أهم المشاكل المترتبة على عدم مراعاة الإعتبارات التصميمية فى طلاء المنتجات كهربياً

The Most Significant Troubles Caused by Disregarding Design Considerations in Plating Products Electrically

أ.د. رجب عبد الرجمن عميش

استاذ التصميم المتفرغ بقسم المنتجات المعدنية والحلى -كلية الفنون التطبيقية-جامعة حلوان

Prof. Ragab Abd-Elrahman Emeesh

Professor Emeritus of Design, Department of Metal Products and Jewelry - Faculty of Applied Arts - Helwan University

ragabamish@yahoo.com

أ. د/ محمد العوامي محمد

استاذ معالجة السطح بقسم المنتجات المعدنية والحلي -كلية الفنون التطبيقية- جامعة بنها

Prof. Mohamed El-Awamy Mohamed

Professor of surface treatment at the Department of Metal Products and Jewelery - Faculty of Applied Arts - Benha University

awamymohamed@yahoo.com

م.م/ مروة عبد الرحمن أحمد عبد الرحمن

المدرس المساعد بقسم المنتجات المعدنية والحلى - كلية الفنون التطبيقية – جامعة بنها

Assist. Lect. Marwa Abd-Elrahman Ahmed

Assistant Lecturer, Department of Metal Products and Jewelry - Faculty of Applied Arts - Benha University

marwa.rahman84@gmail.com

ملخص البحث:

إن الهدف الأساسى لعملية الطلاء الكهروكيميائى هو إجراء عملية تغطية بطبقة متجانسة السمك خالية من المشاكل على كل سطح المنتج، ويصعب الحصول على تجانس فى طبقة التغطية مع ظهور بعض العيوب الناتجة عن أخطاء فى العملية التصميمية ولتجنب هذه العيوب يجب مراعاة الإعتبارات التصميمية الخاصة بشكل المنتج ووسائل التعليق وشكل الأنود والسخانات ومعرفة أسباب مشاكل الطلاء الناتجة عن عدم مراعاة الإعتبارات التصميمية وكيفية حلها وتحديد أسس تصميمية ومعايير يجب الأخذ بها.

وعملية الطلاء الكهروكيميائى ليست عملية رخيصة، خاصة في حالة الطلاء بالمعادن الثمينة كالذهب الذى يتطلب مواصفات محددة، والتصميم الجيد يسمح بتطبيق تغطية جيدة، وكثيرا ما يمكن عمل تغييرات طفيفة فى التصميم يمكن أن تساعد بشكل كبير في تبسيط عملية المعالجة وتجنب مشاكل الطلاء الناتجة عن عدم مراعاة الإعتبارات التصميمية وتقليل النفقات.

ويجب على المصمم معرفة الأسس والإعتبارات التصميمية التى تؤثر على جودة عملية الطلاء وكذلك أسباب مشاكل عملية الطلاء الكهروكيميائى حتى يتجنبها من بداية التصميم.

مشكلة البحث:

تكمن مشكلة البحث فى ضرورة معرفة المصمم للإعتبارات التصميمية المؤثرة فى عملية الطلاء الكهروكيميائى، والتى ينتج عن عدم اخذها في الاعتبار عدة مشاكل يصعب علاجها، للوصول إلى جودة لسطح المنتج بأقل التكاليف.

هدف البحث:

إجراء دراسة تحليلية لمعرفة أسباب بعض مشاكل الطلاء الكهروكيميائى المترتبة على عدم مراعاة الإعتبارات التصميمية الخاصة بشكل المنتج ووسائل التعليق وشكل الأنود والسخانات وكيفية علاجها.

فروض البحث:

إن مراعاة الإعتبارات التصميمية الخاصة بشكل المنتج ووسائل التعليق وشكل الأنود والسخانات تؤدى إلى:

- تجنب الكثير من مشاكل الطلاء الكهروكيميائى للمحاليل المختلفة.
- الوصول إلى نتائج أفضل بأقل التكاليف

الكلمات المفتاحية

إعتبارات تصميمية- مشاكل الطلاء الكهروكيميائى – قوة الهجرة الضعيفة– شكل الأنود

Abstract

The main objective of the electroplating process is coverage with uniform thickness distribution without any problem on the entire surface of the product, and it is difficult to obtain uniform thickness distribution with the appearance of some defects resulting from errors in the design process. To avoid these defects, design considerations shoud be observed regarding the shape of the product, racking, The shape of the anodes and heaters, the causes of the plating problems resulting from failure to observe the design considerations should be known as well, in addition to knowing how to solve them. Furthermore, obligatory design principles and critera should be determined.

The process of electroplating is not a cheap process, especially in the case of plating with precious metals such as gold, which requires particular specifications.Good design allows the application of good coverage, and often small changes in design can be made to help greatly in simplifying the treatment process, avoid plating problems resulting from lack of observed design considerations and reduce costs.

The designer must know the principles and design considerations that affect the quality of the coating process, as well as the causes of the problems of the electroplating process in order to avoid them since the beginning of the design.

Statement of Problem

The research problem lies in the necessity for the designer to know the design considerations affecting the electroplating process, which results from not taking into account several problems, as well as to know how to treat them in order to reach a quality surface for the product at the lowest costs.

Purpose

The purpose is to conduct an analytical study to find out the causes of some of the problems of electroplating resulting from failure to observe the design considerations regarding the shape of the product, racking, the shape of the anode and heaters and how to treat them.

Research Hypotheses

Taking into account design considerations regarding the product shape, racking, and the shape of anode and heaters leads to:

- Avoiding many electroplating problems of different solutions.
- Achieving better results at the lowest costs

Keywords

Design considerations - electroplating troubleshooting- poor throwing power- anode’s shape

مقدمة البحث:

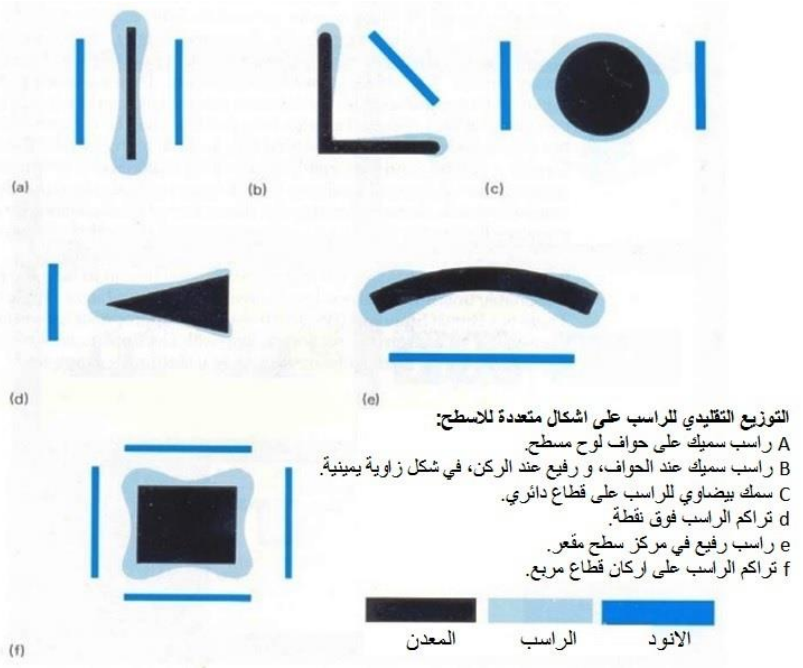
تعد العمليات الكهروكيميائية من العمليات عالية الجودة فى تحقيق أفضل نتائج لمعالجة سطح المنتج المعدنى، وتتطلب هذه العمليات مستوى عال من الإجتهاد والخبرة والدقة للقيام بها بشكل صحيح، وهذا لا يعتمد فقط على المواصفات الدقيقة للعملية الكهروكيميائية ولكن أيضًا يعتمد على العمليات السابق إجرائها على المعدن قبل البدء فى هذه العمليات، ونتيجة لذلك تظهر العديد من العيوب بسبب تعقيد العملية.

