

## استخدام الرش الحراري بالذهب لحساب المتغيرات الفيزيائية لنظام ذو اساس من النيكل

نبراس مال الله ابراهيم<sup>1</sup>، افراح رعد مزهر<sup>1</sup>، صالح يونس درويش<sup>2</sup>، عادل الشعبي<sup>3</sup>

1 قسم تربية الدور، المديرية العامة لتربية صلاح الدين، وزارة التربية العراقية، العراق.

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

3 قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة الملك فيصل، الأحساء، المملكة العربية السعودية.

<https://doi.org/10.54153/sjpas.2023.v5i1.467>

## الخلاصة:

## معلومات البحث:

تاريخ الاستلام: 2023/02/13

تاريخ القبول: 2023/03/08

## الكلمات المفتاحية:

الرش الحراري، المواد السيرميتية، نظام

معديني، الكروم، المواد المترابطة.

## معلومات المؤلف

الايمليل: [salih.youins@tu.edu.iq](mailto:salih.youins@tu.edu.iq)

الموبايل: 009647703978848

تم استخدام طريقة الرش الحراري بالذهب لمعالجة الريش التوربينات المستخدمة بمحطات الطاقة الكهربائية وأنابيب النفط التي تعاني من تآكل خارجي ومن التشققات والتلف، حيث تم تحضير طلاء نيكول مقوى بمادتين الاولى كربيد التنكستن WC بمعدل ثابت (5%) والثانية معدن الكروم Cr% بنسب مختلفة (0,2,4,6,8). كما تم تحضير عينات ذات شكل مربع بقطر 1cm من ريشة توربينية خارجة عن الخدمة بعد ان تم تقطيعها، وبعد ذلك تم خلط المساحيق ككل جيداً وتم اجراء الطلاء بجهاز الرش الحراري بالذهب. وتم تلييد العينات بالحرارة عند (1000°C) ولزمن ساعتين فقط. بعدها تم اجراء اختبار صلادة فيكرز والمسامية وقوة الالتصاق وتم اخذ صور للعينات من خلال المجهر الالكتروني الماسح مع زيادة نسب التدعيم، كان تأثير نسب التدعيم طردياً مع كل من الصلادة وقوة التلاصق حيث كانت أعلى صلادة (840 كغ/م<sup>2</sup>)، وأعلى قوة تلاصق هي (46 ميغا باسكال) بتناسب طردي مع مادة التدعيم، بينما أقل مسامية كانت (8%) بتناسب عكسي مع مادة التدعيم. اما المجهر الالكتروني اعطى صور واضحة المعالم للعينات المطلوبة التي ظهر فيها مقدار التناسق البلوري والتشابك الميكانيكي، والذي بدوره اعطى نتائج مميزة ومشجعة، حيث وجد ان افضل نسبة تقوية (8%)، اذ يلاحظ التناسق السطحي والبلوري المتميز للمساحيق المرشوشة على قاعدة الطلاء.

## المقدمة

احتلت تقنية الرش الحراري مدى واسع من التطور في الصناعات المختلفة من حيث معالجة التآكل والصدأ الحاصل في العديد من الأجهزة والمعدات التي تستخدم في كثير من التطبيقات وان من اهم تلك التطبيقات هي الرش التوربينية التي تعاني من تشققات وكسور اثناء العمل التي بدورها تضعف عملية الرش التوربينية وكذلك يمكن استخدام الرش الحراري بالذهب في معالجة التآكل الخارجي من انابيب النفط التي تمتد لمسافات طويلة جداً وبذلك لا يمكن استبدال ابوب نفطي طويل المدى باخر بسبب التكلفة المادية والاجهاد وبذلك يستعاض عن الاستبدال معالجة موضعية عن طريق خلط العديد من المواد التي قد تكون من اساس معدني يتمثل بـ (Al, Ni, Cu, Mn) او اساس سيراميكي ومنها (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, YO<sub>3</sub>) ... الخ، ومما يمكن استخدام الكاربيدات المختلفة (WC, B<sub>4</sub>C, SiC) ..... الخ [1-4]. ان خلط تلك المواد ينتج سبيكة مطلية الى قاعدة ذات اساس فولاذي (St.St.316L) والتي تمثل المعدن المصنوع منه الريش التوربينية او الانبوب النفطي او حتى الجسور العوائم المختلفة [4]. ان جميع التطبيقات التي يمكن تفعيل عملية الرش الحراري بالذهب او البلازما او اية طريقة من طرق الرش الحراري بالذهب فهي تحتاج الى ان تكون ذات كلفة اقتصادية منخفضة، وذات وزن خفيف وجمالية الشكل من حيث طوبوغرافية السطح وتماسك ذرات المواد المكونة للسبيكة الواحدة [5]. كما ان عملية الطلاء (Coating) قد اختلفت من طريقة الى أخرى بمميزات ومتغيرات طلاء عديدة والتي يمكن استعمالها بما يلائم التطبيق المراد العمل عليه حيث نجد ان عملية الطلاء بطريقة الرش الحراري بالذهب سهلة العمل والتي بدورها تعطي غطاء طلائي جيد وفي الأغراض الصناعية المتوفرة [6]. ان مميزات هذه الطريقة هي الصلادة العالية للنمادج المحضرة وكذلك المسامية القليلة التي تساهم في زيادة متانة الطلاء كما قوة التلاصق (Adhesion Force) ممتازة وهذا أيضا

