الإعتبارات التصميمية لوسائل تعليق المنتجات المعدنية فى المحاليل الكهروكيميائية

Design considerations for racking metal products in electrochemical solutions

أ.د/ رجب عبد الرحمن عميش

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

Prof. Ragab Abde-El Rahman Emish

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

ragabamish@yahoo.com

أ. د/ محمد العوامي محمد

أستاذ 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-El Rahman Ahmed

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

marwa.rahman84@gmail.com

البحث

إن المعالجة الكهروكيميائية أحد أهم العمليات المستخدمة في تشطيب وإنهاء سطح المنتج لتحسين الخواص الجمالية والوظيفية له وهي تعطي إنطباع متميز للمستهلك لما لها من لمعان عالي، كما أنها تستخدم في بعض الأحيان لتجهيز سطح المنتج للطلاء الكهربي.

كما تعتبر وسائل التعليق (Racking) نقطة البداية في أى عملية كهروكيميائية حيث يتم تعليق القطع المراد معالجتها في وحدات معدنية مناسبة مغطاة بطبقة من البلاستيسول plastisol للمرور بدورات إزالة الشحوم والتنظيف والطلاء والشطف والتجفيف والتلميع ويفضل إستخدام وسائل التعليق مع القطع الكبيرة أو المعقدة أو الهشة أو التى تتطلب تشطيب سطحى عالى الجودة ويمكن تحقيق أفضل النتائج وأكثرها فاعلية للعمليات الكهروكيميائي عندما يتم صنع وسائل التعليق للطلاء (plating racks) بشكل محدد لكل تصميم خاص بكل جزء، ولذا يجب مراعاة الإعتبارات التصميمية لوسائل التعليق لضمان نجاح العمليات الكهروكيميائية حيث ان التصميم الجيد لوسائل تعليق المنتجات بما يلائم شكل المنتج يحسن من جودة المعالجة وتقليل الوقت والتكلفة.

مشكلة البحث

تتحدد مشكلة البحث فى صعوبة تعليق بعض الأشكال الهندسية وخاصة الكروية والإسطوانية فى محاليل المعالجات الكهروكيميائية لعدم وجود إعتبارات تصميمية محددة لوسائل التعليق المستخدمة في عملية المعالجة.

أهداف البحث

- إجراء دراسة تحليلية لمعرفة وسائل التعليق والأبعاد الخاصة بها وكيفية بنائها وعملية ترتيب وتعليق المنتجات عليها.

- وضع إعتبارات تصميمية لوسائل التعليق ومعرفة العوامل التى تؤثر على عملية تصميم وبناء وسائل التعليق والتطبيقات التى تتطلب وسائل تعليق خاصة.

فروض البحث

إن وضع إعتبارات تصميمية خاصة بوسائل التعليق يؤدى إلى:

– تسهيل عملية تشغيل المنتجات في المحاليل الكهروكيميائية.

– الحصول على نتائج متميزة للعمليات الكهروكيميائية من خلال الإستخدام الأمثل لوسائل التعليق- واستنادا إلى المنهج الوصفي التحليلي.

الكلمات المفتاحية

اعتبارات تصميمية - المعالجة الكهروكيميائية – وسائل التعليق.

Abstract

Electrochemical treatment is one of the most important processes used in completing and finishing the surface of the product to improve the aesthetic and phenotypic properties of it. This process gives a distinct impression to the consumer because of its high gloss, as it is sometimes used to prepare the surface of the product for electroplating.

Plating racks are also the starting point of any electrochemical processes, where the parts to be processed are suspended in suitable metallic units covered with a layer of plastisol to undergo degreasing, cleaning, painting, rinsing, drying and polishing cycles. It is preferable to use plating racks with large, complex or fragile parts, or which requires high-quality surface finishing. The best and most effective results can be achieved for electrochemical processes when plating racks are specifically created for each design of each part. Therefore, the design considerations of plating racks must be taken into account to ensure the success of the parts which require electrochemical processes, the good design of products plating racks in a way that suits the product shape improves treatment quality and reduces time and cost.

Statement of Problem

The research problem lies in the difficulty of suspending some geometrical shapes, especially spherical and cylindrical cylinders in electrochemical treatment solutions, because there are no specific design considerations for the plating racks used in the treatment process.

Purpose

It is an analytical study to know plating racks, their dimensions and the method of building them. Furthermore, it aims at knowing the process of arranging and suspending products on them in order to put design considerations for plating racks, and knowing the factors that affect the design and construction of plating racks and applications that require special plating racks.

Research Hypotheses

The development of design considerations for plating racks leads to:

- Facilitating the process of operating products in electrochemical solutions
- Obtaining excellent results for electrochemical processes through the optimal use of plating racks.

– **Keywords**
– Design considerations - Electrochemical treatment – Plating racks.

مقدمة البحث:

يلعب التصميم دورا مهما في ضمان الإنتاج الفعال للقطع المعالجة كهروكيميائيا، بحيث تؤدي وظيفتها بصورة مرضية, وبما أن وسائل تعليق المنتجات تعتبر نقطة بداية أى عملية كهروكيميائية، لذا من المهم التعرف على الإعتبارات التصميمية لوسائل التعليق التي تؤثر على جودة المعالجات الكهروكيميائية وجودة تشطيب السطح، والتعرف على الصعوبات الأساسية التي تواجه القائمين بهذه العمليات، وكيفية التغلب عليها، أو على الأقل تقليلها بدرجة كبير.

ولتصميم وسائل التعليق دورا هاما في العمليات الكهروكيميائية، حيث أنها تساعد فى الحصول على منتج ذو مظهر جيد وأداء وظيفي مرضي, وتتأكد أهمية هذا الدور في عملية الطلاء بالمعادن الثمينة كالذهب، حيث أن قيمة المعدن هنا تجعل من المهم أن يكون ترسيبه منتظما بقدر الإمكان لتحقيق مواصفات السمك المحدد، الذى يتزايد الطلب عليه، وعدم تجاوزه بدون سبب ضروري في أي مرحلة للوصول إلى الدقة بأقل تكلفة، ولتحقيق الإنتظام فى طبقة الترسيب قدر الإمكان لابد من الإهتمام بملائمة وسائل التعليق لشكل المنتج وتعليق المنتج بطريقة صحيحة.

ويجب على المصمم التعاون مع مختص الطلاء خلال مرحلة وضع التصميم لتجنب وجود صعوبات فى تعليق المنتج بشكل مناسب مما ينتج عنه عيوب قد يكون التغلب عليها عالي التكلفة، وتكون سببا لمنتج غير مرضى ويترتب عليه معدل رفض عالي للمنتج.

– الإعتبارات التصميمية الخاصة بوسائل التعليق

من الناحية التاريخية، مرت وسائل التعليق بمراحل عديدة من حيث تصميمها، والشكل الأكثر بساطة لتعليق المنتجات هو إستخدام سلك يتم لفه حول القطعة المراد معالجتها. لكن نظرا لمتطلبات الإنتاج والجودة في الوقت الحالي، فإن إستخدام قطعة غالية الثمن من السلك النحاسي لن يؤدي بالغرض، فيجب تعريض القطع المراد معالجتها للأنودات بشكل منتظم لضمان تحقيق متطلبات الجودة المرئية التي يمكن قياسها، فالتشطيبات الآلية الزخرفية في العصر الحالي تتطلب وسائل تعليق مخصوصة للمنتجات، والتصميم هو الجانب الأكثر أهمية في أي وسيلة تعليق، فبدون التصميم الملائم لا يمكن توقع تحقيق الإنتاجية المثالية.

