

الأساليب الكهروكيميائية الأنودية لمعالجة المنتجات المعدنية وأثرها على جودة السطح Anodic electrochemical methods for processing metal products and their effect on surface quality

أ.م. د/ محمد العوامي محمد

الأستاذ المساعد بقسم المنتجات المعدنية والحلي - كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان

م.د/ ياسر عيد محمد علي

المدرس بقسم الأثاثات والإنشاءات المعدنية - كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان

الملخص:

إن جودة إنهاء سطح المنتج المعدني من الأهمية بمكان حيث أنها أحد أهم العوامل الرئيسية المؤثرة في تحديد المظهر الخارجي و العمر الافتراضي للمنتج وخاصة عندما يتعرض سطحه لإجهادات مؤثرة أثناء الاستخدام مثل (الاحتكاك - التعرض لبيئات تساعد على التآكل... وغيرها) مما يؤثر في قرار المستخدم باقتناء المنتج من عدمه وخاصة في المنتجات ذات الوظائف الجمالية.

ومن هذا المنطلق جاءت مشكلة البحث متمثلة في الحاجة الماسة إلى استخدام أنظمة حديثة لمعالجة أسطح المنتجات المعدنية تكون أكثر دقة وسهولة وسرعة في التطبيق وأقل تكلفة في الإنتاج ولا تحتاج إلى خبرات مميزة كما ينتج عنها أسطح عالية الجودة .

ومن ثم فإن الهدف من البحث يتمثل في وضع منهجية علمية لاستخدام الأنظمة الكهروكيميائية الأنودية في معالجة أسطح المنتجات المعدنية من خلال إجراء دراسة تحليلية لأهم الطرق المستخدمة ومعرفة أساليبها وأهم المحاليل المستخدمة فيها وتأثيرها على القيم الجمالية والاقتصادية والوظيفية والبيئية المضافة للمنتج .

وسيتم ذلك من خلال فرضية مفادها أن تطبيق المعالجات الكهروكيميائية الأنودية لتصميم وإنتاج مظهر سطح المنتج المعدني تحقق قدر كبير من التوافقات البيئية والجمالية والتقنية والاقتصادية وتنتج سطح معدني مميز بالتباين بين الحالات المختلفة مثل السطح اللامع والمط - الغامق والفاتح - البارز والغائر وغيرها من خصائص مظهر السطح .

واستنادا إلى منهج وصفي تحليلي تجريبي فقد تم تقسيم البحث إلى المحاور التالية :

أولاً: جودة سطح المنتج المعدني (المفاهيم والعوامل المؤثرة).

ثانياً : المعالجة الكهروكيميائية الأنودية للمنتجات المعدنية وأهميتها.

ثالثاً : تصنيف العمليات الكهروكيميائية الأنودية.

رابعاً : التجارب التطبيقية.

خامساً : النتائج والتوصيات.

وقد كان من أهم النتائج مايلي :

1. استخدام الأنظمة الكهروكيميائية في التشطيب له أثر إيجابي على العديد من العوامل المؤثرة على جودة سطح المنتج مثل : التباين اللوني والتناغم والبريق وكذلك الدقة في تطبيق ذلك على مظهر السطح بخطوط يصل سمكها إلى 0,2 مللي بالإضافة إلى مقاومة الاحتكاك وزيادة العمر الافتراضي لسطح المنتج .
2. يمكن تطبيق العمليات الكهروكيميائية الأنودية على معظم المعادن ولا تحتاج لعمالة مدربة أو مهارات فنية مميزة في أغلب مراحلها .

3. تتميز الأنظمة الكهروكيميائية الأنودية بأنها ذات تكلفة اقتصادية منخفضة جداً مقارنة بالعمليات التي تعطي نتائج مماثلة مثل التشغيل بالليزر والبلازما وبعض العمليات الميكانيكية مما يدعم نموها كأحد الصناعات الصغيرة .
4. تستخدم عمليات المعالجة الأنودية لإنهاء أسطح المنتجات المعدنية ذات السمك القليل الذي يتراوح بين (0,1 الى 0,5 مللي) وكذلك المعادن الصلبة التي قد تتعرض للتشوه أو الكسر عند معالجتها بالطرق الميكانيكية .
5. تتميز طرق الحفر الكهروكيميائي عن مثيلاتها بكفاءتها مع بعض المنتجات التي يصعب حفرها بالطرق الميكانيكية أو الغير تقليدية كالليزر والبلازما ومن أمثلة هذه المنتجات المواسير ذات الأقطار الصغيرة (من 20مللي الى 8 مللي) .
6. قد يحدث تآكل جزئي لبعض أدوات ووسائل التعليق أثناء تطبيق العمليات الأنودية مما يؤثر على نتائج العملية لذا يفضل صناعة هذه الأدوات من معدن خامل مثل التيتانيوم
7. العمليات الكهروكيميائية ليس لها أي نوع من الإجهادات على سطح المعدن ولا تختزل الإجهاد وخاصة الحراري وهذا يمنحها ميزة تنافسية كبيرة .

Abstract:

The quality of finishing the surface of the metal product is important as it is one of the main factors affecting the determination of the external appearance and the life of the product, especially when the surface of the product exposed to stresses of influence during use (friction - exposure to environments that help corrosion ... etc.) effect on the decision of the user to acquire the product or not, especially in products with aesthetic functions Therefore, **the problem of research** is the urgent need to use modern systems to treatment the surface of the metal product will be more accurate and easy and fast in the application and less expensive in production and do not need special expertise

The objective of the research is to conduct an analytical study of the most important methods used in the treatment of metal products surfaces to identify the aesthetic, economic, functional and environmental values added by treating the surfaces of metal products electrochemically and to know their methods and the most important solutions used in them.

This will be done through **the hypothesis** that the application of electrochemical treatments to design and produce the appearance of the metal product surface achieves a great deal of environmental, aesthetic and technical compatibility and produces a metallic surface characterized by contrast between different conditions such as glossy surface, matte, dark and light surface and other surface appearance characteristics.

