

Η χύτευση των αγαλμάτων στην Αρχαία Ελλάδα

της Ελένης Μπαντέκα

Ι. Εισαγωγή

Τα μέταλλα είναι τα υλικά που βοήθησαν πολύ τον άνθρωπο στην ανάπτυξη του πολιτισμού του. Είναι υλικά με εξαιρετικές «μηχανικές ιδιότητες» στις οποίες οφείλεται και η εκτεταμένη χρησιμοποίησή τους.

Η επιστήμη που ασχολείται με τα μέταλλα είναι η «Μεταλλουργία», η οποία συνδέεται στενά με την ιστορία του ανθρώπινου πολιτισμού.

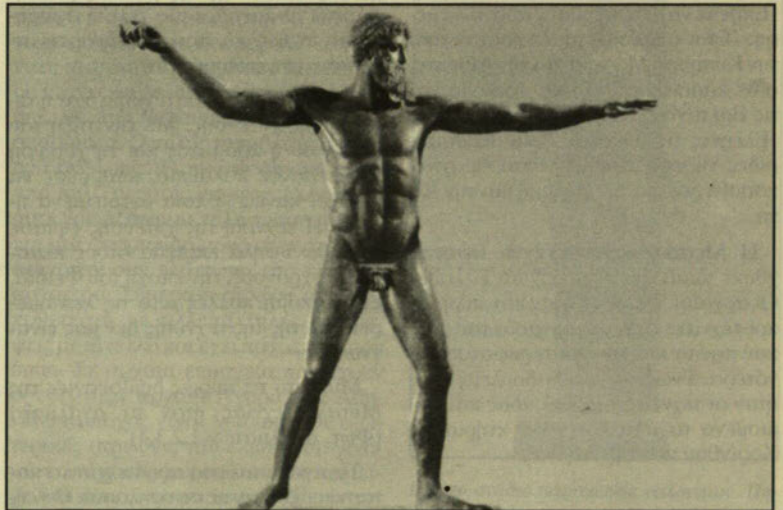
Κλάδοι της Μεταλλουργίας είναι:

- 1) η εξαγωγική Μεταλλουργία
- 2) η Μεταλλογνωσία.

Η πρώτη ασχολείται με την εξαγωγή των μετάλλων από τα μεταλλεύματα, ενώ η δεύτερη με:

- α) τη φυσική των Μετάλλων και των Κρυσμάτων στη στερεά κατάσταση.
- β) τη Μεταλλογραφία, που ασχολείται με τη δομή και τις ιδιότητες
- γ) τη Μεταλλοτεχνία, που ασχολείται με τη διαμόρφωση σε αντικείμενα.

Από την αρχή που ο άνθρωπος ανακάλυψε και χρησιμοποίησε τα μέταλλα, θα μπορούσε να τα περιγράψει σαν υλικά με γυαλιστερή όψη και λάμψη που ήταν σκληρά, αλλά συγχρόνως και πλαστικά, ενώ μπορούσε με χτύπημα με σφυρί να τους δώσει το σχήμα



«Ο Ποσειδάνας του Αρτεμησίου» 460 - 450 π.χ., Αθήνα, Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο. Πιθανός χαλκοπλάστης ο Κάλαμης ή ο Αιγινήτης γλύπτης Ονάτας.

που ήθελε. Είναι υλικά που χρησιμοποιούνται λόγω των μηχανικών τους ιδιοτήτων, στην κατασκευή εργαλείων και όπλων αλλά και κοσμημάτων και έργων τέχνης.

Είναι ιστορικά γνωστό ότι ο άνθρωπος κατ' αρχήν χρησιμοποίησε εργαλεία από λαξευμένη πέτρα. Πιθανόν κατά την 9η έως την 7η χιλιετηρίδα, να πρόσεξε και να άρχισε να χρησιμοποιεί τα αυτοφνή μέταλλα (άργυρος, χρυσός, χαλκός). Η διαμόρφωσή τους γινόταν κατ' αρχήν με σφυρηλασία η οποία γίνεται ευκολότερη εν θερμώ. Αργότερα, όταν έγινε δυνατή η πήξη των μετάλλων, αναπτύχθηκε και η τε-

χνική της διαμόρφωσης με χύτευση. Ακολούθησε η παραγωγή μετάλλων από τα μεταλλεύματά τους και η ανάμιξή τους με σκοπό την παραγωγή νέων υλικών (μεταλλικών κρυσμάτων) με καλύτερες ιδιότητες.

