محددات الشكل للترميم الكهروكيميائي في المنتجات المعدنية التاريخية

Shape determinants of electrochemical restoration in historical metal objects

أ.د / السيد أنور محمد الملقي

أستاذ ورئيس قسم المنتجات المعدنية والحلي - كلية الفنون التطبيقية - جامعه بنها

Prof. Alsaid Anwar Mohammed Al-Mulqi

Professor and Head of the Department of Metal Products and Jewelry, Faculty of Applied Arts, Banha University

elsaid.elmalky@fapa.bu.edu.eg

أ.د/ محمود إبراهيم حسنين

أستاذ متفرغ بقسم الآثار الإسلامية - كلية الآثار- جامعة القاهرة

Prof. Mahmoud Ibrahim Hasanin

Professor, Department of Islamic Archeology - Faculty of Archeology - Cairo University

Dr_Mahmoud1950@Yahoo.com

أ.د/ محمد العوامي محمد أحمد

أستاذ بقسم المنتجات المعدنية والحلي - كلية الفنون التطبيقية - جامعه بنها

Prof. Mohamad el-Awamy Mohamad ahmed

Professor of the Department of Metal Products and Jewelry, Faculty of Applied Arts, Banha University

mohamed.elawamy@fapa.bu.edu.eg

أ.م.د/ أميرة فؤاد أنور سليمان

أستاذ مساعد بقسم المنتجات المعدنية والحلي - كلية الفنون التطبيقية - جامعه بنها

Assist.Prof. Dr. Amira Fouad Anwar Suleiman

Associate Professor of the Department of Metal Products and Jewelry, Faculty of Applied Arts, Banha University

amira.soliman@fapa.bu.edu.eg

م.م/ سارة أشرف أحمد ابراهيم

مدرس مساعد بقسم المنتجات المعدنية والحلي - كلية الفنون التطبيقية - جامعه بنها

Assist. Lect. Sara Ashraf ahmed ibrahim

Assistant Lecturer of the Department of Metal Products and Jewelry, Faculty of Applied Arts, Banha University

Sara.ibrahim@fapa.bu.edu.eg

ملخص البحث:

عملية الترميم الكهروكيميائي هي إحدى عمليات الترميم وتتم بالإضافة بالترسيب الكهربي لتشكيل أو لحام الأجزاء المعدنية المتآكلة، أو الناقصة في المنتجات المعدنية التاريخية، بسمك طبقات قد تصل إلى عدة مليمترات بتكلفة منخفضة وجودة عالية، كما تعتبر عملية ترميم مثالية لتصنيع الأجزاء في بعض النماذج التاريخية في مواضع يصعب الوصول إليها بالطرق التقليدية الأخرى، مثل: الفوهات الدقيقة، والشقوق العميقة، وغير ذلك.

لكن التطبيقات العملية لترميم المنتجات المعدنية كهروكيميائيا قد أثبتت أن عديد من المنتجات ذات الأشكال المعقدة يصعب ترميمها، وهنا جاء دور البحث ليجيب عن كثير من الاستفسارات المتعلقة بمحددات شكل المنتج والمرتبطة بأساسيات عملية الترميم الكهروكيميائي، ولذلك فهناك حاجة ماسة لوضع بعض المحددات التي يجب أن تتوفر في شكل المنتج المراد ترميمه بالطريقة الكهروكيميائية، إذا توفرت هذه المحددات في شكل المنتج فإنها تيسر على من يقوم بالترميم إجراء العملية بنجاح والحصول على النتائج المرجوة منها.

وبإجراء العديد من التجارب ثبت أن من أهم هذه المحددات هي عدم وجود فجوات عميقة في الأجزاء المراد ترميمها كهربيا وكذلك تجنب الأسطح المتداخلة بزوايا حادة أو قائمة في المواضع التي يجب ترميمها... الخ.

وقد ثبت أن عدم الاهتمام بالتحقق بوجود هذه المحددات في شكل المنتج سوف يؤثر سلبيًا على نتائج عملية الترميم في حين أن وجودها في المنتج له تأثير إيجابي واضح في ترميم المنتجات المعدنية كهروكيميائيًا.

مشكلة البحث:

- الحاجة إلى وضع محددات شكلية واضحة لتوجيه من يقوم بالترميم الكهروكيميائي، لإدراك خصائص المنتج المعدني المراد ترميمه، وتسهيل إجراء عملية الترميم على القائمين بها.

أهداف البحث:

1- معرفة أهم عيوب ومميزات عمليات الترميم التقليدية.

2- تحديد طبيعة عملية الترميم الكهروكيميائي، وكيفية عملها، والمحاليل المستخدمة، وطبيعتها وأهم المعادن التي يمكن الترميم بها في المنتجات التاريخية.

3- تحديد المحددات الشكلية التي يمكن على أساسها معرفة إذا كان المنتج يصلح للترميم الكهروكيميائي أم لا.

فروض البحث:

يفترض البحث وضع محددات لشكل المنتج في عملية الترميم الكهروكيميائي سوف يؤدي إلى:

أ-تسهيل إجراء عملية الترميم الكهروكيميائي للقائمين بالعملية.

ب-الحصول على نتائج أكثر إيجابية لعملية الترميم الكهروكيميائي.

ج- مميزات أفضل من عمليات الترميم التقليدية.

منهج البحث:

- يتبع البحث المنهج الوصفي التحليلي.

الكلمات المفتاحية:

الترميم الكهروكيميائي، الترسيب الكهربي، البوليمرات، المحددات الشكلية

Abstract:

The electrochemical restoration process is one of the restoration processes, in addition to electrodeposition used to form or weld corroded or missing metal parts in historical metal objects with a thickness of layers that may reach several millimeters at a low cost and high quality. Also, the electrochemical restoration process is the ideal process for fabricating parts in some historical models in places that are difficult to reach by other traditional methods, such as fine nozzles, deep crevices, and so on.

However, practical applications of electrochemically restoring metal objects gave the proof that many objects with complex shapes are difficult to restore. Here, the role of the research is the answer on many inquiries related to the determinants of the shape of the product and related to the basics of the electrochemical restoration process.

Therefore, there is an urgent need to set many determinants that must be available in the form of the product to be restored by the electrochemical method. If these determinants are available in the form of the product, they will facilitate the restoration process to successfully perform the operation and obtain the desired results.

And by doing several experiments, it has been proven that one of the most important limitations is the absence of deep gaps in the parts that will be electrically restored, as well as avoiding overlapping surfaces with sharp or right angles in the places that must be repaired...etc.

