

Sociedad de Investigación de Materiales

Investigación Experimental sobre el plateado de la amonedación romana tardía.

C. Vlachou, JG McDonnell, RC Janaway

Departamento de Ciencias de Arqueología de la Universidad de Bradford, BD7 1DP, Reino Unido.

Resumen

La moneda romana sufrió una fuerte devaluación durante el siglo III. Desde el año 250 dC, la producción de monedas plateadas hechas de una aleación compleja de cobre (Cu-Sn-Pb-Ag) ¹ se convirtió en una práctica común. El mismo método continuará siendo aplicado durante el siglo cuarto para la producción de una nueva denominación introducida por Diocleciano en 293/4 dC. Los análisis realizados anteriormente de estas monedas no han resuelto los enigmas tecnológicos y, en particular, el proceso de plateado. El Museo Británico ha permitido generosamente realizar otras investigaciones a la Universidad de Bradford para examinar las piezas de los archivos de Cope con más detalle utilizando XRF², metalografía por SEM-EDS³, la LA-ICP-MS⁴ y EPMA⁵. El examen metalográfico y la espectroscopia de 128 piezas han revelado que la capa de plata era muy difícil rastrear debido a su grosor de unas pocas micras y, a veces, a su presencia bajo una capa de corrosión. Los resultados derivados de la espectrometría de masas y de los análisis por microsonda de Castaing han demostrado, por primera vez, la presencia de mercurio en la capa superficial de estas monedas. Una relectura de las fuentes antiguas y la literatura histórica indica los métodos que podrían haberse utilizado para producir el plateado. Un programa de experimentos de chapado fue puesto en marcha para examinar un número de variables en los procesos tales como la preparación de amalgama y los ciclos de calentamiento.

Estos son los resultados de este trabajo experimental, que se presentan ante ustedes.

Introducción

La amonedación de la época romana tardía sufrió devaluaciones severas. Desde 250 dC, la presencia de fino en la denominación de plata se redujo hasta el 5%. Para producir estas monedas "de plata", se utilizaron aleaciones de cobre de bases cuaternarias compuestas de cobre-estaño-plomo-plata. Su superficie estaba cubierta con un revestimiento de plata delgada que se desgastaba fácilmente durante la circulación y uso de las piezas. Más tarde, el mismo método que se utilizó para una nueva pieza, el nummus, introducida por Diocleciano en su reforma monetaria (293-4). Los nummus se supone que fueron acuñados con los mismos estándares en todos los talleres imperiales. Era la primera vez que una moneda uniforme circulaba a través del mundo romano y tuvo que ser producida una enorme

¹ NT: cobre, estaño, plomo, plata

² NT: fluorescencia de rayos X

³ NT: Espectroscopia de dispersión de energía-Microscopía electrónica de barrido

⁴ NT: Espectrometría de masas

⁵ NT: Microsonda de Castaing

cantidad de moneda para satisfacer las necesidades de sus 60 millones de habitantes (estimación). [1]

Durante unos años, el sistema de económico se mantuvo estable, pero con la muerte de Constancio en Gran Bretaña (julio de 306), se produjeron graves problemas políticos y ello provocó fuertes tensiones entre el Este y el Oeste. Estos problemas políticos tuvieron un impacto inmediato en el sistema monetario. El peso de nummi se redujo gradualmente de 10 g a sólo 3 g y durante el resto del siglo IV, los nummi continuaron circulando bajo una forma muy devaluada. [2]

El eje central de esta investigación es analizar el método utilizado durante casi un siglo (250-350) para la producción de monedas romanas. Estos datos ayudarán a:

- Caracterizar la tecnología de plateado utilizada a gran escala para la producción de piezas monetarias.
- Evaluar la uniformidad de la tecnología de producción de numerario suficiente para cubrir todo el imperio.
- Comprender el sistema monetario este período turbulento y mejorar nuestro conocimiento tecnológico de la amonedación antigua.
- Contribuir al desarrollo de una tecnología primaria de plateado.

Método de análisis

El Museo Británico nos ha permitido generosamente la más amplia investigación del archivo de Cope [3].

