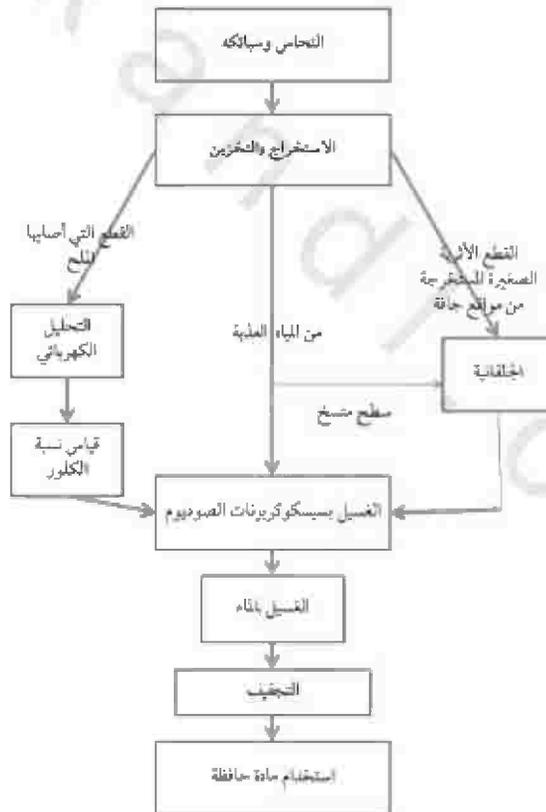


## النحاس الأثري وسبائكه Archaeological Copper (Cu) and Copper Alloys



الشكل (٢٤). رسم بياني يوضح معالجة النحاس الأثري وسبائكه.

طرق معالجة النحاس الأثري وسبائكته  
كما وردت في أدبيات الترميم

- اختزال الكبريتيد القلوي..... عوامل سامة
- ثنائي كبريتيد الصوديوم القلوي..... عوامل سامة
- نشادر (سائل)..... عوامل سامة
- حمض رباعي خلاص الديامين إيثيلين..... للمعالجة السطحية
- اختزال بالانحلال الكهربائي..... يمكن تطبيقها مع انحلال كهربائي خفيف
- كثافة التيار العالي
- كثافة التيار المتوسط
- كثافة التيار المنخفض
- تيار كهربائي منخفض / انحلال كهربائي خفيف..... ينصح بها
- تيار كهربائي أعلى / انحلال كهربائي خفيف
- الجلفنة (التنظيف الكهروكيميائي)..... ينصح به
- حمض الفوسفوريك..... للمعالجة السطحية
- التنظيف الآلي للسطح..... للمعالجة السطحية
- حمض أورثوفوسفوريك..... للمعالجة السطحية
- عوامل عزل..... للمعالجة السطحية
- الغسل بمادة كربونات الصوديوم..... عملية بطيئة يعيقها التآكل
- حوامض التفشير..... للمعالجة السطحية
- حمض الأوكساليك
- حمض الجليكولييك الكبريتي (Thioglycolic)
- المواد الحمضية..... تزيل التكلس
- مودالين
- بايوكس

الشكل (٢٣). خلاصة طرق معالجة النحاس الأثري وسبائكته.

## نظرية النحاس

## Copper—Theory

قد يناقش النحاس الذهب في كونه أول معدن استخدمه البشر، ولا يمكن للمرء أن يخطئ لونه الأحمر المميز وأكاسيده الخضراء المائلة للزرقة، ولا شك أن ذلك ما أثار انتباه أسلافنا في العصر الحجري الغابر، ويمكن لنا أن نجد النحاس الطبيعي في بعض الأحيان، بشكله المعدني بخلاف الحديد. ويتمتع النحاس بالكثير من الخصائص التي تصنفه ضمن المعادن المفيدة للإنسان، إذ يعدّ من المعادن القابلة للطرق والسحب كما يقاوم التآكل، ويمكن تصنيع النحاس الطبيعي بسهولة وذلك بطرقه ليتحول إلى حلي وأدوات مفيدة.

ظهر أول استخدام للنحاس في آسيا الصغرى في نحو ٨٠٠٠ قبل الميلاد، إلا أن استخراج النحاس من شكله الخام لم يظهر إلا مع منتصف الألفية الرابعة قبل الميلاد، أما عملية استخلاص النحاس بشكله المعاصر ثم صهره فهي عملية معقدة تم إعدادها خصيصاً للنحاس بشكله الخام قبل تنقيته. وقد كانت عملية صهر النحاس الأثري من المواد الخام عالية الجودة، أو أكاسيد النحاس المتعدنة مسألة سهلة نسبياً، إذ إن درجة حرارة انصهار النحاس منخفضة، كما يمكن اختزاله بوضعه في قلب الفرن، ثم أصبحت هذه العملية تتم في أفران مكشوفة. ويمكن أن نتعرف بسهولة على خاماته المتأكسدة كالتونوكيت (nautokite)، والباراتاكاميت (paratacamite)، والكوبريت (cuprite) من خلال لونه الأزرق، أو الأخضر المائل للزرقة، أما خامات النحاس الأكثر انتشاراً فهي المعادن الكبريتية اللاهوائية كالالكوسيت (chalcocite)، والكوفيليت (covellite)، التي تتميز بألوانها الداكنة.

ويتمتع النحاس بالكثير من الخصائص التي تساعد على استمرارية تواجده في أي بيئة أثرية، فعلى عكس الحديد، يتمتع النحاس بدرجة كبيرة من الثبات بشكله

المعدني، وعندما يتآكل النحاس فإن نواتج التآكل؛ أي الطبقة الرقيقة التي تعلقه تكون خاملة كهربائياً. وتقوم هذه الطبقة الحاملة كهربائياً باستقطاب القطب الموجب مما يضعف من سرعة معدل التآكل إلى حدٍ كبيرٍ، أما أيونات النحاس فلها تأثير سام على معظم أشكال الحياة، مما يساعد على تغيير كيفية توضع التكلسات على النحاس إلى حدٍ بعيدٍ مقارنةً بأيونات الحديد غير السامة، ولذا فإنه يمكن للقطع الأثرية المصنوعة من النحاس أن تبقى لآلاف السنين داخل التربة أو قاع البحار.

ويحتوي النحاس الخام وخامات النحاس عموماً على معادن أخرى كالرصاص والنيكل والزنك والذهب والفضة والبلاتين والزرنيخ والأنتيمون، إضافة إلى مواد غير عضوية أخرى كالفسفور، وإن معرفة كميات هذه الشوائب تساعد في بعض الأحيان على اكتشاف مصدر النحاس الطبيعي، أو المناطق التي تم استخراج النحاس الخام الأثري منها. كما يساعد وجود هذه المعادن على مقاومة النحاس للتآكل وذلك بإضعاف سرعة تدفق الإلكترونات التي يطلقها المعدن إلى حدٍ كبيرٍ.

أما النحاس النقي فهو طري للغاية بحيث لا يمكن استخدامه لصناعة الحواف المدببة أو الأدوات الحادة التي تدوم على مرّ السنين، وهكذا لا يمكن استخدامه بشكله النقي إلا لصنع أداة ذات وجهين تستخدم كما يستخدم حجر التشذيب. ولكن في الوقت الذي تم فيه صهر النحاس الخام لأول مرة اكتشف علماء المعادن في تلك الفترة أن إضافة كميات متفاوتة من القصدير للنحاس تزيد من صلابته، وهكذا غدا البرونز الذي هو عبارة عن خليط من النحاس والقصدير، أهم المعادن المستخدمة من قبل البشر على مدى الألفيتين اللتين سبقتا ظهور الحديد.

