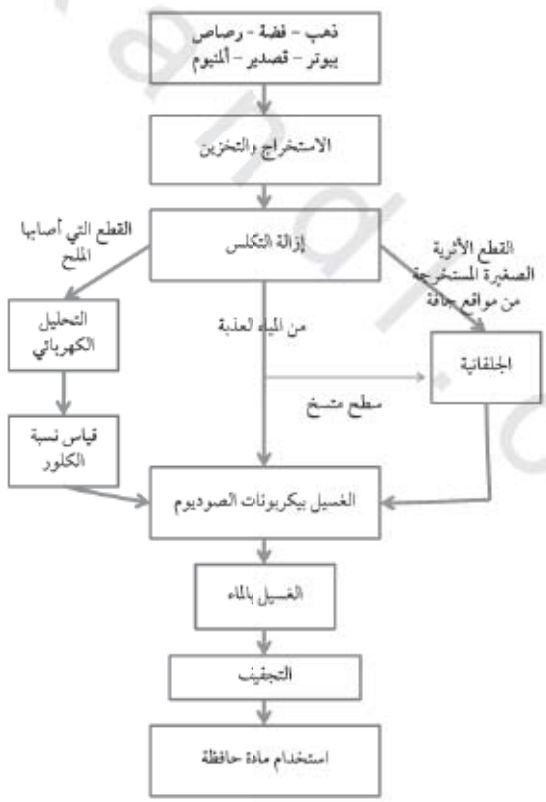
الفصل الخامس

معادن أثرية متنوعة
Miscellaneous Archaeological Metals

الذهب، الفضة، الرصاص، البيوتر، القصدير، الألمنيوم

Au, Ag, Pb, Pewter, Sn, Al



الشكل (٣٠). رسم بياني يوضح معالجة معادن أثرية متفرقة.

طرق معالجة معادن وسبائك متنوعة

كما وردت في النصوص المكتوبة حول عملية الترميم

اختزال الكبريتيد القلوي..... عوامل سامة

ثنائي كبريتيت الصوديوم القلوي.....عوامل سامة

نشادر (سائل).....عوامل سامة

كبريتات الأمونيوم ($(NH_4)_2SO_4$- Mascagnite).....عوامل سامة

كبريتات أمونيوم النشادر.....عوامل سامة

حمض رباعي خلات الديامين إيثيلين.....للمعالجة السطحية

الاختزال بمادة قابلة للانحلال بالكهرباء

كثافة تيار عالية

كثافة تيار متوسطة

كثافة تيار منخفضة

أمبير منخفض/ انحلال كهربائي خفيف..... ينصح به

أمبير عالي/ انحلال كهربائي خفيف..... ينصح به

الغلاف الجلفاني (التنظيف الكهروكيماوي).....ينصح به

حمض الفوسفوريك.....للمعالجة السطحية

التنظيف الميكانيكي للسطح.....للمعالجة السطحية

حمض أورثوفوسفوريك.....للمعالجة السطحية

عوامل العزل.....للمعالجة السطحية

الغسل بمادة كربونات الصوديوم..... عملية بطيئة تعيقها حالة التآكل

حوامض التقشير.....للمعالجة السطحية

حمض الأوكساليك

حامض الجليكوليك الكبريتي

المواد الحمضية..... لإزالة التكلس

مودالين

بايوكس

الشكل (٣١). خلاصة طرق معالجة معادن أثرية متفرقة.

oberikan.com

نظرية المعادن المتنوعة

Miscellaneous Metals—Theory

يتمتع كل معدن من هذه المعادن، أي الذهب والفضة والرصاص والبيوتر والقصدير والألمنيوم، بتاريخه وشكله الخاص فضلاً عن خواصه الفيزيائية والكيميائية التي تميزه عن غيره، فمن بين سلسلة المعادن التي ذكرناها لا يوجد سوى معدن واحد يتكون من خليط من المعادن وليس من معدن صاف وذلك هو معدن البيوتر، ولكن أهميته التاريخية والأثرية تجعله يستحق مكانة في البحث المكرس للعناصر الصافية. ولكي نكون منصفين، لابد لنا أن نخصص فصلاً كاملاً لكل معدن من هذه المعادن بمفرده، ولكن بما أن هدفنا من خلال هذا الكتاب هو المحافظة على تسلسل الأفكار وترتيبها بشكل منطقي يساعد القارئ على الوصول إلى المعلومة بسرعة فقد آثرنا أن نتحدث عن هذه المعادن جملة واحدة في هذا الفصل.

عملياً، يمكننا القول إنه من النادر العثور على معظم هذه المعادن من المواقع الأثرية باستثناء الرصاص، فقد قضى البشر فترات زمنية طويلة في البحث عن الذهب والفضة واستخراجهما، وعلى الرغم من أن هذين المعدنين النفيسين بطيئا التحلل، ولذلك يمكنهما أن يظلا لفترات طويلة داخل غرف تخزين القطع الأثرية، إلاّ أن بني البشر صبّوا جلّ اهتمامهم عليهما. وبالمقابل، يتعرض القصدير للتآكل ليعود مجدداً إلى أشكاله المتعدنة بسهولة متناهية، في حين تم إدخال الألمنيوم إلى غرف التخزين الأثرية في وقت متأخر (مع نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين)؛ وذلك لأنه يمكننا أن نتلمس تأثيراته الكبيرة في المجال المحدث لعلم الآثار المتخصص بالطائرات.

وبما أن جميع هذه العناصر تنضوي تحت فئة المعادن لذا فإنها تشترك بعدة صفات، فجميع المعادن تتعرض للتآكل ولا يمكننا أن نستثني هذه المجموعة من حالة التآكل تلك، ولقد رأينا في الفصلين السابقين اللذين تحدثنا فيهما عن الحديد والنحاس

بأن التآكل الذي يصيب المعادن هو عبارة عن عملية تأكسد تصيب المعدن لتنقله إلى حالة أكثر استقراراً وثباتاً، وتأتي هذه الحالة عادة على شكل صيغة معدنية متأكسدة أو تغلب عليها الكبريتات تشبه كثيراً الفلز الخام الذي تمت تنقية المعدن منه هذا إن لم تكن مطابقة له، كما رأينا أيضاً أن عملية التآكل الجلفاني التي تحدث بين معدنين مختلفين عند حدوث تماس كهربائي بينهما ما هي إلاّ عملية يقوم بموجبها المعدن الذي يكون احتمال تآكله ضئيلاً بمنح إلكتروناته للمعدن الذي يكون عرضة للتآكل بنسبة أكبر. وتعدّ بعض المعادن الموجودة في هذه المجموعة كالذهب والفضة من المعادن النفيسة التي تكون عموماً محمية أثناء ربطها بطريقة جلفانية بأي معدن آخر، إذن سنقوم في هذا الفصل بالحديث عن هذه المعادن كل على حدة، غير أن التفاصيل الدقيقة التي تطرقنا إليها أثناء الحديث عن اللقى الأثرية الحديدية أو النحاسية التي تعدّ من المعادن الأكثر شيوعاً لن تكون موجودة في هذا الفصل.

