استخدام ليزر النيديميوم – ياك النبضي لمعالجة طبقات الرش الحراري للطلاء السيرمتي

أسماعيل خليل جاسم ، محمود محمد صالح ، خلف ابراهيم خليل
قسم الفيزياء ، كلية التربية ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

الملخص

تم استخدام ليزر نبضي عالي الطاقة من نوع نيديميوم– ياك عند طاقات مختلفة (400,460,500)mj لصهر الطلاءات المؤلفة من مزيج من (Al_2O_3+MgO+Ni-Al) والمنتجة بتقنية الطلاء بالرش الحراري باللهب على سبيكة الفولاذ متوسط الكاربون نوع (Stainless steel) نوع (316L- AISI).

تم دراسة الخواص الميكانيكية والسطحية والطورية لطبقة الطلاء ومقارنة النتائج قبل وبعد المعاملة السطحية بالليزر. أوضحت نتائج المعاملة السطحية بالليزر حصول اعادة صهر الطلاءات (Remelting) وازالة كافة العيوب والاجهادات ، حيث ادت المعاملة بالليزر لطبقات الرش باللهب الى زيادة قيمة الصلادة حيث زادت قيمة الصلادة من (280 HvT) قبل المعاملة الى (300 HvT) بعد المعاملة الليزرية ، اما فحص (AFM) فقد بين حصول نقصان في الحجم الحبيبي والخشونة السطحية كلما زادت طاقة الليزر، حيث تغير الحجم الحبيبي من (98.11nm) الى (68.01nm) عند طاقة الليزر (500 mj) بأعتبارها افضل طاقة، اما الخشونة السطحية فقد تغيرت من (1.47nm) الى (0.213nm) عند الطاقة.

بينت نتائج حيود الأشعة السينية ان المعاملة الليزرية ادت الى ظهور اطوار جديدة و زيادة في النمو البلوري خصوصا عند أعلىطاقة ليزر ية مستخدمة (500mJ) حيث أكدت النتائج البحثية بزيادة الشدة والنمو البلوري وظهور أطوار مختلفة مع استقرارية للطور($\propto$-Al_2O_3) بدون أية تحولات طورية أخرى .

الكلمات المفتاحية: المعاملة السطحية الليزرية ، الرش الحراري ، المواد المؤلفة ، الطلاء السيرمتي، المواد الهندسية

المقدمة:

السيرمت (Cermets) هي مواد خليطة من السيراميك والمعدن وتحمل صفات مشتركة للسيراميك (الصلادة ، مقاومة التأكل ، تحمل الحرارة العالية) والمعدن (المطيلية ، مقاومة الصدمة الحرارية ، التوصيل الحراري، التوصيل الكهربائي) ولذلك سنحصل على مادة ذات صفات جيدة تؤهلها للاستخدام في كثير من التطبيقات التكنولوجية مثل صناعة ريش التوربين وروؤس انابيب الصواريخ وحواجز حرارية في الاقران.[1] . لقد شهدت طرائق تصنيع المواد المركبة (السيرمتية) في السنوات العشرة الأخيرة تطورا كبيرا في انتاج المواد المركّبة، المقوّاة بالألياف ، أو الدقائق ، أو الشعيرات، خاصة بإستخدام طريقة السباكة (Casting ، وتكنولوجيا المساحيق (Powder Technology أو طرائق الطلاء بالرش الحراري (Thermal Spray Coating) [2،3] .

أحتلتقنيات الرش الحراري 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، والمواد المركبة؛ لغرض الحصول على خواص فيزيائية وميكانيكية جيدة للطلاء . كما تعد هذه التقنيات عموما واحدة من أهم الوسائل المستخدمة صناعيا في عمليات الإكساء السطحي للمتطلبات الصناعية خاصة في طلاء القطع الكبيرة، وبكفاءة ومعدلات ترسيب عالية . [2] . يدخل الليزر في كثير من التطبيقات العملية والصناعية للمواد الهندسية مثل التثقيب ، القطع و اللحام والمعاملات السطحية المختلفة. ان المعاملات السطحية بالليزر تشمل التصليد و التلدين و الاكساء و التسبيك ومعاملة طبقات الطلاء.[4] .