It has been found that the absence of attention to verify the presence of these limitations in the product form will negatively affect the results of the restoration process, although their presence in the product has a clear positive effect in the electrochemical restoration of metal objects.

research problem:

- The need to put clear formal parameters to guide those who perform electrochemical restoration to realize the importance of the shape characteristics of the product to be restored and to facilitate the restoration process for those in charge of it and to

research Purpose:

1. The knowledge of the most important defects and advantages of traditional restoration processes.
2. The recognition of the electrochemical restoration process, how it works, the solutions used and their nature, and the most important minerals that can be restored in historical objects.
3. Determination of the formal parameters based on which it is possible to know if the product is suitable for electrochemical restoration or not.

Research Hypotheses:

- for the shape of the product in the electrochemical restoration process will lead to:

a) Facilitating the electrochemical restoration process for those in charge of the operation.
b) Obtaining more positive results for the electrochemical restoration process.
c) Specifications are better than traditional restoration processes.

Research Methodology:

The research follows the descriptive analytical method.

Keywords:

Electrochemical restoration, Electrodeposition, Polymers, Shape determinants

مقدمة:

يتعرض مجال ترميم المنتجات المعدنية إلى العديد من المشاكل والصعاب المختلفة بتشكيل وإنهاء أسطح بعض أجزاء المنتج، مما يؤثر سلبًا عليه ويؤدي إلى قصور واضح في شكل وسطح المنتج.

تعتبر عملية الترميم الكهربي أحد أهم العمليات المستخدمة في تشكيل وإضافة المعادن والسبائك للمنتج المعدني، لتحسين الخواص الجمالية والمظهرية، ولزيادة عمر صلاحية الأجزاء التي يتم ترميمها، وهي تعطي انطباع متميز لما لها من تماثل واضح، وقد يكون تطابق بينها وبين خامة المنتج الأصلية.

لعملية الترميم عدة أساليب منها: الترميم بالمواد المخلَّقة (البوليمرات) والترميم بالمواد الجصية وحديثا الترميم الكهروكيميائي، ولكل منها أهميته في ترميم منتجات ذات خامات متنوعة.

الترميم الكهروكيميائي أحد الأساليب المستخدمة في بناء وتشكيل مواضع الخلل والتشوه في شكل وسطح المنتجات على اختلاف معادنها، ولكن يعوق هذا الدور بعض الصعاب المتعلقة بشكل المنتج، ولذلك اهتم الباحث بوضع محددات في شكل المنتج المراد ترميمه لتوجيه من يقوم بإجراء العملية للتغلب على هذه الصعاب والمشاكل في ترميم المنتجات كهروكيميائيًا. كما أن هذه المحددات الشكلية العديدة مؤثرة في نجاح عملية الترميم الكهروكيميائي لتحقيق أهدافها المظهرية والجمالية للمنتج إذا التزم من يقوم بالترميم بالتحقق من وجودها في شكل المنتج.

١ـ أهمية الترميم للمنتج المعدني:

على مدار الأربعين عامًا الماضية، تطور مجال الترميم من مجرد حرفة بسيطة إلى علم له قواعده، لقد حظي مصطلح "ترميم" Restoration باهتمام العديد من الباحثين الأوروبيين في ميدان ترميم الآثار في العصر الحديث. وقد اتفق الكثير منهم على أن مصطلح "ترميم" يطلق على الأعمال التطبيقية التي يقوم بها المرممون من أجل حماية المنتج الأثري من الانهيار أو التلف وبالإضافة إلى إصلاح ما تلف من المقتنيات المختلفة [4].

قد تكون المنتجات الأثرية خالية من أي زخارف أو نقوش أو كتابات، ولكنها تمثل قيمة علمية، وتتلخص أهمية ترميم المنتجات المعدنية التاريخية في المخطط رقم (١):

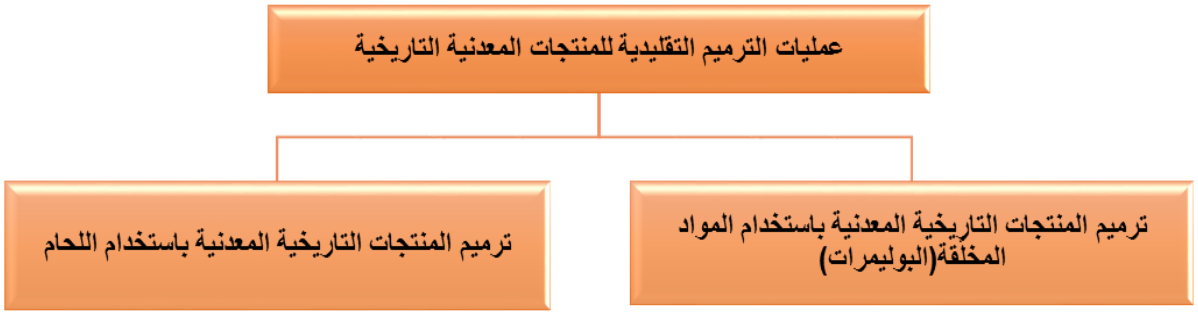
مخطط رقم (١) يوضح أهمية ترميم المنتجات المعدنية التاريخية

ومجال الصيانة والترميم لا يعتمد فقط على المهارة اليدوية فحسب، بل يعتمد أيضا على العلوم التكنولوجية المبتكرة جنبًا إلى جنب مع الخبرة الفنية والحس الجمالي والإجراءات التي تتصل بمادة الأثر والحاملة لعناصره الفنية والجمالية ينبغي فهمها وإدراك أسلوب تصميمها وتحليل تلك العناصر .والتي تجعلنا قادرين على صيانته وترميمه ولتوضيح الوضع الحالي، أصدرت لجنة الحفظ التابعة للمجلس الدولي للمتاحف (ICOM) وثيقة بعنوان القائم بالحفاظ والمرمم. تحديد المهمة 'The conservator restorer: a definition of the profession' [8]

٢- أهم عمليات الترميم التقليدية للمنتجات المعدنية التاريخية:

تعتمد مبادئ الترميم على الوضوح، أي توضيح الترميمات التي حدثت حتى يمكننا مشاهدتها بوضوح، والتفرقة بين ما هو أصلي وما هو مضاف في وقتنا، وسواء كانت المواد المرمم بها أصلية أو مستحدثة فالمبدأ أن تكون التفرقة سهلة، وبذلك يجب عدم القيام بأعمال الترميم التي يترتب عليها محو أو إزالة أو طمس الخصائص المادية والمعنوية للمنتج المعدني التاريخي.

