

ΜΕΤΑΛΛΑ και ΑΡΧΑΙΟΜΕΤΡΙΑ

Η ιστορία της τεχνολογίας δίνει πολλά παραδείγματα υλικών που χρησιμοποιήθηκαν από τους πρώτους ανθρώπους για μαγικούς, θρησκευτικούς ή καλλιτεχνικούς σκοπούς, πολύ πριν οι λειτουργικές τους ιδιότητες γίνουν αντιληπτές. Σάν παράδειγμα ας αναφέρουμε τον αίματιτη, τον γκετίτη και τον λιμονίτη, φυσικά μεταλλεύματα του σιδήρου, που χρησιμοποιήθηκαν σαν χρωστικές ουσίες (τίς γνωστές άχρες) πολύ πριν ανακαλυφθούν οι μεταλλουργικές τους ιδιότητες¹. Οι τρόποι έλευθέρωσης του σιδήρου από τα παραπάνω όξειδια, καθώς και άλλων μετάλλων από τα άρχικά τους μεταλλεύματα, όπως εξελίχθηκαν στους προϊστορικούς χρόνους, είναι ένα από τα πολλά θέματα που έρευνά η αρχαιομετρία σήμερα. Η Αρχαιομετρία είναι ένας καινούριος σχετικά έρευνητικός κλάδος, που ασχολείται με την εφαρμογή των θετικών επιστημών στην αρχαιολογία. Τα τελευταία δέκα χρόνια, η συμμετοχή της αρχαιομετρίας στην επίλυση αρχαιολογικών προβλημάτων έχει γίνει σχεδόν απαραίτητη. Αυτό συμβαίνει γιατί η αρχαιολογία έπαψε να βασίζεται αποκλειστικά και μόνο σε μία στενά ιστορική και αισθητική εξέταση των ευρημάτων μιας ανασκαφής, υιοθετώντας, έπιπλέον, ένα ανθρωπολογικό υπόβαθρο. Σκοπός αυτής της διεύρυνσης στην προσέγγιση του αρχαιολογικού υλικού είναι η μελέτη του πολιτιστικού επιπέδου της περιοχής που εξετάζεται, όπως αυτό εκφράζεται κυρίως μέσα από την αρχιτεκτονική, την τεχνολογία, τις συναλλαγές με άλλες περιοχές και τη μορφή της θρησκευτικής λατρείας.

Έφη Φώτου

Χημικός Κ.Π.Ε. «Δημόκριτος»

ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	ΑΡΧΑΙΟΜΕΤΡΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ
Χρονολόγηση	Έμμεση χρονολόγηση από κεραμικά, οργανικές ουσίες κ.ά.	
Προέλευση	Σύγκριση αρχαίων μεταλλικών αντικειμένων με μέταλλα από ορυχεία που πιστεύεται ότι είχαν χρησιμοποιηθεί στην αρχαιότητα	α) Αναλυτικές μέθοδοι ιχνοστοιχείων: Νετρονική ενεργοποίηση (NAA), Ατομική απορρόφηση (AA), Φθορισμός ακτίνων-Χ(XRF), Φασματοσκοπία εκπομπής (OES) β) Λόγος σταθερών ισοτόπων μολύβδου, Φασματοσκοπία μάζας (MS)
Τεχνολογία κατασκευής	Στάδιο Ι: Έκκαμινευση, Τρόπος εξαγωγής μετάλλου από το αρχικό μέταλλευμα με τη μελέτη αρχαίων σκουριών και υπολειμμάτων φούρνων Στάδιο ΙΙ: Κατασκευή, 1. Σύσταση κράματος, 2. Έπεξεργασία αντικειμένου.	Αναλυτικές μέθοδοι για σκουριές: Περιθλαση ακτίνων-Χ(XRD), Σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), Μικροαναλυτής, Μεταλλογραφία. Αναλυτικές μέθοδοι κ.ά. για καθαρά μέταλλα και κράματα: Φθορισμός ακτίνων-Χ(XRF), Φασματοσκοπία εκπομπής (OES), Νετρονική ενεργοποίηση (NAA), Ατομική απορρόφηση (AA), Μικροαναλυτής, Μεταλλογραφία, Ραδιογραφία.