ويتناول هذا البحث بعض عيوب الطلاء الكهروكيميائى لسطح المنتج المعدنى الناتج عن أخطاء فى العملية التصميمية والعلاقة بين عملية التصميم وجودة الطلاء الكهروكيميائى لسطح المنتج المعدنى وتحديد أسس تصميمية ومعايير يجب الأخذ بها عند البدء فى عملية التصميم لتحسين جودة سطح المنتج المعدنى، والعيوب التى تظهر فى المنتج بعد إجراء الطلاء الكهروكيميائى تتطلب إعادة العمليات مره أخرى وهذه العمليات غالية الثمن. تتجاوز تكلفتها غالبا تكلفة القيام بها بشكل صحيح في المرة الأولى, لذلك أفضل علاج هو الوقاية، ومن هنا يتضح أهمية معرفة المشاكل المترتبة على عدم مراعاة الإعتبارات التصميمية عند إجراء عملية الطلاء الكهروكيميائى وأسبابها وكيفية حل هذه المشاكل.

الإعتبارات التصميمية المؤثرة فى عمليات المعالجات الكهروكيميائية:

1. إعتبارات تصميمية خاصة بشكل المنتج:

يعتمد أداء عملية الطلاء بشكل كبير على سمك الطبقة المترسبة على السطح المؤثر للمعدن significant surface، ويختلف السمك على سطح القطعة الواحدة، بسبب النتوءات مثل الأركان والحواف الحادة التى يترسب عليها طبقات سميكة غير متناسبة، والإنخفاضات العميقة التى تمثل مشكلة أكبر فعادة ما يكون طلاؤها أقل من السمك المطلوب، ويمكن تعويض هذا من خلال زيادة وقت الطلاء، ولكن من مساوىء هذا الأسلوب ترسيب طبقة طلاء سميكة وغير ضرورية على المناطق الأخرى، مما يزيد من تكلفة الطلاء بالتبعية نتيجة لنقص معدل الإنتاج، إن الأشكال التي تظهر بسيطة يمكن أن يكون توزيع سمك طبقة الطلاء بها غير منتظم إلى درجة كبيرة ما لم يتم مراعاة الإعتبارات التصميمية، وبشكل عام فإن الأشكال الإنسيابية تساعد على تحقيق توزيع جيد للطلاء، ويوضح الشكل(١) تغير سمك طبقة التغطية على سطح مجموعة من الأشكال التقليدية. **(١)**



شكل (١) توزيع سمك طبقة الطلاء

- **بعض القواعد الأساسية لتصميم قطع يتم طلائها لتحقيق أقصى درجة من الإقتصاد والدقة:**

– يجب تجنب التجاويف العميقة(Deep recesses) والمساحات ذات الحواف الحادة بقدر الإمكان، خاصة عندما يكون على الراسب أن يقاوم التآكل أو الصدأ، ويجب تدوير التجاويف وحوافها لنصف قطر ٠,٢ سم على الأقل، وتجنب الزوايا الحادة والقائمة بين الأسطح المختلفة ومراعاة ان تكون الزوايا منفرجة بدرجة لا تقل عن ١١٠°.

– القطع الأنبوبية المفرغة من الداخل(Tubular) يجب أن تكون مغلقة بالكامل أو أن تصمم بحيث يتم تصريف المحاليل منها، لتجنب نقل المحاليل المستخدمة أثناء عملية الطلاء.

– يجب تجنب الثقوب الخفية (blind holes) والتجاويف(recesses) والشقوق والحواف التي يمكنها أن تحبس المحاليل، ويفضل أن تكون المساحة بين الثقوب المتجاورة ضعف أقطارها على الأقل، ويجب أن لا تكون حواف الثقوب والفتحات حادة. **(٢)**

– يجب أن يراعي التصميم الحاجة لتوفير نقطة تعليق في القطع المراد طلاؤها، وأن توفر هذ النقطة توصيل كهربائي جيد، وقد تكون هذه النقطة ثقب أو سلك أو مقبض، ويتم تحديد مكانها على السطح الذي يكون مظهره غير مهم نسبيا.

– الأسطح المحدبة أسهل في طلائها من الأسطح المستوية أو المقعرة، لذلك ينصح بتحدب الأسطح المستوية بدرجة إنحناء لا تقل عن ٠,٠٤ سم/سم٢، وإذا كان لابد من وجود سطح مقعر، فيجب ألا يزيد عمقه عن نصف عرضه.

– النتوءات والأركان والحواف الحادة تجتذب التيار بصورة واضحة، وبالتالي تميل لتراكم المعدن عليها أثناء عملية الطلاء، لهذا يجب تدويرها بنصف قطر ٠,١ سم عل الأقل. **(٣)**

– إن الطلاء الكهروكيميائى للأسلاك اللولبية له مشاكل خاصة، حيث يميل التوزيع لأن يكون غير منتظم مما يمكن أن يسبب صعوبات في التركيب.

2.إعتبارات تصميمية خاصة بوسائل التعليق: (٤)

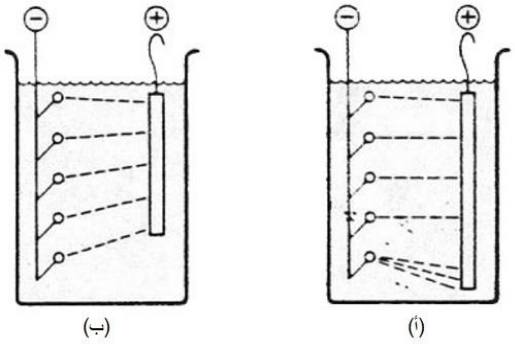
- يجب تصميمها بحيث تحمل القطع المراد طلاؤها في الوضع الملائم لترسيب طبقة الطلاء بشكل منتظم على الأسطح المحددة ولتسهيل عملية التعليق والإنتشال.
- يجب تصنيعها من مواد شديدة التوصيل الكهربائي مثل النحاس أو الألومنيوم، ويكون مقطعها العرضي كافيا لنقل التيار بدون إرتفاع زائد للحرارة.
- من الأفضل إستخدام اللحام في التركيب البنائي للمثبتات بدلا من المسامير.
- يجب تغطية كل المساحات التي لا تلمس القطع أو قضبان التوصيل (buss bars) بالبلاستيسول plastisol لتجنب التآكل وتلوث محلول الطلاء.
- يجب تعليق الأجزاء ذات القطاعات البارزة بحيث تغطي الأجزاء بعضها البعض، أو إذا لم يكن ذلك ممكنا، يجب إستخدام جاذب تيار "current thief or robber" لتقليل كثافة التيار عند النقاط العالية، أو إستخدام حاجز shield لتجنب التيار المرتفع عند الحواف.
- يجب عمل الإتصال الكهربائي بالجزء في مساحة غير مهمة من سطحه.
- يجب أن يكون الطرف العلوي لأداة التلامس أو الرف صلبة بما يكفي لحمل الأجزاء بشكل ثابت والحفاظ على إتصال كهربائي إيجابي.