تعتبر المعاملة السطحية بالليزر لطبقات الطلاء من التقنيات الحديثة مقارنة مع المعاملات السطحية الاخرى للمواد الهندسية اذ ان الصهر بالليزر لطبقات الطلاء السيراميكية او المعدنية تمثل تقنية حيوية للصهر الموقعي (Locally Melting) حيث تؤدي الى احكام سد المسامات (Sealing Pores) وتحسين الخواص الميكانيكية والسطحية لطبقات الطلاء. [5,6]

الادبيات المتوفرة حول الانصهار السطحي بالليزر لطبقات الرش الحراري اوضحت امكانية استخدام متغيرات الليزر بصورة فعالة للحصول على طبقات انصهار بدون عيوب. [7]

تمثل الدراسة الحالية أستخدام تقنية المعاملة السطحية بالليزر لغرض تحسين خواص طبقات الطلاء السيرمتية المنتجة بطريقة الرش الحراري باللهب (Thermal Spray Coating).

الجزء العملي:

تم استخدام سبيكة من الفولاذ المقاوم للصدأ(Stainless steel) نوع (316L-AISI) كقاعدة لطبقات الطلاء؛ وذلك نظراً لإستخدام هذه السبيكة في كثير من التطبيقات الهندسية التي تتطلب خواص ميكانيكية وحرارية جيدة عند إرتفاع درجات الحرارة فضلا عن مقاومتها الجيدة للكلل. تم تحليل عناصر السبيكة بجهاز تحليل العناصر للامتصاص الذري وموضحة بالجدول (1) وهي مقاربة جدا للمواصفات الامريكية (AISI) تعد عملية تحضير أسطح عينات

القواعد قبل عملية الرش الحراري مهمة بالنسبة لأنجاح عملية الطلاء ، لأن درجة إلتصاق مواد الطلاء مع سطح المادة الأساس تعتمد على التشابك الميكانيكي للدقائق المتصلبة عند سطح المادة الأساس تم تقطيع العينات على شكل اقراص بقطر (20mm) وسمك (3mm) لوضعها في حامل العينات تم إستخدام جهاز عصف حبيبي (Grit Blast) مصنع محليا؛ لغرض زيادة خشونة سطح العينات وذلك من خلال إستخدام حبيبات الرمل (SiO_2) بمدى أقطار يتراوح من (0.7-1.5mm) . المركبات السيرمتية حضرت من أخذ (Ni.Al) بنسبة وزنية مقدارها % (50)وتمت إضافتها الى مسحوق المادة الأساس من الألومينا (Al_2O_3) التي نسبتها %(40) مع نسبة %(10) من مسحوق (MgO) وذلك لزيادة تثبيت طور الالومينا. طبقات الرش المنتجة بتقنية الرش الحراري باللهب (TSF) كانت ذات سمك بحدود ± (1.35mm) وتم انتاجها باستخدام المتغيرات الموضحة بالجدول (2).

تم معاملة طبقات الطلاء السيرمتية الناتجة بنبضات ليزر النيديميوم- ياك (الطاقة القصوى 1جول) باستخدام متغيرات تضمنت طاقات ليزرية مختلفة mJ(400,460,500) وفترة زمنية مقدارها(10 sec) وعند مسافة (50 cm).

تم دراسة البنية المجهرية من خلال تحضير العينات من خلال التعيم والصقل بالطرق التقليدية لتحضير العينات للفحص المجهري وباستخدام مجهر ضوئي نوع (ExwaveHAD) ياباني المنشأ وعند قوة تكبير مقدارها (200x) . كما تم دراسة طوبوغرافية السطح ايضا باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) المجهز من قبل شركة (Angstrom Advanced Inc) الألمانية . اما الاطوار المتكونة لطبقات الطلاء السيرمتية والمناطق المعاملة بالليزر فقد تم تحديدها باستخدام حيود الاشعة السينية عندما كان الهدف المستخدم (Target) في أنبوبة الأشعة السينية هو النحاس (Cu) ذو الطول الموجي الذي يساوي (1.541A°). اما الصلادة الدقيقة فقد تم قياسها بطريقة فيكرز وباستخدام حمل مقدارة 100 غم.

