الارتقاء بالبحوث العلمية طريقنا لخدمة المجتمع

العوامل المؤثرة في طلاء الريش التوربينية بطريقة الرش الحراري باللهب

صالح يونس درويش

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

معلومات البحث

الكلمات المفتاحية: الريش التوربينية، الرش باللهب، المركبات السيرمتية، المعاملة الحرارية.

الاسم: صالح يونس درويش

البريد الاليكتروني: Salih.younis@tu.edu.iq

رقم الهاتف:

الملخص

تم في هذ البحث تصنيع مواد سيرميتية بطريقة الرش الحراري باللهب من مادة سيراميكية (ZrO_2-12%Y_2O_3) مدعمة بمادة رابطة معدنية (الالمنيوم(Al)) وبنسبة تدعيم%(25)، على قواعد من الفولاذ 304، تمت عملية التلبيد للعينات المحضرة عند (800°C,1000°C) ولزمن ساعتين فقط. اجريت اختبارات الصلادة والمسامية وقوة التلاصق مع مسافات وزوايا الرش المختلفة، وكذلك فحص مجهر القوة الذرية (AFM) وفحوص التحاليل الحرارية التي تضمنت معامل التمدد الحراري، والتغير الوزني الحراري (Tg). اظهرت نتائج الاختبار ان نسبة الخلط (25%) وزاوية رش(90°) ومسافة رش (15cm) وتلبيد بدرجة حرارة (1000°C) تعطي خصائص فيزيائية وميكانيكية جيدة. اما نتائج مجهر(AFM) فقد اعطى ايضاً اقل خشونة ومعدل حجم حبيبي ومتوسط جذر تربعي عند زمن تلبيد (1000°C)، ونتائج التحاليل الحرارية اوضحت ميل طبقة الطلاء الى الصفات العزلية لكونها تحوي على نسبة (75%) من الاكاسيد السيراميكية، اما التغير الوزني الحراري فقد لوحظ ان هنالك فقداناً قليلاً في الوزن عند ارتفاع درجات الحرارة الى (1000°C).

1. المقدمة

لقد شهدت طرائق تصنيع المواد المركبة في السنوات الأخيرة تطورا كبيرا في انتاج المواد المركّبة، المقّواة بالألياف، أو الدقائق، أو الشعيرات، خاصة بإستخدام طريقة السباكة (Casting)، وتكنولوجيا المساحيق (Powder Technology)، أو طرائق الطلاء بالرشّ الحراري (Thermal Spray Coating)، إن تقنيات الرشّ الحراري إحتلت مكانة متقدمة في عمليات الطلاء، اذ تسمح بإستخدام مدى واسع من المواد إبتداء من المواد ذات درجات الإنصهار الواطئة وحتى المواد ذات درجات الإنصهار العالية، لغرض الحصول على خواص فيزيائية وميكانيكية جيدة للطلاء[3-1]. كما تعّد هذه التقنيات عموما واحدة من أهم الوسائل المستخدمة صناعيا في عمليات الإكساء السطحي للمتطلبات الصناعية خاصة في طلاء القطع الكبيرة، وبكفاءة ومعدلات ترسيب عالية. إن هذه التقنيات تتطلب دقة وتحكم عاليين، بمعلمات وظروف الطلاء كمعدل تغذية المادة، وقوة دفع الهواء، والمسافة بين مسدس الرشّ والقاعدة؛ لغرض الحصول على طلاءات ذات قوة تلاصق جيدة، فضلاً عن خواص تركيبية وميكانيكية عالية[4]. ان عمليات الطلاء بالرش الحراري قد أدخلت كثيرا من البحوث والدراسات في مجال بناء السطوح المتضررة واعادة تأهيلها للعمل ثانية من خلال اضافة سمك معين من طبقات الطلاء وفق المواصفات الفيزيائية والميكانيكية المطلوبة، كما أن عمليات الطلاء تستطيع أن تدخل في بناء سطوح ذات تطبيقات تكنولوجية صناعية مختلفة مثل: مقاومة التأكسد (Oxidation Resistance)، مقاومة التآكل الكيميائي (Chemical Corrosion)، مواد ماصة للأمواج المايكروية، مواد فائقة التوصيل أو مواد عازلة حراريا. تعتمد تقانة الرش الحراري على معلمات مهمة تحدد كفاءة الطلاء، ففي مجال تهيئة القاعدة (Substrate) يراعى تهيئة القاعدة بالعصف الحبيبي (Grit Blasting) لزيادة معدل خشونة السطح قبل الطلاء[5].

قام الباحث (J.matejicek) وجماعته [6]عام 2000م بترسيب طبقات طلاء عازلة للحرارة سميكة على قواعد من الفولاذ منخفض الكاربون تم دراسة الاجهادات في طبقات الطلاء، اذ استنتج الباحث ان مستويات اجهاد القاعدة تكون منخفضة في حالة طبقة الطلاء الرقيقة وتكون عالية في حالة النماذج السميكة، كما توصل الى ان هذه الاجهادات تتطور خلال الرش والتبريد اللاحق. اما في عام 2001 م قام الباحث (I.K. Jasim) وجماعته [7] بدراسة تأثير المعاملات الحرارية عند درجات حرارية مختلفة وبأجواء مفرغة ومختزلة على

خواص طبقات الطلاء نوع (13%Cr-Steel) والمحضرة بطريقة القوس الكهربائي اذ اظهرت النتائج بأن المعاملة الحرارية بأجواء مفرغة تؤدي الى زيادة قوة التلاصق وتماسك طبقات الطلاء علاوة على انخفاض نسبة المسامات ومقدار البلى. وفي عام 2007م استخدم الباحث (M.Chaithanya) الرش بالبلازما لمادة (Ni-Al) على قواعد من الفولاذ متوسط الكاربون والنحاس، درست خواص الطلاء مثل: المسامية، الصلادة، قوة الشد، الفحص المجهري اذ وجد أن أفضل طاقة رش كانت (20KW) وعندها كانت أفضل قيم للتلاصق، اذ كانت أعلى قيم للفولاذ متوسط الكاربون منها للنحاس، كما وجد بأن التركيب المجهري يتأثر بطاقة الرش، وإنّ نسبة التآكل بالتعرية للطلاء تتأثر كثيراً بزاوية وسرعة التصادم للجسيمات [8]. أما الباحثة (Monika Bohorquis De silva) وجماعته في عام[2010] فقد درست رش مادة الزركونيا المستقرة بالياتريا (YZS) بواسطة البلازما، وأضيفت الألومينا بنسب خلط مختلفة ورشها مرة أخرى، اذ تبين إن إضافة الألومينا قللت الانعزال لمادة (YZS) كما أظهرت النتائج التي توصل اليها أن مادة (YZS-Al2O3) تعطينا قيماً للتوصيلية الحرارية واطئة مقارنة مع مادة (YZS) والسبب يعزى الى الزيادة في قيم المسامية لمادة (YZS) [9].