Το πρώτο μέταλλο του οποίου ο άνθρωπος έκανε ευρεία χρήση, ήταν ο χαλκός και αργότερα το κράμα του με κασσίτερο σε αναλογία περίπου 10:1. Το κράμα αυτό ονομάστηκε από τους αρχαίους Έλληνες, κρατέρωμα (κοινώς μπρούτζος). Η εποχή του κρατέρωματος κράτησε 2000 χρόνια, από το 3000 π.Χ. έως το 1000 π.Χ.

Η Ε. Μπαντέκα είναι αναπλ. καθ. στο Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργιών ΕΜΠ



«Μικρός Ιππίας από το Αρτεμίσιο». Μέσα 2ου π.Χ. αιώνα. Αθήνα, Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο.

Οι πρώτες ύλες για την παραγωγή κρατερώματος, δηλαδή ο χαλκός και ο κασσίτερος, δεν υπήρχαν στην κυρία Ελλάδα σε μεγάλες ποσότητες. Έπρεπε να μεταφερθούν από άλλα μέρη. Έτσι ο χαλκός μεταφερόταν από την Κύπρο, τη Μ. Ασία και την Αίγυπτο, ο δε κασσίτερος από την Ισπανία και τις Βρετανικές νήσους, που οι αρχαίοι Έλληνες τις ανέφεραν σαν Κασσιτερίδες νήσους. Στην Αίγυπτο έφεραν κασσίτερο από την Αφρική και την Κίνα.

Η Μεταλλουργική Τέχνη αναπτύχθηκε ιδιαίτερα στην αρχαία Ελλάδα. Οι αρχαίοι Έλληνες ήταν καταπληκτικοί τεχνίτες στην κατεργασία του χαλκού πρώτα και του κρατερώματος αργότερα. Γνωστοί για τη δουλειά τους ήταν οι τεχνίτες της Χαλκίδας και φημισμένα τα μεταλλοτεχνικά κτήρια της Κορίνθου και της Αίγινας.

II Τρόποι Κατεργασίας

Στην αρχαία Ελλάδα οι βασικοί τρόποι κατεργασίας των μετάλλων ήταν η διαμόρφωση με σφυρηλασία και η χύτευση. Με τη σφυρηλασία παράγονταν συνήθως όπλα και εργαλεία ενώ με τη χύτευση σκεύη και έργα τέχνης.

Η σφυρηλασία ήταν ο παλαιότερος τρόπος που κατεργάζονταν τα μέταλλα ακόμη και τα αυτοφυή, όπου με αλληπάλληλα χτυπήματα έκαναν το μέταλλο να αλλάξει σχήμα, αλλά και συγχρόνως να σκληραίνει. Με τον καιρό διαπιστώθηκε ότι όταν το μέταλλο είναι θερμό, διαμορφώνεται ευκολότερα και δε σκληραίνει. Έτσι αναπτύχθηκε η γνωστή σήμερα ως «κατεργασία εν θερμό».

Με την «εν θερμό κατεργασία» μπορούσε πλέον το μέταλλο να διαμορφωθεί εύκολα και σε περίπτωση που χρειαζόταν να έχει μεγαλύτερη σκληρότητα γινόταν και μια τελική σφυρηλασία εν ψυχρό, που του έδινε την απαιτούμενη σκληρότητα.

Προοδευτικά αναπτύχθηκε και η τεχνική της χύτευσης. Με την τήξη του μετάλλου ή κράματος και τη χύτευσή του μέσα σε καλούπια, μπορούσε να φτιάξει κανείς όποια αντικείμενα ήθελε. Η τεχνική της χύτευσης έφτασε σε πολύ υψηλά επίπεδα στους κλασικούς χρόνους, την εποχή του Φειδία, ενώ ακόμη πολλές από τις λεπτομέρειες αυτής της τεχνικής δεν μας είναι γνωστές.

Μια από τις κύριες δημιουργίες της Μεταλλοτεχνίας ήταν τα αγάλματα (Φωτ. αγάλματων 1,2,3,4)

Τα αγάλματα στα πρώτα χρόνια κατασκευάζονταν με σφυρηλασία. Ο γλύπτης χρησιμοποιούσε τότε συμπαγή κομμάτια μετάλλου και με χτυπήματα τους έδινε την τελική μορφή. Αργότερα, χρησιμοποιούσε φύλλα σφυρηλατά και αποτύπωνε τις μορφές που ήθελε. Κατόπιν τα κάρφωνα σε ξύλινο πυρήνα και τα κατεργάζονταν μέχρι την τελική μορφή.

