

الطلاء بسببكية اساس (Zn-Ni) لحماية الفولاذ الكربوني من التآكل

نبأ ستار راضي

د. جليل كريم احمد

جامعة بابل/كلية هندسة المواد/قسم المعدنية

جامعة بابل/كلية التمريض

الخلاصة:

في البحث الحالي تم ترسيب طبقة الطلاء (Zn-Ni) كهربائياً على نماذج من الفولاذ واطئ الكربون من محلول طلاء قاعدي التركيب وبسمك طلاء مختلف ، وقد تم استخدام تقنية فلورة الأشعة السينية (XRF) لمعرفة نسب مكونات طبقات الطلاء من الخارصين والنيكل ، كما تم استخدام تقنية حيود الاشعة السينية (XRD) للتحليل الكيميائي لمكونات طبقات الطلاء .

الكلمات الاساسية: الترسيب الكهربائي، طبقة طلاء (Zn-Ni)، تقنية فلورة الأشعة السينية (XRF)، تقنية حيود الاشعة السينية (XRD)، سمك طلاء مختلف.

Protective the carbon steel from corrosion by coating (Zn-Ni) alloy

Abstract:

In this research an attempt to introduce an additional improvement on the properties of (Zn-Ni) electroplated layer. In this work electrodeposited layer of different thickness of (Zn-Ni) from an alkaline solution is performed on samples of low carbon steel. X-ray fluorescent (XRF) used to determine the chemical composition of (Zn-Ni) deposited layer as well as x-ray diffraction (XRD) technique is used to determine the phases of the electrodeposits layer.

Keywords: Electrodeposited, (Zn-Ni) coated layer, electroplated, (XRF), (XRD), different thickness coated.

المقدمة Introduction:

يعد الطلاء الكهربائي بالمواد المقاومة للتآكل من التقنيات المتطورة والتي تساهم إلى حد كبير في الحد من مشكلة التآكل فهو طريقة مثالية لأكساء المعادن بطبقة سطحية رقيقة لها مواصفات تفوق مواصفات المعدن الاساس (Base metal) [المعهد المتخصص للصناعات الهندسية، 1989].

كما يمتلك الطلاء الكهربائي أهمية خاصة في العمليات التكميلية بإكسابها مواصفات جيدة لمقاومة التآكل (Corrosion) والحك (Abrasion) . في بعض الاحيان يستخدم الطلاء لتعديل أبعاد الجزء المطلي [محمد عبد المهدي، 2000]. كما إن له أهمية كبيرة في الحصول على سطح ناعم ودقة عالية في الابعاد وتجانس للسطوح وإعطاء مظهر جميل . وقد جرت

بحوث عديدة لتحسين أداء طبقات الطلاء وذلك بزيادة لدونتها وتلاصقها وتحسين خواصها الميكانيكية ، [J.A.Murphy,1971]. نال الطلاء الكهربائي بسبيكة (Zn-Ni) أهمية كبيرة وتطبيقات واسعة في حماية الفولاذ لما تمتاز به من مقاومة جيدة ضد التآكل في معظم الاوساط الآكلة . لاسيما إذا كانت نسبة النيكل في سبيكة (Zn-Ni) هي تقريباً (10%) وهذه النسبة تعطي تحسناً واضحاً في الخواص الميكانيكية [I.H.Karahan,2008] ، ومقاومة التآكل لهذه السبيكة تفوق مقاومة التآكل للكاديوم والتيتانيوم بأكثر من أربع مرات [P.Ganesan,S.P.Kumaraguru,B.N.Popov,USA, 2007]. كما إنها تخلو من السمية ولا تؤثر على البيئة عند مقارنتها بالكاديوم والكروم ، [H.Fennessey,1994] .

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 الموجود في الشركة العامة للصناعات الميكانيكية في الإسكندرية . لقد تم تحضير العينات على هيئة أقراص بسمك (2mm) وبقطر (15mm) ، أي أن مساحتها السطحية الكلية تساوي (447.677mm²) . لقد تم تحضير سطوح العينات بالشكل الآتي تمت عملية التنعيم (Grinding) بصورة كاملة باستخدام أوراق التخليخ (Grit silicon carbide papers) والتي كانت بالتدرج الآتي (1200،1000،800،600،400،240،220) . 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 أثيلين على شكل متوازي مستطيلات بأبعاد (29x21x18) cm ، ويستخدم في عملية الطلاء جهاز قدرة (Power supply) يمكنه إعطاء تيار يتراوح (0-6)A ، أما فرق الجهد المعطى يتراوح (0-20)V .

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 خلال فترة البحث حوض الطلاء الذي يحتوي على محلول طلاء سبيكة (Zn-Ni) ، الجدول (2) يبين مكونات حوض الطلاء والظروف التشغيلية له ، [Manida Teeratananon,2004].

عملية الطلاء الكهربائي Electroplating Process :

تم تحديد نسب مكونات لترين من المحلول بميزان كهربائي حساس بدقة $\pm(0.1\text{mg})$. جرى بعد ذلك وضع المحلول في داخل حوض الطلاء (بعد قياس الأس الهيدروجيني له) . 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 عند درجة الحرارة اللازمة لعملية الطلاء . بعد انتهاء الفترة الزمنية المطلوبة 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 $(10,25,35\mu\text{m})$ اعتماداً على زمن الطلاء الذي كان (15,30,60 min) على الترتيب .