ان الكثير من الاجزاء الهندسية تتعرض خلال استخدامها الى درجات حرارية عالية مما تؤدي بالنتيجة الى تلف بعض هذه الاجزاء وكما يحدث تغير في ابعادها لذلك ظهرت الحاجة الماسة الى ايجاد مواد مركبة هندسية تستطيع ان تكون عازل حراري يعمل على خفض كمية الحرارة المنتقلة خلال الاجزاء الهندسية التي قد تكون ريشاً توربينية عملاقة تعمل بمحطات توليد الطاقة الكهربائية او كذلك معالجة انابيب النفط المتأكلة. وبذلك يهدف البحث الحالي الى تحديد معلمات الرش الحراري المتمثلة بزاوية الرش والمسافة بين مسدس الرش والقاعدة وسمك الطلاء على كل من المسامية، طوبوغرافية السطح، الخواص الميكانيكية ونتائج التحليل الحراري المتمثلة بمعامل التمدد الحراري (α) وفقدان الوزن Tg مع درجات الحرارة المختلفة للطلاء.

2. الجانب العملي

2.1 المواد الاولية المستخدمة

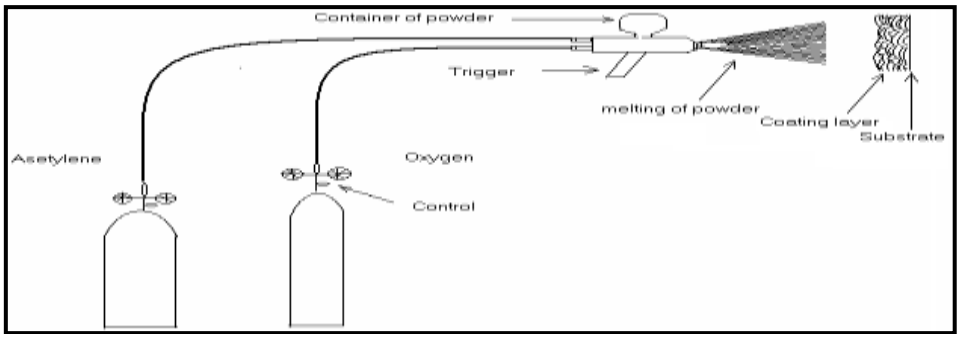
ان عينات قاعدة الطلاء تم اختيارها من مادة الفولاذ نوع 304 (الذي يحوي نسبة كاربون اقل من 0.1%) الذي يمتلك مقاومة للصدأ، وقد تم تحليل السبيكة باستخدام جهاز طيف الامتصاص الذري المعطى بالجدول (1) والمطابق تقريباً للقياس العالمي [10]. اذ تم تقطيع السبيكة بشكل اقراص دائرية قطرها 20mm وسمكها 3mm. اما المادة الاساس المستخدمة فيها الزركونيا المستقرة بالياتريا حيث كانت الياتريا(Y_2O_3 12%) والمسحوق مصنع من قبل الشركة (amdry) وبحجم حبيبي (40µm)، أذ تم استخدام المادة الرابطة من الالمنيوم و بحجم حبيبي (44 µm) هندي المنشأ من شركة(HIMEDIA) رقم (CAS NO. :7424-90-5).

جدول(1) التحليل الكيميائي للسبيكة الاساس

No.	Elements	Substrate Analysis Wt%
1-	C	0.081
2-	P	0.033
3-	Ni	8.83
4-	Cr	18.50
5-	Fe	72.55

2.2 طريقة تحضير العينات للقياس

تم تحضير المركبات السيرمتية من خلال اخذ النسبة %(25) من المادة الرابطة الالمنيوم بعد سلسلة من التجارب وذلك لكونها اعطت اعلى صلادة واعلى قوة تلاصق واقل مسامية. وتم اضافتها الى المادة الاساس ($12\%Y_2O_3+88\%ZrO_2$). بعد ذلك تمّ خلط المزيج بصورة جيدة بإستخدام خلاط كهربائي لمدة (2hr). ثم أجريت معاملة حرارية أولية للمساحيق المركبة السيرمتية قبل عملية الطلاء عند درجة حرارة (100°C) لمدة (30min) بإستخدام فرن كهربائي الماني المنشأ يحتوي على مسيطر حراري. اما قواعد الطلاء كانت من الفولاذ (Stal Steel) نوع (304) فبعد ذلك يتمّ تقطيعها وتنعيمها الى الأبعاد المطلوبة المناسبة لوضعها في حامل العينات، يتمّ غسلها بالكحول لإزالة الدهون، تمّ إستخدام جهاز عصف حبيبي (Grit Blasted) مصنع من شركة (Sabtux) السويدية لزيادة خشونة السطح للعينات والحبيبات المستخدمة للتخشين هي من كاربيد السيليكون وبمدى اقطار يتراوح من (0.7mm الى 1.6mm) ، بعد اكمال عملية تخشين قواعد الطلاء يتم تهيئتها لاجل اجراء عملية الرش، تمت عملية الطلاء على القواعد المحضرة بطريقة الرش الحراري باللهب (Thermal Spray Process by aflame) أذ استخدمت هذه الطريقة في طلاء جميع العينات المحضرة قيد الدراسة والشكل (1) يوضح منظومة الرش باللهب. أذ يتم الحصول على الحرارة اللازمة لصهر مساحيق الطلاء من خلال احتراق الوقود الغازي، أذ تغذي هذه المساحيق عن طريق فتحة حاوية المسحوق التي تكون موصولة بمسدس الرش الحراري من الاعلى. وعندما تصل المساحيق الى مجرى لهب الغاز سوف تنصهر بصورة مباشرة بشكل جزئي او كلي ويعمل ضغط الغازات المسلط على حمل القطرات المنصهرة الى اتجاة السطح الاساس(قواعد الفولاذ). تم اختيار معلمات الرش عن طريق سلسلة من الاختبارات للتأكد من الحصول على طبقات طلاء ذات قوة تلاصق جيدة وسمك معين لكي يؤهلنا لدراسة الخواص الفيزيائية للطلاء. ان اهم معلمات الرش التي تم الاعتماد عليها لتحديد نوعية الطلاءهي المسافة بين مسدس الرش الحراري وقواعد الطلاء، زاوية الرش، سمك طبقة الطلاء وخشونة اسطح القواعد، نسب المواد المضافة الى المواد الاساس. ومعلمات عملية الرش موضحة بالجدول (2).



شكل(1) مخطط لمنظومة الرش الحراري باللهب

جدول(2) معلمات عملية الرش الحراري

Oxy-Acetylene Mixing	**3:1**
Coating Time	**(1.5-2.5)min**
Maximum Thickness Coating	**(1-1.5)mm**
Rotation Number	**4**
Particle size of Powders	**(40-45)µm**
Flame Spray Temp.	**3000℃**
Spraying distance	**15cm**
Constration of Aluminum	**%25**

3.2 الفحوصات والقياسات

اولاً: فحص مجهر القوة الذرية (AFM)

تم استخدام مجهر القوة الذرية (AFM) (AA 3000 SPM Scanning المجهز من قبل شركة (Angstrom Advanced Inc) الألمانية لغرض ملاحظة طوبوغرافية اسطح العينات والتركيب المجهري بالإضافة إلى العيوب الموجودة في طبقة الطلاء بعد اجراء المعاملة الحرارية. أذ يعد مجهر القوة الذرية تقنية عالية وبتكبير عالٍ جداً لأي نقطة على سطح النموذج تصل الى مليون مرة. يعطي هذا المجهر تحليل ثنائي الأبعاد (2D) وثلاثي الأبعاد (3D) لسطوح طبقات الطلاء قيد الدراسة، إذ يستخدم مجهر القوة الذرية للتعرف على التفاصيل الدقيقة لطبوغرافية السطح والتراكيب الحبيبية البلورية على سطح العينة المحضرة ويعطي صورة طبوغرافية عالية الدقة توضح تفاصيل التركيب المجهري لسطح المادة، وكما يمكن ان يعطي بعض الحسابات عن شكل وتوزيع الحبيبات وحجمها ومعدل خشونتها ومعدل ارتفاع السطح من خلال برنامج حاسوبي معد من قبل الشركة المصنعة.