الذهب (Au)

Gold (Au)

الذهب معدن نادر وثقيل ويعدّ من المعادن التي تتمتع بحالة من الاستقرار والثبات، فهو يتمتع بالليونة والثقل مما يجعله قابلاً للسحب والطرق، ويمكن أن نجده في المواقع الأثرية على شكل حلي مصنوعة، أو مطلية بالذهب الخالص، أو على شكل قطع نقدية، أو سبائك صلبة، واللافت للنظر أن هذه القطع الأثرية لا تتأثر نتيجة طمرها في التربة، أو غمرها في المياه لفترة طويلة، إذ لا تظهر عليها سوى طبقة سطحية رقيقة تبين كيف تعرضت هذه القطع للتأكسد بنسبة ضئيلة، كما أنها لم تفقد بريقها، ويمكن العثور على الذهب بشكله الصافي نسبياً كما هي حال النحاس، كما لا يحتوي الذهب على عناصر سامة تسهم في قتل الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش حوله، وهو

في ذلك لا يشبه معظم المعادن الثقيلة كالنحاس والرصاص والزرنيخ (arsenic) والكادميوم (cadmium) وغيرها. وبما أنه لا يمكن للذهب أن يكون عرضة للتآكل فإننا لن نجد فوق أي قطعة ذهبية سوى القليل من التكلسات، وبهذا يحافظ الذهب على شكله ومظهره داخل المواقع الأثرية على الرغم من ندرة وجوده كما أسلفنا.

الفضة (Ag)

Silver (Ag)

تعد الفضة من أنفس المعادن وأكثرها قابلية للطرق، حيث يمكن تحويلها إلى حليٍّ وقطع نقدية وألواح للسبائك وغيرها من قطع الزينة، مثل: الشمعدانات وقطع الحليّ المسطحة. وبخلاف المعادن الثقيلة فإن الفضة والذهب لا يحتويان على عناصر سامة كما أن المخلفات الناتجة عن حالة التآكل التي قد تصيبهما لا تشكل طبقة سطحية عازلة للكهرباء، سواء على اليابسة أو تحت سطح الماء، بيد أن الفضة تتأثر جداً بالأيونات السالبة التي تخترقها ونادراً ما يتم العثور عليها وهي بحالة جيدة، وخصوصاً حينما تكون في الماء؛ وذلك لوجود كمية كبيرة من أيونات الكلور السالبة عادةً في الوسط المائي.

وتحتوي الفضة دوماً على نسبة عالية من النحاس مما يساعد على تحويل تكلسات الفضة إلى طبقة عازلة جزئياً، ويعمل ذلك على حماية القطعة الأثرية الموجودة داخل تلك التكلسات، أما القطع الأثرية المصنوعة من الفضة، التي تم استخراجها من المواقع الأثرية الجافة، فتتمتع عادةً بحالة جيدة على الرغم من تعلق بعض الاتساخات بها، ومع ذلك تبقى التكلسات التي تغطيها قليلة.

وبالنسبة لتكلسات الفضة التي نشأت نتيجة توافر الأوكسجين في المواقع البحرية (AgCl سيرارجيرايت كلور الفضة cerargyrite silver chloride)، فتأتي عادة إما بلون

رمادي داكن أو أسود، ويمكن أن تشوبها مسحة من اللون الأخضر؛ نتيجة لوجود التكلسات الناتجة عن تآكل النحاس الموجود في القطعة الفضية. أما تكلسات الفضة الرمادية التي نشأت في قاع البحار، حيث ينعدم وجود الأوكسجين (كبريتيد الفضة Ag_2S أرجنتيد "argentitie"، أكاناثيت "acanthite"، وكلور الفضة/البروميد " silver chloride/bromide") فمن الغريب أن تأتي بلون أفتح من لون التكلسات التي تشكلت في بيئة يتوافر فيها الأوكسجين (Pearson, 1987: 92)، حيث يأتي النسيج السطحي لهذه التكلسات على شكل نسيج رمادي اللون وخشن الملمس، ولكن عند تقسيم القطعة الأثرية تظهر الطبقات المتكلسة بألوان متعددة، حيث يمكن لأي قطعة نقدية مصنوعة من الفضة ومؤلفة من عدة طبقات أن تكشف عن الجزء الداخلي للفضة المعدنية، المحاط بكبريتيد الفضة الرمادية، وفوق هذه الطبقة تأتي طبقة كلور الفضة الداكنة، وتعدّ هذه الطبقة الأخيرة السطح الأصلي للقطعة النقدية، وهي تشتمل على كافة التفاصيل التي تتعلق بكيفية ضرب هذه العملة النقدية، ولهذا يجب صيانة هذه القطعة عوضاً عن تنظيف القطعة الأثرية وصولاً إلى الجزء الداخلي من الفضة، ثم تأتي بعد هاتين الطبقتين طبقة خارجية خشنة من كبريتيد الفضة الرمادية، وتكون هذه الطبقة قد تشكلت حينما كانت القطعة النقدية تتعرض للتآكل نتيجة انعدام الأوكسجين في قاع البحر.

ولقد أثبتت التجارب ضرورة عدم ترك القطع الفضية، التي تم استخراجها إلى أن تجف من تلقاء نفسها؛ لأن ذلك من شأنه أن يؤدي إلى التصاق الطبقة المتكلسة الخارجية بقوة بالطبقة السطحية الأصلية للقطعة الأثرية، مما يمكن أن يتسبب بإتلاف السطح الأثري للقطعة عند إزالة التكلسات الموجودة عليها.

الشكل (٣٢). ولاعة مطلية بالفضة من صنع شركة والس وأولاده وقد ظهرت عليها النقوش بعد إجراء عملية الترميم.

تصوير: كريس فالفانو

الرصاص (Pb)
Lead (Pb)

يعدّ الرصاص من المعادن الثقيلة التي يمكن تصنيعها بسهولة، وهو ذو نقطة انصهار منخفضة جداً. ويخلط الرصاص مع نسبة أقل من القصدير (حتى ٣٠٪) يمكن الحصول على سبيكة لحام، كما يستخدم الرصاص الصافي في صناعة الأنابيب، وبعض لوازم السفن، مثل: اللصاقات، وموانع الانزلاق، وخطوط التصريف، والأنابيب المخصصة لحمل حبال السفن، كما يستخدم الرصاص لصناعة الطلقات، وقطع النرد، والأثقال التي توضع بشبكات الصيد إلى جانب الكثير من الأشياء الأخرى، كما استخدمت صفائح الرصاص في قديم الزمان لتغليف السفن؛ وذلك لمنع ظهور الثقوب على السفن التي كانت تصنع من الخشب.

وعموماً فإن الرصاص يأتي دوماً بحالة جيدة سواء تم استخراجه من مواقع برية أو بحرية ؛ لأن الرصاص عندما يتآكل بفعل الأوكسجين يقوم بتشكيل طبقة خارجية من كبريتات الرصاص ($PbSO_4$– أنجليزايت "Anglesite")، وتكون هذه الطبقة عازلة للكهرباء، إلاّ أن الرصاص يتآكل بصورة أسرع في المناطق التي ينعدم فيها الأوكسجين، كما أنه يحتوي على كميات كبيرة من أيونات الكبريتيد بعد تعدينه (PbS– كبريتيد الرصاص "Galena").

الشكل (٣٣). قطعة رصاصية من قطع ألعاب القمار أثناء عملية صيانتها بطريقة الغلاف الجلفاني التي يمكن بواسطتها التخلص من جميع التكلسات بشكل نهائي.