Στὴν μέχρι σήμερα μορφολογική - αισθητική ἀνάλυση τῶν εὐρημάτων, προστίθεται μιὰ μεθοδευμένη εξέταση τοῦ ἴδιου τοῦ ὑλικοῦ, δηλαδή τοῦ πηλοῦ, τοῦ μαρμαροῦ ἢ τοῦ μεταλλοῦ ποῦ θὰ μᾶς ἀσχολεῖται σ' αὐτό τό ἀρθρο². Ποιά ὁμῶς εἶναι τὰ σημαντικότερα ἐρωτήματα στὰ ὁποῖα ἀδιαφέρειται νά ἀπαντήσει ἕνας ἀρχαιολόγος σχετικὰ μέ τὰ μεταλλικά ἀντικείμενα (ἀλλά καί ὄχι μόνο αὐτά) καί πῶς μπορεῖ νά βοηθηθεῖ ἀπό τήν ἀρχαιομετρία; Τά βασικότερα ἐρωτήματα εἶναι τρία καί ἀναφέρονται στήν **ἡλικία**, τήν **προέλευση** καί τόν **τρόπο κατασκευῆς** τοῦ ἀντικειμένου. Ὁ Πίνακας ποῦ παραθέτουμε, παρουσιάζει συνοπτικά τὰ τρία αὐτά προβλήματα, συμπιλεμβάνοντας τή μεθολογία ποῦ ἀκολουθεῖται, καθώς καί τίς ἀναλυτικές τεχνικές ποῦ χρησιμοποιοῦνται, προκειμένου νά ἐπιχειρήσουμε νά δώσουμε μιάν ἀπάντηση.

Ἡλικία

Ἡ χρονολόγηση τῆς τελευταίας κατασκευῆς - χρήσης τοῦ μεταλλικοῦ ἀντικειμένου γίνεται, σήμερα ἀκόμη, μόνο ἔμμεσα, δηλαδή μέ τή χρονολόγηση ὀργανικῶν οὐσιῶν καθώς καί κεραμικῆς (ισοτράκων) ποῦ ἔχουν ἀπομείνει καί ποῦ προέρχονται ἀπό τό ἴδιο στρώμα. Γιά μέν τόν προσδιορισμό τῆς ἡλικίας τῶν ὀργανικῶν οὐσιῶν χρησιμοποιεῖται εὐρύτητα ὁ ἀνθράκας -14, γιά δέ τὰ κεραμικά ἡ θερμωφωταύγεια ἢ καί ὁ ἀρχαιομαγνητισμός³.

Προέλευση

Ἐνῶ γιά τή χρονολόγηση μᾶς ἐνδιαφέρει ἡ ἡλικία τοῦ ἴδιου τοῦ ἀντικειμένου, γιά τήν προέλευσή του ἡ ἐμφαση βρίσκεται τόσο στό μέταλλευμα ποῦ χρησιμοεσε ὡς πρώτη ὕλη, ὅσο καί στό καθαρό μέταλλο ἢ τό κράμα ἀπό τό ὁποῖο εἶναι τελικά κατασκευασμένο. Ἐτοί, στό ἐρώτημα ποιά εἶναι ἡ προέλευση ἑνός ἀντικειμένου, ἀπό πλευρᾶς ἀρχαιομετρικῆς δέν ἐνδιαφέρει τόσο μέσα ἀπό ποιές ἐμπορικῆς συναλλαγῆς κατέληξε στό χώρο τῆς ἀνασκαφῆς ἀλλά ποιά ἦταν ἡ ἀρχική πηγή, τό ὄρυχείο, ἀπ' ὅπου

Εἰκ. 1. Γήσινα μεταλλεύματα: α) αἰματίτης, β) μαλαχίτης καί ἀζουρίτης γ) γαληνίτης, δ) κασσιτερίτης.



Hematite



Malachite and azurite



Galena



Cassiterite

πάρθηκε το μέταλλευμα. 'Ο προσδιορισμός του ορυχείου ή, συχνότερα, του είδους του μεταλλεύματος, γίνεται με σύγκριση των ίχνοστοιχείων ή των ισοτοπικών λόγων ενός στοιχείου του μεταλλεύματος με τα αντίστοιχα του μεταλλικού αντικειμένου. Γενικά, το πρόβλημα της προέλευσης είναι πολύπλοκο και η σημερινή μεθοδολογία δεν οδηγεί πάντα σε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στόν πίνακα περιλαμβάνονται, όπως ήδη αναφέρθηκε, και οι φυσικοχημικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση. 'Επειδή σκοπός αυτού του άρθρου είναι περισσότερο η επεξήγηση της αρχαιολογικής μεθοδολογίας παρά η περιγραφή των τεχνικών (για τις οποίες υπάρχει εξάλλου άφθονη βιβλιογραφία) περιλάβαμε στο τέλος ένα γλωσσάρι με τόν όρισμό της κάθε μεθόδου περιληπτικά. Γενικά, πρέπει να τονισθεί, ότι όλες οι παραπάνω τεχνικές βασίζονται σε ένα φυσικοχημικό φαινόμενο που εξετάζει και εξηγεί τις διαφορές αλληλεπιδράσεις του υλικού με μία μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως οι ακτίνες γ και Χ, η υπέρυθρη ακτινοβολία κλπ. Μέσα από αυτές τις αλληλεπιδράσεις μπορούν η σύσταση, η μορφή και οι ιδιότητες του υλικού να γίνουν αντιληπτές και κατανοητές από τους παρατηρητές, είτε με αναλυτικές, είτε με μικροσκοπικές μεθόδους. Οι πληροφορίες που προέρχονται από φυσικοχημικές μετρήσεις πρέπει στη συνέχεια, με πολλή προσοχή και σωστή αξιολόγηση, να μεταφραστούν σε αρχαιολογικές απαντήσεις. 'Αλλά ως επιστρέφουμε στο θέμα της προέλευσης.