ثانياً: اختبار الصلادة (Hardness Test)

تم قياس الصلادة بمقياس روكويل (HR15N)، حيث تم استخدام جهاز روكويل نوع (Wilson-500). اما اداة الغرز مصنوعة من الماس بشكل مخروطي و الحمل الابتدائي المسلط (3Kg) اما الحمل النهائي فكان (15Kg) وبزمن تسليط حمل (10sec) بعدها يتم قراءة الصلادة من شاشة رقمية مثبتة بالجهاز. أذ تم تكرار العملية لخمسة اماكن مختلفة على العينة وتم حساب المعدل. تم اخذ قيم القراءة مباشرة من وحدات تحويلات مرتبطة مع الجهاز تظهر القيم مباشرة على الشاشة، كما يمكن تحويل هذه القيم الى انواع اخرى للصلادة مثل (HRB) (Rockwell's Hardness Type B) او (HRT) (Rockwell's Hardness Type T) من خلال وحدات التحويل.

ثالثاً: اختبار المسامية (Porosity Test)

تم اجراء فحص المسامية بالاستفادة من عينات طبقة الطلاء فقط بعد خلعها من القاعدة الاساس عند اجراء عملية الفحص. أذ تم اعتماد مبدأ ارخميدس بطريقة الغمر (Immersion method) لغرض حساب نسبة المسامات وفق المواصفات القياسية (ASTM-C830) [11]. أذ يتم وزن العينة وهي جافة (W_1) بميزان كهربائي حساس ذو حساسية gram(±0.0001) ولتحقيق ذلك تم استخدام فرن كهربائي حيث جففت العينات لزمن نصف ساعة، بعدها توضع العينات في وعاء التفريغ (Desiccated) وفيه ماء مقطر، ثم يفرغ الوعاء من الهواء باستخدام مفرغة الهواء الدوارة (Rotary Pump) ويراقب ظهور فقاعات الهواء في الماء حتى تختفي عندما يتم فتح الوعاء. بعدها تم اخراج العينة من الماء ويزال عن سطحها الماء الزائد باستخدام قطعة قماش قطنية رطبة، مع مراعاة عدم سحب الماء من المسامات. توزن العينة مرة اخرى (W_2) واخيراً توزن العينة وهي مغمورة بالماء(W_3). تحسب المسامية(P◦%) من العلاقة[11].

$$P_{\circ}\% = (W_2-W_1 / W_2-W_3)\times 100 \ldots\ldots\ldots (1)$$

رابعاً: قياس الإلتصاقية (Adhesion Test)

اجري فحص الإلتصاقية لطبقات الطلاء باستعمال جهاز الشد من نوع (Microcomputer Controlled Electronic Universal Testing Machine (WDW-50E) مصنع من قبل شركة (Time Group Inc.) الالمانية حسب المواصفة (ASTM A370)، أذ تمّ تثبيت عينات الإلتصاقية(العينة المرشوشة مع العينة غير المرشوشة) في فكوك جهاز الشد بعد ان تم تثبيت العينتين معاً بواسطة لاصق (Epoxy) عن طريق وضع طبقة رقيقة من اللاصق على سطح الطلاء بحيث تغطي جميع اجزاء السطح مع مراعاة ان تكون بشكل منتظم. ومن ثم كبست القطعتين معاً لمدة ساعة واحدة فقط وبعدها وضعت في فرن تجفيف لمدة (24hr) تحت درجة حرارة (50℃)، وبعد تثبيت العينات خلال الجهاز تم تسليط حمل شد لكل عينة اختبار وبمعدل شد (1mm/min) حتى فشلت العينة حيث يتم تسجيل اعلى حمل مسلط وتحسب قوة الالتصاق من العلاقة [12].

Adhesion Strength= Maximum Load / Cross Section=F/A……(2)

خامساً: زاوية الرش (Spray Angle)

الزاوية المفضلة في تقنية الرش الحراري باللهب هي(90˚) وحتى عندما تصل زاوية الرش الى (45˚) فأنها لا تظهر تأثيراً ملحوظاً في تركيب الطلاء. عندما تنقص الزاوية عن (45˚) فأن ذلك يؤثر في تركيب الطلاء ويطلق علية تأثير الظل(Shadow Effect).ان تأثير الظل ينتج عن اعتراض سطح الطلاء المتكون لمجرى القطرات المصطدمة بها [13].

سادساً: فحص معامل التمدد الحراري (Thermal Expansion Coefficient Test)