فلورة الأشعة السينية (XRF) X-Ray Fluorescence :

تم إيجاد نسب مكونات طبقات طلاء (Zn-Ni) ، باستخدام جهاز (X-MET 3000 TX,) (horizon 600 series, model 2004) عن طريق تقنية فلورة الأشعة السينية ، لقد تم اعتماد الطريقة الكمية في فحص عينات البحث .

إختبار حيود الاشعة السينية (XRD) X-Ray Diffraction :

تم إجراء التحليل المعدني بطريقة حيود الاشعة السينية لمعرفة التركيب البلوري لطبقة الطلاء المترسبة ، لعينات الفولاذ الكربوني المطلية بطبقة (Zn-Ni) التي تكون ذات سمك طلاء مختلف .

ومن خلال تطبيق قانون براك (Bragg law) لحيود الاشعة السينية يمكن الحصول على قيم (hkl) المسافة بين المستويات البلورية ، والذي ينص على :

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (1)$$

حيث إن :

n: عدد صحيح .

λ : الطول الموجي.

d: المسافة بين المستويات البلورية والتي تحسب من قانون براك .

θ : زاوية سقوط الاشعة السينية (والتي يمكن إستخراجها من المخطط الذي يعطيه مسجل الحيود) ، ونقوم بمقارنة قيم (θ) التي يتم الحصول عليها من الرسم البياني لحيود الاشعة السينية للعينة قيد الفحص مع قيم (θ) الموجودة في بطاقات حيود الاشعة السينية الصادرة من قبل N 1997 JCPDS-International Centre for Diffraction Data لمعرفة المادة قيد الفحص .

إختبار مقاومة التآكل Corrosion Test :

تشتمل اختبارات التآكل على طريقة فقدان الوزن (weight loss).

• طريقة فقدان الوزن (weight loss):

ان طريقة فقدان الوزن هي ايسط طرق قياس معدل التآكل او ما تسمى بطريقة الغمر البسيط حيث تم غمر عينات الفولاذ من دون طلاء وعينات الفولاذ المطلية بسبيكة (Zn-Ni) وذات أسماك طلاء مختلفة ، في الأوساط التآكلية التالية :

1- ماء الحنفية الاعتيادي.

2- محلول ملحي من كلوريد الصوديوم وبتركيز (3%NaCl) وزناً.

3- محلول حامض الهيدروكلوريك وبتركيز (3%HCl) حجماً.

تم غمر عينات الفولاذ المنخفض الكربون في جميع الاوساط المذكورة اعلاه وذلك لان الفولاذ الكربوني يتأثر بجميع المحاليل الالكترووليتية ولكن بدرجات متفاوتة. مدة غمر العينات في المحاليل تباينت ايضاً واعتماداً على نوع المحلول الالكترووليتي .

تم قياس اوزان العينات بواسطة الميزان الحساس وحساب المساحة السطحية لكل منها قبل غمرها في المحاليل وبعد أزمنة متباينة يتم إخراج العينات من المحاليل وتنظف بالماء المقطر والكحول وتجفف ويتم حساب التغير بالوزن لوحدة المساحة ($\frac{\Delta W}{A}$) حيث يتم اخذ عدة قراءات وصولاً الى اقصى مدة زمنية ثم جرى رسم العلاقة بين التغير بالوزن لوحدة المساحة مقابل زمن الغمر .

اختبار طوبوغرافية السطح Topographic examination :

تم فحص سطح النماذج باستخدام مجهر ضوئي، وقد تمت معالجة الصورة بواسطة برنامج (ACT-1).

حيث تم إجراء الفحص لثلاث عينات فولاذ مطلية بطبقة (Zn-Ni) ذات أسماك طلاء مختلفة ، باستخدام عدسة ذات قوة تكبير (1000-X) .

النتائج والمناقشة:

تم إجراء اختبار حيود الاشعة السينية (XRD) للتأكد من نوع الطور المترسب كهربائياً على عينة الفولاذ الكربوني ، وهل هو الطور (δ) أم لا . الجداول (a3,b3 and c3) والاشكال (a2,b2 and c2) الموضحة في أدناه تبين نتائج اختبار حيود الاشعة السينية . ومن ملاحظة أطيايف حيود الاشعة السينية (XRD) لعينة مطلية بسبيكة $(Zn-Ni)_{60 \text{ min}}$ عند مقارنتها مع زوايا الحيود في بطاقات (JCPDS) لنفس السبيكة تطابقاً واضحاً عند الزوايا $(39.133,41.982,42.923,43.037,45.305)^\circ$ ، كما مبين في الجدول (a3) .

أما نتائج اختبار الحيود لطبقة الطلاء $(Zn-Ni)_{30 \text{ min}}$ فهي موضحة بالشكل (b2) ، ومن ملاحظة أطيايف حيود الاشعة السينية (XRD) لعينة مطلية بسبيكة $(Zn-Ni)_{30 \text{ min}}$ عند مقارنتها مع زوايا الحيود في بطاقات (JCPDS) لنفس السبيكة تطابقاً واضحاً عند الزوايا $(36.356,39.028,43.032,43.262,44.642)^\circ$ ، كما مبين في الجدول (b3) .

