

وقد جرت بحوث عديدة لتحسين أداء طبقات الطلاء وذلك بزيادة لدونتها وتلاصقها وتحسين خواصها الميكانيكية ، [Murphy,1971] . نال الطلاء الكهربائي بسبيكة (Zn-Ni) أهمية كبيرة وتطبيقات واسعة في حماية الفولاذ لما تمتاز 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 [Karahana,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 والتآكل . قام عدد من الباحثين [Voevodin,etal 1999]، بترسيب طبقات طلاء تحتوي على تراكيب متناهية بالصغر (Nanocomposite) من الكاربيد ، تعرف (Diamond-like carbon, (DLC)). تحضر هذه الطبقات من مواد التتكتستن-الكربون-الكبريت (W-C-S) وينسب مئوية تتراوح (20-30)% تتكتستن و (40-50)% كربون و (20-30)% كبريت. تحتوي هذه الطبقات على حبيبات بحجم (1-2nm) من كاربيد التتكتستن و (5-10nm) من كبريتيد التتكتستن مغمورة في أرضية عشوائية من (DLC matrix). أن الطلاء بهذه الطبقات (WC/DLC/WS₂) أظهر إحتكاك وبلق 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).

كما قام عدد من الباحثين [Durairajan etal,2000]، بدراسة تأثير إضافة الفسفور على طبقة الطلاء الكهربائي لسبيكة (Zn-Ni) ، حيث أظهرت السبيكة الثلاثية (Zn-Ni-P) خواص ميكانيكية جيدة. كما قام الباحثون [Ganesan etal,2006] بدراسة تأثير إضافة الكاديوم في طبقة الطلاء الكهربائي لسبيكة (Zn-Ni)، لاحظ الباحثون بأن الطلاء بالسبيكة الثلاثية (Zn-Ni-Cd) أظهرت خواص ميكانيكية افضل من الطلاء بسبيكة (Zn-Ni) أو التغطية بالكاديوم كل منهما على حدة .

في عام 2006 م قام الباحثان (Zhou and Keefe) [Durairajan etal,2000 and] بدراسة تأثير إضافة القصدير (Tin) إلى طبقة الطلاء لسبيكة (Zn-Ni)، وقد أستنتج الباحثان بأن نسبة النيكل أزدادت من (6-8%) عند إضافة كمية قليلة من القصدير، حيث يعمل القصدير هنا كعامل مساعد على زيادة نسبة ترسيب النيكل ضمن سبيكة (Zn-Ni)، كما لاحظا أن الزيادة القليلة في محتوى النيكل لا يحسن خواص سبيكة (Zn-Ni).

قام الباحثان [Ravindran et al,2006] بدراسة تأثير إضافة الالديهايد في محلول الطلاء الكهربائي لترسيب سبيكة (Zn-Ni). استنتج الباحثان أن إضافة الالديهايد يؤدي إلى ترسيب منتظم متجانس لطبقة الطلاء على سطح المعدن الاساس ، وتكون البلورات المترسبة كروية الشكل صغيرة الحجم وخالية من المسامية . كما أن الالديهايد يقلل نسبة الخارصين المترسب إلى (71.7%)، في حين أنه يترسب (85%) في المحاليل سبائك (Zn-Ni) الخالية من الالديهايد ، حيث ان الالديهايد يعمل كعامل مساعد على زيادة نسبة ترسيب النيكل ضمن سبيكة (Zn-Ni) ، وهذه الإضافة تحسن خواص السبيكة.

درس الباحثون [Hitz et al,2001] تأثير إضافة دقائق من الالومينا تقع ضمن (Nanoscale) على طبقة الطلاء الكهربائي للنيكل. أستنتج الباحثون بأن دقائق الالومينا تتكتل (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 [Mahdi,2007] بدراسة تأثير إضافة مادة سيراميكية هي أكسيد السيليكون (SiO_2) وبحجم دقائق يقع ضمن (Microscale) إلى طبقة الطلاء، وأستنتج ان الاضافة السيراميكية تحسن الخواص الميكانيكية 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 بإستخدام 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 ($447.677mm^2$)، أما بالنسبة لعينات إختبار البلى فقد تم تحضيرها بهيئة أسطوانة ارتفاعها (20mm) وقطرها (10mm)، إذ كانت المساحة السطحية التي تتعرض لسطح الاحتكاك (مساحة إحدى القاعدتين) تساوي ($78.54mm^2$). لقد تم تحضير سطوح العينات بالشكل الآتي تمت عملية التنعيم (Grinding) بصورة كاملة بإستخدام أوراق التجليخ (Grit silicon carbide papers) والتي كانت بالتدرج الآتي (220، 240، 400، 600، 800، 1000، 1200). تم بعد ذلك