Τέτοια αγάλματα έχουν βρεθεί στην Κρήτη. Για να αποδοθούν πιστότερα οι λεπτομέρειες, άρχισαν αργότερα να χυτεύουν τμήματα των αγαλμάτων, δηλαδή έφτιαχναν το κυρίως σώμα με σφυρηλασία ενώ το κεφάλι και τα άκρα τα χύτευαν χωριστά και μετά τα κολλούσαν στο σώμα. Η τεχνική αυτή φανερώνει ότι είχε αναπτυχθεί και τελειοποιηθεί σε υψηλό βαθμό η τεχνική των συγκολλήσεων.

Από το 6ο π.Χ. αιώνα, άρχισε η κατασκευή ολόκληρων αγαλμάτων με χύτευση, που αρχικά ήταν συμπαγή, συνήθως μικρά σε μέγεθος, γιατί τα μέγιστα θα είχαν πολύ μεγάλο βάρος (ένα ανθρώπινο σώμα από προούντζο ζυγίζει περίπου μισό τόνο.). Αργότερα η τεχνική τελειοποιήθηκε και κατασκευάστηκαν κοίλα αγάλματα, αφ' ενός για οικονομικούς λόγους (αξία μετάλλου) και αφ' ετέρου πρακτικούς (ελάττωση βάρους).

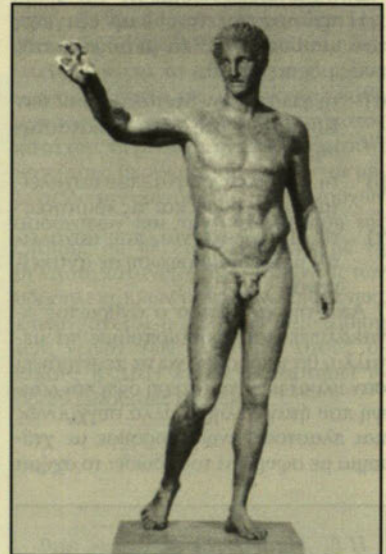
Η παράδοση όμως λέει ότι οι Σάμιοι γλύπτες Θόδωρος και Ρόϊκος, γνώριζαν από τον 7ο αιώνα να φτιάχνουν κοίλα χιτά.

III. Η τεχνική της χύτευσης

Η τεχνική της χύτευσης των αγαλμάτων, γενικεύτηκε τον 6ο π.Χ. αιώνα και έφθασε στην τελειότητα με το γλύπτη Φειδία. Πολλές λεπτομέρειες του τρόπου χύτευσης των αρχαίων, έγιναν γνωστές όταν ανακαλύφθηκε το προύτζινο άγαλμα του Απόλλωνα στον Πειραιά το 1959, όπου μαζί με το άγαλμα βρέθηκε και το καλούπι που είχε χρησιμοποιηθεί για τη χύτευση.

Η μέθοδος χύτευσης που βασικά χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι Έλληνες ήταν η μέθοδος του «χαμένου κεριού» ή του «καταναλισκόμενου κεριού».

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει δύο παραλλαγές: την «άμεση μέθοδο» και την «έμμεση μέθοδο». Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο είναι ότι στην πρώτη, το κερί χρησιμοποιείται σαν υλικό στο οποίο γίνεται απ' ευθείας η γλυφή του έργου, ενώ στη δεύτερη, το κερί



«Ο Έφηβος των Αντικυθήρων» 340 - 330 π.Χ. Αθήνα, Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο.

χρησιμεύει για να ληφθεί θετικό αντίγραφο του αρνητικού αποτυπώματος του προτύπου, που έχει γίνει από το γλύπτη σε υλικό μαλακό, ξύλο, πηλό, πέτρα ή και σκληρό κερί.

Και στις δύο μεθόδους απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις και την τεχνική.