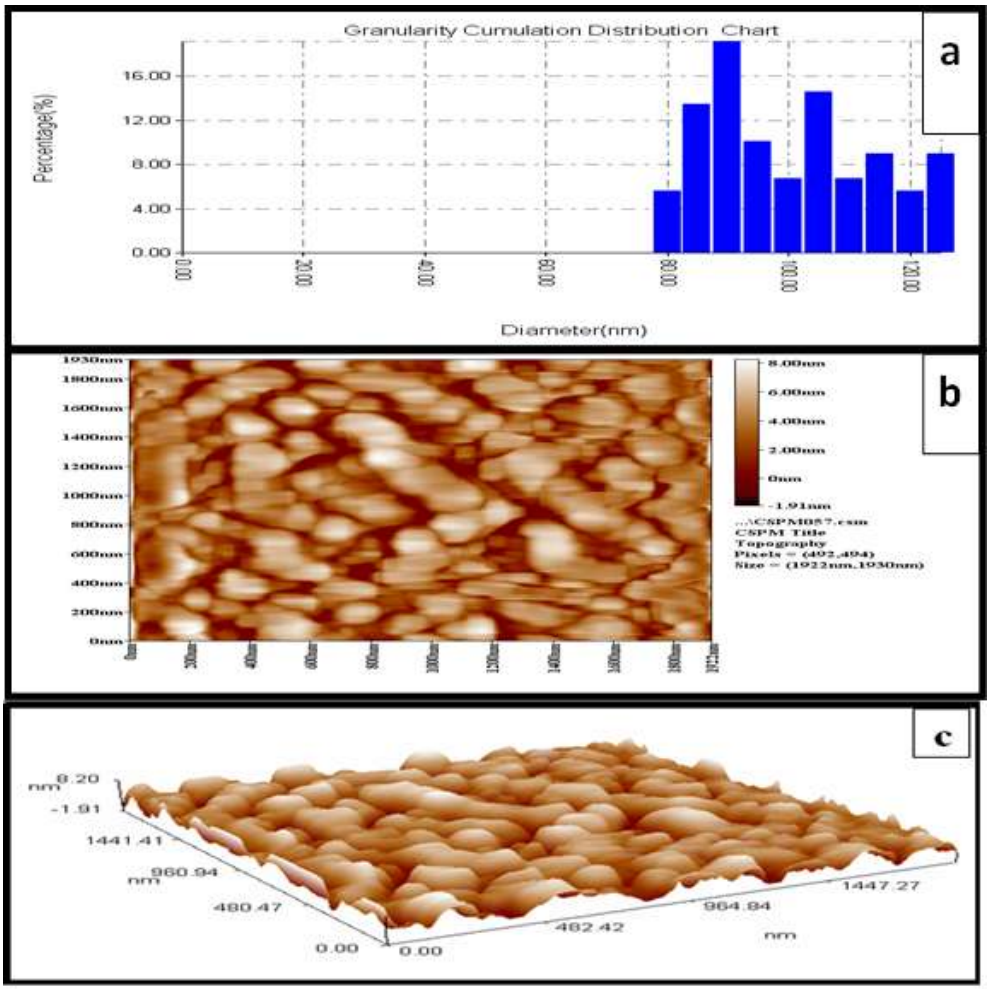
تم قياس معامل التمدد الحراري(α) باستخدام جهاز الديلاتوميتر (Dilatometer) نوع (Netzsch,Sta 409) أذ يرتبط هذا الجهاز بكابينة وحدة سيطرة مركزية تحتوي على نظام تسجيلي يستطيع تسجيل التغير بدرجات الحرارة(ΔT)، قيم التمدد الحراري الطولي(α)، معدل درجات حرارة التسخين، اضافة الى التغير في الوزن (Δw) خلال مديات الدرجات الحرارية. توجد في كابينة وحدة السيطرة حاسبة خاصة يمكن برمجتها وادخال القيم الاولية للفحوصات الحرارية. تم ايجاد معامل التمدد الحراري اولاً للقطعة الفولاذية (St.St.) بدون طلاء، اما المرحلة الثانية فتم ايجاد معامل التمدد الحراري للقطعة الفولاذية بعد الطلاء عليها وبسمك (1.5mm) ومن كلا الجهتين. ومن خلال الفرق بين كلا النتيجتين تم ايجاد قيم معامل التمدد الحراري لطبقة الطلاء السيرمتية. استخدمت المنظومة الحرارية نفسها لقياس التحاليل الحرارية الوزنية(Δw) اي الفقدان بالوزن(Tg) من خلال ربط فرن خاص تصل درجة حرارته الى (1200°C) بكابينة وحدة السيطرة بدلاً من الديلاتوميتر. يحتوي الفرن على ميزان حساس لحساب التغيرات الحاصلة في وزن العينة عند ارتفاع درجات الحرارة.

3. النتائج والمناقشة

نلاحظ من خلال سلسلة من التجارب والاختبارات في الصلادة والمسامية وقوة التلاصق ان افضل نسبة خلط تم الحصول عليها هي النسبة 25% من المادة الرابطة المدعمة(Al) مع 75% من المادة السيراميكية الاساس (ZrO_2-12%Y_2O_3) وذلك لكونها اعطت اعلى صلادة واعلى قوة تلاصق واقل مسامية. وبذلك سوف يكون الاختبار على العينات المحضرة من هذا التركيز لغرض مناقشة النتائج.

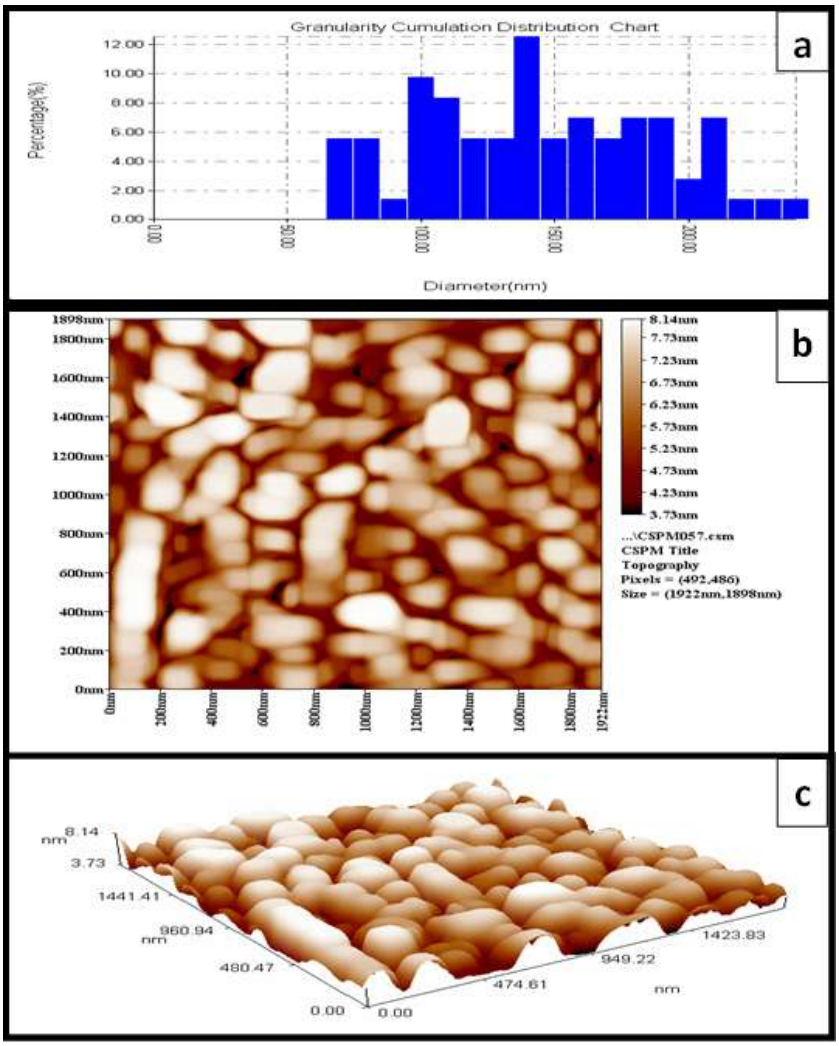
3.1 نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM)

أن دراسة طبوغرافية اسطح الطلاءات ذات أهمية في أدراك كيفية توزيع وترتيب ذراتها على الأسطح ، والتعرف على أوجه الاختلاف و التجانس بالخواص لكل عينة من العينات . تم اخذ صور مجهرية للعينات عند افضل مسافة تم ايجادها (15cm) قبل وبعد اجراء المعاملات الحرارية على العينات. يبين الشكل (2) صور مجهر AFM لمنطقة قياس بمساحة (Size=1922×1930nm) وقدره تحليلية (Pixels=492,494) لطبوغرافية طبقة الطلاء من مادة ($12\%Y_2O_3+88\%ZrO_3$) مع المادة الرابطة (Al) بدون اي معاملة. في الشكل ((2(a)) تحليل مجهر AFM يوضح رسم بياني عن توزيع المجاميع الحبيبية لطبقة الطلاء. وقد وجد أن معدل الحجم الحبيبي (Avg.Diameter) كان بحدود (105 nm). أما الشكل ((2(b) الصورة التحليلية الطبوغرافية لخشونة السطح Roughness ببعدين ووجد أن معدل الخشونة السطحية للطلاء هو (Average Roughness =1.47nm)، كما تبين ان قيمة متوسط الجذر التربيعي تساوي (Root Mean Square = 1.79 nm) وان قيمة متوسط الجذر ألتربيعي تمثل (مجموع الارتفاعات والانخفاضات السطحية تربيع مقسومة على حاصل جمع عددهما الكل تحت الجذر ألتربيعي)[14] وهذه القيمة تفسر وتوضح معدل خشونة السطح فكلما زادت قيمة متوسط الجذر ألتربيعي دل على زيادة معدل الخشونة السطحية للطلاء وبالعكس. أما الشكل ((2(c) صورة المجهر AFMبثلاثة أبعاد 3D للطلاء إذ نلاحظ أن الطبوغرافية السطحية الكلية والمظهر التشكيلي للحبيبات المتكونة على سطح الطلاء، ومن هذه الصورة 3D وجد إنَّ اعظم ارتفاع للسطح (8.20nm) وهذه القيمة تمثل أعلى قمم حبيبية بلورية على السطح ، أذ نلاحظ الانتظام في أنماء طبقة الطلاء ونلاحظ أن الحبيبات ذات ترتيب عمودي على المحور البلوري وارتفاعات متساوية تقريباً.