تنظيف سطوح العينات بالمحاليل القاعدية والحامضية ، تم بعد ذلك اجراء عملية الطلاء الكهربائي للعينات حسب زمن الطلاء المطلوب لكل عينة .

مستلزمات عملية الطلاء الكهربائي Equipments For Electroplating process:

أجريت عملية الطلاء الكهربائي في حوض مصنوع من مادة البولي أنثيلين على شكل متوازي مستطيلات بأبعاد (29x21x18)cm ، ويستخدم في عملية الطلاء مجهر قدرة (Power supply) يمكنه إعطاء تيار up to 6 Amp. ، أما فرق الجهد المعطى. up to 20Volt. يبين الشكل (1) رسماً تخطيطاً 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 الكاربوني 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 خلال فترة البحث حوض الطلاء 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 ($\pm 0.1\text{mg}$) تم إضافة مادة كاربيد السيليكون الى محلول الطلاء كمادة عالقة 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 2.5Amp/dm^2 كما مبين في الجدول 2، عند درجة الحرارة اللازمة لعملية الطلاء . بعد انتهاء الفترة الزمنية المطلوبة لعملية الطلاء والتي تبلغ 60min كما مبين في الجدول 2، لترسيب سمك معين من الطلاء على المعدن 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:

تم في البحث الحالي إجراء الاختبارات الآتية وذلك لتقييم أداء طبقات الطلاء :

قياس سمك طبقة الطلاء : Measurement Of Coating Thickness

في البحث الحالي تم اعتماد طريقتين لقياس سمك طبقات الطلاء .

- الطريقة الأولى تمت باستخدام جهاز قياس سمك طبقة الطلاء (Coating thickness gauge)، لقد كانت دقة الجهاز ($\pm 0.1 \mu\text{m}$). أن مبدأ عمل الجهاز يعتمد على الموجات فوق الصوتية.
- الطريقة الثانية : فكانت تعتمد على قياس سمك النموذج قبل الطلاء ، ثم قياس سمك النموذج بعد الطلاء والفرق في السمك يمثل سمك طبقة الطلاء . في كلا الطريقتين تم اعتماد ثلاث قراءات لكلا وجهي العينة ثم نأخذ المعدل لهذه القراءات ، والذي يمثل سمك طبقة الطلاء . في البحث الحالي كان سمك طبقة الطلاء بحدود ($20-45 \mu\text{m}$).

فلورة الأشعة السينية (XRF) X-Ray Fluorescence

تم إيجاد نسب مكونات طبقات طلاء (Zn-Ni-mSiC) و (Zn-Ni-nSiC)، عن طريق تقنية فلورة الأشعة السينية باستخدام جهاز (X-MET3000TX, horizon600series, model2004)، لقد تم اعتماد الطريقة الكمية في فحص عينات البحث .

إختبار حيود الاشعة السينية (XRD) X-Ray Diffraction

تم استخدام حيود الاشعة السينية لمعرفة التركيب البلوري لطبقة الطلاء المترسبة، لعينات الفولاذ الكاربوني المطلية بطبقة (Zn-Ni)، (Zn-Ni-mSiC) و (Zn-Ni-nSiC)، كما أجري الاختبار على مادة كاربيد السيليكون التي أستخدمت في البحث وبحجميها الحبيبيين المختلفين ضمن $m\text{SiC}$ microscale و $n\text{SiC}$ nanoscale) للتأكد من المادة قيد الدراسة ، بإستخدام جهاز فحص حيود الاشعة السينية (XRD) الذي يكون فيه النحاس هدفاً لتوليد الاشعة والنيكل مرشحاً (Filter) للحصول على أشعة أحادية الموجة ذات طول موجي (1.54Å) وكانت القدرة المجهزة تساوي ($20\text{mA} * 40\text{kV}$) وسرعة مسح النموذج (5deg/min) .

