



Boletín del Museo Arqueológico Nacional



Homenaje a
MERCEDÉS RUEDA SABATER
“IN MEMORIAM”

LOS BRONCES ESTAÑADOS DE LA EDAD DEL HIERRO: ESTUDIO TECNOLÓGICO

SALVADOR ROVIRA LLORÉNS
Museo Arqueológico Nacional, Madrid

PABLO GÓMEZ RAMOS
Universidad Autónoma, Madrid

IGNACIO MONTERO RUIZ
Fundación Ortega y Gasset, Madrid

RESUMEN

Los estudios científicos de metales antiguos con la superficie "plateada" son todavía escasos, confundiendo con frecuencia el recubrimiento de estaño con el verdadero plateado. En el presente artículo se estudian una diadema y una fíbula, ambas de la Edad del Hierro, demostrando el análisis espectrográfico por fluorescencia de rayos X que las superficies se encuentran estañadas. Asimismo, del examen metalográfico se deduce que el estañado fue realizado por inmersión en un baño de estaño fundido.

ABSTRACT

Scientific studies of ancient metals showing "silvered" surfaces are still scarce, and it leads frequently to misclassifications because of difficulties to distinguish by eyesight between tin-plated and true silver-plated metals. This paper deals with the analytical study of a head ornament and a fibula dated in the Iron Age. X-Ray fluorescence spectrometry shows that the surfaces are tinned. By using microscopical metallography can be deduced that tin-plating was made by immersion into a bath of liquid tin.

1. INTRODUCCIÓN

La existencia de objetos arqueológicos de metal en las colecciones de los museos, cuya superficie ofrece un aspecto "plateado", ha conducido a no pocos errores de clasificación al considerarlos como realmente plateados (es decir, recubiertos de plata), cuando en bastantes ocasiones se trata de piezas estañadas (recubiertas de estaño). La confusión es explicable cuando se actúa a simple vista, en especial si tales objetos enmascaran su epidermis original bajo los productos de corrosión del metal que constituye el soporte subyacente a la capa de recubrimiento y sólo muestran éste de forma fragmentaria y en pequeñas lagunas. En todo caso, el análisis no destructivo por fluorescencia de rayos X es un método de diagnóstico potente que permitirá identificar sin lugar a dudas el metal depositado

en la superficie, distinguiendo entre el verdadero plateado y el estañado.

El registro arqueológico proporciona evidencias de metales con la superficie "plateada" desde el Bronce Antiguo. Recordemos, por ejemplo, los estudios efectuados sobre el hacha plana de Barton Stacey, Inglaterra, fechada hacia el 2000 a.C. (Kinnes *et al.*, 1979) y otros ejemplares estañados (Close-Brooks y Coles, 1980). También las aleaciones cuproarsenicadas pueden producir segregados de arsénico en la superficie, dando un aspecto grisplateado al metal (Smith, 1973; Shalev, 1988).

Tras el estudio científico de estos metales "plateados" se han propuesto varias causas para explicar el efecto observado. Nos limitaremos aquí al caso del estañado.

1) La formación de un depósito superficial por exudado durante la solidificación de la colada en el

interior del molde. Se debe a que durante el enfriamiento rápido de la aleación, la fase rica en estaño permanece un tiempo algo mayor en estado líquido y puede verse empujada hacia la superficie conforme se van formando los cristales sólidos de bronce α . Este exudado tiene una composición eutécticoide con aproximadamente un 25'5% de estaño y el resto cobre, como se deduce del diagrama de fases cobre-estaño. Por tanto no es propiamente un recubrimiento de estaño sino de una aleación cobre-estaño cuyo aspecto gris viene dado por su riqueza en este último aleante. Vista al microscopio, la capa estañada se distingue morfológicamente por su microestructura eutécticoide, es decir, por su textura a base de laminillas, y por su espesor irregular con penetraciones interdendríticas hacia el interior del metal (Meeks, 1986 y 1993). No es posible saber, por el momento, si este mecanismo de estañado era usado deliberadamente o su detección en algunas piezas es puramente casual.