إن كل القطع ماعدا التي سيتم طلاؤها في براميل، يجب أن يتم تعليقها للمرور بدورات إزالة الشحوم والتنظيف والطلاء والشطف، ومن ثم فإنه يجب إستخدام وسائل تعليق مناسبة.

– ما هى وسائل التعليق؟ WHAT IS PLATING RACK?

تختلف وسائل التعليق في الاحواض عن البراميل (Barrel) حيث يتم تثبيت القطع على حوامل معدنية metal racks مع مسامير أو أسلاك. ولذلك تظل القطع ثابتة عند غمر الحامل المعدنى في المحاليل الكهروكيميائية، وبالتالي يفضل إستخدام وسائل التعليق للقطع الحساسة (الضعيفة) التي لا تصمد في التدوير المتتالى عند إستخدام البراميل، وكذلك تعمل بشكل جيد مع القطع الكبيرة أو المعقدة، وأيضا القطع التي يكون فيها التشطيب السطحي عالي الجودة ذا أهمية قصوى مثل القطاعات العسكرية والسيارات والطب والإلكترونيات، وإستخدام وسائل التعليق يكون خيارًا ممتازًا لإنهاء الأسطح, بالإضافة إلى

توفير حماية متزايدة ضد تلف القطع المعالجة، وإمكانية تركيب الأشكال الإسطوانية والمعقدة بشكل أكثر كفاءة كما بالشكل (١). **(١)**

شكل (١) بعض نماذج وسائل التعليق للأشكال المعقدة

وتعد تكلفة وسائل التعليق ومتطلبات العمالة اللازمة لتعليق القطع المراد معالجتها كهروكيميائيا وتجميعها بعد الإنتهاء من المعالجة، من العوامل الرئيسية التي تجعل الطلاء بإستخدام وسائل التعليق أغلى من الطلاء بالبرميل, وقد يكون من الضروري تصميم وتصنيع وسائل تعليق مخصصه للتطبيقات المتخصصة.

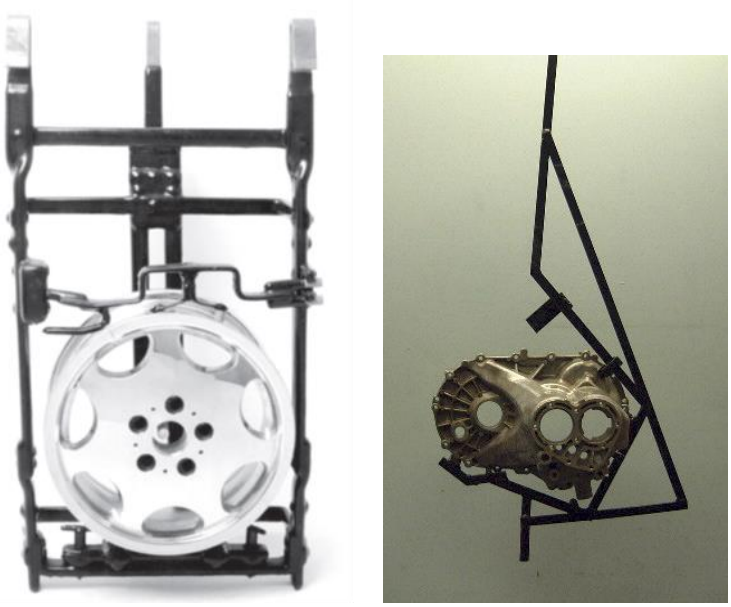
حيث يمكن تحقيق أفضل النتائج وأكثرها فاعلية للعمليات الكهروكيميائية عندما يتم صنع وسائل تعليق بشكل محدد لكل تصميم خاص بكل قطعة، ويرجع ذلك للعديد من العوامل.

– **العوامل التى تؤثر على تصميم وبناء وسائل التعليق**

- حجم القطعة وهو أحد أهم هذه الأسباب.
- التصميم الخاص بوسائل التعليق، حيث يجب أن تكون مناطق الإتصال بينها وبين القطعة المراد معالجتها في الأسطح الغير هامة التي لا تتأثر بعدم وجود معالجة عليها ولا يؤثر ذلك على المظهر النهائي للقطعة أو أدائها. كما يجب تصميمها بحيث تحمل القطعة بطريقة تمنع فقدان الإتصال الكهربائي. **(٢)**
- تحديد السطح المؤثر(significant surface)، وهو ذلك الجزء من القطعة الأكثر أهمية لتحقيق مظهرها المطلوب أو وظيفيتها، لذلك يجب تصميم القطعة بحيث يمكن تعليقها بشكل آمن بإستخدام موصل كهربائي، بدون منع وصول محلول المعالجة لأي جزء من السطح المؤثر، وقد يحتاج المصمم أحيانا أن يدمج في التصميم أطراف للتوصيل، يتم إزالتها فيما بعد، لإتاحة المجال لحدوث إتصال مناسب، لكن نادراً ما يكون هناك حاجة لهذا. **(٣)**
- يجب أن يتم تجهيز القطعة لتصريف المحاليل، لذلك يجب أن يكون لدى المصمم معرفة بالكيفية التي سيتم بها تعليق القطع على وسائل التعليق، ليتمكن من إدراج ثقوب للتصريف إذا أمكن, فمن الضروري تجنب إنحصار المحاليل داخل القطع، لأنه يمكن أن يؤدي لتآكل القطعة نتيجة إنحصار الرواسب والأملاح داخلها، كما يكون سببا للتلوث من خلال إنتقال المحاليل من حوض لآخر، فضلا عن تغير التركيب الكيميائي للمحاليل، كما يتسبب في إهدار المواد الكيماوية.
- يجب تجنب إنحباس الهواء، لأنه قد يتسبب في الحصول على مناطق غير معالجة، بسبب تجمع الغاز في هذه المناطق أثناء عمليات المعالجة والتنظيف.

– أساسيات تصميم وسائل التعليق (٤)

إن الوظيفة الأساسية لوسائل التعليق هي حمل القطع في الوضع الأكثر ملائمة للتعرض للتيار الكهربائى المتدفق، وتوفر العمليات الكهروكيميائية تشطيبات لحماية القطع من حدوث ضرر أو تشقق للتشطيب المعدنى خلال عملية التجميع. والقطع التي تحتاج للتشطيب ذات تنوع غير محدود من الأحجام والأشكال، مما يؤدي إلى ضرورة تصنيع حامل تعليق مخصوص Custom Racking كما فى شكل (٢).