ويحتوي البرونز على كميات متفاوتة من القصدير بحسب الخصائص المرجوة من المعدن، فالبرونز الذي يحتوي على ١٠٪ فقط من القصدير يمكن تصنيعه داخل الكبر ليتحول إلى كلاليب وأدوات أخرى، مثل التي أصبحت تصنع من الحديد المطاوع فيما

بعد، كما يمكن للبرونز أن يحتوي على ٢٥٪ من القصدير إلى جانب نسب أقل من معادن أخرى متنوعة، ويمكن للبرونز الأثري أيضاً أن يحتوي على الحديد أو الرصاص، وفي كلتا الحالتين يشار إلى هذه الخلائط على أنها برونز الحديد أو الرصاص. ويمكن تشكيل البرونز ليصبح أدوات وتمائيل ومدافع وأجراس أو سيوف. بحلول أوائل العصر الحديدي اكتشف علماء المعادن أنه بمقدورهم خلط النحاس مع الزنك لتشكيل سبيكة أكثر طراوة وقابلية للطرق، ويعرف هذا الخليط بالنحاس الأصفر. ويمكن تصنيع خلائط النحاس الأصفر في الكير بطريقة مشابهة لطريقة صناعة الحديد المطاوع، أو يمكن صيها في قوالب، ويحتوي النحاس الأصفر على الكثير من العناصر الكيميائية الموجودة في البرونز بما فيها الزرنيخ والانتيمون والفوسفور، وجميع هذه العناصر تعمل على تثبيت تدفق الإلكترونات، كما تمنع حدوث التآكل. ويمكن للسبيكة أن تحتوي على ما يصل إلى ٤٥٪ من الزنك مما يجعلها أكثر صلابة لكنها تبقى أكثر هشاشة من النحاس النقي. كما يمكن أن يحتوي النحاس الأصفر أيضاً على القصدير والنيكل والرصاص والحديد بكميات متفاوتة، حيث تضاف بعض هذه الخلائط المعدنية لتقوم بتغيير خواص المعدن، وفي حين يعدّ بعضها مجرد إضافات تتم إضافة معادن أخرى، مثل الحديد لجعل النحاس الأصفر أرخص ثمناً من حيث تكاليف الإنتاج. وعلى الرغم من أنه يمكن العثور على النحاس بشكله المعدني، ويمكن فهم استخداماته في صنع الأدوات والمواد التزيينية إلا أن هذا الشكل من النحاس أكثر ندرة وأغلى ثمناً من أشكال سبائكه الأخرى.

يمكن تصنيف النحاس الأصفر إلى فئتين أساسيتين وهما النحاس الأصفر العالي والمتدني، أما النحاس الأصفر العالي فهو عبارة عن معدن رخيص يحتوي على ما يزيد عن ٣٢٪ من الزنك إلى جانب معادن أخرى، ويتميز بلونه الأصفر الساطع بحيث لا يمكن للناظر إليه أن يميز بينه وبين الذهب، ويعرف هذا النوع من النحاس أيضاً باسم

النحاس الأصفر، أو نحاس الخراطيش (Cartridge)، أو معدن المونتز (Muntz Metal) ويعود هذا الاختلاف في التسمية إلى طريقة ونوع استخدام هذا المعدن، حيث يستخدم النحاس الأصفر لصناعة الكلايب وأغلفة السفن الخشبية، كما يستخدم لصناعة الحلبي وقطع الزينة، وقد أصبح يستخدم أيضاً في صناعة الخراطيش، كما يشير الاسم، وذلك في منتصف القرن التاسع عشر.

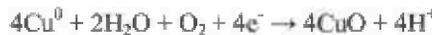
أما النحاس المتدني فيحتوي على ٢٠-٣٠٪ من الزنك، وهو من المعادن التي لا تتفاعل بسهولة، أو لنقل أنه يقاوم التآكل بقوة أكبر مما هو الحال مع النحاس العالي، كما يعرف هذا النوع من النحاس بأسماء مختلفة مثل نحاس إمارة البحر والنحاس الأحمر، ويعدّ هذا النوع أكثر قابلية للطرق من النحاس العالي إلا أن لونه أكثر قتامة بحيث يشبه النحاس النقي بدرجة كبيرة، وبما أن النحاس المتدني يبدي مقاومة كبيرة إزاء عوامل التآكل لذا كان المعدن المثالي لصناعة تجهيزات السفن، وكذلك الأنابيب ولوازم المحركات والموازن.

### نظرية التآكل في النحاس وسبائكه

#### Corrosion in Copper And Alloys—Theory

يتآكل معدن النحاس مثل باقي المعادن الأخرى؛ وذلك للوصول إلى الشكل الأكثر ثباتاً كهروكيميائياً، ويعني ذلك أن المعدن سيعود إلى خامته التي كان عليها في الطبيعة واستخلص منها، مكملاً بذلك دورة كهروكيميائية كاملة، فيبدأ باكتساب شحنة موجبة ومن بعدها يتحول إلى قطب موجب ذي قدرة كهربائية جلفانية.

القطب الموجب (+)



وكما رأينا مع الحديد، فإن هذه الصيغة تعني أن النحاس المعدني سيقوم بإطلاق إلكترونات مما يساعد على خروج شوارد النحاس من سطح المعدن لتتحد مع الماء والأوكسجين مكونة أكاسيد النحاس (كوبريت و/أو تينوريت) والحمض. وبوجود شوارد الكلور سالبة الشحنة يصبح التفاعل ونواتجه أشبه بعملية تشكيل الكلور النحاسي ذي الصيغة الكيميائية (CuCl)، وكلور النحاس ذي الصيغة (CuCl<sub>2</sub>) أو هيدروكسيل كلور النحاس (paratacamite) وصيغته (Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl).

أما عند القطب السالب فتعمل الإلكترونات المنبعثة من النحاس على اختزال الماء والأوكسجين فتشكل أيونات الهيدروكسيل القلوية.

#### القطب السالب (-)



إلا أن هناك تعقيدات في تآكل النحاس لا نراها في تآكل الحديد، ومن أهم تلك التعقيدات كون نواتج التآكل غير ناقلة للتيار الكهربائي، مما يؤدي إلى استقطاب التفاعل تلقائياً عبر وضع حاجز ما بين قطبي تفاعل التآكل السالب والموجب، فإذا توقف تبادل الإلكترونات، فإن التآكل سيتوقف هو أيضاً وهذا يعني أن النحاس النقي لا يتآكل إلا إذا خلا السطح من تلك الطبقة الرقيقة بفعل التلف الطبيعي، أو العوامل المناخية.

ولكن بما أن حالة التآكل هي عبارة عن انتقال كهربائي، لذا فإن عملية التآكل ذات التهوية المتباينة (differential aeration corrosion)، تبقى مشكلة قائمة بالنسبة للنحاس، كما هو الحال مع الحديد؛ وذلك لأن القطب الموجب (منطقة انفصال المعدن) قد لا تكون المنطقة ذاتها التي تقوم الإلكترونات عندها باختزال الماء والأوكسجين، ولذا فإن تراكم نواتج التآكل عند القطب الموجب قد لا يعيق التبادل الكهربائي عند القطب السالب.

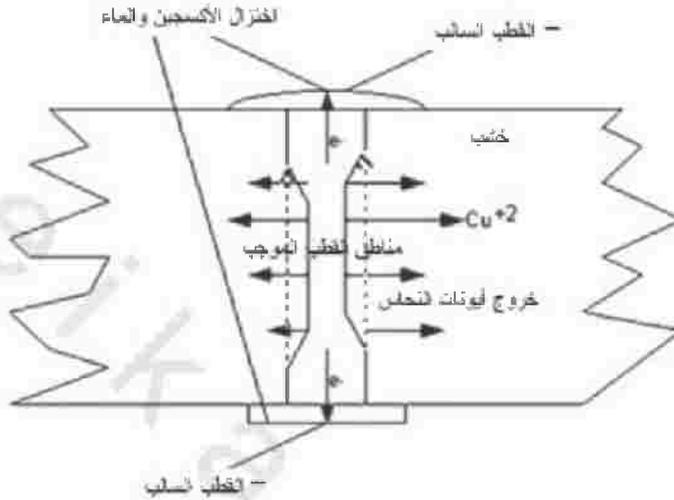
ويظهر التآكل في الكلاليب النحاسية على شكل تقلصات تصيب القطعة الأثرية، أو المناطق الضيقة فيها، وتُظهر هذا التقلصات للمراقب المختص بعلم الآثار الأجزاء التي كانت مغطاة من القطعة الأثرية النحاسية، حتى ولو مضى زمن طويل على اختفاء مادة التغطية (كالخشب على سبيل المثال).