أما نتائج اختبار الحيود لطبقة الطلاء $(Zn-Ni)_{15 \text{ min}}$ فهي موضحة بالشكل (c2) ، ومن ملاحظة أطيايف حيود الاشعة السينية (XRD) لعينة مطلية بسبيكة $(Zn-Ni)_{15 \text{ min}}$ عند مقارنتها مع زوايا الحيود في بطاقات (JCPDS) لنفس السبيكة تطابقاً واضحاً عند الزوايا $(36.330,39.034,43.261,44.658,45.305)^\circ$ ، كما مبين في الجدول (c3) .

إن كثافة التبلور للسيكة المترسبة كانت عند الاتجاه [331] مقابل زوايا الحيود $^{\circ}(43.261)$ لعينة مطلية بسبيكة $(Zn-Ni)_{15 \text{ min}}$ ، وكذلك لعينة مطلية بسبيكة $(Zn-Ni)_{30 \text{ min}}$ ، أما بالنسبة لعينة مطلية بسبيكة $(Zn-Ni)_{60 \text{ min}}$. فإن كثافة التبلور كانت عند الاتجاه [330] مقابل زوايا الحيود $^{\circ}(43.037)$.

من ملاحظة الاشكال (a2,b2 and c2) نستنتج ان الشكل (a2) الاكثر تبلور ثم الشكل (b2) ثم الشكل (c2) تبلور وذلك بسبب قلة عدد القمم (Peaks) الظاهرة في الشكل (a2) ، ان معرفة طبقة الطلاء الاكثر تبلور تفيد في معرفة اي طبقة طلاء اكثر تجانس والتي تمتاز بخواص تآكل جيدة .

ان اختبار طوبوغرافية السطح اعطى حجم الحبيبات فقط ولم يحدد الاطوار المترسبة لانه كما نعلم ان تحديد الاطوار يتم باستخدام المجهر الالكتروني الماسح (SEM) والغير متوفر في قطرنا العزيز ، بل تم الاختبار كما بينا سابقاً باستخدام المجهر الضوئي .

يبدو واضحاً من الاشكال (a3,b3 and c3) 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 (a3) وهذا يعود الى زمن الطلاء الطويل الذي يساعد على ترسيب حبيبات ناعمة وهذا كان واضحاً من نتائج اختبار حيود الأشعة السينية إذ اظهرت ان هذه الطبقة اكثر تبلور وذلك بسبب قلة عدد القمم (Peaks) الظاهرة في الشكل المذكور ، اما الشكل (b3) فنلاحظ من الشكل ان الحبيبات تكون اكبر من الحبيبات المتكونة في حالة اذا كان زمن الطلاء ساعة واحدة وهذا يعود الى زمن الطلاء يكون اقصر وبذلك تترسب حبيبات اكثر خشونة وهذا كان واضحاً من نتائج اختبار حيود الأشعة السينية إذ اظهرت ان هذه الطبقة اقل تبلور ، اما الشكل (c3) فنلاحظ من الشكل ان الحبيبات تكون اكبر من الحبيبات المتكونة في حالة اذا كان زمن الطلاء (60 min) او (30 min) وهذا يعود الى زمن الطلاء يكون اقصر وبذلك تترسب حبيبات اكثر خشونة وهذا كان واضحاً من نتائج اختبار حيود الأشعة السينية إذ اظهرت ان هذه الطبقة اقل تبلور .

• نتائج اختبار التآكل في ماء الحنفية الاعتيادي (Tap Water):

جرى هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة وفي ماء الحنفية الاعتيادي حيث تم حساب التغير في وزن العينة لفترات تعرض مختلفة والحصول على الوزن المفقود لوحدة المساحة . والشكل (4) يبين تأثير فترة التعرض لماء الحنفية في الوزن المفقود لعينات الفولاذ الكربوني المطلية بسبيكة (Zn-Ni) وعينة فولاذ بدون طلاء .

أظهر المعدن الاساس (الفولاذ واطئ الكربون) نقصاناً مستمراً بالوزن بزيادة فترة التعرض لماء الحنفية الاعتيادي كما مبين في الشكل (4) . ويعزى ذلك الى ان نواتج التآكل المتكونة خلال فترة التعرض هذه لا توفر الحماية لسطح الفولاذ [Fontana and Green,1978] ، لذلك كان لزمياً البحث عن وسيلة لحماية سطح الفولاذ .

اما طبقات الطلاء ذات زمن طلاء (15,30min) فقد اظهرت زيادة مستمرة بالوزن وبمعدلات مختلفة مع زيادة زمن الغمر في الماء ، ويعزى ذلك لوجود مسامات وتشققات بنسب مختلفة في طبقات الطلاء .

اما طبقة الطلاء ذات زمن طلاء (60 min) فلم تظهر فقدان بالوزن لحد ثلاثة ايام يمكن ان يعزى ذلك الى الحماية الكبيرة التي توفرها نواتج التآكل النامية على طبقة الطلاء بسبيكة (Zn-Ni) ، اعقبها نقصان بالوزن بعد ثلاثة ايام اذ لم تعد تشكل هذه الطبقة حاجزاً فعالاً (Barrier) لمنع التآكل بين المحلول (Tap water) وسطح عينات الفولاذ .