According to a descriptive analytical method, based on several axes:-

- Factors affecting the quality of the metal product surface.
- Anodic electrochemical processing of metal products and their importance
- Electrochemical methods used to improve the appearance of the metal product
- Classification of anode electrochemical processes
- Research experiments
- Conclusion and discussion

The research concluded with some results :

1 - The use of electrochemical systems in finishing has a positive impact on many factors affecting the quality of the surface product such as: contrast, harmony and luster as well as accuracy in the application of the appearance of the surface lines up to 0,2 mm in addition to friction and increase the shelf life of the surface the product .

2. Anodic electrochemical processes can be applied to most minerals and do not require skilled workers or distinctive technical skills at most stages.
3. Anodic electrochemical systems are characterized by very low economic cost compared with processes that produce similar results, such as laser and plasma operation and some mechanical processes, supporting their growth as a small industry.
4. Anodic processes are used to finish the surfaces of low-thickness metal products ranging from 0.1 to 0.5 millimeters, as well as solid metals that may be deformed or fractured when mechanically treated.
- 5 - Electrochemical etching methods are characterized by their efficiency with some products that are difficult to be dug by mechanical or non-conventional methods such as laser and plasma. Examples of these products are pipes with small diameters (from 20 to 8 millimeters,).
- 6 - Partial corrosion of some tools and means of operation may occur during the application of the Anodic processes, which affects the results of the process so it is preferable to manufacture these tools from the inactive metal such as titanium.
- 7 - Electrochemical processes do not have any stresses on the metal surface, and do not reduce stress, especially thermal and this give them a competitive advantage.

مقدمة البحث:

مما لا شك فيه أن جودة إنهاء سطح المنتج المعدني من الأهمية بمكان حيث أنها أحد أهم العوامل الرئيسية المؤثرة في تحديد المظهر الخارجي و العمر الافتراضي للمنتج وخاصة عندما يتعرض سطحه لإجهادات مؤثرة أثناء الاستخدام مثل (الإحتكاك - التعرض لبيئات تساعد على التآكل.... وغيرها) مما يؤثر في قرار المستخدم باقتناء المنتج من عدمه وخاصة في المنتجات ذات الوظائف الجمالية . وبما أن عملية المعالجة السطحية النهائية (التشطيب) تمثل المرحلة الأخيرة في صناعة المنتج كان الاهتمام بها من حيث المنهجية ودقة الخطوات من العناصر الهامة في نجاح المنتج وظيفياً واقتصادياً وجمالياً وبالتالي تسويقياً . م3 ص 1221

ومع ذلك كان الاعتماد في كثير من المؤسسات الإنتاجية على العمليات التقليدية في التشطيب مثل التلميع الميكانيكي والسفع بالرمل وغيرها من العمليات التي تعتمد كثيراً على العمالة المدربة ذات الخبرة العالية والتي ندر وجودها ، كما أن هذه العمليات ينتج عنها عدم تجانس وإجهادات للسطح بسبب الاحتكاك بين أدوات التشغيل والمنتج وهذه الإجهادات تقلل من العمر الافتراضي لسطح المنتج م5 ص 852 .

ومن هذا المنطلق دعت الحاجة إلى استخدام عمليات حديثة غير تقليدية في إنهاء وتشطيب أسطح المنتجات المعدنية يتم من خلالها التغلب على مثل هذه السلبيات وينتج عنها أسطح عالية الجودة مثل العمليات الكهروكيميائية الأنودية التي تتميز بفاعلية واضحة في تشطيب سطح المنتج المعدني باعتبارها أنظمة بسيطة في التشغيل والإنتاج توفر الكثير من الوقت والطاقة ولا تحتاج إلى رؤوس أموال ضخمة لبدء العمل إذا ما قورنت بالعمليات الأخرى التي تعطي نفس النتائج مثل (التشغيل بالليزر- التشغيل بالبلازما- التلميع الميكانيكي... وغيرها من العمليات) مما يضيف لها ميزة أخرى في دعم الصناعات الصغيرة . ومن هذا المنطلق جاءت مشكلة البحث متمثلة في الحاجة الماسة إلى استخدام أنظمة حديثة لمعالجة أسطح المنتجات المعدنية تكون أكثر دقة وسهولة وسرعة في التطبيق وأقل تكلفة في الإنتاج ولا تحتاج الى خبرات مميزة كما ينتج عنها أسطح عالية الجودة .

ومن ثم فإن الهدف من البحث يتمثل في وضع منهجية علمية لاستخدام الأنظمة الكهروكيميائية الأنودية في معالجة أسطح المنتجات المعدنية من خلال إجراء دراسة تحليلية لأهم الطرق المستخدمة ومعرفة أساليبها وأهم المحاليل المستخدمة فيها وتأثيرها على القيم الجمالية والاقتصادية والوظيفية والبيئية المضافة للمنتج .

وسيمت ذلك من خلال فرضية مفادها أن تطبيق المعالجات الكهروكيميائية الأنودية لتصميم وإنتاج مظهر سطح المنتج المعدني تحقق قدر كبير من التوافقات البيئية والجمالية والتقنية والاقتصادية وتنتج سطح معدني مميز بالتباين بين الحالات المختلفة مثل السطح اللامع والمط - الغامق والفاتح - البارز والغائر وغيرها من خصائص مظهر السطح .

كلمات مفتاحية:

الأساليب الكهروكيميائية - المعالجة الأنودية - جودة السطح

واستنادا إلى منهج وصفي تحليلي تجريبي فقد تم تقسيم البحث إلى المحاور التالية :

أولاً: جودة سطح المنتج المعدني (المفاهيم والعوامل المؤثرة).