Στην εικόνα 1 παρουσιάζονται τέσσερα όρυκτα όμοια με αυτά που χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι μεταλλουργοί. 'Από τόν αιματίτη (α) έπαιρναν τόν σίδηρο, από τόν μαλαχίτη (β) τόν άζουρίτη (β) τόν χαλκό, από τόν γαληνίτη (γ) τόν μολύβι και τόν άσμη και από τόν κασσιτερίτη (δ) τόν κασίτερο⁵. 'Ο αιματίτης, παρόλο που στη φυσική του μορφή είναι μαύρος, όταν θρυμματιστεί δίνει μία κόκκινη σκόνη που ποικίλλει σε τόνους (άπό πορτοκαλί μέχρι βαθύ κόκκινο) ανάλογα με τήν περιεκτικότητα του σε άλλες προσμείξεις. 'Ο αιματίτης χρησιμοποιήθηκε, όπως αναφέραμε

στην εισαγωγή, σάν πηγή για τόν κόκκινο χρώμα, ενώ ό μαλαχίτης και ό άζουρίτης σάν πηγές για τόν πράσινο και τόν μπλέ χρώμα αντίστοιχα. 'Αν και ή μεθολογία για τήν αναζήτηση τού είδους της πρώτης ύλης και τών πηγών της είναι ή ίδια, τόσο για τά μέταλλα όσο και για τά μάρμαρα και τούς πηλούς, μερικά από τά προβλήματα που συναντώνται είναι, όπως βιά δούμε, διαφορετικά. 'Ετσι, δύο ή περισσότερα μεταλλεύματα που μπορεί νά προέρχονται από τόν ίδιο ορυχείο είναι πολύ πιθανό νά παρουσιάζουν σημαντική άνομοιογένεια στά ίχνοστοιχεία που περιέχουν. Παρόμοια άνομοιογένεια παρουσιάζεται και στά αντικείμενα, όπου ή διαφοροποίηση στη σύσταση δεν προέρχεται μόνο από τήν άρχική κατασκευή αλλά και από τή διάβρωση λόγω μακροχρόνιας παραμονής στο έδαφος. 'Ενα ούσιαστικό πρόβλημα που παρουσιάζεται στην ταύτιση τών ίχνοστοιχείων είναι ή προσθήκη συλλιπασμάτων κατά τή διάρκεια της εκκαμίνευσης δηλαδή της έλευθέρωσης τού μετάλλου από τόν μετάλλευμα. Τά συλλιπασματα είναι ούσεις που σκαπό έχουν τήν πρόκληση αντίδρασης με τά μη άπαραίτητα συστατικά τού μεταλλεύματος για τήν παραγωγή σκουριάς. 'Ετσι έπιτρέπουν τόν διαχωρισμό τού μετάλλου σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από τόν σημείο τήξέως του. Αυτά μεταφέρουν τά δικά

τους ίχνοστοιχεία, που είναι διαφορετικά ή που βρίσκονται σε διαφορετικές άναλογίες στο άρχικό μέταλλευμα.

Σημαντικότερο ίσως πρόβλημα στην ταύτιση τών ίχνοστοιχείων και γενικότερα στην αναζήτηση τών πηγών τών βασικών μετάλλων είναι τόν γεγονός ότι τά μεταλλικά αντικείμενα μπορούν νά χυτευθούν πολλές φορές. Είναι γνωστό ότι κατά τήν έποχή της ύστερης χαλκοκρατίας, μεταλλικά ύπολειμματα (scraps) από τήν πρώτη και μέση χαλκοκρατία είχαν χυτευθεί σε νέα αντικείμενα, με αποτέλεσμα τήν πλήρη άνάμειξη όλων τών στοιχείων.