Αναλυτικά οι μέθοδοι έχουν ως εξής:

α) Άμεση Μέθοδος χύτευσης με τη διαδικασία του «χαμένου κεριού»

Στην άμεση μέθοδο, ο γλύπτης σχηματίζει έναν πυρήνα από πηλό που σφριζείται σ' ένα μεταλλικό πλαίσιο. Ο πυρήνας είχε περίπου το τελικό μέγεθος του γλυπτού αλλά ήταν λίγο μικρότερος από το τελικό έργο. Όταν στεγνώνει καλά ο πυρήνας καλυπτόταν με κερί, και πάνω σ' αυτό το κερί ο γλύπτης με τα χέρια του και τα κατάλληλα εργαλεία, έδινε όλες τις λεπτομέρειες του γλυπτού. Δηλαδή, έκανε τη γλυφή του έργου σε τελική μορφή. Εδώ έπρεπε να προσέξει ιδιαίτερα, ώστε το πάχος του κεριού να είναι ομοιόμορφο, αλλιώς το μέταλλο που θα αντικαθιστούσε μετά το κερί, μπορούσε να παραμορφωθεί και να σπάσει λόγω θερμικών τάσεων κατά τη στερεοποίηση. Η καλύτερη αποτύπωση επιτυγχάνεται όταν το πάχος του κεριού είναι 3-5mm και η διαφορά πάχους μεταξύ των διαφόρων σημείων, όχι μεγαλύτερη των 3 mm. Η τελική χύτευση του μπρούτζου θα αντικαταστήσει και επομένως θα αντιγράψει την όψη αυτού του μοντέλου. Πολλές φορές το γλυπτό που φτιάχνεται με την άμεση μέθοδο, χω-

ρίζεται σε διάφορα τμήματα, τα οποία χυτεύονται χωριστά, έτσι που, αν ένα τμήμα καταστραφεί, να μπορεί να ξαναφτιαχτεί και να μη καταστρέφεται όλο το έργο.

Όταν τελειώνει η κατασκευή του προτύπου πάνω στο κερί, αυτό τοποθετούνταν ανάποδα, και για να γίνει αργότερα ομοιόμορφα η τροφοδοσία με ρευστό κράμα, κατασκευάζονταν ένα δίκτυο από κερί που με τη διαδικασία πύρωσης που επακολουθούσε, μετατρέποταν σε δίκτυο αγωγών. Με τον ίδιο τρόπο κατασκευάζονταν και απαγωγείς των αερίων που έπρεπε να φεύγουν κατά τη χύτευση.

Σ' αυτό το στάδιο τοποθετούνταν και καρφίδες, που θα κρατούσαν το πρότυπο σε σταθερή θέση και απόσταση από το εκμαγείο, την ώρα της χύτευσης. Από το ποσό του χρησιμοποιημένου κεριού υπολογίζεται το βάρος του κράματος που χρειαζόταν (περίπου 10 φορές περισσότερο από το κερί).

Αμέσως μετά, άρχισε η κατασκευή του καλουπιού με πηλό, που έπρεπε να έχει τις εξής δύο ιδιότητες. Πρώτον να περιγράφει με την μεγαλύτερη δυνατή πιστότητα το πρότυπο και δεύτερο ν' αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες, δηλ. να μην παρουσιάζει ρωγμές και σκασίματα. Ο πηλός τοποθετούνταν σε δύο στρώσεις. Η πρώτη στρώση ήταν από πηλό ρευστής μορφής. Η δουλειά αυτή χρειαζόταν μεγάλη προσοχή γιατί και μια φουσαλίδα μόνο στον πηλό θα φαινόταν σαν ελάττωμα στο μέταλλο αργότερα. Σήμερα η στρώση αυτή τοποθετείται με αλληπαλλήλες επαλείψεις με πινέλλο και έχει πάχος περίπου 6mm. Σε αρχαία εκμαγεία που έχουν βρεθεί στην αρχαία Αγορά των Αθηνών, το πάχος είναι 9-10mm. Οι εξωτερικές στρώσεις του εκμαγείου γίνονταν από χονδρότερο υλικό που περιείχε και άμμο, για να αποφευχθούν τυχόν ραγίσματα κατά το ψήσιμο του εκμαγείου. Σήμερα το ολικό πάχος μεγάλων εκμαγείων, κυμαίνεται από 76-127mm, ενώ τα αρχαία της Αγοράς έχουν μόνο πάχος 46-62mm. Η διαφορά πάχους, ίσως οφείλεται, στο ότι οι αρχαίοι έβαζαν μόνο δύο επιστρώσεις, ενώ σήμερα χρησιμοποιούμε τρεις.