إن التقدم الهائل والمتسارع في تقنيات وعلوم التصميم والإنتاج قد ساهم بشكل كبير في إيجاد حلول وبدائل لمشكلات جودة سطح المنتج لما لها من تأثير كبير على أداء وظائفه وعمره الافتراضي وخاصة تلك المنتجات التي يتعرض سطحها للاحتكاك مع أسطح أخرى أثناء الاستخدام الأمر الذي يحتاج إلى درجات عالية من التشطيب لتحسين جودة سطح المنتج. (5م ص855)

مفهوم (جودة سطح المنتج)

الجودة (Quality) في مجال التصنيع وفقا لقاموس الأعمال هي مقياس للتميز أو حالة الخلو من العيوب والنواقص والتباينات الكبيرة عن طريق الالتزام الصارم بمعايير قابلة للقياس وقابلة للتحقق لإنجاز تجانس وتمائل في الناتج ترضي متطلبات محددة للعملاء أو المستخدمين . أما معيار أيزو 8402 فيحدد الجودة على أنها "مجملة السمات والخصائص للمنتج أو الخدمة التي تجعله قادراً على تلبية الاحتياجات المذكورة صراحة أو المضمنة. ^{11م}

أما عملية إنهاء سطح المنتج فهي معالجة سطح المعدن بالطرق المختلفة مما يجعل المنتج يقوم بإتمام وظائفه المتوقعة أثناء الاستخدام بأقل التكاليف ولأطول فترة ممكنة وفي إطار عام من المحافظة على البيئة المحيطة .

وبذلك يمكن تعريف جودة سطح المنتج علي أنها:

(خصائص السطح المطابقة للمواصفات القياسية لتصميم المظهر الخارجي الخالية من العيوب والتي لها القدرة علي الأداء الفعال لتلبية احتياجات المستخدم بأقل تكاليف ممكنة) .

وتعتبر جودة إنهاء سطح المعدن أحد العناصر المؤثرة التي تهتم بتحقيق الخواص المميزة والمطلوبة لسطح المنتج المعدني وفقاً لرغبات المستخدم والملائمة لمظهر السطح مثل (التباين اللوني - الملمس - البريق - الصلادة - وغيرها.

العوامل المؤثرة في جودة سطح المنتج المعدني

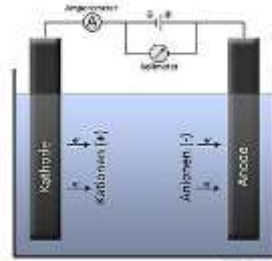
وتصنف العوامل المؤثرة في سطح المنتج المعدني إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي :-

- 1- العوامل الطبيعية ومنها (البريق - الملمس - التنوع اللوني - التباين اللوني - الشفافية - قوة الإضاءة)
- 2- العوامل الكيميائية ومنها (البيئة الاستخدامية - خواص المعدن وغيرها)
- 3- العوامل الميكانيكية ومنها (الصلادة- مقاومة الكشط وغيرها)

ثانيا : المعالجة الكهروكيميائية الأنودية للمنتجات المعدنية وأهميتها

أساس هذه العملية وضعه فاراداي في القرن الثامن عشر حيث أثبت أنه إذا تم وضع قطبين في محلول موصل كهربيا (إلكتروليتي) مع توصيل تيار كهربى مستمر فإن أيونات المعدن تنتقل من القطب الموجب (الأنود) الى القطب السالب (الكاثود)

لذا فالمعالجة الأنودية هي إحدى تطبيقات عملية التحليل الكهربى في الخلية الإلكتروليتيية حيث يوضع المنتج المراد معالجته كما في شكل (1) كقطب موجب للخلية (الأنود) ويوضع بالقطب السالب (الكاثود) خامة أخرى موصلة للكهرباء كالجرافيت أو معدن أوسبيكة خاملة (لاتتأثر بفعل المحلول الإلكتروليتي)



شكل (1) الخلية الإلكتروليتيية

وقد سجل جوزيف **Gusseff** سنة 1929 أول براءة اختراع في عمليات التشطيب الكهروكيميائية كما تعدد استخدام هذه العمليات في العقود الأخيرة من القرن العشرين حيث استخدمت في العديد من التطبيقات الهامة سواء كانت لمعالجة سطح المعدن أو لتشكيل المنتجات المعدنية أو لتنقية واستخلاص بعض العناصر المعدنية (وخاصة الثمينة منها) من محاليل أملاحها . 5م ص856

وقد ازدادت أهمية المعالجة الأنودية في إنهاء وتشطيب أسطح المنتجات المعدنية في الأونة الأخيرة نتيجة للأسباب التالية:

أسباب تقنية (تكنولوجية)

من أهم الأسباب التقنية التي تتميز بها المعالجة الأنودية ما يلي :

1. بساطة نظام التشغيل والتي لها الأثر الأكبر في تبني هذه الأنظمة كبديل لعمليات وأنظمة أخرى أكثر تعقيداً
2. عدم تعرض أجزاء المنتج لأي اجهاد ميكانيكي أو حراري أثناء عملية التشغيل
3. كونها من العمليات الموفرة جداً للوقت
4. إمكانية تشطيب الأجزاء سهلة الكسر والتي لا تصلح معها الطرق الميكانيكية
5. لا تتطلب عمالة عالية المهارة .

أسباب اقتصادية

من أهم الأسباب الاقتصادية التي تتميز بها المعالجة الأنودية ما يلي :

1. التكلفة الكلية لتشطيب أسطح المنتجات المعدنية بها قليلة جداً إذا ما قورنت بغيرها.
2. من الطرق الموفرة جداً للطاقة .
3. لا تحتاج إلى رؤوس أموال ضخمة لبدء العمل إذا ما قورنت بالعمليات الأخرى التي تعطي نفس النتائج مثل (التشغيل بالليزر- التشغيل بالبلازما)

أسباب بيئية

وتتمثل الأسباب البيئية فيما يلي :

1. لا ينتج عن عمليات التشطيب بهذه الطريقة أي ملوثات بيئية تذكر .
2. زيادة العمر الافتراضي لسطح المنتج وخاصة في المنتجات التي يمثل فيها سطح المنتج عنصر أساسي من عناصره الوظيفية.
3. إمكانية إعادة استخدام المنتج من خلال إمكانية إعادة معالجة سطح المنتج مرة أخرى وذلك بإزالة المعالجة القديمة بعد انتهاء صلاحيتها واستبدالها بأخرى جديدة .