Γιά όλους αυτούς τούς λόγους που αναφέραμε εδώ και για έναν άλλο, εξ ίσου σημαντικό, δηλαδή ότι λίγα είναι τά ορυχεία που έξερουμε ότι χρησιμοποιήθηκαν στην αρχαιότητα, ήταν άναγκαίο νά βρεθούν άλλες φυσικές παράμετροι που δέν θά έπηρεάζαν από τούς παραπάνω παράγοντες. Και ή κατάλληλη λύση βρέθηκε στά ισότοπα τού μολύβδου. 'Ο μολύβδος βρίσκεται σε μικρές ή σημαντικές ποσότητες σε πολλά κράματα ή και καθαρός, σε μολύβδινα αντικείμενα της αρχαιότητας. 'Η χρήση του ήταν εύρύτετη έπειδή αύξάνει τήν ευχέρτητα κάθε κράματος, ακόμη κι όταν είναι σε σχετικά μικρές ποσότητες. Με τόν φασματογράφο μάζας μετριέται ή άναλογία τών τεσσάρων σταθερών ισότοπων τού μολύβδου, μέσα στο μέταλλευμα, που είναι χαρακτηριστικά για διαφορετικά ορυχεία. Τό γεγονός αυτό όφείλεται στο ότι μερικά από τά ισότοπα παράγονται από τή ραδιενεργό διάσπαση πυρηνών ούρανίου και θορίου που υπάρχουν μέσα στο μέταλλευμα. 'Ετσι ή άναλογία τού μεταλλεύματος σε αυτά τά ισότοπα είναι έπί πλέον συνάρτηση της ηλικίας και της περιεκτικότητας τού ούρανίου και τού θορίου. 'Επειδή οι ισοτοπικοί λόγοι δέν έπηρεάζονται ούτε από τις διαδικασίες της εκκαμίνευσης ούτε από τή διάβρωση, μετρώντας τις άναλογίες τών ισοτοπικών λόγων στά μολύβδινα ή άργυρα αντικείμενα και συγκρίνοντας τις με αυτές γνωστών ορυχείων μπορεί κανείς νά προσδιορίσει τήν πηγή. Πρόσφατα, και με βάση αυτή τή μεθολογία, άπομοιεύθηκαν τά έντυπωσιακά αποτελέσματα

Εικ. 2. Σκουρίό από έκκαμίνευση σίδηρου με τόν χαρακτηριστικό σχήμα δακτύλων, από τήν 'Αρχαία 'Αγορά της 'Αθήνας.



της μακρόχρονης έρευνας των N. Gale και S. Stos-Gale γύρω από τις πηγές του μόλυβδου και του αργυρου στο Αιγαίο⁶. Ο γαληνίτης συναντάται σε πολλά νησιά του Αιγαίου. Η περιεκτικότητά του σε άργυρο είναι μεγαλύτερη στα κοιτάσματα του Λαυρίου και της Σίφνου, τα οποία, όπως απέδειξαν οι δύο έρευνήτες, είχαν χρησιμοποιηθεί ήδη από την πρώτην χαλκοκρατία. Ο μόλυβδος και ο άργυρος ήταν αντικείμενο εμπορικών συναλλαγών μεταξύ της Κρήτης, των Κυκλάδων, της Αττικής και της βορειο-ανατολικής Πελοποννήσου κατά το μεγαλύτερο μέρος της εποχής του χαλκού.

Τεχνολογία, στάδιο I

Όπως φαίνεται και στον πίνακα, η τεχνολογία της κατασκευής χωρίζεται σε δύο στάδια: κατ' αρχάς στην εκκαμίνευση και τον καθαρισμό του μετάλλου και κατόπιν στην ανάμειξη του κράματος (όταν χρειαστεί) και την επεξεργασία για την τελική κατασκευή του αντικειμένου. Στην τελευταία υπάγονται και οι τεχνικές της διακόσμησης που ποικίλλουν ανάλογα με το μέταλλο, τη φαντασία και δημιουργικότητα του καλλιτέχνη. Άν για τη μελέτη της προέλευσης χρειάζονται το αρχικό μέταλλευμα και το τελικό αντικείμενο, για την εξέταση της τεχνολογίας της κατασκευής είναι απαραίτητα τα ύπολειμ-

ματα της εκκαμίνευσης, δηλαδή οι σκουριές.

Άν και σε πολλά μέρη της Ελλάδας έχουν βρεθεί πολλές σκουριές (όπως αυτή της εικόνας 2), το θέαμα είναι περισσότερο εντυπωσιακό σε μερικές περιοχές της Κύπρου όπου μπορεί κανείς να βρεί ολόκληρους λόφους. Συνήθως παρουσιάζονται σε δύο διαφορετικά χρώματα, δηλαδή κόκκινο και μαύρο. Οι μέν κόκκινες είχαν ονομαστεί, από τους αρχαιολόγους, Φοινικικές, οι δέ μαύρες Ρωμαϊκές, γιατί πίστευαν ότι ήταν διαφορετικής χρονολογίας. Αποδείχθηκε όμως πρόσφατα ότι απλά έχουν προέλθει από διαφορετικούς τρόπους εκκαμίνευσης των μεταλλευμάτων του χαλκού⁷. Γενικά το χρώμα και το σχήμα κάθε σκουριάς ποικίλλει ανάλογα με το αρχικό μέταλλευμα, τις προσμειξεις καθώς και την οξειδωτική (πλούσια σε οξυγόνο) ή αναγωγική (πλούσια σε μονοξειδίο του άνθρακα) ατμόσφαιρα του καμινιού. Ο διαχωρισμός της σκουριάς από το καθαρό μέταλλο είναι συνάρτηση του μετάλλου που ελευθερώνεται καθώς και της διαδικασίας της εκκαμίνευσης που ακολουθείται.