- يجب تعليق القطع بشكل شبه رأسي قدر الإمكان للتقليل من هدر المحلول عند سحبه من حوض الطلاء، ولتجنب التلوث المتبادل cross-contamination بين المحاليل، ويكون الطرف السفلي مائلا عن الوضع الأفقي لإتاحة المجال لتصريف المحلول من ركن ما.

3. إعتبارات تصميمية خاصة بشكل الأنود:

إن التصميم الجيد لشكل الأنود بالنسبة للكاثود له أهمية كبيرة فى تجانس سمك طبقة الطلاء، فعندما يتخذ الأنود نفس شكل الكاثود ويوضع فى خلية التحليل الكهربى بحيث تكون المسافة بين كل نقطة على سطح الأنود متساوية البعد عن نظيرتها على سطح الكاثود، حتى يتم الحصول على طبقة طلاء متجانسة السمك. **(٥)**

ويجب أن تكون الأنودات أقصر من الكاثودات في معظم حالات الطلاء ومراعاة تغطية الأطراف أو إستخدام جواذب التيار، للتحكم فى توزيع طبقة الطلاء وذلك لتقليل وجود تيار زائد يتدفق عند نهايات وسائل التعليق (شكل٢).



شكل (٢) طول الأنود وكثافة التيار

يجب أن يكون الطرف السفلي للأنود على مسافة ٦ بوصة على الأقل فوق قاع خزان الطلاء، وإذا كانت القطع المراد طلاؤها بها إنخفاضات حادة وضيقة، مثل التجاويف، فقد يساعد تقليل المسافة بين الأنود والكاثود في زيادة سمك الراسب في قاع التجاويف، ولكن بعض القطع تكون ذات تجاويف أو نتوءات أو جيوب سفلية حادة الزوايا لا يمكن طلائها بشكل موحد ما لم تستخدم أنودات متوافقة أو مساعدة

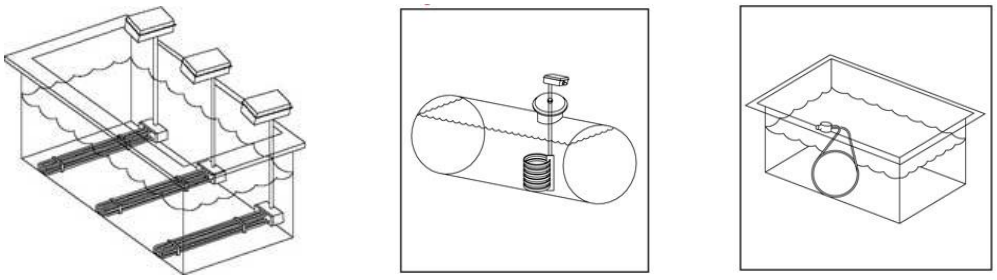
4. إعتبارات تصميمية خاصة بالسخانات:

عادة ما يتم تسخين أحوض الطلاء بإستخدام سخانات غمر كهربائية electric immersion heaters من التيتانيوم titanium أو التفلون teflon، وتحتوي جميعها على عناصر تحكم أتوماتيكية للحرارة، إن سخانات الغمر الكهربائية هى أجهزة مثبتة في أحواض الطلاء لتسخين المحاليل أو الماء، وتمثل طريقة إقتصادية وفعالة فى عملية تسخين المحاليل الكهروكيميائية المستخدمة فى التشطيبات الصناعية، والحرارة الكهربائية ليست محدودة أو مقيدة بالإعتبارات البيئية وغالبًا ما تكون الحل الوحيد لمشكلة محددة، ويتكون تركيب سخان الغمر التقليدى من تعليق ملف بخار على جدار حوض الطلاء، ويكون حجمه مناسب لتسخين الماء إلى درجة الحرارة المطلوبة في ساعتين. في حين أثبتت هذه الطريقة أنها مناسبة في توفير الحرارة وتغطية العديد من عمليات التشطيبات، ولكنها غير مرضية فيما يتعلق بتكاليف الطاقة والتحكم فيها، وذلك لزيادة أوقات التسخين في محاولة للحفاظ على الطاقة وتعويض الفقد الحرارى لذلك يتم إضافة مواد عزل للأحواض والأغطية وغيرها من طرق الحفاظ على الفقد الحرارى. **(٦)**

يجب أن تبدأ عملية التحكم بالحرارة بإختيار الحجم المناسب للسخان بالنسبة لحجم حوض الطلاء، ومن خلال معرفة مساحة وسائل التعليق والقطع المراد معالجتها ومساحة الأنود المطلوبة والمضخات والمرشحات وأنابيب تحريك الهواء والمحلول وأى مستلزمات يتضمنها حوض الطلاء، يتم تحديد حجم حوض الطلاء وتكوينه وتحديد نوع وحجم السخان المناسب له.

وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من سخانات الغمر الكهربائية electric immersion heaters:

1. سخانات الغمر الجانبية over-the-side immersion heaters
2. سخانات الحافة flange immersion heaters
3. سخانات القابس اللولبي screw plug immersion heaters



L-Shaped Installation **Side Mount Installation** **Deep Tank Installation**

شكل (٤) سخانات الغمر الجانبية over-the-side immersion heaters

المشاكل المتعلقة بعدم مراعاة الإعتبارات التصميمية فى الطلاء الكهروكيميائى:

جدول (١) المشاكل العامة لعملية الطلاء

المشكلة	السبب	المعالجة / الحل
لم يتكون راسب (لا يوجد تصاعد غازات) No deposit (No gassing)	لا يوجد تيار (لا تتصاعد الغازات من القطعة)	فحص ومراجعة جميع التوصيلات والأجهزة الكهربائية
طبقة طلاء منقرّة ووجود أثر لقشرة برتقالية اللون Pitted Plate and Orange Peel effect	1- وجود شوائب في محلول الطلاء. 2- تكوّن فقاعات هيدروجين فوق القطعة	1- عمل طلاء تجريبى لمدة ٣٠ دقيقة، فإذا لم يتحسن الوضع، يتم ترشيح المحلول فى مرشح خلال فحم نباتي نشط، وإستبدال مادة اللمعان. **(٧)** 2- إضافة من ٥ إلى ١٥مل من بروكسيد الهيدروجين لكل ٢ جالون من المحلول لتقليل التنقر، وتعديل الإستثارة الهوائية، بحيث يصبح تدفق الهواء أكبر، أو الإستثارة اليدوية للقطعة.
طبقة طلاء خشنة Rough Plate	١- إرتفاع شدة التيار. ٢- وجود جزيئات معلقة في المحلول. ٣- الحامضية(PH) شديدة الإرتفاع أو الإنخفاض. ٤- النسبة بين الأنود والكاثود غير صحيحة. ٥- تذبذب جهاز تعديل التيار ٦- الأنودات غير مناسبة.	١- تخفيض شدة التيار. ٢- تنقية وترشيح المحلول. ٣- التخلص من المحلول، وإعداد كمية جديدة، لتعديل (PH). ٤- تعديل النسبة إلى ١:٢ ٥- إضافة مرشّح لجهاز تعديل التيار، ومساواة (تكافؤ) مفاتيح التفريعtap switches ٦- إستخدام أنودات مناسبة.