• نتائج اختبار التآكل في المحلول الملحي (Salt Solution):

جرى هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة وفي محلول (3%NaCl) وزناً حيث تم حساب التغير في وزن العينة لفترات تعرض مختلفة والحصول على الوزن المفقود لوحدة المساحة والشكل (5) تبين تأثير فترة التعرض لمحلول (3%NaCl) وزناً في الوزن المفقود لعينات الفولاذ الكربوني المطلية بسبيكة (Zn-Ni) وعينة فولاذ بدون طلاء [V.Ravindran and V.S.Muralidharan, 2006].

ابدت دراسة طبقتي الطلاء (Zn-Ni)_{30min} و (Zn-Ni)_{15min} وعينة الفولاذ الكربوني بدون طلاء نقصاناً مستمراً بالوزن بشكل عام مع زيادة فترة التعرض للمحلول الملحي (3%NaCl) وزناً ، ماعدا طبقة الطلاء (Zn-Ni)_{60min} فقدت اظهرت زيادة بالوزن لحد زمن تعرض للمحلول الملحي بلغ ثلاثة ايام اعقبها نقصان بالوزن ، هذا السلوك يدل على انحلال او ذوبان نواتج التآكل في المحلول الملحي ، اما الفقدان المستمر بالوزن لطبقات الطلاء (Zn-Ni)_{30min} و (Zn-Ni)_{15min} فهذا يتطابق مع حقيقة كون الطبقات الرقيقة تحتوي على نسبة اعلى من المسامية [Scully,J.C.,1990] ، اذا تمثلت هذه المسامية مواقع او ممرات لحركة الايونات ثم زيادة في معدل الفقدان. كما مبين في الشكل (5).

ومقارنة مع التعرض الى ماء الحنفية الاعتيادي فأن معدل الفقدان هنا اكثر من نظيره في ماء الحنفية الاعتيادي ويمكن ان يعزى ذلك الى زيادة ناقلات الشحنة الناتجة عن تأين الملح .

• نتائج اختبار التآكل في المحاليل الحامضية (Acidic Solutions):

جرى هذا الاختبار عند درجة حرارة الغرفة وفي محلول (3% HCl) حجماً حيث تم حساب التغير في وزن العينة لفترات تعرض مختلفة والحصول على الوزن المفقود لوحدة المساحة والشكل (6) تبين تأثير فترة التعرض لمحلول (3% HCl) حجماً في الوزن المفقود لعينات الفولاذ الكربوني المطلية بسبيكة (Zn-Ni) ذات سمك طلاء مختلف وعينة فولاذ بدون طلاء .

اظهرت كافة طبقات الطلاء مرة اخرى نقصاناً مستمراً في الوزن مع زيادة فترة التعرض للمحلول الحامضي كما مبين في الشكل (6) . ومقارنة بقيمة الفقدان في المحلول الملحي المبين في الشكل (5) فان ما تفقده هذه النماذج في دقائق اكثر مما تفقده في ايام في ماء الحنفية الاعتيادي او المحلول الملحي . ان الزيادة الكبيرة في الفقدان بالوزن للمحلول الحامضي مقارنة ببقية الاوساط يعزى بشكل اساسي الى وجود ايونات الهيدروجين الموجبة (H^+) التي تعمل على تصريف الالكترونات وتعجيل التفاعل .

إن طبقة التغطية (Zn-Ni) توفر حماية ضد التآكل للنموذج الفولاذي المطلية بها وذلك بسبب مقاومة هذه الطبقة للاوساط التآكلية المختلفة ، حيث أن طبقة الطلاء (Zn-Ni) تعد طبقة تضحية أنودية (Sacrificial anode) للمعدن الاساس ، إن هذه المقاومة تأتي من الطور الاحادي (Single phase) (δ) ، الذي كما بينا سابقاً يحتوي نسبة نيكل تتراوح بحدود 10% ، [Manida Teeratananon, 2004] . إن نسبة النيكل هذه تعطي مقاومة ضد التآكل أفضل ست مرات مما لو كان الخارصين مترسباً لوحده ، [Manida Teeratananon, 2004] ، وذلك لان النيكل الموجود في السبيكة المترسبة يعمل على زيادة مقاومة السبيكة ، لان النيكل كما هو معروف عنصر مطيلي (Ductile) لذا سوف يجعل طبقة (Zn-Ni) مقاومة للتآكل في أغلب الاوساط التآكلية ، [A.Weymcersch, L.Renard, J.J.Conrear, R.Winand, M.Jorda] and C.Pellet, 1988 .

لقد بينت نتائج اختبار فلورة الاشعة السينية (XRF) نسب المكونات من الخارصين والنيكل لطبقة الطلاء وللتأكد من أن هذه النسب تقع ضمن الطور الاحادي (δ) ، الذي تكون فيه نسبة النيكل بحدود 10% ، [Manida Teeratananon, 2004] ، الجدول (4) يبين نسب مكونات طبقات الطلاء .

