

## الاعتبارات الاقتصادية لازالة طبقات الطلاء بالمعادن الثمينة (كيميائيا وكهروكيميائيا) Economic considerations for stripping precious metals coatings (chemically and electrochemically)

أ.م.د/ محمد العوامي محمد

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

### كلمات دالة Keywords:

الاعتبارات الاقتصادية

Economic considerations

ازالة طبقات الطلاء coatings stripping

المعادن الثمينة precious metals

### ملخص البحث Abstract:

الطلاء الكهربائي هو تقنية معالجة سطحية لا تترك المظهر الجمالي للمنتج وحمايته من التآكل الذي يؤدي الى تشويه الأسطح المعدنية ولتحقيق هذه المتطلبات في المنتج يستخدم طلاءات المعادن الثمينة مثل الفضة والذهب والبلاتين وغيرها لتغطية سطح المعدن والمحافظة عليه من العوامل البيئية المختلفة وذلك بالاستفادة من الخصائص الفريدة لهذه المعادن . ومن ثم فان لعملية الطلاء بعض المشاكل والعيوب التي تحدث لطبقة الطلاء مثل خشونة السطح وضعف الالتصاق وغيرها من العيوب التي يصعب معها تآدية سطح المنتج المطلي لوظائفه سواء كانت استخدامية أو جمالية . مما يضطر القائمين بالعملية لازالة طبقة الطلاء واستبدالها بأخرى ذات خصائص أفضل وخالية من العيوب , وقد يؤثر ذلك اقتصاديا في عمليات الانتاج لما يفقد من وقت وطاقة ومجهود نتيجة لاعادة بعض العمليات , ومما يقلل من هذا التأثير هو استعادة المعدن المذاب بالازالة مرة أخرى وخاصة المعادن الثمينة (الذهب والفضة). وتعتبر ازالة طبقات طلاء المعادن الثمينة من سطح أي منتج عملية صعبة وتحدياً لا يفضلها معظم العاملين في مجال الطلاء , ومع ذلك, فان بعض المنتجات الهندسية والمعدنية (كالحلي) قد تحتاج الى ازالة لبعض طبقات الطلاء الغير ناجحة أو لمعالجة الأخطاء أو لتحسين مظهر المنتج. لذلك تتحدد مشكلة البحث في الحاجة الى تجنب الآثار الاقتصادية الناتجة عن اهدار المعادن الثمينة وخاصة الذهب والفضة عند اعادة طلاء المنتجات المعدنية سواء لعيوب تظهر بعد الانتهاء من عملية الطلاء أو لتحسين مظهر المنتج . ومن ثم جاءت أهداف البحث محددة في عدة عناصر منها: تحديد أهم الاساليب الكيميائية والكهروكيميائية لازالة طبقات الطلاء المعدنية من أسطح المنتجات المطلوبة سواء كانت جديدة لم ينحج طلاؤها أو قديمة لتحسين المظهر ومعرفة طرق استخلاص المعادن من محاليل الازالة للمحافظة عليها وخاصة الثمينة منها مثل الذهب والفضة وكذلك تحديد القيم الاقتصادية لازالة طبقات الطلاء. يفترض البحث - ان ازالة طبقات طلاء المعادن الثمينة يؤثر اقتصاديا في صناعة المنتجات وكذلك ازالة طلاءات المعادن الثمينة يحافظ عليها من الضياع والاهدار. منهج البحث: يستخدم البحث المنهج الوصفي التحليلي والتجريبي.

Paper received 10<sup>th</sup> September 2019, Accepted 24<sup>th</sup> November 2019, Published 1<sup>st</sup> of January 2020

إعادة الطلاء لتحسين مظهرها , والاستخدام الشائع الآخر لإزالة المعادن هو اذابة طبقات الطلاء التي تتراكم على وسائل التعليق ومثبتات الأجزاء في أحواض الطلاء. وتستخدم محاليل ازالة المعادن لإذابة الطبقات المعدنية المطلوبة مسبقاً على اسطح المنتجات حيث أن ازالة المعادن عملية شائعة قد تكون مطلوبة عند اصلاح طبقة طلاء بها عيوب, أو عند الحاجة إلى تجديد الأجزاء وإعادة طلاؤها مرة أخرى , وكذلك تستخدم الازالة للوسائل والادوات المستخدمة لتعليق وتثبيت الأجزاء في احواض الطلاء التي قد يترسب عليها طبقات سميكة من معدن الطلاء.

ومن ثم تنشأ بعض المشاكل لأن المعادن النبيلة لها مقاومة كبيرة لمعظم المحاليل الكيميائية وبالتالي, فإن أي تقنية فعالة لازالة هذه المعادن ستؤثر على سطح المعدن الاساسي (الأقل نبلا) تأثير واضح قد يؤدي الى تشوه السطح , ولكن في الحالات التي يكون فيها طبقة الطلاء المراد ازلتها على معادن ثمينة أخرى, سيكون تأثير سطح المعدن أقل بكثير من المعادن الغير نبيلة. لذلك فان الحل المثالي للازالة يجب أن يكون له خصائص الفاعلية في العملية, ولايسبب أي هجوم على معدن المنتج مع إمكانية استعادة الذهب المذاب بسهولة.

وحدثاً في تجارب ازالة المعادن الثمينة, يناقش العديد من الابحاث الازالة بالغمر في المواد الكيميائية للذهب باستخدام محاليل الاحماض أو محاليل بيروكسيد الهيدروجين, وكلاهما يتطلب أنظمة لتصريف الغازات الضارة, وازالة أودية باستخدام محلول السيانيد, وهي عملية إلكتروكيميائية.

ولكن لا توجد بيانات متاحة عن معدل ازالة أي من هذه المحاليل السابقة.

يجري العمل الحالي لمعرفة معدل ازالة راسب الذهب من معادن مختلفة عن طريق الازالة بالغمر في المواد الكيميائية باستخدام محاليل مجهزة بشكل مناسب.(4)

### مقدمة Introduction:

بسبب الخصائص الكهربائية والكيميائية الجذابة للمعادن الثمينة, فإن الطلاء بهذه المعادن يلعب دوراً هاماً في الصناعات المختلفة وخصائصها الفريدة وقيمتها العالية تجعلها مستخدماً في العديد من المجالات حيث تجد طبقات الطلاء بها في العديد من التطبيقات سواء الجمالية أو الوظيفية. - تعتمد هذه التطبيقات في الغالب على جاذبيتها الجمالية, التوصيلية الكهربائية المتميزة, ومقاومة البيئات المختلفة للخصائص النبيلة لبعض منها. - فمثلاً, الطلاء الكهربائي بالذهب على اسطح منتجات النحاس والصلب المقاوم للصدأ(استانلس ستيل) والنيكل والألومنيوم والنحاس والبلاديوم والفضة اعتماداً على وظيفة المنتج النهائي ومع زيادة استخدامات الطلاء بالذهب, يصبح من الضروري معرفة كيفية ازالة طبقات الطلاء وخاصة عند حدوث عيباً ما في خصائص طبقة الطلاء مثل عدم الالتصاق او خشونة السطح وما إلى ذلك من العيوب وهناك محاليل خاصة لازالة راسب الذهب. - لذا نجد في صناعات الطلاء الكهربائي قد تفقد الكثير من المعادن الثمينة بسبب عمليات التصفية وغسيل المنتجات بالماء بعد عملية الطلاء مباشرة وازالة طبقات الطلاء الغير صالحة وهنا يجب على القائمين بهذه الصناعات ضمان تدابير حماية البيئة من خلال الالتزام بمفهوم التخلص الامن للمواد السامة والمعادن الثقيلة في أنظمة الصرف الصحي وتتبع المعالجة التقليدية لمحاليل النفايات المعدنية خطوات معالجة مختلفة مثل ضبط درجة الحمضية, ومعادلة المحاليل الكيميائية, وترسيب المعادن في صورة الهيدروكسيدات ثم الترشيح والتنقية , وهذه الخطوات المتتابعة قد تتسبب في فقد أطنان من المعادن سنوياً وتساهم في مشاكل بيئية(1)

- وايضا هناك بعض المنتجات يزال منها طبقة الطلاء لأنها تحتاج

المنتج

### هدف البحث Objective:

تحديد أهم الاساليب الكيميائية والكهروكيميائية لازالة طبقات الطلاء المعدنية من أسطح المنتجات المطلية سواء كانت جديدة لم ينجح طلائها أو قديمة لتحسين المظهر ومعرفة طرق استخلاص المعادن من محاليل الازالة للمحافظة عليها وخاصة الثمينة منها مثل الذهب والفضة وكذلك تحديد القيم الاقتصادية لازالة طبقات الطلاء

### فرض البحث Hypothesis:

ان ازالة طبقات طلاء المعادن الثمينة يؤثر اقتصاديا في صناعة المنتجات وكذلك ازالة طلاءات المعادن الثمينة يحافظ عليها من الضياع والاهدار.

### منهج البحث Methodology:

يستخدم البحث المنهج الوصفي التحليلي والتجريبي

### الاطار النظري Theoretical Framework:

#### اسباب ازالة طبقات الطلاء من اسطح المنتجات المعدنية

لطالما كان الهدف من الازالة مرتبطا باستعادة طبقة المعدن وإعادة الطلاء، وهو أمر هام جدا لطبقات الطلاء من المعادن الثمينة وكذلك القيمة العالية للمعدن أو السبيكة التي صنع منها المنتج. في المقابل، فإن الاجزاء ذات القيمة الاقتصادية المنخفضة، مثل المسامير أو الأسلاك المصنعة من الصلب، يمكن صهرها وبعاد تشكيلها مرة أخرى. (5)

قد يكون عدم صلاحية طبقة الطلاء لعدة أسباب والتي يمكن تحديدها بالإجراءات العادية لقياس الجودة أو بالفحص وبالتالي تتم ازالة الطلاءات المعدنية لأسباب علاجية أو كجزء من عملية التصنيع أو إعادة تشغيل. هناك عدة حالات لازالة الطلاء المعدني والتي منها:-

- ازالة الطلاء من منتجات قديمة لاعادة الطلاء وتحسين المظهر.
- ازالة الطلاء من وسائل التعليق والتجهيزات.
- ازالة الطلاء المعدني عند رفض المنتجات بعد الطلاء بسبب واحد أو أكثر من العيوب التالية:-

#### •مضعف تجانس طبقة الطلاء

- 1-2 عدم توحيد وتجانس سمك طبقة الطلاء على سطح المنتج.
- 2-2 خشونة الحواف والسطح لطبقة الطلاء وغيرها من العيوب الناتجة عن ارتفاع كثافة التيار
- 2-3 عدم الالتصاق - والمرتبطة بالتجهيز الغير مناسب للسطح.
- 2-4 التشطيب غير مناسب، عادة البريق أو اللون (عدم الحصول على اللون المطلوب)
- 2-5 ضعف التغطية .
- 2-6 المظهر غير ملائم بسبب التشوه الناتج عن الغسيل الغير كاف بالماء .