مبدأ المتانة يجب أن تكون المواد المرمم بها تمتاز بالصلابة وغير قابلة للتهشم بسهولة، وألا تؤثر بشكل كبير على عوامل التلف الفيزيوكيميائية مع عدم الإفراط في الترميم، وللترميم عدة أشكال من أهمها تجميع العينات المتناثرة وإعادة تركيبها بواسطة اللحام أو اللصق باستخدام الراتنجات الصناعية لاستعادة شكلها الأصلي Correct shape [2] ويمكن تصنيف عمليات الترميم كما في المخطط رقم (٢) :



مخطط رقم (٢) يوضح عمليات الترميم التقليدية للمنتجات المعدنية التاريخية

٢-١ ترميم المنتجات التاريخية المعدنية باستخدام المواد المخلّقة(البوليمرات)

تستخدم المواد المخلّقة (البوليمرات) في ربط أو لصق الأجزاء المعدنية معا وهذه المواد أشبه أن تكون مواد عضوية أو غير عضوية، تكون هذه (البوليمرات) من مركبين أولهما يحتوي أساسا على راتنج Resin ، والآخر يحتوي على المواد المصلّد Hardener، حيث تبدأ بعد ذلك عملية التصلد Curing و التي تحدث إما في درجة الحرارة العادية أو درجة الحرارة المرتفعة، حيث ينتج عنها مركب ذو جزيئات متشابكة cross-linked وله قوة التصاق قويه بالمعدن، ومن أهم اللواصق المستخدمة في تجميع الآثار المعدنية (مشتقات السيليلوز، بوليمرات الفينيل ، بوليمرات الأكريليك ، النايلون الذائب). [1]

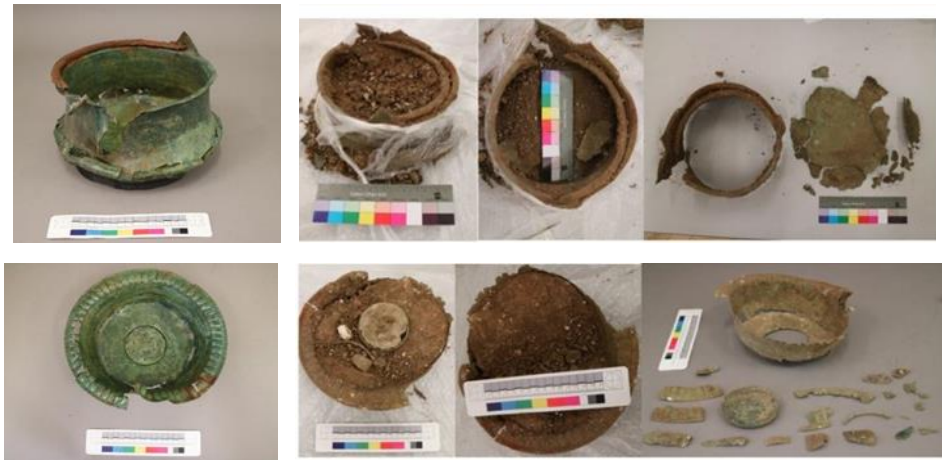
تستخدم البوليمرات في عملية التقوية والتدعيم كوسيلة لإضفاء القوة الهيكلية للمنتج المعدني التاريخي، الذي يواجه خطر التفكك حيث تنتشر الشروخ الدقيقة فيه، لذلك يجب تقويته لان استمرار نمو هذه الشروخ يؤدي إلى تآكل الأثر ويسبب هشاشته، لدرجة أن الهيكل لم يعد قادرًا على دعم وزنه والحفاظ على شكله. والتقوية هي تدخل على مستوى السطح، وأحيانا يتعمق إلى الدمج مع الجسم. كما تستخدم في مواد الاستكمال حيث يتم ملئ الأجزاء المفقودة للمنتج المعدني التاريخي أن إضافة الأجزاء المكملة ما هي إلا وظيفة تدعيمية ويراعى في الاستكمال شرطين أساسيين

- التجانس (أن تكون مادة الاستكمال متجانسة مع مادة الأثر).
- التمايز (وهو أن تكون مناطق الاستكمال مميزة لونا وملمس، ويختلف التمايز باختلاف عمر الأثر ونوع مادة الأثر والشكل والحجم ولون الباتينا)

وهذا طبقا للفقرتين ١٥ -١٢ من ميثاق فينيسيا وهناك عدة أساليب في عملية استكمال الآثار المعدنية، ويفضل عند استخدام البوليمرات أو الراتنجات خلطها بمساحيق المعادن Metal powder مثل الألمونيوم أو الحديد أو النحاس كل حسب مكونات

المعدن كمواد مالئة تزيد من الخواص الميكانيكية للمادة اللاصقة، فهي تستعمل كمواد وعجائن لملء التجاويف والفراغات والشروخ. [15]

ويتم التدعيم باستخدام راتنجات فينيلية أو أكريليك ومن أنواع هذه المركبات البارالويد ب ٧٢ المذاب في الأسيتون أو الطولوين بتركيز يتراوح من ٣-١٠ % حسب الحاجة ويمكن تطبيقه بواسطة الفرشاة أو بالرش، وهو قابل للتطبيق لأي عدد من المرات حسب الحاجة ويمكن استخدام التدعيم بالاستعانة بالتبطين كما بالشكل رقم (١)، ومن هذه البطانات الورق الياباني (التشيو)، رقائق البوليستر والألياف الزجاجية، ويتم تثبيت هذه البطانات بواسطة لاصق يمكن إزالته بعد عمليات الترميم. [12]



شكل رقم (١): طبق وآنية من Anglo-saxon تم تجميعها ولصق أجزائها الأجزاء عن طريق وضع قطعة صغيرة من Reemay (فيبرصناعي) لتثبيت الوصلات معًا.

- <u>عيوب استخدام المواد البوليمرية في ترميم المنتج المعدني التاريخي</u>

استخدام مواد الترميم بطريقة غير متحكم فيها فأنها يمكن أن تؤدي إلى حدوث تلف إضافي للمنتج المعدني

1- يحتاج إلى مهارة كبيرة ودقة عالية في عملية التجميع، حتى لا يكون هناك أية أخطاء عند استخدام هذه اللواصق، لأنه يتجمد بسرعة مما يعوق عمليات التجميع بعد ذلك.

2- يمكن لمواد الترميم (البوليمرات) أن تنتشر حول السطح المحيط بالجزء المفقود المراد استكماله وفي البداية تكون غير مرئية، ولكن بمرور الوقت يتغير لونها وتصبح مشوهه للمظهر الجمالي.