النتائج والمناقشة:

أوضح الفحص المجهري باستخدام مجهر القوة الذرية (AFM) لطبقة الطلاء السيرمتية المحضرة بطريقة الرش باللهب وجود خشونة عالية للسطح بحدود (1.47nm) كما وجد أن معدل الحجم الحبيبي (Avg.Diameter) كان بحدود (98.11nm) كما موضح في الشكل (1). لوحظ من نتائج الفحص بمجهر القوة الذرية للطبقات السطحية لكل من طبقات الرش باللهب وبعد معاملتها بالليزر النقصان الواضح بالخشونة السطحية والمصاحب لازالة عيوب الرش بصورة كبيرة، حيث يلاحظ انه عند زيادة طاقة الليزر حصول اعادة انصهار للدقائق غير المنصهرة وازالة كافة العيوب السطحية والفجوات والمسامية. الشكل (2) يوضح نتائج الفحص المجهري (AFM) لطبقة الطلاء بعد معاملتها بالليزر عند طاقات مختلفة حيث يوضح النقصان الواضح بالخشونة مع نقصان في العيوب السطحية لطبقات الطلاء. ان عملية معاملة العينات بالليزر ادت الى اعادة صهر الطلاءات (Remelting) وازالة كافة العيوب السطحية اضافة الى صهر الدقائق غير المنصهرة مما ادى الى تعيم الحبيبات وتقليل الخشونة السطحية وهذا ما لوحظ من خلال النقصان الواضح في قيم معدلات الحجوم الحبيبية عند زيادة قيم طاقات الليزر المؤثرة حيث لوحظ حصول تجانس وتماسك بين طبقات الطلاء مقرونة بتحسن الخواص الميكانيكية لطبقات الطلاء. [8]. ان هذا التأثير الواضح ربما يعزى الى ان زيادة طاقة الليزر قد أدت الى حصول تغلل كبير لمناطق أسطح طبقات الطلاء وبسبب الامتصاصية العالية لطبقات الطلاء لهذه الطاقة قد أدت الى أعادة صهر طبقات الطلاء السيرمتية وبالتالي التقليل من العيوب السطحية وزيادة الخواص الميكانيكية والفيزيائية لطبقات الطلاء [6] .

يوضح الجدول (3) خواص طبقات الطلاء بعد معاملتها بالليزر والتي تبين معدل الخشونة والحجم الحبيبي ومتوسط الجذر التربيعي. الفحص الدقيق بالمجهر الضوئي لطبقات الطلاء يوضح ازدياد عمق طبقة الانصهار مع زيادة طاقة الليزر وحدوث عمليات انتشار وتنعيم للحبيبات اضافة الى حدوث مناطق اتصال كلما زادت طاقة الليزر.

يوضح الشكل (3) نتائج الفحوص المجهرية للمجهر الضوئي (200X) والذي يبين التأثير الواضح لفعالية الليزر على أعادة صهر سطح طبقات الطلاء وأخفاء العيوب السطحية وأعطاء طبقات الطلاء السيرمتي خواص فيزيائية وميكانيكية جيدة مع أزدياد قيم الطاقة المستخدمة ، كذلك فأن تأثير المعاملة السطحية بالليزر على الفحوص التركيبية لطبقات الطلاء السيرمتية يمكن ملاحظتها من نتائج فحص حيود الاشعة السينية والموضحة في الشكل (4).

يلاحظ من الشكل (4-A) قبل المعاملة الليزرية بوجود اطوار مختلفة ناتجة من تفاعل وتداخل (Al_2O_3 - MgO) مع المادة الرابطة (Ni-Al) قد حصل بين مكونات مادة الطلاء السيرمتية وهذا ما يتفق مع نتائج التحاليل المجهرية الضوئية والالكترونية الموضحة سابقا . كما أكدت النتائج الاخرى بوجود طور مستقر (α-Al_2O_3) نتج أثناء عملية الطلاء (Deposition) ولم تظهر أي تحولات طورية أخرى (Transformation) الى الالومينا مثل(γ- Cubic Al_2O_3) او جزئية (Metastable) الى طور (α-$Al_2O_3\gamma$).