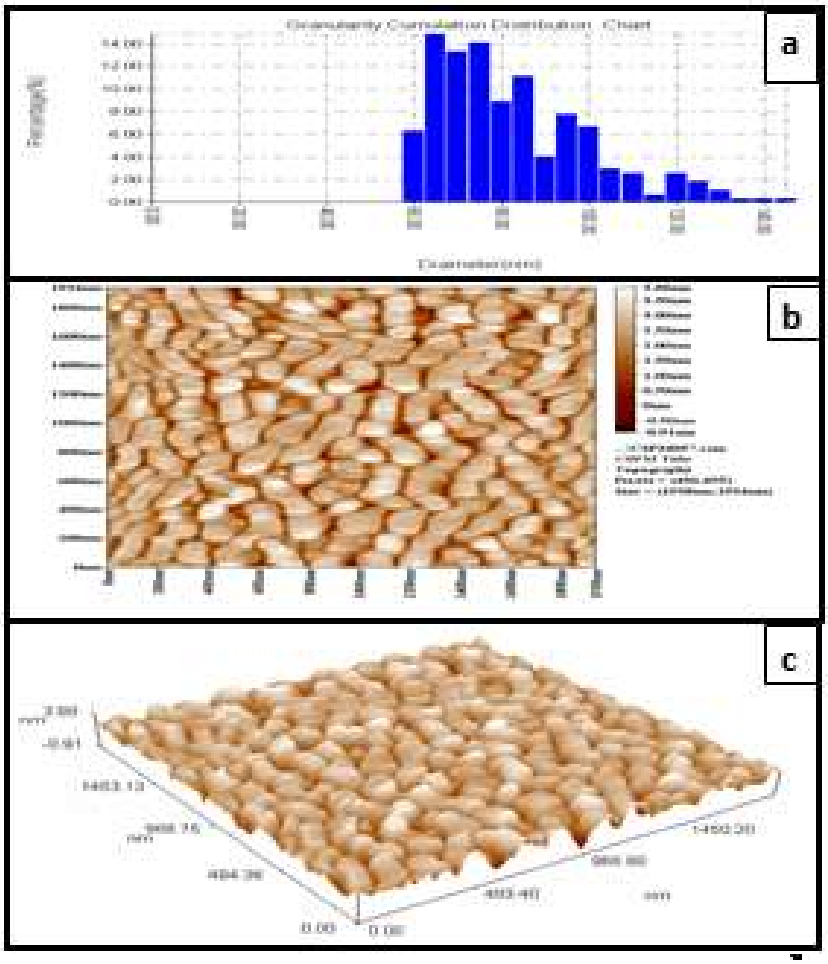
الشكل(2) صورة المجهر AFM لطبقة طلاء بدون اي معاملة(a) معدل الحجم الحبيبي ، (b) الصورة 2D (c) الصورة 3D

يبين الشكل (3) صور مجهر AFM بمساحة (Size=1922×1898nm) ولقدرة تحليلية (Pixels=492,486) لتوضيح طبوغرافية السطح لطبقة الطلاء بعد معاملتها حراريا عند درجة حرارة (800°C) في فرن غير مفرغ ولمدة ساعتين. يوضح الشكل ((3(a) رسم بياني لتوزيع الحجوم الحبيبية لطبقة الطلاء حيث لوحظ بان معدل الحجم الحبيبي الكلي للسطح (Avg.Diameter=97.5nm) وهذا يبين حصول زيادة في المعدل الحجمي للحبيبات البلورية عند هذه المعاملة الحرارية أما الشكل ((3(b) الصورة التحليلية 2D لخشونة Roughness السطح ، ووجد أن معدل الخشونة السطحية للطلاء كانت بحدود (RoughnessAvg.=0.983nm) وان قيمة متوسط الجذر التربيعي(RMS=1.15nm) وهذا يوضح نقصان معدل الخشونة السطحية بزيادة المعاملة الحرارية. أما الشكل ((3(c) صورة 3D توضح المظهر البلوري لحبيبات طبقة الطلاء ومن هذه الصورة نلاحظ حصول أنماء بلوري للحبيبات أدى إلى تجانس بلوري لطبقة الطلاء، وكذلك تبين ظهور المجاميع الحبيبية على سطح الطلاء بشكل حجمي اكبر حيث كان اعظم ارتفاع للقمم الحبيبية (8.14nm). ويلاحظ وجود فراغات اي زيادة المسامية وبالتالي تقلل من الخواص الميكانيكية والحرارية [5].



الشكل(3) صورة المجهر AFM لطبقة طلاء بمعاملة (800°C) ولساعتين فقط (a) معدل الحجم الحبيبي ، (b) الصورة 2D (c) الصورة 3D

اما الشكل (4) صور لمجهر القوه الذرية AFMبمساحة (Size=1938×1934) ولقدرة تحليل (Pixels=496,495) إذ يوضح طبوغرافية السطح لطبقة الطلاء بعد معاملتها حراريا عند درجة حرارة(1000°C) ولنفس ظروف المعاملة الحرارية السابقة. الشكل ((4(a) يوضح رسم بياني لتوزيع الحجوم الحبيبية المتكونة على سطح الطلاء ومن هذا تبين ان معدل الحجم الحبيبي الكلي لطبقة الطلاء هو (85.47nm) وهذا يفسر حصول إنماء بلوري أفقي بشكل أفضل عند أجراء المعاملة الحرارية مقارنة مع الشكل (2) بدون معاملة حرارية. أما الشكل ((4(b) صورة مجهر AFM ببعدين، حيث وجد أن معدل الخشونة السطحية لطبقة الطلاء كانت بحدود (Roughness Average =0.605 nm) وان قيمة متوسط الجذر التربيعي تساوي (RMS=0.656nm). أن نقصان معدل الخشونة السطحية بعد أجراء المعاملة الحرارية يفسر حدوث انماء بلوري بشكل افقي للحبيبات على السطح ، ويلاحظ ذلك من خلال نقصان متوسط الجذر التربيعي كما تبين هذا التحسن من خلال الصورة التحليلية 2D وهذا يدل على حصول انتشار وتجانس جيد بين طبقات الطلاء السيرمتية. أما الشكل ((4(c) صورة ثلاثية الأبعاد3D لطبقة الطلاء توضح الطبوغرافية السطحية والمظهر التركيبي للحبيبات المتكونة على طبقة الطلاء، ومن هذه الصورة وجد أن اعظم ارتفاع للسطح (3.88nm) وهذه القيمة تمثل أعلى قمم حبيبية بلورية على السطح إذ نلاحظ حصول أنماء بلوري متجانس على طول طبقة الطلاء. وكذلك نلاحظ هنالك اختلاف في ترتيب الحبيبات عند مقارنتها مع نظيرتها الغير معاملة حراريا اي تحسن في الخواص الفيزيائية لطبقات الطلاء السيرمتية. الشكل(4) يوضح الصورة المجهرية AFM لطبقة طلاء معاملة حراريا عند (1000°C) ولمدة ساعتين فقط.