يعتمد بشكل كبير على مسافات الرش التي يمكن استخدامها والتي وجدت بشكل عام من خلال التجارب المتعددة (10,12,14,16,20) سم، هذه المسافات التي تفصل بين مسدس الرش الحراري والنماذج المراد طلاؤها والتي اثبتت من خلال العديد من التجارب فعاليتها [7]. تم استخدام طريقة الرش الحراري باللهب على مدى واسع وبمواد متنوعة مثل المعادن والمواد السيراميكية و الكاربيدات و التي أعطت نتائج مشجعة يمكن تطبيقها صناعياً على العديد من الأجهزة والمعدات المختلفة التي بدورها تقلل الكلفة وتعيد الجهاز او الريشة التوربينية الى العمل مجدداً والذي يساهم على احداث فرق صناعي تطبيقي ممتاز [8]. وان الهدف من البحث الحالي هو معالجة التشققات في الاسطح الخارجية للريش التوربينية والانابيب النفطية بطريقة الرش الحراري باللهب التي تمكن من خلال النتائج التجربة اثبات أهمية التطبيق من حيث الصلادة والمسامية والكثافة وقوة التلاصق والفحوص التركيبية المختلفة.

### المواد المستخدمة

تم استخدام مسحوق النيكل (Ni) كمادة اساس ومصنع من شركة (Metco) الامريكية، ومادة التقوية الاولى بنسبة ثابتة 5% هو كاربيد التنكستن WC المصنع من شركة (Changsha Santech Materials Co., Ltd) الصينية بحجم حبيبي 200µm ذو نقاوة (99.8%). ومادة التقوية الثانية هي الكروم Cr المصنع من شركة (Riedel -De haen AG seelze - Hannover) الألمانية بحجم حبيبي (90µm) ذو نقاوة (99.8%).

### طريقة العمل

تم في العمل الحالي استخدام طريقة الرش الحراري باللهب وذلك لغرض انتاج نماذج مطلية من نظام (Ni-%WC-%Cr) وبنسب وزنية ثابتة من (كاربيد التنكستن 5%)، ونسب مختلفة من معدن الكروم (0,2,4,6,8). وبمسافة رش ثابتة بمقدار (16سم). حيث تم استخدام الجهاز المكون من قنيتي الاوكسجين الاستيليين حيث كانت نسبة الاوكسجين بضغط (4 bar) بينما غاز الاستيليين بنسبة ضغط (0.7bar)، وتم استخدام بودقة خاصة تركيب ضمن مسدس الرش وذلك لوضع المسحوق الخليط فيها بعد ان تم طحنه لزمان ساعتين بواسطة طاحونة محلية الصنع تمتلك كرات فولاذية بعد ذلك تم تعريض المخلوط الى درجة حرارة (100°C) ولزمن (30 min) لغرض التخلص من الرطوبة التي في المسحوق وتم وضع المسحوق في البودقة المخصصة في مسدس الرش وبعد تشغيل الشعلة واخذ المسافة المخصصة للطلاء يتم فتح بودقة المسحوق ويبدأ المسحوق بالنزول الى القاعدة المخشنة مسبقاً بطريقة التسنين لغرض زيادة قوة التلاصق بين القطرات المنصهرة وقاعدة الطلاء التي استخدمت من ريشة توربينية خارجة عن الخدمة كما في الشكل (1) كقاعدة طلاء ، اما نوع جهاز المسدس المستخدم في الطلاء هو (GH - 4/h, China) ذو منشأ (الصيني) والشكل (2) يبين صورة للجهاز المستخدم، بعد اكمال النماذج المحضرة تعاني تلك النماذج من بعض الضعف في الطلاء الخارجي مما نحتاج وبشكل كبير الى اجراء المعالجة الحرارية والتي أجريت للنماذج عن طريق فرن (furnaces) نوع (Muffle) كوري المنشأ، بموديل (MF-12) اقصى درجة حراره يصلها (1200°C) وتمت عملية التلييد الحراري عند درجة حرارة (1000 °C) ولزمن ساعتين فقط لتكون العينات جاهزة بعد ذلك لأجراء الفحوصات المختبرية المختلفة.



الشكل 1: الريشة التوربينية قبل التقطيع وقبل الطلاء.



الشكل 2: جهاز الرش الحراري باللهب المستخدم.