تعدّ سبائك النحاس أكثر عرضة للتآكل من النحاس النقي؛ لأنه من المستحيل من الناحية الفيزيائية أن يتم خلط المعادن المذابة بشكل كامل، أما الشوائب وآثار المعادن الأخرى فتسهم بتكوين سبيكة لا يمكن لنا أن نصفها بأنها متجانسة تماماً، مما يساعد على تكوين مساحات على سطح القطعة الأثرية أكثر عرضة للتآكل من السطح المعدني المحيط بها، حيث تقوم أيونات الفلز في تلك الأجزاء بإطلاق الإلكترونات ثم تغادر مواقعها لتتحول إلى أيونات مشحونة قبل أن تتحد مع أيونات سالبة الشحنة، مثل: أيونات الكلور أو الأوكسجين، وبذلك تظهر نواتج التآكل. أما الشحنة الصادرة عن منطقة القطب الموجب المتآكلة فيمتصها أقرب معدن مجاور، حيث يعمل هذا المعدن كقطب سالب أثناء التفاعل، ثم يتم اختزال الماء والأوكسجين إلى أيونات الهيدروكسيل، وذلك عند سطح القطعة الأثرية، وبذلك تأتي النتيجة على شكل تآكل يخلف وراءه حفراً وندوباً، أو قد يؤدي إلى تحلل المعدن الموجود في مكان محدد من سطح القطعة الأثرية.

وتعدّ الندوب مصدر قلق لكل من يقوم بعملية المحافظة على القطع الأثرية المصنوعة من السبائك النحاسية، أو أولئك الذين يقومون بتخزينها؛ وذلك لأن الندوب حينما تظهر ينظر إليها على أنها مجهولة المصدر، كما يمكن أن يكون لها آثار سيئة على سطح القطعة الأثرية إذا لم يتم فحصها وتفقد حالها بين حين وآخر.

## تآكل التهوية التفاضلي

كما هو مبين في حالة المسمار المصنوع من سبائك النحاس



الشكل (٢٤). مسمار مصنوع من سبائك النحاس أثناء تعرضه لحالة تآكل التهوية التفاضلي أو بعد الشد.

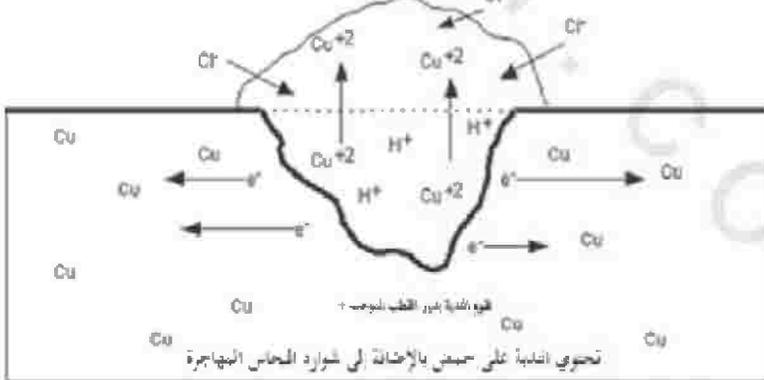
إلا أن هذا التأثير يكون أقل في حال السبائك، وخصوصاً تلك التي تتمتع بفرق شاسع في احتمالية التآكل كما هو الحال بين النحاس والقصدير (مع البرونز) والنحاس والزنك (مع النحاس الأصفر)، فعادةً تبدأ هذه المعادن التي هي على تماس كهربائي بعملية اقتران كهربائي جلفاني (galvanic coupling)، حيث يقوم المعدن الأرخص بالتخلي عن إلكتروناته ثم يتآكل أثناء عملية اختزال الفلز النفيس الذي يصبح محمياً في هذه الحالة، وبالطبع تثير عملية الاقتران الكهربائي الجلفاني قلقاً كبيراً في أي موقع أثري يحتوي على معادن متباينة، إذ إنه في الغالبية العظمى من الحالات التي يكون فيها النحاس على تماس مع الحديد يتآكل الحديد بينما يحافظ النحاس على شكله الأصلي، أو على الأقل يكون بحالة جيدة جداً مقارنة مع الحديد.

وتحدث نفس عملية الجلفنة هذه أيضاً داخل البرونز والنحاس الأصفر، حيث يتآكل القصدير في حالة البرونز، أو الزنك في حالة النحاس الأصفر دوناً عن بقية المكونات الأخرى للسييكة. وتترك عملية زوال الزنك في حالة النحاس الأصفر والقصدير في حالة البرونز شبكة من بللورات النحاس في الأماكن التي كانت فيها السييكة. وتُلاحظ مشكلة زوال الزنك والقصدير بشكل أساسي في القطع المستخرجة من مياه البحر، ولكن يمكن أيضاً أن توجد في القطع الأثرية المستخرجة من اليابسة. وتقوم عملية التحلل الجلفاني (Galvanic dissolution)، بإعادة القوة الفيزيائية للقطعة الأثرية؛ وذلك لأن القوة التي يتمتع بها المزلاج المصنوع من النحاس الأصفر مثلاً بعد فقدان الزنك لا تعدو تلك القوة الموجودة في قطعة من الطباشير. لذا يجب التعامل بعناية فائقة مع قطع النحاس التي يُشك أن بعض مكوناتها قد تعرضت للتآكل.

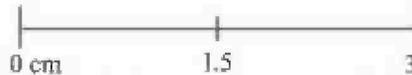
الندوب التي تصيب خلالت النحاس بفعل التآكل

صورة مكبرة للسطح المعدني

عمل في المكثف المعدل من القطب السالب -



الشكل (٢٥). سييكة نحاسية تتعرض للندوب بفعل التآكل يمكن للندوب أن تسبب العديد من المشكلات حتى أثناء مرحلة التخزين.

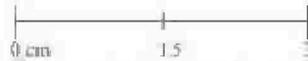


الشكل (٢٦). مزلاج من النحاس الأصفر بعدما خسر كمية الزنك الموجودة فيه، تعرض الزنك للتآكل وحده من بين بقية المعادن، الأمر الذي أضعف المزلاج وأدى إلى ظهور نسيج من بلورات النحاس.

### نظرية تشكل التكلسات

#### Concretion Formation—Theor

من النادر وجود طبقات من التكلس فوق القطع النحاسية الأثرية المكتشفة في مواقع جافة أو في مواقع برية، إذ تقتصر التكلسات في هذه الحالة على طبقة سطحية تأتي نتيجة للتآكل، أما الطبقات ذات اللون الأسود، أو البني الغامق فتشير إلى حالة تآكل في مكان تنعدم فيه التهوية، إضافة إلى وجود تصبغات كبريتية سائدة، في حين أن الطبقات المتكلسة ذات اللون الأزرق أو الأخضر والتي تأتي نتيجة لحالة التآكل فتدل على إنتاج الأكاسيد في القطع المدفونة على أعماق قليلة. وعلى عكس الحديد، هناك عدة طرق لاختزال نواتج التآكل الموجودة على سطح القطع الأثرية المصنوعة من النحاس وسبائكه وإعادته إلى شكله المعدني، ولهذا ينبغي عدم إزالة نواتج التآكل تحت أي ظرف من الظروف أثناء عملية استخراج القطع الأثرية.



الشكل (٢٧). يبدأ التكلس بالتشكل على الخلاط النحاسية بترسب كربونات الكالسيوم فوق السطح القلوي الذي يعلو نواتج التآكل، بعدها يمكن للمحار أن يتعلق بالقطعة الأثرية (ملحوظة: الشكل الذي يشبه الحرف C هو عبارة عن محارة معلقة).

أما في البحار فيمكن للتكلسات أن تظهر على القطع الأثرية النحاسية إلا أنها لن تكون بسماكة التكلسات الموجودة على القطع الحديدية. وتعدّ أيونات النحاس مواد سامة بالنسبة للأحياء الدقيقة التي تغزو عادة السطح المعدني الموجود في قاع البحر، الأمر الذي جعل من النحاس الاختيار الأمثل لصناعة أغلفة السفن الخشبية في أواخر القرن الثامن عشر، إلا أن حالة التآكل الأولية التي تصيب النحاس يمكن أن تحول طبقة الماء القريبة من سطح القطعة الأثرية إلى مادة حامضية، وتحمض هذه الطبقة يؤدي إلى إنحزام الماء الموجود في تلك البقعة بكربونات الكالسيوم، وعندما تغادر تلك المياه هذه البقعة المحيطة بالقطعة الأثرية تترسب كربونات الكالسيوم الموجودة في تلك المياه مكونة قشرة من الطباشير الأبيض فوق القطعة الأثرية، ومع مرور الوقت يصبح بمقدور الأحياء الدقيقة أن تغزو طبقة كربونات الكالسيوم هذه الموجودة فوق القطعة الأثرية، بيد أنها لن تتمكن من بلوغ الطبقات العميقة لهذه التكلسات، وليس ثمة من دليل على قدرة مخفضات الكبريتات والأحياء الدقيقة المنتجة للميثان على غزو الأجزاء

الداخلية في هذه الطبقات المتكلسة ؛ وذلك لأن أيونات النحاس الخضراء، أو الخضراء المائية للزرقة تعمل عند خروجها على إذابة السطح الخارجي للطبقة المتكلسة وتبيده، بحيث يعيق ذلك استمرار نمو المرجانيات. وكما هو الحال على اليابسة، تشير تصبغات الكبريتيد ذات اللون الأسود، أو البني الغامق إلى أن القطعة الأثرية كانت مدفونة في منطقة خالية من الأوكسجين في قاع البحر.