En este estudio, fueron examinadas 128 piezas que abarcan el período 260-350 dC [4]. Las denominaciones de las monedas son antoninianos, nummi de la Tetrarquía⁶ y nummi devaluados.⁷ Su peso oscila de 2 g. a 11 g. y su diámetro de 17 mm. a 30 mm.

La microscopía óptica y SEM de la superficie de las partes reveló que el revestimiento de plata existía en 57 de las 128 y tenía las mismas características. El examen metalográfico de secciones cortadas, sin embargo, no permitió encontrar plateado mas que en 43, debido a la dificultad de ponerlo en evidencia. Su espesor era de aproximadamente unas pocas micras. En algunos casos, el plateado estaba presente bajo la capa de corrosión y en otros, había trazas en los productos de la corrosión. Aunque había pequeñas cantidades de plata como inclusiones en la mayor parte (nt: de las piezas analizadas), no había evidencia metalúrgica del enriquecimiento de la superficie que se había utilizado (Figura 1).

⁶ NT: lo que conocemos por follis

⁷ NT: Centonialis

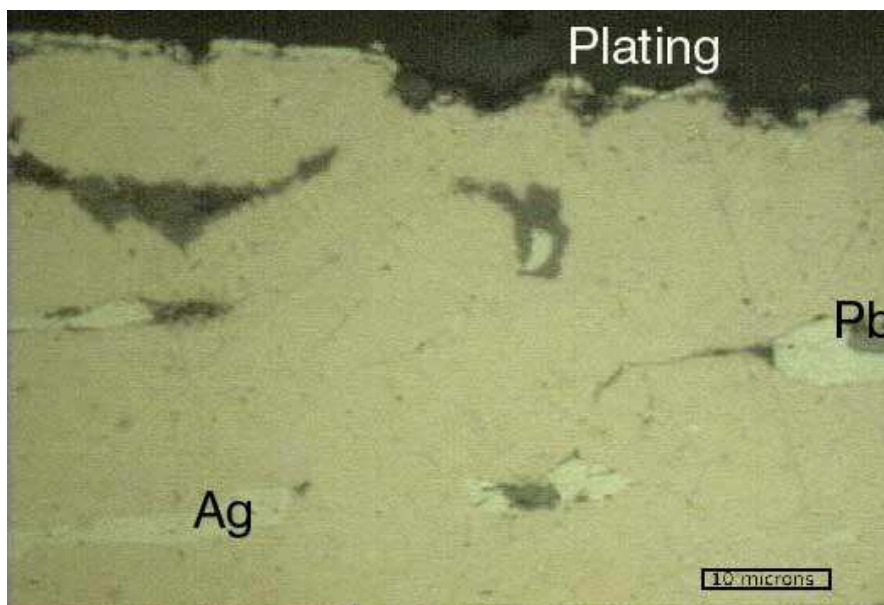


Figura 1. Ejemplo característico de la estructura metalográfica de las monedas (moneda BMC 259)

Para superar las limitaciones físicas de los análisis XRF y SEM EDS, se requería una técnica más sensible para el examen de estas capas delgadas de plateado corroídas. El LA-ICP-MS, un método altamente sensible que produce datos analíticos de una amplia gama de elementos estaba disponible en el Departamento de Ciencias Arqueológicas. Un PlasmaQuad 3, equipado con un sistema de ablación por láser Microprobe II fue utilizado por primera vez, la presencia de mercurio en las capas superficiales quedó demostrada. Fue trazado sobre 23 secciones donde el plateado estaba bien conservado. En los otros 20 casos, aunque la capa es observable, no se pudo hacer un análisis satisfactorio a causa de la corrosión. Las monedas han circulado durante años y han sufrido degradaciones durante su estancia en la tierra. Así, la composición de su superficie, haciendo abstracción del chapado mismo, ha sido gravemente afectada por el desgaste y la corrosión. En estos análisis, hay una pequeña probabilidad de contaminación debida al hecho de que el mercurio estaba presente sólo en los lugares donde la capa de plata había sobrevivido. Por otra parte, también es posible que el mercurio fuera una impureza de la plata o que haya sido usado en el proceso de refinado.