شكل (٢) أمثلة لوسائل تعليق مخصوصة Custom Racking

وقبل البدء بتصنيع وسائل التعليق، لابد من طرح أسئلة معينة:

- ما هي المحاليل التي ستتعرض لها وسائل التعليق؟
- ما هو معدل الإنتاج المطلوب لتحقيق الفاعلية من حيث التكلفة؟
- ما هو نوع الطلاء الكهروكيميائى المراد تطبيقه؟
- هل سيتم نزع الطلاء المترسب على أطراف وسائل التعليق بعد عمليات الطلاء الكهروكيميائى بإستخدام محلول خاص؟
- كيف ينبغي حمل القطعة لضمان تحقيق سمك متساوى لطبقة الطلاء؟
- ما هو الجزء المحدد الذي سيتم معالجته؟
- ما نوع الطرف الخاص بوسائل التعليق الذي يجب تصميمه لتحقيق تثبيتا ملائما؟
- هل سيوفر هذا التصميم إمكانية سريعة وسهلة للتعليق والإنتشال؟

يمكن من خلال تحديد إجابات بعض هذه الأسئلة التوصل لأساس التصميم الجيد لوسائل التعليق، وهذا التصميم الجيد يجب أن يتضمن الأتى:

- توصيف الجزء المراد معالجته.
- تحديد أي مشاكل مميزة في السطح بالتفصيل.
- تحديد علامة إتصال الجزء المراد معالجته بالطرف الخاص بوسائل التعليق.
- توضيح مكان حمل القطعة المراد معالجتها
- تحديد عدد القطع فوق كل حامل تعليق من خلال مقدار التيار الواصل له، وتحديد وزن كل قطعة بالنسبة للوزن الكلّي للحامل، والعامل الأكثر أهمية، هو تصميم حامل التعليق نفسه.

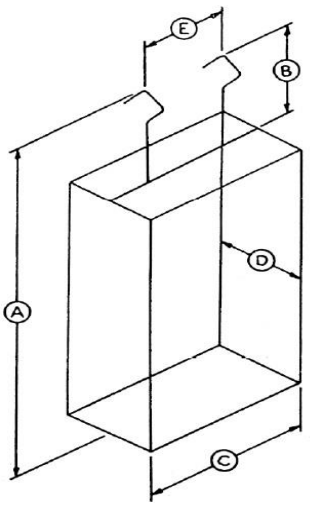
– **أبعاد وسائل التعليق plating racks dimensions:**

تحديد الأبعاد المناسبة هو المبدأ الأكثر أهمية في تصميم وسائل التعليق، والتأكد من أن كل حامل سوف يسع القطع المعلقة داخل أصغر حوض في خط المعالجة, وللحصول على الأبعاد الصحيحة لتصميم وسائل التعليق يجب التحقق مما يلى:

- **الطول الكلي (البُعد A) overall length: (٥)**

الطول الكلى هو المسافة بدءا من خُطّاف قضيب الكاثود إلى قاع حوض المعالجة الكهروكيميائية كما بالشكل (٣)، وأول شئ يجب مراعاته هو طول القطع المراد معالجتها وتعليقها على وسائل التعليق، مع ملاحظة أن كل حوض معالجة له متطلبات مسافة مختلفة فيما يتعلق بالأنودات وملفات البخار steam coils أو سخانات الغمر immersion heaters وأنابيب الإستثارة الهوائية air agitation pipes والمرشّحات filters والإستثارة الميكانيكية mechanical agitation، ويجب أن تبتعد وسائل التعليق عدة بوصات عن قاع حوض المعالجة، لإتاحة المجال لتراكم بعض الرواسب الطينية، كما أن الطول غير المناسب للأنود فى حالة الطلاء الكهروكيميائى يمكن أن يؤدي إلى راسب غير منتظم بدرجة كبيرة.

ويجب وضع معظم القطع بحد أدنى ٢ بوصة تحت سطح المحلول، ومن المهم فحص مستويات المحاليل في كل أحواض المعالجة، ويتم تحديد البُعد من خلال الحوض ذو المستوى الأقل، وبالتالي ضمان تحقيق غمر كامل للقطع خلال دورة المعالجة الكهروكيميائية كلها.



شكل (٣) أبعاد وسائل التعليق dimensions of plating rack

- **المسافة من خُطّاف الكاثود إلى موقع أول قطعة (البُعد B):**

هذا البعد ذو أهمية قصوى حيث أنه الذي يحدد عدد القطع التي سيتم وضعها على كل حامل.

- **العرض (البُعد C) Width:**

إن تحديد الأبعاد الصحيحة ذو أهمية قصوي، فكل مصنّع يمكن أن يحصل على متطلبات عرض مختلفة، لأن في كثير من أنظمة التشغيل الآلي، يمكن أن توجد بعض المتغيرات لهذا البُعد إعتمادا على المشروعات القائم عليها المصنع، ويجب تصميم وسائل التعليق بحيث تناسب وحدة المعالجة الكهروكيميائية الأصغر حجما، وقد ينتج عن تحديد العرض بشكل خاطيء تلف وسائل التعليق نتيجة للتكدسات داخل أحواض المعالجة، وفي حالة خطوط الرفع الآلية automated hoist lines أو الخطوط المباشرة اليدوية manual straight lines يحدد بعُد العرض عدد حوامل التعليق فوق كل قضيب

عمل work bar، ومن المهم تحديد المسافة بين هذه الحوامل، لتحديد معدلات الإنتاج في النهاية, لذا يجب فحص تصميم قضيب العمل للمساعدة في التحديد الصحيح للمسافات، خاصة موقع نقاط الإلتقاط pick-up points.

- **السُمك (البُعد D) thickness: (٤)**

إن البعد الخاص بالسُمك هو إتجاه الحركة فوق خط الرفع الآلي، وهو البّعد الأكثر أهمية فيما يتعلق بتصميم وسائل التعليق، فالمسافة بين الأنودات وعلاقتها بقضيب الكاثود هي التي تحدد مقدار عرض وسائل التعليق، ويجب أن يكون مقاس الحامل مناسبا لوضعه بين الأنودات مع وجود مساحة كافية لحمل القطع المراد معالجتها (عادة ما بين ١-٣ بوصة).

من الضروري في حالة الخط اليدوي manual line تحديد مسافة الأنود الأصغر حجما بحيث تتلائم أبعاد وسائل التعليق مع جميع أحواض المعالجة، وهناك عامل آخر في الخط اليدوي، وهو التأكد من وضع وسائل التعليق داخل كل حوض وإخراجها منه بسهولة بدون إسقاط القطع المعالجة من عليه.

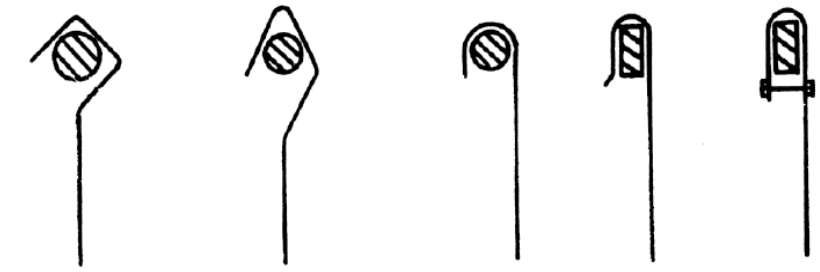
- **البُعد E:**

يختص هذا البُعد فقط بالحوامل ذات خطّافين مزدوجين للكاثود، وعادة ما يكون في الأجهزة الآلية ذات النوعية المتراجعة، كما يستخدم هذا التصميم أيضا عند الحاجة لتحقيق ثبات إضافي، أو في حالة ما إذا كان الوزن يشكّل عاملا مؤثرا.