### منهجية استخراج وتخزين القطع الأثرية

#### المصنوعة من النحاس وسبائكه

#### Recovery and Storage of Copper and Alloys—Methodology

توضع القطع الأثرية النحاسية والمصنوعة من سبائك النحاس، بعد استخراجها مباشرة من المواقع الأثرية الجافة، مثلها في ذلك مثل جميع القطع الأثرية المعدنية الأخرى، في محلول قلوي يحتوي على نسبة ٢-٥% من الكربونات، أو بيكربونات الصوديوم (الصودا الكاوية)، ويمكن إعداد هذا المحلول بسهولة عبر مزج ٢-٥ غرامات من كربونات، أو بيكربونات الصوديوم بـ ٩٨ - ٩٥ مل من الماء المقطرة، أو الخالية من الأيونات (انظر كيفية تخزين الحديد). وبالنسبة للتكلسات الرطبة التي تترك لتجف في الهواء فيبدو أن قساوتها تزداد عما هي عليه إذا تم نقعها مباشرة في المحلول القلوي. وينبغي أيضاً تغليف القطع الأثرية بورق الألمنيوم دون أن يشد الألمنيوم عليها؛ وذلك ليتمكن محلول التخزين من الوصول إلى القطعة الأثرية فيحميها من التأكسد أثناء وقت التخزين، حيث يؤدي اجتماع رقاقة الألمنيوم وكربونات الصوديوم إلى بدء عملية الاختزال، التي ستستمر في المختبر مع عملية التحليل الكهربائي أو التغليف الجلفاني.

ويجب أن يتم تخزين القطع الأثرية المستخرجة من المواقع الأثرية الجافة في محلول قلوي في المكان الذي تم فيه اكتشافها، حيث إن المحلول القلوي ورقاقة الألمنيوم لا

يساعدان على حماية القطع الأثرية وحسب وإنما يعمل الماء بطريقة كهروكيميائية، وبما يحمله من خاصية الطفو على الحد من تأثير الجاذبية على معظم القطع الأثرية المعرضة للتكسر والتفتت.

معظم القطع الأثرية النحاسية والمصنوعة من سبائك النحاس المستخرجة من البحار تُحافظ على شكلها بحالة جيدة، وذلك لكونها مغطاة بطبقة رقيقة ذات اللون الأزرق أو الأخضر، ولكن يمكن لتلك القطع أن تكون ملوثة بالكلور لذا فهي بحاجة إلى عملية اختزال شاملة بطريقة التحليل الكهربائي (electrolytic reduction)، في حين تتمتع القطع الأثرية النحاسية، أو المصنوعة من سبائك النحاس المستخرجة من المياه العذبة بوضع أفضل، وتبدو لامعة في بعض الأحيان وكأن عملية صبها أو تصنيعها قد تمت للتو.

وبالنسبة لعملية التخزين فإنها تشابه في حالة القطع الأثرية المستخرجة من البحار أو المياه العذبة مرحلة التخزين الخاصة بالقطع الأثرية المستخرجة من المواقع الأثرية الجافة، حيث يجب تغليفها فور استخراجها برفاعة من الألمنيوم، ثم وضعها داخل محلول يحتوي على نسبة ٢-٥٪ من كربونات أو بيكربونات الصوديوم، وهكذا ستبدأ عملية الاختزال بحيث تعمل على تخفيف الضرر الحاصل للقطعة الأثرية عند استخراجها من المواقع الأثرية.

أما القطع الأثرية المصنوعة من سبائك النحاس، التي تم استخراجها من بيئة لا تتمتع بأي تهوية، لكونها مستقرة في قاع البحر، فوضعها دائماً أسوأ من وضع القطع التي أتينا على ذكرها آنفاً؛ وذلك لتعرضها لهجوم المركبات الكبريتية الاختزالية، ونتيجة لذلك تتكون على هذه القطع الأثرية طبقة من الكبريتيد ذات لون أسود أو بني غامق من الشالكوليت (chalcolite) أو الكوفوليت (covellite)، ويبدو أن هذه الطبقات السطحية ليست خاملة كهربائياً، كما هي حال طبقات الأكسيد، مما يجبرنا على تخزين

القطعة الأثرية داخل محلول قلوي، وتغليظها برقاقة من الألمنيوم تساعد على حمايتها، كما تعمل على تفعيل عملية الاختزال الجلفاني (galvanic reduction).

### منهجية إزالة التكلسات

#### Concretion Removal—Methodology

تكون التكلسات في هذا القسم محدودة ويمكن تعريفها على أنها مجموعة من الاتساخات والكربونات وكربونات الكالسيوم التي تعلق بالقطعة الأثرية، بحيث يمكن إزالة الاتساخات عند فرك القطعة الأثرية تحت تيار من الماء العذب بواسطة فرشاة ذات شعيرات مصنوعة من النايلون ومعجون مكون من بيكربونات الصوديوم والماء.

وأثناء مرحلة التحليل الكهربائي أو الغلاف الجلفاني ستختفي كربونات الكالسيوم مع نواتج التآكل، أما إذا بقيت تلك المواد عسوية على الإزالة برغم مرحلة الاختزال، فيمكن عندها إزالتها بسهولة بواسطة نفعها بحامض الستريك، ويمكن إنجاز هذه العملية بوضع القطعة الأثرية داخل وعاء يؤلف حامض الستريك ١٠٪ من وزنه، أي بخلط ١٠ غرامات من حبيبات حمض الستريك مع ٩٠ مل من الماء، إذ إن هذه المادة الحمضية تكون آمنة عند هذا التركيز، بل إنها حتى تسمح بنمو بعض الأحياء الدقيقة مع مرور الوقت ولكن هذا النمو لا يعيق عمل المادة الحمضية. وتتراوح مدة النقع بالحمض بين ساعة واحدة إلى بضعة أيام.

ولا ينصح بنقع القطعة الأثرية بالحمض مباشرة قبل معالجتها، إذ إن ذلك يؤدي إلى إزالة بعض نواتج التآكل، بل ينصح بتطبيق عمليتي التحليل الكهربائي والتغليظ الجلفاني أولاً لكونهما يختزلان حالة التآكل مما يعيد المعدن إلى أقرب ما يكون من حالته الأساسية ويعيد بعض العلامات والتنوعات الدقيقة التي لم يكن بالإمكان مشاهدتها سابقاً إلى الظهور على الصفائح المصنعة بواسطة الآلات، أو تلك المزودة بحتم معين.

## منهجية عملية الإرجاع بواسطة التحليل الكهربائي

## للقطع الأثرية التي أصابها الملح

Electrolytic Reduction For Salt Contaminated  
Artifacts—Methodology

تم عملية الاختزال بواسطة التحليل الكهربائي، التي يتم تطبيقها على القطع الأثرية المصنوعة من سبائك النحاس باتباع الخطوات الأساسية ذاتها، التي تم الحديث عنها في عملية التحليل الكهربائي مع الحديد. فكما هي الحال مع الحديد فإن المبدأ الأساسي يقوم على اختزال نواتج تآكل المعدن إلى أشكال أكثر ثباتاً مما يزيد من مسامية القطعة الأثرية ويساعد على إجراء عملية غسل الكلوريدات بشكل أسرع. ولكن، وبخلاف الحديد، ثمة دليل حاسم على أن بعض نواتج التآكل الموجودة في النحاس أو سبائكه يمكن أن يتم اختزالها إلى حالة النحاس الأساسية، ولذا كان من الضروري الامتناع عن إزالة نواتج التآكل قبل عملية الاختزال، وفي حال بقيت نواتج التآكل أو تكلسات كربونات الكالسيوم معلقة بشكل معنّد على سطح القطعة الأثرية، عندها لابد من معاودة تكرار عملية إزالة تلك التكلسات.