تم مراقبة تأثير المعاملة الحرارية بالليزر على الخواص التركيبية لطبقات الطلاء السيرمتية والموضحة بالشكل(4-B-C). لقد لوحظ عند (4-B) وجود أطوار مختلفة وسطية ناتجة من تفاعل مكونات عناصر المادة السيرمتية المستخدمة مثل (Ni-Al-O) و(Mg-Al-O) مع (Mg-Al_2O_3) مما يدلل على تجانس طبقات الطلاء وخلوها من العيوب وظهور أتجاهات للنمو البلوري وتحسن الخواص الفيزيائية لطبقات الطلاء. يبين الشكل (4-C) عند زيادة الطاقة الى (500mj) بقاء تجانس هذه الاطوار الناتجة مع زيادة شدة الانتظام البلوري للطور (α-Al_2O_3) عند الموقع الزاوي (2θ=44) دلالة على تجانس

طبقات الطلاء وخلوها من العيوب والاجهادات الداخلية مما يؤكد على تحسن الخواص الفيزيائية لطبقات الطلاء .

الاستنتاجات:

ادت المعاملة بالليزر لطبقات الطلاء السيرمتية الى تحسن واضح بازالة العيوب السطحية من الفجوات والمسامية مع أرتفاع كميات الطاقة الليزرية المستخدمة حيث لوحظ تحسنا واضحا في البنية المجهرية ناتج من اعادة صهر طبقات الطلاء وازالة العيوب السطحية .أكدت نتائج فحص طوبوغرافية السطح بواسطة مجهر القوة الذرية (AFM) الى نقصان واضح في الخشونة مقرونا بنقصان في قيم معدلات الحجم الحبيبي مع زيادة كمية الطاقة الليزرية المستخدمة دلالة على تحسن خواص طبقات الطلاء الفيزيائية . بينت الفحوصات التركيبية بواسطة حيود الاشعة السينية وجود طور (α-Al_2O_3) مستقر قبل وبعد المعاملة بالليزر أذ أزدادت قيمة شدته عند المعاملة الليزرية (500mj) مع ظهور أطوار أخرى مختلفة ناتجة من تفاعل وأتحاد مكونات عناصر المادة السيرمتية المستخدمة .

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

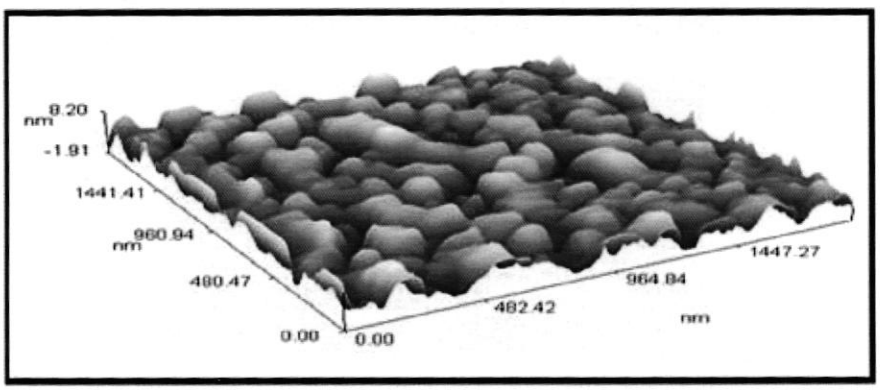
Elements	Standard AISI -316L pct	Analysis
C	<0.03	0.02
Si	<1.00	0.94
Mn	<2.00	1.93
P	= <0.04	_
S	= <0.03	_
Cr	17.00	16.98
Mo	2.25	2.22
Ni	12.00	12.31
Fe	Rcm	Rcm

جدول (2) معلمات عملية الرش الحراري باللهب لتحضيرالمادة المركبة السيرمتية ($NiAl + Al_2O_3 + MgO$)