3- استخدام المواد المالئة قد يؤدي لاختلاف مستويات السطح وعدم انتظامه، والتي تم تلوينها لتحاكي السطح الأصلي مما أدى إلى حجب تفاصيل مهمة من زخارف المنتج المعدني الأصلي. [6]

4- يشترط لتطبيق اللواصق إزالة الشظايا، أي البقايا الدقيقة الموجودة على السطح وكذلك التنظيف الجيد من الدهون.

5- المواد المخلَّقة (البوليمرات) تتعرض للتحلل بفعل العوامل البيئية، مثل: الحرارةHeat ، والضوء Light ويعد غاز الأكسجين هو العامل الأساس، خاصة في وجود الضوء، والأشعة فوق البنفسجية، التي تعد أخطر أنواع الأشعة على المواد المصنعة من اللدائن الصناعية. وأكسدة اللدائن تقوم بتكسير الجزيئات الطويلة وتكوين جزيئات صغيرة مؤكسدة، مما ينتج عنه تشوه لوني Discoloration، وفقد قوة الشد بين الجزيئات loss of tensile strength وهو ما يؤدي بالتالي إلى الهشاشة أو التفتت brittleness. [16]

ويلاحظ أن راتنجات الأكريليك تعطي مقاومة عالية ضد الأكسجين، والأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet، في حين أن راتنجات الإيبوكسي يتغير لونها بسرعة، لذلك لا يجب استخدامها في الأسطح الظاهرة، أو المعرضة للجو والضوء.

والإيبوكسات والبولي إستر تبدي مقاومة جيدة ضد عمليات التقادم Aging لو حفظت بعيدة عن الضوء والأكسجين، مثلما يحدث عند استخدامها كلواصق. والأمر يتطلب أن يتم اختبار تقادم لمثل هذه المواد عند استخدامها في مجال الترميم والصيانة.

٢-٢ ترميم المنتجات التاريخية المعدنية باستخدام اللحام

يمكن تجميع أجزاء المنتج المعدني التاريخي باللحام Soldering، وهي كافيه لإعادة المنتج إلى شكله الأصلي، ويجب أن يكون الفلز المستخدم في اللحام درجه انصهاره اقل من فلز المنتج المعدني التاريخي، وهناك نوعان كما بالمخطط رقم (٣):

النوع الأول:	• لحام الصلد Hard solder وينصهر عند درجه حرارة 600 °م وهو يفضل لأنه شديد الارتباط بأجزاء المعدن.
النوع الثاني:	• اللحام الطري Soft solder عادة مما يتكون من الرصاص والقصدير.

مخطط رقم (٣) يوضح أنواع ترميم المنتجات التاريخية المعدنية باستخدام اللحام

- **<u>عيوب استخدام تقنية اللحام في ترميم المنتج المعدني</u>**

يعتبر استخدام الحرارة والتسخين بالإضافة إلى استخدام سبائك اللحام أيضا في تجميع المنتج المعدني التاريخي والأجزاء المستكملة من الأمور المرفوضة تماما خاصة مع الآثار المعدنية، فقد تم الاعتراف بأن تسخين ولحام الأثر يمكن أن يتمثل في المخاطر التالية:

1- قد تتسبب نقاط انصهار المركبات الموجودة والمختلفة تمامًا عن جسم الأثر خطر ذوبان أحدها.

2- التسخين يمكن أن يمحو النقوش والزخارف، حتى عملية اللحام البسيطة يمكن أن تؤدي إلى نمو حبيبات غير مرغوبة.

3- المناطق المفقودة من المنتجات المعدنية تكون ناتجة عن التآكل التام للمعدن في هذه المناطق، وبالتالي فأنه ليس من الممكن لحام معدن جديد قوي بهذا الجزء المتآكل.

4- الحرارة المستخدمة في اللحام تؤدي إلى تغير التركيب الداخلي للمعدن في أماكن اللحام، وبالتالي فإن هذه المناطق تفقد معالمها الميتالوجرافية التي تدل على طريقة تصنيع الأثر، مما يفقد مدة صلاحيتها للدراسة الميتالوجرافية بعد ذلك.

5- قد ينتج بعض الأضرار عن استخدام المواد المساعدة للحام Fluxes في اللحام الطري، حيث ينتج عن بعضها مواد مسببة للصدأ مثل بقايا الكلوريدات.[3]

6- حدوث أكسدة أو إعتام للأجزاء المحيطة بمنطقة اللحام، كما أن المنتج المعدني التاريخي تقل مقاومته للضغوط والانفعالات بعد اللحام. [7]

7- ينتج عن اللحام حدوث شروخ دقيقة للمنتج المعدني التاريخي نتيجة لعملية التمدد (الناتجة من حرارة ماده اللحام) والانكماش بعد تبريد المنتج المعدني التاريخي. [20]

ولما كانت كثير من الطرق ووسائل الترميم القديمة والتقليدية يسبب العديد منها التلف للقطع الأثرية، لذلك فإن واجب مسؤول الصيانة والترميم الحفاظ على القطع الأثرية باستخدام أفضل الوسائل والطرق التي يمكن توظيفها لهذا الغرض.

٣- عملية الترميم الكهروكيميائي:

إن العمليات الكهروكيميائية غالبًا ما تستخدم كأحد عمليات التصنيع بالإضافة، وبديل لعمليات الترميم التقليدية التي قد تستغرق الكثير من الوقت، وتستهلك المجهود والمال، ولا تؤدي إلى النتائج المطلوبة في شكل، وسطح المنتج التاريخي.

وتعد عملية الترميم الكهروكيميائي أحد هذه العمليات والتي نحدد لها عدة تعريفات تتضح بالمخطط رقم (٤) منها:

مخطط رقم (٤) يوضح تعريفات عملية الترميم الكهروكيميائي.

٣-١-كيفية إجراء عملية الترميم الكهروكيميائي:

مخطط رقم (٥) يوضح كيفية إجراء عملية الترميم الكهروكيميائي.

٣-٢-أهم محاليل عملية الترميم الكهروكيميائي:

إن محاليل عملية الترميم غالبًا ما تحتوي على مواد وأحماض ذات تركيز معينة، وهي تعمل عند قوة تيار مستمر تتراوح بين ١-٤ فولت عند القطب السالب(الكاثود)، والذي يتصل بالمنتج المراد ترميمه.