فحص التركيب المجهرى للطلاء Microstructure test of Coating

تم فحص سطح النماذج بإستخدام مجهر ضوئي بتكبير (1000-X) والمرتببط بكاميرا رقمية كما تمت معالجة الصورة بواسطة برنامج (ACT-1). حيث تم إجراء الفحص لأربع عينات هي عينة فولاذ واطى الكاربون من دون طلاء وعينة فولاذ مطلية بطبقة (Zn-Ni)، وعينة مطلية (Zn-Ni-mSiC) وأخرى مطلية (Zn-Ni-nSiC).

إختبار البلى Wear Test

تم اجراء إختبار البلى لمعرفة تلاصق طبقة الطلاء مع المعدن الاساس، حسب المواصفة الامريكية (ASTM-G77) وكان الحمل المسلط على العينة أثناء عملية الاحتكاك بحدود (220g) والذي يمثل مجموع وزن العينة والماسك والأثقال الموضوعة فوق الماسك. اما السرعة الخطية للعينة نسبة الى سطح الاحتكاك $V = 7.03m/Sec$ ، تم اجراء إختبار البلى للعينات الاربع المذكورة في أعلاه قيس الوزن الابتدائي بواسطة الميزان الحساس ثم قيست أبعاد العينة المقابلة للسطح الاحتكاكي ، وحسبت المساحة المحتكة ، وثبتت العينة في الماسك ، ووضعت مكانها من الجهاز ، ثم وضعت الأثقال وشغل الجهاز ، وبعد فترات زمنية مختلفة أخرجت العينة ، وقيس وزنها ثم أعيدت لإتمام الإختبار. ورسمت العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض للبلى .

قياس الصلادة الدقيقة Microhardness Measurement

تم قياس الصلادة الدقيقة أيضاً للعينات الأربعة أعلاه وذلك باستخدام جهاز قياس الصلادة الدقيقة ، وقد كان مقدار الحمل المسلط (200g) وفترة المكوث (25sec) ، لقد تم تسجيل ثلاث قراءات لكل عينة وأخذ المعدل لهذه القراءات ليعطي صلادة فيكرز لها .

النتائج والمناقشة

لقد بينت نتائج أختبار 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%)، [Teeratananon, 2004]، الجدول (3) يبين نسب مكونات طبقات الطلاء .

كما تم إجراء أختبار حيود الأشعة السينية (XRD) X-Ray Diffraction لغرض معرفة نوع الطور المترسب كهربائياً على عينة الفولاذ الكاربوني. الجداول (4 الى 8) تبين نتائج إختبار حيود الاشعة السينية .

ملاحظة أطيايف حيود الاشعة السينية (X-ray) للسبيكة (Zn-Ni) كان واضحاً عند مقارنتها مع زوايا الحيود (γ) في بطاقات (JCPDS) لنفس السبيكة تطابقاً عند الزوايا $(43.01, 44.64, 70.98, 75.38, 77.96, 78.85)$. إن كثافة التبلور لسبيكة كانت عند الاتجاهين (330, 214) مقابل زوايا الحيود $(43.01, 44.64)^\circ$.

يلاحظ عند دراسة أطيايف حيود الاشعة السينية (X-ray) للسبيكة (Zn-Ni-mSiC) ظهور قمم (Peaks) عند نفس الزوايا تقريباً لسبيكة (Zn-Ni) هي $(43.23, 44.63, 48.31)^\circ$ لكن بإنحراف بسيط ، وهذا ناتج عن تداخل مادة كاربيد السيليكون ضمن السبيكة (Zn-Ni) وظهور قمم جديدة

عند الزوايا^o(46.38,46.92) مع السبيكة الاساس (Zn-Ni) هذه القمم عند تلك الزوايا ناتجة عن تبلور جديد للسبيكة الاساس بوجود مادة كاربيد السيليكون.