## الفحوص المستخدمة

### 1- اختبار الصلادة

ان الصلادة هي مقاومة سطح المادة للتشوه الدائمي (permanent deformation) الذي يحصل عن طرق التلم (Indentation)، القطع (Cut)، البلى (Wear) والخدش (Scratching)، الاختراق (Penetration) وقابلية التشغيل (Machinability) وتعتمد صلادة المواد على نوع القوة الرابطة بين الجزيئات أو الذرات، نوع السطح، درجة الحرارة العالية والمعاملة الحرارية. تم اجراء اختبار الصلادة المايكروية نوع فيكرزفي جهاز الصلادة نوع (METKON)، فرنسي المنشأ والذي يتكون من اداة التغلغل والتي هي عبارة عن رأس مجهري مدبب بشكل هرم ماسي مربع القاعدة تتقاطع مستوياته عند القمة بزواوية (136°) حيث يتم تثبيت العينة تحت هذه الاداة لذلك. تم تقطيع العينات بشكل مربع طول ضلعة (1cm) وبسمك (1cm) حيث سلط حمل بمقدار (50N) ويزمن (20sec). يتم حساب رقم فيكرز للصلادة عن طريق قياس اطوال القطرين (d2,d1) ومعدل القيمة لهما (D) ومن ثم تطبيق العلاقة [9]:

$$HV = \frac{2P \sin \frac{136^\circ}{2}}{d_{av}} = HV = 1.854 \frac{f}{d_{av}^2} \quad (1)$$

حيث أن: HV: صلادة فيكرز، f: الحمل المسلط،  $d_{av}$ : متوسط قطر الأثر.

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

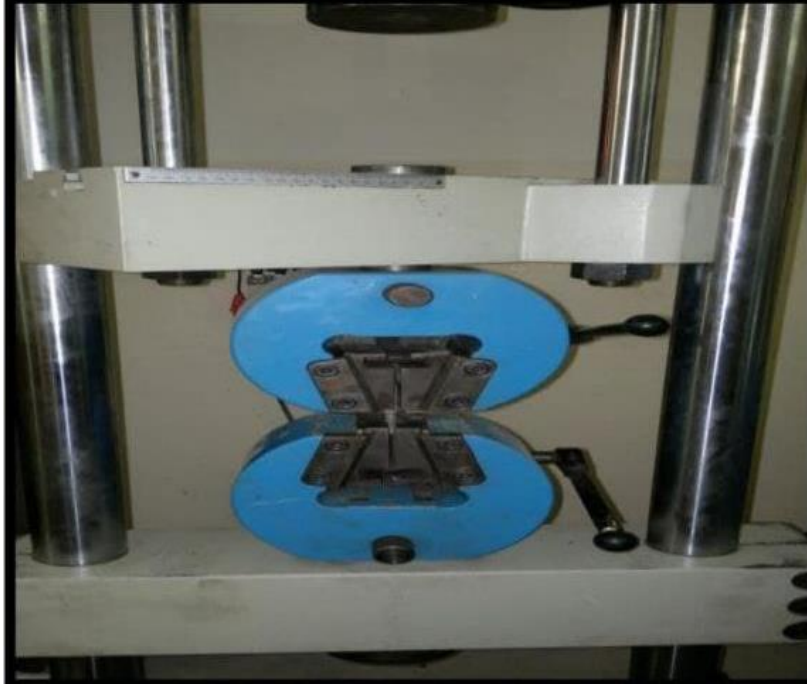
### 2- المسامية

تعد المسامية هي احدى الفحوص الفيزيائية ذات الأهمية العالية من حيث حساب عدد المسامات المتواجدة ضمن النموذج الواحد وبذلك هي مقدار النسبة المئوية لعدد المسامات الموجودة على سطح الطلاء والتي تتناسب بشكل طردي مع الصلادة فأن زيادة المسامية تعني ضعف الصلادة والعكس صحيح وتم في هذا الفحص حساب المسامية بطريقة أرخميدس حيث تم حساب وزن الطلاء (الجاف) وهو ( $W_1$ ) بعد ذلك تم غمر النموذج المطلي في الماء المقطر لزم (24) ساعة وتم بعد ذلك حساب الوزن بعد الغمر ( $W_2$ ) ثم بعد ذلك تعليق النموذج المطلي داخل الماء المقطر وحساب الوزن الثالث ( $W_3$ ) وبعد ذلك تم تطبيق القانون الاتي، اذ تم استخدام طريقة الغمر لأرخميدس (Immersion Method) [10].

$$\text{Porosity} = \left( \frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_3} \right) \times 100\% \quad (2)$$

### 3- قوة التلاصق Adhesion Force

ان النموذج المطلي يمثل الجزء الأساسي في العمل وبذلك لا بد من حساب قوة التلاصق التي تمثل القوة اللاصقة بين القاعدة التي تمثل الانبوب النفطي او الريشة التوربينية وبين الطلاء للنظام (Ni-WC) ويتم قياس قوة التلاصق باستعمال جهاز الشد من نوع ((Microcomputer Controlled Electronic Universal Testing) Machine) ذو المواصفات (Time Group Inc.) وتقاس بوحدات الميكا باسكال (MPa), حيث يتم اخذ عينة مطلية واخرى غير مطلية ويتم وضع مادة لاصقة بين العينتين والضغط باستخدام الجهاز لزمناً (24 ساعة) ثم بعد ذلك يستخدم الجهاز اعلاه لغرض السحب بين العينة المطلية والغير مطلية وعند فك العينتين عن بعض سوف يسجل الجهاز اقصى قوة تلاصق بالباسكال.[11] وكما موضح بالشكل (3).



الشكل 3: يوضح جهاز قوة التلاصق.

