



تحري بعض خواص طبقة الطلاء (Zn-Ni-SiC) المترسبة على نماذج من الفولاذ واطى الكربون

نبأ ستار راضي

جليل كريم أحمد

عبد الواحد كاظم راجح

جامعة بابل/ كلية هندسة المواد

الخلاصة:

يهدف هذا البحث لادخال تحسينات إضافية على خواص طبقة الطلاء (Zn-Ni) ، حيث تم إضافة مادة سيراميكية هي كارييد السيليكون التي تمتاز كمثيلاتها من المواد السيراميكية بخواصها الميكانيكية الجيدة .

تتضمن هذه الدراسة التحري عن بعض خواص طلاء (Zn-Ni) بعد اضافة مادة كارييد السيليكون بحجمها المايكروبي ($\approx 73\mu\text{m}$) والنانوبي (70-100nm) المترسبة على نماذج من الفولاذ منخفض الكربون.

تضمنت الخواص المدروسة كلا من اختبار فلورة الاشعة السينية والخشونة والمسامية واختبار الصدمة الحرارية وقد ظهر تطابق بين نتائج اختبار المسامية والخشونة حيث إن هنالك علاقة بينهما إذ ان الخشونة العالية تسبب مسامية عالية وبذلك يكون تسلسل المسامية والخشونة الموجودة في طبقة الطلاء كالاتي: (Zn-Ni) > (Zn-Ni-nSiC) > (Zn-Ni-mSiC). كما أظهرت طبقة الطلاء (Zn-Ni-nSiC) نتائج جيدة في إختبار الصدمة الحرارية.

الكلمات الأساسية: (Zn-Ni)، (Zn-Ni-SiC)، ترسيب، طبقات الطلاء، كارييد السيليكون.

INVESTIGATION SOME PROPERTIES OF (ZN-NI-SiC) COMPOSITES COATING ON LOW CARBON STEEL

Abdalwahid K. Rajih

Jaleel K. Ahmed

Nabaa S. Radhi

Babylon University / Collage of Materials Engineering

dr.nabbaa@gmail.com

ABSTRACT

This work represents an attempt to introduce further improvement on the properties of these coatings, although the (Zn-Ni) deposition is known to be an anomalous electrodeposited process , where added Ceramic materials is (silicon carbide) ,with very good mechanical properties.

Carbon steel samples were coated with (Zn-Ni) and (Zn-Ni-SiC) particles with different particles size of silicon carbide once microscale ($73\mu\text{m}$) and another nanoscale (70-100nm) .After electroplating, these samples were analyzed by X-ray fluorescent to confirm all the content for each alloy.

Keywords: (Zn-Ni), (Zn-Ni-SiC), deposition, coatings, silicon carbide.

المقدمة INTRODUCTION

يمتلك الطلاء الكهربائي أهمية خاصة في العمليات التكميلية بإكسابها مواصفات جيدة لمقاومة التآكل (Corrosion) والحك (Abrasion)، [دليل الطلاء الكهربائي للمعادن، 1989]. كما إن له أهمية كبيرة في الحصول على سطح ناعم ودقة عالية في الأبعاد وتجانس للسطوح وإعطاء مظهر جميل . وقد جرت بحوث عديدة لتحسين أداء طبقات الطلاء وذلك بزيادة لدونتها وتلاصقها وتحسين خواصها الميكانيكية ، [Murphy,1971] . أن الطلاء الكهربائي بسبيكة (Zn-Ni) له أهمية كبيرة وتطبيقات واسعة في حماية الفولاذ لما تتمتاز به من مقاومة جيدة لاسيما إذا كانت نسبة النيكل في سبيكة (Zn-Ni) هي تقريباً (10-15%) وهذه النسبة تعطي تحسناً واضحاً في الخواص الميكانيكية [Karahan, 2008]. كما إنها تخلو من السمية ولا تؤثر على البيئة عند مقارنتها بالكاديوم والكروم ، [Fennessey,1994] .

لقد زاد الاهتمام بطلاء الفولاذ الكربوني بسبائك الخارصين مثل (Zn-Co, Zn-Cd, Zn-Ni) لتحسين الخواص الهندسية سواء الخواص الميكانيكية او الخواص الكيميائية او التآكل. وفي عام 1999 درس الباحث Voevodin وجماعته [Voevodin,etal 1999]، ترسيب طبقات طلاء تحتوي على تراكيب متناهية بالصغر (Nanocomposite) من الكاربيد، تعرف (Diamond-like carbon, (DLC)). تحضر هذه الطبقات من مواد التنكستن-الكربون-الكبريت (W-C-S) وينسب مئوية تتراوح (20-30)% تنكستن و(40-50)% كربون و(20-30)% كبريت. تحتوي هذه الطبقات على حبيبات بحجم (1-2nm) من كاربيد التنكستن و(5-10nm) من كبريتيد التنكستن مغمورة في أرضية عشوائية من (DLC matrix). أن الطلاء بهذه الطبقات (WC/DLC/WS₂) أظهر إحتكاك ويلي قليلين في الإختبارات التي أجريت في جو مفرغ أو في جو من النتروجين الجاف أو في الهواء الرطب. إذ إن معامل الاحتكاك كان بحدود (0.02-0.05).