أسباب جمالية

من أهم الأسباب الجمالية التي تتميز بها المعالجة الأنودية ما يلي :

1. المظهر المتكون من خلال هذه المعالجة مقبول وجذاب جداً للمستخدم لما له من قيم جمالية مثل التباين والتناغم في اللون .
2. غالباً ما يكون مظهر السطح ذو تصميم ملائم للغرض الذي صمم من أجله المنتج .

أسباب وظيفية (استخدامية)

وهي الخواص المطلوب توافرها في سطح المنتج ليكون ملائماً لوظائفه الاستخدامية وتتمثل فيما يلي :

1. يكون سطح المنتج ذو مقاومة كبيرة للإجهادات الناتجة عن الإحتكاك وخاصة في المنتجات المتداولة بصفة مستمرة وبشكل مباشر من قبل المستخدم مثل أدوات المائدة ومقابض الأبواب المختلفة .
2. المقاومة العالية لتأثير الأحماض والقلويات والأملاح المختلفة التي يمكن أن يتعرض لها سطح المنتج أثناء الاستخدام.

ثالثاً : تصنيف العمليات الكهروكيميائية الأنودية

إن العمليات الأنودية المستخدمة في تشغيل وصناعة المنتجات المعدنية كثيرة ومتعددة إلا أنه لا يستخدم منها في معالجة أسطح المنتجات إلا عدد محدود مثل :

التطهير الكهروكيميائي الأنودي Electrochemical cleaning

ويدل اسم هذه الطريقة على أنها عملية لتنظيف السطح حيث يتم إزالة الملوثات بطريقة أفضل من عمليات الإزالة الميكانيكية و يستخدم فيها تيار كهربائي يمر بين قطبين أحدهما الأنود ويتصل بالمنتج ، والقطب الآخر الكاثود " الذي لا يتفاعل ولا يتآكل " من خلال المحلول الإلكتروليتي المطهر، كما يمكن أن يكون المنتج هو الكاثود واختيار هذا أو ذاك يعتمد على فعل الغسيل الغازي سواء كان هيدروجين عند الكاثود أو أكسجين عند الأنود ، ويستخدم التطهير الكاثودي غالباً للفلزات غير الحديدية والنيكل وسبائكهم ، كما يستخدم كمرحلة أولى في تطهير الفلزات الحديدية ثم يتبع بتطهير أنودي وذلك لتجنب ترسيب الهيدروجين الهش على الصلب ، حيث يساعد تصاعد الغاز في إزالة الملوثات وفي نفس الوقت يحدث تنقية لمحلول التطهير نفسه ، ويمكن تطهير كل الفلزات بهذه الطريقة حيث أنها تعتبر من الطرق الفعالة والمؤثرة .⁴ ويعتبر التطهير الكهروكيميائي عادة هو آخر خطوة في عمليات التطهير التي تسبق عملية المعالجة ، وفيما يلي أمثلة لبعض المحاليل المستخدمة في التطهير الكهروكيميائي :-

تطهير الصلب الغير قابل للصدأ

المحلول الإلكتروليتي	درجة الحرارة	التيار	الكاثود	الزمن
هيدروكسيد صوديوم 31 جرام / لتر	80 درجة مئوية	7 أمبير / ديسمتر 2	صلب غير قابل للصدأ رقم 316	2 دقيقة معالجة كاثودية ثم تتبع 30 ثانية معالجة أنودية
ميثاسليكات صوديوم 20 جرام / لتر				
ثلاثي فوسفات صوديوم 5 جرام / لتر				
كربونات صوديوم 3 جرام / لتر				
كبريتات صوديوم لوربية 1 جرام / لتر				

تطهير النحاس

المحلول الإلكتروليتي	درجة الحرارة	التيار	الكاثود	الزمن
هيدروكسيد صوديوم 8 جرام / لتر	80 : 70 درجة مئوية	5 أمبير / ديسمتر 2	صلب غير قابل للصدأ	1 دقيقة
ميثاسليكات صوديوم 10 جرام / لتر				
ثالث بولي فوسفات صوديوم 3 جرام / لتر				
كربونات صوديوم 7 جرام / لتر				
تيبول Teepol 1 جرام / لتر				

المعالجة الحمضية الكهروكيميائية الأنودية Electrochemical Pickling

وهي عملية الهدف منها تنشيط سطح المنتج المعدني و تجهيزه للمعالجات الكيميائية بصفة عامة وللحفر الكهروكيميائي بصفة خاصة ويتم ذلك بوضع المنتج في محلول حمضي لتحفيز سطح المعدن ، وهي طريقة فعالة في إزالة الملوثات القديمة والأكاسيد القوية من على سطح الصلب عالي الكربون قبل عملية الحفر. وفي هذه العملية يتم إزالة الصدأ والأكاسيد من على سطح المنتج ، وأحياناً تستخدم لإكساب سطح المنتج جودة التصاق عالية مع طبقة الطلاء حيث يغمر المنتج في حمض أو ملح حمض مثل حمض الكبريتيك أو أملاحه أو كلوريد الحديدك قبل عملية الطلاء .^{4 م}

وفيما يلي مثالاً لأحد المحاليل المستخدمة في المعالجة الحمضية الكهروكيميائية الأنودية : معالجة الحديد والصلب

توضع المنتجات المراد تنظيفها كقطب موجب (أنود) في المحلول الآتي :-

المحلول الإلكتروليتي	التيار	الإثناء
حامض كبريتيك 100 جرام / لتر	30 : 40 أمبير / ديسمتر 2	مبطن بالرصاص
كبريتات صوديوم 100 جرام / لتر		

التلميع الكهروكيميائي Electrochemical Polishing

إن التقنيات الكهروكيميائية غالباً ما تستخدم كبديل للعمليات الميكانيكية التي تحتاج لكثير من الوقت والجهد وتعرض سطح المعدن لإجهادات عالية . وتعد عملية التلميع الكهروكيميائي أحد هذه التقنيات المنتشرة في صناعة المنتجات المعدنية وذلك لجودة السطح الناتج من حيث اللمعة وخلوه من الشوائب وعدم تعرض السطح المنتج للإجهادات أثناء عملية التلميع.^م

