

ESTUDIOS SOBRE METALES ARQUEOLÓGICOS QUEMADOS

Ignacio Montero Ruiz⁽¹⁾, Salvador Rovira Llorens⁽²⁾

⁽¹⁾Dpto. de Prehistoria, Instituto de Historia (CSIC). C/ Serrano, 13. 28001-Madrid

⁽²⁾Museo Arqueológico Nacional. C/ Serrano, 13. 28001-Madrid

Resumen

El registro arqueológico nos ofrece materiales metálicos que han sido sometidos a un proceso de quemado ya sea intencional, por su inclusión en ajueres funerarios con el rito de cremación, bien de manera accidental por fuegos o incendios. Se intentan observar e identificar las huellas que este proceso ha podido dejar en materiales metálicos no ferreos: unas veces visualmente reconocibles por la propia deformación del objeto y otras acudiendo a los estudios metalográficos para observar la estructura del metal. Se presentan varios casos de piezas procedentes de yacimientos arqueológicos bien contextualizados, principalmente de la Edad del Hierro, estudiados dentro del Proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica.

1. Introducción

La investigación arqueometalúrgica trata de obtener información tecnológica y contextual de los materiales metálicos bajo su estudio. La mayoría de las veces las técnicas de análisis aplicadas se centran en determinar la composición de los elementos mayoritarios (aleaciones) y minoritarios. Con los primeros se logra una primera caracterización tecnológica de la manufactura y con los segundos se abordan estudios de procedencias, una de las principales líneas de investigación desarrolladas desde los primeros estudios analíticos de artefactos metálicos arqueológicos en el siglo XIX [1] con éxito desigual.

Además de los análisis de composición, la metalografía permite definir con mayor detalle el proceso de manufactura seguido por la pieza. Los estudios metalográficos han sido hasta la fecha minoritarios y centrados principalmente en piezas aisladas o singulares, siendo excepciones algunos trabajos de conjuntos como el realizado a las puntas Palmela [2], el estudio de espadas del Bronce Final inglesas [3] o el estudio general sobre la metalurgia de la Edad del Bronce en la Península Ibérica [4].

La metalografía nos muestra algunas de las circunstancias seguidas en la vida útil de la pieza, quedando, por ejemplo, registradas las deformaciones del esfuerzo mecánico al que el objeto fue sometido, principalmente en zonas de filo. Pero además, a veces, es la única forma de identificar si ha estado involucrada en algún proceso térmico.

Los rituales de cremación son la principal actividad humana intencionada en la que los objetos de metal han podido, como parte del ajuar del difunto, estar sometidas a fuertes temperaturas. En la Península Ibérica la cremación es la forma característica de enterramiento en diversas culturas del I milenio A.C. Sin embargo, otras circunstancias fortuitas como incendios que destruyen poblados han podido en ocasiones afectar directamente a los objetos metálicos atrapados en ellos. Recientemente se ha identificado procesos de calentamiento o de quemado previos a la deposición ritual de espadas del Bronce Final en lugares acuáticos. Así se han identificado en objetos del depósito de Wilburton, en el de Duddingston y esporádicamente en otros casos de depósitos fluviales ingleses [3].

2. Temperaturas

Las temperaturas que se alcanzan tanto en incendios como en cremaciones son variables y dependen de diversos factores, pero en ocasiones son suficientemente elevadas como para deformar el metal o incluso llegar a fundirlo. Existen suficientes ejemplos de objetos deformados por el calor recuperados en necrópolis, pudiendo citarse entre ellos las fibulas anulares de bronce (Fig. IXX) de La Revilla de Catalañazor [5, 6] fechadas en los siglos V-III a.C. La completa fundición es más inusual pero está documentada en un objeto de plata de la necrópolis de Folly Lane, al sur de Inglaterra, fechada en el siglo I d.C. [7].

Los efectos del calor en las piezas de metal son en la mayor parte de los casos invisibles y sólo observando la microestructura cristalina del metal mediante metalografía son apreciables los procesos de recristalización que el calor ocasiona. Según recopilan Northover y Montague [8] estos efectos dependen de varios factores tanto del propio fuego como de la pieza de metal de que se trate. La estructura inicial del metal, su composición, la disposición del objeto en relación a la fuente de calor, la temperatura alcanzada, el tiempo de mantenimiento de esa temperatura, la velocidad de enfriamiento, así como la atmósfera en la que es calentado influyen en el resultado final.