درس الباحث Hitz وجماعته [Hitz etal,2001] في عام 2001 تأثير إضافة دقائق من الالومينا تقع ضمن (Nanoscale) على طبقة الطلاء الكهربائي للنيكل. أستنتج الباحثون بأن دقائق الالومينا تتكثرت (Agglomerated) بشكل طبقات في أرضية النيكل (Nickel matrix)، وبدون أن تمتلك أي ترتيب بلوري (Crystalline structure)، كما ان التركيب الهيكلي الدقيق (Microstructure) لطبقة الطلاء الناتجة يختلف عما لو تم ترسيب النيكل لوحده وإن سطح طبقة الطلاء الناتجة يكون ناعماً وكثيفاً (Smooth and dense).

قام الباحث محمد عبد المهدي [Mahdi,2007] في 2007، بدراسة تأثير إضافة مادة سيراميكية هي أوكسيد السيليكون (SiO₂) وبحجم دقائق يقع ضمن (Microscale) إلى محلول الطلاء، وأستنتج ان اضافة المادة السيراميكية تحسن الخواص الميكانيكية وخواص الصدمة الحرارية أفضل من الطلاء بسبيكة (Zn-Ni).

الجزء العملي Practical Part:**النماذج المستخدمة Samples Used:**

النماذج المستخدمة عبارة عن فولاذ منخفض الكربون (Low carbon steel(L.C.S)) المبين تركيبه الكيميائي في الجدول (1). حيث تم إجراء التحليل الكيميائي باستخدام جهاز التحليل الطيفي للمعادن.

لقد تم تحضير العينات التي أستخدمت في كل الاختبارات التي أجريت في البحث الحالي على هيئة أقراص بسمك (2mm) وبقطر (15mm)، أي أن مساحتها السطحية الكلية تساوي (447.677mm²). حضرت سطوح العينات بالشكل الآتي حيث تمت عملية التنعيم (Grinding) بصورة كاملة باستخدام أوراق التجليخ (Grit silicon carbide papers) والتي كانت بالتدرج الآتي (1200،1000،800،600،400،240،220). بعد ذلك نُظفت سطوح العينات بالمحاليل القاعدية والحامضية، بعد ذلك أُجريت عملية الطلاء الكهربائي للعينات. كان عدد العينات المطلية بسبيكة (Zn-Ni) خمس عينات وخمس أخرى (Zn-Ni-SiC) وخمس عينات أخيرة (Zn-Ni-SiC).

مستلزمات عملية الطلاء الكهربائي Equipments For Electroplating process:

أُجريت عملية الطلاء الكهربائي في حوض مصنوع من مادة البولي أنثيلين على شكل متوازي مستطيلات بأبعاد (29x21x18) cm، ويستخدم في عملية الطلاء مجهز قدرة (Power supply) يمكنه إعطاء تيار up to 6 Amp، أما فرق الجهد المعطى up to 20 Volt.

يبين الشكل (1) رسماً تخطيطياً لخلية الطلاء الكهربائي، يوضح فيه مواقع الأقطاب. القطبان الموجبان (Anodes)، يتم تعليقهما بحوامل (Hooks) من النحاس والتي تمثل أقطاب من الخارصين بشكل صفيحة (Plate) بأبعاد (35x20x5) mm تحتوي على ثقب بقطر (2mm) لأمكانية التعليق بالحوامل النحاسية. أما القطب السالب (Cathode) فيمثل النماذج المستخدمة وهي من الفولاذ الكربوني المبين تكوينه في الجدول (1) والتي تعلق بحامل (Hook) من النحاس أيضاً، تكون المسافة بين القطب السالب والأقطاب الموجبة حوالي (70mm).

المحاليل المستخدمة في عملية الطلاء Composition Of Electroplating Baths:

استخدمت في البحث حوض طلاء الذي يحتوي على محلول طلاء سبيكة (Zn-Ni)، الجدول

(2) يبين مكونات حوض الطلاء والظروف التشغيلية له، [Teeratananon, 2004].

عملية الطلاء الكهربائي Electroplating Process

تم تحديد نسب مكونات لترين من المحلول بميزان كهربائي حساس بدقة (±0.1mg) تم إضافة مادة كاربيد السيليكون الى محلول الطلاء كمادة عاقلة في محلول الطلاء. جرى بعد ذلك وضع المحلول في داخل حوض الطلاء (بعد قياس الأس الهيدروجيني له، الذي يساوي 5.5 كما مبين في الجدول 2). كان محلول الطلاء يحضر قبل (24 ساعة) من عملية الطلاء ويرج لمدة ساعة واحدة قبل البدء

بعملية الطلاء. ثبتت الأقطاب الموجبة والنماذج المراد طلاؤها، وجهاز الحوض بكثافة التيار والفولتية المطلوبة التي تساوي $(2.5) \text{Amp/dm}^2$ ، عند درجة الحرارة اللازمة لعملية الطلاء. بعد انتهاء الفترة الزمنية المطلوبة لعملية الطلاء والتي تبلغ 60 min. بعد ذلك تستخرج النماذج من حوض الطلاء وتغسل بالماء المقطر ثم الكحول وتجفف بتيار من الهواء الساخن، بعد ذلك تأخذ قراءات الوزن، ثم تحفظ النماذج في الحافظة الزجاجية (Glass desiccators) للتخلص من الرطوبة المسببة للتآكل.