هناك عدة أنواع من المحاليل مستخدمة لترميم المعادن المختلفة مثل:

١- **ترميم النحاس وسبائكه:** يتضح بالجدول رقم (١)

أولاً: محلول النحاس الحمضي	
– كبريتات النحاس	٢١٠ – ٢٤٠ جرام / لتر
– حمض كبريتيك	٦٤ جرام / لتر
– درجة الحرارة	٣٢ – ٤٣ °م
– كثافة التيار	١١ – ١٣ أمبير / ديسيمتر ٢ [13]
ثانياً: محاليل ترميم سبائك النحاس (المحلول الأول)	
– سيانيد صوديوم	٦٤ جم/ لتر
– سيانيد نحاس	٣٠ جم/ لتر
– قصديرات صوديوم	٣٥ جم/ لتر
– هيدروكسيد صوديوم	١٠ جم/ لتر
– ملح روشيل	٤٥ جم/ لتر
– الحرارة	٧٠ °م
– **الأنود من النحاس النقي، واستخدام أنود من البرونز يعطى لوناً أسوداً غير مرغوب فيه.** [14]	
(المحلول الثاني)	
– سيانيد صوديوم	٧٥ جرام / لتر
– سيانيد نحاس	٤٥ جرام / لتر
– سيانيد زنك	٧,٥ جرام / لتر
– كربونات صوديوم	١٠ جرام / لتر
– بيكربونات صوديوم	٧,٥ جرام / لتر
– أمونيا (كسائل)	٠,١ جرام / لتر
– درجة الحامضية	من ٩,٨ إلى ١٠,٥
– درجة الحرارة	من ٢٧ إلى ٤٥ °م
– كثافة التيار	٢,٥ أمبير / ديسمبر٢ [9]

جدول (١): يوضح أهم محاليل ترميم النحاس وسبائكه

٢- **ترميم الفضة:** كما هو موضح بالجدول رقم (٢)

محلول الترميم بترسيب الفضة	
– سيانيد فضة Ag CN	١٠٥ جرام/ لتر
– سيانيد بوتاسيوم K C N	١١٣ جرام / لتر
– كربونات بوتاسيوم	١٥جرام / لتر
– هيدروكسيد بوتاسيوم	٣٠ جرام/ لتر
– فضة كفلز	٨٤ جرام / لتر
– سيانيد بوتاسيوم حر	٦٢ جرام / لتر
– الحرارة	٤٣ °ـــ٥٤ °م

– التيار	٥ ــ١٥ أمبير / دسيمتر^{٢}
– الأنود	فضة نقية ٩,٩٩ %
– سمك طبقة الطلاء	١٢٥ ميكرون / الساعة [9]

جدول (٢): يوضح أهم محاليل ترميم الفضة

٣- <u>ترميم الحديد:</u> كما هو موضح بالجدول رقم (٣)

محلول الترميم بترسيب الحديد	
– كبريتات حديدوز	٢٤٠جرام/ لتر
– درجة الحامضية	من ٢,٨ إلى ٣,٥
– درجة الحرارة	من ٣٢ إلى ٦٥ ° م
– كثافة التيار	٤,٣ أمبير / ديسمبر^{٢}

جدول (٣): يوضح أهم محاليل ترميم الحديد

٤- **<u>ترميم الذهب وسبائكه:</u>** كما هو موضح بالجدول رقم (٤)

محلول الترميم بترسيب الذهب (المحلول الأول)	
– سيانيد ذهب وبوتاسيوم	١٨جرام/ لتر
– فوسفات بوتاسيوم	٢٠جرام/لتر
– سيترات بوتاسيوم	٥٠جرام/لتر
– الحرارة	٤٠-٧٠ ° م
– التيار	من ٠,١ إلى ٢أمبير/ دسيمتر^{٢}
– الحامضية pH	٣-٦
– الأنود	بلاتين أو كربون
– طبقة الطلاء	أكثر من ٤٠ ميكرون / الساعة [14]
(المحلول الثاني)	
– سيانيد الذهب والبوتاسيوم	١٨ جرام/ لتر
– سيانيد بوتاسيوم	٤٥جرام /لتر
– كربونات بوتاسيوم	٤٥ جرام / لتر
– كربونات نحاس	١٥ جرام / لتر
– فوسفات بوتاسيوم	٤٥ جرام /لتر
– هيدروكسيد بوتاسيوم	٣٠جرام / لتر
– الحرارة	٥٠- ٧٠ ° م
– التيار	١-٥أمبير / دسيمتر^{٢}
– الأنود	بلاتين أو إستانلس إستيل
– الحامضية pH	١١-١٣ [11]

جدول (٤): يوضح أهم محاليل ترميم الذهب وسبائكه

٣-٣- مميزات عملية الترميم الكهروكيميائي:

٤-٣-١-سهولة إجراء العملية مع قلة مكوناتها وتكلفة اقتصادية بسيطة.

٤-٣-٣-مقاومة تآكل عالية لسطح المنتج الذي يتم ترميمه بهذه الطريقة. [18]

٤-٣-٢-المحافظة على المنتج وخاماته لفترة طويلة.

٤-٣-٤-تستخدم هذه العملية في الترميم عند الحاجة لجودة عالية

٣-٤- عيوب عملية الترميم الكهروكيميائي:

٤-٤-١- التآكل الجزئي لبعض تجهيزات العملية.

٤-٤-٢- ترميم المنتجات ذات مساحات محددة، أي من الصعب ترميم المنتجات الكبيرة بهذه الطريقة.

٤-٤-٣- استهلاك قدر كبير من الطاقة.

٤-٤-٤- الحاجة إلى أقطاب مساعدة للأشكال المعقدة.

٤- شكل المنتج وعلاقته بعملية الترميم الكهروكيميائي

تهدف عملية الترميم الكهروكيميائي إلى إضافة المعادن، أو سبائكها إلى مواضع محددة في شكل، أو سطح المنتج المعدني التاريخي لتقليل الفجوات، وتعديل الخلل الناتج عن العوامل البيئية المختلفة، والتي أثرت على المنتج بالتآكل والتلف في بعض أجزاؤه. [22] ومهما كان الغرض من العملية (تحسين المظهر أو مقاومة تأكل أو ما شابه ذلك)، فإن عملية الترميم الكهروكيميائي ذات أهمية واضحة في عمليات الترميم والتي يجب التخطيط لها بعناية واهتمام، كما في العمليات التقليدية الأخرى.