Temperatura y tiempo son las dos variables principales que rigen el fenómeno de recristalización de un metal. La relación entre ambas viene dada por la ecuación de Arrhenius y para que el tiempo sea razonablemente breve la temperatura ha de ser alta. En la actualidad, teniendo en cuenta dicha ecuación y los diagramas de equilibrio de fases de las aleaciones, los metalúrgicos saben cuáles son las temperaturas más idóneas y los tiempos necesarios para conseguir las microestructuras que buscan, en particular el tamaño de grano especificado. En el caso de bronce alfa (con menos del 15% Sn en peso), temperaturas del orden de 650° a 800° C producen buenas recristalizaciones en un tiempo de una media hora. Si la temperatura es inferior el tiempo se alarga extraordinariamente.

En los bronce alfa, al calentarlos, aparece una fase líquida rica en estaño cuando se alcanza la temperatura inferior de sus intervalos de fundición dados por el diagrama de equilibrio de fases, que se sitúa en intersticios del armazón sólido de granos alfa o exuda en la superficie. Si la temperatura sigue aumentando la fase líquida crece y en un momento que depende de la composición, las superficies gotean y, finalmente, la pieza se desmorona, pierde su forma.

Si la temperatura alcanzada no altera la forma, cuando se enfría lentamente el metal recristaliza en cristales de hábito hexagonal, se homogeneiza la composición por interdifusión del estaño y el tamaño de grano es grande y con tendencia a la uniformidad.

Así, pues, la valoración de la microestructura de un bronce quemado se explica mediante la observación de las alteraciones respecto de lo que sería de esperar si el metal no hubiera estado sometido a altas temperaturas después del proceso de fabricación.

Algunos trabajos experimentales de cremación señalan que se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 1000 °C y que la posición del objeto metálico dentro de la pira es determinante en los efectos térmicos registrados, llegando aquellos situados sobre el cuerpo y en las zonas más calientes a fundirse [8]. Las temperaturas consideradas para las cremaciones Sajonas (siglos V-VII d.C) de Illington son alrededor de 900° C en función de la presencia de cuentas de vidrio semifundidas [9]. Sin embargo, muchas cremaciones antiguas no alcanzaron temperaturas tan elevadas ya que los propios restos óseos conservados demuestran que no se superaron constantemente los 800°C, siendo el tipo de combustible empleado un elemento clave en la intensidad y duración de la temperatura de cremación [10]. En el caso de hogueras y fuegos se hace mención a temperaturas entre 380 y 550 °C, siendo difícil superar los 700° C. Temperaturas, no obstante, suficientes para un proceso de recocido del metal.

Esta variabilidad de temperaturas y condiciones de calor impiden en algunos casos de baja temperatura asegurar que el recocido observado sea fruto de la acción térmica por quemado y no el producto de la manufactura del objeto. En esta circunstancia se encuentran algunas piezas de la necrópolis italiana de Chiavari fechada en los siglos VIII y VII a.C. El estudio de treinta tumbas señala que en todas ellas las piras superaron los 700°C, con variaciones zonales importantes. De los objetos metálicos solo unos pocos presentan tratamiento térmico de alta temperatura relacionado con el proceso de cremación, pero en el resto se identifican micro estructuras de recocido producidas a bajas temperaturas [11] por lo que no es posible asegurar que sea efecto exclusivo del proceso de cremación.

3. Algunos ejemplos

Se enumeran a continuación algunos ejemplos de piezas estudiadas dentro del Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica con diversas situaciones provocadas por el calor al que estuvieron sometidas.

3.1. Brazaletes refundidos de la necrópolis de incineración de Els Colomers (Pallars, La Segarra, Llerida).

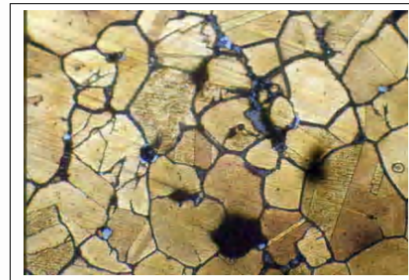
Se trata de un mazo de brazaletes de sección cuadrada de unos 2,5 mm de lado, deformados y algunos parcialmente refundidos por el fuego de la pira funeraria. La composición de varios de estos brazaletes (tabla 1) es de bronce binario con estaño entre el 10-15% e impurezas de plomo.