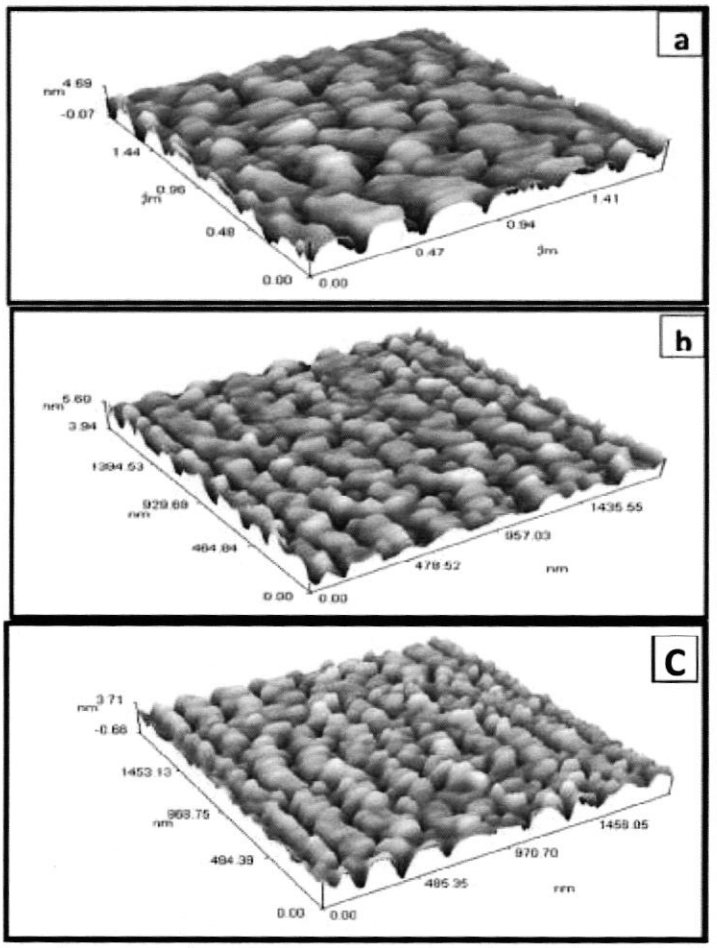
Properties	Values
OXY – Acetylene Mixing	4 , 0.7
Spraying Distances	(8,12,16,20) cm
Thickness Coating	1.35 ± 0.3 mm
Flame spray temp	(3000-3025)°C
Particle size of powder	(75-100) μ m
Coating Time	(1-2) min
Time between two spray prosses	5 sec

جدول(3) يبين المقارنة بين خواص طبقات الطلاء بعد المعاملة بالليزر

Laser Energy mJ	Roughness Avg (nm)	Partical Size (nm)	Root Mean Square (nm)	Max Length Surface (nm)
Without Treatment	1.47	98.11	1.79	8.20
400	0.599	74.79	0.76	5.6
460	0.558	70.43	0.718	4.69
500	0.213	68.85	0.265	3.71