إحتفظت الطبقة (Zn-Ni-mSiC) بتركيبها البلوري والاطوار البلورية للسبيكة الاساس (Zn-Ni) لكون نسبة مادة كاربيد السيليكون المضافة بحدود % (5.9) وهذه النسبة لا تعمل على إظهار أطوار جديدة لان نسبة كاربيد السيليكون المضاف يجب ان تكون أكثر من 7% حتى تعمل على تكوين أطوار جديدة ، ولكن تعمل على إنحراف زوايا الحيود ومن ثم تغير في المسافات البينية بين مستويات ملر البلورية (hkl) كما تؤثر هذه النسبة لمادة كاربيد السيليكون على حجم التبلور للحبيبات البلورية ، ومن الجدول (5) يكون واضحاً أن هنالك إنحرافاً بزوايا الحيود ، وتغيراً في حجم التبلور نتيجة إضافة كاربيد السيليكون .

إن مادة كاربيد السيليكون في الطبقة (Zn-Ni-mSiC) أدت إلى ظهور مناطق تنوية جديدة في السبيكة الاساس مما عمل على خلق تبلور جديد بإتجاهات مختلفة لزوايا حيود مختلفة جديدة وهذا واضح من الجدول (5). أما نتائج إختبار حيود الاشعة السينية لمادة (nSiC) فيوضحها الجدول (7) . والجدول (8) يبين نتائج إختبار الحيود لطبقة الطلاء (Zn-Ni-nSiC). عند دراسة أطياف حيود الاشعة السينية (X-ray) للسبيكة (Zn-Ni-nSiC) لوحظ ظهور قمم (Peaks) عند نفس الزوايا تقريباً لسبيكة (Zn-Ni) الزوايا^o(43.03,44.73,45.18) لكن بإنحراف بسيط ، هذا ناتج عن تداخل مادة كاربيد السيليكون ضمن السبيكة (Zn-Ni) وظهر قمم جديدة عند الزوايا^o(44.08,45.58) مع السبيكة الاساس (Zn-Ni) هذه القمم عند تلك الزوايا ناتجة عن تبلور جديد للسبيكة الاساس بوجود مادة كاربيد السيليكون. يلاحظ ان التبلور ظهر بكثافة عالية عند الزاوية^o(44.7) بإتجاه (111) ولكن هنالك تداخل أو تقارب ما بين زوايا الحيود رغم ذلك إحتفظت الطبقة (Zn-Ni-nSiC) بتركيبها البلوري ، وبالاطوار البلورية للسبيكة الاساس (Zn-Ni) لكون نسبة مادة كاربيد السيليكون المضافة بحدود % (5.2) وهذه النسبة لا تعمل على إظهار أطوار جديدة، ولكن تعمل على إنحراف زوايا الحيود ومن ثم تغير في المسافات البينية بين مستويات ملر البلورية (hkl) كما تؤثر هذه النسبة لمادة كاربيد السيليكون على حجم التبلور للحبيبات البلورية ، ومن الجدول (8) كان واضحاً أن هنالك إنحرافاً بزوايا الحيود، وتغيراً في حجم التبلور نتيجة إضافة كاربيد السيليكون . إن مادة كاربيد السيليكون في الطبقة (Zn-Ni-nSiC) أدت إلى ظهور مناطق تنوية جديدة في السبيكة الاساس مما عمل على خلق تبلور جديد بإتجاهات مختلفة لزوايا حيود مختلفة جديدة .

أجري فحص التركيب المجهرى لطبقات الطلاء (Microstructure test of Coating).

الاشكال (2a,b,c,d) تبين تضاريس طبقات الطلاء عند قوة تكبير (1000x) . يبدو واضحاً من

الاشكال الفرق في حجم الحبيبات الطلاء المترسبة على سطح العينات الفولاذية ، إذ إن الطلاء بطبقة (Zn-Ni) يكون ذا حبيبات ناعمة وهذا يعزى إلى طبيعة الطلاء المعدني الذي يمتاز بحبيبات صغيرة الحجم قليلة المسامية كما مبين في الشكل (2b). أما الشكل (2c) والذي يمثل طبقة طلاء (Zn-Ni-mSiC) فيكون ذو حبيبات خشنة وذلك بسبب ترسيب دقائق كاربيد السيليكون التي تكون ذات حجم دقائق كبير يتراوح ($73\mu\text{m}$). أما الشكل (2d) والذي يمثل طبقة طلاء (Zn-Ni-nSiC) فيكون ذو حبيبات ناعمة تقترب من حجم الحبيبات المترسبة في حالة الطلاء المعدني بطبقة (Zn-Ni) وذلك بسبب ترسيب دقائق تكون ذات حجم صغير يتراوح قطرها (70-100nm).