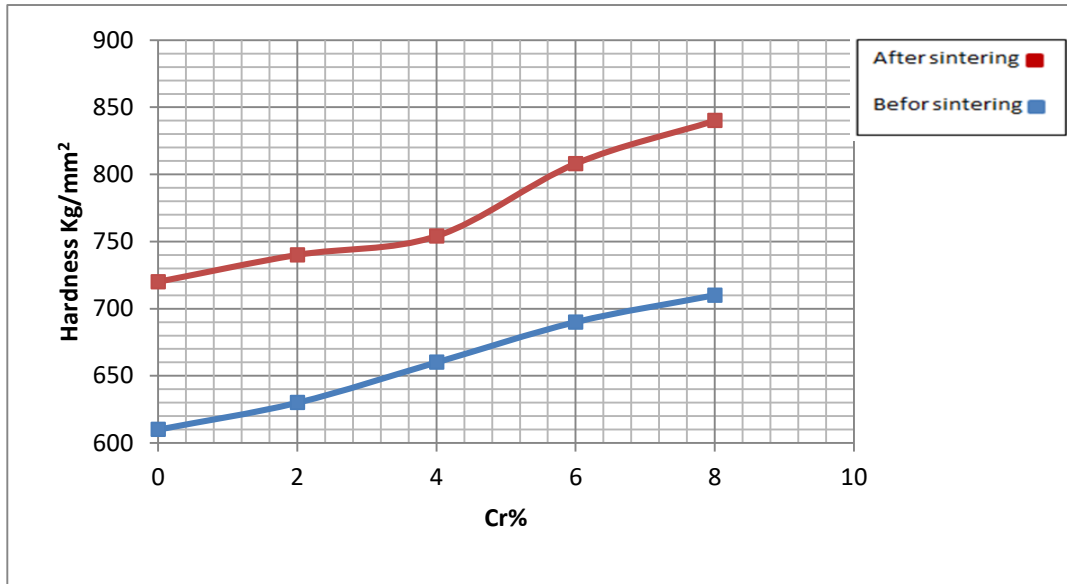
### 4- المجهر الالكتروني الماسح Scanning Electron Microscope

تم دراسة طوبوغرافية السطح للعينات الناتجة بعد التليد وذلك لمعرفة السطح الخارجي للعينات الناتجة وكيفية تماسكها حيث استخدم جهاز المجهر الالكتروني الماسح لهذا الغرض، لما يمتلك من مميزات كبيرة تعطي وصف مميز للبنية السطحية الخارجية وتكبير يصل الى آلاف المرات من المجاهر الضوئية، نوع المجهر المستخدم هو (TESCAN) بموديل (MIRA3) فرنسي المنشأ.

#### النتائج والمناقشة

#### 1. تأثير اضافة الكروم على صلادة فيكرز:

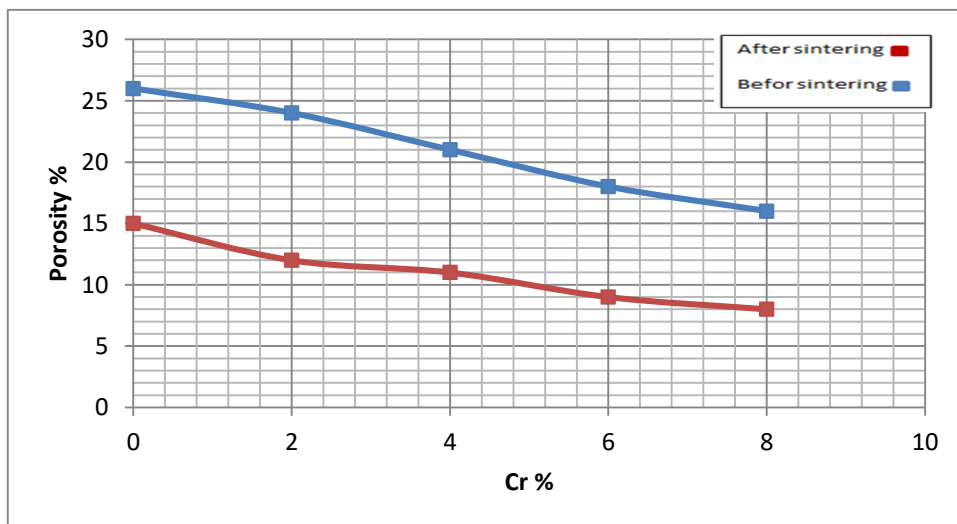
نلاحظ من خلال الشكل (4) الذي يعطي العلاقة بين نسبة الكروم المضافة والصلادة قبل التليد وبعده ب ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) اذ نجد ان الصلادة تبدأ بالزيادة تدريجياً مع نسب الاضافة ل ( $\text{Cr}\%$ ) مما يدل على تأثير الكروم الواضح والفعال على المادة الاساس النيكل (Ni)، حتى نصل الى اعلى صلادة قبل التليد وعند نسبة تدعيم (8%) بصلادة مقدارها (710 كغم/م<sup>2</sup>) والذي يعزى الى ان التكتل الناتج من المادة المدعمة وهو نتيجة لتجمع ذرات الكروم بمكان واحد دون باقي الامكان والذي يعمل بشكل سلبي على الصلادة والذي بدوره يعيق عملية التشابك الميكانيكي لذرات المادتين الاساس والتدعيم [12]. اما بعد التليد نجد زيادة كبيرة للصلادة مع نسب الاضافة وتصل اقصاها عند النسبة (8%Cr) بصلادة (840 كغم/م<sup>2</sup>)، ويعزى ايضاً السبب الرئيسي الى كمية الحرارة التي بدورها تساعد على ترابط وتماسك الذرات وتزيد من قوة الاندماج مما تقلل المسامية وتزيد الصلادة ولكن زيادة الصلادة هو نتيجة حصول تكتل لمادة المعدن وكذلك تأثير كاربيد التنكستن الذي يعمل كمادة رابطة بين النيكل والكروم [13,14].