رواسب داكنة اللون (خاصة في المناطق المنخفضة) Dark deposits (esp. on low spots)	يوجد زنك، أو رصاص أو نحاس ... إلخ في المحلول (خاصة طلاء الزنك)	عمل طلاء تجريبى لمدة ٣٠ دقيقة فوق كاثود مضلّع، يمكن أن تظهر تلوثات الزنك على شكل مناطق داكنة وفاتحة متعاقبة، ويجب تشغيل الإستثارة الهوائية، وتعديل pH ليصبح في حدود ٣,٥ – ٤,٥
طبقة طلاء "محترقة" 'Burnt' Plate	1- شدة التيار مرتفعة جدا. 2- درجة الحرارة منخفضة. 3- إستثارة ضعيفة (poor agitation) 4- الأنودات شديدة الطول. 5- مادة اللمعان قليلة (Brightener low).	1- تخفيض شدة التيار. 2- تعديل درجة حرارة المحلول. 3- زيادة إستثارة المحلول (Increase agitation). 4- يجب أن يتناسب طول الأنود مع طول الكاثود (قطعة العمل). 5- زيادة مادة اللمعان.
وجود ترسيبات معتمة فوق الطلاء Cloudy depisits on the plate	١- عملية تنظيف أو شطف رديئة ٢- تلوث عضوي ٣- درجة حرارة مرتفعة ٤- إستثارة منخفضة	١- تحسين عملية التنظيف والشطف ٢- تنقية المحلول خلال فحم نباتي نشط موضوع في مرشح قهوة، ثم إستبدال مادة اللمعان ٣- ضبط درجة الحرارة ٤- تحسين الإستثارة الهوائية
طبقة طلاء باهتة Dull plate	١- شدة التيار مرتفعة جدا ٢- لم يتم صقل القطعة جيدا ٣- مادة اللمعان غير كافية.	١- تخفيض شدة التيار. ٢- إزالة طبقة الطلاء وإعادة تلميع القطعة، أو طلائها بالنحاس وتلميع النحاس، ثم إعادة الطلاء. ٣- إضافة مادة لمعان.
طبقة الطلاء تتقشر أو تتبثر (ظهور فقاعات) Plate Peels or Blisters off	١- شدة التيار مرتفعة جدا ٢- شدة سخونة سطح القطعة عند صقلها ٣- عملية إعداد السطح رديئة ٤- الطلاء فوق الصلب	١- تخفيض شدة التيار ٢- تقليل الضغط على عجلة الصقل ٣- تحسين الأسلوب المتبع ٤- وضع طبقة طلاء نيكل تحضيرية فوق الصلب قبل طلاؤه
طبقة الطلاء تتقشر أو تتبثر (ظهور فقاعات) عند وضعها فوق طبقة أساسية من النيكل Plate peels or blisters off when applied to nickel base	١- تأكسد طبقة النيكل ٢- - تحضير ردئ وعملية تنظيف غير كافية ٣- شدة التيار مرتفعة.	١- قبل الطلاء، يتم مسح طبقة الأساس من النيكل القاعدي بحمض البطارية battery acid، ثم شطفه ٢- فحص القطعة بواسطة إختبار "إنكسار الماء waterbreak" ٣- تخفيض شدة لتيار. ٤- يتم عكس التيار لمدة ٦٠ ثانية لتنظيف (تجليخ)(etch) سطح القطعة

من خلال الجدول نتناول أسباب المشاكل وطرق حلها

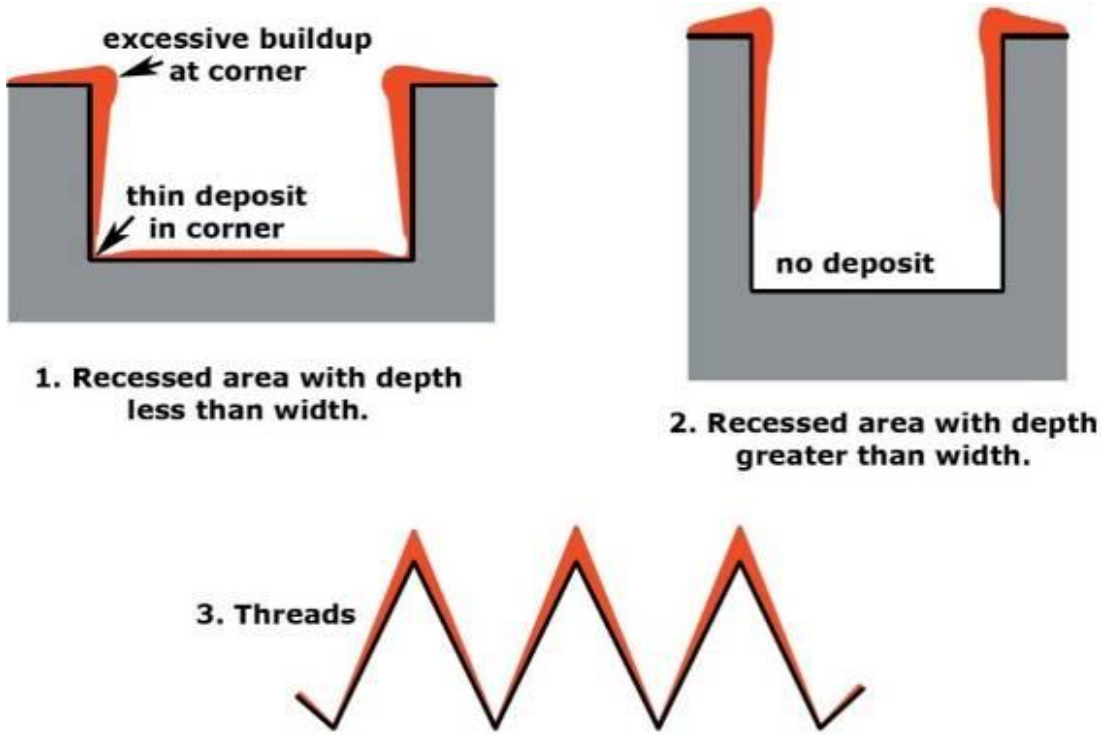
1. المشاكل المترتبة على عدم مراعاة الإعتبارات التصميمية الخاصة بشكل المنتج:

- **قوة الهجرة الضعيفة poor throwing power:**

يشير مصطلح "قوة الهجرة" throwing power إلى قدرة محلول الطلاء على إنتاج ترسيبات في المناطق ذات كثافة تيار منخفضة في القطع المراد طلاؤها، وعادة ما تكون هذه المناطق أكثر بعدا من الأنود عن غيرها من المناطق، فعلى سبيل المثال، قالب مقعر الشكل ستكون منطقة كثافة التيار المنخفضة فيه عند القاع.

في حالة القطع الإسطوانية، مثل القضبان، فإن الترسيب الناتج يكون على شكل "عظمة الكلب" "dog bone"، بمعنى أن طبقة الطلاء تكون سميكة عند النهايات ورفيعة في المنتصف، ويمكن تقليل هذا التأثير بإستخدام أنود مناسب يكون أقصر طولا من الجزء المراد طلاؤه، أو من خلال عزل قمة الأنود ونهايته.