– **تصميم خطاف الكاثود Design of cathode hook:**

بعد التوصل لكل الأبعاد الضرورية لتصميم وسائل التعليق (العمود المركزي) (spine)، يجب توجيه الإهتمام إلى تصميم خُطّاف الكاثود بشكل خاص ومعرفة حجم قضيب العمل الذى سيتم تعليق خطافات وسائل التعليق عليه.

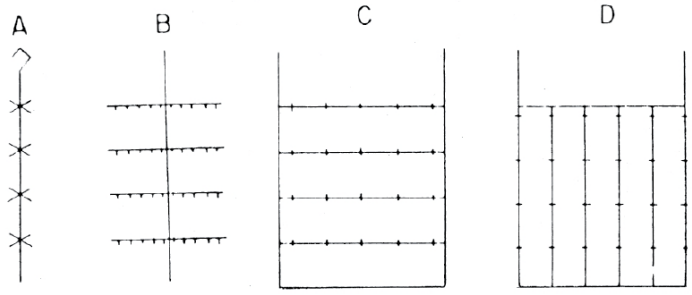
من المهم أن يكون الخُطّاف نظيفا حتى يحقق إتصالا مباشرا مع القضيب بحيث يتدفق التيار بصورة ملائمة، ويمكن تحقيق هذا من خلال تصميم الخُطّاف على شكل حرف V، وهو التصميم الأكثر إستخداما في الوقت الحالي، أنظر الشكل (٤)، وقد قام بعض المصنّعين بتطوير تصميمات خاصة للخُطّافات المستخدمة في عملهم، وقضبان العمل الحديثة مستطيلة الشكل، ويرجع ذلك للأسباب الأولية الخاصة بالثبات فيما يتعلق بسرعة الآلة وسرعة التشغيل والإيقاف. **(٦)**



شكل (٤) أشكال الخُطافات الشائعة الإستخدام Commonly used hooks

– **بناء العمود المركزي لوسائل التعليق Construction of the plating rack spine:**

يشكل العمود المركزي لوسائل التعليق (شكل٥) الدعامة الأساسية له، ويجب أن يكون قادرا على نقل التيار الضروري لكل طرف من أطراف حامل التعليق، ويجب أن يكون قويا بما يكفي لتحمّل وزن جميع القطع، بالإضافة لضرورة أن يكون مقاوم للتآكل والإهتراء، خاصة عند إستخدامه في الآلات الأتوماتيكية.



شكل (٥) أربعة أنواع أساسية لبنية حوامل وسائل التعليق

الأنواع الأساسية لبنية حوامل وسائل التعليق:

- A عمود مركزي مفرد.
- B عمود مركزي على شكل حرف T.
- C شكل الصندوق.
- D عمود مركزي متعدد.

ويكون لحمام المعالجة الكهروكيميائية المستخدم فيه حامل وسائل التعليق معدل معروف لكثافة التيار يقاس بوحدة أمبير/قدم^{2}، ويتم ضرب هذا المعامل في مساحة القطع فوق حامل التعليق بالقدم المربع، لتحديد مقدار التيار الذي يجب أن ينقله العمود المركزي للحامل وخُطّافه.

يتم تصنيع معظم الأعمدة المركزية الفردية بشكل عام من النحاس بأبعاد ٣/٤ X ١/٤ بوصة أو ١X١/٤ بوصة، والتي سوف تنقل ٢٠٠ – ٢٥٠ أمبير, والنحاس هو المادة الأكثر إستخداما لبناء العمود المركزى، نظرا لإرتفاع قابليته للتوصيل الكهربائي مقارنة بسعره. **(٥)**

إن الإستانلس استيل والفولاذ أقوى وأكثر متانة، ولكن يوفران فقط من ٣% إلى ١٢% من التوصيلية الكهربية للنحاس, وأيضا عامل المقاومة المتزايد في الفولاذ والإستانلس استيل يمكن أن يولد إرتفاع درجة حرارة غير مرغوب فيه.

وعلى الرغم من أن الألومنيوم لديه موصلية أفضل من الفولاذ وغالبًا ما يقدم تخفيضات مرغوبة في الوزن, ولكن يهاجم بسهولة من الأحماض وقابل للذوبان في القلويات، ويجب أن تصنع جميع حوامل التعليق من النوع الأقل عددًا من المفاصل، وأقصى قدر من الصلابة، والمقاومة الكهربائية المنخفضة، والعمر الإفتراضى الطويل، وليس من العملي أن يتم لحام وسائل التعليق بالفضة, ولكن يفضل عمل وصلة من مسامير وصواميل من الإستانليس استيل،

ويمكن إستخدام خطافات مصنوعة من النحاس، وأعمدة مركزية مصنوعة من الفولاذ أو الإستانليس ستيل أو النحاس الأصفر أو الألومنيوم، إذا كان نقطة الإتصال تحت مستوى المحلول، والعامل الرئيسي هنا هو قابلية توصيل الكهرباء، فكل من الفولاذ والإستانليس ستيل والنحاس الأصفر والألومنيوم ذات قابلية توصيل أقل من النحاس، والتطبيق الأكثر شيوعا هو إستخدام الفولاذ لدعم العناصر، وليس حين يحتاج الأمر للتوصيل الكهربائي.