شكل 4: العلاقة بين معدن الكروم والصلادة قبل وبعد التلييد.

## 2. تأثير اضافة معدن الكروم على مسامية الطلاء:

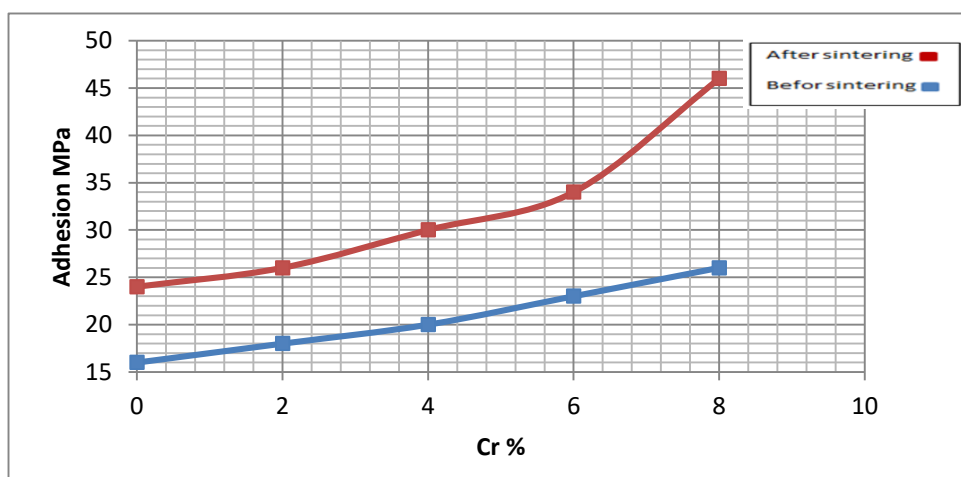
تعد مسامية الطلاء احد القياسات المهمة للطلاء والذي بدوره يعطي مؤشر واضح عن قوة وصلابة الطلاء، اذ نلاحظ من خلال الشكل (5) الذي يعطي العلاقة بين نسب معدن الكروم المضافة ومسامية الطلاء قبل وبعد عملية التلييد الحراري بـ ( $1000^{\circ}\text{C}$ )، اذ نلاحظ هنالك ترابط قوي بين المسامية والصلادة وبزيادة نسبة المدعمة لمعدن الكروم تقل نسبة المسامية حتى تصل الى اقل قيمة قبل التلييد عند نسبة (8%) من مادة التدعيم وهي (16%)، اما بعد التلييد انخفضت المسامية لتصل الى (8%) وعند نفس نسب تدعيم الكروم (8%)، وكل ذلك يعزى الى نفس الاسباب التي تم ذكرها في الصلادة اي ان المسامية هي علاقة عكسية مع الصلادة، بالإضافة الى ان المسامية بعد التلييد تقل بسبب ان المسافات الفاصلة بين الذرات تقل اكثر مما هو عليه قبل التلييد والذي نشأ بسبب اختلاف المواد المستخدمة بالطلاء وكذلك تجمد القطرات المنصهرة قبل وصولها الى قاعدة الطلاء حيث ان المسافات الكبيرة بين جهاز الرش وقاعدة الطلاء لها تأثير كبير على انجماد القطرات الواصلة الى قاعدة الطلاء [15,16].



شكل 5: العلاقة بين نسبة معدن الكروم والمسامية قبل وبعد التلييد.