تصوير: كريس فالفانو

البيوتر
Pewter

عُرف البيوتر تاريخياً على أنه خليط من القصدير إلى جانب كميات متنوعة من الأنتيمون (antimony) والنحاس والرصاص، وتُظهِر بعض القطع الأثرية المصنوعة من البيوتر قبل القرن الثامن عشر نسبة من الرصاص تفوق ٥٠٪، ولقد شاع استخدام هذا المعدن لصناعة أواني المطبخ خلال الفترة التي تلت العصور الوسطى، حيث تشمل الأدوات التي كانت تصنع منه الأطباق والأكواز والأواني الأخرى، ومع حلول

منتصف القرن الثامن عشر أدى اكتشاف عيوب البيوتر من الناحية الصحية لاحتوائه على نسبة عالية من الرصاص إضافة إلى افتقاره إلى اللمعان، إلى شيوع معدن بريتانيا (Britannia) وهو شكل من أشكال البيوتر خالٍ من الرصاص ويتألف من القصدير والأنتيمون والنحاس فقط.

يمكن العثور على معدن البيوتر بحالة جيدة سواء أكان مستخرجاً من مواقع برية أو من في الماء، بيد أن نسبة القصدير العالية فيه تجعله معدناً مرشحاً لحالة التآكل الجلفاني الانتقائية، وذلك عند تواجده في معظم المواقع الأثرية، التي تقع تحت سطح الماء، تماماً كما هي الحال عند خسارة الزنك أو القصدير في خلائط النحاس، فانخفاض قابلية القصدير للتآكل تسمح له بمنح إلكتروناته على الفور إلى المعادن التي تخالطه مما يتيح لأيونات القصدير حرية الحركة للخروج من تكلسات القصدير غير الخاملة. وهكذا، يمكن منطقياً للقصدير الذي يحتوي على نسبة عالية من الرصاص ألاّ يكون عرضة للانحباس داخل كبريتيت الرصاص؛ لأن هذه المادة تبدي شيئاً من المقاومة الكهربائية للتكلسات، كما قد يبدي كل من الأنتيمون والنحاس نوعاً من المقاومة لحالة التآكل التي تصيب خلائط البيوتر، ولكن لا بد من معالجة معظم أنواع معدن البيوتر على أنها أنواع رقيقة وهشة نتيجة تعرضها لحالة التآكل الجفاني الانتقائية.

وتتشكل تكلسات البيوتر من ستانوس (stannous) أكسيد القصدير بشكل رئيسي، ولهذا لا بد وأن نترك تلك التكلسات في مكانها لتفادي وقوع أي ضرر للقطعة الأثرية الهشة، حيث تعمل طريقة الاختزال بطريقة التحليل الكهربائي على تقشير الطبقة المتكلسة، إلاّ أنه لم يتضح بعد ما إذا كانت هذه الطريقة ستقوم باختزال القصدير إلى حالته المعدنية.

القصدير (Sn)

Tin (Sn)

يمكن للقصدير أن يبقى بحالة جيدة عندما يكون مطموراً داخل مواقع أثرية جافة، ولا ينطبق الشيء ذاته على القطع الأثرية المستخرجة من قاع البحر، إذ إنه حتى القوالب الكبيرة المستخدمة لصب المعادن يمكن أن تتآكل عند وجودها في قاع البحر مع مرور الزمن تاركةً طبقة متكلسة خشنة الملمس، شكلها العام كشكل القطعة الأثرية الأصلية. وتتكون هذه التكلسات التي تشكلت بفعل أكسيد القصدير من نسيج رمادي قابل للتفتت بسهولة. يعدّ القصدير أكثر عرضة للتآكل من النحاس، وغالباً ما نجد أنه يتآكل بسرعة أكبر من البرونز والبيوتر، في القطع التي تحوي هذه العناصر معاً، إلاّ أنه أقل عرضة للتآكل من الحديد، وهذا ما يجعل منه المعدن الأمثل لتغطية الحديد والفولاذ في مصانع التعليب، وقد كانت علب الصفيح تصنع في القرن التاسع عشر من خلائط الحديد الذي تتم تغطيته بالقصدير على كلا الجانبين، ثم أصبحت تصنع من خلائط الفولاذ، والتي أيضاً كانت تغلف بالقصدير. وبما أن القصدير يكون أقل عرضةً لحالة التآكل الجلفاني نتيجة إطلاق الحديد للإلكترونات فإن هذا يجعله المادة الواقية المثالية للاستخدام، كبطانة للعلب المعدنية بكلفة قليلة ونتائج مذهلة، حيث تقوم مادة التغطية المصنوعة من القصدير غير القابل للتآكل بمنع تماس الحديد والأطعمة، وكذلك يقي هذا المعدن الحديد من التعرض للأحماض الموجودة في بعض المأكولات المحفوظة داخل العلب، وقد كانت علب القصدير (وكذلك الدلاء المعدنية) في القرن التاسع عشر تلحم في نقطة الوصل بواسطة لحام يتكون من خليط من الرصاص والقصدير.

فيما يلي جدول يضم أهم المعادن الأثرية المستخرجة وأكثرها شيوعاً مرتبة وفق نسبة تعرضها للتآكل ارتفاعاً أو انخفاضاً، وعندما تكون القطعة الأثرية المصنوعة من معدن من المعادن المذكورة في هذا الجدول على اتصال مباشر مع قطعة أثرية مصنوعة من معدن

يسبقه في الترتيب فإنه سيقوم بمنح إلكتروناته ومن ثم سيتعرض للتآكل، في حين أنه عندما تكون أي قطعة أثرية مصنوعة من أحد المعادن الواردة في الجدول على اتصال مباشر مع معدن يأتي بعدها في الجدول، فهذا يعني بأن تلك القطعة ستحصل على الإلكترونات من المعدن الذي تقدمت عليه في الترتيب وبذلك ستتعرض لعملية الاختزال.

جدول للمعادن حسب حالة التآكل الجلفاني (المعادن الأنفس في أعلى العمود الأيسر).

الرصاص	الذهب
البيوتر (بنسبة رصاص ٥٠٪)	الفضة
الحديد المطاوع	النحاس
حديد الزهر	النيكل
حديد التماسيح	البرونز المنخفض
الفولاذ	البرونز العالي
الألمنيوم	النحاس الأصفر المنخفض
الزنك	النحاس الأصفر العالي
خلائط الماغنيسيوم	معدن المونتز
الماغنسيوم	القصدير

الألمنيوم (Al)

Aluminum (Al)

لم يتم إنتاج الألمنيوم لأغراض تجارية قبل عام ١٨٨٦م، ولهذا السبب لا نجد له ذكراً شائعاً في التحليلات الأثرية، وعلينا ألاّ نتوقع وجوده في المواقع الأثرية التي تعود إلى عصور سحيقة، إلاّ أن عملية صيانة الألمنيوم أصبحت أمراً شائعاً؛ وذلك في الفرع الحديث من علم الآثار الخاص بوسائل الطيران، فالوزن الخفيف لهذا المعدن جعله من أفضل المعادن لصناعة الطائرات والمناطيد.

