and their use in Structure", Applied Sciences publisher LTD, London, 1999

[2] L.F.Mondolfo ,"Aluminum Alloys : structure and properties"Butter worth com., London , 1985.

[3] R.Viswanathan and A.C .Dolbec , Jor . Of “Engineering for gas turbines and power “, vol. 109, pp. (115-123) , 1987.

[4]عمار رزاق الشمري , "تأثير عوامل الرش الحراري باللهب على معدل البلى للفولاذ متوسط الكاربون" رسالة ماجستير, الجامعة التكنولوجية, قسم هندسة المواد, ٢٠١٠.

[5] حيدر غالب, " دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لطبقات طلاء البرونز المحضرة بتقنية الرش الحراري باللهب", رسالة ماجستير, جامعة تكريت, كلية التربية للعلوم الصرفة, قسم الفيزياء, ٢٠١٣.

[6] صالح يونس درويش," دراسة الخواص الفيزيائية لطبقات الطلاء السيرمتية(Al_2O_3+ZrO_2+Al-Ni) المحضرة بتقنية الرش الحراري باللهب", رسالة ماجستير, جامعة تكريت, كلية التربية للعلوم الصرفة, قسم الفيزياء, ٢٠١٤.

[7] C 830, Annua l Book of ASTM Standards," American Society for Testing and Material", U.S.A, vol. 15, p. (1), 1988.

[8] H.Van Vlack, "Elements of Materials Science ", 4th ed, Addison Company, 1991.

[9] (ASTM) " American Standard of Testing Materials ", 2010.

[10]Powder Diffraction File, Inorganic volume, card no.(10-173), published by joint committee on powder diffraction standards", 1974."

[11]V.Vilms and p. Herman ,of 8th " International Thermal Spraying Conference", 1988.

[12] D.Zhu, R.A.Miller, "thermo physical and thermo mechanical properties of thermal barrier coating systems", ceram.sci.proc. vol.21, pp. (623-633), 2000.