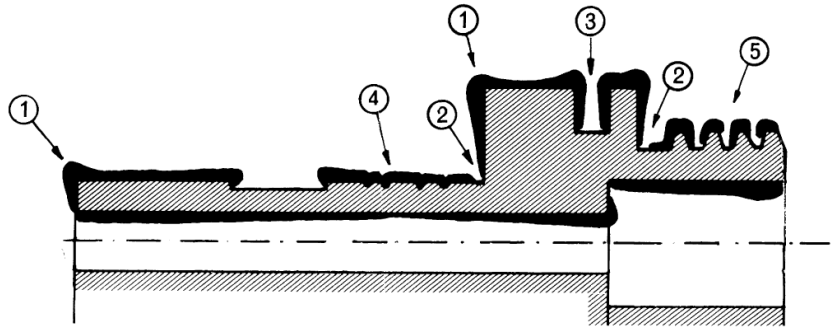
إن أشكال السطح الأخرى تكون أكثر تعقيدا في التعامل معها، مثل تلك الموضحة في الشكل(٥)، فالمناطق المنخفضة التي تكون عريضة أكثر من كونها عميقة (رقم ١ في الشكل) يمكن طلاؤها، ولكن الترسيب سيكون غير منتظم، بينما المناطق المنخفضة التي تكون عميقة أكثر من كونها عريضة (رقم ٢ في الشكل) يكون طلاؤها شديد الصعوبة، كما تشكل الأسلاك مشاكل عند طلاؤها (رقم ٣ في الشكل)، ففي كثير من الحالات، يغير الترسيب غير المنتظم من قطر السلك و زاويته.

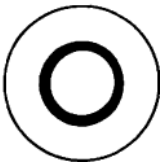


شكل(٥) أمثلة على رواسب طبقة الطلاء المتوقعة للأشكال المختلفة

- **التغلب على مشكلة قوة الهجرة المترتبة على شكل المنتج:**

جدول (٢) المشاكل المتعلقة بشكل المنتج وكيفية التغلب عليها



	المشكلة		الحل
١	حافة حادة: تراكم متزايد من طبقة الطلاء المتقصف (الهش).		التخلص من الحواف الحادة وتدويرها قبل الطلاء.
٢	ركن داخلي: طبقة رقيقة جدا من طبقة الطلاء أو عدم وجود تغطية.		تدوير الركن بقدر الإمكان.
٣	تجاويف عميقة وضيقة: تراكم هش لطبقة الطلاء فوق الحواف العليا،وطبقة رقيقة جدا من الطلاء في قاع التجويف، أو عدم وجود تغطية فيه.		تدوير الحواف العليا والأركان السفلية. فتح التجويف لأقصى حد ممكن.
٤	خدوش وتشققات: ظهور العيوب مرة أخرى في طبقة الطلاء.		صقل عيوب السطح قبل عملية الطلاء.
٥	الأسلاك: يتغير قطر درجة الميل بطبقة الطلاء.		تجليخ الأسلاك قبل الطلاء للسماح بتحقيق السمك المطلوب للطلاء، أو عزل الأسلاك لمنع طلائها.
٦	الأقطار الداخلية: طبقة طلاء غير كافية وسمك غير منتظم على طول الثقب.		إتاحة المجال لمختص الطلاء أن يصنع أنود طلاء ويضعه داخل الثقب لتحقيق متطلبات التغطية المنتظمة والسمك الملائم، وتدوير كل الأركان لمنع التراكم الزائد.

إن مشكلة قوة الهجرة الضعيفة تظهر بوضوح فى المناطق المنخفضة والنتوءات والتجاويف ولتجنب المشاكل الناتجة يجب مراعاة الإعتبارات التصميمية الخاصة بشكل المنتج كما بالجدول السابق، ويمكن تحسين قوة الهجرة من خلال محلول الطلاء أيضا.

وهناك عدة عوامل تؤثر على قوة الهجرة بالنسبة لأي محلول طلاء ومثال لذلك محاليل طلاء الكروم، لأنها تتصف بقوة هجرة ضعيفة عن غيرها من المحاليل:

(أ) إن قوة الهجرة throwing power تكون أفضل كثيرا في حالة محلول الطلاء التقليدي الذى تكون فيه نسبة الكروم إلى المادة المحفزة (الكبريتات) هى ١١٥ الى ١ من المحلول الذي تكون النسبة فيه أقل، ولكن النسبة العالية بين الكروم والمادة المحفزة يمكنها أن تزيد من إحتمالية تكون أشجار الكروم.

(ب)يجب أن لا تكون الحامضية PH منخفضة جدا، وإلا فسوف تقل قوة الهجرة، حتى عند الحفاظ على المعدل المثالي لنسبة مادة الطلاء إلى المادة المحفزة.

(ت) إن محاليل الطلاء الأكثر برودة توفر قوة هجرة أفضل من المحاليل الساخنة.

(ث) إن الشوائب في محلول الطلاء تؤثر سلبا على قوة الهجرة وتجعلها ضعيفة، نظرا لأن الكثير من الشوائب المعدنية تترسب في المناطق ذات الكثافة المنخفضة للتيار.

(ج) إن التركيز الزائد لمادة اللمعان يؤثر بالسلب على قوة الهجرة فى محلول الطلاء.

2. المشاكل المتعلقة بالإعتبارات التصميمية الخاصة بوسائل التعليق:

- **التعليق الغير ملائم للقطع على وسائل التعليق Improper Racking of Parts: (٨)**

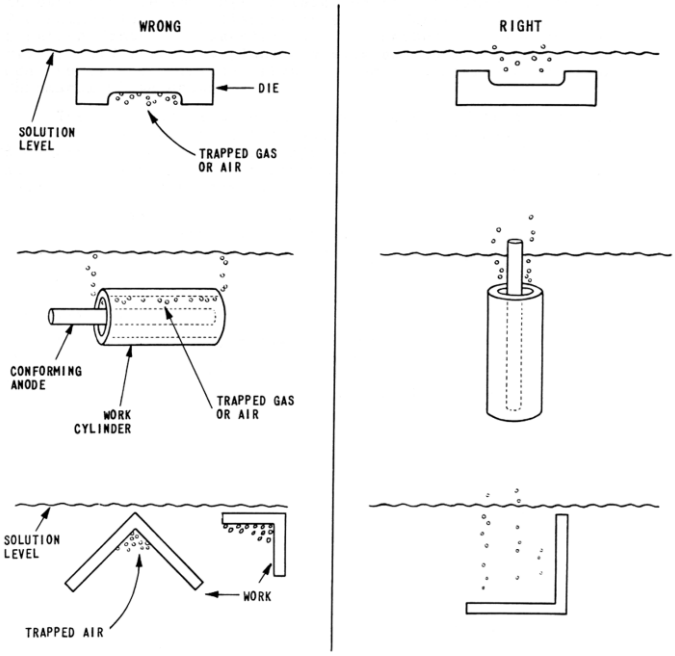
إن إستخدام وسائل التعليق الغير ملائمة للقطع المراد طلاؤها يكون سبب لمشاكل كثيرة وواضحة داخل أحواض الطلاء، فإذا ظهرت مشكلة فى لمعان أجزاء محدده على سطح قطعة العمل تكون نتيجة لضعف قوة الهجرة عند الجزء الغير لامع لبعده عن الأنود بسبب عدم تعليق القطعة بطريقة ملائمة لشكلها، فيجب أن يكون هذا العامل هو أول ما يتم مراجعته لمعرفة الأسباب وتصحيحها.