2) La corrosión selectiva del cobre en un bronce enterrado durante mucho tiempo puede dejar en superficie la fase δ inalterada, de un color gris plateado que contrasta con los tonos más oscuros de los óxidos y sales de cobre, dando la impresión de ser un recubrimiento intencionado. Suele acontecer a los bronceos ricos en estaño (con más del 15% Sn). Cuando se observa una sección al microscopio acostumbra corresponder a una estructura dendrítica de fundición cuya fase α se ha corroído, permaneciendo la fase δ que ocupaba los espacios interdendríticos. No sabemos con seguridad si esta propiedad fue utilizada de forma deliberada en alguna ocasión para cambiar el color de la superficie metálica (Meeks, 1986: 153), pues algunos broches y hebillas altomedievales de bronce rico parecen intencionadamente atacadas con ácidos para eliminar cobre superficial y darles aspecto plateado (Oddy y Meeks, 1982)¹.

3) El empleo de bronceos muy ricos en estaño (entre 20% y 30% Sn). Este material tiene ya de por sí una coloración plateada que aumenta con el pulido. Se debe a que con dicha composición la estructura del metal está formada básicamente por bronce

δ o, más precisamente, por eutécticoide $\alpha+\delta$. Esta propiedad cromática fue aplicada por etruscos y romanos a la producción de espejos² y otras piezas de adorno, pero donde parece más extendida es en la metalisteria altomedieval del occidente europeo (Meeks, 1993).

4) La aplicación de métodos de estañado. Es obligada referencia hacer mención de Plinio el Viejo (23-79 d.C.) por ser el primer autor clásico que habla del estañado del cobre en su obra *Naturalis Historia*, un método descubierto en la Galia (por tanto de época prerromana) que confería mejor sabor a los alimentos contenidos en las vasijas y evitaba la formación del venenoso cardenillo. Aunque no habla de la técnica empleada para conseguir el recubrimiento, sí dice que se usaba stannum, es decir, estaño³. Una leve referencia en *La Ilíada* (Canto XVIII) permite suponer a algunos autores que el estaño ya era empleado con fines decorativos por los griegos de los tiempos homéricos⁴ (Hoare, Hedges y Barry, 1965: 1). Sin embargo, los ejemplos más antiguos de metales europeos estañados, aparte del caso antes aludido del hacha inglesa de Barton Stacey, caen todos dentro de la segunda mitad del primer milenio precristiano, según recoge la revisión efectuada por Meeks (1993: 248-249). La pieza española más antigua publicada por el momento es un puñal de antenas decorado con estañados, fechado en el 500-450 a.C., que se conserva en el British Museum (Harrison, 1980).

El tratado más importante y del que se extraen precisas descripciones sobre los métodos de estañado es *Diversarum Artium Schedula*, del monje Theophilus, escrito en el siglo XI (Theophilus, 1979). Relata dos maneras de estañar metal: por inmersión de la pieza en un baño de estaño fundido

¹ Hemos tenido ocasión de estudiar la colección de espejos etruscos del Museo Arqueológico Nacional, algunos de los cuales muestran esta peculiaridad. Los datos están todavía inéditos y serán dados a conocer próximamente dentro del estudio que sobre el tema preparan D^a. Paloma Cabrera y D. Ricardo Olmos.

² «Stannum illud anelis vasis, saporem gratiorem facit, et compescit aeruginis virus...» (Plinio, Libro XXXIV, 48, 1). La palabra stannum se suele traducir por estaño, aunque su significado original resulta un tanto oscuro leyendo al propio Plinio, quien la emplea para denominar el primer metal que se obtiene al fundir minerales plumbo-argentíferos. Al estaño lo suele llamar *plumbum album*, por contraposición con el *plumbum nigro*, plomo. Los textos metalúrgicos de Plinio no siempre resultan de fácil interpretación.

³ Este Canto se refiere a la fabricación de las armas de Aquiles en el taller de Hefesto y los versos dicen así: «El dios puso al fuego duro bronce, estaño, oro precioso y plata...» (versión de Luis Segala y Estaella, editada por Editores Mexicanos Unidos, S.A. México. 1979, p. 228).