الاختبارات Tests :

1. فلورة الأشعة السينية (XRF) X-Ray Fluorescence

تم إيجاد نسب مكونات طبقات طلاء (Zn-Ni)، (Zn-Ni-mSiC)، و (Zn-Ni-nSiC)، عن طريق تقنية فلورة الأشعة السينية، باستخدام جهاز (X-MET 3000 TX, horizon 600 series,model 2004) الموجود في وزارة العلوم والتكنولوجيا/دائرة معالجة المياه. لقد تم اعتماد الطريقة الكمية في فحص عينات البحث.

2. إختبار خشونة السطح Surface Roughness Test

جرى قياس درجة خشونة السطح لعينة فولاذ مطلية بطبقة (Zn-Ni)، (Zn-Ni-mSiC) و (Zn-Ni-nSiC)، وذلك بإستخدام جهاز فحص الخشونة نوع (TR-100 surface roughness tester) الموجود في وزارة العلوم والتكنولوجيا/دائرة علوم المواد. إذ يمرر الجهاز على سطح العينة المراد قياس الخشونة لسطحها إذ أن الجهاز يحتوي على متحسس يسجل مقدار الخشونة لسطح العينة وتأخذ القراءة بصورة مباشرة من شاشة الجهاز.

3. إختبار الصدمة الحرارية Thermal Shock Test

أجري هذا الاختبار على ثلاث عينات من الفولاذ إحداهما مطلية بطبقة (Zn-Ni)، (Zn-Ni-mSiC) و (Zn-Ni-nSiC)، وذلك بوضعها في فرن كهربائي بدرجات حرارة (500,450,400,350,300,250) °C، ولفترة زمنية (15 min). ثم الاخمد في الماء، بعدها أستمر التسخين بزيادة في درجة الحرارة مقدارها (50°C) في كل مرة ولنفس الفترة الزمنية والاختمد في الماء أيضاً وحتى الوصول إلى درجة حرارة (500°C).

تم حساب التغير في الوزن بالنسبة لوحدة المساحة ($\Delta W/A$)، حيث أخذت قراءات عدة ثم رسمت العلاقة بين التغير بالوزن لوحدة المساحة مع درجة الحرارة.

يعد إختبار الصدمة الحرارية Thermal Shock Test مهماً لتقييم أداء أنواع الطلاءات كافة بشكل عام والاكاسيد النامية على المعادن والسبائك بشكل خاص. إذ إن مقاومة الصدمة الحرارية تعد مقياساً لمدى لدونة (Plasticity) هذه الطبقات وتلاصقها مع المعدن الاساس، إضافة لمدى إستقرارية هذه الطبقة، كما إنها تصف مقدار التوصيل الحراري (Thermal conductivity) للمواد.

4. إختبار المسامية Porosity test

فُحص سطح النماذج في وزارة العلوم والتكنولوجيا/دائرة علوم المواد بإستخدام مجهر ضوئي ولقد تمت معالجة الصورة بإستخدام برنامج (Lucia G) ، حيث تم إجراء الفحص لثلاث عينات هي عينة فولاذ مطلية بطبقة (Zn-Ni) ، (Zn-Ni-mSiC) و (Zn-Ni-nSiC) ، بإستخدام عدسة ذات قوة تكبير (200-X) .

النتائج والمناقشة RESULTS AND DISCUSSION

لقد بينت نتائج اختبار فلورة الاشعة السينية (XRF) نسب المكونات من الخارصين والنيكل لطبقة الطلاء وللتأكد من أن هذه النسب تقع ضمن الطور الاحادي (Gamma) ، الذي تكون فيه نسبة النيكل تتراوح (10-15%) ، [V.Ravindran ,2006، ASM Handbook Vo.3, 1992]، الجدول (3) يبين نسب مكونات طبقات الطلاء .

أجري اختبار خشونة السطح لبيان مدى تأثير إضافة مادة كاربيد السيليكون (SiC) وبحجميها الحبيبيين المختلفين على خشونة السطح لطبقة الطلاء (Zn-Ni) والجدول (4) يبين نتائج اختبار الخشونة لعينات الفولاذ الكربوني المطلية كهربائياً بطبقة (Zn-Ni) ، (Zn-Ni-mSiC) وكذلك الطبقة (Zn-Ni-nSiC) ، كما تم إجراء هذا الاختبار لبيان مدى تأثير خشونة السطح على معدلات التآكل للنماذج المطلية . أستخدمت طريقة (Ra μm) والتي تعني إشارة جانبية للخشونة ذات الطبيعة العشوائية (Random signal).