#### 2-7 ضعف سمك طبقة الطلاء. (6)

- تعتبر المعادن الثمينة مثل الروديوم والذهب والفضة ذات قيمة عالية لدرجة أن الكميات الصغيرة منها تستحق الاهتمام لذلك يجب أن تتم الازالة بقدر من العناية والتخطيط كما هو الحال لعملية الطلاء الكهربي ، وتكون الأحماض المستخدمة في محاليل متجانس قوية بما يكفي لإزالة طبقات الطلاء، وألا تهاجم وتؤثر على المعدن الأساسي بشكل ملحوظ. وعادة ما يمكن تقليل النشاط الكيميائي لحمض معين عن طريق الحد من كمية الماء في المحلول. - كما يتم تحقيق ذلك إما عن طريق استخدام الأحماض المركزة مثل الكبريتيك أو الخليك أو الفوسفوريك، والتي تحتوي على كمية قليلة من الماء، أو عن طريق إضافة مواد عضوية مثل الجلوسرين إلى الأحماض بدلاً من الماء، ويمكن إضافة عوامل مخلبية إلى المحلول، والتي تحافظ على المعدن الذي يتم ازالته، وتمنع ترسيبه مرة اخرى بالغمر (الطلاء بالغمر).

#### طرق ازالة الطلاءات المعدنية.

وفقاً للإحصاءات، تم إنشاء الآلاف من مصانع الطلاء بالكهرباء في الصين والكمية السنوية من مياه الصرف الصحي لصناعة الطلاء بالكهرباء وصلت إلى 4 مليارات طن تقريباً، ومن خلال الدراسات وجد أن الاستفادة الفعلية من المعادن المستخدمة في عمليات الطلاء الكهربي لا تزيد نسبتها عن 30% إلى 40% فقط من إجمالي المعادن المستخدمة في هذه العملية، كما تحتوي مياه الصرف الصحي لعملية الطلاء بالكهرباء على أيونات المعادن الثقيلة العالية (Cr6 +، +، + Cu2، Ni2، Zn2) وهي شديدة السمية، مسببة للسرطان، وذلك سوف يسبب التلوث بالمعادن الثقيلة وإهدار الموارد. (17)

- ان استخلاص المواد القابلة لإعادة الاستخدام من محاليل الطلاء المستهلكة (وهي عبارة عن نفايات سائلة) بتطبيق مختلف العمليات الهيدروميتالورجية (hydrometallurgical) ، والكهروكيميائية (electrochemical) والعمليات الكهروكيميائية مثل الترسيب الكهربي، الإحلال المعدني، التبادل الأيوني، التناضح العكسي، التحليل الكهربائي ومع ذلك، لا تعد هذه الطرق مناسبة دائماً لأنها تستعيد المعادن باعتبارها محاليل مركزة أو رواسب طينية غير نقية تتطلب التكرير من خلال مزيد من المعالجات.

- يمكن لطريقة التبادل الأيوني استرداد المعدن بتركيزات منخفضة، لكن تكلفة المبادلة الأيوني والصيانة مرتفعة.

- يمكن أن تكون طريقة التحليل الكهربائي خطوة واحدة لاستعادة المعادن في شكل عنصري.

- على الرغم من أن هذه الطريقة تتطلب استثماراً أولياً لرأس المال لخلية التحليل الكهربائي، إلا أنها تتمتع بميزة على الأساليب الأخرى من حيث أنها تنتج معدناً نقياً تقريباً وتسترد أكثر من 95% من المعدن المتاح.

في عملية المعالجة الكهروكيميائية للمعادن عند استخلاصها من محاليلها، يتم ترسيب معظم المعدن عن طريق الهجرة والانتشار ولكن في المحاليل المخففة، يتم التحكم في حركة المترسبات عن طريق الانتشار.

وبالتالي، فإن كفاءة أي نظام استخلاص كهروكيميائي يمكن عن طريق تقليل سمك طبقة حدود الانتشار، التي يمكن تحقيقها بتداول المحلول، ورفع درجة حرارة الحمام وحركة الأقطاب الكهربائية. وبغمر المنتج المطلي في محلول ازالة ضعيف، يمكن استعادة هذه المترسبات بتأثيرات سلبية لا تذكر، وفي النهاية يتم استرداد كم كبير من المصافي. (2)

في طلاء المعادن الثمينة من الفضة والذهب والتي يستخدم فيها مركبات السيانيد المعقدة والسامة ان عملية أكسدة السيانيد إلى مواد غير سامة هو الشرط الأساسي للسلامة البيئية ، في الوقت نفسه، يلزم استخلاص المعادن للحفاظ على المعادن الثمينة ولمنع تسرب المعادن الثقيلة الى مياه الصرف.

- معظم عمليات استخلاص الفضة من المحاليل الغير سيانيدية مثل محاليل الثيوكبريتات والنفايات الفوتوغرافية ومحاليل النترات لازالة الطلاء، ومع ذلك، يم كن استخلاص الفضة من محاليل السيانيد منخفضة التركيز بطريقة فعالة وأكثر كفاءة باستخدام عملية التحليل الكهربائي وهي عملية إلكتروكيميائية منخفضة التكلفة مناسبة للصناعات الصغيرة والمتوسطة.

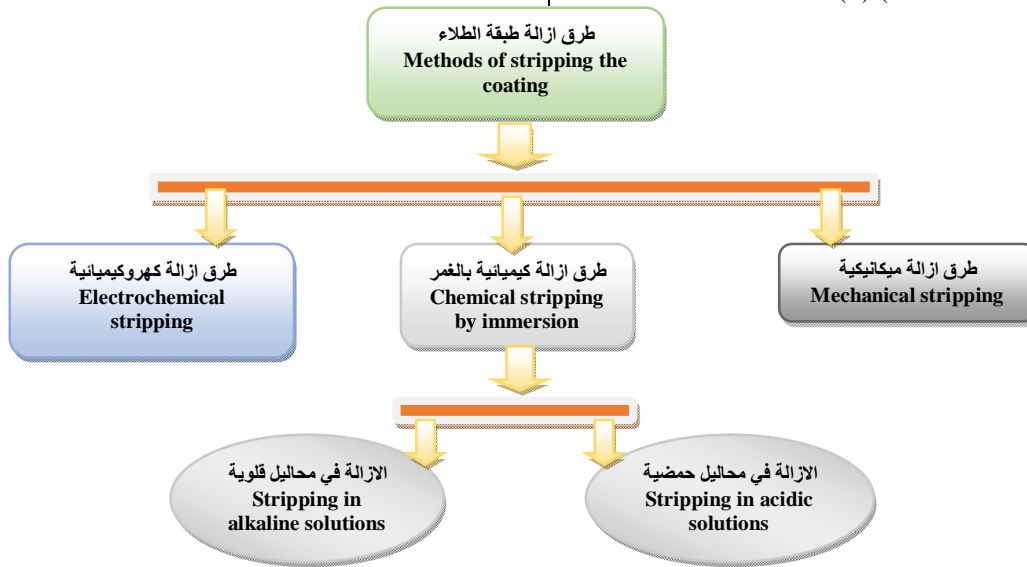
تستخدم العملية الإلكترونية تياراً كهربائياً لترسيب المعادن وأكسدة السيانيد في المياه المستهلكة من عمليات الطلاء الكهربائي، ويمكن لهذه العملية ازالة أكثر من 95% من المعدن في المحلول وأكسدة تصل إلى 50% من السيانيد مما يقلل من استخدام المواد الكيميائية الخطرة لعلاج المياه المستهلكة. (3)

### مشكلة البحث Statement of the problem:

الحاجة الى تجنب الآثار الاقتصادية الناتجة عن اهدار المعادن الثمينة وخاصة الذهب والفضة عند اعادة طلاء المنتجات المعدنية سواء لعيوب تظهر بعد الانتهاء من عملية الطلاء أو لتحسين مظهر

قبل ذكر اهم الطرق لازالة طبقات الطلاء فاتاه يجب تجهيز سطح المعدن المراد ازالة الطلاء منه كما يحدث في عملية الطلاء نفسها.

هناك طرق كيميائية وكهروكيميائية لازالة الطلاء المعدني حيث تقوم المحاليل (الكيميائية) بإزالة الرواسب عن طريق الانحلال، في حين تقوم الوحدات الأنودية (كهربائية) بترسيب أيونات المعادن على الكاثودات (الاقطاب السالبة). (7)



شكل (1) مخطط لطرق ازالة طبقة الطلاء

### Methods of stripping the coating

ثم يتبع ذلك غسل شامل وتنظيف في محلول تطهير قلوي كهروكيميائي جيد وعادة هذه الطريقة سوف تزيل أي طبقة طينية قد تكونت على سطح المنتج وإزالتها بسرعة بتأثير تطبيق التيار الكهربائي.

وهناك اعتبار آخر عندما يكون طلاء اسطح المنتجات بعد عملية الازالة مباشرة ويكون المعدن الاساسي نشط للغاية وعرضة إلى الصدأ، لذلك، فمن المهم خروج المنتجات من الحوض بمجرد اكتمال الازالة ثم يتم غسل سريع وشامل والحفاظ عليها إما عن طريق وضعها في مانع للصدأ أو في محلول قلوي للحفاظ على سلامة المعدن الاساسي. وإذا تمت عملية الازالة في نفس وحدة الطلاء (أو في خارجها)، فقد يتم وضع المنتج مباشرة في دورة الطلاء (لإعادة الطلاء مرة أخرى).

#### 1- الازالة الميكانيكية لطبقة الطلاء

تعتبر الازالة الميكانيكية أحد العمليات الأولية البسيطة للتخلص من طبقات الطلاء الغير صالحة (بها عيوب) أو إعادة طلاء لتحسين مظهر سطح المنتج، وهي تعتمد على تطبيق عمليات ميكانيكية معينة مثل السنفرة والتلميع للتأثير على طبقة الطلاء وإزالتها بالاحتكاك ومن أهم مميزاتها:-

- سهولة التطبيق.
- عدم حدوث تشوه (بالنقر) في سطح المنتج .
- ليس لها انبعاثات ضارة بالبيئة.
- وعلى الرغم من أن الازالة الميكانيكية لها تطبيق في بعض الصناعات، إلا أنه لا تستخدم بشكل شائع في صناعة الطلاء لعدة أسباب هي:-
- العملية بطيئة وبالتالي لا تتناسب مع عمليات الإنتاج الكمي.
- من الصعب للغاية ازالة الأجزاء الصغيرة أو ذات الشكل المعقد باستخدام الوسائل الميكانيكية.
- يمكن إزالة أجزاء من المعدن الاساسي جنباً إلى جنب مع طبقة الطلاء، مما يؤدي إلى تغييرات في أبعاد المنتج أو أضرار لا يمكن إصلاحها.
- الازالة الميكانيكية كثيفة العمالة وعادة ما تكون أكثر تكلفة من الازالة الكيميائية.
- فقدان جزء كبير من طبقة الطلاء مما يتسبب في استهلاك المعادن

#### أولاً:- التجهيز لازالة طبقات الطلاء

عادة ما يكون هناك اندفاع وتعمل لإزالة طبقة طلاء التي بها عيوب أثناء عملية التصنيع وذلك للحفاظ على معدل الإنتاج المطلوب، وغالباً يتبع هذا عدم الاهتمام بتطهير وتنظيف وتنشيط سطح المعدن المراد إزالته في أحواض الازالة وسيؤدي ذلك إلى استغراق وقت طويل في العملية، وازالة غير مكتملة وتشوه (بالنقر) في سطح المعدن الاساسي للمنتج.