El uso de otro método para proporcionar datos para confirmar o refutar la el uso del mercurio⁸ era fundamental. Para este fin, se puso a nuestra disposición el NERC, Manchester Electron Microprobe Facility, en el Departamento de Ciencias de la Tierra. Los resultados de estos análisis también confirmaron la presencia de mercurio únicamente en la superficie de las monedas y en asociación con la capa de plata (0.112 - 0,803% Hg). Estos datos han proporcionado pruebas concluyentes con respecto a la utilización de mercurio en el proceso de plateado.

Los métodos posibles para la producción del plateado

La producción del plateado sobre la superficie de las piezas en el período tardío romano ha sido objeto de numerosas investigaciones. Cope, en sus trabajos sobre la moneda romana tardía, sugirió que el plateado se producía por inmersión de los flanes en cloruro de plata

⁸ NT: en el plateado

fundida [5-7]. El cloruro de plata estaba disponible en la antigüedad como plata córnea (clorargirita)⁹. Pero no hay ninguna referencia a este método en la literatura antigua. Además, los métodos de inmersión en baño caliente no son muy adecuados para la producción en masa [8-9].

Otro método posible es el uso de pastas de plata [10]. Este método se basa en una reacción electroquímica entre la pasta y el metal a ser recubierto. El componente básico de la pasta es cloruro de plata recientemente precipitado. Otros aditivos pueden ser cloruro de sodio, cloruro de amonio, tartrato de potasio, cloruro de mercurio y la tiza como espesante. La operación tendría lugar después de la acuñación. Los componentes estaban disponibles en la antigüedad, pero las primeras referencias a este método se remontan al siglo XVIII. Lechtman, durante su investigación sobre los objetos de cobre dorados y plateados hechos por orfebres de las culturas andinas había sugerido el empleo de la sustitución electroquímica. Sin embargo, la (época de la) introducción del plateado electroquímico en Europa es incierta. No se conoce más que un ejemplo donde se ha utilizado la pasta de plata para platear una moneda, se trata de una pieza sarda que representa una cabeza de caballo reacuñada para convertirla en una moneda "de plata" cartaginesa (en el siglo III dC, si el plateado se produjo durante el reacuñado). [9]

El chapado por amalgama es otro método que permite realizar un chapado muy fino. Después de la aplicación de una amalgama de plata-mercurio en la superficie del objeto a recubrir, el mercurio se evapora por calentamiento, mientras que la plata va a permanecer formando una capa fina (el punto de ebullición del mercurio es de 357 °C). Mercurio era abundante en la antigüedad (por ejemplo, se utilizaba en las minas para el refinado de metales). El método de la amalgama es muy bien conocido principalmente para el dorado de metales por medio de una amalgama de mercurio-oro. El dorado por amalgama fue utilizado muchísimo durante la época romana. [12] Un gran número de referencias antiguas tratan del dorado con amalgama, mientras que el proceso rara vez es citado para el plateado. Teófilo (siglo XII), en sus trabajos dio diferentes proporciones en las preparaciones de amalgama, según que fueran a base de oro o de plata. [13] Biringuccio (siglo XVI), también sugirió un tratamiento térmico diferente: "*si se trata de oro, se sumerge en la orina, y, si se trata de plata en latón o cobre se vierte en el aceite y luego se calienta por un fuego de salvado*" [14]¹⁰. La amalgama de plata es también mencionada en un manuscrito bizantino que contiene recetas para el tratamiento de metales, donde una vez más el aceite de oliva se sugiere en el proceso de acabado. [15]

Sin embargo, los estudios previos habían sugerido que, cuando se utiliza amalgama de plata, es más difícil de obtener un buen acabado superficial en comparación con el dorado. Además, es una creencia común que el mercurio residual puede ser rastreado por XRF. Como resultado, hay ausencia de datos analíticos que muestren el grado de uso de este método¹¹ [9-10]. La amalgama de plata fue un método común en la falsificación de monedas por plateado [16-17]. Recientemente, el examen de cuatro dirhams iraníes falsos que datan del siglo noveno o décimo provenientes de los archivos de Cope, ha revelado que ha sido chapados por medio de un plateado por amalgama (10,8 a 12,7% Hg) [18]. Estas monedas forman parte de un tesoro, de alrededor de 1200 imitaciones que, según Morton, fueron producidos en el mismo taller y por el mismo método.