- **تصاعد الغازات (gassing) نتيجة لسوء تصميم وسيلة التعليق أو نتيجة لصغر المسافة بين الأنود والكاثود:**

يتم إنبعاث غاز الهيدروجين عند الكاثود (قطعة العمل) فى عملية الطلاء الكهروكيميائى وعند وسائل التعليق، ومن المهم أن يتمكن هذا الغاز من الخروج من سطح الجزء، وأن يتصاعد إلى سطح محلول الطلاء بدون أي عوائق، بشكل عام لا يشكل ذلك مشكلة لأنه على مدار دورة الطلاء تتشكل فقاعات غاز جديدة تعمل على طرد الفقاعات الموجودة من قبل, لكن إذا إنحصرت فقاعات غاز الهيدروجين تحت حافة مثلا، فسوف تمنع وصول محلول الطلاء لهذا الجزء، مما يؤدي إلى عدم طلاء هذا الجزء، كما أن الثقوب الغير مغلقة في جزء مجوف سوف تؤدي إلى تصاعد الغاز بشكل مستمر، مما ينتج عنه عادة جزء غير مطلى فوق الثقب.

- **تجنب الغازات المحاصرة على الشغل Avoiding Trapped Gasses on Workpiece**

إن تحديد موضع قطع العمل بشكل صحيح على وسائل التعليق يساعد على تجنب الغازات المحبوسة وتوفير الكثير من مشاكل الطلاء. إذا كان الغاز المحاصر موجودًا ، فهذا يمنع تكون طبقة الطلاء بطريقة صحيحة أنظر الشكل (٦).



شكل (٦) تجنب الغازات العالقة على قطعة العمل (٩)

- **سوء (ردائة) التوصيل الكهربى (arcing):**

عدم إحكام توصيل وسيلة التعليق بالمنتج يمكن أن يحدث ضرر للمعدن من الكهرباء أثناء عملية الطلاء إذا لم يتم تثبيتها جيدا بالمثبتات fixtures، ويمكن أن يؤدي الخلل فى الكهرباء إلى حدوث ضرر جسيم، وغالبا ما ينتج عنه أجزاء غير صالحة للإستعمال (خردة)، ويوضح الشكل (٧) صورة لضرر ردائة التوصيل الكهربى.

شكل (٧) ضرر ردائة التوصيل الكهربى

ويرجع حدوث ردائة التوصيل الكهربى بشكل أساسي إلى:

- التصميم السيء للمثبتات.
- عدم إحكام ربط الصواميل أو المسامير التي تثبت القطع في وسائل التعليق.
- نقاط إتصال غير نظيفة (مثل وجود بقايا، أو صدأ، أو طبقة جافة فوق مناطق الإتصال).
- الجهد الكهربائي يرتفع فجأة أو يتذبذب أثناء عملية الطلاء. (١٠)
- الإتصال الرديء بين نواقل التوزيع (Bus bars) وبين وسائل التعليق(Racking).

- **التغلب على مشكلة ردائة التوصيل الكهربى المترتبة على سوء تصميم وسائل التعليق:**

1. بإستخدام مثبتات مصممة بشكل جيد، والتأكد من نظافتها قبل كل إستخدام.
2. التأكد من أن الأجزاء معلقة بإحكام في المثبتات قبل البدء بالطلاء.
3. تنظيف منطقة التلامس (نقاط الإتصال) في نواقل التوزيع (plated busses) ومحاولة توصيل مصدر الكهرباء بنواقل التوزيع المعلق عليها وسائل التعليق بطريقة مباشرة.

3. المشاكل المتعلقة بالإعتبارات التصميمية الخاصة بالسخانات:

تأثير درجة الحرارة على أداء محلول الطلاء

تؤثر درجة الحرارة على كفاءة الطلاء الكهروكيميائى والمحاليل الأيونية، حيث إن مقدار درجة الحرارة والتحكم فيه هو متغير حرج وعامل أساسى لأداء متناسق في جميع أحواض الطلاء، وللحصول على أفضل النتائج، يجب التحكم فيه ضمن ± ١ درجة مئوية من المستوى الأمثل. يمكن أن تحدث تقلبات درجة حرارة غير متوقعة، يمكن تقديرها، ولكن لا يتم تقديرها عند تشغيل أحواض الطلاء الكهروكيميائى بمعدات تسخين خاطئة أو غير مناسبة، إن النطاق الواسع لدرجة الحرارة له تأثير كبير على كل من ظروف تشغيل المحلول وطبقة الطلاء المترسبة، فعند درجات الحرارة المنخفضة، تميل الرواسب إلى أن تصبح هشة وتكون هناك صعوبة عند العمل مع كثافة تيار متوسطة، فمن الممكن حدوث حرق للحافة، وبشكل عام من الممكن تطبيق كثافة تيار أعلى في الماء الساخن بدلاً من محاليل الطلاء الباردة، فهناك علاقة واضحة بين كثافة التيار ودرجة الحرارة، حيث تزداد كثافة التيار بزيادة درجة الحرارة التى تؤدى إلى تقليل لزوجة المحلول وبالتالى مقاومة أقل لحركة الأيونات، ويكون تأثير درجة الحرارة إيجابى حتى نقطة معينة بعدها تنخفض كمية الجزيئات مع زيادة درجة الحرارة مما يؤدى إلى مشاكل فى الطلاء الكهروكيميائى.

مزايا درجات حرارة التشغيل المرتفعة: (١١)

1- قابلية ذوبان أعلى لمكونات حوض الطلاء الأساسية (مع بعض الإستثناءات)
2- الحركة الأيونية الأعلى وبالتالي زيادة الموصلية في المحلول التي تسمح بإستخدام كثافة تيار أعلى.
3- تقليل الإستقطاب الأنودي والكاثودي في معظم محاليل الطلاء (مثل محاليل النيكل).
4- زيادة كفاءة تيار الكاثود (الإستثناء الملحوظ هو محاليل الكروم).
5- تحسين تآكل الأنود.
6- القدرة على تشغيل محاليل الطلاء المخففة دون فقدان الأداء.
7- إنخفاض إستهلاك الطاقة بسبب إنخفاض الجهد المطلوب.

العيوب المحتملة لدرجات حرارة المحلول الأعلى:

1- ميل متزايد للتحلل المائي والترسيب (على سبيل المثال، الشوائب المعدنية في محاليل النيكل أو الحديد أو الزنك، مما يؤدي إلى التنقر).
2- تحلل لعوامل اللمعان والتسوية Brightening And Leveling Agents.
3- إنتاج رواسب ضعيفة تحتاج إلى تنشيط إضافي. **(١٢)**
4- إنخفاض قوة الهجرة Reduced Throwing Power.
5- التبخر الزائد الذي يؤدي إلى تغيرات ملحوظة في تكوين المحلول وصعوبة الشطف.
6- ترسيبات معتمة فوق طبقة الطلاء
7- طلاء ذهبى داكن جدا أو بنى اللون فى طلاء الذهب (الذهب المحترق)
8- طلاء ذهبى أكثر احمرارا ويميل إلى البنى المحمر فى طلاء الذهب
9- تقصير عمر معدات الطلاء.