(حيث أن عيوب طبقات الطلاء أثناء الإنتاج تكون غير متوقعة ويكون التجهيز والتحكم في إزالتها ضعيف جداً). لذلك يجب أن نخطط لازالة الطلاء المعدني بخطوات محددة بدقة سواء كانت الازالة من اسطح المنتجات أو من وسائل التعليق والتثبيت وذلك لأهمية العملية لتأثيرها الفعال في معدل الإنتاج أو المحافظة على المعادن من الفقد وخاصة الثمينة منها. بداية لا بد من إزالة أي طبقات عضوية (بصمات الأصابع والزيت والبقايا من الصدأ، إلخ) وملوثات خاصة بوحدة الطلاء في منطف قلوي مناسب وخاصة في حالة طبقات طلاء النيكل أو سبيكة النيكل- فوسفور التي يتكون على سطحها طبقة خاملة بعد الطلاء.

والتجهيز الاساسي قبل ازالة طبقة الطلاء له عدة خطوات هي:-

- الغمر في محلول قلوي ساخن من 3 إلى 5 دقائق.
  - الغسيل بالماء الجاري.
  - التنشيط الكاثودي في محلول تطهير كهروكيميائي.
  - الغسيل بالماء الجاري.
  - التنشيط بالغمر في حمض هيدروكلوريك أو خليط مناسب من الاحماض (وينطبق ذلك على طبقات الطلاء الخاملة مثل سبيكة النيكل والفوسفور أو طبقات الطلاء القديمة أو التي تم معالجتها حرارياً بعد الطلاء)
  - الغسيل بالماء الجاري.
  - عملية الازالة.
- وعند غمر المنتجات المجهزة بهذه الطريقة في محلول ازالة الطلاء سوف يتحول لون السطح الى الداكن في حين الاجزاء التي لم يتم تنشيطها تستغرق حوالي ساعتين تقريباً لإذابة طبقة الاكسيد قبل البدء في الازالة.

مركبات الكبريت العضوية إلى محلول الازالة.  
 د- باستخدام المنشطات الخاصة للمساعدة في بدء عملية ازالة طبقة الطلاء دون تلف المعدن الاساسي. فذلك مهم خاصة إذا كان عمر استخدام طبقة الطلاء طويل أو تم معالجتها حرارياً أو طبقات طلاء النيكل على الصلب.(6)  
 تفضل عمليات الإزالة بالغمر في الصناعة لعدة أسباب هي:-  
 • سهولة ازالة طبقات الطلاء من اسطح الاشكال لمعقدة.  
 • أقل المعدات المطلوبة.  
 • العملية سهلة التطبيق.  
 • لا تحتاج الى احواض مجهزة  
 • لا تحتاج لتطبيق التيار الكهربائي.  
 • لا تسبب خمول لسطح المعدن بعد الازالة.

### 2-1- الازالة بالغمر في الحمض

تستخدم الأحماض المعدنية المركزة أو المخففة في ازالة طبقات الطلاء ولكنها ليست صالحة لكل عمليات ازالة الطلاء. في الحالات التي يمكن فيها استخدام هذه الأحماض لإزالة الطلاءات المعدنية، فإن هناك بعض الإضافات لكميات صغيرة من الفلورايد أو الكلورايد أو البروميد أو الأحماض العضوية التي ستساعد في سرعة عملية الازالة وإطالة العمر الافتراضي لمحلول الازالة كما ان هناك عدد من عمليات الازالة بالأحماض قد تحتوي على هذه المكونات بالإضافة إلى مثبطات لحماية المعدن الاساسي من تأثير محاليل الازالة عليه.



وخاصة الثمينة منها.  
 - تستغرق وقت طويل لازالة الطلاء وخاصة اذا كانت طبقات صلبة مثل (النيكل وسبائكه).  
 2- عمليات الازالة الكيميائية بالغمر  
 في عملية الازالة بالغمر في محاليل كيميائية يجب تحويل الطبقة المراد ازلتها بالاكسدة من الحالة المعدنية إلى الحالة الأيونية. لذلك، يجب أن يكون العنصر النشط في أي محلول ازالة عامل مؤكسد قوي، اعتماداً على نوع عملية الازالة(الغمر أو التحليل الكهربائي)، يأتي فعل التأكسد يأتي من استخدام مواد كيميائية محددة أو التيار الكهربائي أو الأثنين معا.  
 مطلوب اختيار مواد كيميائية محددة لمنع الهجوم أو التأثير على المعدن الأساسي للمنتج مع السماح بالازالة الكاملة للطلاء المعدني. يمكن تحقيق ذلك بعدة طرق هي:-  
 أ- إذا كانت طبقة الطلاء المراد ازلتها تتأثر كهروكيميائياً أكثر من المعدن المطلي (على سبيل المثال، طلاء الزنك على الصلب)، فيمكن استخدام محاليل مثل حمض الهيدروكلوريك أو هيدروكسيد الصوديوم .  
 ب- من خلال دمج عوامل مخلبية أو المعقدة في محلول الازالة التي لها تقارب وتأثير قوي على طبقات الطلاء أكثر من المعادن الأساسية.  
 ج- بإضافة مثبطات لمحاليل الازالة لامتناس كيميائياً أو فيزيائياً على سطح المعدن الاساسي و"حمايته" من تأثير محاليل الازالة عليه، فعلى سبيل المثال، عند ازالة طبقات النيكل من الصلب المطلي بالنحاس مع المحافظة على طبقة النحاس، تتم إضافة



شكل (2) يوضح عملية الازالة بالغمر

تعمل على إذابة معظم طبقات الطلاء مع ترك لمعادن الاساسية سليمة، لدرجة أنه يمكن ترك الأجزاء المراد ازلتها في المحلول لفترة طويلة (حوالي 24 ساعة)، في درجة حرارة منخفضة (درجة حرارة الغرفة إلى 140 درجة فهرنهايت)، فإن الأضرار التي يتعرض لها المعدن تكون ضئيلة جداً.  
 تستخدم محاليل الازالة بالسليانيد مع هيدروكسيد الصوديوم كمصدر للقلوية ولحماية اسطح منتجات الصلب.  
 السليانيد هو المركب الاساسي الذي يساعد على ازالة طبقات الطلاء في المحلول كما تستخدم المركبات النيترو العطرية كعوامل مؤكسدة.  
 بدأ استخدام محاليل الازالة المحتوية على السليانيد في الانخفاض في سبعينيات القرن الماضي مع تحرك الصناعة نحو العمليات ذات المواد الكيميائية الأكثر أماناً.

### 2-3- الازالة بالغمر في محاليل قلوية (غير السليانيد).

تعتبر الازالة بمحاليل غير السليانيدية من أكبر العمليات التي تستخدم اليوم تجارياً لإزالة الطلاءات المعدنية ان أكبر تطبيقين هما ازالة طبقات النيكل والنحاس كهربائياً.(6)  
 نظراً لأن محاليل الازالة غير السليانيدية عادة ما تكون مركبات خاصة، فإن التفسير الكيميائي لإزالة الطلاء غير معروف لمعظم المحاليل ويوجد محاليل ازالة تتوفر لمجموعة واسعة من طبقات طلاء المعادن والمعادن الاساسية المطلوبة.  
 يؤدي استخدام محاليل ازالة المعادن القائمة على السليانيد إلى توليد

### تشمل مزايا الازالة الحمضية

- سرعة معدل الازالة، وسهولة التطبيق
- القدرة العالية على الاحتفاظ بالمعادن،
- التكلفة المنخفضة نسبياً
- سهولة معالجة محاليل الازالة واستخلاص المعدن.

### وتشمل عيوبها

- ☒ تاكل بعض تجهيزات العملية كالمعدات وأنظمة التهوية بالأحماض .
- ☒ تستخدم في ازالة عدد محدود من المعادن الأساسية.
- ☒ سريعة في مهاجمة سطح المعدن الاساسي مما يحدث تشوه بالنقر قد يتلف المنتج.
- ☒ الابخرة المتصاعدة أثناء العملية قد تكون سامة أو ضارة بالبيئة.

وقد ساعدت هذه العيوب على استخدام العمليات القلوية في كثير من الحالات كبديل للعمليات الحمضية.

### 2-2- الازالة بالغمر في محاليل قلوية (سليانيدية)

كانت أولى عمليات الازالة بالغمر الكيميائي القلوي معتمدة على السليانيد وحتى مع وجود لوائح وقوانين صارمة للمحافظة على البيئة والتخلص من النفايات وتصريفها، الا انه لا يزال هناك عدد كبير من المنشآت التي تستخدم مركبات السليانيد في عمليات الطلاء والازالة.  
 ان الميزة الرئيسية لعملية الازالة بالسليانيد هي أن هذه المركبات

في المحلول وزيادة العمر الافتراضي للمحلول.

ج- مثبطات لاختزال والحد من التفاعل او مهاجمة المعدن الاساسي للمنتج.

ليس من الضروري توفر كل هذه العناصر في محلول الازالة ولكن قد ينجح محلول في اذابة طبقة الطلاء بوجود عنصر واحد فقط فمثلا في يستخدم حمض النيتريك فقط عند ازالة طلاء الفضة من منتجات الصلب غير قابل للصدأ، دون الحاجة الى العناصر الاخرى.(5)

4- 1- محاليل ازالة طلاء الكروم

- ازالة طلاء الكروم من طبقة النيكل أو النحاس بالغمر في:

محلول (1) حمض هيدروكلوريك تركيز من 10 الى 20% بالحجم ودرجة حرارة من 20 الى 50 درجة مئوية.

محلول (2) حمض هيدروكلوريك تركيز 500 مللي- ثالث اكسيد الانتيمون 15 جرام- ماء 500 مللي- ودرجة حرارة

الغرفة.(8)

4- 2- محاليل ازالة طلاء الفضة

- ازالة طلاء الفضة من النحاس الاصفر بالغمر في الاتي:-

محلول (1) حمض كبريتيك بتركيز 95% بالحجم + حمض نيتريك 5% بالحجم ودرجة حرارة 80 درجة مئوية.