ولعملية التلميع الكهروكيميائي عدة تعريفات منها :

- أنها عملية تشغيل للمنتجات بالغمر في محاليل إلكتروليتيّة .
- هي عملية كهروكيميائية تستخدم لتنعيم سطح المنتج المعدني بإزالة جزء من المعدن من الطبقة الميكروسكوبية من سطح المعدن .^{13 م}
- هي إزالة محكمة لجزء من سطح المعدن بالاتحاد بين المواد الكيميائية والمحلول والتيار الكهربائي.^{1 م}
- هي إزالة إلكتروليتيّة لجزء من سطح المعدن في محلول أيوني قوي بتيار كهربائي مستمر.
- هي عملية مرور التيار الكهربائي خلال المنتج المعدني في محلول لإزالة طبقة رقيقة من سطحه ينتج عنها بريق ولمعان ومقاومة تآكل لهذا السطح وهي عملية عكسية للطلاء الكهربائي.^{7 م}

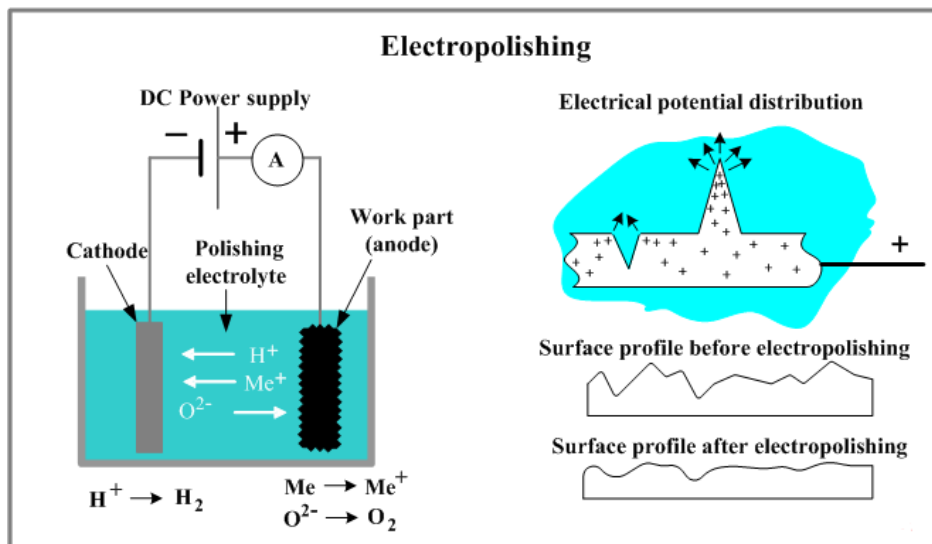
كيفية إجراء العملية :

يغمر المنتج المعدني المراد تلميعه المتصل بالقطب الموجب "الأنود" في وسط سائل "محلول إلكتروليتي" ويوضع بالقطب الآخر السالب "كاثود" قطعة من معدن النحاس أو الصلب الغير قابل للصدأ رقم 316 أو الرصاص . و يسمح التيار المباشر الذي يمر خلال القطب الموجب ونتيجة للاستقطاب لأيونات المعدن بالانتشار خلال طبقة رقيقة إلى القطب السالب .

و تعتمد كمية المعدن المزالة من القطب الموجب على ما يلي :

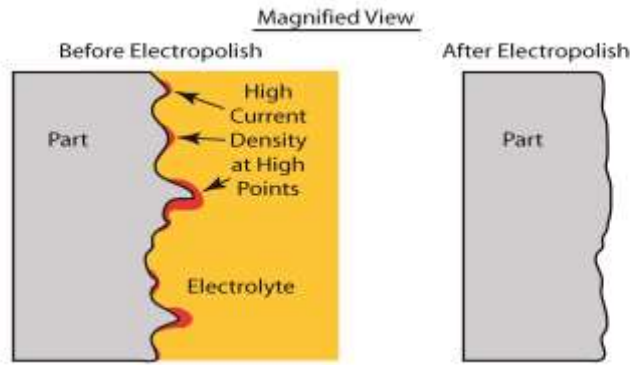
• نوعية المحلول	• درجة الحرارة
• كثافة التيار	• تركيب السبيكة المعرضة للتلميع الكهروكيميائي
• شكل الأنود "المنتج"	

و يوضح شكل (2) رسم تخطيطي لخلية تلميع كهروكيميائي



شكل (2) رسم تخطيطي لخلية تلميع كهروكيميائي يتضح فيها وحدة التلميع ومكوناتها والجانب الأيمن يوضح الأثر الناتج عن عملية التلميع.

كما يوضح شكل (3) السطح المعدني قبل وبعد عملية التلميع الكهروكيميائي



شكل (3) السطح المعدني قبل وبعد عملية التلميع الكهروكيميائي ويتضح أن المساحات البارزة من السطح تتأثر بصورة أكبر من المساحات المنخفضة

الحفر الكهروكيميائي Electrochemical etching

هي عملية أنودية (تطبيق لاكتشاف فارادي) الذي أوضح فيه أنه إذا تم وضع قطبين في محلول إلكتروليتي مع توصيل تيار كهربائي مستمر فإن أيونات المعدن تنتقل من القطب الموجب (الأنود) إلى القطب السالب (الكاثود) . لذلك فعلمية الحفر الكهروكيميائي هي عملية عكسية للطلاء الكهربائي تعتمد على إزالة المعدن في مساحة محددة من سطح المنتج بتحويل المعدن إلى أيونات في خلية كهروكيميائية والتحكم في تدفق المحلول الإلكتروني بما يحقق تماثل وانتظام لسطح المنتج بشكل عام .²⁴

لذلك يجب في هذه العملية اختيار المحاليل بدقة وعناية لإجراء التفاعلات المطلوبة بدون طلاء معدن الكاثود لأن ذلك يؤثر على جودة عملية التوصيل وبالتالي عملية الحفر.