ومن الجدول (3) يلاحظ إن إضافة مادة (nSiC) لا يؤثر كثيراً على قيم الخشونة وذلك يعزى إلى إن الحجم الحبيبي لهذه الدقائق يساوي (70-100nm) وابعاد الشبكة الحيزية للطور (Gamma) يساوي (Å=8.92) أي أن هذه الدقائق تقوم بغلق الفراغات الموجودة على سطح طبقة الطلاء (Zn-Ni) وبذلك لا تتأثر الخشونة كثيراً. أما في حالة إضافة مادة (mSiC) فيلاحظ إن هنالك زيادة كبيرة في مقدار الخشونة وهذا يعزى إلى كبر الحجم الحبيبي لهذه الدقائق والذي يساوي (73 μm) إذ إن هذه الدقائق لا تستقر في فراغات الشبكة الحيزية لطبقة الطلاء (Zn-Ni) بل إنها تترسب على السطح وهذا يؤدي إلى زيادة الخشونة لهذه الطبقة. إذ إن حجم الحبيبات لمادة (mSiC) في طبقة الطلاء (Zn-Ni-mSiC) كان كبير فأعطى مراكز تنوية بلورية كبيرة (متعددة البلورات) مما أدى إلى إعطاء خشونة أعلى، أما حجم حبيبات مادة (nSiC) في طبقة الطلاء (Zn-Ni-nSiC) كان صغيراً فأعطى طبيعة تبلور عالية مما أعطى نعومة أفضل وهذا ما أكدته نتائج اختبار الخشونة .

ومن الجدير بالذكر أن نسبة الزيادة بالحجم الحبيبي (mSiC) إلى (nSiC) تقريباً يساوي (1000) مرة أكبر وهذا يعزز النتائج التي تم التوصل إليها.

الشكل (2) يبين تأثير الصدمة الحرارية الناتجة عن الاخمام (Quenching) في درجات حرارية مختلفة على الوزن المفقود لطبقات الطلاء المختلفة، لقد تم إبقاء النماذج عند الدرجات الحرارية التالية $^{\circ}\text{C}$ (250، 300، 350، 400، 450، 500) لمدة (15min) ثم يبرد سريعاً بالماء ويسجل التغير بالوزن . ويبدو واضحاً من الشكل (2) إستقرارية طبقة طلاء (Zn-Ni-nSiC) إلى درجة حرارة (450°C) ثم تبدأ بالتقشرة عند درجة حرارة (500°C)، أما طبقة الطلاء (Zn-Ni-mSiC) فنلاحظ أن هنالك فقدان مستمر بالوزن، أما طبقة الطلاء (Zn-Ni) فنلاحظ إن هنالك فقدان طفيف بالوزن عند درجات الحرارة (250°C) بعد ذلك يحصل إستقرار في الوزن إلى درجة حرارة (450°C) ثم تبدأ بالتقشر في درجة حرارة (500°C) أيضاً. إن سبب استقرارية الطبقة الطلاء (Zn-Ni-nSiC) إلى درجة حرارة (450°C) يعزى إلى تلاصق طبقة الطلاء بسطح المعدن، كذلك خلو الطبقة من المسامية إلى حد ما (طبقة مستمرة على كل السطح) هناك سبباً آخر يعزى إلى إن دقائق كاربيد السيليكون المتناهية بالصغر والتي يتراوح قطرها (70-100nm) تقوم بأغلاق الفتحات الموجودة في طبقة الطلاء المعدني إذ إن أبعاد الشبكة الحيزية للطور (Gamma) أي إنها تدعم التركيب الهيكلي ميكانيكياً، كما أن المواد السيراميكية معروفة بدرجات إنصهارها العالية، أما التقشر الحاصل عند درجة حرارة (500°C) فهذا يعود إلى أن المواد السيراميكية لا تتحمل الصدمة الحرارية بدرجات الحرارة العالية بسبب تولد إجهادات حرارية فيها، إذ إن الصدمة الحرارية المتكررة تعد مشكلة خطيرة بالنسبة للمواد غير المعدنية أكثر من المواد المعدنية بسبب قلة معامل التوصيل الحراري ومطيلية المواد غير المعدنية، [إنبا ستار، 2009].

أما فقدان المستمر بالوزن لطبقة الطلاء (Zn-Ni-mSiC) فيعزى إلى التلاصق الضعيف لطبقة الطلاء هذه مع المعدن الاساس، وذلك يعود إلى كبر حجم دقائق كاربيد السيليكون الذي يتراوح بين ($73\mu\text{m}$) والتي يكون تلاحقها ضعيفاً (إرتباطها ضعيفاً) مع الطلاء المعدني ففي حالة التبريد السريع تتولد إجهادات حرارية مما يؤدي إلى إنفصال هذه الجسيمات عن طبقة الطلاء والذي يؤدي إلى فقدان المستمر بالوزن . أما بالنسبة لطبقة الطلاء (Zn-Ni) فإن الاستقرار في فقدان الوزن يعزى إلى التلاصق العالي لطبقة الطلاء مع المعدن الاساس، كما يعد مؤشراً للدونة هذه الطبقة، أما التقشر الحاصل عند درجة حرارة (500°C) فيعود إلى أن هذه الدرجة الحرارية كما هو معروف هي أعلى من درجة إنصهار الخارصين والتي تبلغ (420°C) فعند التبريد السريع تتولد اجهادات حرارية (Thermal stresses) في طبقة الطلاء مما يؤدي إلى إنفصالها عن المعدن الاساس ومن ثم حصول نقصان بالوزن لوحدة المساحة .