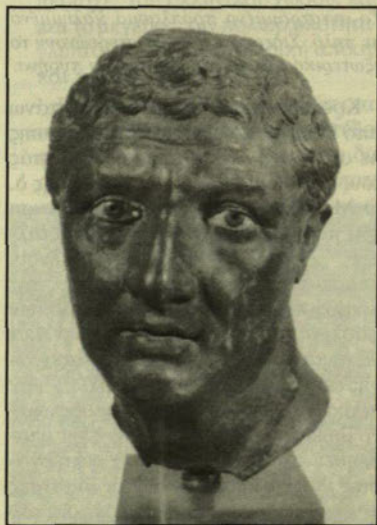
Ολόκληρη η κατασκευή τοποθετούνταν σ' ένα βάθρο ανεστραμμένη και γύρω της ανάβονταν φωτιά για να ψηθεί το καλούπι. Όλο το κερί και η υγρασία που ήταν στο εσωτερικό του πηλινου εκμαγείου, έπρεπε να καεί και να απομακρυνθεί γιατί και λίγο κερί αν έμενε στο εσωτερικό, όταν θαρχόταν σ' επαφή με το λυωμένο μέταλλο, θα δημιουργούσε φουσαλίδες και ελαττώματα στο τελικό έργο. Όταν τε-

λειώνει η έψηση του καλουπιού και η πλήρης καύση του κεριού ο πυρήνας έμενε στη θέση του, στηριζόμενος από τις μεταλλικές καρφίδες που είχαν τοποθετηθεί για να τον συνδέουν με το εξωτερικό του καλουπιού. Σήμερα το ψήσιμο του καλουπιού γίνεται άνετα στο φούρνο. Ο φούρνος θερμαίνεται σγά για τριάντα ή και περισσότερες ώρες. Κατά το ένα τρίτο του χρόνου, ο φούρνος είναι κόκκινος (500-650°). Όταν το κερί λυώσει και καεί και οι φλόγες του βγαίνουν έξω από το καλούπι, τότε το πηλίνο καλούπι με το αρνητικό αποτύπωμα, είναι έτοιμο ψημένο. Σβήνεται ο φούρνος και τα καλούπια αφήνονται να ψυχθούν πολύ αργά για να αποφευχθεί θραύση από θερμικές τάσεις. Στη συνέχεια, μετά το καθαίρισμα των καλουπιών από στάχτες κ.λπ., γίνεται η χύτευση του κρατηρώματος που έχει θερμοκρασία 1000-1100°C, εξαρτώμενη από τη σύνθεση του κράματος.

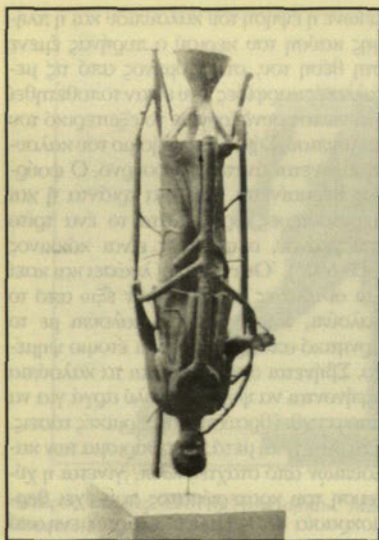


Πρώτο στάδιο παραγωγής καλουπιού. Πηλινός πυρήνας με σχηματοποιημένη μορφή χωρίς λεπτομέρειες.

Η τήξη του κράματος θα γινόταν βέβαια σε κάποιο καμίνι κοντά και με τη βοήθεια πυρήνα που χωνευτήριο θα μεταφερόταν στη χροάνη του καλουπιού και από εκεί δια των αγωγών, στο κενό που είχε απομείνει μετά την απομάκρυνση του κεριού. Από μεταλλουργικής πλευράς, η θερμοκρασία του κράματος και η ταχύτητα ροής, είναι μεγάλης σημασίας στη χύτευση, γιατί πρέπει το υγρό να καταλάβει όλες τις λεπτομέρειες του καλουπιού και να στερεοποιηθεί ομοιόμορφα για να μην αναπτυχθούν τάσεις και ανωμαλίες στην επιφάνεια του χυτού. Ο πηλός που έχει χρησιμοποιηθεί για το εκμαγείο



Άηλος, κεφαλή ανδρός, 100 π.Χ. Αθήνα, Αρχαιολογικό Μουσείο.



Ανεστραμμένο πρόπλασμα του αγάλματος στην τελειοποιημένη του μορφή, σκαλισμένη σε κερί. Φαίνονται οι αγωγοί και τα στηρίγματα καθώς και η χοάνη για τη χύτευση του μετάλλου.