وتحتوي سبائك الألمنيوم عادة على النحاس بنسبة قليلة حيث يقوم هذا المعدن بدور القطب السالب على سطح القطعة الأثرية مما يؤدي إلى انحلال بعض أجزاء الألمنيوم المحيطة بالسطح (Pearson, 1987: 247)، إلاّ أن أكسيد الألمنيوم يعدّ مادة خاملة كهربائياً بشكل عام، ولذلك يتمتع هذا المعدن بمقاومة كبيرة للتآكل سواء أكان موجوداً في البر أو في المياه العذبة، إلاّ أنه يمكن للقطع الأثرية المصنوعة من الألمنيوم والمستخرجة من المياه المالحة أن تكون قد تعرضت إلى قدرٍ كبير من التآكل كما ستظهر عليها آثار تسرب أيونات الكلور ولكن بدرجة أقل مما هي عليه حال بقية المعادن (Pearson, 1987: 247).

نادراً ما تظهر التكلسات على سطح الألمنيوم، على الرغم من أن بعض سبائك الألمنيوم والمغنيسيوم (magnesium) تتمتع بصلابة تساعدها على إظهار تكلسات كربونات الكالسيوم، وعلى ما يبدو فإنه يمكن إزاحة أكاسيد الألمنيوم بسهولة من الأنواع القياسية للألمنيوم، وذلك ضمن الأوساط التي تتمتع بطاقة عالية، ويمكن لعملية التآكل أن تتسارع في حال لم تتمكن الأكاسيد الخاملة من حماية المعدن الذي يقع تحتها، كما أنه من الصعب على الأحياء الدقيقة أن تتعلق بسطح القطعة الأثرية المكشوف الذي تشكل للتو، كما تنعدم التكلسات التي من شأنها أن تحمي معدن الألمنيوم، وهذه العوامل جميعاً تؤدي إلى تآكل الألمنيوم على نطاق واسع ضمن البيئات التي تتمتع بنشاط عالٍ، وحينما يتم غسل سبائك الألمنيوم والماغنسيوم فإنها قد تفقد ما يقارب ٦٪ من وزنها؛ نتيجة لخسارة الملوثات والكلوريدات والمخلفات المتراكمة في الندوب، وتظهر الندوب عادةً على كامل القطع المصنوعة من سبائك النحاس والماغنسيوم، وليس هناك ما يثبت قدرة هذه السبائك على العودة لشكلها المعدني من جديد من خلال عملية التحليل الكهربائي.

منهجية الاستخراج والتخزين
Recovery and Storage—Methodology

كما هي الحال مع سائر المعادن الأخرى التي تحدثنا عنها، فإنه يمكننا أن نطبق التقنيات والأساليب القياسية الواردة في هذا الكتاب على القطع المستخرجة المصنوعة من الذهب، أو الفضة، أو الرصاص، أو القصدير، أو البيوتر، إذ ينبغي تغليف أي قطعة أثرية فور استخراجها برقاقة من الألمنيوم وغمرها في وعاء يحتوي على محلول تتراوح نسبة كربونات، أو بيكربونات الصوديوم فيه ما بين ٢-٥٪، كما ينبغي أن يصل المحلول إلى القطعة الأثرية الموجودة داخل رقاقة الألمنيوم كما هي الحال مع بقية المعادن المستخرجة الأخرى. بعد ذلك تبدأ الرقاقة بعملية الاختزال أثناء نقل القطع الأثرية أو تخزينها، أما بالنسبة للقطع الأثرية المستخرجة من مواقع تحتوي على مياه عذبة فتقتصر المعالجة على ما سبق وذلك لضمان استمرار حالة الثبات والاستقرار، ويتضح لنا مما سلف أن القطع الأثرية المصنوعة من الألمنيوم لا تحتاج إلى تغليف برقاقة من الألمنيوم؛ لأن هذه الرقاقة لن تقوم بعملية التزاوج الجلفاني مع القطعة الأثرية المصنوعة من الألمنيوم.

وينبغي عدم ترك التكلسات التي تتوضع فوق القطع الفضية لتجف من تلقاء نفسها؛ لأنه يمكن لسطح القطعة الأثرية أن يكون ملتصقاً بالطبقة المتكلسة وعندها سنفقد جزءاً من السطح خلال عملية الترميم. وكما هي حال الحديد مع النحاس فإنه لا يجوز حدوث أي تماس مباشر ما بين قطعتين مصنوعتين من معدنين مختلفين أثناء مرحلة التخزين (انظر الجدول الخاص بالمعادن حسب حالة التآكل الجلفاني لديها)، على الرغم من أنه يمكن التخفيف من وطأة هذه الحالة بواسطة الحماية التي تضمنها رقاقة الألمنيوم التي تغلف القطعة الأثرية.

أما بالنسبة للقطع الأثرية المستخرجة من المياه المالحة، أو تلك التي تشتمل على نواتج التآكل بالإضافة إلى التكلسات، فلا بد وأن تخضع لعملية الاختزال بواسطة التحليل الكهربائي، في حين أنه يمكن تجاوز هذه المرحلة مع القطع الأثرية المستخرجة من المياه العذبة، والتي تنقل مباشرة ليتم غسلها بمادة بيكربونات الصوديوم، وهكذا يمكن للقطع الأثرية المستخرجة من مواقع جافة، أو من المياه العذبة أن تصل إلى نتيجة مرضية عند المعالجة بواسطة الغلاف الجلفاني.

منهجية التحليل الكهربائي
Electrolysis—Methodology

يمكن تطبيق عملية الاختزال بطريقة التحليل الكهربائي للحديد مع سائر المعادن الأخرى، بشرط أن يكون الجزء الداخلي للمعدن بحالة سليمة، ليتم إجراء هذه العملية عليه، وتعدّ هذه المسألة من البديهيات؛ لأنه يمكن أن تتسبب هذه العملية بأضرار جسيمة في حال كون الجزء الداخلي من القطعة الأثرية غير سليم، إذ تعتمد هذه العملية على إزالة التكلسات التي تحيط بالقطعة الأثرية، ويمكن أن تخلف هذه العملية أضراراً بالغة إذا كان سطح القطعة الأثرية بحاجة إلى حفظ لكنه ليس بمعدن، كما هي حال القطع النقدية والحلي المصنوعة من الفضة، ولهذا السبب نقدم إليكم لمحة موجزة عن كيفية معالجة هذه المعادن بطريقة التحليل الكهربائي.

الذهب

لا يحتاج عادة إلى تحليله بالكهرباء، إذ يمكن لعملية التغليف الجلفاني أن تفي بالغرض وذلك عندما تقوم باختزال القطعة الأثرية على الوجه المطلوب.

الفضة

تقوم عملية التحليل الكهربائي بدور أساس مع القطع الأثرية الفضية، بيد أن الاستثناء الوحيد يتجلى في عملية اختزال القطع النقدية إلى أجزائها الداخلية المعدنية؛

لأن معظم القطع النقدية تأتي بسطح مكون من طبقة كلور الفضة ذات اللون الرمادي الداكن، أو الأسود وتتوضع هذه الطبقة داخل الطبقة المتكلسة، التي يمكن أن نفقدها أثناء إجراء عملية تحليل كهربائي شاملة تصل إلى أعمق جزء في القطعة الأثرية، وبذلك ستتقشر الطبقات الخارجية التي تحتوي على طبقة كلور الفضة، والتي تشتمل بدورها على الطبقة السطحية للعملة، بما فيها من تواريخ وعلامات خاصة بكيفية سك تلك القطعة النقدية. وعلى الرغم من وجود طرق خاصة يمكن اتباعها لتنظيف هذه القطع النقدية بلطف وإزالة ما يغطي سطحها الأثري (باستثناء الحالات التي تكون فيها الطبقة المتكلسة قد جفت)، إلاّ أنه ينبغي عدم اللجوء إلى هذه الطرق، أو حتى محاولة تطبيقها داخل أي مختبر أساسي، إذ ينبغي استدعاء خبير في حال وجود قطعة نقدية متعددة الطبقات.