¹ Hace tiempo tuvimos ocasión de analizar algunas piezas merovingias de la necrópolis de Aldaieta (Nanclares de Gamboa) que excava el prof. Azkarate, de la Universidad de Álava, resultando ser bronceos ricos en estaño cuya superficie, al ser limpiada por el restaurador, recobra un aspecto gris lustroso con destellos plateados. Creemos que es una propiedad de estos bronceos a la que se llega sin necesidad de tratamientos depletores (basta con pulir la superficie) que ya había sido utilizada por los romanos en la fabricación de espejos. De hecho los tratadistas medievales no mencionan la depleción como método de estañado.

o aplicándolo con un hierro caliente (soldador). En ambos casos la superficie a estañar ha de estar perfectamente limpia de óxido, grasa o suciedad, pues de lo contrario el estaño no se adhiere, y se necesita la colaboración de un material fundente (resina de abeto, dice Theophilus). Luego las superficies habrán de ser pulidas para igualarlas y sacarles lustre.

La investigación científica y la experimentación han podido deducir otros procedimientos de estañado. Uno de ellos, el más antiguo, fue el empleado en el hacha de Barton Stacey, y consistía en recubrir la superficie con casiterita en polvo (óxido de estaño) usando algún adhesivo orgánico, quizá una resina⁵. Al someter la pieza al calor de un brasero de carbón la casiterita se reduce a estaño metálico a partir de los 710° C y forma una película envolvente con microestructura eutectoide (Kinnes *et al.*, 1979; Meeks, 1986).

Otra posibilidad de estañado propuesta por Oddy (1980) consistiría en calentar el cobre o bronce por encima de la temperatura de fusión del estaño (232°

C) y aplicar laminillas o limaduras de estaño que fundirán inmediatamente sobre la superficie metálica caliente. El exceso de estaño fundido podía eliminarse frotando con un trapo, igualando así el espesor de la capa y asegurando un recubrimiento uniforme. La réplica experimental efectuada por Meeks (1986) demostró que el procedimiento es viable, obteniendo microestructuras similares a las que da el estañado en baño.

2. ESTUDIO DE MATERIALES ESTAÑADOS DE LA EDAD DEL HIERRO

Con motivo de los trabajos de restauración de algunas piezas metálicas singulares de las necrópolis de Clares y Almaluz (Guadalajara) custodiadas en el Museo Arqueológico Nacional, procedentes de las excavaciones realizadas a comienzos de siglo por el Marqués de Cerralbo, se observó en varias de ellas la existencia de superficies plateadas enmascaradas bajo la suciedad y los productos de corrosión del bronce que se habían formado. Consultados acerca de la naturaleza del fenómeno, iniciamos un programa de análisis arqueometalúrgicos para deter-

⁵ En sus experimentos, N.D. Meeks ha utilizado colofonia.