Tabla 1.- Análisis por XRF (% en peso) de brazaletes refundidos de Els Colomers.

NUM_ANA.	NUM_INV.	FE	NI	CU	ZN	AS	AG	SN	SB	PB
PA2652	CP-7	0.70	nd	87.58	nd	nd	0.022	10.86	0.037	0.75
PA2664	CP-9	1.03	0.25	83.43	nd	nd	0.026	13.77	0.028	1.20
PA2667	CP-10	0.67	0.36	86.00	nd	nd	0.018	12.46	0.028	0.50
PA2669	CP-11	0.63	0.22	83.42	nd	nd	0.014	14.94	0.044	0.68

La metalografía (fig1.) muestra una microestructura de granos de sección poligonal, de hábito hexagonal. Se observan granos maclados aunque su número es bastante pequeño. La pieza estudiada es un bronce con 12.5% Sn y 0.5% Pb (PA2267). Con esa composición es de esperar que, al calentar, aparezca fase líquida a unos 820° C. Como hay un pequeño porcentaje de plomo, a temperatura algo más baja se produce exudado del metal de un compuesto rico en plomo.

Fig1. Metalografía del brazaletes CP-10 de Els Colomers



Las maclas residuales indican que la pieza metalografiada fue martilleada en frío para conformarla y luego recocida durante el proceso de fabricación. Sin embargo, la mayor parte de dichas maclas han desaparecido por un efecto térmico posterior cuyo calor provocó una nueva recristalización. La temperatura de la pira, en la zona en donde se encontraba la pieza, no debió superar los 820° C el tiempo suficiente para fundir el metal, pero si el necesario para

que el exudado “pegara” las piezas y alterara su forma. La pulsera con 15% Sn (PA2669) comienza a fundir antes, a 798°, por lo que ha sufrido mayor deformación.

3.2. Broches de Cinturón de garfios de la Necrópolis de Las Cumbres (Puerto de Santa María, Cádiz).

Se trata en este caso de material procedente de una necrópolis de incineración que se fecha en el Bronce Final, durante el siglo VIII a.C. [12 y 13]. Se han estudiado dos broches de cinturón.

Tabla 2.- Análisis por XRF (% en peso) de Broches de Cinturón de la Necrópolis de Las Cumbres

NUM_ANA.	NUM_INV.	FE	NI	CU	ZN	AS	AG	SN	SB	PB
AA1437	Superficie	0.014	0.07	92.49	0.13	nd	0.004	6.88	0.043	0.27
AA1438	Nec.Des.41-60	0.006	0.03	90.77	0.15	nd	0.001	8.98	nd	nd

La pieza metalografiada es la AA1437, de bronce con 9% Sn. Con tal composición, la fase líquida comenzaría a unos 850° C. Presenta una microestructura de granos de sección poligonal, de hábito hexagonal. No se observan granos maclados. El tamaño de grano no es regular, pero hay cristales grandes cuya formación toma más tiempo. Por otro lado, estos broches de cinturón son piezas de fundición, acabadas en ocasiones con ligeros retoques a martillo. Tanto si estuvo originalmente recocida como si no, la microestructura actual es de bronce completamente recristalizado, sin maclas, que puede atribuirse a la acción de un fuego intenso y duradero cuya temperatura no superó la cifra antes mencionada.

3.3. Vaso de plata, caldero de bronce y brazaletes de cobre de la tumba de inhumación de la Casa del Carpio (Belvis de la Jara, Toledo).

El ajuar de esta sepultura de inhumación que se fecha entre los siglos VII-VI a.C es complejo [14]. Entre las varias piezas metálicas destacan varios fragmentos de recipientes metálicos en bronce y plata, adornos (anillos y brazaletes) en ambos metales y restos de una fibula y un broche de cinturón de bronce. Algunas de estas piezas presentan síntomas de haber sido quemadas, pero en este caso el contexto arqueológico es una inhumación por lo que el fuego debió intervenir o en un ritual previo o en un incendio, ya que no todas las piezas presentan los efectos intensos del calor.

Los materiales a comentar son un brazaletes de cobre de sección ligeramente ovalada, con diámetro superior a los 40 mm; un fragmento de borde de brasero o caldero con un remache que une la lámina a otra placa con un asa fragmentada. Este fragmento más complejo presenta una composición de bronce binario en torno al 11 % Sn (AA1486A). Fragmentos de un vaso de perfil bitroncocónico de plata muy pura con impurezas de cobre (1%), sin que se detecte ni oro ni plomo.