1- خصائص محلول الحفر

يجب أن يتوفر في محلول الحفر عدة خصائص تساعد على إتمام العملية دون التعرض لمشاكل قد تؤثر على جودة حفر سطح المنتج المطلوب ومن هذه الخصائص ما يأتي:-

- ذو توصيلية كهربائية عالية
- منخفض اللزوجة حتى يصل إلى كل أجزاء المنتج المراد حفرها وخاصة الدقيقة منها.
- لا يتفاعل مع كل من المنتج المعدني أو القطب السالب (ثابت كيميائياً)
- منخفض التكلفة.

2- مكونات محلول الحفر

يتكون محلول الحفر عادة من مركبات كيميائية متعددة وفيما يلي أمثلة لبعض المحاليل المستخدمة :-

المحلول الأول م 3 ص 1232

درجة الحموضة (PH)	التيار فولت	درجة الحرارة مئوية	المحلول الإلكتروني
7,4	20 : 2 فولت	37 درجة مئوية	كلوريد بوتاسيوم 0,2 جرام / لتر
			كلوريد صوديوم 8,8 جرام / لتر
			فوسفات صوديوم 1,15 جرام / لتر
			فوسفات بوتاسيوم 0,2 جرام / لتر

المحلل الثاني

درجة الحمضية (PH)	التيار	درجة الحرارة	المحلل الإلكتروليتي
6,5	4 الى 16 فولت	درجة حرارة الغرفة	كلوريد زنك 10 : 50 جرام / لتر
			سترات بوتاسيوم 12,8 جرام / لتر
			فوسفات بوتاسيوم 7,2 جرام / لتر

3- الخامات المستخدمة كقطب سالب في عملية الحفر

من أكثر الخامات استخداماً كقطب سالب (كاثود) الصلب الغير قابل للصدأ والتيتانيوم لأنها معادن خاملة في العمليات الكهروكيميائية ومن الصعب أن يلتصق بها طبقات الطلاء إلا بمعالجات خاصة . كما يستخدم أيضا الألومنيوم والنحاس .

4- الأثر الناتج عن عملية الحفر

تستخدم عملية الحفر الكهروكيميائي لإحداث نوعين من التأثير على سطح المنتج المعدني وهما:-

- الحفر البسيط (حفر غير عميق)

وهو عبارة عن إحداث علامة ثابتة تتشابه في مظهرها بعملية السفع بالرمل أو الليزر وبذلك يحدث التباين بين المساحات اللامعة وغير اللامعة (المط) في سطح المنتج .

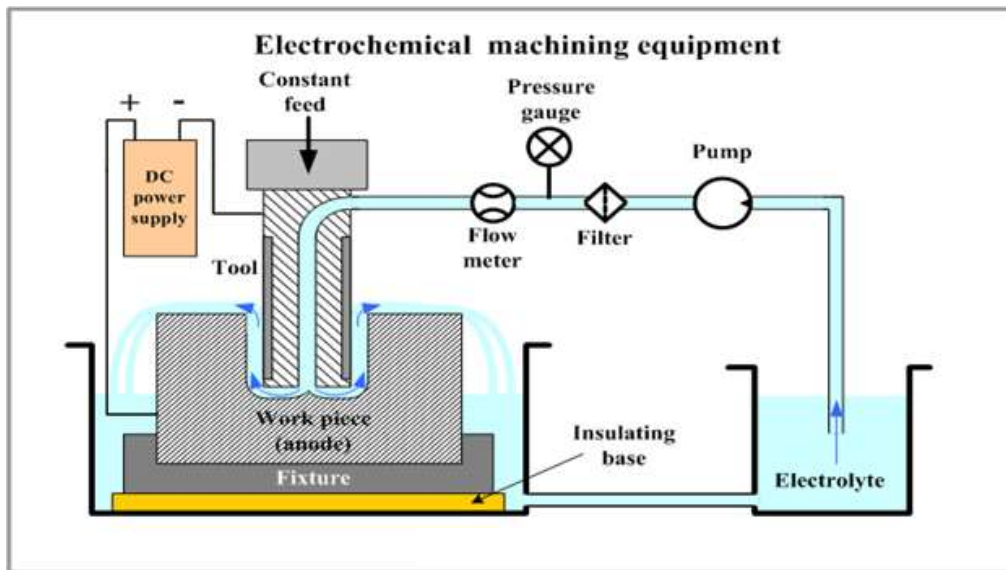
- الحفر الغائر (حفر عميق)

وهو عبارة عن حفر يتراوح عمقه بين 0,2 مم الى 2مم وقد يزيد عن ذلك أحياناً . ولكن إذا تعدى عمق الحفر 2مم قد يحدث تشوه في حواف المساحة المحفورة.

5- خطوات العملية

وتتنظم عملية الحفر الكهروكيميائي في الخطوات التالية:-

- تجهيز سطح المنتج بالتطهير بالغمر أو كهروكيميائياً طبقاً لدرجة نقاء السطح من الملوثات.
- وضع مادة عازلة على سطح المنتج المعدني (بحيث يتم عزل المساحات التي لن تحفر وترك الأخرى بدون عزل)
- بدأ عملية الحفر الكهروكيميائي بإزالة المعدن من المساحات غير المعزولة كما بشكل (4)



شكل (4) رسم تخطيطي يوضح خلية الحفر الكهروكيميائي

- ازالة الطبقة العازلة والتنظيف كما بالشكل رقم (5) .

- التشطيب ومعالجة مظهر سطح المنتج .



شكل (5) إزالة الطبقة العازلة

ويتم إزالة المعدن من سطح المنتج باستخدام قواعد التحليل الكهربائي حيث أن أداة الحفر (الكاثود) في بعض الحالات تكاد تلامس سطح المنتج عند قوة تيار تتراوح بين 2 الى 20 فولت . ويحدد معدل الإزالة (عمق الحفر) بقانون فاراداي الأول الذي ينص على أن :

(كمية المادة المزالة بالتحليل الكهربائي تتناسب طرديا مع كمية الكهربية المارة في المحلول)

رابعاً : التجارب التطبيقية

التجربة الأولى

الحفر الكهروكيميائي العميق لسطح قطاع من الصلب الغير قابل للصدأ (استانلس استيل) على شكل اسطوانة (شكل 6) باستخدام مادة عازلة .