TABLA

Objeto	Nº Inventario	Análisis	Cu	Sn	Pb	Ag	Sb	Notas
Diadema (colgante 11)	1940/27/CL/289	PA4897	59'23	22'91	17'67	0'129	0'050	Estañado
Diadema (colgante 12)	1940/27/CL/289	PA5277-12	52'76	32'03	14'02	0'156	0'113	Estañado
Diadema (colgante 1)	1940/27/CL/289	PA5277-1	72'87	24'96	1'03	0'045	0'078	No estañado
Diadema (colgante 14)	1940/27/CL/289	PA5277-14	55'57	35'07	7'73	0'111	0'435	Estañado
Diadema (colgante 13)	1940/27/CL/289	PA5277-13	57'38	29'62	12'31	0'091	0'067	Estañado
Diadema (colgante 9)	1940/27/CL/289	PA5277-9	66'13	22'98	9'58	0'079	0'066	Estañado
Diadema (colgante 8)	1940/27/CL/289	PA5277-8	56'43	29'22	13'31	0'172	0'106	Estañado
Diadema (colgante 6)	1940/27/CL/289	PA5277-6	45'04	48'98	5'12	0'078	0'008	No estañado
Diadema (colgante 3)	1940/27/CL/289	PA5277-3	53'17	31'13	15'36	0'219	0'128	Estañado
Diadema (colgante 5)	1940/27/CL/289	PA5277-5	60'29	25'07	13'29	0'104	0'065	Estañado
Diadema (espiral D2)	1940/27/CL/289	PA5277D2	36'00	50'12	13'63	0'112	0'144	Estañado
Diadema (espiral A2)	1940/27/CL/289	PA5277A2	55'11	34'34	10'30	0'087	0'158	Estañado
Diadema (banda A1)	1940/27/CL/289	PA5277A1	62'18	24'38	13'25	0'109	0'079	Estañado
Diadema (colgante 7)	1940/27/CL/289	PA5277-7	58'84	26'94	13'36	0'111	0'073	Estañado
Diadema (banda D1)	1940/27/CL/289	PA5277D1	72'81	18'81	8'12	0'089	0'064	Estañado
Diadema (colgante 2)	1964/28/8	PA5277-2	53'51	30'50	14'11	0'127	0'072	Estañado
Diadema (espiral E3)	1940/27/CL/289	PA5277E3	49'78	38'27	11'64	0'183	0'119	Estañado
Diadema (colgante 4)	1940/27/CL/289	PA5277-4	48'46	35'68	14'61	0'204	0'104	Estañado
Diadema (espiral E1)	1940/27/CL/289	PA5277E1	74'81	15'98	4'15	0'080	0'060	Estañado
Fíbula (rotura arco)	1952/10/107/6	PA5275B	70'49	25'31	3'76	0'096	0'091	
Fíbula (arco)	1952/10/107/6	PA5275A	70'67	25'22	3'67	0'094	0'084	Estañada

Análisis efectuados con el espectrómetro Kevex Mod. 7000 del I.C.R.B.C. (Madrid)

minar la naturaleza del "plateado" y sus posibles causas⁶.

Mediante espectrometría por fluorescencia de rayos X se han identificado las aleaciones de estos objetos. Los resultados cuantitativos se exponen en la Tabla I, pero hay que adelantar que las cifras no son representativas de las aleaciones ya que los análisis fueron practicados sobre la superficie afectada por la corrosión (pátina), por lo que los porcentajes de estaño y plomo se encuentran muy sobrevalorados. El valor real correspondiente al bronce sano debe ser aproximadamente la tercera parte del medido o incluso inferior.

La diadema de Clares está formada por una banda acintada de la que penden una serie de colgantes en forma de 8 de tamaños variados. La analítica indica que las distintas piezas de la diadema están elaboradas con bronce ternario cobre-estaño-plomo, la mayoría de las cuales conservan restos más o menos evidentes de haber sido estañadas. Se trata, efectivamente, de un recubrimiento con estaño y no con plata, pues, como indica la Tabla I, los valores de este último metal se mantienen al nivel habitual de impurezas del cobre. De haber sido un verdadero plateado las cifras superarían holgadamente la unidad.

No deja de ser llamativa la variabilidad de las aleaciones de los colgantes, en los que cabría esperar mayor homogeneidad para una pieza tan singular como esta diadema, a pesar de la distorsión que pueda estar introduciendo en los resultados el espesor de las pátinas. Pero también es cierto que una misma colada de bronce ternario rico en plomo puede dar lugar a piezas de composición distinta, pues durante el tiempo que se tarda en ir rellenando los moldes se producen variaciones compositivas en el líquido del crisol debidas a la limitada solubilidad del plomo en el cobre y a su mayor densidad. Esta circunstancia podría explicar las variaciones observadas.