وباستثناء الحالات التي ذكرناها، يمكن القيام بعملية الاختزال بطريقة التحليل الكهربائي مع القطع الفضية حسب الطريقة المذكورة مع الحديد والنحاس، والتي سنأتي على ذكرها مرة أخرى في نهاية هذا القسم.

الرصاص

لا توجد أية مشكلات مرتبطة بعملية اختزال الرصاص؛ لأن عملية التحليل الكهربائي تتم بصورة جيدة عند تطبيقها على هذا المعدن، حيث تعمل هذه الطريقة على إزالة معظم التكلسات ونواتج التآكل، كما لابد من استخدام أقطاب موجبة مصنوعة من الفولاذ القابل للطرق وذلك منعاً لتلويث المحلول الاختزال بأيونات الرصاص السامة.

البيوتر

يمكن اختزال معظم أنواع البيوتر من خلال عملية التحليل الكهربائي، أما اللوازم الخاصة بتلك العملية فتكاد تكون ذات الأشياء التي تستخدم مع الحديد والنحاس، باستثناء ضرورة استخدام أقطاب موجبة مصنوعة من القصدير، أو الفولاذ القابل للطرق.

القصدير

يمكن أن يكون القصدير المستخرج من مواقع جافة بحالة جيدة تساعده على الخضوع لعملية التحليل الكهربائي، أما القصدير المستخرج من تحت سطح الماء فيمكن أن يكون قد تعرض للتآكل بدرجة كبيرة مما يعيق قدرته على تكوين أرضية ثابتة تساعده على حمل الأجزاء الداخلية للقطعة الأثرية، وفي هذه الحالة يمكن للقطعة الأثرية أن تتكسر وتتحول إلى رواسب طينية تترسب في قاع حوض التحليل الكهربائي، ولابد من استدعاء خبير في حال وجود أي تساؤل حول سلامة المعدن بشكل عام.

الألمنيوم

تعدّ عملية غسل الألمنيوم بطريقة التحليل الكهربائي مسألة إشكالية؛ وذلك لوجود كميات كبيرة من أيونات الكلور السالبة التي تعمل على تلويث القطعة، ويمكن تطبيق هذه العملية بنجاح مع القطع الأثرية المستخرجة من مواقع جافة، أما عملية التحليل الكهربائي التي تتم مع القطع الأثرية المستخرجة من قاع البحار فقد نتج عنها الكثير من حالات التآكل، التي انتهت بندوب وأخاديد، إذ إن هذا النوع من التآكل يحدث للقطع الأثرية ويستمر بشكل غير ظاهري إلى أن يتم الكشف عنه عبر التحليل الكهربائي، وهنا يجب عدم إخضاع القطع الأثرية المصنوعة من الألمنيوم، التي تعرضت للتلوث إلى حدٍ كبيرٍ بفعل الكلور لعملية التحليل الكهربائي. وقد أصبحت تتبع مؤخراً طرقًا كيماوية للغسل كتلك التي تستخدم فيها غسلات قلوية متنوعة، وبهذا توفر بديلاً أفضل من عملية التحليل الكهربائي للألمنيوم.

وتتم عملية الاختزال بواسطة التحليل الكهربائي لهذه المعادن باستخدام قوة تيار كهربائي ضعيفة كتلك التي تستخدم مع الحديد، كما يمكن استخدام أقطاب موجبة من الفولاذ القابل للطرق مع جميع المعادن آنفة الذكر، وهنا لابد أن نذكر القارئ أن طبقة من أكسيد الحديد الأسود ستكسو السطح الخارجي للقطع الأثرية،

ولذا لابد من دعكها فيما بعد للتخلص من بقايا هذه المادة السوداء باستخدام معجون من صودا الخبز يوضع على فرشاة مصنوعة من النايلون. وتعدّ تلك البقايا السوداء أمراً غير مألوف وخاصة للألمنيوم والفضة، ولهذا يمكن لفني الترميم أن ينفق جلّ وقته وجهده في تحديد أماكن الأقطاب الموجبة للمادة ذاتها التي صنعت منها القطعة الأثرية. وللتخلص من سوائل التحليل الكهربائي الخاصة بالمعادن الثقيلة، لا بد من تركها إلى أن تتبخر ومن ثم يتم التعامل مع مخلفاتها بطريقة مناسبة، وتجدر الإشارة هنا إلى أن معظم مستلزمات عملية التحليل الكهربائي تكون معيبة؛ وذلك لأن التوصيلات لا تسمح بمرور دارة متواصلة، وتبين لنا التجارب أنه ينبغي الامتناع عن إعداد أية توصيلات ما لم يكن هناك تماس مباشر بين معدن صقيل، مجرد موجود على سطح القطعة الأثرية إلى جانب الأقطاب الموجبة، وبين روابط المشبك المسنن، وهنا يجب استعمال الجهاز ذي العدادات، الذي يستخدمه الكهربائي لقياس المقاومة؛ لاختبار جميع المسارات والتوصيلات الكهربائية قبل إضافة سائل التحليل الكهربائي، قبل تعريض القطعة الأثرية لأي تيار كهربائي.

ويعدّ السائل الذي يحتوي على مادة كربونات الصوديوم من أجود سوائل التحليل الكهربائي، التي لا تحتوي على مواد سامة، ويمكن استخدامه مع مختلف أنواع المعادن؛ لأن نسبة كربونات الصوديوم داخل المحلول، التي تتراوح ما بين ٠,٢٥-٠,٥٪، تعمل على ضبط قوة التيار الكهربائي الصادر عن مصدر طاقة التيار المباشر، بحيث لا تتعدى ٧ أمبير، أو ربما أدنى من ذلك.

منهجية اختبار الكلور
Chloride Test—Methodology

قد لا يكون اختبار نسبة الكلور، لسائل التحليل الكهربائي الخاص بالقطع الصغيرة المصنعة من قائمة المعادن المتفرقة، التي أتينا على ذكرها، مناسباً لجميع القطع

المعدنية الأثرية، لذا لا ينصح القيام به مع مختلف أنواع القطع الأثرية؛ وذلك لأن هذه المعادن لا تحتوي في الغالب على نسبة كافية من الكلور وذلك نتيجة لصغر حجمها، وقلة المسام الموجودة فيها، كما أن هذه النسبة تبقى ضئيلة حتى ولو كانت تلك القطع تعاني من التلف الشديد الذي يزيد من نسبة أيونات الكلور داخل سائل التحليل الكهربائي ليصل إلى حدٍ معقول (انظر الفقرة التي تناقش عملية قياس نسبة الكلور في الحديد). ولذلك يتم الاعتماد على توقيت زمني عام يعتمد على حجم القطعة الأثرية؛ لأن هذه الطريقة تعدّ مجدية أكثر من طريقة الخط البياني الذي يتم رسمه ما بين نسبة تركيز أيونات الكلور مقابل الوقت المخصص لكل قطعة أثرية، فالوقت المخصص للقطع الأثرية الصغيرة، التي لا يتجاوز حجمها حجم الدبوس، أو الإبزيم يكون ما بين أسبوع أو أسبوعين، حيث تخضع القطعة الأثرية الصغيرة لعملية التحليل الكهربائي خلال هذه الفترة، في حين أن القطع الكبيرة التي يصل حجمها إلى حجم القفل أو الطبق فينبغي أن تخضع لعملية اختزال خلال فترة زمنية تقارب الشهر الواحد، وإن عودة ظهور حالة التآكل مجدداً أثناء مرحلة التخزين (وهي حالة نادرة جداً)، وهي تعد دليلاً على أن القطعة الأثرية لم يتم غسلها بشكل كامل.