اما في اختبار البلى فإن نموذج الفولاذ واطى الكاربون أظهر فقداناً مستمراً بالوزن مع زمن التعرض لسطح الاحتكاك، وذلك يعزى إلى مقاومة الفولاذ القليلة للبلى، لذا نلجأ إلى طرق مختلفة لتحسين مقاومته. أما النموذج الفولاذ المطلي بطبقة (Zn-Ni) فيلاحظ من الشكل (3) أن هنالك تحسن طراً على مقاومة البلى للنموذج الفولاذي، وذلك يعزى إلى طبيعة طبقة (Zn-Ni) الصلدة [Perez,2004].

أما فقدان المستمر بالوزن لطبقة الطلاء (Zn-Ni-mSiC)، بالرغم من كون مادة كاربيد السيليكون مادة صلدة تقاوم البلى [Wang,2000] ، فيعزى إلى التلاصق الضعيف لطبقة الطلاء هذه مع المعدن الاساس ، وذلك يعود إلى كبر حجم دقائق كاربيد السيليكون البالغ ($73\mu\text{m}$) والتي يكون تلاصقها ضعيفاً (إرتباطها ضعيفاً) مع الطلاء المعدني فعند التعرض لسطح الاحتكاك تتفصل هذه الجسيمات عن طبقة الطلاء والذي يؤدي إلى فقدان المستمر بالوزن .

أما التحسن الواضح لمقاومة البلى بالنسبة لطبقة الطلاء (Zn-Ni-nSiC)، يعود لكون مادة كاربيد السيليكون مادة صلدة تقاوم البلى [Perez,2004]، كما يعزى إلى التلاصق الجيد لطبقة الطلاء هذه مع المعدن الاساس وذلك يعود إلى صغر حجم دقائق كاربيد السيليكون الذي يتراوح بين (70-100nm) والتي تكون مغمورة في أرضية الطلاء المعدني فعند التعرض لسطح الاحتكاك تتفصل أجزاء صغيرة من طبقة الطلاء والذي يؤدي إلى فقدان المستمر والقليل بالوزن مع زمن التعرض لسطح الاحتكاك .

تم إجراء اختبار الصلادة الدقيقة لبيان مدى تأثير الطلاء الكهربي بسبيكة (Zn-Ni) على قيم الصلادة الدقيقة للفولاذ واطى الكاربون ولمعرفة تأثير إضافة مادة كاربيد السيليكون (SiC) وبحجمها الحبيبيين المختلفين على قيم الصلادة الدقيقة لطبقة الطلاء (Zn-Ni) ولقيم الفولاذ واطى الكاربون ، الجدول (9) يبين نتائج اختبار الصلادة الدقيقة لعينة الفولاذ الكاربوني وعينة الفولاذ المطلية بطبقة (Zn-Ni) وطبقة (Zn-Ni-mSiC) وكذلك طبقة (Zn-Ni-nSiC).

ومن الجدول أعلاه نلاحظ زيادة قيمة الصلادة للعينة المطلية بطبقة (Zn-Ni) عن عينة الفولاذ الكاربوني وذلك يعزى إلى طبيعة طبقة التغطية (Zn-Ni) التي تكون صلدة، [Lasia,2001]. أن القيم التي حصلنا عليها من نتائج البحث تتفق مع رأي باحثين آخرين في الأدبيات المذكورة ضمن متن البحث ، كما نلاحظ زيادة قيم الصلادة لطبقة (Zn-Ni-mSiC) وكذلك طبقة (Zn-Ni-mSiC)، بسبب كون كاربيد السيليكون مادة صلدة، [Brady etal, 2001 and Keyser,1986]

أما الفرق في قيم الصلادة التي نلاحظها بين طبقة (Zn-Ni-mSiC) وكذلك طبقة (Zn-Ni-mSiC) ، فهذا يعود إلى الفرق في حجم دقائق كاربيد السيليكون في كلا الطبقتين ، إذ إن صلادة المواد تتأثر متأثراً واضحاً بحجم الدقائق ، ورياضياً يمكن تفسيره بالاعتماد على علاقة (Hall-Petch relationship) والتي تنص على ، [Petch,1953] :

$$HV = H_0 + K/\sqrt{d}$$

حيث إن :

HV: صلادة المادة ذات حجم حبيبي صغير .