Para estudiar la disposición del estañado se ha metalografiado el colgante PA4897 aprovechando la sección rectangular de la fractura de un anillo⁷. La figura 1 muestra la microestructura del alma de bronce, formada por una red de granos de sección

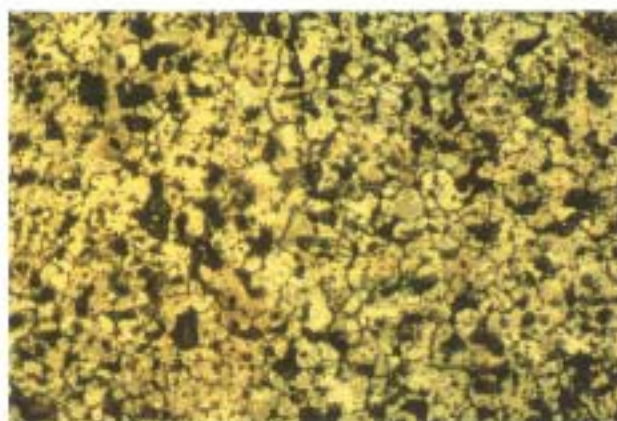


Fig. 1.- Microestructura del bronce ternario que constituye la base metálica del colgante de la diadema de Clares. Granos de recocido con abundantes segregados de plomo (color negro). Ataque con cloruro férrico y ácido clorhídrico. 250x.

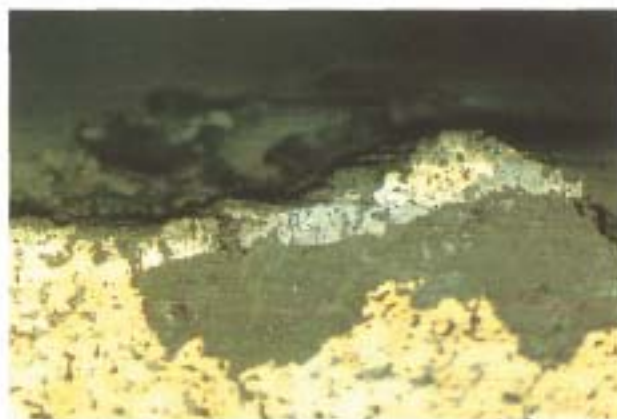


Fig. 2.- Colgante de la diadema de Clares. Detalle de la capa estañada (banda inferior de la imagen), encima y debajo de la cual se han formado productos de corrosión del bronce. 250x.

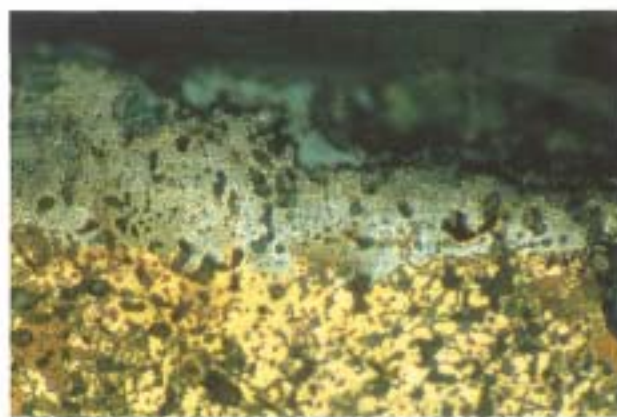


Fig. 3.- Colgante de la diadema de Clares. Detalle de la capa estañada (parte inferior de la imagen) mostrando su microestructura de compuesto intermetálico estaño-cobre. Los puntos oscuros son segregados de plomo. Ataque con cloruro férrico y ácido clorhídrico. 250x.

⁶ Agradecemos las gestiones realizadas por D^a Magdalena Barril, conservadora responsable de estas colecciones, gracias a las cuales el presente trabajo ha podido llevarse a cabo. Según la citada investigadora, la cronología de la diadema entraría en los siglos VI-V a.C. Véase en este mismo volumen su trabajo dedicado a materiales de Clares.