الشكل(4) صورة المجهر AFM لطبقة طلاء بمعاملة (1000°C) ولساعتين فقط (a) معدل الحجم الحبيبي (b) الصورة 2D (c) الصورة 3D.

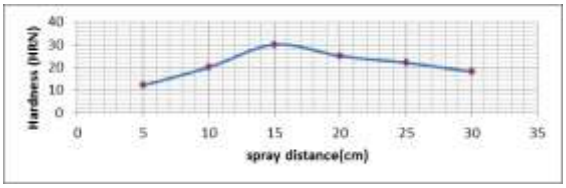
مما سبق يتبين ان المعاملة الحرارية عند (1000°C) كانت افضل من المعاملة الحرارية عند (800°C) وذلك من خلال المقارنة بين معدل الخشونة والحجم الحبيبي للسطحين وكذلك متوسط الجذر التربيعي حيث تظهر الصورة التحليلية 2D عند المعاملة الحرارية (1000°C)، كما موضح الفرق بالنتائج في الجدول (3). نجد هنالك تجانس سطحي اكثر وتراصف ورص محكم في الحبيبات واعادة ترتيب للذرات عند (1000°C) وبهذا تكون الخواص التركيبية افضل مقارنة مع صورة 2D عند المعاملة الحرارية (800°C) .

جدول(3) نتائج فحوصات (AFM) عند درجات حرارية مختلفة

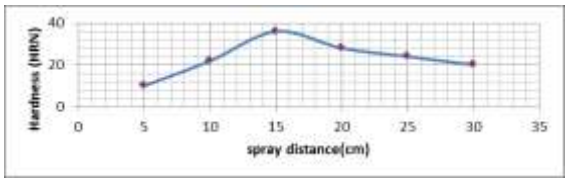
المعاملة الحرارية	معدل الخشونة (nm)	معدل الحجم الحبيبي(nm)	متوسط الجذر التربيعي(nm)
بدون معاملة	**1 .47**	**105 .03**	**1 .79**
800 °C	**0 .983**	**97 .5**	**1 .15**
1000 °C	**0 .605**	**85 .47**	**0 .656**

3.2 نتائج فحوصات صلادة روكويل(HR) مع مسافة الرش.

ان تأثير مسافة الرش على قيم الصلادة الميكانيكية لطبقات الطلاء السيرمتية قبل اجراء المعاملة الحرارية فيمكن ملاحظته من الشكل(5). لقد لوحظ انه عند مسافات الرش القريبة تكون الصلادة منخفضة بسبب المسامية العالية عند هذه المسافات ولكن عند تغيير هذه المسافات والوصول الى (15cm) فان الصلادة ستكون ذات قيمة عالية حيث المسامية تكون اقل ما يمكن، وبعد زيادة مسافة الرش فان قيم الصلادة تبدأ بالانخفاض تدريجياً بسبب نقصان قوة ترابط الطلاء وزيادة المسامية. اما عند اجراء المعاملة الحرارية عند (1000°C) ولزمن ساعتين فقط فان قيم الصلادة اصبحت اعلى كما يلاحظ بالشكل(6) اذ ادت الى تحسين قيم الصلادة بسبب قلة نسبة المسامات وبالتالي تحسين خواص طبقة الطلاء نتيجة حدوث عملية تلبيد وانتشار ادت الى زيادة قوة الترابط بين طبقة الطلاء السيرمتية والمعدن الاساس[5,9].



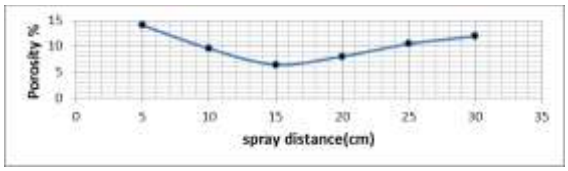
شكل(5) الصلادة مع مسافة الرش قبل المعاملة الحرارية.



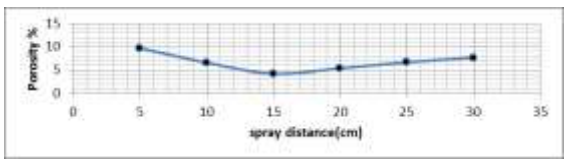
شكل(6) الصلادة مع مسافة الرش بعد المعاملة الحرارية عند(1000°C) لساعتين فقط

3.3 نتائج فحوصات المسامية مع مسافة الرش.

ان دراسة تأثير مسافة الرش على نسبة المسامات لطبقة الطلاء للمادة المركبة السيرمتية يمكن توضيح النتائج من الشكل(7) قبل اجراء المعاملة الحرارية اذ وجد ان استخدام مسافات رش قليلة يعطي قيم مسامية عالية للطبقة المنتجة ثم تقل تدريجياً مع زيادة المسافة الى ان تصل مسافة الرش(15cm)، ثم تبدأ بالزيادة مرة اخرى عند زيادة مسافة الرش الى (30cm). ان سبب ارتفاع المسامية عند استخدام مسافات رش قليلة قد يعزى على عدم تمكن القطرات المنصهرة من التسطح الكامل والارتباط مع القطرات الاخرى بسبب معدل التبريد العالي الذي تعانيه القطرات والناتج من سحب الحرارة الى القاعدة وبالتالي فأن القطرات سوف تعاني من التقلص الحراري بعد انجمادها [15,5]. اما عند المسافات البعيدة اكبر من (15cm) فقد لوحظ ايضا انه هنالك زيادة بقيم المسامية مرة اخرى وذلك لان القطرات تكون باردة نسبياً وتمتلك سرعة وطاقة حركية اقل وبالتالي فأن الطبقة ستكون عبارة عن تجمع غير مترابط مع وجود احتمال تجمد جزئي للقطرات قبل اصطدامها بسطح القاعدة مما يؤدي الى عدم تلاصقها بصورة جيدة . اما عند اجراء المعاملة الحرارية لطبقات الطلاء السيرمتية فأنه يلاحظ بأن نسبة المسامية تكون اقل مما هي علية قبل المعاملة الحرارية كما موضح بالشكل (8) وهذا يعني بأن المعاملة الحرارية ادت الى ان يكون معدل انتشار الذرات كافياً لتكوين مناطق ترابط جديدة بين بين الطبقات عن طريق انتقال الذرات بينها ومحاولة غلق المسامات وهذا يتفق مع الباحثان (D.Zhu. R. A.Miller)[15].