2- 4- 3- محاليل ازالة طلاء النيكل من الصلب والنحاس والزنك بالغمر في

محلول (1) (للنحاس وسبائك) حمض نيتريك مركز 500

مللي+حمض كبريتيك 1 لتر+حمض هيدروكلوريك 250 مللي- حرارة الغرفة.(8)

محلول (2) للزنك فقط) حمض كبريتيك بتركيز 50% بالحجم ودرجة حرارة من 60 الى 70 درجة مئوية.

2- 4- 4- محاليل ازالة طلاء النحاس

- ازالة طلاء النحاس من الصلب بالغمر في

محلول (1) حمض كبريتيك بتركيز 50% بالحجم + حمض كروميك 500 جرام /التر - حرارة 20 درجة مئوية.

- ازالة طلاء النحاس من الزنك وسبائك بالغمر في

محلول (2) كبريتيد صوديوم 250 جرام/التر +كبريت 32 جرام /التر- حرارة الغرفة.(8)

- ازالة طلاء النحاس الاصفر من الصلب بالغمر في

محلول (3) هيدروكسيد امونيوم بتركيز 62,5% بالحجم + ماء اكسجين 37,5% بالحجم - حرارة 20 درجة مئوية.

2- 4- 5- محاليل ازالة طلاء الذهب

- ازالة طلاء الذهب من طبقة النيكل بالغمر في

محلول (1) سيانيد صوديوم 120 جرام/التر + يضاف ماء

اكسجين(100% بالحجم) باستمرار حتى تزال طبقة الطلاء) يجب تجنب الابخرة المتصاعدة مع ارتفاع الحرارة.(6)

### 3- الطرق الكهروكيميائية للازالة.

انقسمت طرق ازالة الطلاء المعدني بشكل محدد إلى تصنيفين هما:-

الازالة بالغمر الكيميائي أو الازالة بالتحليل الكهربائي وضمن هذه التصنيفات، يمكن أن تكون المحاليل حمضية أو قلوية أو متعادلة، وقد كانت عمليات الازالة الكهروكيميائية من بين العمليات الأولى التي استخدمت في صناعة الطلاء نظراً لطبيعتها الصديقة للبيئة. ومع ذلك، فإن عملية الإزالة بالغمر الكيميائي هي الأكثر استخداماً اليوم.

وكانت بداية الازالة الكهروكيميائية لاذابة طبقات الطلاء المعدنية تتكون من محاليل الطلاء القديمة والمعتمدة على السيانيد حيث يوضع المنتج في القطب الموجب (الأنود) ويتم اذابة طبقة الطلاء في المحلول ثم تنرسب على القطب الموجب (الكاثود) حيث يستخدم حمض معدني قوي، مثل الهيدروكلوريك، لازالة الطلاء من الكاثود.

تجهيز المعدات أكثر تكلفة بكثير من الازالة بالغمر الكيميائي كما لا يمكن لعمليات الازالة الإلكتروليتية التعامل بسهولة مع الأشكال

مواد ونفايات ملوثة للبيئة بالسيانيد وقد تتطلب هذه النفايات

إجراءات خاصة للمعالجة والتخلص منها.

لذلك فان استخدام محاليل الازالة غير السيانيدية تتجنب وجود

السيانيد بشكل عام، هذه المحاليل غير السيانيدية أقل سمية من

نظيراتها القائمة على السيانيد وذات خصائص بيولوجية وكيميائية

أفضل، مما يؤدي إلى معالجة أبسط وأقل تكلفة للمحلول المستهلك.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي استخدام محاليل غير السيانيدية

إلى تبسيط عملية استخلاص المعادن من المحاليل المستهلكة.

كما انه يصعب استخلاص المعادن من المحاليل السيانيدية لأنها

تكون مركبات معقدة مع الايونات المعدنية.

يمكن استخدام محاليل ازالة الطلاء لمجموعة كبيرة من المعادن

والطلاء ولقد أجرى سلاح الجو الأمريكي اختبارات على عدد من

محاليل الازالة غير السيانيدية، والخاصة بطبقات النيكل والفضة

وقد تم اعتماد العديد من هذه المحاليل في قاعدة كيلي الجوية.

لا تقتصر التطبيقات على الفضاء الجوي، ولكن الصناعات مثل

السكك الحديدية (أعمدة الكرنك الآلية) وأجزاء السيارات والفضيات

كلها تستخدم محاليل ازالة قبل إعادة التجهيز للطلاء.

بالإضافة إلى ذلك، تعتبر ازالة الطلاء خطوة عادية في أي خط

إنتاج عند استخدام وسائل للتعليق ومثبتات الاجزاء في احواض

الطلاء، حيث تغطي بطبقات معدنية يجب إزالتها بانتظام.

- يجب أن يكون الفنيون على درجة عالية من المهارة عند استخدام

محاليل ازالة من السيانيد. وعلى العكس فقد أفاد سلاح الجو

الأمريكي بأنه ليس مطلوب مستويات مهارة عالية للفنيين العاملين

في الازالة غير السيانيدية للمعادن والمنفذة في قاعدة كيلي الجوية.

- تأثير محاليل الازالة غير السيانيدية على التكاليف:

عند استخدام محاليل ازالة غير السيانيدية ستخفض تكاليف معالجة

النفايات، إذا لم يتم استخدام محاليل سيانيدية في أي مكان آخر في

المنشأة، وبذلك يمكن القضاء على نظام معالجة السيانيد.

\*لا نحتاج لرأس مال كبير عند التبدل إلى محاليل ازالة غير

سيانيدية لأن انظمة المعدات متماثلة، ولكن تكاليف اعداد المحاليل

الغير سيانيدية سوف تزيد قليلا مقارنة بالمحاليل السيانيدية.

تتمتع محاليل الازالة غير السيانيدية بالمزايا التالية:-

\*تقليل تكاليف معالجة النفايات.

\*سهولة استعادة المعادن من محاليل الازالة.

\*عمر المحلول أطول لأنه يتحمل زيادة التركيزات المعدنية.

- أحد الحوافز الرئيسية للتخلص من استخدام عمليات الازالة

المعتمدة على السيانيد هو تقليل المخاطر الصحية على الفنيين.

عيوب محاليل الازالة الغير سيانيدية:-

☒ ارتفاع درجات حرارة العملية الذي قد يتسبب في مشاكل

بيئية حيث ان التشغيل في درجات حرارة منخفضة يمكن أن

يؤدي إلى إبطاء في معدل الازالة وينتج عن ذلك فقدان

فعالية المحلول.

☒ قد تكون معدلات الازالة لبعض الطلاءات أقل من نظيراتها

القائمة على السيانيد. لأن العمليات غير السيانيدية أبطأ بكثير

من عمليات السيانيد (8 ساعات مقابل ساعة واحدة) لذلك

يجب ان يعمل التطوير المستقبلي على تسريع العملية

وضبط المحلول للتعامل مع الطلاءات المعدنية المختلفة

(مثل الفضة) والمعادن الاساسية للمنتجات.

☒ يمكن أن تنتج بعض محاليل الازالة تأثيرات سلبية على

المعادن الاساسية، (1)

### 2- 4- اهم المحاليل المستخدمة في الازالة بالغمر

اعداد المحلول.

يوجد بعض المبادئ العامة والاساسية لاعداد محاليل الازالة فنجذ

انه مطلوب ثلاثة عناصر هي:-

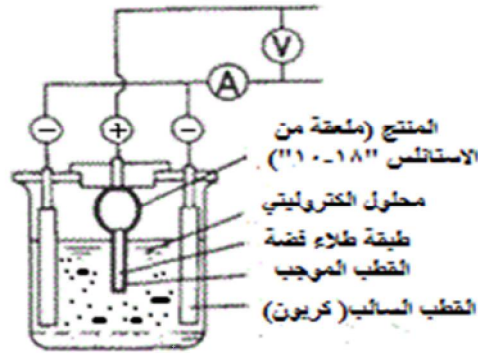
أ- مذيب حمض أو قلوي ذو تأثير مؤكسد لاذابة طبقة الطلاء دون

ان يؤثر على المعدن الاصلي للمنتج .

ب- مركب معقد (عوامل مخلبية) لزيادة قابلية ذوبان طبقة الطلاء

يجب معالجتها بالبراميل.

الهندسية المعقدة (بسبب المساحات ذات الكثافة العالية أو المنخفضة في سطح المنتج) أو الأجزاء الضعيفة السمك والصغيرة الحجم التي



شكل (3) خلية الازالة الكهروكيميائية

مؤوية .

محلول (3) سيانيد الصوديوم بتركيز من 50 جرام /التر + هيدروكسيد صوديوم 10 جرام /التر وشدة تيار من 4 الى 6 امبير/ديسيمتر المربع , وتكون الفضة كما بالشكل ( 4 )



شكل (4) الكاثود مترسب عليه الفضة المزالة

3-3-3- محاليل ازالة طلاء النيكل

- ازالة طلاء النيكل من النحاس أو الزنك أو الصلب كهربيًا

محلول (1) حمض كبريتيك بتركيز من 60 الى 90% بالحجم + جليسرين 30 جرام /التر وشدة تيار من 10 الى 15 امبير/ديسيمتر المربع ودرجة حرارة 20 درجة مئوية.

محلول (2) نترات الصوديوم بتركيز 550 جرام /التر وشدة تيار 10 امبير/ديسيمتر المربع ودرجة حرارة 95 درجة مئوية.

3-3-4- محاليل ازالة طلاء النحاس

- ازالة طلاء النحاس من الصلب كهربيًا

محلول (1) حمض كروميك بتركيز 250 جرام /التر وشدة تيار من 10 الى 5 امبير/ديسيمتر المربع ودرجة حرارة 20 درجة مئوية.

- ازالة طلاء النحاس من الزنك كهربيًا

محلول (2) كبريتيد الصوديوم بتركيز 120 جرام /التر وقوة تيار 2 فولت ودرجة حرارة الغرفة.

محلول (3) حمض كبريتيك بتركيز 2 جرام /التر + حمض

كروميك بتركيز 220 جرام /التر وشدة تيار 10 امبير/ديسيمتر المربع ودرجة حرارة 20 درجة مئوية.

- ازالة طلاء النحاس الاصفر من الصلب كهربيًا

محلول (2) نترات الصوديوم بتركيز 190 جرام /التر وشدة تيار 2 امبير/ديسيمتر المربع ودرجة حرارة 20 درجة مئوية.

يميل المحلول الإلكتروليتي للازالة أيضًا إلى حفر أو النقر للمعدن الاساسي وخاصة في حالة الصلب الذي تم معالجته حرارياً أو يحتوي على نسبة عالية من الكربون أو السبائك المعدنية وبالتالي فان السيطرة الكاملة على العملية أكثر صعوبة بكثير. ومع ذلك، فلا بد من استخدام المحاليل الإلكتروليتيّة الانودية في المستقبل لما لها من خصائص مميزة مثل:-

- معدلات الازالة سريعة جداً،
- ذات تأثير ضعيف جداً على المعدن الاساسي للمنتج،
- التشغيل غير مكلف نسبياً (اقتصادية)
- القدرة على ازالة طبقات الطلاء المتعددة خلال عملية واحدة.