H₀ : صلادة مادة متعددة الحجم الحبيبي (polycrystalline grain size) .

K : ثابت ، يمثل ميل الصلادة Hv عندما يرسم مقابل $1/\sqrt{d}$ ، وهو يعتمد على نوع المادة.

$1/\sqrt{d}$: قطر الحبيبات .

إن معادلة (Hall-Petch relationship) إحدى النظريات التي تفسر لماذا التراكيب الدقيقة ذات الدقائق فائقة النعومة (Ultra-fine microstructure) تمتاز بقيم صلادة أعلى عند مقارنتها بالدقائق الاكثر خشونة (Coarser-grained) ولنفس المادة الصلدة .

الاستنتاجات Conclusion:

1. إن إضافة مادة كاربيد السيليكون إلى محاليل الطلاء الكهربي لسبيكة (Zn-Ni) يجعل طبقة الطلاء 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 (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) صلادة ومقاومة بليان جيدة لان مادة كاربيد السيليكون مادة خاملة كيميائياً 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 الشبكة كما أن صغر حجمه القريب من المسافة بين الذرات في التركيب البلوري يجعله كجزيئات داعمه لهذا التركيب.

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

ظروف الترسيب	التركيب الكيميائي	المحلول
pH = 5.5 درجة الحرارة=25°C . زمن الطلاء=60 min . Anodes=(99.9%) نيكل كثافة التيار=(2.5)Amp/dm ²	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	Zn-Ni
pH = 5.5 درجة الحرارة=25°C . زمن الطلاء=60 min . Anodes=(99.9%) نيكل كثافة التيار=(2.5)Amp/dm ²	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	Zn-Ni-mSiC
pH = 5.5 درجة الحرارة=25°C . زمن الطلاء=60 min . Anodes=(99.9%) نيكل كثافة التيار=(2.5)Amp/dm ²	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	Zn-Ni-nSiC

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	

81.5	Zn	
13.3	Ni	Zn-Ni-nSiC
5.2	nSiC	

الجدول (4) يبين نتائج إختبار حيود الاشعة السينية لعينة مطلية بطبقة (Zn-Ni) .

2θ(deg)	d-spacing Å	Phase	Intensity(counts)
43.01	2.100	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	895
44.64	2.028	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	187
70.98	1.326	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	2
75.38	1.259	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	4
77.96	1.224	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	2
78.85	1.212	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	63

الجدول (5) يبين نتائج إختبار حيود الاشعة السينية لعينة مطلية بطبقة (Zn-Ni-mSiC) .

2θ(deg)	d-spacing Å	Phase	Intensity(counts)
32.40	2.76	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	20
35.61	2.52	α-SiC	56
42.58	2.12	α-SiC	33
43.23	2.09	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	237
44.63	2.02	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	599
48.31	1.88	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	18
52.12	1.75	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	40

الجدول (6) يبين نتائج إختبار حيود الاشعة السينية لمادة (mSiC) .

2θ(deg)	d-spacing Å	Phase	Intensity(counts)
34.40	2.60	α-SiC	39
35.23	2.56	α-SiC	438
43.11	2.09	α-SiC	185
59.92	2.05	α-SiC	35

الجدول (7) يبين نتائج إختبار حيود الاشعة السينية لمادة (nSiC) .