منهجية القطع الأثرية المعدنية المستخرجة من المياه العذبة

Fresh Water Recovered Metallic Artifacts—Methodology

تتمتع القطع الأثرية المستخرجة من المياه العذبة والمصنعة من المعادن، التي صنفناها في هذا الفصل بحالة ممتازة على الدوام، فلقد أثبتت التجارب أنه من النادر أن تأتي هذه القطع الأثرية وهي تعاني من حالة التآكل، كما أنها تخلو من أية طبقات متكلسة فوقها، وفي حال وجود هذه التكلسات، أو طبقة التأكسد الرقيقة فوقها عندها

يلزم تغليفها بغلاف جلفاني، أما عندما تخلو هذه القطع الأثرية من تلك الطبقة الرقيقة، أو من حالة التأكسد عندئذ يتوجب البدء بمرحلة الغسل بمادة بيكربونات الصوديوم.

منهجية الغلاف الجلفاني
Galvanic Wrap—Methodology

يمكن تغليف القطع الأثرية الصغيرة، التي لا يعدو حجمها حجم إبزيم الحذاء، اعتماداً على هذه الطريقة التي لا تختلف عن طريقة معالجتها فور استخراجها، حيث يتم تنظيف تلك القطع بشكل يدوي، ثم توضع داخل كيس مصنوع من رقائق الألمنيوم يحتوي على سائل كربونات الصوديوم الخاص بعملية التحليل الكهربائي بنسبة تتراوح ما بين ٢-٥٪. ويمكن أن تظهر القطع الأثرية الذهبية والفضية بمظهر لامع ونظيف بشكل أسرع، وذلك عند استخدام سائل التحليل الكهربائي، الذي تحتوي على حمض السيتريك بدلاً من كربونات الصوديوم، بيد أن استخدام كلا المحلولين يمكن أن يأتي بنتائج أفضل، ويجب أن يحيط الكيس المصنوع من الرقائق المعدنية بالقطعة الأثرية بشكل محكم قدر الإمكان، دون أن يتسبب ذلك بأي ضرر للقطعة الأثرية، بعد ذلك توضع القطعة الأثرية في كأس زجاجية يحتوي على سائل التحليل الكهربائي ذاته الموجود ضمن الكيس، حيث ستتآكل رقاقة الألمنيوم خلال بضعة أيام، كما ستقوم باختزال القطعة الأثرية الموجودة في الكيس ثم تبدأ بالتسرب منه.

بعد ذلك يتم فتح الغلاف وتفحص ما بداخله كل ثلاثة أيام أو أكثر، وهنا لابد وأن تبدو علامات الاختزال على القطعة الأثرية بعد مرور الأيام الثلاثة الأولى، كما ينبغي للطبقة الرقيقة، التي تغطي سطح القطعة الأثرية، أن تأخذ مظهر المعدن الأساسي بدلاً من أن تبقى بشكلها المتأكسد ذي اللون الباهت، وينبغي أن تكون جميع الاتساخات والرمال العالقة قد سقطت من على سطح القطعة، وكذلك يجب

أن تكون جميع التكلسات الصغيرة قد تعرضت للتحلل. هنا علينا أن نتذكر أن الكثير من القطع الأثرية قد تم تصنيعها من عدة معادن معاً كالأجراس الفضية التي تحتوي على ألسنة حديدية بحيث يمكن لهذه الألسنة أن تتآكل بشكل جلفاني لتحمي الفضة، وهنا تأتي عملية التغليف الجلفاني لحماية كلا المعدنين واختزالهما، على الرغم من أن الحديد عندها يمكن أن يكون قد تأكسد كلياً بشكل يتعذر معه حفظ ذلك المعدن.

منهجية مرحلة الغسل بكربونات الصوديوم
Sodium Bicarbonate Wash—Methodology

كما هي الحال مع سبائك الحديد والنحاس فإنه يجب إخضاع القطعة الأثرية المصنوعة من المعادن المتفرقة التي ذكرناها هنا، لعملية غسل تنظيف شاملة باستخدام فرشاة أسنان ذات شعيرات خشنة مصنوعة من النايلون، ومعجون يتألف من بيكربونات الصوديوم مع الماء، وإذا كانت القطعة الأثرية تتمتع بالمتانة، عندها يمكن غليها في محلول كربونات، أو بيكربونات الصوديوم، أو بمادة (Sesquicarbonate) لساعات عدة، وينبغي أن تقوم عملية الغلي هذه بتنظيف القطعة وتحريرها من الأيونات سالبة الشحنة، التي لم تتم إزالتها خلال عملية التغليف الجلفاني؛ وذلك لأن هذه العملية تعدّ عملية خاملة اختزالياً كما أنها مجرد عملية غسل بالماء.

منهجية مرحلة الغسيل الأخيرة
Final Rinse—Methodology

يجب أن تقوم عملية الغسيل الأخيرة بإزالة جميع الآثار، التي خلفتها عملية الغسيل ببيكربونات الصوديوم، وتجري هذه العملية عند نقع القطعة الأثرية بشكل كامل داخل المياه المقطرة، التي قد تفور مما يسرع من عملية الغسل إلى حدٍ كبيرٍ،

ولكن عند بقاء المياه ساكنة فإنه يجب أن تستغرق عملية الغسل ساعات عدة، مع تبديل ماء الغسل لمرة واحدة.

منهجية مرحلة التجفيف من الماء
Dehydration—Methodology

ينصح بتجفيف سائر المعادن، التي أتينا على ذكرها، بواسطة المادة المذيبة باستثناء القصدير والألمنيوم اللذين يمكن أن يتحملا عملية التجفيف بواسطة الفرن. وبالنسبة للقطع الأثرية المؤلفة من أكثر من معدن، أو تلك التي تم طليها، أو تمويهها، أو تغطيتها بمادة أخرى فينبغي تجفيفها بواسطة المواد المذيبة، حيث تؤخذ القطع الأثرية بعد غسلها بالماء مباشرة وتوضع في ثلاثة حمامات متتالية، يحتوي كل منها على الكحول، أو الآسيتون (انظر تجفيف النحاس من الماء)، بحيث يستغرق كل حمام من هذه الحمامات مدة ساعة، وقد تكفي المادة المذيبة، التي تم استخدامها مسبقاً للقيام بأول حمامين، إلاّ أنه لابد من استعمال مادة مذيبة لم تستخدم قبلاً مع الحمام الثالث، وعلينا هنا أن نذكر على الدوام أن المواد المذيبة مواد قابلة للاشتعال بسرعة، لذا يجب تغطيتها دوماً وعدم استخدامها بالقرب من مصادر اللهب. ولابد من ارتداء قفازات واقية أثناء التعامل مع سائر القطع الأثرية بعد مرحلة الغسل، كما ينبغي نقلها بواسطة أوان محمية؛ لمنع تسرب الأملاح الموجودة في بصمات الأصابع إلى القطعة الأثرية مما يؤدي إلى إتلافها مع مرور الأيام.