أُجريَ إختبار المسامية (Porosity test) لدراسة تأثير المسامية المتولدة في طبقة الطلاء. الأشكال (3 a,b and c) توضح نصف قطر المسامية الموجودة في طبقات الطلاء بإستخدام عدسة ذات قوة تكبير (200X).

يلاحظ من الشكل (a-3) إن المسامات المتكونة في طبقة الطلاء المعدني (Zn-Ni) تكون قليلة (Very low porosity)، هذا يطابق النتائج التي توصل إليها الباحث G.S.Brady وجماعته [G.S.Brady ed al, 2001]. إذ يبلغ معدل نصف قطرها (3.48µm)، وذلك بسبب طبيعة الطلاء الكهربائي بالمعادن الذي يمتاز بمساميته القليلة. لوحظ عند مقارنة نتائج اختبار المسامية مع نتائج اختبار الخشونة أن هنالك علاقة بينهما حيث أن الخشونة العالية كانت تسبب مسامية عالية وبذلك كان تسلسل المسامية والخشونة بالنسبة للفولاذ المطلي وحسب طبيعة طبقة الطلاء كالآتي :



يلاحظ من الشكل (b-3) إن المسامات المتكونة في طبقة الطلاء (Zn-Ni-mSiC) تكون كبيرة الحجم وذلك يعزى إلى كبر حجم دقائق كاربيد السيليكون المستخدم والذي يساوي (73µm)، وجد بأن معدل نصف قطر المسامية المتكونة في طبقة الطلاء (8.16µm)، وهي أكثر من الضعف مما عليه في حالة الطلاء بطبقة (Zn-Ni) والذي يساوي (3.48µm).

يلاحظ من الشكل (c-3) إن المسامات المتكونة في طبقة الطلاء (Zn-Ni-nSiC) تكون صغيرة الحجم وذلك يعزى إلى صغر حجم دقائق كاربيد السيليكون المستخدم والذي يساوي (70-100nm)، ولذلك وجد بأن معدل نصف قطر المسامية المتكونة في طبقة الطلاء (4.2µm) مساوية لما هي عليه في حالة الطلاء بطبقة (Zn-Ni) ونصف مما عليه في حالة طبقة (Zn-Ni-mSiC).

الاستنتاجات CONCLUSION

1. إن إضافة مادة كاربيد السيليكون إلى محاليل الطلاء الكهربائي لسبيكة (Zn-Ni) يجعل طبقة الطلاء الناتجة أقل كلفة من سبيكة (Zn-Ni) التي تعد في نفس الوقت أقل كلفة من طبقة الطلاء (Ni-Zn) لكونها غنية بمعدن الخارصين الرخيص .
2. أظهرت الاختبارات التي أجريت على طبقات الطلاء أن طبقة الطلاء (Zn-Ni-mSiC) يعطي نتائج أفضل من (Zn-Ni-mSiC) وهذا يعزى إلى صغر حجم دقائق كاربيد السيليكون الذي يسند بدوره التركيب البلوري من خلال التلامس الحاصل مع الشبكة البلورية .
3. أظهرت طبقة الطلاء (Zn-Ni-mSiC) نتائج جيدة في اختبار الصدمة الحرارية لان مادة كاربيد السيليكون مادة مقاومة لدرجات الحرارة وذات صلادة عالية فإنعكست صفاتها على سبيكة (Zn-Ni) كما إن نتائج طبقة الطلاء (Zn-Ni-mSiC) كانت أفضل بكثير من نتائج طبقة الطلاء (Zn-Ni-mSiC) وهذا يعود إلى صغر حجم كاربيد السيليكون الذي يجعله متداخلاً بشكل متجانس وعميق في السبيكة .

4. كما أظهرت نتائج إختبار المسامية والخشونة تطابقاً حيث إن هنالك علاقة بينهما حيث أن مسامية عالية تسبب الخشونة العالية وبذلك يكون تسلسل المسامية والخشونة الموجودة في طبقة الطلاء كالاتي:

$$(Zn-Ni-mSiC) > (Zn-Ni-nSiC) > (Zn-Ni)$$

الجدول (1) يوضح النسب المئوية للتركيب الكيميائي لنماذج الفولاذ الكربوني المستخدمة .