Συνήθως για την ανάπλαση των τρώνων εκκαμίνευσης του μετάλλου χρειάζονται, εκτός από τις σκουριές (που είναι απαραίτητο να βρεθούν *in situ*) και απομεινάρια καμινιού ή φούρνου καθαρισμού, χωνευτήρια και άκροφisia. Μέχρι στιγμής, οι πε-

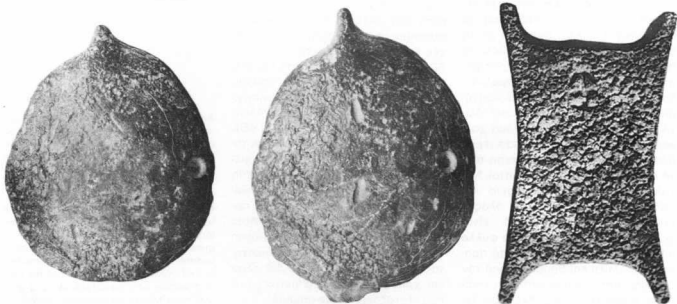
ριοχές στις οποίες παρουσιάζονται όλα αυτά τα στοιχεία μέσα στον Έλληνικό χώρο είναι πολύ λίγες σε σύγκριση με άλλες όπου έχουν βρεθεί φούρνοι για κεραμικά.

Οι σκουριές μελετώνται με τον μικροαναλυτικό και το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο για τον προσδιορισμό των μεταλλικών και μη εγκλεισμάτων. Τα εγκλείσματα δίνουν μια πρώτη έκτιμηση του τύπου του αρχικού μεταλλεύματος, καθώς και του τρόπου της εκκαμίνευσης, ενώ η περιθλαση ακτίνων Χ δίνει τις κρυσταλλικές φάσεις των ορυκτών που βρίσκονται παρόντα.

Τεχνολογία, στάδιο II

Η τελική διαμόρφωση ενός μεταλλικού αντικειμένου από το αρχικό μέταλλευμα είναι μια διαδικασία πολύπλοκη και σταδιακή που ποικίλλει με το είδος του προϊόντος. Για την κατασκευή ενός χρυσού αντικειμένου, αρκούσε να βρεθεί το καθαρό μέταλλο, όπως υπάρχει στη φύση, και να δουλευτεί από τον τεχνίτη σε ένα κόσμημα ή κάποιο αντικείμενο αισθητικής ή συμβολικής αξίας — κι αργότερα

Εικ. 3. α. Χελώνες από μόλυβδο, προέρχονται από τους Δελφούς. Η διάμετρος τους είναι περίπου 20 εκ. (Φωτογρ. GL. ROLLEY, Γαλλική Αρχαιολογική Σχολή). β. Πέλεκος χάλκινος από την Κύπρο. Μήκος περίπου 70 εκ., βρίσκεται στο Βρετανικό Μουσείο στο Λονδίνο.



λειτουργικής, με τη μορφή νομισμάτων. Αντίθετα η εκάμινευση του χαλκού από τα θειούχα μεταλλεύματα του είναι μία διαδικασία που αποτελείται από πολλά στάδια και βασίζεται στην ένταξη οξειδωτικής και αναγωγικής ατμόσφαιρας με την κατάλληλη προσθήκη συλλυψασμάτων. Συνήθως, και ανάλογα με το μέταλλο, η εκκάμινση είχε σαν αποτέλεσμα να κατακάθεται στο βάθος του καμινιού το σχετικά καθαρό μέταλλο, με τη μορφή ημισφαιρίου (έπιπλοδο επάνω και κυρτό κάτω), όμοιο με το αντίκειμενο της εικ. 3α. Πρόκειται για δύο «χελώνες» ή «τάλαντα» από μόλυβδο που προερχόταν από τους Δελφούς. Στην εικ. 3β έχουμε ένα χάλκινο πέλεκυ από την Κύπρο. Οι χελώνες και οι πελέκεις ήταν το σχήμα με το οποίο γίνονταν συνήθως οι έμπορικές συναλλαγές του καθαρού μετάλλου, μετά τον τελικό του καθαρισμό. Το τεχνίτης έπαιρνε τις χελώνες αυτές, έλυωνε το μέταλλο και είτε το χρησιμοποιούσε για την κατασκευή κράτους, είτε το χύτευσε στο τελικό καλούπι, είτε σε άλλο, κατάλληλο για σφυρηλάτηση σε λεπτό φύλλο. Η επεξεργασία ήταν συνάρτηση του μετάλλου/κράτους που δούλεψε ο τεχνίτης και του αντικείμενου που ήθελε να κατασκευάσει. Η θερμική επεξεργασία στην οποία υπόκειτο το αντικείμενο κατά τη διαμόρφωσή του, φαίνεται συνήθως πολύ καθαρά όταν ένα μικρό δείγμα, κατάλληλα έτοιμασμένο, εξεταστεί με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Η μηχανική επεξεργασία συνίσταται κυρίως στη σφυρηλάτηση, είτε σε ψυχρή, είτε σε θερμή κατάσταση και η θερμική ποικίλλει ανάλογα με τη σκληρότητα που ο τεχνίτης ήθελε να πετύχει στο μέταλλο που χρησιμοποιούσε. Σάν παράδειγμα παρουσιάζουμε στην εικ. 4 τον γνωστό κρατήρα του Δερβενιού (ο οποίος, παρ' όλη τη χρυσή όψη του, είναι κράμα χαλκού και κασσίτερου (ο κασσίτερος βρισκόταν σε πολύ μεγαλύτερη από τη συνηθισμένη περιεκτικότητα). Μεταλλογραφικές παρατηρήσεις και ραδιογραφία απέδειξαν ότι όλος ο κρατήρας, μέχρι το λαϊμό, είναι φτιαγμένος από ένα και μόνο φύλλο μπρούντζου². Το γεγονός αυτό προκαλεί έκπληξη και θαυμασμό για τον τεχνίτη, γιατί είναι γνωστό ότι είναι πολύ δύσκολη η σφυρηλάτηση λε-