πρέπει να έχει πλαστικότητα και να μπορεί να παρακολουθεί το μέταλλο που συστέλλεται κατά την πήξη αλλιώς πάλι θα σχηματισθούν ανωμαλίες στην επιφάνεια του χυτού.

Μετά 2 ώρες περίπου, αφαιρείται το εκμαγείο και αποκαλύπτεται το έργο. Αυτό γίνεται όσο το κρατέρωμα είναι ζεστό ακόμη, για να κρυώσει σχετικά γρήγορα και να μη προλάβει να σχηματιστεί η εύθραυστη φάση, η δ, στη μικρογραφική δομή του.

Τα χαρακτηριστικά της μεθόδου είναι ότι με τη χύτευση καταστρεφόταν το πρωτότυπο μοντέλο, καθώς και το καλούπι, και δε μπορούσε να επαναληφθεί η χύτευση σε περίπτωση αποτυχίας. Ο πυρήνας έμενε στο εσωτερικό του χυτού και απομακρυνόταν εν όλω ή εν μέρει εφ' όσον το σχήμα το επέτρεπε.

Το τελείωμα γινόταν με κοπή και απομάκρυνση των καρφιδίων, τη χάραξη μερικών λεπτομερειών, αν χρειαζόταν, και συγκόλληση των διαφόρων τμημάτων, εφ' όσον υπήρχαν. Τελικά, το χυτό γυαλιζόταν με μίγμα λαδιού και ρητίνης.

β) Έμμεση Μέθοδος

Η έμμεση μέθοδος διαφέρει από την άμεση στον τρόπο παρασκευής του εκμαγείου προτύπου. Συγκεκριμένα, η μέθοδος διαφέρει στα εξής σημεία:

Ο καλλιτέχνης φτιάχνει το πρωτότυπο σε τελική μορφή και μέγεθος, χρησιμοποιώντας ένα σχετικά εύκολο καταγεγραζόμενο υλικό (π.χ. πηλό, ξύλο

σκληρό κερί ή και μάρμαρο). Αυτό αποτελούσε το θετικό μοντέλο του οποίου έπαιρνε αρνητικό αποτύπωμα πάνω σε πηλό. Στην εσωτερική πλευρά τώρα αυτού του εκμαγείου, μετά την απομάκρυνση του πρωτότυπου τοποθετούσε στρώση κεριού, πάχους όσο ήθελε να είναι το πάχος του χυτού. Το κερί το έβαζε -ίσως με πινέλο- σε ρευστή κατάσταση και σε αλληπάλγητα στρώματα. Μετά τη στερεοποίηση του κεριού έφτιαχνε πυρήνα από κάποιο πυρίμαχο πηλό που έπρεπε όμως, να τοποθετηθεί σωστά και προσεκτικά για να μη χαλάσει το κερί στο οποίο ακουμπούσε. Στην έμμεση μέθοδο δεν χρησιμοποιούσε αρματοσιά για να κρατάει τον πυρήνα. Μετά από την κατασκευή του πυρήνα, απομακρύνονταν το αρχικό εκμαγείο (αρνητικό) και ελεγχόταν η απόδοση της επιφάνειας πάνω στο κερί, η οποία μπορούσε τώρα να τελειοποιηθεί αν χρειαζόταν.

Έτσι ο καλλιτέχνης κατασκεύαζε ένα κέρινο ομοίωμα του αρχικού έργου του, το οποίο θα χρησιμοποιούσε για τη χύτευση, χωρίς να χαλάσει το αρχικό του έργο, ούτε και το αρνητικό του εκμαγείο, που είχε αποτυπώσει πάνω στον πηλό. Αυτά και τα δύο, μπορούσε να τα ξαναχρησιμοποιήσει.

Από το στάδιο αυτό, ακολουθούσε πλέον την ίδια διαδικασία, που εφάρμοζε στην άμεση μέθοδο.

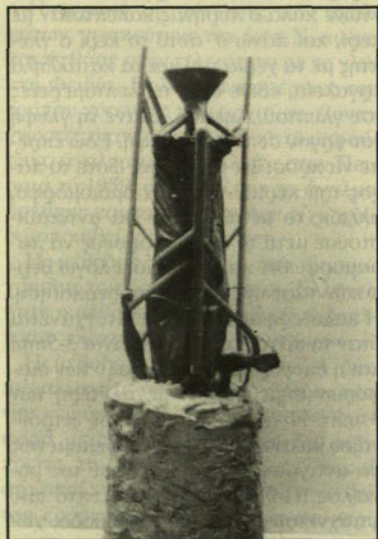
IV. Χημική σύνθεση και Μεταλλογραφική εξέταση του κράματος χύτευσης.