C	Si	Mn	Cr	Fe
0.12	0.17	0.65	0.04	Rem

الجدول (2) يبين نسب المكونات لمحاليل الطلاء المستخدمة

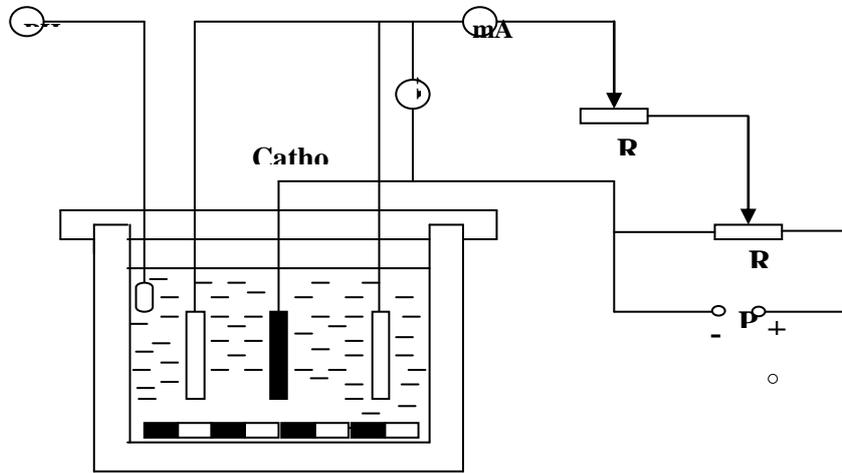
المحلول	التركيب الكيميائي	ظروف الترسيب
Zn-Ni	ZnCl ₂ =83.33 g/l NiCl ₂ .6H ₂ O=40 g/l H ₃ BO ₃ =25 g/l KCl=210 g/l	pH = 5.5 درجة الحرارة=25°C . زمن الطلاء=60 min نيكل (99.9%) كثافة التيار=(2.5)Amp/dm ²
Zn-Ni-mSiC	ZnCl ₂ =83.33 g/l NiCl ₂ .6H ₂ O=40 g/l H ₃ BO ₃ =25 g/l KCl=210 g/l mSiC=32 g/l Microscale, d<<(73)μm	pH = 5.5 درجة الحرارة=25°C . زمن الطلاء=60 min نيكل (99.9%) كثافة التيار=(2.5)Amp/dm ²
Zn-Ni-nSiC	ZnCl ₂ =83.33 g/l NiCl ₂ .6H ₂ O=40 g/l H ₃ BO ₃ =25 g/l KCl=210 g/l nSiC=32 g/l Nanoscale, d<<(70-100)nm	pH = 5.5 درجة الحرارة=25°C . زمن الطلاء=60 min نيكل (99.9%) كثافة التيار=(2.5)Amp/dm ²

الجدول (3) يبين نسب مكونات طبقة الطلاء (Zn-Ni) .

النسبة الوزنية المئوية للعنصر	العنصر	طبقة الطلاء
86.2	Zn	Zn-Ni
13.8	Ni	
81.3	Zn	
12.8	Ni	Zn-Ni-mSiC
5.9	mSiC	
82.5	Zn	
13.3	Ni	Zn-Ni-nSiC
5.2	nSiC	

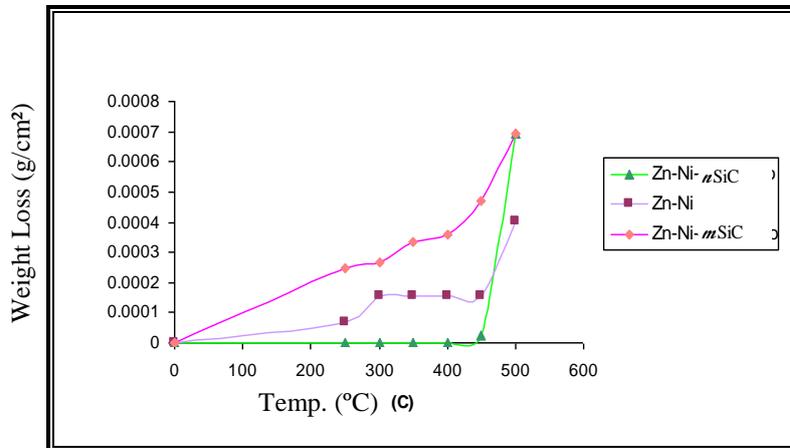
الجدول (4) يبين نتائج إختبار خشونة السطح لطبقات الطلاء .

معدل القراءات (μm)	خشونة السطح (μm)	طبقة التغطية
	0.49	
0.467	0.54	Zn-Ni
	0.37	
	0.93	
0.856	0.86	Zn-Ni- <i>m</i> SiC
	0.78	
	0.59	
0.543	0.37	Zn-Ni- <i>n</i> SiC1
	0.67	