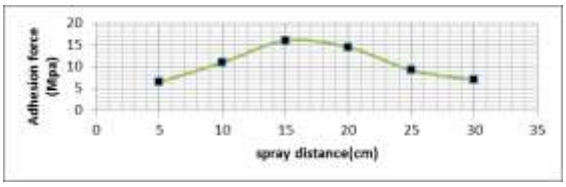


شكل(7) المسامية مع مسافة الرش قبل المعاملة الحرارية

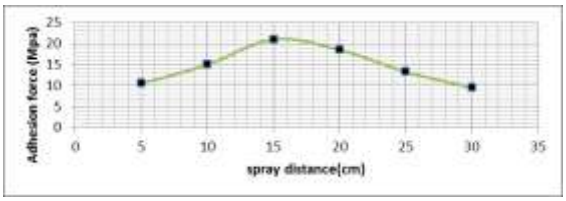


شكل(8) المسامية مع مسافة الرش بعد المعاملة الحرارية عند(1000°C) لساعتين فقط

3.4 نتائج قوة التلاصق مع مسافة الرش: الاشكال (9) و(10) توضح العلاقة بين مسافة الرش وقوة التلاصق قبل وبعد اجراء المعاملة الحرارية على التوالي. يلاحظ من الاشكال بأنه بعد المعاملة الحرارية تكون قوة التلاصق اكبر مما كانت عليه قبل المعاملة الحرارية نتيجة للصلادة والكثافة العاليتين التي تمتلكها طبقة الطلاء بالرش الحراري، ونلاحظ من الاشكال بزيادة مسافة الرش تؤدي الى تقليل قوة التلاصق بيت القاعدة وطبقة الطلاء، اذ تؤدي مسافة الرش الى وصول القطرة المنصهرة بشكل شبة متجمد الى سطح القاعدة. اما عند مسافة الرش (15cm) نلاحظ من الاشكال بأن قوة التلاصق اعظم ما يمكن ويعزى ذلك الى ان درجة حرارة القطرة المنصهرة تكون عالية بما فيه الكفاية التي تمكنها لحدوث تشويه لدن عند اصطدامها مع القاعدة مما يؤدي الى زيادة تلاصق الدقائق المنصهرة مع السطح لتكوين طبقة ملتصقة ومرتبطة بقوة مع السطح، اما عند مسافات الرش القليلة تكون قوة التلاصق قليلة نتيجة المسامية العالية بسبب زيادة طاقة الصدمة ودرجة حرارة القطرات مما يؤدي الى استطارة القطرات المنصهرة باتجاهات متعددة وهذا يتفق مع الباحثة(انوار خالد فرمان) [16].



شكل (9) قوة التلاصق مع مسافة الرش قبل المعاملة الحرارية

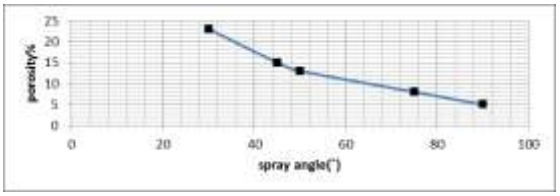


شكل(10) قوة التلاصق مع مسافة الرش بعد المعاملة الحرارية عند(1000°C) لساعتين فقط

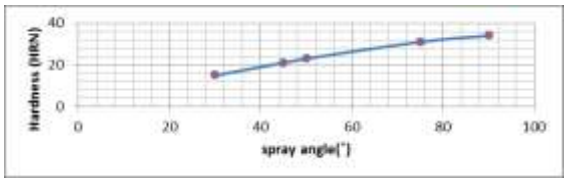
3.5 تأثير زاوية الرش على المسامية والصلادة لطبقة الطلاء السيرمتية.

تم اختيار عدة زوايا رش مختلفة وهي (90˚,75˚,50˚,45˚,30˚) لملاحظة تأثير تغير هذه الزوايا على مسامية وصلادة طلاءات الرش الحراري حيث الاشكال(11) و(12) توضح هذا التأثير اذ الشكل(11) يوضح انه عند الزوايا المنخفضة(30˚) فأن المسامية تكون مرتفعة وان مجرى القطرات المصطدمة على سطح الطلاء لا تغطي بصورة كاملة جميع اجزاء السطح وهذا التأثير يؤدي الى تكوين سطح غير متجانس وذو تركيب مسامي حيث تقل الخواص الميكانيكية مثل الصلادة ومقاومة التلاصق. اما عند زيادة مسافة الرش فوق (45˚) فأن نسبة المسامات تبدأ بالنقصان بسبب تأثير البنية المجهرية لطبقات الطلاء بزاوية الرش حيث تغير زاوية الرش تتحكم بحركة انسياب مادة الطلاء المنصهرة، وقد وجد بأن قيم المسامية تكون اقل ما يمكن عندما تكون زاوية الرش(90˚) اي بصورة عمودية نحو السطح الاساس حيث تمتلئ جميع القطرات المنصهرة السطح الاساس مكونة طبقة طلاء

سميكة وخالية من العيوب السطحية، وهذا ما يتفق مع الشكل(12) الذي يوضح فيه بأن زيادة صلادة طبقات الطلاء السيرمتية ناتج عن زيادة زوايا الرش وان الزاوية (90˚) تعطي طبقات طلاء متراصة ومتجانسة وخالية من العيوب السطحية تقريباً وهذا يتفق مع [16].



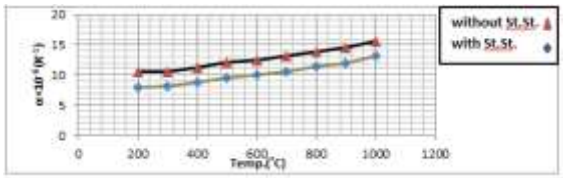
شكل(11) تأثير زاويا الرش على المسامية



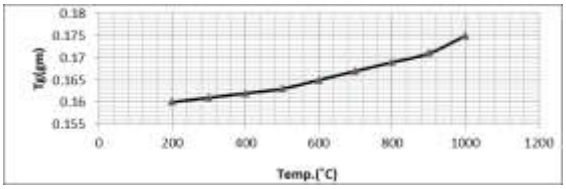
شكل(12) تأثير زاويا الرش على الصلادة

3.6 نتائج التحاليل الحرارية

الشكل (13) يوضح نتائج معامل التمدد الحراري مع درجات الحرارة المختلفة(، حيث يلاحظ حالة تمدد طبيعي للعينات التي تحتوي على قواعد فولاذية مع المادة المركبة السيرمتية المنتجة بطريقة الرش الحراري باللهب، ان هذا السلوك لزيادة التمدد الحراري ناتج عن حدوث اهتزازات في مواقع الذرات مؤدي الى تغير عن مواقعها الاصلية الى مواقع اخرى وبالتالي زيادة معامل التمدد الحراري، ان هذا التصرف تم ملاحظته ايضاً بزيادة معامل التمدد الحراري للأكاسيد السيراميكية المستخدمة من الياتريا والزركونيا مع المادة الرابطة، ويعزى ذلك على احتوائها على مادة رابطة مؤلفة من مواد معدنية. وعند مقارنة المنحنيين للتمدد الحراري يلاحظ بأن هنالك تأثيراً واضحاً على انخفاض قيم معامل التمدد الحراري للعينات ذات الطلاء السيرمتي بدون قواعد فولاذية لتصبح قيمتها ($12\text{-}16\times10^{-6}K^{-1}$) بدلا من ($8\text{-}11\times10^{-6}K^{-1}$) للعينات الحاوية على قواعد فولاذية. ان هذا التغير يعني ميل طبقة الطلاء الى الصفات العزلية لكونها تحوي على نسبة (75%) من الاكاسيد السيراميكية. وهذا يتفق مع الباحثان (S.Rangswamy and H.Herman)[17]. اما نتائج التغير الوزني الحراري(Tg) مع درجات الحرارة فيمكن ملاحظتها من الشكل(14) فقد لوحظ ان هنالك فقداناً قليلاً في الوزن عند ارتفاع درجات الحرارة الى (1000°C)، ان ذلك يفسر قوة التلاصق الجيدة للطلاء وخلوها تقريباً من العيوب السطحية اضافة الى توصيلها الحراري الرديء مما يساعد على مقاومتها لظروف درجات الحرارة العالية وبدون فقدان واضح الى الوزن، ونتيجة لذلك يتم استخدام الطلاءات السيرمتية في طلاء الريش التوربينية او الاجزاء التي تتعرض الى درجات حرارية عالية والتي تصل الى القواعد الاساسية[18].