Για τη χύτευση των αγάλματων, χρησιμοποιούσαν κράμα χαλκού-κασσίτερου, το ονομαζόμενο κρατέρωμα, κοινώς μπρούντζος. Το κρατέρωμα συγκρινόμενο με το χαλκό, είναι πλέον εύχυτο, έχει μικρότερο σημείο τήξης, ($Cu = 1083^\circ$), διαμορφώνεται εύκολα λόγω καλής πλαστικότητας και εν θερμώ και εν ψυχρώ. Έχει καλή αντοχή και διάβρωση στον αέρα και το νερό, αντοχή στη φθορά και συγκολλητά εύκολα. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε κασσίτερο μέσα στο κράμα μεταβάλλονται οι ιδιότητες και ο σκοπός για τον οποίο χρησιμοποιείται.

Ο κασσίτερος διαλύεται στο χαλκό και σχηματίζει στερεό διάλυμα αντικατάστασης φάσης α, με περιεκτικότητα έως 14%. Αυτό σημαίνει ότι μέχρι 14% είναι στερεό διάλυμα μονοφασικό φάσης α, κυβικού εδροκεντρωμένου τύπου.

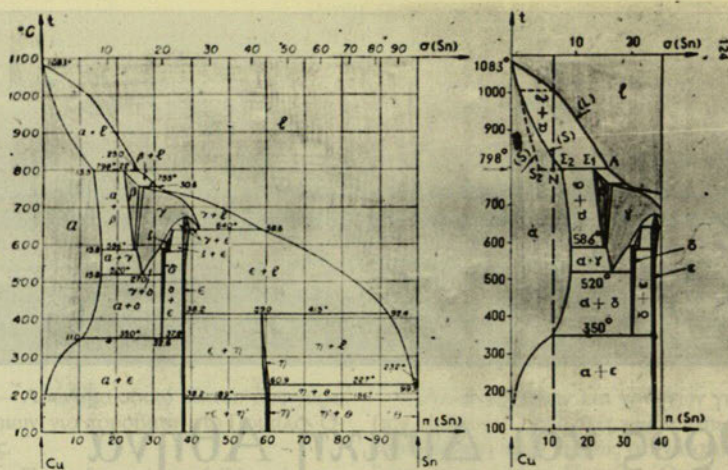
Τα κράματα χαλκού-κασσίτερου που βρίσκονται υπό τη μορφή στερεών διαλυμάτων φάσης α, αποτελούν τα κράματα διαμόρφωσης. Κυρίως χρησιμο-

ποιούνται σε αναλογία κασσίτερου 4-9%. Το κρατέρωμα διαμόρφωσης μετατρέπεται σε σπαθιά φύλλα-λάμες, από τα οποία μπορούν να διαμορφωθούν αμφορείς, δοχεία και άλλα αντικείμενα. Όταν η περιεκτικότητα σε κασσίτερο αυξάνει πάνω από 11%, σχηματίζονται κι άλλες φάσεις, εκτός της α, οι β, γ, δ, ε οι οποίες διακρίνονται στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, διαφορετικές από την α. Συνήθως, ανάλογα με την ταχύτητα απόψυξης στο κρατέρωμα υπάρχουν κόκκοι φάσης α με μικροδιαφορισμό, διαχωριζόμενοι από μίγμα κροστοαλλίτων α και δ. Η φάση δ είναι σκληρή και η παρουσία της αυξάνει τη σκληρότητα και την ευθραυστότητα του κράματος.



Το ανεστραμμένο πρόπλασμα καλυμμένο με πηλό. Σιδερένια καρφιά στερεώνουν το εξωτερικό πηλό στρώμα με τον πυρήνα.

Κρατέρωμα με περιεκτικότητα πάνω από 9% έχει καλές ιδιότητες χύτευσης με σύγχρονη αύξηση της σκληρότητάς του, λόγω της παρουσίας της φάσης δ. Ο Μεταλλουργός λοιπόν, με εξέταση στο μικροσκόπιο δοκιμίου του μετάλλου, κατάλληλα παρασκευασμένου, μπορεί να αποφανθεί για το είδος της μικρογραφικής δομής, τον αριθμό των φάσεων που την αποτελούν και τελικά να συμπεράνει για τον τρόπο παραγωγής ενός αντικειμένου, δηλαδή εάν πρόκειται για χυτό ή για διαμορφωμένο με κάποια μέθοδο και αν έχει υποβληθεί σε θερμομηχανικές καταρρασίες για να μεταβληθούν οι ιδιότητές και να διευκολυνθεί η καταργασία του ή ακόμα να ανταποκριθεί στις ανάγκες για τις οποίες κατασκευάστηκε.