(شكل 6)

عينات التجربة من الاستنلس استيل

أ. هدف التجربة :

الحصول على سطح محفور لسبيكة الصلب الغير قابل للصدأ

ب. إجراءات التجربة :

1- تجهيز الأدوات وهي :-

- ترمومتر مئوي لقياس درجة الحرارة في المحاليل

- إناء من البلاستيك سعة 2 لتر يستخدم كحوض للحفر في التجربة " بعدد الأحواض المطلوبة"

- بيكر 50 مم 3 ، 250 مم 3 لمعايرة الأحماض والسوائل اللازمة للمحاليل

- مصدر للتيار الكهربائي المباشر d.c مزود بجهازي أميتر وفولتميتر لقياس شدة وقوة التيار - أدوات التعليق (يجب التأكد من نظافة أسلاك ووسائل التعليق الخاصة بالأنود والكاثود لضمان سريان التيار الكهربائي خلال الدائرة بشكل طبيعي)

2- تجهيز الخامات وهي:-

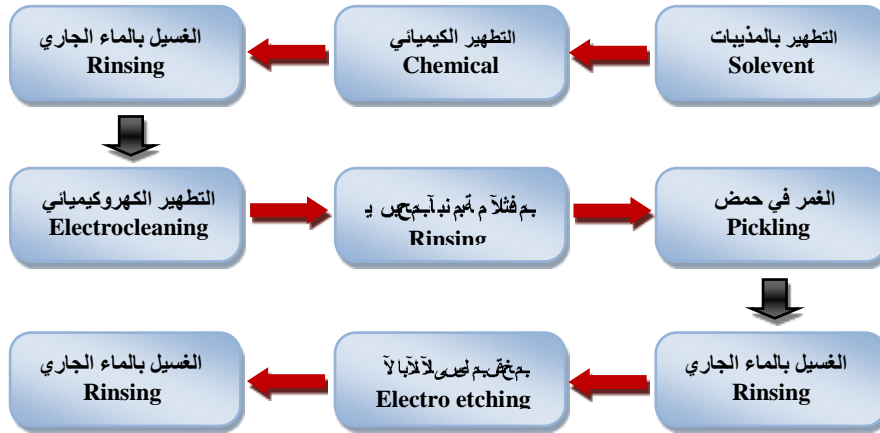
- عينة الحفر وهي قطاع من سبيكة الصلب غير قابل للصدأ على شكل اسطوانة (ماسورة)

- مادة عازلة (شرائح فينيل بها مادة لاصقة) ذات لون أزرق.

- كاثود من النحاس علي شكل مستطيل 3 سم 20 سم أو أكبر

ج. الخطوات العملية للتجربة :

تسير الخطوات العملية للتجربة طبقاً للرسم التخطيطي الموضح بالشكل رقم (7) وهي كالآتي :



شكل (7) خطوات عملية الحفر الكهروكيميائي

- 1- تجهيز العينة ميكانيكياً .
- 2- تطهير العينة بالمذيبات العضوية مثل البنزين باستخدام فرشاة أو قفنة مبللة بالمذيب
- 3- وضع المادة العازلة على سطح العينة . كما بالشكل (8)



شكل (8) العينة بعد تغطية مساحات العمل تماماً بالمادة العازلة

- 4- إزالة المادة العازلة من المساحات المراد حفرها . كما بالشكل (9)



شكل (9) العينة بعد إزالة المادة العازلة من المساحات المراد حفرها

- 5- التطهير مرة أخرى بمذيب مثل الكحول للتخلص من الآثار المتبقية من المادة العازلة .
6- التطهير الكيميائي في المحلول الآتي: -

المحلول	درجة الحرارة	الزمن
هيدروكسيد صوديوم	80 : 90 درجة مئوية	1 : 5 دقائق
ميتاسليكات صوديوم		
ثلاثي فوسفات صوديوم		
كربونات صوديوم		
بولي أوكسي إيثيلين استر		

- 7- التطهير الكهروكيميائي في المحلول الآتي: -

المحلول الإلكتروني	درجة الحرارة	التيار	الكاثود	الزمن
هيدروكسيد صوديوم	80 درجة مئوية	7 أمبير / ديسمتر 2	صلب غير قابل للصدأ رقم 316	2 دقيقة معالجة كاثودية ثم تتبع 30 ثانية معالجة أنودية
ميتاسليكات صوديوم				
ثلاثي فوسفات صوديوم				
كربونات صوديوم				
كبريتات صوديوم لورية				

- 8- الغسيل بالماء الجاري
9- الغمر في محلول حمض كبريتيك تركيز 100 مللي / لتر
10- الغسيل بالماء الجاري.
11- حفر سطح العينة في المحلول الآتي: -

المحلول الإلكتروني	درجة الحرارة	التيار	الكاثود	الزمن
حمض هيدروكلوريك	37 درجة مئوية	6,5 فولت	نحاس أحمر	20 دقيقة
حمض كروميك				

- 12- يجب تحريك العينة والمحلول أثناء التشغيل.
13- عملية التصفية
14- الغسيل بالماء الجاري
15- التجفيف
16- إزالة المادة العازلة من السطح .

د. نتيجة التجربة

بعد مرور زمن الحفر المحدد نلاحظ حدوث حفر عميق (غائر) على سطح العينة في المساحات التي تم إزالة المادة العازلة منها مع تحول هذه الأجزاء إلى سطح غير لامع كما بشكل (10) وكما يتضح أيضا في نتائج بعض التجارب الأخرى كما في شكل (11)



شكل (10) العينة بعد انتهاء عملية الحفر الكهروكيميائي



شكل (11) نتائج بعض التجارب الأخرى للحفر الكهروكيميائي العميق

التجربة الثانية

الحفر الكهروكيميائي البسيط (غير عميق) لسطح أنية من الصلب الغير قابل للصدأ (استانلس استيل) باستخدام شبكة من الحرير (استنسل) .