⁷ Los estudios metalográficos han sido realizados en el laboratorio del Museo de América, Madrid.

poligonal, maclados, de bronce α , con abundantes segregados oscuros de plomo. Es evidente que el metal fue forjado a martillo después de sacar de molde el objeto, siendo posteriormente recocido térmicamente hasta recrystalizar. La profusión de plomo segregado confirma que es un bronce muy plomado (más del 10% Pb) y la ausencia de bronce δ indica que el metal original tiene menos del 12% de estaño, ya que en torno a este porcentaje está el límite de solubilidad en sólido cobre-estaño. La figura 2 permite observar porciones de la película del estañado de unos 20 μm de espesor, en una zona en la que, por encima y por debajo, se han formado productos de corrosión. Finalmente, la figura 3 muestra con más detalle la estructura del recubrimiento. Se trata de compuesto intermetálico $\alpha+\delta$, no de estaño metálico, que atrapa plomo segregado. Entre el recubrimiento y el metal de base se ha formado una zona de interdifusión puesta de manifiesto por las indentaciones de la línea de contacto, completando un espesor total de 50 a 60 μm .

La pregunta ahora es cómo se logró el recubrimiento. La imagen metalográfica se parece a la obtenida experimentalmente por Meeks (1986: 143) tras estañar una lámina de cobre por inmersión en baño y calentarla a 550° C. En estas condiciones, y recurriendo una vez más a la interpretación del diagrama de fases correspondiente, las fases γ y β presentes se convierten por difusión en $\alpha+\delta$ cuando el enfriamiento rebasa la línea isoterma de 520° C, apareciendo una zona de interdifusión entre el recubrimiento y el bronce α subyacente. Si el calentamiento hubiera alcanzado o superado los 650° C el estañado se habría perdido, pues a dicha temperatura el estaño presente se disolvería rápidamente para dar bronce α amarillo. Este dato térmico es importante al indicar que el colgante no se vio sometido a una temperatura superior al mencionado límite después de ser bañada, y debe ser tenido en cuenta ya que procede de una necrópolis de incineración. La interpretación es obvia: la diadema no llegó a entrar en la pira funeraria⁹.

La presencia de plomo en el recubrimiento (fig. 3) puede plantear ciertos interrogantes salvo que admitiéramos, de entrada, que el baño no era sólo de estaño sino de una liga estaño-plomo, cosa poco probable. Según Meeks (1986: 146), estas microestructuras se han observado en bronce plomados afectados

⁹ De hecho el metal del núcleo conserva granos maclados (fig. 1) que hubieran desaparecido tras el recocido ocasionado por una larga permanencia bajo la intensa acción del fuego, aparte de otros fenómenos de pérdida del estañado que se comentarán más adelante.

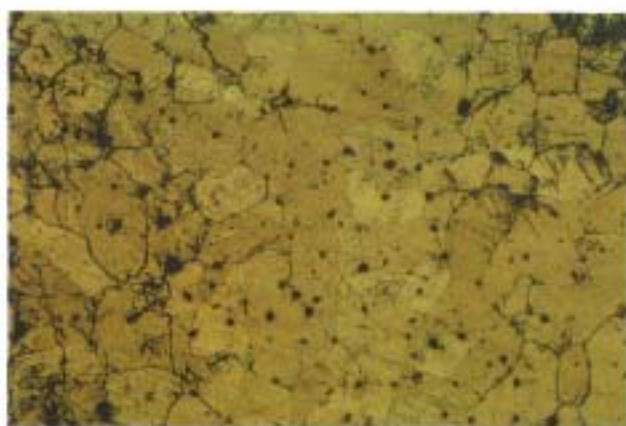


Fig. 4.- Microestructura del bronce que constituye la base metálica de la fíbula de Almaluez. Los granos poligonales maclados indican que el metal fue forjado en frío y recocido. El picado se debe a un ataque defectuoso con cloruro férrico y ácido clorhídrico. 250x.