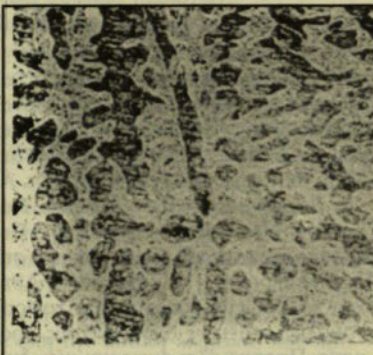
Διάγραμμα ισορροπίας των φάσεων κράματος χαλκού - κασσιτέρου Cu-Sn.

Παράλληλα με τη μεταλλογραφική εξέταση, πρέπει να γίνεται ο προσδιορισμός της χημικής σύνθεσης. Από τη μελέτη χημικής σύνθεσης και μεταλλογραφικής μορφής των αρχαίων αγαλμάτων, και γενικά έργων, φαίνεται ότι οι γνώσεις της μεταλλουργικής επιστήμης και τεχνικής, ήσαν πολύ μεγάλες.

Από όσα αναπτύχθηκαν, προκύπτει η ανάγκη συστηματικής και εκτεταμένης έρευνας της σύνθεσης των μεταλλικών ευρημάτων, και προσπάθεια αιτιολόγησης και αποκάλυψης των γνώσεων των αρχαίων, γύρω από τα Μεταλλουργικά θέματα. Ακόμη, η έρευνα πρέπει να προχωρήσει, ώστε να συνδέσει την σύνθεση των αγαλμάτων και την τεχνική της Μεταλλουργίας, με τις χρονικές περιόδους, με τις διάφορες περιοχές του Ελληνικού χώρου, καθώς και το μέγεθος, την πολυπλοκότητα του γλυπτού αλλά και την ειδική αποστολή και χρήση του.

Η σημερινή επιστήμη διαθέτει τα μέσα. Απομένει σε μας να αναπτύξουμε την απαραίτητη διακλαδική και διεπιστημονική συνεργασία, που αποτελεί

το μόνο δρόμο που μπορεί να μεταμορφώσει τις τεχνικές χύτευσης σε πραγματική σύγχρονη επιστήμη και να οδηγήσει, με τη σύγχρονη μεταλλου-



Μικρογραφία κρατερώματος Cu + Sn.

α) Αριστερά Cu + 4Sn. Κόκκοι στερεού διαλύματος α. β) Δεξιά Cu + 15.8Sn. Φάση α (βαθύχρωμη) και μίγμα φάσεων α + δ, όπου το δ ανοιχτόχρωμο.

ργική έρευνα, στην πλήρη κατανόηση των γνώσεων των αρχαίων, και γιατί όχι, και στην αξιοποίηση μεθόδων που,

Γεώργιος Βαρουφάκης, Διδακτορική Διατριβή 1965.

8. *Μεταλλουργική έρευνα γύρω από τον κρατήρα του Δερβενίου*. Γ. Βαρουφάκης 1978.

9. *Μεταλλογνωσία*, Κ. Κονοφάγου, έκδοση ΕΜΠ, 1976.



Χαρακτηριστική εικόνα χυτού κράματος Cu - Sn (κρατέρωμα).

ίως, έχουν μείνει για χιλιάδες χρόνια αναξιοποίητες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. *Greek Bronzes*, A.S. Murray, LL.D. Selew and Co Ltd, Macmillan Co 1898.
2. *Χαλκαί Κορινθιογραφείς Τροχοί*. Βοκοποπούλου-Καλειμάνη Ιουλία. Έκδοση Αρχαιολογικής Εταιρείας 4, 1975.
3. *Casting Technique of Greek Bronze sculpture*, Mattusch, Card Cressey Dissertation. University of North Carolina 1975.
4. *Greek Bronze*, Sotheby's Publications 1986.
5. *Cypriot Bronze work in the Mycenaean world*. Oxford University Press. At the Clarendon Press 1964.
6. *Greek Bronze Statuary*, Cornell University Press 1988.
7. *Συμβολή στην Έρευνα της Διάβρωσης αρχαίων μπουόντζων*.