الاستنتاجات:

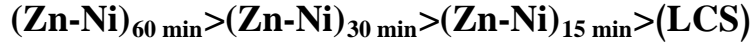
1. البحث الحالي اظهر وجود علاقة بين خواص طبقة الطلاء بصورة عامة وسمكها اذ تبلغ مقاومة التآكل قيم جيدة في كل الاوساط التآكلية لطبقة الطلاء $(Zn-Ni)_{60min}$.
2. ان طبيعة التبلور لطبقات الطلاء الثلاث المترسبة كانت بالترتيب التالي:



3. ان حجم حبيبات الطلاء المترسبة لطبقات الطلاء الثلاث كانت بالترتيب التالي:



4. مقاومة التآكل لطبقة الطلاء (Zn-Ni) في ماء الحنفية الاعتيادي وفي المحلول الملحي لكلوريد الصوديوم (3%NaCl) وزناً وفي المحلول الحامضي لحامض الهيدروكلوريك (3%HCl) حجماً كان بالترتيب التالي :



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 لمحلول الطلاء المستخدم في الدراسة الحالية .

المحلول	التركيب الكيميائي	ظروف الترسيب
Zn-Ni	ZnO=6-12 g/l NiCl ₂ .6H ₂ O=1-1.5 g/l NaOH=100-120 g/l	pH = 12.5 درجة الحرارة=25°C . زمن الطلاء=15,30,60 min. كثافة التيار=(2.5)Amp/dm ²

الجدول (a3) يبين نتائج اختبار حيود الأشعة السينية لعينة مطلية بسبيكة (Zn-Ni) 60 min .

2θ(deg)	d-spacing	Intensity(counts)
39.133	2.200	60
41.982	2.150	69
42.923	2.105	60
43.037	2.086	100
45.305	2.025	60

الجدول (b3) يبين نتائج إختبار حيود الأشعة السينية لعينة مطلية بسبيكة (Zn-Ni) 30 min .

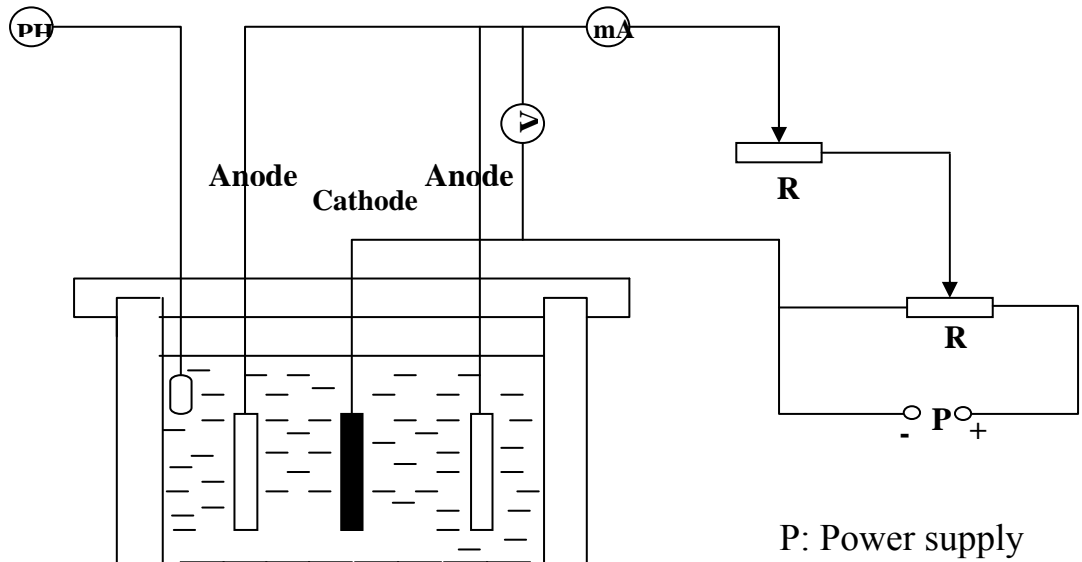
2θ(deg)	d-spacing	Intensity(counts)
36.356	2.469	28
39.028	2.306	25
43.032	2.100	15
43.262	2.089	100
44.642	2.028	20

الجدول (c3) يبين نتائج إختبار حيود الأشعة السينية لعينة مطلية بسبيكة $(Zn-Ni)$ 15 min .

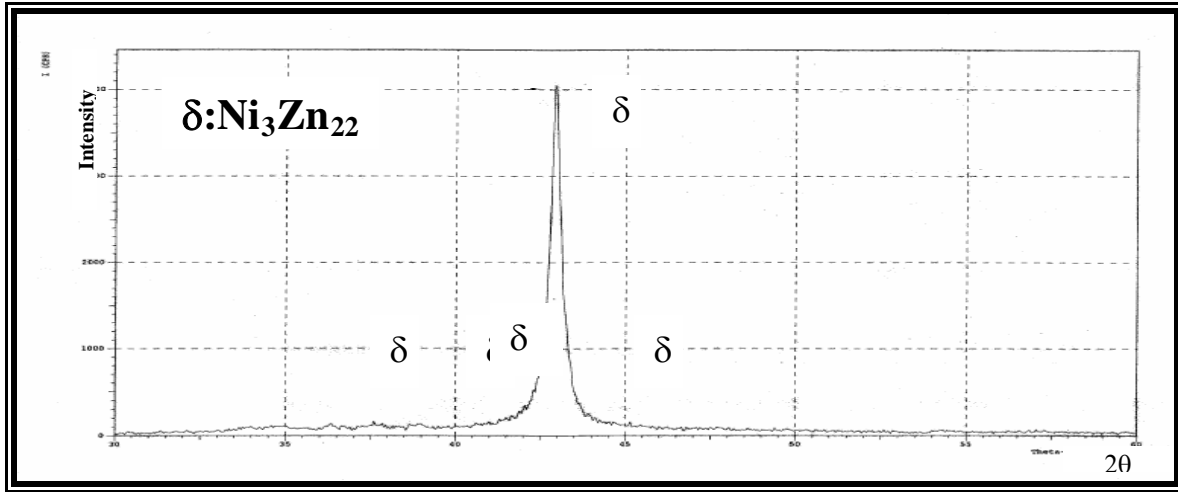
$2\theta(\text{deg})$	d-spacing	Intensity(counts)
36.330	2.470	47
39.034	2.305	28
43.261	2.089	100
44.658	2.027	5
45.305	2.000	20