ومع فهم ديناميكية عملية الترميم الكهروكيميائي، فإن القائمين بترميم المنتجات يمكنهم الحصول على نتائج متميزة في ترميم منتجاتهم. وبالانتباه إلى هندسة الشكل يمكن تقليص قدر كبير من المشاكل التي تواجه القائمين على عملية الترميم الكهروكيميائي. [18]

القواعد الأساسية للترميم الكهروكيميائي تفترض أهمية بعض القيود على حجم، وشكل المنتجات، وأي برنامج لتحسين جودة ترميم المنتج المعدني كهروكيميائيًا يجب أن يبدأ من اختيار الشكل الملائم للعملية.

ومحددات شكل المنتج للترميم الكهروكيميائي يتمركز حول ثلاث محددات للعملية سوف يستفيد منها القائمين على عملية الترميم وهذه المحددات هي:

ا-الأسطح والمواضع المراد ترميمها كهروكيميائيًا يجب أن تكون لها قابلية البلل في كل المحاليل، والغسيل بالماء في جميع خطوات العملية.

ب- وزن المادة المضافة إلى سطح أو شكل المنتج يجب أن تكون متناسبة مع كثافة التيار المار في هذا الجزء من السطح.

ج- يجب أن تكون المنتجات لها قدرة توصيلية للتيار الكهربي بدون أي تأثيرات سلبية. [21]

٤-١ انتظام سمك التشكيل (الترميم) في مواضع التلف للمنتج:

إن العامل الأكثر أهمية لتحديد جودة سطح المنتج المراد ترميمه هو انتظام سمك التشكيل عن طريق الإضافة إلى أسطح المنتجات، والقوانين الأساسية للكيمياء الكهربية قد تؤثر في منع هذا الانتظام التام في سمك طبقة التشكيل في مواضع التلف في المنتج المعدني (الكاثود)لأي شكل أو حجم ، وذلك لأن أجزاء المنتج القريبة من الأنود تصبح ذات درجة سمك أعلى من

تلك البعيدة عنه، وأيضًا الحواف الحادة والأجزاء البارزة من السطح تتجه إلى أخذ نصيب أكثر من التيار الكهربي مما يؤدي إلى سمك طبقات أوضح وأكبر في هذه الأماكن من مواضع الترميم في المنتج.

إن أحد الأهداف الأساسية للقائمين بعملية الترميم هو تقليل درجات الاختلاف في سمك طبقة التشكيل (الترميم) وفي نفس الوقت الفقدان غير الاقتصادي للطاقة بسبب المساحات غير المهمة التي يجب تجنبها.

ويجب على من يرمم المنتجات مراعاة أن المنتجات ثلاثية الأبعاد يوجد بها مساحات ينخفض فيها كثافة التيار، وتعرف "Low Current Density Areas" يكون فيها سمك طبقة الترسيب أقل بكثير من مساحات أخرى تعرف بالمناطق التي يرتفع فيها كثافة التيار "High Current Density Areas"، والدور الفعال هنا هو كيفية السيطرة على هذه الاختلافات بين المساحات المختلفة في المنتج.[11]

٥-المحددات الشكلية المؤثرة في الترميم الكهروكيميائي:

- يعتمد وضع محددات شكلية تتوفر في المنتج للترميم الكهروكيميائي على إمكانية توزيع التيار الكهربي بشكل ملائم لجميع أجزاء، والمواضع المراد ترميمها من شكل، وسطح المنتج.
- ومما سبق نعلم أن التيار الكهربي المار خلال سطح المنتج أثناء عملية الترميم الكهروكيميائي يتمركز عند أجزاء معينة في السطح دون أجزاء أخرى، ومن ثم يجب تحديد خصائص هذه الأجزاء التي يتمركز عندها التيار، والأخرى التي يضعف عندها مرور التيار، وذلك لتوجيه المرممين للتغلب على مثل هذه المشاكل.
- في الواقع أن القائمين على عملية الترميم الكهروكيميائي كثيري الشكوى من أشكال المنتجات المعقدة لما بها من مساحات مجوفة كثيرة، وأخرى بارزة بشكل واضح، مما ينتج عنه طبقات سميكة في سطح المنتج وأخرى رقيقة، وذلك يحدث عدم تجانس في جميع أجزاء سطح المنتج، وهذا في كثير من الأحيان غير مطلوب.

ولذلك اهتم الباحثون بوضع المحددات الشكلية المرتبطة بشكل المنتج، والمؤثرة في نجاح إجراء عملية الترميم الكهروكيميائي وكان من أهمها الآتي:

٥-١- تجنب أن تكون المواضع المراد ترميمها في المنتج مقعرة، والأفضل أن تكون مسطحة لأن المساحات المحدبة، أو البارزة تنتظم فيها طبقات الترسيب بصورة واضحة.

٥-٢-تجنب الحواف الحادة في المنتج حتى لا يتمركز عندها التيار الكهربي، وإن لزم الأمر فيجب تدويرها.

٥-٣-تجنب وجود قمم بارزة وقيعان منخفضة في سطح المنتج، وذلك لأن التيار يتمركز عند القمم البارزة دون القيعان المنخفضة، مما يؤدي إلى تباين واضح في انتظام الترسيب للسطح الواحد، ومن ثم يجب تجنب ذلك أو تقليل ارتفاعات القمم البارزة. [10]

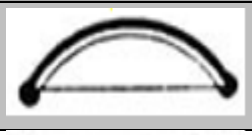
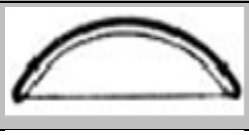
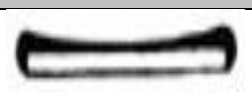
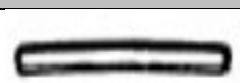
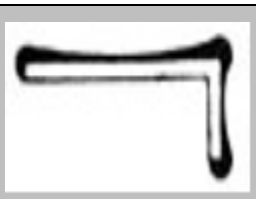
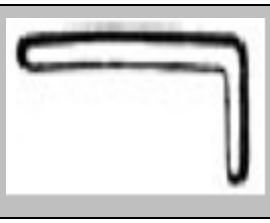
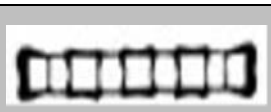
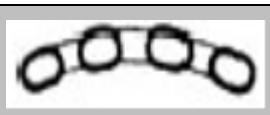
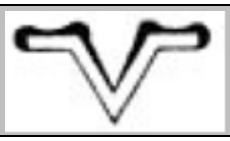
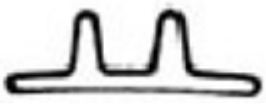
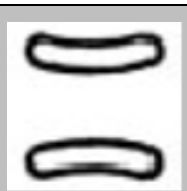
٥-٤-يجب أن يكون أنصاف أقطار الزوايا المتداخلة والأركان كبيرة كلما أمكن.