مشاكل درجات الحرارة المنخفضة:

1- الإحتراق
2- ترسيبات شديدة الصلابة
3- طلاء غير لامع لمحلول طلاء الفضة
4- طلاء باهت
5- بطء فى الترسيب

4. المشاكل المتعلقة بالإعتبارات التصميمية الخاصة بشكل الأنود:

يجب أن تتطابق الأنودات عامة مع شكل الكاثود وتقترب المسافة فى مناطق التجاويف وتبتعد المسافة عند الزوايا والحواف (١) فى شكل (٨) وعندما تكون مساحة الأنود أصغر من مساحة الكاثود تزداد المسافة (٢) فى شكل (٨) ويمكن أن تقوس الأنودات لتحقيق نفس التأثير (٣) فى شكل (٨) بالرغم من أن الأنودات المتطابقة مطلوبة فى المساحات المسطحة إلا أن الأنودات المساعدة الموضعية تفضل فى كثير من الأحيان لزيادة سمك الترسيب فى التجاويف (٤) فى شكل (٨)، ويجب أن يوفر التيار الكهربى من مصدر منفصل للأنودات المساعدة أو يكون الأنود الأساسى ثنائى القطبين لتسهيل تركيب وسائل التعليق وعملية الطلاء (٥) فى شكل (٨).

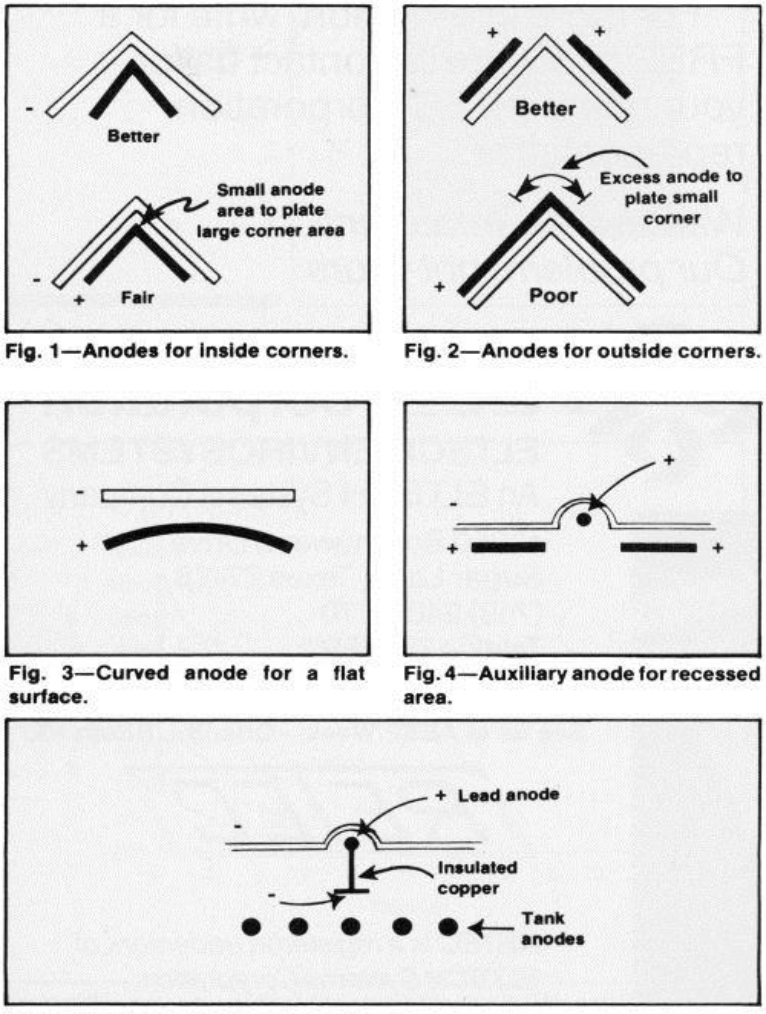


Fig. 1—Anodes for inside corners.

Fig. 2—Anodes for outside corners.

Fig. 3—Curved anode for a flat surface.

Fig. 4—Auxiliary anode for recessed area.

Fig. 5—Bipolar anode for recessed area.

شكل (٨) تناسب شكل الأنود مع شكل الكاثود

– **لتجنب المشاكل المتعلقة بالإعتبارات التصميمية الخاصة بالأنود يراعى الأتى:**

- لابد من تناسب حجم الأنود حيث أن الأنودات رفيعة السمك سوف ترتفع درجة حرارتها وتصبح عرضة للتآكل.
- المساحة الكلية للأنود لابد وأن تكون كبيرة بالنسبة لمساحة الكاثود (ضعف المساحة)، حتى لا تحدث مشكلة الإرتفاع الزائد فى درجة حرارة محلول الطلاء.
- يكون الأنود أقصر من الكاثود أو يتم عزل أطراف الأنود وذلك لتجنب التيار الزائد عند أطراف الكاثود (قطعة العمل)
- تقارب المسافة وإنتظامها بين الأنود والكاثود يعمل على تحسين وإنتظام سمك طبقة الطلاء، مع الإحتفاظ بمسافة آمنة وعدم التلامس حتى لا يتلف الكاثود (قطعة العمل).
- إستخدام أنودات متوافقة فى الشكل مع الكاثود لتحسين قوة الهجرة وإنتظام السمك.
- تستخدم الأنودات المساعدة عندما يتم طلاء الأقطار الداخلية للإسطوانات الطويلة وتكون كثافة تيار الأنود دائما أكبر من كثافة تيار الكاثود وبالتالى يجب تحديد كثافة تيار الأنود المسموح به قبل تحديد كثافة تيار الكاثود.

العيوب والمشاكل الشائعة التى تحدث بعد عملية الطلاء الكهروكيميائى:

1. فقدان التصاق Loss Of Adhesion:

فقدان الإلتصاق هو أحد أكثر المشاكل شيوعًا ويكون نتيجة عدم الإهتمام بالتنظيف الجيد لسطح المعدن أو وجود آثار لأكاسيد وزيوت وشحوم يمكن أن تؤثر على جودة إلتصاق طبقة الطلاء.

هناك عدة عوامل تساعد في حل مشكلة فقدان الإلتصاق: **(١٣)**

• تنظيف سطح المعدن المراد طلاؤه جيدا.

• تنشيط سطح المعدن حتى نحصل على قوة إلتصاق عالية.

• معرفة سبيكة المعدن المراد طلاؤه للحصول على طبقة طلاء خالية من العيوب, حيث تختلف تقنية الطلاء لكل نوع من السبائك.

• الزيوت الأقل قوة (العضوية) هي الأسهل فى الإزالة، ولكن من الصعب إزالة الشمع ومواد التشحيم المصنوعة من السيليكون، وفى الغالب تظل على الرغم من محاولات التنظيف.

• التأكد من المعالجة الحرارية السليمة لعملية الطلاء الكهروكيميائى.

• التأكد من استخدام مواد طلاء عالية الجودة وذلك له أهمية قصوى للمنتج النهائي قد تكون التكلفة أكثر ولكن سهولة الطلاء وعدم وجود عيوب يعوض ارتفاع التكلفة.

2. التقصف الهيدروجيني Hydrogen Cracking: (١٤)

هى عملية امتصاص المعادن للهيدروجين حيث تفقد ليونتها وقوة الشد وتصبح هشة مما يعرضها للكسر، ويحدث ذلك عند درجات الحرارة المرتفعة فى عمليات المعالجة الحمضية أو الطلاء الكهروكيميائى ، حيث تنتشر ذرات الهيدروجين وتملأ فراغات صغيرة جداً بين جزيئات المعدن مما ينتج عن ذلك ضغط في هذه التجاويف، وتظهر هذه المشكلة بعد إنتهاء عملية الطلاء عندما يتعرض المنتج لضغط ولذا من الصعب تحديد هذه المشكلة حتى تحدث، يمكن إزالة ذرات الهيدروجين المجودة في المعدن عن طريق المعالجة الحرارية في أفران خاصة بعد عملية الطلاء.