⁹ NT: Es un mineral secundario que aparece en la zona de oxidación de los yacimientos de minerales de plata, especialmente en las regiones áridas. Fue descrita por primera vez en [1565](#), nombrada en alusión a su composición química de cloro y plata (*argentum* en latín). En el original inglés, descrito como "hornsilver".

¹⁰ NT: Debe entenderse salvado de trigo o de otros cereales.

¹¹ NT: A tenor de esos estudios previos al trabajo de investigación objeto de este informe.

Resultados experimentales

Para examinar la aplicación de plateado por medio de amalgama de plata-mercurio se diseñaron una serie de experimentos. Se tomaron las precauciones habituales y se diseñó un montaje especial. Para el proceso térmico, se empleó un horno tubular y el mercurio evaporado fue recuperado por medio de trampas de zinc (Figura 2).

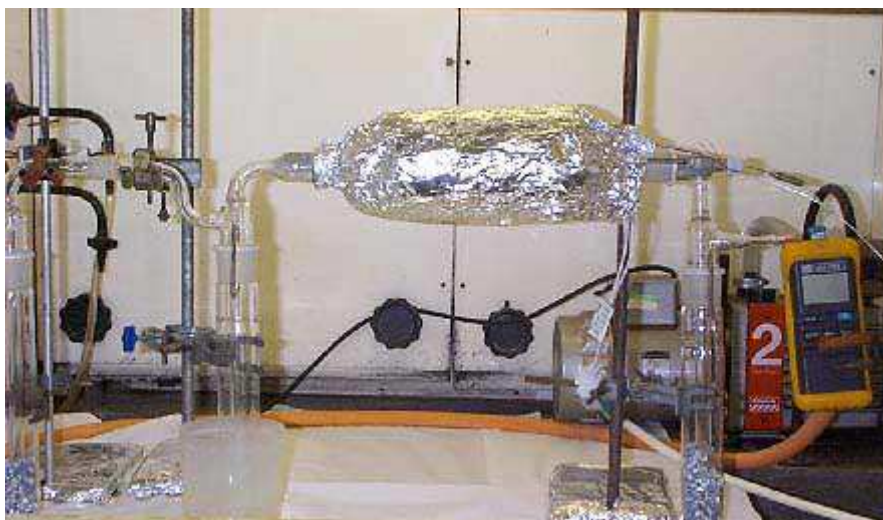


Figura 2. Montaje experimental.

Como primera aproximación, se utilizó la metodología Anheuser (Serie A) [20]. Se produjo una amalgama que contenía un 80% de mercurio y un 20% de plata por molienda de los dos metales juntos en un mortero. La pasta resultante se aplicó sobre la superficie de una lámina de cobre por medio de una espátula de acero inoxidable, utilizando como agente humectante una solución de ácido nítrico diluido al 5% en agua destilada.

La muestra se colocó en un soporte metálico y después se introdujo en el horno. Después de calentar la muestra durante 10 minutos a 250 °C, el chapado era de color oscuro y se descamaba. El mismo procedimiento se repitió con sustratos metálicos compuestos de aleaciones cuaternarias (Serie B). Se produjeron en el laboratorio aleaciones similares a las utilizadas por los romanos (Tabla 1).

TABLA 1 Composición de las aleaciones experimentales de la Serie B.

Código aleación	Cu %	Ag %	Sn %	Pb %
Aleación 1-3-3	93	1	3	3
Aleación 1-5-5	89	1	5	5
Aleación 1-7-7	85	1	7	7
Aleación 1-9-9	81	1	9	9
Aleación 2-3-3	92	2	3	3
Aleación 2-5-5	88	2	5	5
Aleación 2-7-7	84	2	7	7
Aleación 2-9-9	80	2	9	9

Los resultados de estas pruebas fueron radicalmente diferentes de los obtenidos para la Serie A. El plateado resultó idéntico sobre ambos lados, podía soportar una temperatura más alta

(450 °C) y una exposición más larga (1h), pero la concentración de mercurio permanecía elevada en la superficie de las muestras (aproximadamente 80% Hg).