وتجاوب معظم القطع الأثرية المصنوعة من النحاس الأصفر، أو من البرونز، التي أصابها الملح استجابةً جيدة للتيار الكهربائي المنخفض أثناء عملية الاختزال بواسطة التحليل الكهربائي، ويجب أن تكون قوة التيار الكهربائي محدودة بحيث لا تتجاوز ٢ أمبير باستثناء القطع الكبيرة التي من الممكن أن تتحمل تياراً أكبر. ويعدّ المحلول الخفيف الخاص بعملية التحليل الكهربائي والمكون من كربونات الصوديوم محلولاً آمناً بالنسبة لجميع المعادن بما فيها سبائك النحاس.

أما معدات التعامل مع القطع الأثرية المصنوعة من النحاس أو سبائكه فتكاد تكون ذات الأدوات المستخدمة مع القطع الأثرية الحديدية، إذ يجب أن يكون القطب الموجب مصنوعاً من النحاس، ثم توضع القطعة في وعاء مملوء بمادة خاصة للتحليل

الكهربائي تحتوي على نسبة تتراوح بين ٠.٢٥ - ٠.٥٪ من كربونات أو بيكربونات الصوديوم، ثم يتم توصيل القطعة بواسطة مشبك مسنن إلى النهاية السالبة لمصدر طاقة التيار المباشر، ثم تحاط هذه القطعة بأقطاب موجبة يتم توصيلها إلى النهاية الموجبة لمصدر الطاقة، وعند الوصول إلى كثافة تيار منخفضة وقوة تيار كهربائي ضعيفة تبدأ كميات محددة من المعدن الموجود في الأقطاب الموجبة تغطي القطعة الأثرية، ثم تقوم مخلفات التآكل الموجودة على سطح الحاجز البيئي الحبيبي بالتحويل إلى النحاس المعدني مما يساعد إلى حد بعيد على تحديد كيفية تآكل القطعة إلى جانب تحديد آثار التصنيع، أو الرسومات والنقوش الموجودة على سطح المعدن، التي لم يتمكن عالم الآثار من فك رموزها، حيث يمكن لكل هذه الأمور أن تصبح واضحة وضح الشمس بعد القيام بهذه العملية.

وبما أن الصفائح المعدنية ستغطي القطعة الأثرية، لذا يتصح بأن تكون الأقطاب الموجبة للنحاس وسبائكه مصنوعة من النحاس أيضاً أو النحاس الأصفر أو البرونز، ولا تعدّ هذه الخطوة أمراً واجباً إلا أنها تساعد على الاستغناء عن بعض الخطوات على المدى الطويل، وفي حال استخدام أقطاب موجبة مصنوعة من الفولاذ القابل للطرق، عندها سيقوم أكسيد الحديد الأسود بتغطية القطعة الأثرية المصنوعة من خلائط النحاس، وبما أن أكسيد الحديد يتمتع بلون أسود، فهذا يعني أنه لايد من دعك سطح القطعة الأثرية لإعادة اللون المناسب إليها بعد القيام بتلك العملية، حيث يمكن القيام بهذه العملية بسهولة بواسطة فرشاة أسنان ومعجون من بيكربونات الصوديوم، إلا أن هذه العملية تستغرق وقتاً طويلاً.

ويمكن للأقطاب الموجبة الخاصة بسبائك النحاس أن تكون مصنوعة من برادة المعدن أو من أسلاك نحاسية يتم الحصول عليها من مستودع الخردة، ولكن علينا أن ندرك تماماً أن المعدن المؤلف من سبائك هو الذي سيتآكل أولاً عند القطب الموجب،

وهذا يعني أنه يمكن للزنك، أو القصدير، أو حتى أكسيد الحديد أن يكسو سطح القطعة الأثرية؛ وذلك نتيجة لوجود كمية كبيرة من الحديد داخل الأسلاك النحاسية التي نستخدمها حالياً. ويمكن إزالة جميع أنواع مواد التغطية تلك عبر دعك القطعة الأثرية، ولن تسبب هذه العملية مشكلة كبيرة، أما أفضل أنواع النحاس التي يمكن أن تستخدم في الوقت الحالي كأقطاب موجبة فتتمثل بالسلك السميك؛ لأن هذا النوع من الأسلاك مصنوع من النحاس الصافي تقريباً، وهكذا يمكن تغطية القطعة الأثرية بالنحاس الصافي مما يجعل القطعة الأثرية المصنوعة من سبائك النحاس تبدو وكأنها مصنوعة من النحاس الأحمر الصافي رغم أن لون مادة التغطية غير حقيقي، كما أنه يكتسي مظهراً جذاباً نتيجة لتغير الطبقة الطبيعية الرقيقة، أثناء مرحلة نقع القطعة الأثرية بمادة سيسكوكاربونات (Sesquicarbonate) ولعدة مرات، وهكذا نجد أن الأقطاب الموجبة المصنوعة من أسلاك النحاس هي عبارة عن أسلاك مرنة وسهلة الاستعمال ويمكن وضعها بالقرب من القطعة الأثرية، إلا أن عيبها الوحيد يتمثل بضرورة استبدالها بين الفينة والأخرى؛ لأنها تتآكل بسرعة كبيرة.

ينبغي وضع الأقطاب الموجبة فوق سطح مادة التحليل بالكهرباء وذلك لتبدأ بعملية الغسل من منطقة واحدة على الأقل، لذلك يجب ربطها بالنهاية الموجبة لمصدر طاقة التيار المباشر دون غمر مشابك التوصيل المستننة بالمحلول؛ لأنه يمكن لهذه المشابك أن تتآكل خلال دقائق عند غمرها، وبذلك ستتوقف عملية التحليل الكهربائي كلياً.

يتعين أن تبدأ عملية الاختزال بالتحليل الكهربائي عند ٦ فولت ولكن يمكن مضاعفة هذه القيمة لتبلغ ١٢ فولت؛ لتوليد قوة التيار المطلوبة، فإذا كانت جميع الأمور تسير على ما يرام، عندها سيلاحظ فني الترميم ظهور تصبغات زرقاء اللون

بالقرب من الأقطاب الموجبة الموجودة في المحلول الخاص بعملية التحليل الكهربائي، وذلك بمجرد تشغيل زر طاقة التيار المباشر، بحيث تبدأ الأقطاب الموجبة بالتآكل كما هو متوقع داخل مادة التحليل الكهربائي المؤلفة من مادة قلووية معتدلة، وبذلك سيتغير لون المحلول إلى الأزرق الفاتح؛ نتيجة انتشار شوارد وأكاسيد النحاس الزرقاء داخل المحلول الخاص بعملية التحليل الكهربائي، مما يجنب القطعة الأثرية بالكامل، عندئذ تبدأ القطعة الأثرية والأقطاب الموجبة بتوليد الهيدروجين والأكسجين، اللذين يظهران على شكل رغوة تغطي سطح الماء، أما التصبغات الزرقاء فيمكن أن تترسب خلال ثلاثة أيام وعندها يمكن مشاهدة القطعة الأثرية من جديد.

وبعد الانتهاء من عملية الاختزال بواسطة التحليل الكهربائي، لا بد من أخذ الحيلة والحذر عند التخلص من المحلول؛ لأن محلول النحاس بخلاف محلول الحديد يحتوي على نسبة لا بأس بها من المواد السامة لذا لا يمكن سكبها في مصرف المياه هكذا ببساطة دون أخذ الاحتياطات اللازمة، بل ينبغي تركه حتى يتبخر ثم العمل على إزالة الأكاسيد منه، وبعد ذلك يتم التخلص من المحلول بطريقة مناسبة.