3. الترسبات الباهتة والضبابية في الطلاء Dull And Hazy Deposits In Plating

أحد العيوب المحبطة هو بقعة باهتة أو ضبابية على الطلاء. قد يكون لهذا عدة أسباب محتملة:

– **اختلال التوازن الكيميائي:** إن النسب غير الكافية أو المفرطة من مواد محلول الطلاء مثل الكبريتات أو حمض الكروم أو وجود ملوثات بالمحلول تؤدى إلى هذه المشكلة.

– **درجة حرارة المحلول غير صحيحة:** يجب أن تكون درجة حرارة المحلول مناسبة، ويستخدم جهاز تحريك للهواء للحفاظ على درجة حرارة ثابتة في جميع أنحاء المحلول.

– **كثافة التيار غير صحيحة:** يجب أن تكون كثافة التيار مناسبة، والتأكد من مرور التيار الكهربى دون انقطاع للحصول على أفضل النتائج.

– **التوزيع التيارغير متناسب:** إذا كانت المسافة غير مناسبة بين الأنود والكاثود، فلن يتدفق التيار بشكل صحيح، وتستخدم الأنودات المطابقة لحل هذه المشكلة.

– **التسخين غير الكافي:** حيث أن القطع غير الساخنة بدرجة كافية تنتهي بالعيوب، ولذا يتم التأكد من تسخين القطع حتى درجة حرارة المحلول خلال عملية الطلاء.

– **الشطف غير الكافي:** يجب أن تكون عملية الشطف دقيقة للتأكد من عدم وجود أى مادة من المواد الكيميائية على القطع قبل الطلاء.

4. التبثر فى طبقة الطلاء Blistering In Plating

تنتج البثور عند تمدد الغاز من داخل مسام الجسم، وعادة ما تكون هذه الغازات إما هيدروجين أو نيتروجين،**(١٥)** وتجد طريقها إلى سطح الجسم عندما يتم تسخينه، فتتمدد الغازات وتضغط على طبقة الطلاء، مما يؤدي إلى نفثها في صورة بثور، وقد تتسبب فى رفع طبقة الطلاء.

5. الأكسدة فى الطلاء Oxidation In Plating:

أحد الأسباب الرئيسية للطلاء هو منع أكسدة السطح. لذلك لابد من تنظيف المعدن جيدا والتخلص من الأكسدة على سطحه قبل تطبيق الطلاء، حيث أن أكسدة السطح تؤدى إلى التصاق ضعيف وفصل طبقة الطلاء عن المعدن بعد إكتمال عملية الطلاء.

النتائج:

1. إن العديد من مشاكل الطلاء الكهروكيميائى تكون بسبب عدم مراعاة الإعتبارات التصميمية.
2. إن مشكلة قوة هجرة الايونات تتأثر بالعوامل الأتية :

- شكل المنتج، حيث تزداد قوة الهجرة عند البروز والحواف الحادة وتقل عند التجاويف
- تقل قوة الهجرة بزيادة درجة الحرارة
- المسافة بين الأنود والكاثود (عدم تطابق شكل الأنود مع قطعة العمل)، تزداد قوة الهجرة بقرب المسافة

3. مشكلة تصاعد الغازات تتأثر بالعوامل الأتية:

- التعليق الغير مناسب للقطع المراد طلاؤها.
- شكل المنتج حيث أن وجود الثقوب الغير مغلقة تؤدى إلى التصاعد المستمر للغازات مما يؤدى إلى عدم ترسب طبقة الطلاء فوق هذه الثقوب
- صغر المسافة بين الأنود والكاثود

4. إن مراعاة الإعتبارات التصميمية تؤدى إلى تجنب الكثير من مشاكل الطلاء، وتحسين جودة سطح المنتج، وتوفير التكاليف الإقتصادية.

التوصيات:

1. المزيد من الأبحاث التي تتناول المشاكل الناتجة عن عدم مراعاة الإعتبارات التصميمية فى المحاليل الكهروكيميائية.
2. الإهتمام بالأبحاث المتقدمة فى مجال الطلاء الكهروكيميائى.
3. المزيد من الأبحاث التى تتناول المشاكل الناتجة عن الطلاء الكهروكيميائى بمحاليل الكروم.

المراجع:

(1) Edwards, Joseph. "Electroplating--a Guide for Designers and Engineers." The Committee for the Promotion of Electroplating, (1983), p.72

(2) Rudder, David M., and Atotech GMF Worldwide. "Effect of Part Design on Injection-Molding and Plating-on-Plastic Processing." Plating and surface finishing 95, no. 2 (2008), p.8.

(3)Arnold, Joseph R., Electroplating Process Director, and Guardian Automotive Trim. "High Quality Copper-Nickel-Chrome Plating on Plastics-A Continuous Process and its Challenges." Cell 812 (2003), p.360

(4)Svenson,Eric."Durachrome hard chromium plating." Surface Finishing Technology (2006), p.22, p.23

(5) Schario, Mark. "Troubleshooting decorative nickel plating solutions (Part I of III installments): any experimentation involving nickel concentration must take into account several variables, namely the temperature, agitation, and the nickel-chloride mix." Metal Finishing 105, no. 4 (2007),p.34, p.36

(6) Klein, Robert. "Immersion heaters: selection & implementation: immersion heaters are widely used in the chemical industry. These basics outline what is available, and how to select and maintain an immersion heater." Chemical engineering 113, no. 1 (2006), p.44, p.49

(7)Snyder, Donald L. "Choosing and Troubleshooting Copper Plating Processes." Products Finishing 1 (2012), p.136

(8) Mandich, N. V, and Herb Geduld. "Understanding and troubleshooting decorative nickel electroplating systems—Part II: Poor covering in recesses, low ductility, and poor adhesion."Metal finishing 100, no. 6 (2002), p74

(9)http://index-of.co.uk/Tutorials-2/Electroplating%20-%20Plating%20Metals.pdf (date 10/7/ 2020)

(10) Mandich, N. V. "Understanding & troubleshooting electroplating installations: Stray currents & bipolar effects."Plating and surface finishing 89, no. 3 (2002), p.40.

(11) Mandich, N. V. "Troubleshooting Decorative Electroplating Installations-Part 5: Plating Problems Caused by Heat & Bath Temperature Fluctuations." Plating and surface finishing 88, no. 10 (2001), p.56

(12) N.V. Mandich, Plating & Surface Finishing,(1998), p.87

(13) Mandich, N. V., and D. W. Baudrand. "Troubleshooting electroplating installations: nickel sulfamate plating systems."Plating and surface finishing 89, no. 9 (2002), p.68, p.69.

(14) Popov, Branko N., Jong-Won Lee, and Milos B. Djukic. "Hydrogen permeation and hydrogen-induced cracking." In Handbook of environmental degradation of materials,William Andrew Publishing, 2018, p.1 44, p.145

(15) Tang PT. pulse reversal plating of nickel and nickel alloys for microgalvanics. Electrochim Acta. 2001 Sept 1;47(1), p.61.