إن التجفيف بواسطة فرن تصل حرارته إلى ٣٢٥ فهرنهايت (١٦٣ درجة مئوية) على مدى يومين لا يسبب أي ضرر للألمنيوم والقصدير، ولكن علينا أن نتذكر أن بعض القطع الأثرية كعلب القصدير مصنوعة من مواد مركبة لذا لا بد من تجفيفها بواسطة المواد المذيبة.

وينبغي عدم إخراج القطع الأثرية أثناء القيام بالمعالجات الخاصة بالتجفيف إلاّ عندما يستعد فني الترميم لوضع المادة الحافظة عليها، أو عند تجهيز وعاء التجفيف، وهو عبارة عن وعاء محكم الإغلاق مملوء بمادة مجففة في أحد أجزائه (وهذه المادة عبارة عن الملح الذي يمتص الرطوبة الجوية).

منهجية استعمال مادة حافظة

Protectant Application—Methodology

قد لا تكون هناك حاجة أو ضرورة لوضع مادة حافظة على القطعة الأثرية في بعض الأحيان، فنادراً ما يحتاج الذهب إلى حماية ضد الرطوبة، كما أن المادة الحافظة للفضة تعتمد على كيفية ومجال استخدام القطعة الفضية بعد صيانتها، وفي هاتين الحالتين لابد من حفظ القطع الأثرية في حجرات مخصصة للتجفيف، أو في غرفة التخزين التي تنخفض فيها الرطوبة النسبية (يفضل أن تكون ٤٠٪ أو أقل).

وبالمقابل فإنه إذا كان من الواجب التعامل مع القطع الأثرية، أو عرضها، أو خضوعها لعناصر بيئية لا يمكن التحكم بها، عندها لابد من تغطية سطح هذه القطع لمنعها من امتصاص الرطوبة، حيث يمكن تغطية القطع الأثرية، التي تم تجفيفها بواسطة المذيبات (كالذهب والفضة والرصاص والبيوتر) بمادة اللك المصفى؛ وهي مادة غير منفذة صلبة تستخدم لتغطية القطع الأثرية، التي تتمتع بحساسية تجاه الحرارة، ويمكن إزالة هذه المادة عند الضرورة بالكحول، وعندها سيتغير البريق الذي يظهر على سطح القطعة ويتحول إلى سطح داكن إذا ترك دون صقل بواسطة برادة الفولاذ.

يمكن تغطية الألمنيوم والقصدير بواسطة الحبيبات الشمعية الدقيقة، وذلك باتباع الطرق المذكورة عند تغطية النحاس (صفحة ٢١٥) وكذلك الحديد (صفحة ١٧٦-١٧٧)، حيث تعمل هذه الحبيبات الدقيقة على تجفيف وتغطية القطعة الأثرية بشكل محكم؛

منعاً لوصول الرطوبة إليها، وتتم هذه العملية عند وضع القطع داخل الشمع المذاب وتركها حتى يستقر وضعها، لمدة ساعتين بعد حدوث حالة الفوران، ثم يتم بعد ذلك تخفيض درجة حرارة الشمع، وبعدها يتم تبريده قليلاً، قبل إخراج القطع الأثرية من الشمع لتبدأ عملية تساقط القطرات الشمعية والتبريد. بعد ذلك تتم عملية إزالة الفائض من الشمع بواسطة سكين، أو يتم تشذيبها وصقلها برؤوس الأصابع.

خاتمة

Conclusion

إن المعادن، التي أتينا على ذكرها في هذا الفصل، لا تشغل سوى حيِّز صغير من خارطة القطع الأثرية المستخرجة من المواقع الأثرية، ومن هنا كان لابد لنا أن نخصص جزءاً صغيراً لها في هذا الكتاب، ومع ذلك فإن القيمة الجوهرية لهذه المعادن تفوق قيمتها العددية، التي سجلتها المواقع الأثرية، فعند العثور على الفضة والذهب والبيوتر على شكل حلي وأدوات للاستعمال، فإن ذلك من شأنه أن يعطي وزناً وأهمية أكبر عند شرح الموقع الأثري، الأمر الذي قد يفتقر إليه الموقع الذي يحتوي فقط على أدوات الاستعمال المصنوعة من الحديد والنحاس الخالص، وهنا يعود الأمر لفني الترميم، وخاصة فيما يتعلق بالتأكد من بقاء هذه القطع بوضع ثابت عند استخراجها وصولاً إلى مرحلة تخزينها؛ من أجل إعادة شرحها وتفسيرها في أي وقت من الأوقات.

ولحسن الحظ، فإن معظم المعادن النفيسة تبدي المظاهر، التي نتوقعها منها كما تعدّ هذه المعادن من أكثر العناصر ثباتاً يمكن أن توجد في الطبيعة، ولذلك فهي تحتاج لمعالجة أساسية فقط، في حين أن المعادن الأخرى، مثل: البيوتر ما هي إلاّ خلائط من معادن ثابتة وأخرى غير مستقرة مما يجعل أمر سلامتها واستمراريتها أمراً خارجاً عن حدود التوقعات، وعلى الرغم من ذلك فإن قيمتها المتعلقة بتفسير الموقع أثرياً كثيراً ما تعززها التفاصيل التي تكتشف خلال عملية الترميم.

المراجع

"Aqueous Corrosion of Tin-Bronze and Inhibition by Benzotriazole." *Corrosion* Vol. 56 No. 12، 2000، pp. 1211–1218. [ECU-695]

Britton، S.C. *The Corrosion Resistance of Tin and Tin Alloys*. Greenford، U.K.: Tin Research Institute، 1952.

Caley، E.R. "Coatings and Encrustations on Lead Objects from the *Agora* and the Method Used for their Removal." *Studies in Conservation* 2/2 (1955): 49–54.

Carlin، Worth and Donald H. Keith. "On the Treatment of Pewter Plates from the Wreck of *LaBelle*، 1686." *International Journal of Nautical Archaeology* Vol. 26 No. 1، 1997، pp. 65–74. [ECU-693]

Carradice، I.A. and S.A. Campbell. "The Conservation of Lead Communion Tokens by Potentiostatic Reduction." *Studies in Conservation* Vol. 39 No. 2، 1994، pp. 100–106. [ECU-694]

"Cavitation Corrosion Behavior of Cast Nickel-Aluminum Bronze in Sea Water." *Corrosion* Vol. 51 No. 5، 1995، pp. 331–342. [ECU-696]

"Corrosion of Steel in Tropical SeaWater." *British Corrosion Journal*Vol. 29 No. 3، 1994، pp. 233–236.[ECU-697]

Cronyn، J.M. *The Elements of Archaeological Conservation*. London: Routledge، 1990. [ECU-350]

Davis، Mary، Fraser Hunter، and Alec Livingstone. "The Corrosion، Conservation، and Analysis of a Lead and Cannel Coal Necklace from the Early Bronze Age." *Studies in Conservation* Vol. 40 No. 4، 1995، pp. 257–264. [ECU-698]

Dean، J.S. "the Medea Floats Again: Steel Hull Preservation Using Foam Core and FRB." *American*

Neptune Vol. 60 No. 2، 2000، pp. 131–147. [ECU-699]

Degrigny، C. and R. LeGall. "Conservation of Ancient Lead Artifacts Corroded in Organic Acid Environments: Electrolytic Stabilization/Consolidation." *SIC* Vol. 44 No. 3، 1999، pp. 157–169. [ECU-700]

Gardinour، C.P. and R.E. Melchers. "Corrosion of Mild Steel by Coal and Iron Ore." *Corrosion Science* Vol. 44 No. 12، 2002.