– ترتيب وضع المنتجات على وسائل التعليق

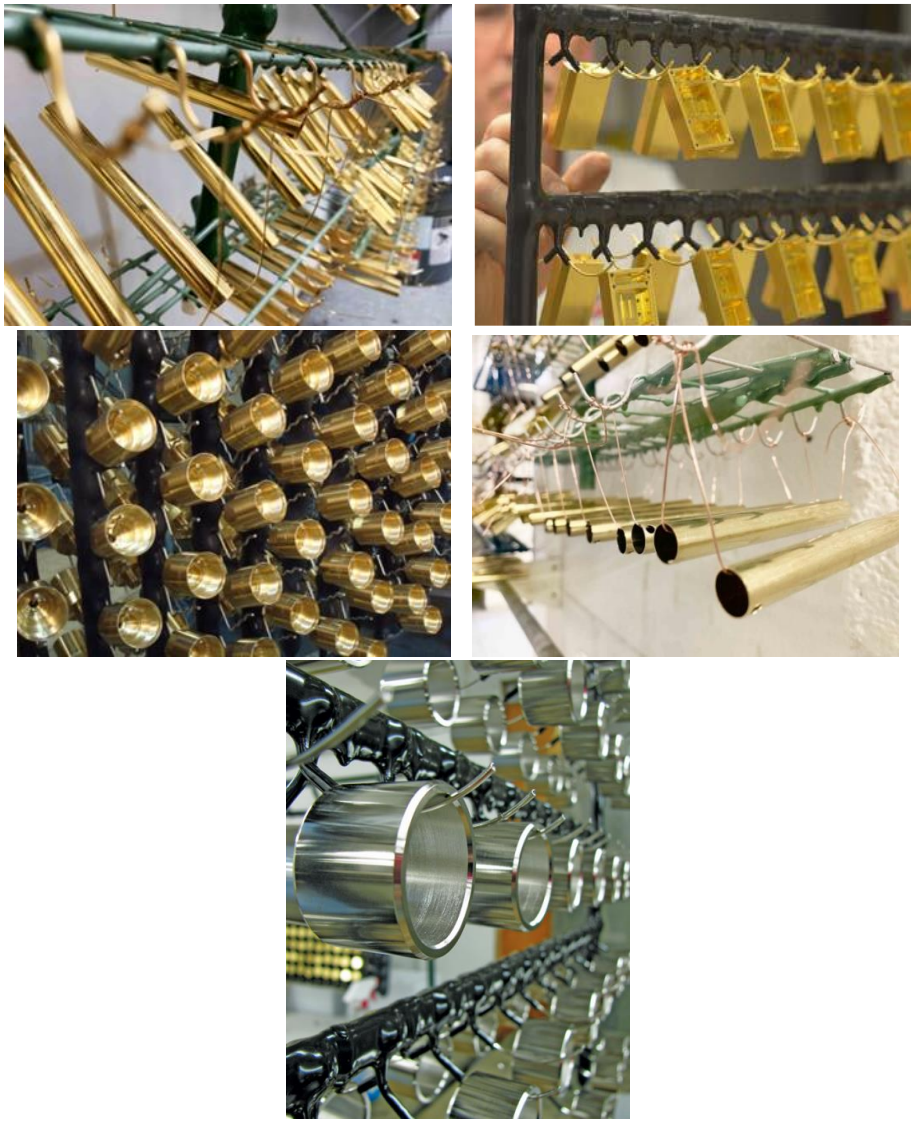
عند هذه النقطة، يجب على المصمم أن يستشير مختص الطلاء لأنه في كثير من الأحيان، يمكن إستخدام المخارج gates التي تم تحديد مواقعها بشكل مناسب كنقاط فعالة لوضع الأقطاب السالبة cathode، وفي بعض الحالات، يمكن ترك بكرات التحريك runners موصولة بالقطعة لإتاحة المجال لتعليقها على حوامل وسائل التعليق.

ولأسباب إقتصادية، يجب أن يحقق تصميم وسائل التعليق الإستفادة الكاملة من حجم حوض المعالجة، ويجب مراعاة أن لا يكون أي جزء من القطعة شديد القرب لقاع حوض المعالجة أو سطح المحلول، فالقطعة المعلقة في أعلى حامل التعليق يجب أن تكون دائما مغموسة بعمق من ١½ الى ٢ بوصة تحت سطح المحلول، بينما القطعة المعلقة أسفل حامل التعليق يجب أن تكون على بعد ٦ بوصة على الأقل من قاع حوض المعالجة.

وتشمل الإعتبارات الأخرى التغيرات في حجم حوض المعالجة بالإضافة للإختلافات في الإرتفاعات، بحيث يمكن وضع قضيب العمل work rod فوق المحلول، وإلا فإن القطع المراد معالجتها قد لا تنغمر في واحد أو أكثر من أحواض المعالجة. يجب أن تكون وسائل التعليق والخطافات ذات مساحات مناسبة لإتاحة الفرصة لمرور التيار بدون إرتفاع زائد في الحرارة, وتكون شدة التيار الآمنة للنحاس هي ١٠٠٠ أمبير لكل بوصة مربعة في المقطع العرضي.

ولكن يمكن أن ترتفع إلى ٢٠٠٠ أمبير إذا كانت دورة المعالجة قصيرة، وكان المحلول باردا، ويجب أن يحدث إتصال جيد بين قضيب العمل ووسائل التعليق والقطع المراد معالجتها، وأخيرا، يجب أن تكون القطع المراد معالجتها ذات صلابة كافية بحيث يمكن وضعها على وسائل التعليق في المحاليل المتقلبة (المستثارة) agitated (حتى ١٥٥ درجة فهرنهايت) بدون خلل فى إستقرارها. **(٧)**

ويوضح شكل (٦) بعض نماذج وضع المنتجات على وسائل التعليق.



شكل (٦) وضع المنتجات على وسائل التعليق (racking)

– تصميم أطراف وسائل التعليق Design of plating rack tips:

من الأهداف العملية لتصميم أطراف وسائل التعليق سهولة التعليق والإنتشال، وتحقيق تدفق مناسب للتيار إلى القطعة المراد معالجتها، وتصمم الأطراف بحيث تحمل القطعة من منطقة غير مؤثرة، وهناك نوعان للأطراف هما: طرف الثقل النوعي gravity tip وطرف جهد زنبركى.

- **طرف الثقل النوعي Gravity tip:**

طرف الثقل النوعي هو الطرف الذي يتم تصميمه لسهولة التعليق والإزالة، وعادة ما تحتوي القطعة المراد معالجتها على ثقب يمكن للطرف الدخول فيه، ويستخدم هذا الطراز بصورة شائعة في حمامات الزنك أو النيكل غير الكهربائي أو الكادميوم أو الفضة.

- **طرف جهد زنبركي النوع Spring-type tension tip:**

يستخدم طرف الجهد الزنبركي في الحمامات التي تتطلب قوة هجرة Thrwing power أكبر وإتصال موجب، مثل طلاء الكروميوم أو المعالجة الأنودية، ويكون مطلوبا عند إستخدام الإستثارة الميكانيكية أو الهوائية.

يجب تذكر بعض مباديء الطلاء عند تصميم طرف حامل الطلاء، حيث أن المناطق حول حافة الأسطح المستوية الكبيرة تميل لأن يتم طلائها بشكل أثقل من الجزء المركزي للسطح، فالحواف سوف تتعرض لكثافة تيار أعلى، والأجزاء ذات النقاط الحادة قد تتطلب عناية خاصة لتجنب الإحتراق.

- **تصميم طرف الجهد الزنبركي Design of the spring tension tip:**

الأسئلة التي يجب مراعاتها عند تصميم طرف جهد زنبركي هي:

– ما هي المنطقة ذات الأهمية القصوى في القطعة داخل حوض المعالجة؟

– أين يمكن السماح بوجود علامة لطرف حامل التعليق، لأنه غالبا ما تكون موجودة؟

– ما هو نوع المادة التي تم تصنيع الطرف منها؟

فيما يتعلق بالمنطقة الأكثر أهمية التي يجب طلاؤها، لابد من مراعاة موقع القطعة بالنسبة للأنود، وتفريغ المحلول من القطعة، ومناطق كثافة التيار العالية والمنخفضة بالقطعة، وتكوّن الغازات حول الثقوب والفتحات.

يجب حمل القطعة بحيث تكون علامة حامل التعليق في المنطقة الأقل أهمية، وينبغي التفكير بما يجب أن يكون شكل الجزء المطلي النهائي عند تجميعه وإكتماله، ومن خلال مراعاة هذه النقطة، يمكن تحديد منطقة وجود علامة الحامل بشكل موضوعي. **(٨)**

يجب الإهتمام بشكل خاص بأن تكون نقطة الإتصال ثابتة، وأنها سوف تتمكن من حمل القطعة طوال دورة الطلاء، وأنها لن تخدشه.