أكبر استخدام تجاري لعمليات الازالة الكهروكيميائية هو تجهيز وازالة طبقات الطلاء التي تتراكم بكثافة على وسائل التعليق والمثبتات.

في الواقع، يوجد اليوم اتجاه متزايد نحو استخدام محاليل الازالة الكهروكيميائية بدلاً من الازالة بالأحماض المعدنية الأقل تكلفة لأن الأحماض المعدنية تميل إلى اتلاف الطبقات العازلة لوسائل التعليق بسرعة أكبر. علاوة على ذلك، فان محاليل الازالة الكهروكيميائية ذات عمر افتراضي أطول بكثير من محاليل الازالة بالأحماض المعدنية.

ومن المزايا الأخرى لعمليات الازالة الكهروكيميائية أنها تحتوي بشكل عام على عوامل مخلبية قليلة جداً، وهذا يجعل محاليل الازالة كهربائياً أكثر قبولا لعمليات معالجة النفايات داخل وحدة الطلاء.

في السنوات الأخيرة، لقد استخدمت العديد من وحدات الطلاء عمليات الازالة الكهروكيميائية لتقليل التكلفة وقد ساعد هذا بعض الشركات المصنعة على تحقيق وفورات كبيرة في التكاليف حيث سيتم تقليل المنتجات المرفوضة بسبب مشاكل إزالة الطلاءات من خلال عمليات الغمر في المحاليل الكيميائية.

أهم المحاليل المستخدمة للازالة الكهروكيميائية

3-3-1- محاليل ازالة طلاء الكروم

- ازالة طلاء الكروم من طبقة النيكل أو الصلب كهربيًا

محلول (1) هيدروكسيد الصوديوم بتركيز من 45 الى 90 جرام /التر وبقوة تيار 6 فولت .

محلول (2) كربونات الصوديوم بتركيز 50 جرام /التر وشدة تيار من 5 الى 10 امبير/ديسيمتر المربع .

3-3-2- محاليل ازالة طلاء الفضة

- ازالة طلاء الفضة من الصلب كهربيًا

محلول (1) سيانيد الصوديوم بتركيز من 30 جرام /التر وبقوة تيار من 4 الى 5 فولت .

- ازالة طلاء الفضة من النحاس وسبائكه كهربيًا

محلول (2) حمض كبريتيك 1 لتر + حمض نيتريك مركز 25 مللي وشدة تيار 5 امبير/ديسيمتر المربع ودرجة حرارة 65 درجة

الأيونات بين مادة صلبة (راتنجية) ومحاليل بأملاح متأينة , يمكن استخلاص أكثر من 90 ٪ من الفضة.

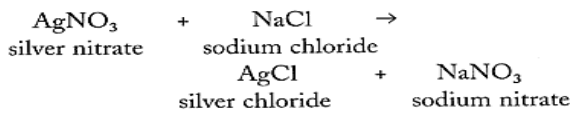
في السنوات الأخيرة، تم دراسة المواد منخفضة التكلفة مثل المنتجات الزراعية والنفايات الصناعية والمواد البيولوجية مثل المواد الماصة لإزالة المعادن الثقيلة من محاليل الإزالة , وهذه المواد مثل قشور الفول السوداني والأرز والقمح، وبقايا التفاح، ونشارة الخشب، والمواد الحيوية الفطرية، والأعشاب البحرية، التي تتميز بقلّة التكلفة وسهولة الحصول عليها ويمكن أن تؤدي إلى توفير كبير في التكاليف وتقليل النفايات. (9)

والطرق الأكثر شيوعاً في التطبيق والتي اعتمد عليها البحث في التجارب العملية هي:-

4-6- طريقة الترسيب الكيميائي - تعتبر هذه الطريقة، أكثر تقنيات المعالجة فعالية من حيث التكلفة وتعتمد على إمكانية إذابة المعادن في شكل مركبات غير قابلة للذوبان مثل الهيدروكسيدات أو الكلوريدات بها الأيونات المعدنية، في المحاليل التي تحتوي على عوامل تعقيد. (10)

ولذلك تستخدم هذه الطريقة لتحويل مركبات الأيونات المعدنية من صورة معقدة يصعب استخلاص المعدن فيها إلى مركبات أبسط تصلح لتنقية المعدن منها وخاصة الثمينة منها مثل الذهب والفضة. فنجد عند إزالة طبقات الفضة بحمض النيتريك نحصل على محلول نترات الفضة التي يضاف إليها كلوريد الصوديوم ليحدث التفاعل الآتي:-

نترات فضة + كلوريد صوديوم  
+ كلوريد الفضة (راسب)



حيث ان كلوريد الفضة راسب ابيض لا يذوب في الماء ويمكن بسهولة تحويله لمعدن الفضة بطريقتين هما:-  
الطريقة الاولى:

أ- تجفيف وتحميص ملح كلوريد الفضة داخل فرن عند درجة حرارة 70 درجة مئوية.

ب- تسخين كلوريد الفضة لدرجة حرارة عالية تصل الى 1100 درجة مئوية داخل افران خاصة فنحصل مباشرة على معدن الفضة.

ولكن هذه الطريقة تنتج الفضة وبها بعض الشوائب مثل النحاس الذي يجب التخلص منه للحصول على الفضة النقية.  
الطريقة الثانية:

- غسيل الملح جيدا بالماء للتخلص من اي شوائب موجودة به.
- نضع كلوريد الفضة في اناء ونضيف اليه الماء بحيث يغطي الماء كل الملح ويرتفع منسوب الماء بمقدار 4 سم .
- نضيف ببطء هيدروكسيد الصوديوم مع التحريك جيدا ملاحظ ارتفاع درجة حرارة المحلول ويتحول كلوريد الفضة الى اكسيد الفضة.
- يضاف سكر الفركتوز (كعامل مختزل) الى أكسيد الفضة فيتحول الى معدن الفضة.
- يتم غسيل الفضة جيدا وتجهيزها للاستخدام , وتكون نسبة نقاء معدن الفضة تتراوح بين 98% الى 99%. (11)

- فنجد معظم محاليل الإزالة بالغمر الكيميائي يتحول فيها طبقات الطلاء الى ايونات معدنية في صورة مركبات مع محلول الإزالة فمثلا عند إزالة الفضة من منتجات الصلب غير قابل للصدأ نجد ان طبقة الطلاء تتفاعل مع حمض النيتريك مكونة نترات الفضة التي تتحول بالترسيب الى كلوريد الفضة. (12)

4-7- الاكتساب الكهربائي Electrowinning

3-3-5- محاليل ازالة طلاء الذهب

- ازالة طلاء الذهب من النحاس كهربيا

محلول (1) سيانيد البوتاسيوم بتركيز 15 جرام /التر + كربونات البوتاسيوم بتركيز 10 جرام /التر + حديدو سيانيد البوتاسيوم بتركيز 50 جرام /التر وقوة تيار 6 فولت ودرجة حرارة 60 درجة مئوية.

- ازالة طلاء الذهب من طبقة النيكل كهربيا

محلول (2) سيانيد صوديوم بتركيز 90 جرام /التر + هيدروكسيد صوديوم بتركيز 15 جرام /التر وقوة تيار 6 فولت ودرجة حرارة 20 درجة مئوية. (6)

4- اساليب استخلاص المعادن من محاليل الإزالة.

لا بد بعد الإزالة الناجحة لطبقات الطلاء الاستفادة من المعادن التي ذابت أو ترسبت في محاليل الإزالة وذلك لقيمتها الاقتصادية الكبيرة وخاصة عند إزالة المعادن الثمينة مثل الذهب والفضة.

ويوجد طرق عديدة لاستخلاص هذه المعادن من المحاليل سواء كانت الإزالة بالغمر الكيميائي أو بالطرق الكهروكيميائية.

ان طرق استخلاص المعادن من المحاليل تشمل : تبادل الأيونات، والامتصاص بواسطة الكربون المنشط , والامتصاص الحيوي، والتناضح العكسي واستخلاص بالمذيبات وعمليات الفصل

بالأغشية الدقيقة ومعظم هذه الطرق تعاني من بعض هذه العيوب مثل، الاحتياج لرأس مال ضخم وارتفاع تكلفة التشغيل وصعوبة التخلص من النفايات الناتجة.

ومن طرق استخلاص المعادن ما يلي:-

4-1. الاستخلاص بالاحلال (الاستبدال). Displacement  
انها واحدة من الطرق الأكثر شعبية واقتصادية. وتتكون من خزان يحتوي على الحديد والصوف والرفائق الخشبية. يتم تحريك المحلول مع تدفق مستمر من خلال الخزان وعندما تتم إزالة الفضة، واستنفاد الحديد، ينتج رواسب في القاع، وأخيرا يتم تكرير الرواسب لاستعادة الفضة. وعلى الرغم من أن تكلفة التنفيد منخفضة، فإن تكلفة التنقية أعلى من قيمة الفضة المستخلصة.

4-2. الاستخلاص بالتحليل الكهربائي Electrolytic recovery

استخدمت هذه التقنية في عام 1930. وهي تشغيل خلية مع اثنين من الأقطاب الكهربائية مغمورة في محلول الكتروليتي، وتطبيق تيار مستمر يتم ترسيب الفضة النقية على الكاثود (عادة الصلب المقاوم للصدأ).

هناك نوعان أساسيان من هذه التقنية: أحدهما الكاثود يدور في محلول والأخر حيث يتدفق المحلول حول الكاثود. نسبة الاستخلاص حوالي 96 ٪ (20 إلى 60 جراما / ساعة فضة عالية النقاء)، وأنه سهل التشغيل.

4-3. بالترسيب Precipitation  
كانت أول طريقة عملية لاستخلاص الفضة. لقد استخدمت لأكثر من 50 عامًا، لذلك فهي متطورة جدا. وهي أيضا ترسب معادن النحاس والكاديوم والزنك والرصاص والنيكل والقصدير، وغيرها من المعادن الأخرى.

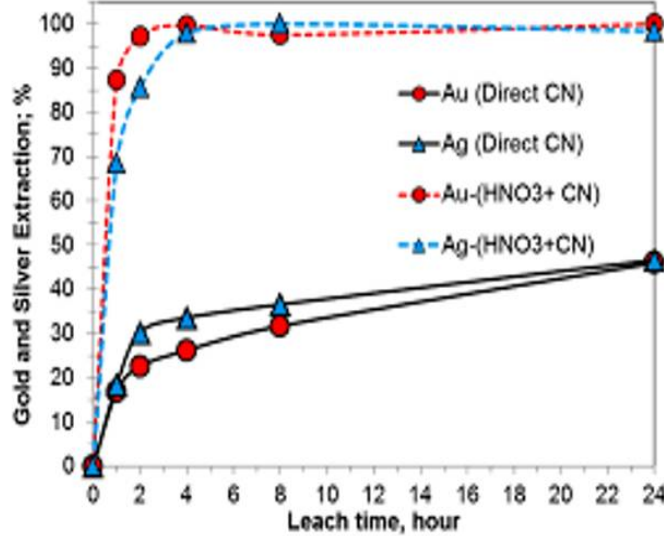
يستخدم عامل مرسب مع عامل تليد لزيادة حجم الجزيئات. يتم استرداد الفضة عن طريق الترشيح وتنقيتها ولكن المعدات والمواد المستخدمة باهظة التكاليف.