### منهجية اختبار الكلور

#### Chloride Test—Methodology

تعدّ عملية اختبار الكلور الموجود في سبائك النحاس عملية مشابهة تماماً لعملية اختبارها مع القطع الأثرية الحديدية، إذ لا يجري اختبار الكلور على جميع القطع، وإنما على القطع التي تتمتع بحجم كبير يكفي لجعل عملية قياس نسبة الكلور عملية ذات قيمة. وتتم العملية بوضع عينة مصغرة من مادة التحليل بالكهرباء داخل وعاء زجاجي مدرج حتى ٥٠ مل، ثم يتم إدخال شريط المعايرة الكيميائية، وعندما يصل المحلول إلى أعلى الإناء يمكننا أن نرى الخط الأبيض على الشريط كما يمكن حساب تركيز الكلور

من خلال الجدول المرفق مع مقياس المعايرة. وكما هي الحال مع القطع الأثرية الحديدية ذات الحجم الكبير، لا بد من تحديد نسب تركيز الكلور أسبوعياً إلى جانب تدوين وقت قياس هذه النسب، حيث يعمل هذا الخط البياني كمنصر يساعد على التحكم بتغير المحلول؛ وذلك كمؤشر لانخفاض النسبة الكلية لتركيز الكلور ضمن حدود مقبولة، وصولاً إلى نسبة تقارب ٥٠ جزءاً من المليون، يرافقها تغيير للمحلول عند ١٠٠٠ جزء من المليون، ولكن سبائك النحاس لا تمتص كمية الكلور بالكامل كما هي حال القطع الأثرية الحديدية، ولهذا السبب لا يمكن أن نعدّ عملية قياس نسبة تركيز أيونات الكلور مؤشراً حقيقياً على التغيرات الهائلة، التي يمكن أن نشاهدها مع الحديد وخصوصاً حديد الزهر.

يمكن للقطع الأثرية الصغيرة، المصنوعة من النحاس وسبائكها، ألا تقوم بتحرير كمية مناسبة من الكلور تكفي لإجراء عملية قياس الكلور، فقد تستغرق الدبابيس والمسامير الصغيرة والمسامير ذات الرأس الصغير وغيرها من الأشياء الصغيرة مدة أسبوع أو أسبوعين، أما القطع الأثرية الكبيرة التي يكون حجمها بحجم الكلاب كالمسامير الضخمة فتستغرق ثلاثة أو أربعة أسابيع، في حين أن القطع الأثرية الأكبر حجماً كالأوتاد تستغرق وقتاً أطول يصل إلى ستة أسابيع، وكما هي الحال مع الحديد، فإن الاختبار الفعلي الوحيد لمعرفة ما إذا كانت القطعة الأثرية قد نالت قسطاً كافياً من المعالجة أم لا؟ يتمثل في حالة التآكل التي قد تصيب القطعة الأثرية أثناء مرحلة التخزين. وفي حال كانت القطعة الأثرية مكونة من عدة أجزاء قد يتعين فصل هذه الأجزاء عن بعضها البعض كي تتمكن عملية الشطف بالماء من إزالة كافة آثار الكلوريد الموجود في الشقوق والمناطق الدقيقة.



الشكل (٢٨). زاوية من المفحم الخاص بزورق صيد مصنوع من النحاس الأصفر يعود للقرن العشرين هنا تظهر حالة التآكل وآثار الملح بين الحواف.

تصوير: كريس فالقانو

### منهجية القطع الأثرية المستخرجة من المياه العذبة

#### Fresh Water Artifacts—Methodology

يمكننا أن نعرف هذه القطع على أنها تلك القطع الأثرية المستخرجة من المياه العذبة الموجودة في البحيرات أو الأنهار أو البرك، وغالباً ما تكون هذه القطع الأثرية بحالة ممتازة ولهذا فهي لا تحتاج إلى طريقة خاصة لمعالجتها، إذ يجب تخزينها مباشرة بعد استخراجها في محلول قلوي وتغليفها برقاقة من الألمنيوم شأنها في ذلك شأن بقية القطع الأثرية المعدنية المستخرجة من المواقع الأثرية، وسيكون هذا بمثابة عملية معالجة لهذه القطع الأثرية إلى أن تبدأ مرحلة الغسل بمادة سيسكوكاربونات (Sesquicarbonate).

## منهجية التغليف الجلفاني المستخدم مع القطع الأثرية

### الصغيرة المستخرجة من مواقع جافة

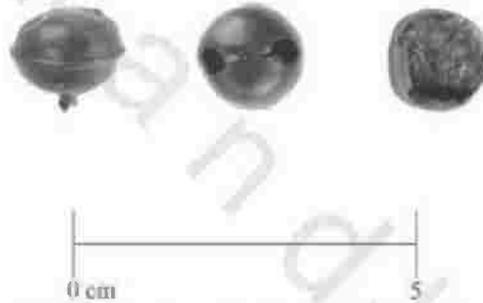
#### Galvanic Wrap For Dry Recovered Small Artifacts—Methodology

تبدأ عملية التنظيف الكهروكيميائي بواسطة التغليف الجلفاني (انظر الحديد)، بالنسبة للقطع الأثرية الصغيرة عقب استخراجها وتغليفها برقاقة من الألمنيوم ووضعها في محلول التخزين، الذي يحتوي على كربونات أو بيكربونات الصوديوم. ولكن هنا، وبخلاف عملية التخزين البسيطة، تشمل هذه المرحلة من عملية التغليف الجلفاني على تغيير مادة التحليل الكهربائي، كما أنها تتميز بتدخل فني الترميم أثناء إزالة التكلسات.

وكما هو الأمر مع التخزين، فإن مرحلة التغليف الجلفاني تبدأ بوضع القطعة الأثرية الصغيرة المستخرجة من المواقع الأثرية الجافة داخل كيس مصنوع من رقائق الألمنيوم، بحيث تكون سماكته بمقدار رققتين، ولقد أثبتت التجارب والخبرة بأنه على الرغم من أن الغلاف الجلفاني داخل كربونات الصوديوم يفيد في عملية ترميم اختزال القطع الأثرية المصنوعة من النحاس أو سبائكه، إلا أن استبدال كربونات الصوديوم بحمض الستريك يؤدي ثماره بشكل أسرع وأوضح، وفي حال عدم توافر أي من هاتين المادتين المنحلّتين بالكهرباء، عندها يمكن للخل (حمض الخل) أن يفي بالغرض.

ينبغي وضع المادة المنحلة بالكهرباء داخل الكيس الذي يحتوي على القطعة الأثرية، وبذلك يمكن لهذه المادة أن تحمل الإلكترونات المنبعثة من الألمنيوم إلى القطعة الأثرية، وبما أن رقاقة الألمنيوم تعمل عمل قطب موجب، لذا فإنها تتعرض للتآكل والتسرب، ولهذا السبب لا بد من وضعها داخل وعاء مناسب مملوء بمادة التحليل الكهربائي ذاتها الموجودة داخل الكيس، بحيث تحيط بالقطعة الأثرية من كافة الجوانب مما يتيح الاحتكاك المباشر بينهما قدر الإمكان، وهنا لا بد من الانتباه لمنع تهشم القطعة الأثرية أثناء تغليفها بالرقاقة.

يتم فتح الكيس بعد عدة أيام لتفحص القطعة الأثرية ، وعند هذه المرحلة لا بد أن تتحول معظم نواتج التآكل إلى أكسيد النحاس أو النحاس البني ، كما يجب أن يكون السطح نظيفاً وواضح المعالم ، بحيث تختفي من عليه جميع آثار الكربونات والانساختات والرمال العالقة ، وفي حال عدم حدوث ذلك عندئذ لا بد من متابعة عملية التغليف ؛ وذلك لأن هذه العملية غير محدودة الأجل ، وعموماً فإن النتائج تظهر بشكل واضح منذ الأيام القليلة الأولى ، إلا أنه يمكن الاستمرار بعملية المعالجة لفترة غير محددة ما لم تظهر أية نتائج سيئة بشكل واضح.



الشكل (٢٩). أجراس من النحاس الأصفر ذات السنة حديدية تعود للقرن الثامن عشر تم الحصول عليها من فورت نيوروكا، حيث تعرض لسان الجرس الموجود على اليمين لحالة من التآكل أثناء مرحلة التزاوج الجلفاني مع النحاس الأصفر.

تصوير: كريس فالغانو

### مهجية الغسيل بمادة سيسكوكاربونات (Sesquicarbonate)

#### Sodium Sesquicarbonate Wash—Methodology

مع نهاية هذه المرحلة تصبح القطعة الأثرية نظيفة وخالية من الانساختات ومن نواتج التآكل ، كما يمكن أن تصبح لامعة بحيث تبدو وكأنها جديدة ، أما لونها فيمكن أن يتحول إلى لون النحاس الحقيقي أو الاصطناعي ، وذلك تبعاً لنوع السبيكة ، وعلى فني الترميم أن يقرر الشكل النهائي ، الذي ستأخذ به القطعة الأثرية ، فإذا رغب

بالمحافظة على لمعان القطعة فما عليه سوى أن يبدأ مرحلة الغسيل، غير أن معظم القطع الأثرية النحاسية تحمل طبقة رقيقة من أكسيد النحاس البني تشبه لون القطعة النقدية المعدنية القديمة، وذلك خلال دورة حياتها الاعتيادية، ويمكن استعادة هذه الطبقة عبر غسل القطعة بمادة سيسكوكاربونات (Sesquicarbonate) (كربونات فيها ثلاثة جذور كربونية لكل ذرتي معدن).