Tabla 3.- Análisis por XRF (% en peso) de la tumba de la Casa del Carpio

NUM_ANA	TIPO	NUM_I	FE	NI	CU	ZN	AS	AG	SN	SB	AU	PB
AA1486A	Caldero (chapa)	31557	0.07	0.10	87.15	0.17	nd	0.008	12.17	nd	--	0.15
AA1486B	Caldero (remache)	31557	1.00	0.55	73.98	0.37	0.17	0.020	12.31	0.05	--	10.3
AA1477	Vaso	31546	0.24	0.55	0.983	nd	nd	98.22	nd	nd	nd	nd
AA1492	Brazaletes	31548	1.02	0.41	98.27	0.02	nd	0.036	0.190	0.06	--	nd

La manufactura de los brazaletes debió partir de un alambre o varilla fundido, sin embargo la estructura metalográfica revela que la pieza de cobre (AA1492) fue doblada en caliente conservando la formación de cristales poliédricos equiaxiales propios del recocido, sin embargo no quedan restos de maclado que indiquen la foja en frío previa, circunstancia que si se observa en el segundo brazaletes del ajuar.

La estructura metalográfica de la lámina del brasero o caldero (fig 2 a) revela la realización de un recocido intenso con presencia de granos equiaxiales de gran tamaño producto de un enfriamiento lento. No quedan huellas del trabajo de martillado con el que lógicamente debió conformarse la pieza, únicamente se percibe la deformación mecánica previa en el aplastamiento de algunos poros e impurezas. El remache de esta misma pieza presenta también una estructura de recocido intenso (fig. 2b), sin restos de huellas de martilleo en frío que deforman la estructura dendrítica al tratarse de objetos fundidos. La falta de huellas de martilleo, tanto en la lámina como en el remache, y la estructura de recocido térmico en ambos apuntan hacia la formación de la misma como consecuencia de un incendio u hoguera en la que el objeto estuvo involucrado, con un proceso de enfriamiento lento. La microestructura de lámina y remache es muy similar, incluso en el tamaño de grano, lo que es indicio de largo tiempo de permanencia en caliente de ambos elementos, que fue capaz de igualar el tamaño de grano de dos microestructuras originalmente diferentes. También el brazalete tiene el mismo tamaño de grano. La composición de la lámina tendría una temperatura de aparición de fase líquida de alrededor de 815° C.

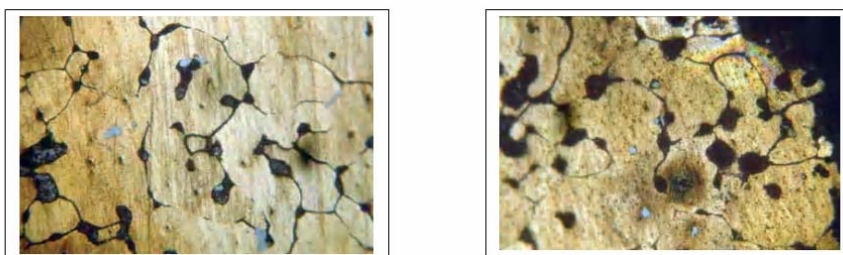


Fig.2 Metalografía de la chapa (a) del y del remache (b) del caldero.

Desde el punto de vista técnico el vaso de plata muestra una estructura de granos poliédricos de tamaño bastante homogéneo propio de un proceso de recocido y sin restos de maclado que señalen la existencia del trabajo de conformación de la pieza, con decoración de la parte inferior mediante embutido y repujado. Este tipo de estructura ya se había observado en un brazalete y un fragmento de caldero, relacionándolo con un suceso ajeno al ritual funerario, pero en el que debió producirse un incendio suficientemente intenso, donde quedaron atrapadas estas piezas, posteriormente depositadas en una urna junto con otros materiales cerámicos y metálicos no afectados por el fuego.

4.- Conclusiones

La identificación de metales quemados puede realizarse de manera visual si la temperatura alcanzada ha sido capaz de deformar o fundir el metal. Sin embargo, en la mayoría de los casos los objetos sometidos a calor en procesos de cremación, rituales de deposición o por incendios fortuitos, no llegan a mostrar externamente huellas del calor al que han estado sometidos. La metalografía es la única vía de identificar el efecto térmico debido a la recristalización de la estructura del metal. Son características estructuras de granos poliédricos de gran tamaño por enfriamiento lento, sin embargo el recocido a baja temperatura no permite siempre diferenciar entre la estructura generada durante el proceso de fabricación de la pieza y la producida por quemado de la misma.