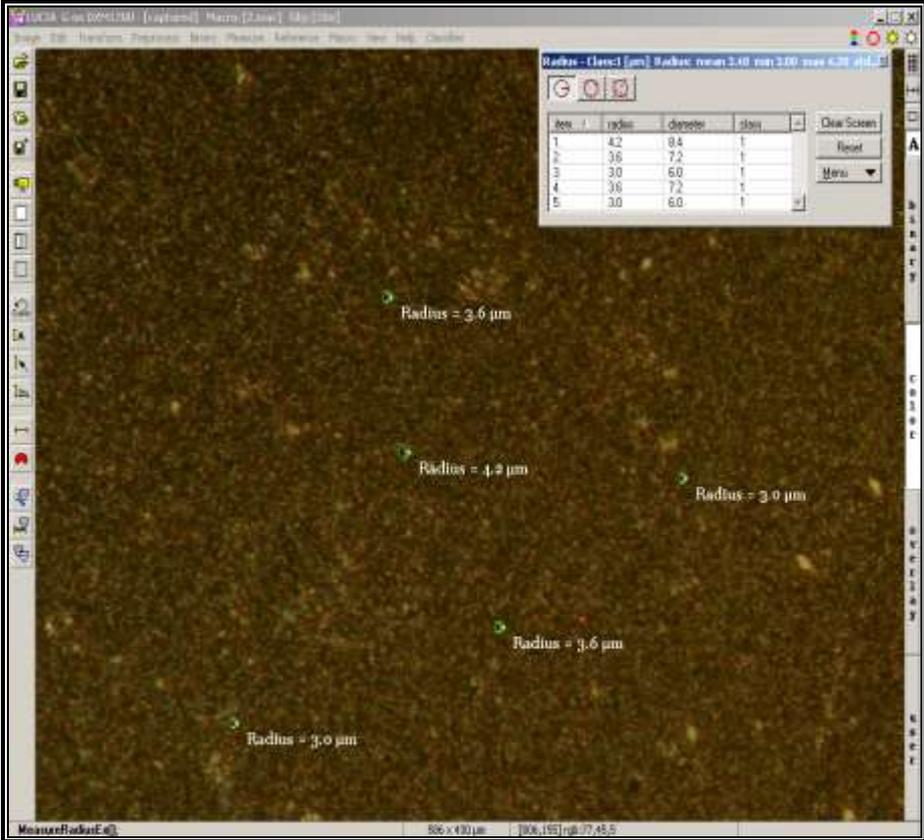


P: Power supply

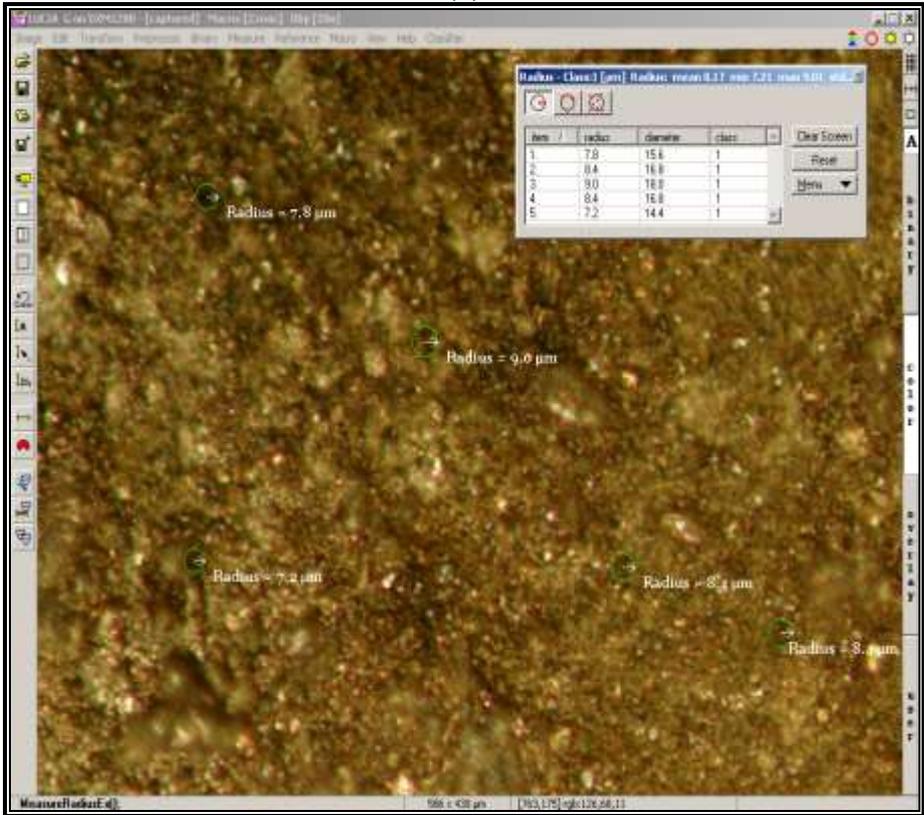
الشكل (1) يبين رسماً تخطيطياً لخلية الطلاء الكهربائي .