ويمكن لهذه العملية أن تأتي على شكل غسل قوي للقطع الأثرية الصلبة أو نقوع رقيق مع القطع التي قد لا تتحمل قوة الغسول الفعال، أما الغسل بمادة سيسكوكاربونات (Sesquicarbonate) بنسبة ٤٪ فهو عبارة عن مزيج يحتوي على ٢٠ غرام من كربونات الصوديوم و ٢٠ غرام من بيكربونات الصوديوم تضاف إلى ٩٦٠ مل من المياه المقطرة، حيث يتم غمر كامل القطعة الأثرية في هذا المحلول لعدة أيام. ويمكن أن يؤدي غلي هذا المحلول مرة واحدة لمدة ساعتين إلى تسريع عملية الغسل إلى حد كبير، كما يساعد على التخلص من أي أبونات سالبة الشحنة بقيت موجودة داخل القطعة الأثرية. أما نقع القطعة لمدة تتراوح بين أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع، إضافة إلى غلي القطعة أسبوعياً لفترات طويلة فيساعد على إعادة لون أكسيد النحاس البني إلى القطعة الأثرية التي تمت معالجتها. أما القطع الدقيقة فتم معالجتها بالأسلوب نفسه ولكن دون اللجوء إلى طريقة الغلي.

### منهجية عملية الغسل بالماء

#### Rinse—Methodology

وهي مرحلة الغسل الأخيرة التي تسبق عملية التجفيف، وفي هذه المرحلة يجب ارتداء قفازات مطاطية أثناء التعامل مع القطع الأثرية، كما ينبغي إعداد أوانٍ خاصة لمنع وصول الأملاح الموجودة داخل بصمات الأصابع إلى القطعة الأثرية، بعدها يتم نقع

القطع الأثرية في مياه مقطرة لعدة ساعات؛ للتخلص من بقايا مادة سيسكوكاربونات (Sesquicarbonate).

### منهجية مرحلة التجفيف (التخلص من الماء)

#### Dehydration—Methodology

قد يؤدي التجفيف بواسطة الفرن، في بعض الأحيان، إلى إضفاء لون داكن على القطع النحاسية أو إفساد لون النحاس وسبائكه، إذ غالباً ما تخلف هذه الطريقة تقزحاً لونياً على سطح القطعة الأثرية، ولهذا السبب تعدّ طريقة التجفيف بواسطة المذيبات أفضل وسيلة متبعة لتجفيف السبائك النحاسية.

ويمكن هنا اتباع طريقة التجفيف بواسطة المذيبات المستخدمة مع الحديد، حيث تنتقل القطعة الأثرية بين ثلاثة حمامات متتالية يتم خلالها إضافة الأسيتون والكحول إلى القطعة الأثرية، ويستمر هذا الحمام لمدة ساعة على الأقل، كما أن نقع القطعة الأثرية لفترة قصيرة لن يسبب أي مشكلة على الإطلاق، وهنا علينا أن نذكر أن المواد المذيبة قابلة للاشتعال، ولذا يجب تغطيتها على الدوام كما ينبغي إبعادها عن مصادر الاحتراق. ويمكن استخدام المواد المذيبة عدة مرات وذلك عند حفظ سائل النقع الأخير ليستخدم مرة أخرى مع مادة مذيبة لم يتم استخدامها مسبقاً.

### منهجية استخدام مادة حافظة

#### Protectant Application—Methodology

يمكن تغطية سبائك النحاس ببلورات شمعية متناهية في الصغر تشبه تلك المستخدمة مع القطع الأثرية الحديدية، حيث تتم إذابة الشمع ثم توضع القطعة الأثرية داخله لمدة ساعتين وذلك بعد انتهاء فترة فورانه، وهنا يجب ضبط درجة حرارة الموقد بحيث تصبح منخفضة، كما ينبغي تبريد الشمع بعض الشيء قبل إخراج القطعة الأثرية

منه لتبدأ مرحلة تبريد القطعة أثناء تساقط قطرات الشمع منها، أما بالنسبة للشمع الزائد فيمكن تلميسه أو إزالته بواسطة سكين.

يمكن أيضاً تغطية القطع الأثرية المصنوعة من سبائك النحاس بمادة الإنكرالاك (Incralac)، وهي مادة تشبه مادة اللك المصفي (shellac)، إلا أنها تحتوي على مادة البنزوتريازول (benzotriazole "BTA")، ولاهد من التنويه هنا إلى أن مادة البنزوتريازول تتحد كيميائياً مع سبائك النحاس بحيث يستحيل اختزالها، وبالرجوع إلى النشرات الخاصة ببيانات سلامة المواد فقد ثبت أن مادة البنزوتريازول مادة مسرطنة لذا يجب أن يقتصر استخدامها على الأماكن التي تتمتع بتهوية جيدة، أو في الأماكن المفتوحة، كما يجب على فنيي الترميم الذين يستخدمون مادة الإنكرالاك حماية أنفسهم وذلك بارتداء قفازات وكمامات خاصة أثناء التعامل مع هذه المادة.

### خاتمة

### Conclusion

إن طبيعة النحاس وسبائكه التي تساعد على تحمل مختلف الظروف تجعل من عملية الترميم عملية قليلة المشكلات؛ لأنه يمكن للقطع الأثرية المصنوعة من سبائك النحاس سواء أكانت من النحاس الأصفر أو البرونز أن تتحمل مختلف الظروف، وأن تتحدى عوامل الزمن، حيث يمكن لهذه القطع أن تحتفظ بشكلها أثناء تخزينها كقطع أثرية، وفي حال اختزال نواتج التآكل الموجودة فوقها لتتوضع ك معدن صاف فوق القطعة الأثرية يمكن لهذه القطع أن تظهر أدق المعالم والسمات، التي كانت تظهر عليها حينما كانت تستخدم بشكل فعلي في غابر الزمان، إلا أنه لا يمكن الكشف عن هذه التفاصيل الدقيقة إلا عند حماية القطعة الأثرية وصيانتها ابتداء من لحظة تحديد مكانها في الموقع الأثري وحتى ما بعد وصولها إلى أمكنة التخزين النهائي.

## المراجع

- American Copper and Brass*. New York: Bonanza Books, 1968.
- Alsop, Joseph. "Warriors from a Watery Grave." *National Geographic* 163 (1983): 820-827. [ECU-271]
- Angelucci, S., P. Fiorentino, J. Kosinkova, and M. Marabelli. "Pitting Corrosion in Copper and Copper Alloys: Comparative Treatment Tests." *Studies in Conservation* 23 (1978): 147-156. [ECU-127]
- Anon. "Navy Board's Report to the Admiralty on the First Coppering Experiment—31 August, 1763." *American Neptune* 1 (1941): 304-306. [ECU-116]
- Bangkok National Museum. *Bronze Disease and its Treatment*. Bangkok: Department of Fine Arts, Bangkok Museum, 1975.
- Barclay, B. "Basic Care of Coins and Metals." *CCI Notes* (Canadian Conservation Institute) 9/4 (1991). [ECU-355]
- Barker, Richard. "Bronze Cannon Founders: Comments upon Gilmartin 1974, 1982." *International Journal of Nautical Archaeology* 12 (1978): 23-27. [ECU-242]
- Bianchi, G. and P. Longhi. "Copper in Sea Water: Potential pH Diagrams." *Corrosion Science* 13 (1973): 853-864. [ECU-219]
- CCI Laboratory Staff. "The Cleaning, Polishing, and Protective Waxing of Brass and Copper." *CCI Notes* (Canadian Conservation Institute) 9/3 (1988). [ECU-467]
- CCI Laboratory Staff. "Basic Care of Coins and Metals." *CCI Notes* (Canadian Conservation Institute) 9/4 (1989). [ECU-466]
- CCI Laboratory Staff. "Silver—Care and Tarnish Removal." *CCI Notes* (Canadian Conservation Institute) 9/7 (1993). [ECU-473]
- Cohen, A. "Copper Alloys in Marine Environments." (1975 Liberty Bell Corrosion Symposium) (1973).
- . "The Corrosion of Copper-Nickel Alloys in Sulfide-Polluted Seawater: The Effect of Sulfide Concentration." *Corrosion Science* Vol. 34 No. 1, pp. 163-177. [ECU-677]
- Cotton, J.B. "Control of Surface Reactions on Copper by Means of Organic Reagents." *Proceedings* (Second International Congress on Metallic Corrosion, New York) (1963): 590-596.
- Cottrell, L.H. "An Introduction to Metallurgy: Copper and Its Alloys." *Retrieval of Objects from Archaeological Sites*. Archetype Publications, London. [ECU-568]
- Drayman-Weisser, Terry. "A Perspective on the History of the Conservation of Archaeological Copper Alloys in the United States." *Journal of the American Institute for Conservation* Vol. 33 No. 2, 1994. [ECU-678]
- Dugdale, I., and J.B. Cotton. "An Electrochemical Investigation on the Prevention of Staining of Copper by Benzotriazole." *Corrosion Science* 3 (1963): 69-74. [ECU-187]