### 3. تأثير اضافة معدن الكروم على قوة التلاصق الطلاء:

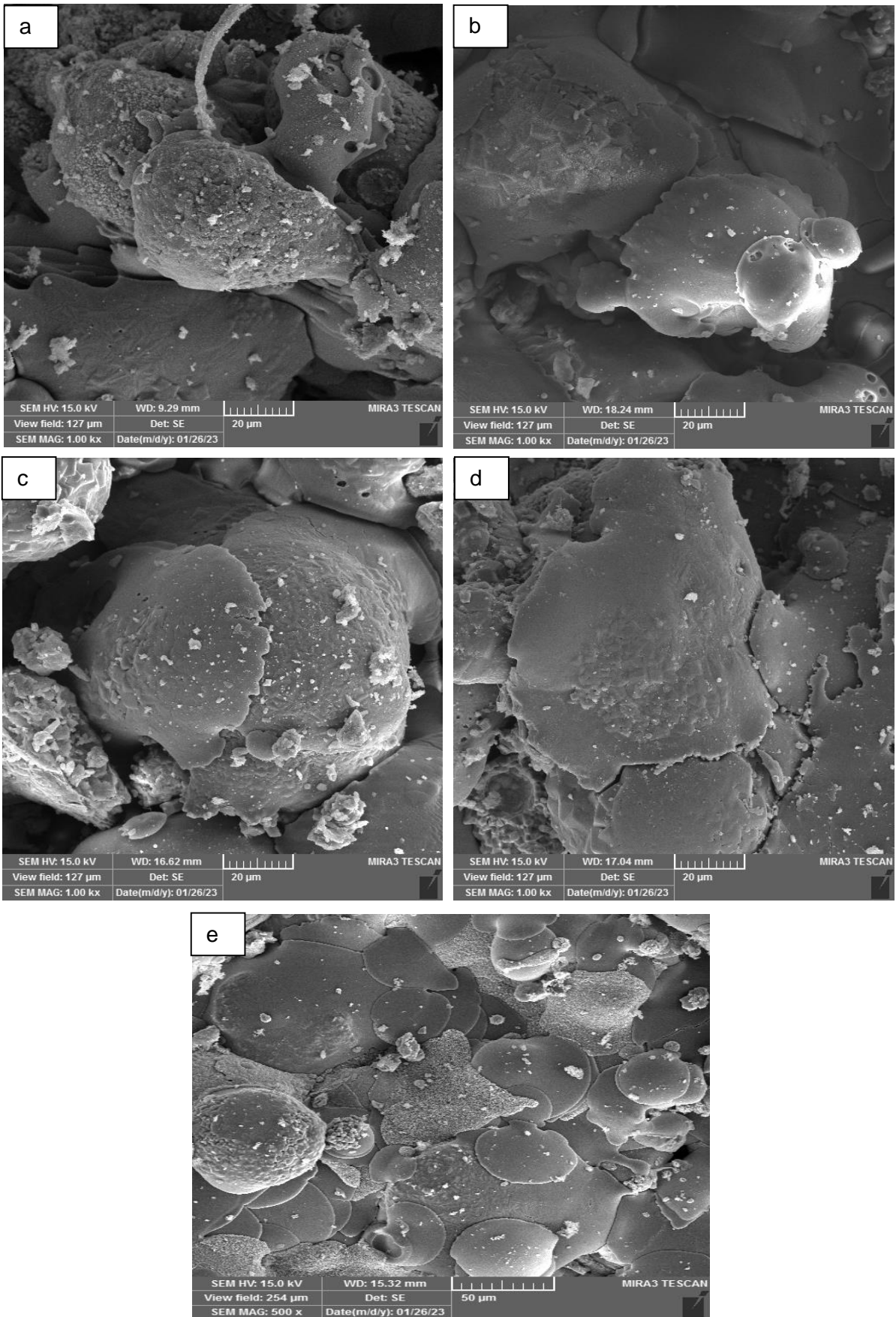
تم اجراء فحص قوة التلاصق للطلاء الناتج بعد الرش الحراري كمقياس على قوة تلاصق الطلاء مع القاعدة والذي بدوره يعتبر مقياس ميكانيكي على قوة الطلاء بين المادة المدعمة والاساس، اذ نلاحظ من خلال الشكل (6) العلاقة بين قوة التلاصق ونسب معدن الكروم المضافة من (0-8 %) قبل وبعد التلييد، ونجد ان زيادة المادة المضافة تزيد من قوة التلاصق بين القاعدة والطلاء حتى نحصل الى اعلى قوة تلاصق قبل التلييد وبمقدار (26MPa) بنسبة تدعيم (8%)، اما بعد التلييد وصلت الى (46MPa) وعند نسبة تدعيم (8%)، والسبب يعزى الى ان زيادة نسب معدن الكروم سوف تؤدي الى عدم انصهار المسحوق بشكل تام بسبب تجمع المسحوق بشكل دفعة واحدة خلال جهاز الرش مما لا يعطي الوقت الكافي تماماً لانصهار جميع الذرات وبذلك يؤدي الى ظهور تكتل داخل الطلاء ويضعف الترابط بين المكونات المطلوبة وهذا ما تم حصوله في الصلادة والمسامية عند النسب القليلة اما بزيادة النسب اكثر نلاحظ الزيادة الكبيرة للنتائج، اذ ان المسافة بين مسدس الرش الحراري وقاعدة الطلاء لها دور كبير لزيادة ونقصان قوة التلاصق وان زيادة المسافة يؤدي الى تجمد القطرات مما تصل القطرات منصهرة الى قاعدة الطلاء وتسبب ضعف لقوة التلاصق [17].



شكل 6: العلاقة بين نسبة معدن الكروم وقوة التلاصق قبل وبعد التلييد.