- **المواد المستخدمة في الاطراف Materials used for tips :**

المادتين الأكثر شيوعا في تصنيع أطراف حامل وسائل التعليق هما البرونز الفوسفوري phosphorus bronze والإستانليس ستيل stainless steel، وذلك في أطراف الثقل النوعي والجهد الزنبركي both gravity- and spring-type tips، وهناك مواد أخرى شائعة الإستخدام في طرف الثقل النوعى وهي المونل monel والتيتانيوم titanium.

في حالة المواد المستخدمة لصنع طرف جهد زنبركي، يحتاج الأمر لمادة زنبركية مقسّاة spring tempered أو نصف صلبة half-hard سواء كانت مسطحة أو مستديرة، ويفضل إستخدام الزنبرك المقسّى spring tempered بسبب النشاط الزنبركي للمادة نفسها، مما يقلل من إجهاد المعدن، يجب تجنب الإلتواءات الحادة أثناء عملية التصنيع حيث أنها تخلق معامل إجهاد يؤدي لإنكسار الطرف في نهاية الأمر. وقد شاع إستخدام الإستانليس ستيل بشكل كبير في السنوات الأخيرة كمادة لتصنيع الطرف بسبب إستخدام حامض النيتريك nitric أو المورياتيك muriatic كمحاليل متخصصة لنزع الطلاء، فإستخدام البرونز الفوسفوري phosphorus bronze في مثل هذه المحاليل سوف يتسبب في الذوبان المبكر للطرف. لكن يجب تذكر أن البرونز الفوسفوري phosphorus bronze له قدرة أكبر على نقل التيار ويجب إستخدامه عندما يكون التيار عاملا مؤثرا، بينما الأطراف المصنوعة من الإستانلس ستيل تكون سببا لبعض المشاكل نظرا لإنخفاض قابلية التوصيل الكهربائي فيها مما يؤدي لنشوء حرارة زائدة قد تسبب إنفصال مبكر لغلاف وسائل التعليق المصنوع من البلاستيسول.

- **الأطراف الثابتة مقابل الأطراف القابلة للإستبدال Fixed versus replaceable tips:**

هناك نوعان من حوامل وسائل التعليق تستخدم في المعالجات الكهروكيميائية، وهى حوامل ذات أطراف ثابتة Fixed tip racks، وأخرى ذات أطراف قابلة للإستبدال replaceable rack tip، وكلا النوعين له مميزاته الخاصة به. فحوامل التعليق ثابتة الأطراف Fixed tip racks أقل سعرا بشكل عام في التكلفة الأصلية، وغالبا ما تحتاج طرف شديد الصلابة بسبب وزن القطعة أو الحامل.

بينما توفر أطراف حوامل التعليق القابلة للإستبدال replaceable rack tip مميزات تفضلها عن أطراف حوامل التعليق الثابتة Fixed tip racks وهى:

١- يمكن إستخدامها بسعة إستيعاب ١٠٠%، فعند تحليل عدد القطع التي يمكن وضعها فوق الحامل ومعرفة أسلوب تشغيل خط المعالجة بشكل يحقق ربحا، فإن كل طرف يصبح سببا للربح، فكلما إنكسر طرف يمكن إستبداله، مما يعني مّخرجات إنتاج مستمرة.

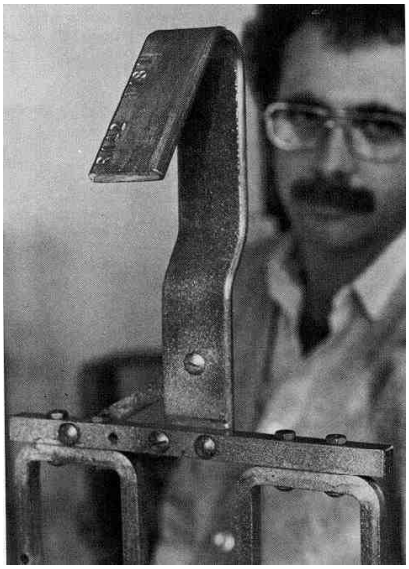
٢- يسمح بإستخدام أنواع مختلفة ومتنوعة للأطراف مع نفس العمود المركزي، مما يقلل من الحاجة لتخزين حوامل تعليق خاصة بكل نوع من أنواع القطع المراد معالجتها.

٣- يمكن عمل قضبان متقاطعة قابلة للإستبدال بدلا من كل طرف، مما يشكل ربحية إضافية.

٤- لن تكون هناك حاجة لإصلاح الحامل بأكمله، حيث سيتم إستبدال الأطراف فقط.

- **ربط الأطراف بالعمود المركزي Connecting the tips to the spine:**

الأسلوب الأكثر إنتشارا لربط الأطراف بالعمود المركزى لوسائل التعليق هو الربط الميكانيكي بإستخدام مسامير screw، وحلقة زنق lock washer، وصمولة nut، كما في الشكل (٧).



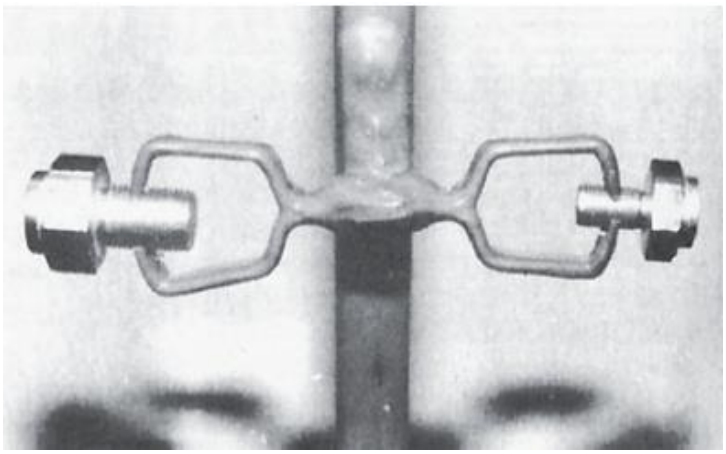
شكل (٧) استخدام المسامير فى وصل الخطافات

وتتنوع المواد المستخدمة وفقا لكل عملية، لكن بشكل عام، يستخدم الإستانلس ستيل أوالفولاذ أو النحاس الأصفر، ووصلات الإستانلس ستيل هي الأفضل لأنها أقل عرضة للتآكل **(٦)**

وإستخدام مسامير البرشام rivets المصنوعة من النحاس أو الفولاذ يكون أسرع في التركيب، لكنه يخلق مشكلة عندما يحتاج حامل التعليق للإصلاح وإزالة الأطراف.

ولربط الأطرف بالعمود المركزي لوسائل التعليق، يتم حفر ثقب في العمود يسمح بمرور المسمار خلاله وربطه بصموله لإحكام التثبيت، وعند إستخدام هذا النوع من الربط، قد يكون من الأفضل لحام الطرف للحفاظ على القوة ومقاومة التآكل، ويفضل اللحام بالرصاص، ويمكن إستخدام لحام الفضة لزيادة التوصيل الكهربائي لكنه سوف يزيد من التكلفة.

يمكن ربط معظم الأطراف بالعمود المركزي برابط ميكانيكي فردي، لكن في حالة القطع كبيرة الحجم، يجب إستخدام الروابط المزدوجة (شكل٨)، فهي الأفضل كلما كانت عملية التعليق أو الإزالة سببا لإضفاء مقدارا من العزم torque على الطرف من خلال البرم (اللف) المستمر، والجذب، والتعديل، مما يؤدي بالتالي لإرتخاء الرابط عند العمود المركزي، فالرابط المزدوج يقلل من فرصة حدوث هذا.