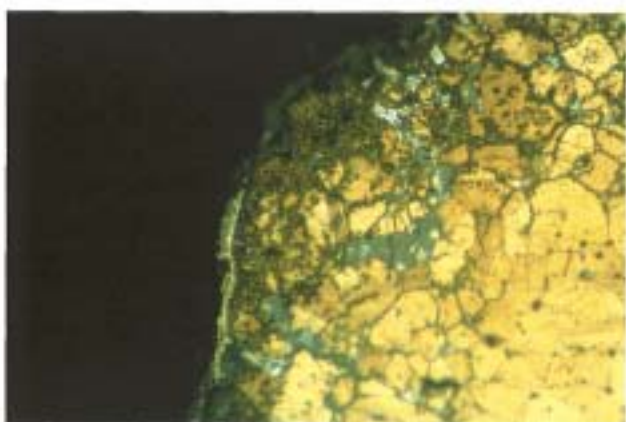


Fig. 5.- Fíbula de Almaluez. Detalle de la capa de estañado. 250x.

por un efecto de segregación inversa o exudado (véase lo dicho más arriba). Sin embargo, como el mismo autor reconoce, se manifiestan en piezas de fundición, pues el metal trabajado mecánicamente y recocido (como es el caso que nos ocupa) reabsorbería el exudado desapareciendo el contraste cromático (Meeks, 1986: 157). ¿Cómo explicar, pues, la formación del recubrimiento en este colgante de la diadema de Clares? Rechazada por imposible la hipótesis de un efecto fortuito de segregación inversa, quedan dos alternativas relacionadas con el bañado o con la aplicación en caliente de estaño. La primera de ellas implicaría un calentamiento posterior durante el tiempo suficiente para que el estaño se difundiera parcialmente en el bronce. En tal caso desaparecería como tal la película de estaño, convertida en bronce $\alpha+\delta$ que invadirá regiones próximas a la superficie ocupadas antes por bronce α con

segregados de plomo. Dado que estos segregados no son afectados por el proceso de difusión del estaño, quedarán englobados en el nuevo metal formado en la epidermis. La segunda alternativa supondría que el bronce fue calentado hasta cerca de 600° C y sobre él se aplicó estaño sólido en limaduras o virutas que fundieron inmediatamente recubriendo la superficie, siendo eliminado con un paño el líquido sobrante. Al encontrarse el soporte muy caliente pudo dar lugar a los fenómenos de interdifusión antes mencionados. La velocidad de difusión del estaño en cobre es muy rápida por encima de su punto de fusión, bastando unos pocos minutos para que se desarrollen notables cambios químicos y estructurales (Meeks, 1986: 141). En conclusión, pues, todo parece indicar que los colgantes de la diadema de Clares fueron sometidos a un proceso intencionado de recubrimiento mediante estañado.

La fibula PA5275 procede de la necrópolis de Almaluez. El metal es también bronce ternario, pero en este caso la tasa de plomo en la liga es baja. La metalografía practicada aprovechando la rotura del extremo del arco que constituye el puente muestra una red poligonal de cristales de bronce α , maclados, con algunas bandas de deslizamiento en frío producidas quizá por el esfuerzo mecánico que rompió el metal (fig. 4). También se observan algunas inclusiones azuladas de óxido cuproso que cabe achacar a unas condiciones excesivamente oxidantes en el crisol cuando se preparó la colada metálica en el taller del fundidor. La ausencia de segregados de fase δ en la masa del metal indica que la proporción de estaño no supera el 12%. El poco plomo presente ha solidificado en los bordes de grano como pequeños globulillos oscuros⁹. Esta microestructura es característica de los bronce moldeados que han sido forjados en frío y luego recocidos térmicamente hasta recristalizar. La recristalización homogeneiza y mejora las prestaciones mecánicas del bronce colado.

La superficie de la fibula conserva restos de haber estado recubierta de una película de estañado con un espesor de unos 10 μm , cuya textura es la de un compuesto intermetálico estaño-cobre formado en condiciones similares a las deducidas para la diadema de Clares (fig. 5), por lo que no vamos a repetir los argumentos.

3. CONSIDERACIONES FINALES

El estudio analítico llevado a cabo indica que las superficies plateadas de la diadema de Clares y la fibula de Almaluez son debidas a un proceso de recubrimiento con estaño, probablemente por inmersión en un baño. Los espesores de capa medidos en las metalografías (entre 10 y 60 μm) encajan mejor en la técnica de inmersión que en la de aplicación de estaño sobre el bronce caliente, si nos atenemos a los resultados experimentales de Meeks (1986: 141), máxime si tomamos en consideración la posible pérdida de espesor por corrosión del estaño metálico¹⁰.