πτού φύλλου μπρούντζου με ψηλή περιεκτικότητα σε κασσίτερο (περίπου 15%). Ο πίνakas περιέχει τις αναλυτικές μεθόδους για την εξέταση των κραμάτων, όπως ο φθορισμός των ακτίνων Χ, η φασματοσκοπία εκπομπής, η νετρονική ενεργοποίηση, ατομική απορρόφηση και μικροαναλυτική, οι οποίες μετρούν την περιεκτικότητα στα βασικά στοιχεία καθώς και στα ίχνοστοιχεία. Η μεταλλογραφία μελετά τη θερμική και μηχανική επεξεργασία του κράματος, όπως αναφέραμε ήδη, ενώ η ραδιογραφία μπορεί να διαγνώσει λεπτομέρειες στην κατασκευή του αντικείμενου που δεν είναι άμεσα εμφανείς.

Στόχος της άρχαιομετρίας

Η άρχαιομετρία, στην προσπάθεια ανάπλασης της άρχαιας τεχνολογίας, μελετά τη σύσταση και τις συνθήκες επεξεργασίας του τελικού αντικείμενου με φυσικοχημικές μεθόδους. Είναι γνωστό ότι το ίδιο υλικό μπορεί να αποκτήσει διαφορετικές ιδιότητες και έπομένως να χρησιμοποιηθεί διαφορετικά αν υποβληθεί σε διαφορετικές συνθήκες επεξεργασίας. Έτσι, ο καθαρός χαλκός ήταν πολύ μαλακός για να χρησιμοποιηθεί για όπλα, αλλά αναμειγμένος με κασσίτερο αποκτούσε μεγαλύτερη σκληρότητα ακόμα κι από τον σίδηρο. Επίσης, ο σίδηρος (με λίγο άνθρακα δηλ. χάλυβα) που ο τεχνίτης βουτούσε σε κρύο νερό, μετά τη θέρμανση και σφυρηλάτησή του, αποκτούσε σκληρότητα μεγαλύτερη από οποιοδήποτε κράμα. Η τεχνική αυτή της σκλήρυνσης του χάλυβα συστηματοποιήθηκε μόνο από τις αρχές του 19ου αιώ. και μετά. Είναι φανερό ότι η σύσταση και οι ιδιότητες του μετάλλου είναι καθοριστικές για την ωφέλιμοιτική χρήση ενός αντικείμενου σαν όπλο, εργαλείο ή νόμισμα, ή την αισθητική του αξία σαν κόσμημα ή έργο τέχνης³. Από τους λοιπών σκοπούς της άρχαιομετρίας είναι, μέσα από την ανεύρεση της προέλευσης των αρχικών υλικών και κυρίως την ανάπλαση της αρχαίας τεχνολογίας, να οδηγηθεί στην κατανόηση του τρόπου σκέψης — ευστήθως και δημιουργικότητας — των ανθρώπων που έδρασαν και χρησιμοποιούσαν τα αντικείμενα που εξετάζουμε έμεις σήμερα.