REFERENCIAS

[1] E. Pemicka. "Whiter metal analysis in archaeology?". En C. Mordant, M. Pernot, V. Rychner (eds.): *L'atelier du bronzier en Europe du XX au VIII siècle avant notre ère*. Actes du

- colloque international Bronze'96 Neuchâtel et Dijon, I: Les analyses de composition du métal: leur apport à l'archéologie de l'Âge du Bronze, pp. 259-267. Paris, CTHS, 1998.
- [2] S. Rovira, I. Montero y S. Consuegra. "Archaeometallurgical study of Palmela arrow heads and other related types". En Archeometallurgia Ricerche e Prospettive. Atti del colloquio Internazionale di Archeometallurgia, Bologna 18-21 ottobre 1988, pp 269-289. CLUEB, 1992.
- [3] S. Bridgford. "British Late Bronze Age Swords. The metallographic evidence". En C. Mordant, M. Pernot, V. Rychner (eds.): L'atelier du bronzier en Europe du XX au VIII siècle avant notre ère. Actes du colloque international Bronze'96 Neuchâtel et Dijon, II: Du minerai au métal, du métal à l'objet, pp. 205-216. Paris, CTHS, 1998
- [4] S. Rovira y P. Gómez Ramos. Las primeras etapas metalúrgicas. III Estudios metalográficos. Madrid. 2001.
- [5] T. Ortego. "La necrópolis arevaca de La Revilla (Soria)". XVI Congreso Nacional de Arqueología, pp. 573-579. Zaragoza, 1983.
- [6] J.L. Argente. Las fibulas de la Edad del Hierro en la Meseta Oriental. Valoración tipológica, cronológica y cultural. Excavaciones Arqueológicas en España, 168. Ministerio de Educación y Cultura. Madrid. 1994.
- [7] J.P. Northover y V. Cheel. "Cremated metal". En R. Niblett: The excavation of a ceremonial site at Folly Lane, Verulamium. Britannia Monograph Series, 14, pp.177-182. Londres. 1999.
- [8] J.P. Northover y R. Montague. "Heat-altered metal". En A.P. Fitzpatrick: Archaeological Excavations on the Route of the A27 Westhampnett Bypass, West Sussex, 1992. Vol 2: The Late Iron Age, Romano-British, and Anglo-Saxon cemeteries. Wessex Archaeology Report, 12, pp. 90-91. Wessex Archaeology. 1997.
- [9] C. Wells. "A study of cremation". Antiquity, XXXIV (1960) 29-37.
- [10] P. Shipman, G. Foster y M. Schoeninger. "Burnt bones and teeth: a experimental study of color, morphology, crystal structure and shrinkage". Journal of Archaeological Science, 11 (1984) 307-325.
- [11] P. Piccardo, M.R. Pinasco, M.G. Ienco y R. Maggi. "Étude métallurgique d'objets en bronze des VIII-VII siècles av.J.-C. de la nécropole ligurienne de Chiavari (Gênes-Italie)". En C. Mordant, M. Pernot, V. Rychner (eds.): L'atelier du bronzier en Europe du XX au VIII siècle avant notre ère. Actes du colloque international Bronze'96 Neuchâtel et Dijon, II: Du minerai au métal, du métal à l'objet, pp. 193-204. Paris, CTHS, 1998.
- [12] D. Ruiz Mata. "El túmulo 1 de la necrópolis de Las Cumbres (Puerto de Santa María, Cádiz)". En M.E. Aubet et alii: Tartessos. Arqueología Protohistórica del Bajo Guadalquivir, pp. 287-295. Ed AUSA, 1989.
- [13] I. Córdoba y D. Ruiz Mata. "Sobre la construcción de la estructura tumular del Túmulo 1 de Las Cumbres (Castillo de Doña Blanca)". Actas del IV Congreso Internacional de Estudios fenicios y Púnicos, Vol. II, pp. 759-770. Universidad de Cádiz, 2000.
- [14] J. Pereira y E. de Alvaro. "El enterramiento de la Casa del Carpio, Behis de la Jara (Toledo)". Actas del Primer Congreso de Arqueología de la Provincia de Toledo, pp. 215-234. Diputación Provincial de Toledo, 1990.