### 4. تأثير اضافة معدن الكروم على طوبوغرافية الطلاء (SEM)

تم دراسة طوبوغرافية السطح للعينات التي تم رشها بطريقة الرش الحراري باللهب، والشكل (7) يبين المجهر الالكتروني الماسح بعمق (20µm) وتكبير (1KX) لنماذج العينات بعد اجراء عملية التلييد الحراري عند (1000°C) وعند نسب تدعيم مختلفة من معدن الكروم اذ تبين الصورة (a) نسبة التدعيم (0%) ونلاحظ من خلالها نجاح عملية الطلاء ولكن هنالك عشوائية بتوزيع ذرات النيكل خلال سطح العينة، اما الصورة (b) نلاحظ بشكل واضح وجود مادة التدعيم منتشرة خلال النيكل لكن بكمية قليلة جداً مع عشوائية للسطح وبنسبة تدعيم (2%)، اما الصورة (c) نسبة التدعيم 4% نجد هنالك بداية لانتظام السطح مع تجانس واضح المعالم والابعاد بين النيكل وكاربيد التنكستن ومعدن النيكل، وفي الصورة (d) عند نسبة تدعيم (6%) من الكروم نجد بداية النمو البلوري بسبب الحرارة وتجانس واضح بين المكونات دلالة على انتشار مواد التدعيم خلال سطح النيكل وتغلغلها، اما الشكل (e) وعند نسبة تدعيم (8%) بعمق (50µm) وتكبير (500X) نلاحظ الحصول على سطح واضح جداً ومتناسق وهنالك تشابك بلوري مميز بين كل من مادة الاساس ومادة التدعيم مع توزيع لمعدن النيكل بجميع اجزاء السطح وهذا يتناسق مع النتائج التي تم الحصول عليها في الصلادة والمسامية وقوة التلاصق، اذ ان للكروم قابلية الانتشار ضمن اساس النيكل ليشكل بذلك سبيكة بلورية معدنية ذات صلادة عالية والتي وصلت الى (840 كغم/مم<sup>2</sup>)، وهذه الصلادة المايكروية تبين مدى قوة وتجانس المترابك المستخدم، وان زيادة نسب التدعيم سوف تؤثر سلباً على الطلاء ويحصل تكتل يساهم أضعاف السبيكة، كما ان كاربيد التنكستن ذو النسبة الثابتة (5%) يمتلك صلادة عالية لذا فان حبيباته تعمل عوائقاً لتشوه المادة الأساس بسبب صلادتها العالية وسوف تؤدي بالتالي إلى إعاقة حركة الانخلاع (انفصال البنية البلورية عن بعضها البعض للمادتين) بنسبة اكبر عند زيادة محتواه في المترابكات وبهذه الحالة ينبغي أن يكون الإجهاد كبيراً لكي تمر الانخلاع من خلال الحبيبات وبذا يتطلب زيادة الحمل المسلط وهذا يعني زيادة في قيم الصلادة وقوة التلاصق وبالتالي انخفاض نسب المسامات الظاهرة خلال النماذج [18-20].



شكل 7 : المجهر الالكتروني الماسح (SEM) لنماذج العينات عند نسب تدعيم مختلفة وبعد التلييد الحراري.

ان الاستنتاج المهم من البحث الحالي هو امكانية اجراء الطلاء بالرش الحراري بالذهب للنظام (Ni-5WC-Cr) وتم اجراء فحص الصلادة والمسامية وقوة التلاصق بالإضافة الى فحص المجهر الالكتروني الماسح للنماذج المحضرة قبل وبعد اجراء التلييد الحراري عند (1000°C)، حيث وجد ان لمادة التدعيم المضافة من كاربيد التنكستن ومعدن الكروم وكذلك عملية التلييد الحراري الاثر الكبير في تغيير بعض خصائص معدن النيكل التركيبية منها (المجهر الالكتروني الماسح) والفيزيائية، الميكانيكية منها (الصلادة، قوة التلاصق والمسامية) التي تحسنت وبشكل كبير من خلال النتائج (أعلى صلادة ( 840 كغم/مم<sup>2</sup>) ، أعلى قوة تلاصق هي (46 ميغا باسكال) بتناسب طردي مع مادة التدعيم ، بينما أقل مسامية كانت (8%) بتناسب عكسي مع مادة التدعيم)، كما ان وجود كاربيد التنكستن الذي عمل كمادة ربط بين مكونات المواد عمل على زيادة تحسين النتائج.

## References

1. Wu, Z., Li, S., Fan, X., Vogel, F., Mao, J., & Tu, X. (2023). In-situ preparation of robust self-lubricating composite coating from thermally sprayed ceramic template. *Journal of Advanced Ceramics*, 12(2), 357-372.
2. Fauchais, P. L., Heberlein, J. V., & Boulos, M. I. (2014). *Industrial applications of thermal spraying technology*. In *Thermal spray fundamentals* Springer, Boston, MA, 1401-1566.
3. Galedari, S. A., Mahdavi, A., Azarmi, F., Huang, Y., & McDonald, A. (2019). A comprehensive review of corrosion resistance of thermally-sprayed and thermally-diffused protective coatings on steel structures. *Journal of Thermal Spray Technology*, 28(4), 645-677.
4. Darweesh, S. Y., Ali, A. M., Khodair, Z. T., & Majeed, Z. N. (2019). The effect of some physical and mechanical properties of cermet coating on petroleum pipes prepared by thermal spray method. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 19(6), 1726-1738.
5. Sergi, R., Bellucci, D., & Cannillo, V. (2020). A comprehensive review of bioactive glass coatings: State of the art, challenges and future perspectives. *Coatings*, 10(8), 757.
6. Ahmed, H. H., Ahmed, A. R., Darweesh, S. Y., Khodair, Z. T., & Al-Jubbori, M. A. (2020). Processing of Turbine Blades Using Cermet Composite Materials. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 20(6), 2111-2118.
7. Tesar, T., Musalek, R., Medricky, J., Kotlan, J., Lukac, F., Pala, Z., ... & Curry, N. (2017). Development of suspension plasma sprayed alumina coatings with high enthalpy plasma torch. *Surface and Coatings Technology*, 325, 277-288.
8. Darweesh, S. Y., Jassim, I. K., & Mahmood, A. S. (2019, September). Characterization of cermet composite coating Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ni system. In *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 1294 (2), 022011.
9. de Campos, P. K., Cardoso, B. R., Furtado, H. C., Pimenta, A. R., & Diniz, M. G. (2020). Characterization of mechanical and surface finishing properties of metallic coating obtained by arc electric thermal spray. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 11078-11090.
10. Odhiambo, J. G., Li, W., Zhao, Y., & Li, C. (2019). Porosity and its significance in plasma-sprayed coatings. *Coatings*, 9(7), 460.
11. Amanov, A. (2019). Wear resistance and adhesive failure of thermal spray ceramic coatings deposited onto graphite in response to ultrasonic nanocrystal surface modification technique. *Applied Surface Science*, 477, 184-197.
12. Chen, Z., Li, H., Ren, L., Li, Y., & Liu, C. (2020). Effect of Tungsten Carbide Addition on the Wear Resistance of Flame-Sprayed Self-Lubricating Ni-Graphite Coatings. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29(2), 1156-1164.