Σημειώσεις

1. Από την εισαγωγή του πολύ ενδιαφέροντος άρθρου της D. SCHMANDT — BESSERAT, *Ocher in Prehistory, 300.000 Years of the Use of Iron Ores as Pigments since The Coming of the Age of Iron*, New York, 1977.
2. Μία πληθώρα υλικών μελετά σήμερα η άρχαιομετρία. Περιλαμβάνονται: άργιλοι, μάρμαρα, μέταλλα, (όπως χρυσός, άργυρος, μόλυβδος, σίδηρος, χαλκός και τα κράματά τους σε αντικείμενα που είναι κατασκευασμένα από αυτά: νομίσματα, όπλα, κοσμήματα κ.ά.), γυαλιά, έφθυλαση και φαεινότητα, χρωστικές ουσίες, πέτρες (όπως οφάνιο, πυρόλιθο κ.ά.) καθώς και όργανικές ουσίες (όπως κόκκαλα, κοχύλια, απόρους κ.ά.).
3. Για μία λεπτομερή ανάλυση των βασικότερων μεθόδων χρονολόγησης βλέπε M.J. AITKEN, *Physics in Archaeology*, London 1974. Για μία περιληπτική εισαγωγή βλ. σημ. 4.
4. Για μία πολύ καλή περιγραφή των τεχνικών και των εφαρμογών τους στην άρχαιολογία, βλ. M.S. TITE, *Methods of Physical Examination in Archaeology*, Seminar Press, 1972.
5. Αυτά δεν είναι τα μόνα μεταλλεύματα από τα οποία ανάγονται μέταλλα, αλλά ποικίλων σύμφωνων με τον γεωλογικό πλούτο της κάθε χώρας ή της κάθε περιοχής. Άν το μεγαλύτερο ποσοστό του χρησιμοποιούμενου κασσίτερου, στην εποχή του χαλκού, ήταν προχρηματικός ή προέρχονταν από τον κασσίτερο, παραμένει ένα έρώτημα που άποσχοιέι πολύ τους ειδικούς.
6. N. GALE και S. STOS - GALE, *Lead and Silver in the Ancient Aegean*, στο *Scientific American*, Ιούλιος 1981.
7. A. STEINBERG και F. KOUCKY, *Preliminary Metallurgical Research on Ancient Cypriot Copper Industry* στο *American Expedition to Ithalon, Cyprus, First Preliminary Report: Seasons of 1971-1972*, L.E. Stager, A. Walker και E. Wright editors, Cambridge Mass., 1974.
8. Γ. ΒΑΡΟΥΦΑΚΗΣ, *Μεταλλουργική έρευνα γύρω από τον κρατήρα του Δερβενιού*, AE 1978, σελ. 160-180.
9. C.S. SMITH, *Metallurgy as a Human Experience*, New Haven - London, 1980.

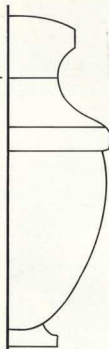
● Το σύντομο αυτό άρθρο αφιερώνεται στον πατέρα μου.

Metals and Archaeometry

Archaeometry is a relatively new discipline that involves the application of physical, earth and biological sciences in archaeology. Its aim is to help answer some of the fundamental questions that concern the modern archaeologist, namely the provenance of the starting materials, the dating and technology of manufacture of the artifact. It is hoped that, in the long run, the elucidation of this type of questions will, eventually, lead to a better understanding of the creativity, sensitivity and overall way of thinking of the men and women who manufactured and utilized the artifacts we examine today.



Εικ. 4. Τα ζώα, στη ζωφόρο του λαιμού του κρατήρα του Δερβενίου, άκουμπάνε τα πόδια τους επάνω στο σημείο σύνδεσης των δύο φύλλων, του μεγάλου που αποτελεί το σώμα του κρατήρα και του μικρού από το οποίο είναι φτιαγμένο το στόμιο.



Γλωσσάρι

Ήατομική άπορρόφηση (Atomic Absorption: AA). Λάμα όριμένης άκτινοβολίας (μήκους κύματος) που εκπέμπεται από άτομα ενός στοιχείου π.χ. χαλκού (Cu) άπορροφάται από το ίδιο το στοιχείο (δηλ. Cu) που βρίσκεται μέσα στο εξεαερωμένο, κατόπιν χημικής διάλυσης, δείγμα (π.χ. μπρούντζο). Το ποσό της άκτινοβολίας που άπορροφάται είναι άνάλογο της σύστασης του άντικειμένου στο στοιχείο αυτό. Διαφορετικές λάμπες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των διαφόρων στοιχείων.

Έκκαμνευση (smelting). Βλέπε παράγρ. «προέλευση».

Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Είναι ένα άνακλαστικό μικροσκόπιο δηλ. το φώς δέν διαπερνά το δείγμα άλλα άνακλάται από την κατάλληλα γυαλισμένη επιφάνεια του (μεγέθυνσης μέχρι 500 φορές). Δέν χρησιμοποιείται σαν άναλυτικό μέσο, δηλ. για την ποσοτική άνάλυση της σύστασης του άντικειμένου, άλλα για τη μελέτη του τρόπου κατασκευής δηλαδή της θερμικής και μηχανικής επεξεργασίας την όποια έχει ύποστεί. **Μικροανάλυτης (Electron Probe Microanalyser).** Συνδυάζει τις άρχές του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και του φθορισμού με άκτινες Χ. Δέσμη ηλεκτρονίων με διάμετρο μεγαλύτερη από αυτή του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου βομβαρδίζει το δείγμα. Από τη σύγκρουση δέν παράγεται ρεύμα ηλεκτρονίων, άλλα άκτινες Χ, που εμφανίζονται σε μήκη κύματος χαρακτηριστικά για κάθε στοιχείο και με έντάσεις άνάλογες της περιεκτικότητας τους.