شكل(13) العلاقة بين معامل التمدد الحراري مع درجات الحرارة المختلفة للطلاء



شكل(14) العلاقة الفقدان بالوزن مع درجات الحرارة المختلفة للطلاء.

الاستنتاجات

من اهم الاستنتاجات التي تم التوصل اليها هي استخدام طريقة الرش الحراري باللهب لغرض طلاء المادة السيرمتية (25%Al+63%ZrO2-12%Y2O3)، وجد ان افضل المعاملات المؤثرة على خواص طبقة الطلاء السيرمتية هي عندما تكون مسافة الرش(15cm) وزاوية الرش(90˚) ومعاملة حرارية(1000°C) ولزمن ساعتين حيثُ تعطي اعلى صلادة تصل الى(36 HR) واقل مسامية تصل الى(4.2%) واعلى قوة تلاصق(21Mpa) لطبقة الطلاء. اما نتائج التحاليل الحرارية بينت بأن هنالك تأثيراً واضحاً على انخفاض قيم معامل التمدد الحراري للعينات ذات الطلاء السيرمتي بدون قواعد فولاذية لتصبح قيمتها($12\text{-}16\times10^{-6}K^{-1}$) بدلا من($8\text{-}11\times10^{-6}K^{-1}$) للعينات الحاوية على قواعد فولاذية. ان هذا التغير يعني ميل طبقة الطلاء الى الصفات العزلية لكونها تحوي على نسبة (75%) من الاكاسيد السيراميكية. اما نتائج التغير الوزني الحراري(Tg) مع درجات الحرارة لوحظ ان هنالك فقداناً قليلاً في الوزن يصل الى(0.175gm) عند ارتفاع درجات الحرارة الى (1000°C). اما نتائج مجهر القوة الذرية اعطت اقل معدل للخشونة السطحية (0.605nm)، اقل معدل للحجم الحبيبي(85.47nm) ومتوسط الجذر التربيعي(0.656nm) عند نفس ظروف الطلاء المثالية اعلاه.

المصادر

[3] جمعة، عبد الجبار، ثامر.(2005). دراسة الخصائص التركيبية وقوة الإلتصاقية لطلاء الكرافيت بمتراكب الألمنيوم – كاربيد السيلكون. أطروحة دكتوراه، الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق.

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

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

[4] Heiman, R..B.(2008). plasma spray coatings principles and application. *Wiley- VCH Verlag GmbH and Co. Kga A ,Weinhiem*, ISBN978, **9**: 3527–32050.

[5] درويش، يونس، صالح.(2014) دراسة الخواص الفيزيائية لطبقات الطلاء السيرمتية (Al_2O_3+Zr_2O_3-Ni-Al) المحضرة بتقنية الرش الحراري باللهب. رسالة ماجستير، جامعة تكريت، تكريت.

[6] Matejicek, J. (2000)., Acta. Mat., Internet Site.

[7] Jasim, I.K. (2001). The 5th Scientific conference college of science Al-Mustansiriah University, Baghdad, Vol.12,No.5, p. 113.

[8] Chaithanya, M. (2007). Processing & Characterization of Nickel –Luminide Coating on Metal Substrates. Master Thesis, Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology, Rourkela.

[9] Monica, B. D. (2010). Study of Microstructure Effect on Thermal Properties of Yttria-Stabilized Zirconia Thermal Barrier Coating Made by atmospheric Plasma Spray and Processing Machine, Doctor Thesis, University of Zulia, Department of Mechanical Engineering .

[10] Ross, R.(1980). Metallic Materials Specification Handbook :3Ed.

[11] C830, Annual Book of ASTM Standards" American Society for Testing and Material ,Vol.15. No.1. 1988.

[12] C830, Annual Book of ASTM Standards" American Society for Testing and Material, U.S.A., Vol.2. No.5. 1988.

[13] Gerdeman, D. and Hecht, N.(1972).Arc plasma Technology in materials Science. *Springer- Verlag*, New York.

[14] Al-Jobouri, Y. A. (2011). Fabrication & Characterization Photo detector of CdS/nonporous Si by Spray Pyrolysis technique. Master Thesis, University of Tikrit, Tikrit. Iraq.

[15]: Zhu, D.; Miller, R.A.(2000). thermo physical and thermo mechanical properties of thermal barrier coating systems. *ceram. sci. proc.* **21**: p. (623-633).

[16] فرمان، خالد، انوار.(2005). دراسة الخواص الفيزياوية لطبقات الطلاء السيرمتية المنتجة من (Al_2O_3+Ni-Al) بطريقة الرش الحراري. اطروحة دكتوراه. الجامعة المستنصرية. بغداد. العراق.

[17] Rangswamy, S. ; Herman, H. (1980).Thin Solid films,**73**: p.(43-52.

[18] درويش، يونس، صالح, خليل، اسماعيل، جاسم، عبدالعزيز، عبدالسميع فوزي (2018). بعض الخصائص الفيزيائية والحرارية للمتراكب(بازلت–ألمنيوم) المحضر بطريقة المساحيق. *المجلة العربية للعلوم ونشر الابحاث*، 1–14:(8) 2.

Parameters of Effecting in the Coating of Turbine Blades by Thermal Spraying

Salih Y. Darweesh

Physical Department , College Of Education TuzKormato , Tikrit University , Tikrit , Iraq

Abstract

In this study, cerment materials were manufactured by thermal spraying flame from a ceramic material (ZrO_2-12% Y_2O_3), supported by Aluminum metal bonding material, with a percentage of reinforcement (25)%, on base of (Stal Steel 304). The sintering of samples prepared at (800℃,1000℃) for only(2 hr.). The hardness , porosity and adhesion force tests were performed with the different distance and angles of the spray, as well as the atomic force microscope(AFM) and thermometric tests, which included the coefficient thermal expansion and thermal change of temperature (Tg). The result test shows that mixing ratio (25%), spray angle (90°), spray distance (15cm), and sintering at temprature(1000℃) give characteristic good of physical and mechanical properties. As for (AFM)results It also gave less roughness, grain size and mean square root at sintering time (1000℃). The results of the thermal analysis showed the tendency of the coating layer to the adultery qualities because it contains (75%) of the ceramic oxides. The thermal weight change showed that there was a slight loss Weight at high temperatures to (1000℃).