13. Sabzi, M., Dezfuli, S. M., & Far, S. M. (2018). Deposition of Ni-tungsten carbide nanocomposite coating by TIG welding: Characterization and control of microstructure and wear/corrosion responses. *Ceramics International*, 44(18), 22816-22829.
14. Hasan, D. H., & Fathi, S. J. (2021). Properties and Electrical of Nano composite (Ni<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>Fe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>) prepared by sol-gel. *Samarra Journal of Pure and Applied Science*, 3(4), 134-147.
15. Ali, M. Y., & Ali, A. M. (2022). Effect of annealing temperature on the structural, optical and topographical properties of cadmium oxide (CdO) nanoparticles Films. *Samarra Journal of Pure and Applied Science*, 4(3), 89-99.
16. Munday, G., Hogan, J., & McDonald, A. (2020). On the microstructure-dependency of mechanical properties and failure of low-pressure cold-sprayed tungsten carbide-nickel metal matrix composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 396, 125947.
17. Luo, X., Smith, G. M., & Sampath, S. (2018). On the interplay between adhesion strength and tensile properties of thermal spray coated laminates—Part I: High velocity thermal spray coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*, 27(3), 296-307.
18. Yung, T. Y., Chen, T. C., Tsai, K. C., Lu, W. F., Huang, J. Y., & Liu, T. Y. (2019). Thermal spray coatings of Al, ZnAl and inconel 625 alloys on SS304L for anti-saline corrosion. *Coatings*, 9(1), 32.
19. Humeedi, S. H., Shafeek, N. A., Ahmeed, H. H., & Darweesh, S. Y. (2020, November). The Effect of Adding Titanium Nanoparticle Oxide on the Physical Properties of Nickel by Powder Method. In *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 1664( 1), 012078.
20. Salih, E. J., Allah, S. M. A., Darweesh, S. Y., & Mohammed, H. A. (2021, September). Study of some of the physical variables of a metal-based system using the powder method. In *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 1999(1), 012068.

## Using Thermal Spraying by Flame to Calculate the Physical Parameters of a Nickel Based System

Nibras M. Ibrahim<sup>1</sup>, Afrah R. Mezher<sup>1</sup>, Salih Y. Darweesh<sup>2</sup>, and Adil Alshoaibi<sup>3</sup>

1 Department of Aldour Education, Education of Saladin, Iraqi Ministry of Education General Directorate, Iraq.

2 Department of Physics, College of Education Tuz Khurmatu, Tikrit University, Tikrit, Iraq.

3 Department of Physics, College of Science, King Faisal University, Al Ahsa, Saudi Arabia.

### Article Information

Received: 13/02/2023

Accepted: 08/03/2023

### Keywords:

*Thermal spraying, cermet materials, metallic system, chrome, composites.*

### Corresponding Author

E-mail:

[salih.youins@tu.edu.iq](mailto:salih.youins@tu.edu.iq)

Mobile: 009647703978848

### Abstract

The method of thermal spraying by flame was used to treat turbine blades used in electric power stations and oil pipelines that suffer from external corrosion, cracks and damage, where a nickel coating was prepared with two materials, the first is tungsten carbide WC at a constant rate (5%) and the second is chromium metal (Cr%) with different percentages (0,2,4,6,8) %. Samples of a square shape with a diameter of (1cm) were prepared from out of service turbine blades after they were cut, and then the powders were mixed as a whole well and the coating was carried out by a thermal spraying device with a flame. The samples were sintered with heat at (1000°C) for only two hours. After that, the Vickers hardness, porosity and adhesion strength test was carried out, and pictures of the samples were taken through a scanning electron microscope with increasing the reinforcement ratios. Where the highest hardness was (840 kg/mm<sup>2</sup>), and the highest adhesion strength was (46 MPa) in direct proportion to the support material, while the least porosity was (8%) in inverse proportion to the support material. It showed the amount of crystalline consistency and mechanical interlocking, which in turn gave distinctive and encouraging results, as it was found that the best strengthening percentage was (8%), as the surface consistency and the distinct crystallineness of the powders sprinkled on the base of the coating were noted.