شكل (٨) رابط مزدوج للطرف

- **أنواع روابط الاطراف القابلة للإستبدال: (٤)**

النوع ١:

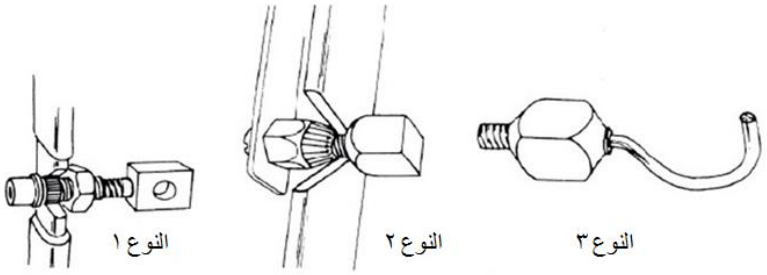
هذا الطرف القابل للإستبدال (شكل٩) به جزء خشن حتى يحكم تثبيت العمود المركزي النحاسي بواسطة مسمار من الإستانلس ستيل مشدود بقوة بغطاء بلاستيكي، وعادة ما يتم لحام هذا النوع من الأطراف بالرصاص لمقاومة التآكل وزيادة القوة.

النوع ٢:

يستخدم هذا الطرف القابل للإستبدال قطاع خشن ووتد مسنّن threaded stud يتم جذبه خلال ثقب وربطه في مكانه بصمولة غطاء cap nut.

النوع ٣:

يمثل هذا النوع طرف ثقل نوعي قابل للإستبدال سواء كان مجردا أو مغطى بالبلاستيك، ويتم تمريره مباشرة داخل العمود المركزي.



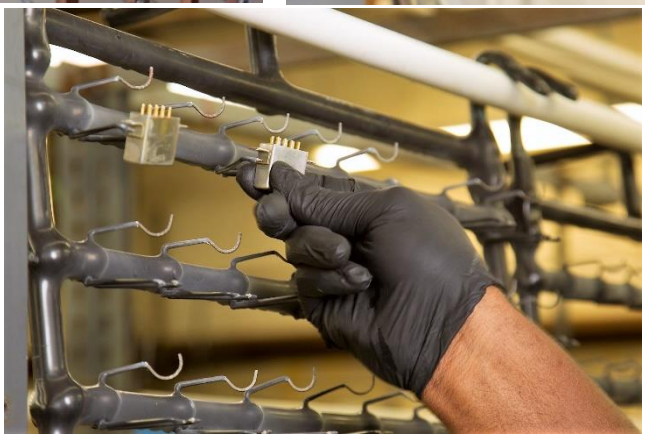
شكل (٩) الأنواع المختلفة للأطراف القابلة للإستبدال Types of replaceable tip

- **تغطية وسائل التعليق والأعمدة المركزية Coating of racks and spines:**

المرحلة النهائية في عملية تصنيع وسائل التعليق هي التغطية، وتعرف هذه التغطية بشكل عام بالبلاستيسول plastisol أو راتنج الكلوريد متعدد الفنيلPVC (polyvinyl chloride) resin، والبلاستيسول هو مادة صلبة ١٠٠% ولا يحتوي على أي مذيبات، ويجب تسخينه وتلبيده عند درجة حرارة ٣٧٥-٤٠٠ فهرنهايت، ويتم تغطية وسائل التعليق قبل تغطيتها بالبلاستيسول برابط لاصق adhesive cement والذي يساعد على إلتصاق البلاستيسول بوسائل التعليق.

من المهم أثناء عملية التلبيد أن يحافظ الفرن على درجة حرارة ثابتة للحصول على تلبيد منتظم، ويتم تهوية الفرن لإزالة أي دخان ناتج من عملية التلبيد، ومن الضروري قبل تغطية العمود المركزى لوسائل التعليق أن يتم تشطيب السطح لضمان تحقيق إلتصاق ملائم، وتسمى هذه المعالجة "السفع blasting"، وهى عملية تشطيب بإستخدام تيار من هواء مضغوط يحمل جسيمات من مادة حاكة كاشطة (مثل الرمل أو حبيبات الألومنيوم) لتنعيم سطح المنتجات.

والوظيفة الأساسية للبلاستيسول هي توفير تغطية للحماية من التآكل تكون مانعة لهجوم الحمض أو المادة القلوية الذي يحدث بشكل سائد في كل خطوط المعالجة، ويتم تجريد منطقة إتصال أطراف وسائل التعليق بالقطع المراد معالجتها من البلاستيسول لضمان الإتصال الكهربائى ويوضح شكل (١٠) بعض اشكال وسائل التعليق.



شكل(١٠) بعض أشكال وسائل التعليق

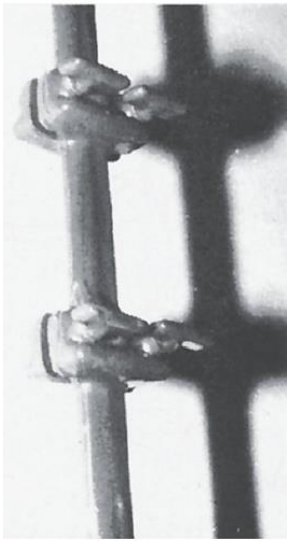
– تطبيقات خاصة special applications :

- **وسائل تعليق المعالجة الأنودية anodizing racks:**

تصنع وسائل تعليق المعالجة الأنودية في الوقت الحالي من نوعين من المواد: الألومنيوم أو التيتانيوم، ولا يتم تغطية حوامل المعالجة الأنودية بشكل عام، وتوضع القطع المراد أنودتها كقطب موجب (أنود)، يتميز الألومنيوم بكونه أقل سعرا، ولكن يتم مهاجمته كيميائيا، كما يتطلب نزع طبقة المعالجة الأنودية بعد كل دورة، بينما التيتانيوم ذو مقاومة ممتازة للتآكل، ومدة بقاء طويلة، وتشغيل لا يحتاج للصيانة، ويمكن تركيب حوامل التيتانيوم بشكل كامل بإستخدام صواميل، ومسامير مصنوعة من التيتانيوم. ولا يصلح كلا من التيتانيوم والألومنيوم للأطراف من النوع الزنبركي لأنهما ليسا مواد ذات طبيعة زنبركية. **(٩)**

- **وسائل تعليق لوحة الدائرة الكهربائية Printed circuit board plating (PCB) racks:**

إن متطلبات تصميم وسائل التعليق للوحة الدائرة الكهربائية PCB هي بنفس درجة تعقيد الشريحة الإلكترونية microchip نفسها، حيث يجب تصميم وسائل تعليق خاصة للـ PCB بحيث تحمل اللوحة في وضع مُحكم بشكل آمن نظرا للإستثارة الميكانيكية أو الهوائية في الحمامات المتنوعة، مع وجود إتصال موجب على حدود اللوحة وتكون نقطة الإتصال مصنوعة من الإستانلس ستيل T316 مع مسمار إبهام thumb screw من نفس المادة يكون طرفه مغطى بالتيفلون teflon، (شكل ١١).