Las estructuras de los soportes, obtenidas por moldeo, fueron rematadas mediante operaciones de forja y recocido después de las cuales, y como operación final, se procedió al estañado.

Aunque el estañado protege eficazmente de la corrosión al metal subyacente, y en esta propiedad reside en la actualidad su interés industrial (la producción de hojalata), su empleo en la Antigüedad debe ponerse en relación con el embellecimiento de la superficie al conferirle un aspecto "plateado". No es fácil decidir hasta qué punto fue un método que competía con el verdadero plateado durante la Edad del Hierro, entre otras razones porque no se conocen o no se han estudiado convenientemente objetos plateados anteriores al siglo V a.C. (La Niece, 1993). Si ambas técnicas fueron contemporáneas, no cabe duda que el estañado resultaba mucho más fácil y barato que el plateado. Pero este es un tema de investigación muy en sus inicios al que habría que dedicar mayores esfuerzos.

⁹ En la metalografía de la figura 4 se ha producido un picado generalizado debido al empleo de un reactivo de ataque defectuoso.

¹⁰ El estaño metálico se oxida con más facilidad que el cobre. En cambio los compuestos intermetálicos cobre-estaño (fases δ , ξ) resisten mucho mejor la corrosión.

BIBLIOGRAFÍA

- CLOSE-BROOKS, J. Y COLES, J.M.
(1980): Tinned axes. *Antiquity*, LIV(212): 228-229.
- HARRISON, R.J.
(1980): A tin-plated dagger of the Early Iron Age from Spain. *Madriider Mitteilungen*, 21: 140-146.
- HOARE, W.E., HEDGES, E.S. Y BARRY, B.T.
(1965): *The Technology of Tinfoil*. E. Arnold Pub. Ltd. London.
- KINNES, I.A., CRADDOCK, P.T., NEEDHAM, S. Y LANG, J.
(1979): Tin plating in the Early Bronze Age: the Barton Stacey axe. *Antiquity*, LIII(208): 141-143.
- LA NIECE, S.
(1993): Silvering. En S. La Niece y P.T. Craddock (eds.): *Metal Plating and Patination. Cultural, technical and historical developments*: 201-210. Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford.
- MEEKS, N.D.
(1986): Tin-rich surfaces on bronze. Some experimental and archaeological considerations. *Archaeometry*, 28(2): 133-162.
- MEEKS, N.D.
(1993): Surface characterization of tinned bronze, high-tin bronze, tinned iron and arsenical bronze. En S. La Niece y P.T. Craddock (eds.): *Metal Plating and Patination. Cultural, technical and historical developments*: 247-275. Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford.
- ODDY, W.A.
(1980): Gilding and tinning in Anglo-Saxon England. En W.A. Oddy (ed.): *Aspects of Early Metallurgy*: 129-134. British Museum Occasional Paper No. 17. London.
- ODDY, W.A. Y MEEKS, N.D.
(1982): Unusual phenomena in the corrosion of ancient bronzes. En N.S. Brommelle y G. Thomson (eds.): *Science and Technology in the Service of Conservation*. I.L.C. London.
- PLINIO SEGUNDO, C.
(1883): *Naturalis Historia*. (Trad. M.E. Littré). Firmin-Didot & Cie. París.
- SHALEV, S.
(1988): Redating the Philistine sword at the British Museum: A case study in typology and technology. *Oxford Journal of Archaeology*, 7(3): 303-311.
- SMITH, C.S.
(1973): An examination of the arsenic-rich coating on a bronze bull from Horoztepe. En W.J. Young (ed.): *Application of Science in Examination of Works of Art*: 96-102. Museum of Fine Arts. Boston.
- TIBOPHILUS
(1979): *On Divers Arts*. Dover Publications, Inc. New York.