الجدول (4) يبين نسب مكونات طبقة الطلاء $(Zn-Ni)$.

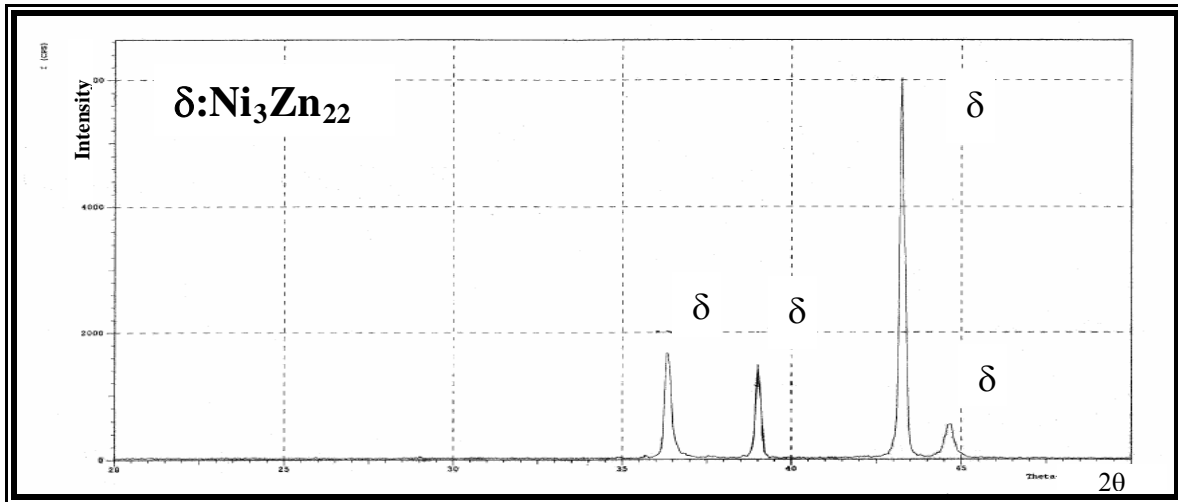
النسبة الوزنية المئوية للعنصر	العنصر	طبقة الطلاء
90.3	Zn	Zn-Ni
9.7	Ni	



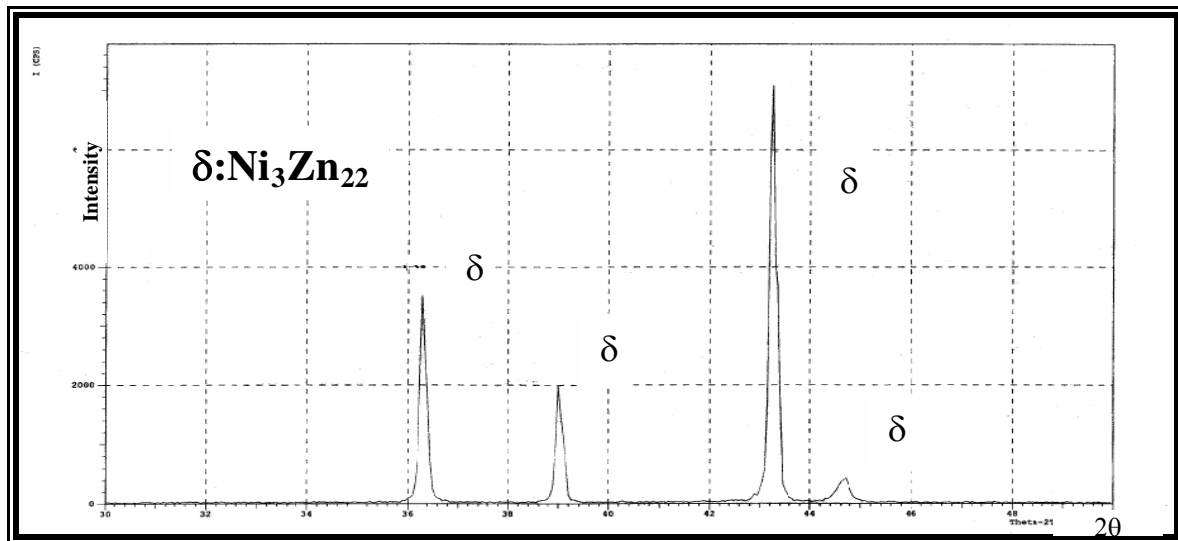
الشكل (1) يبين رسماً تخطيطياً لخلية الطلاء الكهربائي .