4-4. التقطير Distillation  
وعادة ما تستخدم جنباً إلى جنب مع معالجة النفايات السائلة. فهي تقلل من كمية المياه الموجودة في السائل بنسبة من 80 إلى 100 ٪ وترك الفضة سميكة أو صلبة. ومع هذه الطريقة يمكن استرداد 99 ٪ من الفضة، ولكن التكلفة مرتفعة ويوصى للمختبرات الصناعية..

4-5. التبادل الأيوني Ion Exchange  
يمكن استخدام هذه التقنية في المحلول التي تحتوي على نسب مئوية منخفضة من الفضة، مثل المثبتات أو مياه الغسيل، وفي هذه العملية يتم الحصول على الفضة المعدنية من خلال عملية يتم فيها تبادل

كلتا العمليتين معتمدة على نظرية عمل الطلاء الكهربائي وهي تقنيات مهمة لاستخلاص وتنقية المعادن غير الحديدية بشكل اقتصادي ومباشر. ونتيجة هذه العمليات معادن يطلق عليها مكتسب بالكهرباء (electrowon).

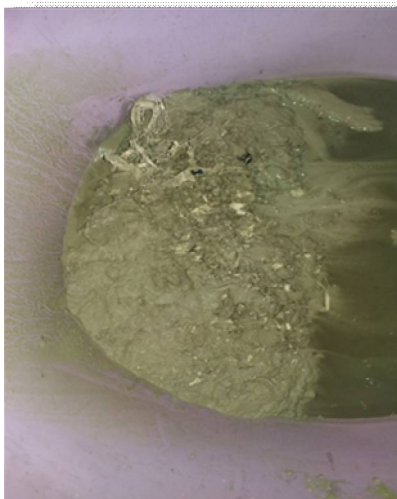
هي عملية يطلق عليه أيضا الاستخلاص بالكهرباء (electroextraction) ويتم فيها ترسيب كهربائي للمعادن من المحاليل التي بها أيونات معدنية، وتستخدم التنقية الكهربائية (Electrorefining) كعملية مماثلة لإزالة الشوائب من المعدن.



شكل (5) منحنى العلاقة بين الفضة والذهب المستخلص وزمن الازالة



شكل (8) ازالة بودرة الفضة من الكاثود



شكل (9) بودرة الفضة بعد الازالة

5- اقتصاديات ازالة طبقات الطلاء في مختلف المحاليل يمكن تقسيم محاليل الازالة المعدنية طبقا لقيمتها الاقتصادية الى:-  
- محاليل تحتوي على المعادن الثمينة  
(أ) المحاليل التي تحتوي فقط على المعادن الثمينة الموجودة في المجموعة البلاتينية

في عملية الاكتساب الكهربائي، يتم تمرير تيار من أنود خامل من خلال محلول سائل يحتوي على أيونات المعدن بحيث يتم استخراج المعدن أثناء ترسيبه بالطلاء الكهربائي على الكاثود ، وبما أن التيار يمر عبر المحاليل الحمضية، فتتآكل الأنودات في المحلول و يترسب المعدن النقي على الكاثودات.(13)



شكل (6) بداية ازالة أنية من النحاس

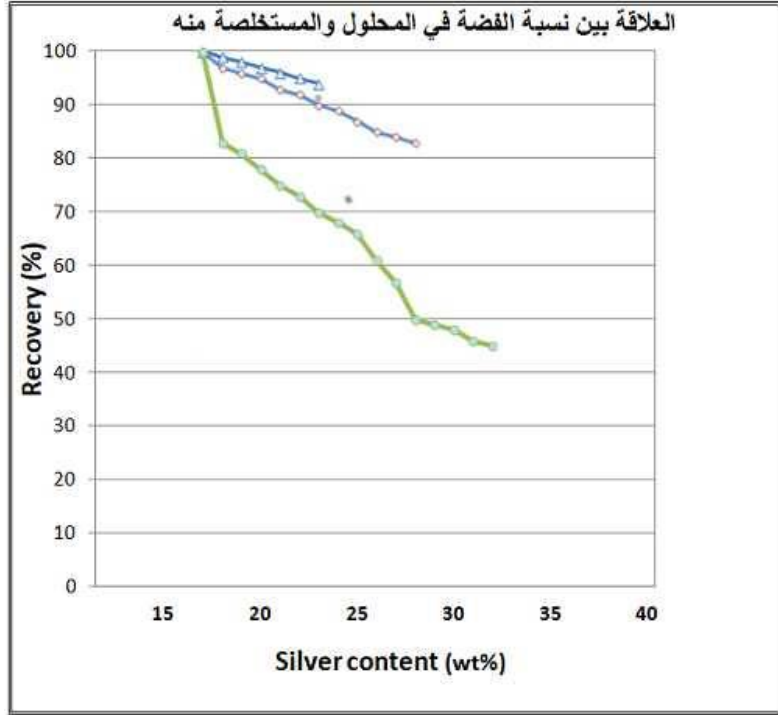


شكل (7) شكل الكاثود بعد الازالة



- محاليل تحتوي على المعادن غير الثمينة
- محاليل تحتوي على النيكل.
- محاليل تحتوي على النحاس.

(ب) المحاليل التي تحتوي فقط على معادن الذهب والفضة .  
(ج) المحاليل التي تحتوي على كل من معادن مجموعة البلاتين والذهب.



شكل (9) بودة الفضة بعد الازالة

القديمة ويعاد طلاء المنتج فقط (تكلفة منخفضة جزئية).  
- تحسين مظهر سطح المنتج أو تحويل لونه الى معدن آخر فمثلا قد يكون المنتج مطلي بالفضة وهي سريعة التحول في الهواء فيمكن استبدالها بطبقة من الذهب بعد ازالة الفضة.  
- الاستفادة من معدن طبقة الطلاء القديمة وخاصة اذا كانت من معدن ثمين (الذهب أو الفضة)  
5- 2- ازالة طبقات الطلاء من المنتجات الجديدة. (المحافظة على معدل الانتاج)

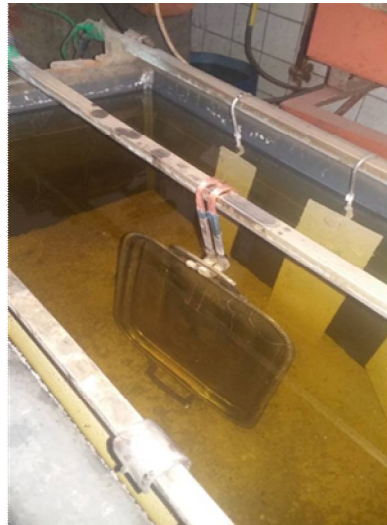
- ازالة طبقة الطلاء عند الفشل في تحقيق الهدف منها سواء كان بعدم الالتصاق أو مظهر غير مرغوب فيه أو لاي عيوب اخرى مثل (خشونة - نقر - عدم استواء السطح.... وغيرها), أو عدم تحقيق الخصائص المطلوبة لوظيفة المنتج. وذلك بدلا من صناعة المنتج مرة أخرى وهذا سيوفر تكلفة الخامات والطاقة والمجهود البشري.

وحتى في الوقت الذي خرجت فيه الولايات المتحدة عن اتخاذ الذهب كمعيار اقتصادي، نجد ان معظم الوحدات الانتاجية اهتمت بمحاليل الازالة الخاصة بالذهب والفضة لما لها من قيمة اقتصادية عالية وايضا للقيود التي فرضت من قبل الكونغرس لشراء البلاتين. ترتبط القيم الاقتصادية لعمليات ازالة طبقات الطلاء المعدنية بعدة حالات منها:-

5- 1- ازالة طبقات الطلاء من المنتجات القديمة. (لتحسين المظهر)  
عند اعادة طلاء المنتجات المعدنية القديمة التي تأثرت فيها طبقة الطلاء بالعوامل المختلفة سواء البيئية أو الاستخدامية وأنتهى عمرها الافتراضي وأصبحت غير صالحة للاستخدام، لذلك يجب ازالة طبقة الطلاء القديمة واستبدالها بأخرى جديدة وخاصة اذا كان المعدن الاساسي مازال محتفظا بشكله وسطحه دون تأثر - كما في شكل ( ) و ( ) و ( ) والذي يوضح الانية قبل الازالة وبعدها.  
- فبدلا من شراء منتج جديد (بتكلفة عالية كلية) تزال طبقة الطلاء



شكل (12) الأنية من النحاس بعد الازالة



شكل (11) أنية من النحاس أثناء الازالة

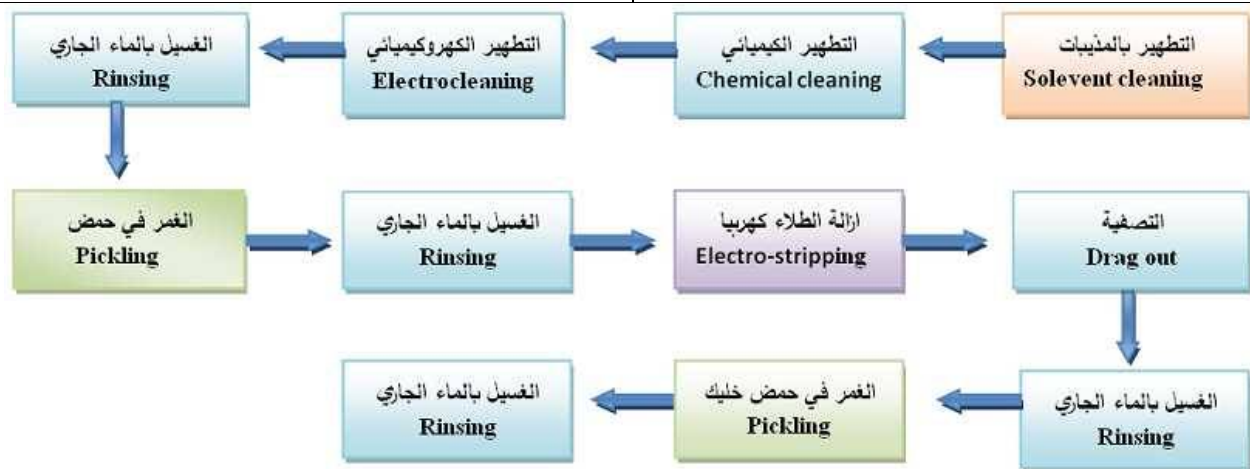


شكل (10) أنية من النحاس قبل الازالة

ازالة طبقة طلاء الفضة دون التأثير على معدن المنتج الاساسي في محلول الازالة.  
 إجراءات التجربة:-  
 أ - تجهيز الأدوات وهي:-  
 \* أدوات القياس وتتمثل في  
 - ترمومتر منوي لقياس درجة الحرارة في المحاليل  
 - بيكر من الزجاج سعته 1 لتر يستخدم كحوض للازالة في التجربة " بعدد الأحواض المطلوبة "  
 - بيكر 50 مم3، 250 مم3 لمعايرة السوائل اللازمة للمحاليل  
 - مصدر التيار الكهربائي المباشر d.c مزود بجهاز اميتر وفولتميتر لقياس شدة وقوة التيار  
 \* أدوات التعليق. والتأكد من نظافة أسلاك ووسائل التعليق الخاصة بالأنود والكاثود لضمان سريان التيار الكهربائي خلال الدائرة بشكل طبيعي.  
 - ميزان رقمي