Νετρονική ενεργοποίηση (Neutron Activation Analysis: NAA). Βασίζεται στη διέγερση άτομικών πυρήνων και προκαλείται από τών βομβαρδισμό του δείγματος με νετρόνια τα όποια μεταμορφώνουν τούς πυρήνες τών στοιχείων που συνθέτουν το δείγμα σε άσταθη ραδιενεργά όϊστοπα. Τα όϊστοπα αυτά διασπώνται σε χρόνους που ποικίλλουν από λεπτά της ώρας μέχρι χρόνια. Κατά τη διάσπαση εκπέμπονται άκτινες γ με ενέργεια χαρακτηριστική για κάθε στοιχείο και με έντάσεις άνάλογες της ποσότητας τών παρόντων στοιχείων.

Περιβόση άκτίνων Χ (X-ray Diffraction: XRD). Δίνει την κρυσταλλική δομή τών ορυκτολογικών φάσεων καθώς και τών χημικών συστατικών (όχι στοιχείων) που αποτελούν το δείγμα. Άκτινες Χ με πολύ καλά προσδιορισμένο μήκος κύματος προσπίπτουν στα άτομικά στρώματα της κρυσταλλικής κυψελίδας και άνακλώνται από αυτά. Ό άποστάσεις μεταξύ τών άτομικών στρωμάτων όρίζουν αν οι άνακλώμενες άκτινες θα είναι ίσχυρες ή άσθενείς και σε ποιο μήκος κύματος θα εκπέμπονται, προσδιορίζοντας έτσι την ταυτότητα τών παρόντων ορυκτών.

Σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Scanning Electron Microscope: SEM). Δέσμη ηλεκτρονίων βομβαρδίζει το δείγμα άφου περάσει μέσα από μαγνήτη που τη μικραίνει σημαντικά σε διάμετρο και της επιτρέπει συγχρόνως να σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος. Από τη σύγκρουση αυτή προκαλείται ρεύμα ηλεκτρονίων το όποιο δίνει πληροφορίες για την εσωτερική μορφολογία, δηλ. το ποσόν της γυάλινης άμορφης μάζας και την κατανομή τών πόρων.

Σκουρίες (slags). Ύπόλειμμα της έκκαμνευσης που παράγεται όταν το γεωδές υλικό του μεταλλεύματος άντιδράσει με συλλήψματα.

Συλλήψματα (fluxes). Βλέπε κείμενο παράγρ. «προέλευση».

Φασματογραφία μάζης (Mass Spectrometry: MS) Είναι μία τεχνική που βασίζεται στη διαφοροποίηση μεταξύ σωματιδίων, φορτωμένων με διαφορετική μάζα από ένα μαγνητικό πεδίο. Στόν φασματογράφο μάζας τα όϊστοπα ενός στοιχείου ίονίζονται και έπειδή έχουν διαφορετική μάζα το ποσόν το καθενός μετρείται χωριστά, προσδιορίζοντας έτσι και τόν λόγο τών περιεκτικότητών τους.

Φασματοσκοπία όπτικής έκπομης (Optical Emission Spectroscopy: OES). Είναι η υπεριώδης ή όρατη άκτινοβολία που εκπέμπεται όταν τα διεγερμένα, από ύψηλή τάση, ηλεκτρόνια τών άτόμων διαφόρων στοιχείων επανέλθουν στις άρχικες θέσεις. Η άκτινοβολία χωρίζεται με τη βοήθεια πρισματός σε καλά προσδιορίσιμα μήκη κύματων, από τα όποια συνίσταται και τα όποια είναι χαρακτηριστικά για όλα τα παρόντα στοιχεία. Έ ένταση της άκτινοβολίας έκπομης σε ένα όρισμένο μήκος κύματος άποτυπώνεται σε μία φωτογραφική πλάκα και είναι άνάλογο της περιεκτικότητας του στοιχείου άφου στο άντικείμενο.

Φθορισμός άκτίνων Χ (X-ray Fluorescence: XRF). Άκτινες Χ (άρχικες) από όρισμένη πηγή άκτινοβολούν το δείγμα με άποτέλεσμα την έκτόπιση ηλεκτρονίων από τις εξωτερικές στοιβάδες τών άτόμων των παρόντων στοιχείων. Ό κενές θέσεις συμπληρώνονται άμέσως από ηλεκτρόνια, στις έξωτερικές στοιβάδες. Κατά τη μεταφορά τών πορώντων άκτίνων Χ (δευτερεύουσες ή φθορισμού) οι όποιες χωρίζονται στα μήκη κύματος, από τα όποια συνίσταται, με τη βοήθεια ενός πρισματός. Η ένταση σε κάθε μήκος κύματος, όπως δίνεται από ειδικό μετρητή, είναι άνάλογο με την ποσότητα του κάθε στοιχείου που είναι παρόν.