El chapado por amalgama es un procedimiento relativamente simple, pero muchos parámetros pueden influir en la formación de la capa final. En primer lugar, la composición de la amalgama. Teófilo sugiere que una amalgama de plata-mercurio debe contener cinco partes de mercurio por una de plata, una diferencia significativa con la amalgama de dorado que contiene ocho partes de mercurio por una de oro [13]. Hay también formas diferentes de mezclar los dos metales, por calentamiento o por molienda juntos [13-21]. Por último, las recetas preconizan escurrir la amalgama en una tela o piel para eliminar el exceso de mercurio [22]. Hay también mucho que decir acerca de la influencia de la naturaleza del sustrato metálico¹² sobre el resultado del chapado, principalmente en el proceso de dorado. Según Teófilo, es muy importante que el cobre esté completamente libre de plomo, de lo contrario el dorado será imperfecto [13]. Basándose en el estudio de las estatuas griegas y romanas, Craddock y Oddy han sostenido que, en el caso de los dorados, las aleaciones usadas para fundir las estatuas eran en general bajas en estaño y plomo [23/12/24]. Por otro lado, los trabajos de Jett sobre los broncees chinos han demostrado que el dorado por amalgama se podría lograr a pesar de su alto contenido de estaño y plomo [25-26].

Teniendo en cuenta lo expuesto en este último punto, se llevó a cabo una nueva serie de experimentos (Serie C). La amalgama se logró, como se indica por Teófilo, con cinco partes de mercurio de una plata mezcladas juntas y se calentó a 100 °C durante cinco días. A continuación, la mezcla se prensó en una tela y otra vez se trituroó en un mortero para obtener una pasta consistente. Tres aleaciones diferentes se utilizaron como sustratos de metal para verificar su posible influencia en el resultado del plateado. La aleación 1 imitaba la composición de la aleación de las monedas romanas del Bajo Imperio (Cu 88%, Ag 2%, Sn 5%, Pb 5%); la aleación 2 era binaria, de cobre y estaño (Cu 95 %, Sn 5%); lo mismo que la Aleación 3 a la que se añadió plomo (Cu 90 %, Sn 5%, Pb 5%). La amalgama se extendió sobre ambas superficies de las muestras con una espátula de acero inoxidable y el agente humectante consistió en ácido nítrico diluido al 5% (Figura 3).



Figura 3: Las muestras después de la aplicación de la amalgama.

Las temperaturas de calentamiento se aumentaron de 200 °C hasta 600 °C por intervalos de 50 °C. Cada muestra se dejó en el horno durante 20 minutos. Después de calentarlas, las muestras fueron limpiadas con una solución de ácido nítrico diluido al 5% y después frotadas. Los resultados de este experimento se resumen en la Tabla II.

¹² NT: composición metálica de la aleación del cospel

Tabla II: Síntesis de la serie C. (√: plateado exitoso ≈: parcialmente oxidado - fracaso de plateado)

Aleación/Temp.	360°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
Aleación 1	√	√	√	√	√	≈
Aleación 2	√	√	≈	-	-	-
Aleación 3	√	√	√	√	√	-

La aleación 2 fue menos eficiente que las otras en el curso de este experimento. Su plateado no sobrevivió a la cocción a 500 °C (Figura 4). A temperaturas más altas, las diferencias entre las dos aleaciones han surgido. El plateado de la aleación 3 aguantó la cocción a 500 °C pero no a 550 °C. Sólo el plateado de la aleación 1 pudo resistir después de cocción a 600 °C. En general, la aleación 1 mostró la mejor resistencia a las altas temperaturas. Además, la concentración de mercurio en la superficie de las muestras varía considerablemente. A 360 °C, justo por encima del punto de ebullición del mercurio, el plateado de la aleación 2 contenía sólo el 45 % de mercurio, mientras la aleación 1 contenía el 62% y el 69% la aleación 3. La superficie de la aleación 1 contenía, después de la cocción a 600 °C durante 20 minutos, el 12-13% de mercurio.



Figura 4: Las muestras después del calentamiento durante 20 minutos a 500°C, 550°C y 600°C.