—. "Corrosion of Mild Steel in Porous Media." *Corrosion Science* Vol. 44 No. 11، 2002. [ECU-669]

Gottlieb، Adam. "Chemistry and Conservation of Platinum and Palladium Photographs." JAIC Vol. 34 No. 1، 1995. [ECU-729]

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]

Hoare، W.E.، and E.S. Hedges. *Tinplate*. London: Edward Arnold، 1945.

Holm، S.I. "Silver." (Master's Thesis. Institute of Archaeology، University of London) (1969).

Kato، M.، M. Koiwai، and J. Kuwano. "The Aluminum Ion as a Corrosion Inhibitor for Iron inWater." *Corrosion Science* 19:11 (1979): 937–947. [ECU-172]

Kaufmam، Henry. *The American Pewterer: His Techniques and His Products*. New Jersey: Thomas Nelson، 1970.

Johnson، Colin، Kerry Head، and Lorna Green. "The Conservation of a Polychrome Egyptian Coffin." *Studies in Conservation* Vol. 40 No. 2، 1995، pp. 73–81. [ECU-701]

Lane، Hannah. "Reduction of Lead." *Conservation in Archaeology and the Applied Arts* (Proceedings of the 1975 Stockholm Congress، N. Brommelie and P. Smith، eds.، International Institute for the Conservation of Historic and Artistic Works، London) (1975): 215–217.

—. "Some Comparisons of Lead Conservation Methods، Including Consolidative Reduction." *Conservation and Restoration of Metals* (Proceedings of the Edinburgh Symposium، Scottish Society for Conservation and Restoration، Edinburgh) (1979): 50–60.

Lee، S. and R.W. Staehle. "Absorption of Gold." *Corrosion* Vol. 52 No. 1، 1996، pp. 843–852. [ECU-702]

Leidheiser، Henry. *The Corrosion of Copper، Tin، and Their Alloys*. New York: John Wiley، 1971.

MacLeod، Donald Ian. "Stabilization of Corroded Aluminum." *Studies in Conservation* 28 (1983): 1–7. [ECU-119]

MacLeod، Ian Donald and Neil A. North. "Conservation of Corroded Silver." *Studies in Conservation* 24 (1979): 165–170. [ECU-115]

Marshall. A.، Piercy، R.، and N.A. Hampson. "The Electrochemical Behaviour of Lead/Tin Alloys—Part I: Studies in Nitrate Electrolytes." *Corrosion Science* 15 (1975): 23–34. [ECU-138]

Mor، E.D. and A.M. Beccaria. "Inhibitory Action of Acryonitrile on the Corrosion of Zinc in Seawater." *British Corrosion Journal* 8:1 (1973): 25–27. [ECU-146]

Organ، Robert M. "The Reclamation of the Wholly Mineralized Silver in the Ur Lyre." *Application of Science in Examination of Works of Art* (Proceedings of the Seminar Musem of Fine Arts، Boston) (1967).

Pearson، Colin ed. *Conservation of Marine Archaeological Objects*، London: Butterworths Series in Conservation and Museology، 1987. [ECU-6]

Plenderleith، H.J.، and A.E.A. Werner. *The Conservation of Antiquities and Works of Art*. Second edition. London: Oxford University Press، 1971. [ECU-8]

Richardson، J.A. and G.C. Wood. "A Study of the Pitting of Aluminum by Electron Microscopy." *Corrosion Science* 10 (1970): 313–329. [ECU-194]

Rodgers، Bradley A. *The East Carolina University Conservators Cookbook: A Methodological Approach to the Conservation ofWater Soaked Artifacts*. Herbert Pascal Memorial Fund Publication، East Carolina University، Program in Maritime History and Underwater Research، 1992. [ECU-402]

—. *Conservation of Water Soaked Materials Bibliography*. 3rd ed. Herbert Pascal Memorial Fund Publication، East Carolina University، Program in Maritime History and Underwater Research، 1992.

"Sacrificial Anode Cathodic Polarization of Steel in Seawater: Part 1—A Novel Experimental and Anaylsis Methodology." *Corrosion* Vol. 52 No. 6، 1996، pp. 419–427. [ECU-703]

Sease، Catherine، Lyndsie S. Selwyn، Susana Zubiate، David F. Bowers and David E. Atkins. "Problems with Coated Silver: Whisker Formation and Possible Filiform Corrosion." *Studies in Conservation* Vol. 42 No. 1، 1997، pp. 1–10. [ECU-706]

Scott، David A. "The Deterioration of Gold Alloys and Some Aspects of their Conservation." *Studies in Conservation* 28 (1983): 194–203. [ECU-391]

Singley، Katherine، R. *The Conservation of Artifacts form Freshwater Environments*. South Haven، Michigan: Lake Michigan Maritime Museum، 1988. [ECU-10]

Slack، C.G. "Technical Notes on the Cleaning and Reproduction of Silver Coins." (Irish Archaeological Research Forum) 1:1 (1974): 52–58.

Sramek، J.، T. Jakobsen، and Jiri B. Pelikan. "Corrosion and Conservation of a Silver Visceral Vessel from the Beginning of the Seventeenth Century." *Studies in Conservation* 23 (1978): 114–117. [ECU-177]

—. "The Corrosion of Lead and Tin: Before and After Excavation." *Lead and Tin Studies in Conservation and Technology* (Occasional Papers No. 3، G. Miles and S. Pollard، eds.، United Kingdom Institute for Conservation، London) (1985): 15–26.

—. "The Behavior of Lead as a Corrosion Resistant Medium Undersea and in Soils." *Journal of Archaeological Science* 10:4 (1983): 397–409.

"Technical Note: Investigation into Tarnishing of Pewter Artefacts Recovered from the *Mary Rose*." *British Corrosion Journal* Vol. 32 No. 3، 1997، pp. 223–224. [ECU-707]

Tennant، N، Tate J and Cannon، L. "Corrosion of Lead Artifacts inWooden Storage Cabinets." *Scottish Society for Conservation and Restoration* Vol. 14 No. 1، 1993. [ECU-787]

Tetreault، Jean، Jane Sirois، and Eugenie Stamatopoulou. "Studies of Lead Corrosion in Acetic Acid Environments." *Studies in Conservation* Vol. 43 No. 1، 1998، pp. 17–32. [ECU-708]

Walker، Robert and Alexandra Hildred. "Manufacture and Corrosion of Lead Shot from the Flagship *Mary Rose*." *Studies in Conservation* Vol. 45 No. 4، 2000، pp. 217–225. [ECU-709]

Watson، Jaqui. "Conservation of Lead and Lead Alloys using EDTASolutions." *Lead and Tin Studies in Conservation and Technology* (Occasional Papers No. 3، G. Miles and S. Poilard، eds.، United Kingdom Institute for Conservation، London) (1985): 15–26.

Wise، Edmund M.، ed. *Gold—Recovery، Properties، and Applications*. Princeton: Van Nostrand، 1964.