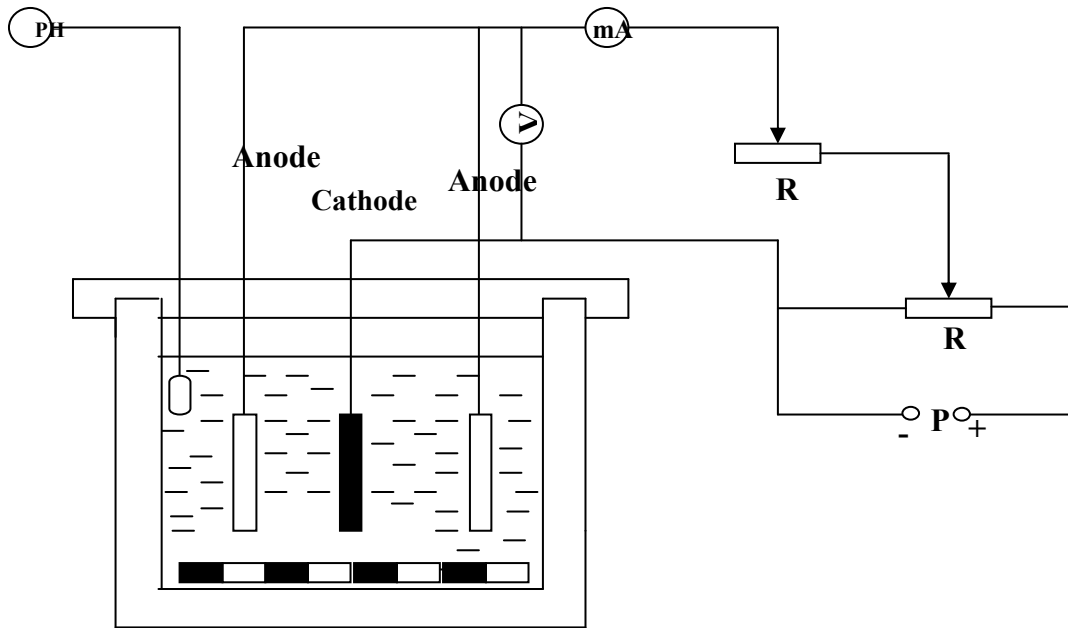
2θ(deg)	d-spacing Å	Phase	Intensity(counts)
34.09	2.62	α-SiC	743
35.63	2.51	α-SiC	2668
38.14	2.35	α-SiC	819
41.39	2.17	α-SiC	252
59.97	1.54	α-SiC	182

الجدول (8) يبين نتائج اختبار حيود الاشعة السينية لعينة مطلية بطبقة (Zn-Ni-nSiC) .

2θ(deg)	d-spacing Å	Phase	Intensity(counts)
43.03	2.10	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	23
44.73	2.02	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	587
45.18	2.00	α-SiC	28
45.58	1.98	γ-Ni ₅ Zn ₂₁	19

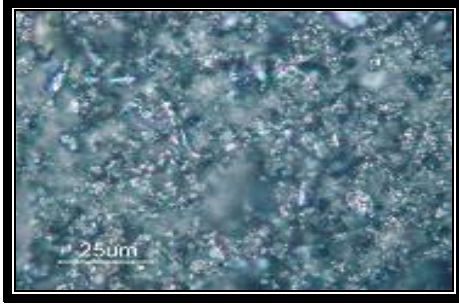
الجدول (9) يبين نتائج اختبار الصلادة الدقيقة للعينات المستخدمة في الدراسة الحالية .

قيم صلادة فيكرز	طبقة التغطية
200	-
231	Zn-Ni
240	Zn-Ni-mSiC
250	Zn-Ni-nSiC

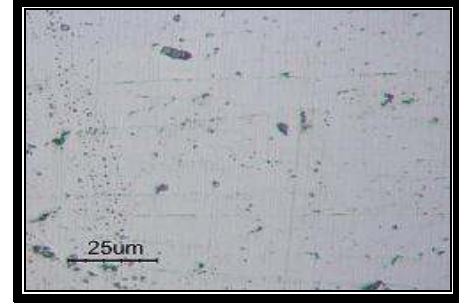


P: Power supply

الشكل (1) يبين رسماً تخطيطياً لخلية الطلاء الكهربائي .



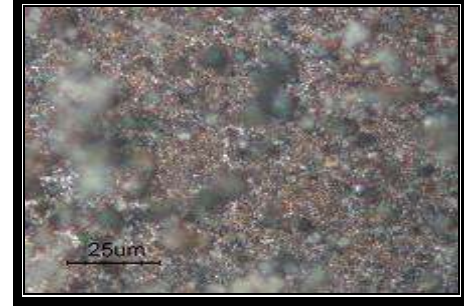
(c)



(a)



(d)



(b)