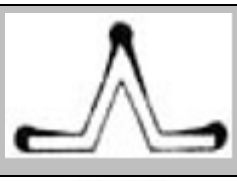
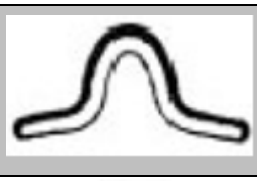
٥-٥-تقليل عمق الفجوات العميقة كلما أمكن، وذلك بأن يكون أكبر عمق في التجويف لا يزيد عن ٥٠% من قطر الفجوة.

٥-٦-تجنب الزوايا الحادة والقائمة بين الأسطح المختلفة، ومراعاة أن تكون الزوايا منفرجة بدرجة لا تقل عن ١١٠°.

٥-٧-تقليل عدد الثقوب غير النافذة، وتحديد عمقها بـ ٥٠% من قطرها، وتجنب الثقوب ذات القطر الأقل من ٠,٥٥سم.

وبتطبيق هذه المحددات على مواضع الترميم نتجنب العديد من المشاكل أثناء عملية الترميم والجدول رقم (٥) يوضح ذلك.

الشكل الهندسي الأساسي	التأثير على قابلية الترسيب	التصميم الأفضل للترسيب
	**السطح المحدب convex surface:** الشكل المثالي، من السهل ترميمه بسمك منتظم، خاصة عندما تكون الحواف دائرية.	
	**السطح المستوي flat surface:** اقل تفضيلا من السطح المحدب،	
	**الحافة ذات الزوايا الحادة sharply angled edge:** غير مفضلة، حيث يقل سمك طبقة الترسيب في مناطق المركز، مما يتطلب وقت ترميم أطول لترسيب الحد الأدنى لسمك طبقة ترسيب ثابتة، ويجب أن تكون جميع الحواف دائرية	
	الحافة الناتئة (الشفّة) flange: يجب تجنب الحواف الناتئة الكبيرة ذات الزوايا الداخلية الحادة للتقليل من تكاليف الترميم بالترسيب، استخدم أنصاف أقطار أكبر للزوايا الداخلة وإنقاص نقاط الارتكاز.	
	**الشقوق(الثقوب) slots:** لا يمكن ترميم الشقوق والثقوب ضيقة المساحة بشكل صحيح إلا إذا كانت الأركان دائرية.	
	الثقب الخفي blind hole: يجب فيها عادة التغاضي عن الحد الأدنى المطلوب للسمك.	
	الانبعاج ذو الزوايا الحادة sharply angled indentation: يزيد من مدة وتكلفة الترميم بالترسيب اللازم للحصول على الحد الأدنى المحدد للسمك، ويقلل من متانة الجزء المطلي.	
	التجويف ذو القعر المسطح flat-bottom groove: يجب زيادة دوران الزوايا الداخلية والخارجية بشكل كبير لتقليل تكاليف الترميم بالترسيب.	
	**التجويف على شكل حرف V-shaped groove V:** لا يمكن ترميم التجاويف العميقة بصورة مرضية، فالتجاويف الدائرية غير العميقة هي الأفضل.	
	الأجنحة fins: تزيد من مدة وتكلفة الترميم للحصول على الحد الأدنى المحدد للسمك، وتقلل من متانة الجزء المترسب.	
	الضلوع ribs: الضلوع الضيقة ذات الزوايا الحادة عادة ما تقلل من قابلية الترسيب، بينما الضلوع الواسعة ذات الحواف الدائرية لا تسبب مشكلة، يتم إنقاص كل ضلع عند المنتصف باتجاه كلا الجانبين مع تدوير الحواف، وزيادة المسافة بينها إذا أمكن.	

	الفجوة العميقة deep scoop: تزيد من مدة وتكلفة الترميم الكهربي للحصول على الحد الأدنى المحدد للسمك.	
	**النتوء (البروز) رمحي الشكل spear-like jut:** إن تراكم الترسيب على النتوء سوف يمنع تحقيق الترميم الكهروكيميائي للأركان، يتم تحديب القاعدة وتدوير كل الأركان.	
	الحلقة ring: تعتمد قابلية الترسيب على الأبعاد، يتم تدوير الأركان والتحديب عند خط المنتصف، مع الانحدار باتجاه كلا الجانبين.	

جدول (٥): تأثير مواضع الترميم على جودة الترسيب

6-تجربة البحث:

اليوم هناك اهتمام متزايد بالاقتران التقنيات الكهروكيميائية وعلوم الترميم والحفظ، مع وجود متزايد في كل من المجلات الكهروكيميائية والحفظ مثل (المؤتمر الأوروبي الأول حول الأساليب الكهروكيميائية المطبقة على الحفاظ على الأعمال الفنية، فالنسيا، ٢٠٠٨) و(مؤتمر لورينتز للكيمياء الكهربية في الحفاظ على الآثار التاريخية والأثرية، ليدن، المقرر في يناير ٢٠١٠) تعكس الاجتماعات الدولية اهتمام المجتمع العلمي بالكيمياء الكهربية لعلوم الحفظ.

ليتم استنساخ منتج معدني تجريبي وتطبيق الكسر الكامل تمهيدا تطبيق الترميم الكهروكيميائي ومن ثم تحليل النتائج

شكل (٢): المنتج المعدني التاريخي المراد ترميمه

شكل (٣): المنتج المعدني بعد الترميم الكهروكيميائي

٧- النتائج:

1. أن لكل أسلوب من أساليب الترميم مميزاته وعيوبه، إلا أن مميزات الترميم الكهروكيميائي أكثر إيجابية وعيوبه أقل سلبية.
2. هناك العديد من الصعاب التي قد تواجه القائمين على عملية الترميم الكهروكيميائي، بسبب بعض التعقيد في تصميم شكل المنتج.
3. عدم التحقق من بعض المحددات في شكل المنتج، قد يؤدي إلى نتائج أقل جودة وأكثر تكلفة.
4. أهم المحددات التي يجب التأكد منها في شكل المنتج لانتظام طبقة الترميم بالترسيب: -

ا- تجنب الزوايا الحادة والقائمة بين الأسطح المتداخلة في المنتج وتحويلها إلى زوايا منفرجة ذات ١١٠ درجة.

ب- تجنب الحواف الحادة ويجب تدويرها حتى تعطي نتائج جيدة.