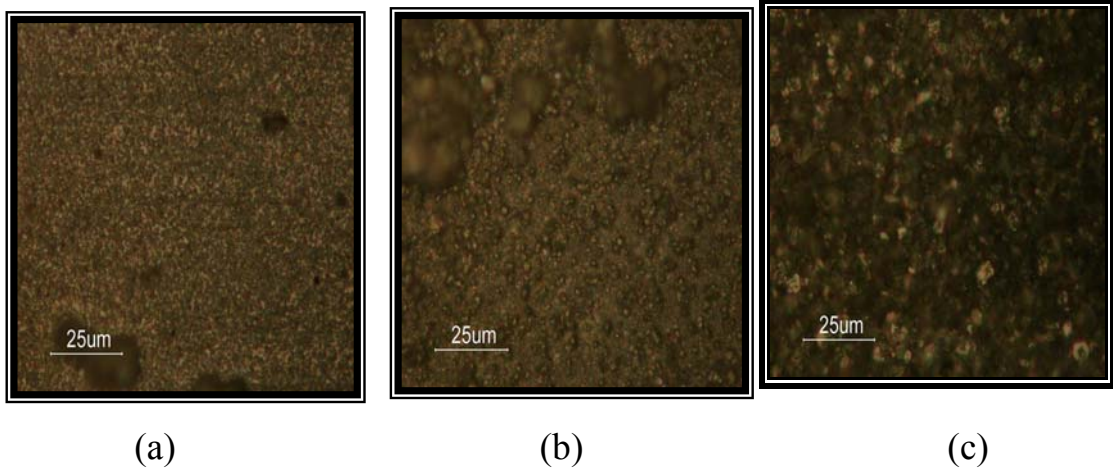
الشكل (a2) يوضح نتائج اختبار حيود الأشعة السينية لعينة مطلية بسبيكة (Zn-Ni) 60min .



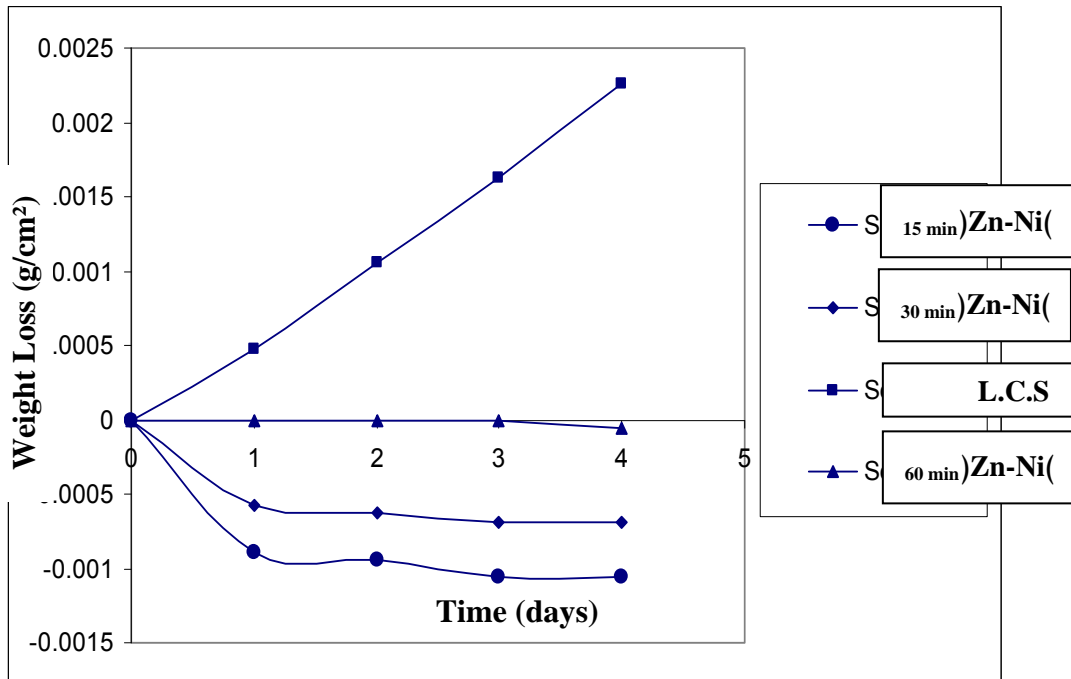
الشكل (b2) يوضح نتائج اختبار حيود الاشعة السينية لعينة مطلية بسبيكة (Zn-Ni) 30 min .