ب - تجهيز الخامات وهي:-  
 - عينة الازالة وهي شريحة من سبيكة النحاس الاصفر (النحاس والزنك) مطلية بالفضة على شكل مستطيل 4سم×6,25 سم  
 - شريحة من الصلب غير قابل للصدأ وعلي شكل مستطيل 5 سم×10 سم .  
 الخطوات العملية للتجربة:-  
 - تسير الخطوات العملية للتجربة طبقا للرسم التخطيطي الموضح بالشكل رقم ( 13 ) وهي كالآتي:  
 اولاً - تجهيز العينة بالخطوات الآتية:-  
 ملحوظة (يتضح من سطح العينة بالشكل (14) ان طبقة الطلاء بها تشقير وظهور بعض المساحات البسيطة ذات اللون الاصفر لسبيكة النحاس والزنك وهذا هو السبب المباشر للازالة)

- المحافظة على كلا من معدن طبقة الطلاء واعداد استخلاصها واستخدامها مرة أخرى ، وايضا سطح المنتج المطلي من التلف والتشوه بالنقر باستخدام محاليل الازالة المناسبة.  
 5-3- ازالة طبقات الطلاء من وسائل التعليق والمثبتات.(الاستفادة من معادن مترسبة في غير موضعها)  
 - ازالة طبقات الطلاء من وسائل التعليق والمثبتات يحسن من أداء هذه الأدوات لوظيفتها حيث ان تراكم طبقات الطلاء على أسطح هذه الوسائل يؤدي الى زيادة مساحة التوصيل بين سطح المنتج ووسائل التعليق مما يترك جزء من سطح المنتج بدون طلاء.  
 - عدم ازالة طبقات الطلاء المترسبة سيؤدي الى تكلفة شراء وسائل تعليق ومثبتات جديدة .  
 - الاستفادة من المعادن المترسبة على هذه الأدوات وخاصة المعادن الثمينة.  
 5-4- استخلاص المعادن من المحاليل المختلفة للازالة.(اعادة استخدام المعادن)  
 - الاحتفاظ بالمعادن الكونة لطبقات الطلاء في محاليل الازالة وحمايتها من الاهدار والفقد وخاصة عند ازالة الطلاءات من المنتجات الجديدة.  
 - الاستفادة الاقتصادية عند استخلاص المعادن من محاليل الازالة واستخدامها مرة أخرى في عمليات الانتاج والتشغيل.  
 - المعالجة باستخلاص المعادن من محاليل الازالة يحافظ على البيئة من التلوث وخاصة بالمعادن الثقيلة التي لها بالغ الضرر.  
 6- تجارب البحث  
 6-1- تجربة ازالة طلاء الفضة من اسطح منتجات النحاس وسبائك النحاس (كهرموكيميائيا).  
 هدف التجربة:



شكل (13) رسم تخطيطي لخطوات عملية الازالة الكهروكيميائية

Diagram of the steps of the electrochemical stripping process



شكل (16) سطح الكاثود بعد الازالة



شكل (15) سطح العينة بعد الازالة

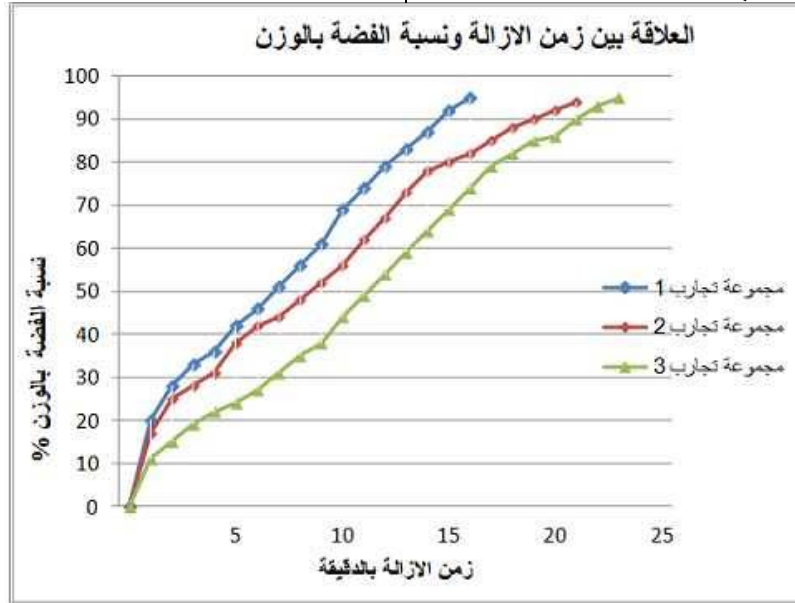


شكل (14) سطح العينات قبل الازالة

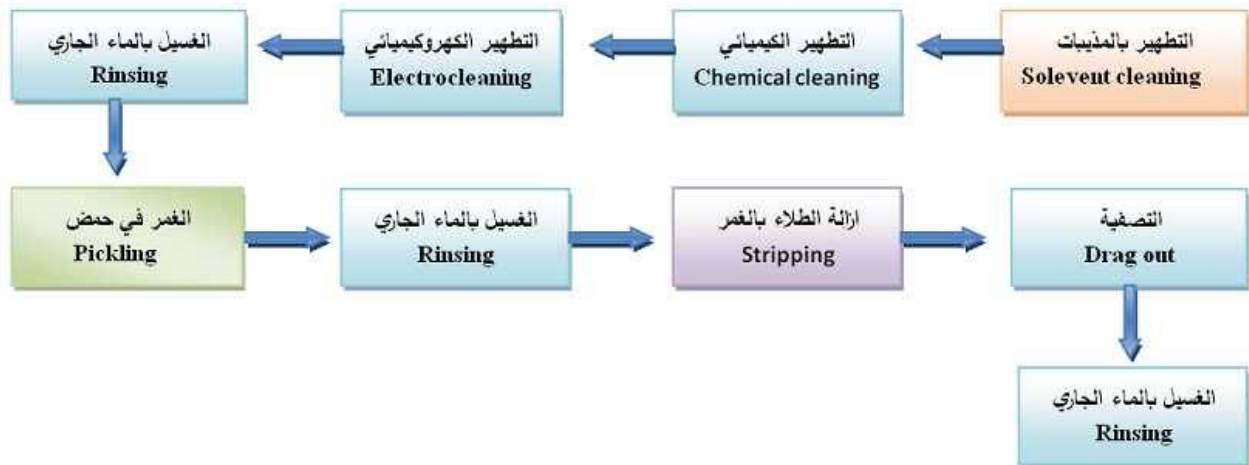
- 6-1-5 - الغمر في محلول حمض كبريتيك تركيز 100 مللي / لتر  
 6-1-6 - الغسيل بالماء الجاري.  
 ثانيًا - الإزالة في المحلول الآتي:-  
 - سيانيد صوديوم 50 جرام / لتر  
 - هيدروكسيد صوديوم 10 جرام / لتر  
 - كثافة التيار 4.3 - 5.7 أمبير / ديسمتر 2  
 - درجة الحرارة حرارة الغرفة  
 - الكاثود صلب غير قابل للصدأ رقم 316  
 - الزمن من 10 إلى 25 دقيقة  
 ثالثًا - عملية التصفية والغسيل كالآتي:-  
 • التصفية في ماء مقطر  
 • الغسيل بالماء الساخن  
 • الغسيل في حمض خليك مخفف 10%  
 • الغسيل بالماء الجاري  
 \* نتيجة التجربة

بعد مرور زمن الإزالة المحدد نلاحظ تحول سطح العينة كما بالشكل (15) ويكون شكل الكاثود كما بالشكل (16).  
 ثانيًا: إعادة التجارب

- 6-1-1 - تطهير العينة بالمذيبات العضوية مثل البنزين ويطبق بفرشاة أو قطنة مبللة بالمذيب  
 6-1-2 - التطهير الكيميائي في المحلول الآتي:-  
 - هيدروكسيد صوديوم 23 جرام / لتر  
 - كربونات صوديوم 22 جرام / لتر  
 - ميتاسليكات صوديوم 7 جرام / لتر  
 - ثلاثي فوسفات صوديوم 5 جرام / لتر  
 - بولي أوكسي إيثيلين استر 2 جرام / لتر  
 - درجة الحرارة من 71 درجة مئوية: 90 درجة مئوية  
 - الزمن من 1 إلى 5 دقائق  
 6-1-3 - التطهير الكهروكيميائي في المحلول الآتي:-  
 - هيدروكسيد صوديوم 31 جرام / لتر  
 - ميتاسليكات صوديوم 20 جرام / لتر  
 - ثلاثي فوسفات صوديوم 5 جرام / لتر  
 - كربونات صوديوم 3 جرام / لتر  
 - كبريتات صوديوم لوربية 1 جرام / لتر  
 - درجة الحرارة 80 درجة مئوية  
 - التيار 7 أمبير / ديسمتر  
 - الأنود صلب غير قابل للصدأ رقم 316  
 - الزمن 30 ثانية معالجة كاثودية "  
 6-1-4 - الغسيل بالماء الجاري



منحنى (1) العلاقة بين زمن الإزالة ووزن الفضة



شكل (17) رسم تخطيطي لخطوات عملية الإزالة الكيميائية  
 Diagram of the steps of the chemical stripping process

الطلاء مثل ضعف الالتصاق وغيرها من العيوب التي يصعب معها تآدية سطح المنتج المطلي لوظائفه سواء كانت استخدامية أو جمالية، مما يضطر القائمين بالعملية لازالة طبقة الطلاء واستبدالها بأخرى ذات خصائص أفضل وخالية من العيوب.

7-2- الاستفادة الفعلية من المعادن المستخدمة في عمليات الطلاء الكهربى لا تزيد نسبتها عن 30% إلى 40% فقط من اجمالي المعادن المستخدمة في هذه العملية.