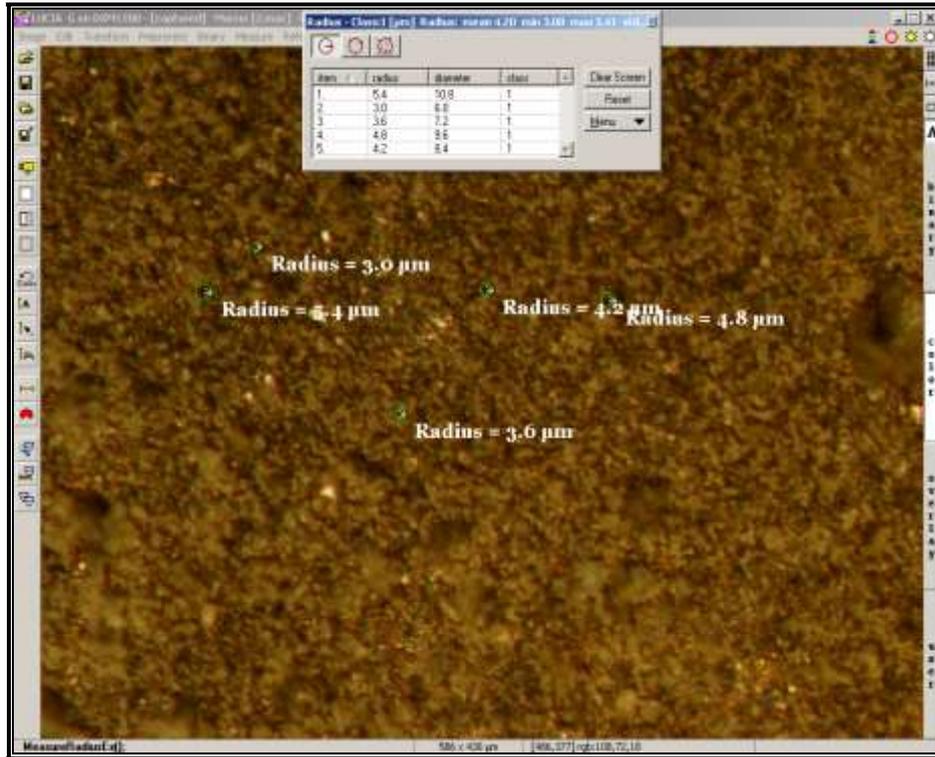
الشكل (2) يوضح تأثير الصدمة الحرارية على الوزن المفقود لطبقات الطلاء للعينات الفولاذية.



(a)



(b)



(c)

- (a) يوضح نصف قطر المسامية الموجودة على طبقة الطلاء (Zn-Ni) .
 (b) يوضح نصف قطر المسامية الموجود على سطح طبقة (Zn-Ni-mSiC)
 (c) يوضح نصف قطر المسامية الموجودة على سطح طبقة الطلاء (Zn-Ni-nSiC) .
 الشكل (3) يوضح نصف قطر المسامية الموجودة على سطح طبقة الطلاء .

المصادر REFERENCES

ASM, Handbook, " Alloy Phase Diagrams", Vo.3, 1992.

A.Voevodin, J.O'Neill, J.Zabinski,1999, " Nanocomposite tribological coatings for aerospace applications", surface and coatings technology, p (36-45). Stimulates, R.H. Graham, SR-71 Revealed, Motorbooks Int, Osceda, WI, USA, and 1997.224pp.

C.Gheorghies,G.Carac,I.V.Stasi,(2001), "Preparation and structural characterization of nickel/alumina nano-particles composite coatings",2006, Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials Vo.8, No.3,p(1234-1237). Stimulates,Hitz,C.,Lasia,A.:Expermental study and modeling of impedance of the her on porous Ni electrodes, Journal of electroanalytical Chemistry, 500-213.

G.S.Brady, H.R.Clanser and J.A.Vaccari,“ **Materials handbook**”, McGraw- Hill Handbooks,15th ed.,2001.

H.Fennessey,1994,“**Technical Alternatives to Cadmium Electroplating**”, operated by Concurrent Technologies Corporation .

I.H.Karahan,2008,“**Electrodeposition and Properties of ZnFeNi alloys**”, The Physical Society of the republic of China, Vol: 46, No.1, P (105-112). stimulates, A.Afshar, A.G. Dolati, and M. Ghorbain, Master. Chem. Phys. 77, 352 (2002).

J.A.Murphy,1971,“**Surface Preparation and Finishes for Metals**”, McGraw-Hill, Inc. .

M.A.AL-Mahdy, 2007,“ **Development of electroplating (Zn-Ni) alloy**”, Ph.D. Thesis, department of Materials-University of Babylon

Manida Teeratananon,2004,“**Current Distribution Analysis of Electroplating Reactors and Mathematical Modeling of the Electroplated Zinc-Nickel Alloy**”,Ph.D.Thesis,Chulalongkorn University,Chemical Technology.

V.Ravindran and V.S.Muralidharan,“**Characterization of zinc-nickel alloy electrodeposits obtained from sulphamate bath containing substituted aldehydes**”,Indian Academy of Sciences, Vo.29,No.3, P(293-301),2006 . Stimulates, Ravindran Visalakshi and Muralidharan VS 2003 J. Sci. Ind. Res.62718.

نبأ ستار راضي، “دراسة خصائص طبقة الطلاء المعدني-السيراميكي للفولاذ المنخفض الكربون”، رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المواد-جامعة بابل، 2009 .

المعهد المتخصص للصناعات الهندسية، 1989، “دليل الطلاء الكهربائي للمعادن” دائرة التعامل الكيميائي، بغداد .