شكل (١١) وسيلة التعليق الخاصة بال PCB (إتصال ثنائي النقطة)

- **وسائل تعليق عملية التلميع الكهروكيميائي Electropolishing racking:**

يتم إدراج وسائل تعليق التلميع الكهربائي في فئة الحوامل التي تحتاج إتصالا موجبا، وغالبا ما يكون الطرف مصنوع من التيتانيوم titanium tip نظرا لضرورة وجود مقاومة كيميائية، ويجب أن يتم تعليق القطع المراد معالجتها بطريقة مناسبة بحيث يقل تكون الجيوب الغازية gas pocket.

– إعتبارات تصميمة عامة لتصنيع وسائل تعليق عملية الطلاء:

١- يجب تصميمها بحيث تحمل القطع التي يتم طلاؤها في الوضع الملائم للطلاء بشكل منتظم على الأسطح المحددة ولتسهيل عملية التعليق والإنتشال.

٢- يجب تصنيعها من مواد شديدة التوصيل الكهربائي مثل النحاس أو الألومنيوم، ويكون مقطعها العرضي كافيا لنقل التيار بدون إرتفاع زائد للحرارة.

٣- من الأفضل إستخدام اللحام في التركيب البنائي للمثبتات بدلا من المسامير.

٤- يجب تغطية كل المساحات التي لا تتصل بالقطعة المراد طلاؤها أو قضبان التوصيل (buss bars) بالبلاستيسول plastisol لتجنب التآكل وتلوث حمام الطلاء.**(١٠)**

٥- يجب تعليق القطع ذات القطاعات البارزة بحيث تغطي 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.

٦- يجب أن يكون الإتصال الكهربائي فى الأسطح الغير هامة.

٧- يجب أن تكون أطراف وسائل التعليق صلبة بما يكفي لحمل القطع بشكل ثابت والحفاظ على إتصال كهربائي إيجابي. **(١١)**

٨- يجب تعليق القطع بشكل شبه رأسي قدر الإمكان، ويكون الطرف السفلي مائلا عن الوضع الأفقي لإتاحة المجال لتصريف المحلول من ركن ما، لتجنب تراكم المحلول داخل القطع ولتجنب التلوث بين المحاليل، ولابد من تجهيز القطع المفرغة بثقوب تصريف للمحلول عند تصنيعها، أو يمكن ببساطة إمالة حامل التعليق عند سحبه من المحلول. **(١٢)**

– مميزات وعيوب وسائل التعليق: (٧)

Advantages & Disadvantages of Plating Racks:

مميزات وعيوب وسائل التعليق Advantages & Disadvantages of Plating Racks	
مميزات Advantages	عيوب Disadvantages
يمكن تثبيت القطع في أي إتجاه للوصول لنهايات جمالية أفضل.	تكاليف معالجة أعلى بكثير حيث يجب وضع كل قطعة على الحامل، كل مرة على حدة
يمكن إستيعاب أى شكل هندسى أو معقد ومناسب للقطع الضعيفة (الهشة).	إنخفاض أحجام التحميل أو الإنتاجية
وسائل التعليق عادة أرخص وأبسط من البراميل	غالبا ما تكون هناك علامات من التعليق "rack marks"
يمكن معالجة وتغيير إتجاه وسائل التعليق	تحتاج الأطراف إلى تنظيفها بشكل دورى
قابلية التخصيص بشكل غير محدود, وإمكانية تحديد أجزاء معينة للمعالجة.	غالبًا ما تمثل الثقوب العميقة مشاكل

النتائج :

1. إن الإهتمام بالتصميم المناسب لوسائل تعليق المنتجات هو أهم خطوة فى نجاح العمليات الكهروكيميائية.
2. يمكن تجنب الكثير من مشاكل العمليات الكهروكيميائية من خلال تثبيت المنتجات بشكل آمن على وسائل تعليق مناسبة تسمح بالإتصال الكهربى السليم، وإستقرار المنتجات أثناء نقل وسائل التعليق بين أحواض خط المعالجة الكهروكيميائية.
3. يجب تصميم وسائل التعليق والخطافات بحيث يكون مقطعها العرضي كافيا لنقل التيار بدون إرتفاع زائد للحرارة، الذى قد يسبب إنفصال مبكر لغلاف وسائل التعليق المصنوع من البلاستيسول
4. إن الصيانة المستمرة لوسائل التعليق والتحقق الدائم من تنظيف الخطافات يزيد من صلاحية وسائل التعليق لمدة أطول مما يعوض تكلفتها العالية.
5. يجب أن يراعى عند تصميم وسائل التعليق أن تكون المفاصل (موضع اللحام) أقل ما يمكن لأن زيادتها تزيد من المقاومة للتيار الكهربى.
6. إن إستخدام الأطراف القابلة للإستبدال لها بعد إقتصادى حيث أنه فى حالة حدوث تلف لن تكون هناك حاجة لإصلاح الحامل بأكمله، سيتم إستبدال الأطراف فقط.

التوصيات :

1. المزيد من الأبحاث الخاصة بوسائل تعليق المنتجات للعمليات الكهروكيميائية لأهميتها حيث أن وسائل التعليق هى البداية لأى عملية كهروكيميائية.
2. الإهتمام بدراسة وسائل التعليق المخصوصة للمنتجات Custom Racking.
3. ضرورة الربط بين الدراسات الأكاديمية وتقنيات معالجة السطح، والسعى إلى الإستفادة بالبحوث العلمية.
4. ضرورة إلمام المصمم بالإعتبارات التصميمية لوسائل تعليق المنتجات، حتى يراعى كيفية التعليق من بداية التصميم، وتجنب العديد من المشاكل التقنية للعمليات الكهروكيميائية.

المراجع:

(1) H. Tilton, Electroplating Engineering Handbook, 4th ed., L. J. Durney, Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1984, p.559

(2) Schlesinger, Mordechay. "Electroplating." Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, v9, (2000) p.798

(3) Silman, Harold. "Designing for gold plating." Gold Bulletin 9, no. 2 (1976) p. 39

(4) Heimke, Steen. "Fundamentals of plating rack design." Metal Finishing 102, no. 4 (2004) p. 620, p.622

(٥) Tucker, R.E. "81st universal metal finishing guidebook." Metal Finishing Magazine 111, no. 7 (2013) p. 415.

(٦) LINDSAY, James H. "Some guidelines for the Design, Care & construction of plating racks." Plating and surface finishing 87, no. 10 (2000) p.16, p.18.

(٧) Lindstedt, James "Plating Methods and Tooling Design Considerations Part One: Rack Plating"Manufacturing and Process Engineer, Advanced Plating Technologies,2016. p.1, p.6.

(8) Schlesinger, Mordechay, and Milan Paunovic, eds. Modern electroplating. Vol. 55. John Wiley & Sons, 2011. p.515, p.516

(9) Runge, Jude Mary. "Anodizing as an Industrial Process." InThe Metallurgy of Anodizing Aluminum, Springer, Cham, 2018, p.١٥٢, p.١٥3.

(١٠) Handbook, Nickel Plating. Nickel Institute (201٤). p.٦٨, p.69.

(١١) Kanani, Nasser. Electroplating: basic principles, processes and practice. Elsevier, 2004. P.5.

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