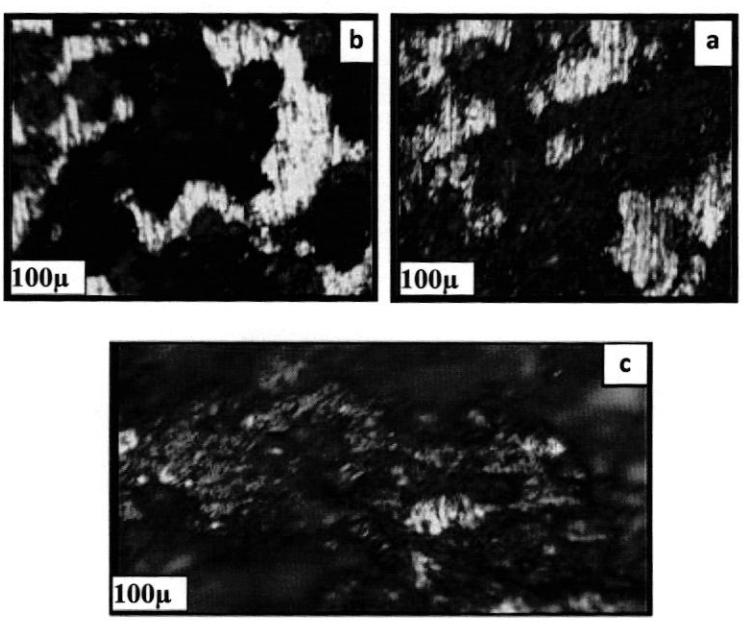


الشكل(1) صورة مجهر AFM لطبقة طلاء بدون اي معاملة



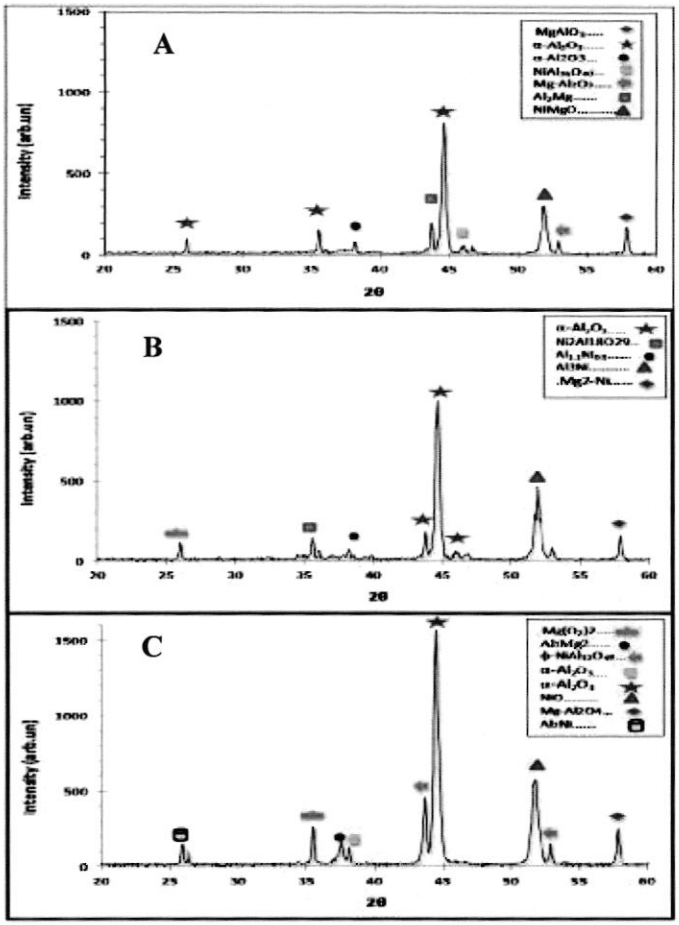
شكل(2) طوبوغرافية سطح طبقة الطلاء السيرمتي (AFM) بعد المعاملة بالليزر عند طاقة مختلفة

500 mj –c ، 460 mj –b ، a–400mj



شكل (3) الفحص المجهري لطبقات الطلاء السيرمتي بعد معاملتها بالليزر عند طاقات مختلفة (200X)

500mJ (c) 460mJ (b) 400mJ (a)



شكل (4-A-B-C) يوضح حيود الأشعة السينية لطبقة الطلاء قبل وبعد المعاملة السطحية بالليزر

A- قبل المعاملة B- عند طاقة (400mj) C- عند طاقة (500mj)

Using of Pulsed Nd-Yag Laser in the Treatment of Thermal Spray Layers of Cermet Coating

I.K. Jassim , M.M. Saleh , K.I. Kaleel

Physics Department , College of Education , University of Tikrit , Tikrit , Iraq

Ismaeal_1956@yahoo.com*

Abstract:

The use of high energy Ndi- yag laser pulses at different energies (400,460,500) mj to melt surface coatings composed of a mixture of (Al_2O_3 + MgO + Ni-Al) by using thermal flame spray on the base of 316 S. Steel is presented. Mechanical and physical properties of the surface coating layer have been studied before and after laser surface treatment. The results of laser treatment of a cermet coating surface show that removal of defects and stress , which increased hardness from (280 HvT) before treatment to (300 HvT) after laser treatment. The results of atomic force microscope (AFM) show a decreasing volume of particle board and rough surface with increasing the laser energies. The results also show a changing particle size from (98.11 nm) to (68.01 nm) when the laser energy (500 mj) was used.

The results of X-ray diffraction show that the treatment by laser gives several phases. The results show similarities between microstructure and structural properties after using the when lase treatment.

Keyword: laser surface Treatment, Thermal spray, Composite Material, Cermet Coating, Material Engineering