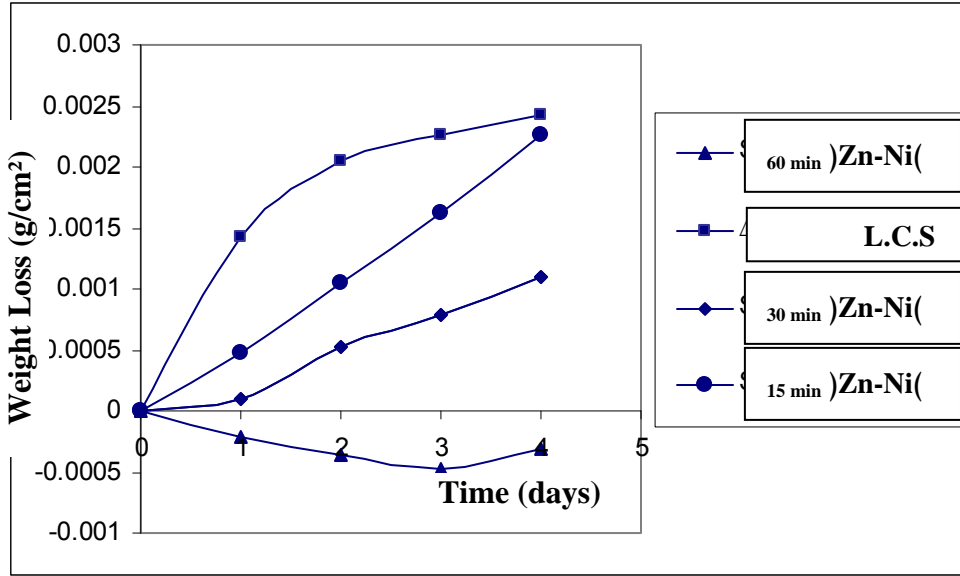
الشكل (c2) يوضح نتائج اختبار حيود الأشعة السينية لعينة مطلية بسببكية (Zn-Ni) 15 min .



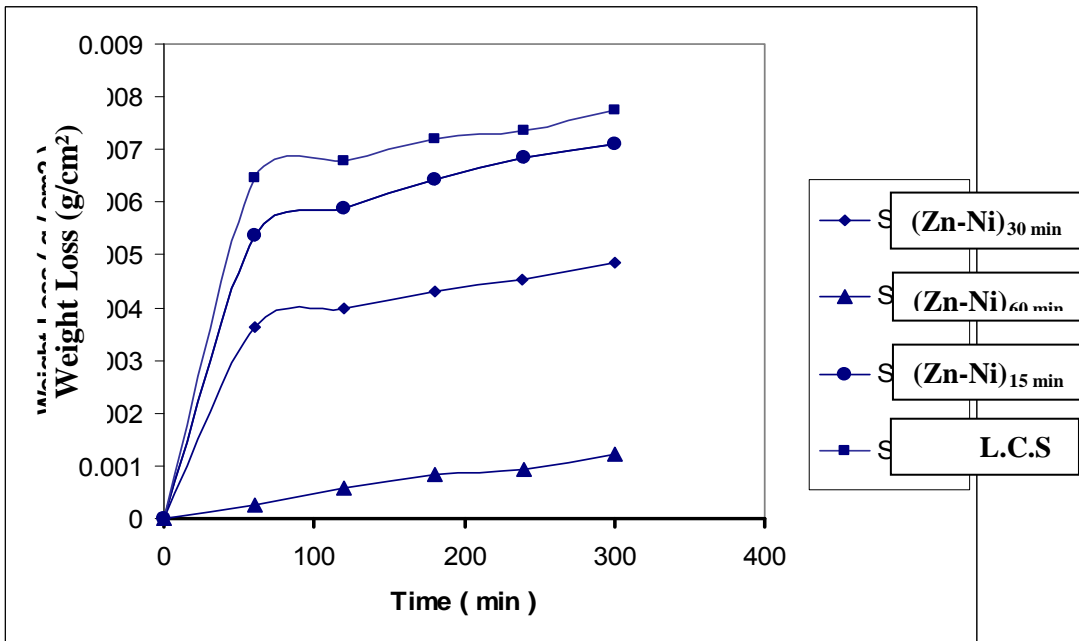
- (a) يبين سطح عينة فولاذ كربوني المطلية بسببكية (Zn-Ni) 60 min
 - (b) يبين سطح عينة فولاذ كربوني المطلية بسببكية (Zn-Ni) 30 min
 - (c) يبين سطح عينة فولاذ كربوني المطلية بسببكية (Zn-Ni) 15 min
- الشكل (3) يبين تضاريس سطح العينات عند قوة تكبير (1000x) .



الشكل (4) يوضح تأثير فترة التعرض لماء الحنفية في الوزن المفقود لعينات الفولاذ الكربوني بدون طلاء وعينات مطلية بسببكية (Zn-Ni) .



الشكل (5) يوضح تأثير فترة التعرض لمحلول (3%NaCl) وزناً في الوزن المفقود لعينات الفولاذ الكربوني بدون طلاء وعينات مطلية بسبيكة (Zn-Ni).



الشكل (6) يوضح تأثير فترة التعرض لمحلول (3%HCl) وزناً في الوزن المفقود لعينات الفولاذ الكربوني بدون طلاء وعينات مطلية بسبيكة (Zn-Ni).

المصادر:

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

محمد عبد المهدي، 2000، "الطلاء الكهربائي لحماية الفولاذ الكربوني" رسالة ماجستير مقدمة إلى قسم هندسة المواد - جامعة بابل .

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 .

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.

Fontana and Green, 1978, "**Corrosion Engineering**", McGraw-Hill, 2nd ed. .

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.

Scully, J.C., 1990, "**The Fundamentals of Corrosion**", Pergamon Press, 3rd ed. .
High-Current-Density Electroplating of Zinc-Nickel and Zinc-Iron alloys", Plating and surface finishing (68-73) .