- Duncan, S., and H. Ganiaris, "Some Sulphide Corrosion Products on Copper Alloys and Lead Alloys from London Waterfront Sites." *Recent Advances in the Conservation and Analysis of Artifacts* J. Black, ed. (Institute of Archaeology Summer Schools Press, London) (1987): 109-118.
- Faltermeier, Robert B. "A Corrosion Inhibitor Test for Copper-Based Artifacts." *Studies in Conservation* Vol. 44 No. 2, 1999, pp. 121-128. [ECU-679]
- Fox, Georgia L. "A note on the use of alkaline dithionite for treating ancient bronze artifacts." *Studies in Conservation* Vol. 40 No. 2, 1995, pp. 139-142. [ECU-680]
- Fuller, Charles. *The Art of Coppersmithing*. New York: David Williams, 1894.
- Furer, J., M. Lambertin, and I.C. Colson. "Morphological and Kinetic Study of Copper Corrosion when Covered with Digenite Sulphide Layers, in Sulphur, under Covvelite Formation Conditions." *Corrosion Science* 17 (1977): 625-632. [ECU-496]
- Ganorkar, M.C., V. Pandet Rae, P. Gayaltri, and T.A. Sreenivasa-Rae. "A Novel Method for the Conservation of Copper-Based Artifacts." *Studies in Conservation* 33 (1988): 97-101. [ECU-385]
- Giuliani, L. and G. Bombara. "An Electrochemical Study of Copper Alloys in Chloride Solutions." *British Corrosion Journal* 5 (1970): 179-183. [ECU-139]
- Hamilton, Donny L. *Basic Methods of Conserving Underwater Archaeological Material Culture*. Washington, D.C.: U.S. Department of Defense Legacy Resource Management Program, January 1996. [ECU-610]
- Huda, Khatibul. "A note on the efficacy of ethylenediaminetetra-acetic acid disodium salt as a stripping agent for corrosion products of copper." *Studies in Conservation* Vol. 47 No. 3, 2002, pp. 211-216. [ECU-681]
- Joseph, G., and M.T. Arce. "Contribution to the Study of Brass Dezincification." *Corrosion Science* 7 (1967): 597-605. [ECU-137]
- Keith, Donald HandWorth Carlin. "A bronze cannon from LaBelle, 1686: its construction, conservation, and display." *International Journal of Nautical Archaeology* Vol. 26 No. 2, 1997, pp. 144-158. [ECU-682]
- . "A Laboratory Study of Corrosion Reaction on Statue Bronze." *Corrosion Science* Vol. 34 No. 7, pp. 1083-1097. [ECU-683]
- LaFontaine, Raymond H. "The Use of a Stabilizing Wax to Protect Brass and Bronze Artifacts." *Journal of the IIC-CG* 4:2 (1980).
- Little, Arthur D., Inc. "Protective Coating for Copper Metals." (International Copper Research Association, Inc., Report No. 97) (1972).
- MacLeod, Donald Ian. "Bronze Disease: An Electrochemical Explanation." *ICOM Bulletin* 1 (1981): 16-26.
- . "Formation of Marine Concretions on Copper and Its Alloys." *International Journal of Nautical Archaeology* 11:4 (1982): 267-275. [ECU-243]
- . "Conservation of Corroded Copper Alloys: A Comparison of New and Traditional Methods for Removing Chloride Ions." *Studies in Conservation* 33 (1987): 25-40. [ECU-191]

- , "Stabilization of Corroded Copper Alloys: A Study of Corrosion and Desalination Mechanisms." *ICOM* (Committee for Conservation, Sydney) (1987).
- MacLeod, Ian Donald and R.J. Taylor. "Corrosion of Bronzes on Shipwrecks—A Comparison of Corrosion Rates Deduced from Shipwreck Material and from Electrochemical Methods." *Corrosion* 41:2 (1985): 100–104.
- Madsen, H. Brinch. "A Preliminary Note on the Use of Benzotriazole for Stabilizing Bronze Objects." *Studies in Conservation* 12 (1967): 163–166.
- , "Further Remarks on the Use of Benzotriazole for Stabilizing Bronze Objects." *Studies in Conservation* 16 (1971): 120–122.
- Mcneil, Michael B. and Brenda J. Little. "Corrosion Mechanisms for Copper and Silver Objects in Near-Surface Environments." *Journal of the American Institute for Conservation* Vol. 31 No. 3, 1992. [ECU-684]
- Merk, Linda A. "A Study of Reagents used in the Stripping of Bronzes." *Studies in Conservation* 23 (1978): 15–22. [ECU-184]
- Mor, E.D. and A.M. Beccaria. "Behavior of Copper in Artificial Seawater Containing Sulphides." *British Corrosion Journal* 10 (1975): 33–38.
- , "Effects of Hydrostatic Pressure on the Corrosion of Copper in Water." *British Corrosion Journal* 13:3 (1978): 142–146. [ECU-140]
- , "Effects of Temperature on the Corrosion of Copper in Seawater at Different Hydrostatic Pressures." *Werkstoffe und Korrosion* 30 (1979): 554–558.
- Nord, Anders G., Karin Lindahl, and Kate Trønner. "A note of spionkopite as a corrosion product on a marine copper find." *Studies in Conservation* Vol. 38 No. 2, 1993, pp. 92–98. [ECU-685]
- North, N.A. and Colin Pearson. "Investigations Into Methods for Conserving Iron Relics from Marine Sites." *Contributions to the 1975 Stockholm Conference, IIC London, 1976: 173–182. [ECU-573, 606]*
- Pearson, Colin, ed. *Conservation of Marine Archaeological Objects*. London: Butterworths Series in Conservation and Museology, 1987. [ECU-6]
- Richey, W.D. "The Interaction of Benzotriazole with Copper Compounds." (ICOM Committee for Conservation, Madrid) (1972).
- Scott, David A. "Ancient Bronzes Modern Science." *Chemistry in Britain* Vol. 31 No. 8, 1995, pp. 627–630. [ECU686]
- , "An Examination of the Patina and Corrosion Morphology of Some Roman Bronzes." *Journal of the American Institute for Conservation* Vol. 33 No. 1, 1994. [ECU-686]
- Schussler, A. and H.E. Exner. "The Corrosion of Nickel-Aluminum Bronzes in Seawater I—Protective Layer Formation and the Passivation Mechanism." *Corrosion Science* Vol. 34 No. 11, 1993. [ECU-704]
- Schussler, A. and H.E. Exner. "The Corrosion of Nickel-Aluminum Bronzes in Seawater II—The Corrosion Mechanism in the Presence of Sulfide Pollution." *Corrosion Science* Vol. 34 No. 11, 1993. [ECU-705]

- Sharma, V.C. and B.V. Kharbade. "Sodium Tripolyphosphate—a safe sequestering agent for the treatment of excavated copper objects." *Studies in Conservation* Vol. 39 No. 1, 1994, pp. 39–44. [ECU-687]
- Sharma, V.C., Uma Shankar Lal, and M.V. Nair. "Zinc Dust Treatment—an Effective Method for the Control of Bronze Disease on Excavated Objects." *Studies in Conservation* Vol. 40 No. 2, 1995, pp.110–119. [ECU-688]

Objeikandi.com