Conclusión

Los autores anteriores no habían tenido en cuenta el uso del plateado con amalgama para chapar los objetos y habían presentado datos que parecían excluir esta posibilidad [5-10]. Sin embargo, los análisis EPMA y LA-ICO-MS han demostrado claramente el uso de mercurio en las monedas de plata romanas tardías. Se han efectuado una serie de experimentos para investigar los factores que influyen en el plateado por amalgama. Las investigaciones sobre la importancia de la composición de la aleación han probado su primordial importancia. Los resultados mostraron que la composición de la aleación es importante para facilitar el éxito del plateado. Las aleaciones cuaternarias, similares a las de las monedas romanas, son esenciales para el éxito del plateado, permitiendo a la aleación sufrir un calentamiento a temperatura suficiente para volatilizar el mercurio al máximo.

El uso de aleaciones cuaternarias para la producción de monedas, así como su contribución al proceso de plateado es una prueba más del conocimiento tecnológico de los trabajadores de los talleres romanos. Esta información es crucial, ya que proporciona una teoría alternativa al hecho de la presencia de una baja concentración de plata (1-5%) en las monedas, que por otro lado, no afecta al color de la aleación.

Los numismáticos han creído que estas pequeñas cantidades de plata dotaban a la moneda de un valor intrínseco, pero los resultados de estos estudios han demostrado que un criterio tecnológico es el que justifica la presencia de plata.

Los experimentos también han demostrado que la preparación de la amalgama fue crucial para la producción exitosa de esta capa de plateado. Los experimentos llevados a cabo con anterioridad a estos, habían utilizado amalgamas preparadas de una manera simple. Sin embargo, ahora se tomaron como referencia los textos antiguos para llevar a cabo una preparación más trabajada. Esto fue probado con éxito. Los resultados experimentales hasta la fecha muestran una capa inferior en mercurio a lo que consiguió anteriormente, con una finura comparable a la observada en las aleaciones de monedas. Sin embargo, aún es necesario ir más allá en los trabajos para aclarar otras cuestiones tales como el papel de la pareja Ag/Pb en la producción de una capa mejor, la aplicación del plateado antes de la acuñación a fin de reducir la duración del proceso, el uso de temperaturas más altas en períodos más cortos para reducir la presencia de mercurio en la superficie.

La importancia de estas investigaciones se extiende no sólo a la tecnología numismática, sino también a un análisis más amplio del plateado. El chapado en plata por amalgama debe considerarse pues como una posibilidad para todos los otros artefactos arqueológicos e históricos recubiertos de plata.

Agradecimientos

El apoyo financiero de esta investigación fue proporcionado por la República Helénica, State Scholarship's Foundation (S.S.F.). Los autores desean agradecer al Museo Británico y, en particular, al Dr. Andrew Burnnett, encargado del Departamento de Monedas y Medallas y al Dr. Michael Cowell, del Departamento de Investigación Científica, no sólo las facilidades para el acceso al archivo Cope sino también su apoyo. El Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Manchester y NERC por el uso de las instalaciones de microsonda electrónica y al Sr. Dave Plant por llevar a cabo los análisis.