ج- تقليل عمق الفجوات كلما أمكن وذلك بأن يكون عمق التجويف لا يزيد عن ٥٠% من قطر الفجوة.

د- تقليل عدد الثقوب غير النافذة (الفجوات) وتحديد عمقها بـ ٥٠% من قطرها، وتجنب الثقوب ذات أقطار أقل من ٥,٥مم.

٥- إن القائمين بترميم المنتجات المعدنية يمكنهم تقليل تكلفة الطاقة، وتحسين الجودة بالتأكيد على هذه المحددات، وتبنيها مع تجنب الأشكال المعقدة في الترميم الكهروكيميائي.

٨- التوصيات:

١. إجراء المزيد من الأبحاث التي تتناول المشكلات الناتجة عن الترميم الخاطئ للمنتجات المعدنية.

٢. الاهتمام بالبحوث المتقدمة في مجال الترميم الكهروكيميائي.

٣. الاهتمام بتدريب المزيد من القائمين بترميم المنتجات المعدنية في مجال الترميم الكهروكيميائي.

٩-المراجع :

أولا : المراجع العربية

1. سليم، إسلام أحمد- "الطرق المستخدمة في علاج وصيانة الآثار البرونزية" - *مجلة الآداب* ١٢٢- ٢٠١٧ .

Salim, Islam Ahmed "Al6r8 Almst5dma Fy 3lagwsyana Alathar Albronzya." Mgla Aladab 122. 2017.

2. عباد، معمر محمد عبدالرحمن- "طرق ووسائل المحافظة على المقتنيات الأثرية ودورها فى إطالة عمر الأثر."- *الجامعة الأسمرية الإسلامية*- ٢٠١٣- ٣٥٩- ٤٠٢.

Abbad, Muammar Muhammad Abdul Rahman. "6r8wosa2l Alm7afza 3la Alm8tnyat Alathryawdorha Fy E6ala 3mr Alathr." Algam3a Alasmrya Al Eslamya,. 2013. 359–402

3. عبدالرؤوف، منال أحمد ماهر- "دراسة علمية تطبيقية لعلاج وصيانة بعض المباخر البرونزية من العصر المتأخر من مقتنيات المتحف المصري بالقاهرة ."- *رساله ماجستير*- كلية الآثار- جامعه القاهرة- ٢٠٠٦.

Abdel Raouf, Manal Ahmed Maher. "Drasa 3lmya T6by8ya L3lagwsyana B3d Almba5r Albronzya Mn Al3sr Almta5r Mn M8tnyat Almt7f Almsry Bal8ahra." el kahra.2006

4. عبدالهادى، محمد محمد- *دراسات علمية في ترميم وصيانة الآثار غير العضوية*- القاهرة- زهراء الشرق-١٩٩٧.

Abdel Hadi, Mohamed Mohamed. Drasat 3lmya Fy Trmymwsyana Alathar Ghyr Al3doya. Alkahra. Zahraa El Sharq. 1997.

5. محمد، قاضي- "صيانة وترميم التراث الأثري من هواية إلى علم قائم بذاته."- *مركز جيل البحث العلمي*- ٢٠٢٠- ع٢٥.

5. muhamadu, qadi- "sianat watarmim alturath al'atharii min hiwayat 'iilaa eilm qayim bidhatihi."- markaz jil albahth alealmi- 2020- ea25.

ثانيا: المراجع الانجليزية

6.Buys, Susan, and Victoria Oakley. 2014. Conservation and Restoration of Ceramics. Conservation and Restoration of Ceramics. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780080502892.

7.Costa, Virginia. 2001. "The Deterioration of Gold Alloys and Some Aspects of Their Conservation." Studies in Conservation 28 (4): 194–203. https://doi.org/10.1179/sic.1983.28.4.194.

8.Cronyn, J. M. 2003. Elements of Archaeological Conservation. Elements of Archaeological Conservation. https://doi.org/10.4324/9780203169223.
9.Ctherine M.Cotell. 1994. ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering. ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering. United States of America: The Materials information Society.
10.Drive, E. Wacker. 1990. Quality Metal Finishing Guide. Vol. 1. Chicago, Illinois: National Association of Metal finishers (NAMF),The cooperation of Zinc Institute.
11.Graham, A. Kenneth; Pinkerton, H. L.; eds. 1990. Electroplating Engineering Handbook. Journal of Chemical Education. Vol. 39. New York U.S.A: Titton Educational Publishing. https://doi.org/10.1021/ED039PA972.2.
12.Mereu, Maura, Vilma Basilissi, Giuseppe Guida, Massimo Vidale, Maria Pia Casaletto, Gabriel Maria Ingo, Luciana Drago, and Enrico Greco. 2011. "Conservation of Copper Alloys Artefacts From Archaeological Excavation," no. January: 163–75. https://doi.org/10.13140/2.1.2424.3525.
13.Parry, R. W. 2010. "Modern Electroplating. Second Edition. Edited by Frederick A. Lowenheim." Inorganic Chemistry 3 (4): 616–616. https://doi.org/10.1021/ic50014a050.
14.Parthasaradhy, N. V. 1989. "Practical Electroplating Handbook.(Retroactive Coverage)." Prentice-Hall, Inc.(USA), January, 1444. http://www.amazon.com/Practical-Electroplating-Handbook-N-Parthasaradhy/dp/0133808661.
15.Ravich, Irina G. 1993. "Annealing of Brittle Archaeological Silver: Microstructural and Technological Study." In ICOM Committee for Conservation 10th Triennial Meeting: Washington, DC, 22-27 August 1993: Preprints, 792–95.
16.Stambolov, T., and Giorgio Torraca. 1982. "Porous Building Materials: Materials Science for Architectural Conservation." Studies in Conservation 27 (3): 139. https://doi.org/10.2307/1506150.
17.Thomas Pierpont, Allen P. Davis. 1993. Waste Min Mization in Electropolishing. Principal Investigator Pier-Sol, Inc.
18.Tucker, Reginald E. 2013. "80th Universal Metal Finishing Guidebook." Metal Finishing Magazine, 2013.
19.Z., David, and Pokvitis. 2005. Electropolishing Returns To The Surface. Chicago,Illinois: Able Electropolishing Co., Inc.
Lenox, Massachusetts. 2020. "Should I Fix My Metal Sculpture and Where | Sculpture Repair." 2020. http://www.lakesidepottery.com/Pages/Pottery-tips/should-i-repair-my-metal-or-bronze-sculpture-or-statue.htm.(1-6-2021)
20.www.techinc.com.(23-3-2021)
21.www.tanry.com. (20-4-2021)