7-3- ازالة طبقات طلاء المعادن وخاصة الثمينة من سطح أي منتج عملية صعبة وتحديًا لا يفضلها معظم العاملين في مجال الطلاء.

7-4- اسباب ازالة طبقات الطلاء من اسطح المنتجات المعدنية الجديدة، خشونة الحواف والسطح لطبقة الطلاء- عدم الالتصاق- ضعف سمك طبقة الطلاء..... وغيرها

7-5- المنتجات المعدنية القديمة التي انتهى العمر الافتراضي لطبقة طلاؤها تحتاج لازالة ومن ثم إعادة الطلاء لتحسين مظهرها - كما يجب ازالة طبقات الطلاء من وسائل التعليق وال مثبتات للاستفادة من معادن الطلاء واعادة استخدامها.

7-6- هناك عدة طرق ميكانيكية وكيميائية وكهروكيميائية لازالة الطلاء المعدني حيث تعتمد على الاحتكاك أو الغمر في المحاليل (الكيميائية) أو تقوم الوحدات الأيونية (كهربائية) بترسيب أيونات المعادن على الكاثودات.

7-7- تفضل عمليات الإزالة بالغمر في صناعة المنتجات لعدة اسباب منها سهولة ازالة طبقات الطلاء من اسطح الاشكال لمعدنة ومعدات أقل وسهولة التطبيق.

7-8- عمليات ازالة بالغمر الكيميائي القلوي غالباً معتمدة على أملاح السيانيد التي تذيب معظم طبقات الطلاء مع ترك المعادن الأساسية سليمة، ولكن لها تأثير سلبي على الانسان والبيئة، في حين محاليل الغير سيانيدية ليس لها تأثير واضح على البيئة مع سهولة استعادة المعادن من محاليل ازالة وعمر المحلول الافتراضي طويل.

ولكنها ذات تأثيرات سلبية على المعادن الأساسية- مع بطء معدلات ازالة وتكلفة اعداد المحاليل عالية.

7-9- عمليات ازالة الكهروكيميائية من العمليات الهامة التي استخدمت في صناعة الطلاء لطبيعتها الصديقة للبيئة. معدلات ازالة سريعة جداً، ذات تأثير ضعيف جداً على المعدن الأساسي للمنتج، القدرة على ازالة طبقات الطلاء المتعددة خلال عملية واحدة، ولكن تجهيز المعدات ذات تكلفة كبيرة كما لا يمكن التعامل بسهولة مع الأشكال الهندسية المعقدة

7-10- لا بد بعد ازالة الناجحة لطبقات الطلاء الاستفادة من المعادن التي ذابت أو ترسبت في محاليل ازالة وذلك لقيمتها الاقتصادية الكبيرة وخاصة عند ازالة المعادن الثمينة مثل الذهب والفضة، ومن الطرق الأكثر شيوعاً في التطبيق والتي اعتمد عليها البحث في التجارب العملية - طريقة الترسيب الكيميائي وطريقة الاكسناد الكهربى Electrowinning

7-11- لعمليات ازالة طبقات الطلاء المعدنية عدة قيم اقتصادية منها:-

- تحسين مظهر المنتجات القديمة والاستفادة من المعادن المترسبة بالازالة.
- المحافظة على معدلات الانتاج بازالة طبقات الطلاء من المنتجات الجديدة.
- الاستفادة من معادن مترسبة في غير موضعها بازالة طبقات الطلاء من وسائل التعليق وال مثبتات.
- اعادة استخدام المعادن المستخلصة من المحاليل المختلفة للازالة.
- 7-12- وكان من أهم نتائج تجارب البحث أن:-
- تجهيز سطح المنتج قبل ازالة هام وضروري لنجاح العملية وضمان ازالة طبقة الطلاء كاملة.
- عملية ازالة الكهروكيميائية تحافظ على سطح معدن المنتج

6-2- ازالة طبقات طلاء الفضة من أسطح منتجات الصلب غير قابل للصدأ (كيميائياً).

هدف التجربة:

ازالة طبقة طلاء الفضة دون التأثير على معدن المنتج الاساسي في محلول الازالة.

**إجراءات التجربة:-**

- أ - تجهيز الأدوات وهي:-
- \* أدوات القياس وتتمثل في:
- ترمومتر مئوي لقياس درجة الحرارة في المحاليل
- بيكر من الزجاج سعته 1 لتر يستخدم كحوض للازالة في التجربة " بعدد الأحواض المطلوبة "
- بيكر 50 مم، 250 مم، 3م ل معايرة السوائل اللازمة للمحاليل
- \* أدوات التعليق. والتأكد من نظافة أسلاك ووسائل التعليق .
- ميزان رقمي
- ب - تجهيز الخامات وهي:-
- عينة الازالة وهي شريحة من سبيكة الصلب غير قابل للصدأ مطلية بالفضة على شكل مستطيل 4سم × 6,25 سم
- الخطوات العملية للتجربة:-
- تسير الخطوات العملية للتجربة طبقاً للرسم التخطيطي الموضح بالشكل رقم (17) وهي كالآتي:
- اولاً - تجهيز العينة بالخطوات الآتية:-**
- ملحوظة (يتضح من سطح العينة بالشكل (18) ان طبقة الطلاء بها تفسير وعدم التصاق وهذا هو السبب المباشر للازالة)
- 6-2-1 - تطهير العينة بالمذيبات العضوية مثل البنزين ويطبق بفرشاة أو قطنة مبللة بالمذيب
- 6-2-2 - التطهير الكيميائي في المحلول الآتي:-
- هيدروكسيد صوديوم 23 جرام / لتر
- كربونات صوديوم 22 جرام / لتر
- ميتاسيليكات صوديوم 7 جرام / لتر



شكل (19) سطح العينة بعد الازالة



شكل (18) سطح العينة قبل الازالة

- ثلاثي فوسفات صوديوم 5 جرام / لتر
- بولي اوكسي ايثيلين استر 2 جرام / لتر
- درجة الحرارة من 71 درجة مئوية الى 90 درجة مئوية
- الزمن من 1 الى 5 دقائق
- 6-2-4 - الغسيل بالماء الجارى**
- ثانياً - الازالة في المحلول الآتي:-**
- حمض نيتريك مركز (تركيز 86%)
- درجة الحرارة من 45 الى 55 درجة مئوية
- الزمن من 3 إلى 5 دقيقة
- ثالثاً - عملية التصفية والغسيل كالاتي:-**
- التصفية في ماء مقطر
- الغسيل بالماء الجارى

**نتيجة التجربة**

بعد مرور زمن الازالة المحدد نلاحظ تحول سطح العينة الى سبيكة الصلب غير قابل للصدأ كما بالشكل (18).

**نتائج البحث Results:**

7-1- ان لعملية الطلاء بعض المشاكل والعيوب التي تحدث لطبقة

- Recycling of Ni(II)-citrate complexes using precipitation in alkaline solutions, J. Hazard. Mater- pp.105 , 109–111.  
<https://www.finishing.com/195/29.shtml-25/7/2019>
- 10- P. Gomathi Priyaa, C. Ahmed Bashab, V. Ramamurthia, S. Nathira Begumb- 2008- Recovery and reuse of Ni(II) from rinsewater of electroplating industries- Department of Chemical Engineering, A.C. College of Technology, Anna University, Chennai 600025, India
- 11- Wong Wai Leong Eugene and Arun S. Mujumdar- Mar 2009- Gold Extraction and Recovery Processes- Minerals, Metals and Materials Technology Centre (M3TC), Faculty of Engineering, National University of Singapore-
- 12- D.R.Gabe Iptme- 2006- Metal Strippers: Their Science And Technology., Loughborough University, LE11 3TU, UK. Trans Inst Met Fin Tutorial Series
- 13- G. N. K. Ramesh Babu, C. Eagammai and S. Jayakrishnan- 2008- Electrolytic recovery of silver from low concentrated silver cyanide spent plating solutions Institute of Metal Finishing- Maney on behalf of the Institute- p.p.67- 72
- 14- Pilar González1, F. Javier Recio2- 2011- Silver Recovery from Acidic Solutions by Formation of Nanoparticles and Submicroparticles of Ag on Microfiltration Membranes- - España- Universidad Autónoma de Madrid, Madrid- InTech Europe- pp.439- 440
- 15- Lei Zhu1,a,Jingsong Wang1,b, Zhengwei Xiong1,c, - 2015.- Recovery of Nickel by Electrolytic Method from Electroplating Wastewater- University of South China, Hengyang- China- Atlantis Press-
- 16- Wen-juan Zhang,Ling Liu, Cheng- mei Li.Industrial Safety and Environmental Protection, Vol.32(2006),P.35(in Chinese)
- الاصلى من التأثيرات السلبية مثل النقر وغيره- وكلما زاد زمن الازالة زادت معه نسبة الفضة في المحلول او على الكاثود كما يجب استخدام الكاثود من معدن او مادة خاملة حتى يسهل استخلاص الفضة منها. - عملية الازالة الكيميائية بالغمر سريعة وذات نتائج أفضل ولكنها لاتصلح الالمعادن محددة.
- : المراجع References**
- 1- Janikowski, S.K., et al.- 1989.- Noncyanide Stripper Placement Program.- Air Force Engineering & Services Center. ESL- TR- 89- 07
- 2- T. Jones, M.I.M.F- 2004- Stripping of Precious Metal Coatings- Metal Finishing, Volume 102, Issue 2, , Pages 14- 21
- 3- G. N. K. Ramesh Babu\*, C. Eagammai and S. Jayakrishnan- 2008 - Electrolytic recovery of silver from low concentrated silver cyanide spent plating solutions- Institute of Metal Finishing- Maney on behalf of the Institute- p.p.67- 72
- 4- Sekar, T. C. Selvi, C. Eagammai and S. Jayakrishnan- 2007- Chemical stripping of gold deposits from different substrates- Transactions of the Institute of Metal Finishing - VOL 85 NO 3 R
- 5- D.R.Gabe Iptme- 2006- Metal Strippers: Their Science And Technology., Loughborough University, LE11 3TU, UK. Trans Inst Met Fin Tutorial Series. www.PFonline.com- Enthone Inc. Posted on: 9/29/2011
- 6- Charles Rosenstein- 2011- Stripping Metallic - 12th Issue by Metal Finishing Magazine - New York- USA.
- 7- N.V parthosoradhy –1989- Practical Electroplating Handbook – New Jersey- U.S.A – Prentice Hall Inc- pp.307- 309
- 8- K.K. Wong, C.K. Lee , K.S. Low, M.J. Haron- 2003- Removal of Cu and Pb from electroplating wastewater using tartaric acid modified rice husk- Selangor, Malaysia- Chemistry Department, Faculty of Science and Environmental Studies, Universiti Putra Malaysia,
- 9- O. Gyliene, J. Aikaite, O. Nivinskiene, 2004-