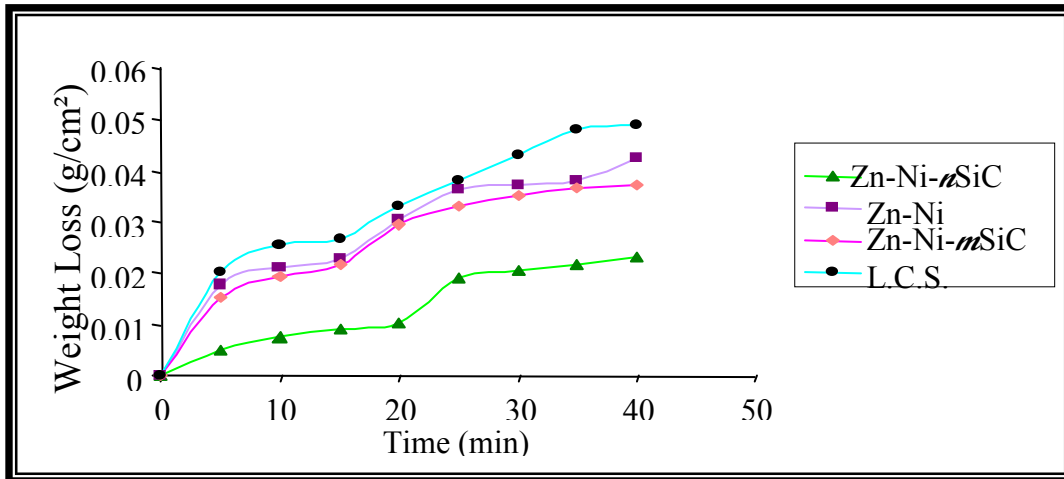
(a) سطح عينة فولاذ كاربوني بدون طلاء.

(b) سطح عينة فولاذ كاربوني المطلية بطبقة (Zn-Ni).

(c) سطح عينة فولاذ كاربوني المطلية بطبقة (Zn-Ni-mSiC).

(d) سطح عينة فولاذ كاربوني المطلية بطبقة (Zn-Ni-nSiC).

الشكل (2) يبين تضاريس سطح العينات عند قوة تكبير (1000x)



الشكل (3) يوضح تأثير زمن التعرض للبلى على الوزن المفقود للعينات .

المصادر References :

المعهد المتخصص للصناعات الهندسية، 1989، "دليل الطلاء الكهربي للمعادن" دائرة التعامل الكيميائي، بغداد .

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

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).

P.Ganesan, S.P.Kumaraguru, B.N.Popov, USA, 2007, "**Development of compositionally modulated multilayer Zn-Ni deposits as replacement for cadmium**". **Stimulates**, N.Muira, T. Saito, T. Kanamaru, Y. Shindo, Y. Kitazawa, Trans. Iron Steel Inst. Jpn. 23 (1983) 913.

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

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.

A.Durairajan, B.S.Haran, R.E.White, and B.N.Popov, 2000, "**Development of a New Electrodeposition Process for Plating of Zn-Ni-X(X=Cd, P) Alloys**", P(1781-1786). **Stimulates**, Z.Zhou and T.J.O.Keefe, surf. Coat. Technol., 96, 191 (1997).

P.Ganesan, S.P.Kumaraguru, B.N.Popov, 2006, "**Development of Zn-Ni-Cd coatings by pulse electrodeposition process**", p (3658-3669). **Stimulates**, Anand Durairajan, Bala S.Haran Ralph E.White, Branko N.Popov, and J.Electrochem. Soc. 147 (2000) 1781.

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

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.: Experimental study and modeling of impedance of the her on porous Ni electrodes, Journal of electroanalytical Chemistry, 500-213.

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.

Nestor Perez, "**Electrochemistry and corrosion science**", united states of America, 2004.

Zhong Lin Wang, "**Characterization of Nanophase Materials**", part1 Technical Approaches, Wiley-VCH Verlag GmbH, 2000.

Petch N.J., "**The Cleavage Strength of Polycrystals**", J.Iron Steel Inst., Vol.174, p(25-28), 1953 .

S.Shivakumara, U.Manohar, Y.A.Naik and T.V.Venkatesha, 2007 "**Influence of additives on electrodeposition of bright Zn-Ni alloy on mild steel from acid sulphate bath**", Indian Academy of Sciences, Vo.30, No.5, P (455-462),. **Stimulates**, Bajat J B, Kacarevic-Popovic Z, Miskovic-Stankovic V B and Maksimovic M D 2000 Prog. Org. Coat. 39 127.