Referencias

- 1 R.A.G. Carson, *Coins of the Roman Empire*, 1st ed. (Routledge, London and NY, 1990).
- 2 K. W. Harl, *Coinage in the Roman Economy, 300 B.C. to A.D. 700* (The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, 1996).
- 3 C. Vlachou, R.C. Janaway, and J.G. McDonnell, "The metallurgical investigation of the tetrarchic nummi," (cd-rom Archaeometry 2000, Mexico City).
- 4 C. Vlachou, G. McDonnell, R. Janaway *et al.*, "Silver plating in Late Roman Coinage: Implications of New Evidence," presented at the Archaeological Science 2001, Newcastle, 2001 (unpublished).
- 5 L.H. Cope, "Surface-Silvered Ancient Coins," in *Methods of chemical and metallurgical investigation of ancient coinage*, edited by E.T. Hall and D.M. Metcalf (Royal Numismatic Society, London, 1972), pp. 261-278.
- 6 L. H. Cope, *The metallurgical development of the Roman Imperial Coinage During the first five centuries AD.* (PhD Thesis, Liverpool Polytechnic, 1974).
- 7 L.H. Cope, "The argentiferous Bronze Alloys of the large Tetrarchic Folles of A.D. 294-307," *Numismatic Chronicle* VIII, 115-149 (1968).
- 8 K. Anheuser and J.P. Northover, "Silver plating on Roman and Celtic coins from Britain - a technical study", *The British Numismatic Journal* 64, 22-32 (1994).
- 9 S. La Niece, "Silvering," in *Metal plating and patination: cultural, technical and historical developments*, edited by S. La Niece and P. Craddock (Butterworth-Heinemann, Oxford, 1993), pp. 201 - 210.
- 10 K. Anheuser, "Where is all the amalgam silvering?," in *Materials Issues in Art and Archaeology V*, edited by P. Vandiver, J.R. Druzik, J.F. Merkel *et al.* (Materials Research Society, Massachusetts, USA, 1997), Vol. 462, pp. 127-134.
- 11 H. Lechtman, "A pre-Columbian technique for electrochemical replacement plating of gold and silver on copper objects," *Journal of Metals* 31, 154-160 (1979).
- 12 W.A. Oddy, "A history of gilding with particular reference to statuary," in *Gilded Metals. History, Technology and Conservation*, edited by T. Draymann-Weisser (Archetype Publications Ltd., London, 2000), pp. 1-20.
- 13 Theophilus, *On divers arts : the treatise of Theophilus* (The University of Chicago Press, 1963).
- 14 V. Biringuccio, *The Pirotechnica of Vannoccio Biringuccio.* (American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New York, 1959).
- 15 M. Berthelot, *Collection des anciens alchimistes Grecs* (Georges Steinheil, Paris, 1888) Recipe No25 pp.328 .
- 16 S. La Niece, "Technology of silver plated coin forgeries," in *Metallurgy in Numismatics*, edited by M Archibald and M. Cowell (Royal Numismatic Society Special publication, London, 1993), Vol. III, pp. 227-236.
- 17 K. Eremin and N. Holmes, "Counterfeiting of 16th century Scottish coins," presented at the Counterfeiting- ancient and modern, London, 2000 (unpublished).
- 18 C. Vlachou, G. McDonnell, and R. Janaway, "New evidence for the process used to silver plate counterfeit dirhams" *Numismatic Chronicle* (2002) (in press).
- 19 A.H. Morton, "An Iranian Hoard of Forged Dirhams," *Numismatic Chronicle* 15, 155 - 168 (1975).
- 20 K. Anheuser, "An investigation of amalgam gilding and silvering on metalwork," PhD., Oxford University, 1996.
- 21 Benvenuto Cellini, "The treatises of Benvenuto Cellini on goldsmithing and sculpture," (Dover Publications, New York, 1967).
- 22 C.S. Smith and J.G. Hawthorne, *MAPPAE CLAVICULA* (The American Philosophical

Society, Philadelphia, 1974).

23 P.T. Craddock, “*The composition of the copper alloys used by the Greek, Etruscan and Roman civilisations. 2. The archaic, classical and hellenistic greeks.*” *Journal of Archaeological Science* **4**, 103 - 123 (1977).

24 W.A. Oddy, M.R. Cowell, P.T. Craddock *et al.*, “The gilding of bronze sculpture in the classical world.,” in *Small Sculpture from the Ancient World.*, edited by M. True and J. Podany (Getty Museum, Malibu, 1990), pp. 103-124.

25 P. Jett, “*A study of the gilding of Chinese Buddhist bronzes*” in *Metal plating and patination: cultural, technical and historical developments*, edited by S. La Niece and P. Craddock

(Butterworth-Heinemann, Oxford, 1993), pp. 193-200.

26 P. Jett and W. T. Chase, “*The gilding of metals in China.*” in *Gilded Metals. History, Technology and Conservation*, edited by T. Draymann-Weisser (Archetype Publications Ltd., London, 2000), pp. 145-156.

Fuente:

<http://www.forumancientcoins.com/historia/Silvering%20on%20Roman%20coins.pdf>