أ. هدف التجربة :

الحصول على سطح محفور لسبيكة الصلب الغير قابل للصدأ

ب. إجراءات التجربة :

1- تجهيز الأدوات وهي :-

كما بالتجربة الأولى

2- تجهيز الخامات وهي:-

- عينة الحفر وهي أنية من سبيكة الصلب الغير قابل للصدأ كما في شكل (12) .



شكل (12) أنية من سبيكة الصلب الغير قابل للصدأ

- شبكة من الحرير (استنسل) ذات لون اخضر طبع عليها علامة تجارية لإحدى الشركات .

- كاثود من الصلب الغير قابل للصدأ

ج. الخطوات العملية للتجربة :

تعتبر الخطوات العملية للتجربة أبسط كثيراً من التجربة الأولى وهي كالآتي:

- 1 - تجهيز العينة ميكانيكياً .
- 2 - تطهير العينة بالمذيبات العضوية مثل البنزين ويتم ذلك بفرشاة أو قطنة مبللة بالمذيب
- 3- تثبيت الشبكة الحريرية على سطح العينة. كما بالشكل (13)



شكل (13) العينة بعد تثبيت شبكة الحرير عليها

4 - حفر العينة بالمحلول الآتي: -

المحلول الالكترولي	درجة الحامضية	درجة الحرارة	التيار	الكاثود	الزمن
كلوريد زنك	6,5	درجة حرارة الغرفة	8 فولت	صلب غير قابل للصدأ	30 ثانية
سترات بوتاسيوم	12,8				
فوسفات بوتاسيوم	7,2				

5- إزالة الشبكة الحريرية من سطح العينة

6- الغسيل بالماء الجاري

7- التجفيف

د. نتيجة التجربة

بعد مرور زمن الحفر المحدد نلاحظ حدوث حفر بسيط (غير عميق) مع تحول سطح العينة إلى سطح غير لامع ذو لون رمادي كما بشكل (14)



شكل (14) العينة بعد انتهاء عملية الحفر الكهروكيميائي

خامساً : النتائج والتوصيات

أهم نتائج البحث :

- 1- استخدام الأنظمة الكهروكيميائية في التشطيب له أثر إيجابي على العديد من العوامل المؤثرة على جودة سطح المنتج مثل : التباين اللوني والتناغم والبريق وكذلك الدقة في تطبيق ذلك على مظهر السطح بخطوط يصل سمكها إلى 0,2 مللي بالإضافة إلى مقاومة الاحتكاك و زيادة العمر الافتراضي لسطح المنتج .
- 2- يمكن تطبيق العمليات الكهروكيميائية الأنودية على معظم المعادن ولاتحتاج لعمالة مدربة أو مهارات فنية مميزة في أغلب مراحلها .
- 3- تتميز الأنظمة الكهروكيميائية الأنودية بأنها ذات تكلفة اقتصادية منخفضة جداً مقارنة بالعمليات التي تعطي نتائج مماثلة مثل التشغيل بالليزر والبلازما وبعض العمليات الميكانيكية مما يدعم نموها كأحد الصناعات الصغيرة .
- 4- تستخدم عمليات المعالجة الأنودية لإنهاء أسطح المنتجات المعدنية ذات السمك القليل الذي يتراوح بين (0,1 الى 0,5 مللي) وكذلك المعادن الصلبة التي قد تتعرض للتشوه أو الكسر عند معالجتها بالطرق الميكانيكية .
- 5- تتميز طرق الحفر الكهروكيميائي عن مثيلاتها بكفاءتها مع بعض المنتجات التي يصعب حفرها بالطرق الميكانيكية أو الغير تقليدية كالليزر والبلازما ومن أمثلة هذه المنتجات المواسير ذات الأقطار الصغيرة (من 20مللي الى 8 مللي) .
- 6- قد يحدث تآكل جزئي لبعض أدوات ووسائل التعليق أثناء تطبيق العمليات الأنودية مما يؤثر على نتائج العملية لذا يفضل صناعة هذه الأدوات من معدن خامل مثل التيتانيوم
- 7- العمليات الكهروكيميائية لا ينتج عنها أي نوع من الإجهادات على سطح المعدن ولا تختزل الإجهاد وخاصة الحراري وهذا يمنحها ميزة تنافسية كبيرة .

التوصيات

- 1- دعم الدولة لمثل هذه الصناعات الصغيرة كأحد دعائم الاقتصاد المصري
- 2- اجراء المزيد من البحوث التي تتناول هذه التقنية وخاصة أبعادها الإقتصادية والبيئية
- 3- الاهتمام ببحوث تطوير المنتجات المصرية وزيادة قدرتها التنافسية

سادساً : مراجع البحث

1.	David Z. Pokvitis	Electropolishing Returns To The Surface -Chicago, Illinois-2005 - Able Electropolishing Co., Inc
2.	E. J. Taylor M. Inman	Electrochemical Surface Finishing-2014-The Electrochemical Society Interface-Faraday Technology Inc.,
3.	Eurico Felix & others,	Effect of Laser Parameters on the Corrosion Resistance of the ASTM F139 Stainless Steel- Universitária, São Paulo – SP, 05508-000, Brazil-2015- International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE-pp. 1221 - 1232
4.	Mordechay & others,	Modern Electroplating – New Jersey -U.S A-2010-the electrochemical society .Inc-
5.	Ning Ma, & others	Pulse electrochemical finishing: Modeling and experiment-2010- Journal of Materials Processing Technology-pp. 852–857
6.	S. Kissling, K. Bade	Electrochemical finishing of nickel microstructures-Institut für Mikrostrukturtechnik,-2008- Eggenstein-Leopoldshafen, Germany
7.	Thomas Pierpont& others	Waste Min mization in Electropolishing – 1993- Principal Investigator Pier-Sol, Inc.
8.		http://nprcet.org/ e-Learning/Mechanical PROPULSION.pdf
9.		http:// www.elsevier.com/locate/jmatprotec-
10.		http:// www.electrochemsci.org
11.		http://www.businessdictionary.com/definition/quality.
12.		http:// www.springerlink.com/content/1738-494x
13.		http:// www.techinc.com
14.		http:// www.ums.co.uk