

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ Γ. ΤΣΑΪΜΟΥ

Αρχαιολόγος, Ομ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.



ΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑ

Η ΑΡΧΑΙΑ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

ΑΘΗΝΑ 2015

ΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑ

Η ΑΡΧΑΙΑ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ Γ. ΤΣΑΪΜΟΥ

Αρχαιολόγος

Ομ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑ

Η ΑΡΧΑΙΑ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

ΑΘΗΝΑ 2015

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ Γ. ΤΣΑΪΜΟΥ

Λόγος και Εικόνα

Copyright © Κ. Γ. Τσαΐμου

ISBN: 978-960-93-7156-8

Σχεδιασμός - επιμέλεια - κείμενα

Κ. Γ. Τσαΐμου

Ομ. καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Διευθύντρια Ανασκαφών

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ

Κ. Γ. Τσαΐμου

ΣΧΕΔΙΑ

Κωνσταντίνος Κονοφάγος

ΖΩΓΡΑΦΙΚΗ

Γεώργιος Καβάγιας

ΕΚΔΟΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗ Α.Ε.

ΧΟΡΗΓΟΣ ΤΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ



ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ
ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Στην Τίτη
στην αδερφή μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τον Σύνδεσμο Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων και ιδιαίτερα τον κ. Χρ. Καβαλόπουλο για την εισήγησή του στο ΔΣ του Συνδέσμου Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων για την έκδοση του πονήματός μου.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την παρούσα εργασία της «ΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑ, Η ΑΡΧΑΙΑ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ» η Ομότιμος Καθηγήτρια του Ε.Μ.Π. Κ. Τσαΐμου περιγράφει με εξαιρετική σαφήνεια την αρχαία αθηναϊκή μεταλλευτική και μεταλλουργική τεχνική όπως αυτή αναπτύχθηκε για την παραγωγή Αργύρου, Μολύβδου και Σιδήρου.

Η τεχνική αυτή που δημιουργήθηκε τον 5ο και 4ο αιώνα, εποχή κατά την οι Αθηναίοι πολίτες απολάμβαναν σε μεγάλο βαθμό ελευθερία σκέψης και έκφρασης, με κύριο αποτέλεσμα την δημιουργία ενός πολιτισμού που όμοιο του, μέχρι τότε η ανθρωπότητα δεν είχε ξαναδεί.

Σ' αυτή τη γενικότερη πολιτιστική δημιουργία συνετέλεσε αποφασιστικά η ισχυρή οικονομική ανάπτυξη της Αθηναϊκής Επικράτειας, η οποία κατά κύριο λόγο προήλθε από την εκμετάλλευση του Ορυκτού Πλούτου του Κράτους μέσω των τεχνικών μεθόδων, που περιγράφει η Κωνσταντίνα Τσαΐμου.

Ιδιαίτερα στο αρχαίο Λαύρειο αναπτύχθηκε μια απaráμιλλη τεχνική εξόρυξης και εμπλουτισμού μεταλλεύματος «Αργυρίτη» με αντίστοιχη παραγωγή αργυρούχου μολύβδου και αργύρου, που ακόμη και σήμερα ξένοι και ντόπιοι ειδικοί εντυπωσιάζονται μπροστά στην έκταση, το μέγεθος και την ποιότητα των εγκαταστάσεων που ευτυχώς, μερικές από αυτές, μέχρι σήμερα σώζονται.

Ο πλούτος όμως του Αρχαίου Λαυρείου, που τόσο πολύ συνέβαλε στην ανάπτυξη και τη διατήρηση του Αθηναϊκού μεγαλείου δεν

θα μπορούσε ποτέ να γίνει πραγματικότητα εάν δεν υπήρχαν οι κατάλληλες νομοθετικές διαδικασίες διαχείρισης των Ορυκτών Πόρων του Κράτους.

Αδιάσειστα στοιχεία βεβαιώνουν την ύπαρξη –στο Αθηναϊκό Κράτος– μηχανισμού παραχώρησης δικαιωμάτων Έρευνας και Εκμετάλλευσης ορυκτών, με δημοκρατικές διαδικασίες, σε ικανούς και έμπειρους ιδιώτες. Ο μηχανισμός αυτός συνέβαλλε τα μέγιστα στη καλλιέργεια κλίματος εμπιστοσύνης μεταξύ Κράτους και μεταλλειοκτητών οδηγώντας την γενικότερη μεταλλευτική δραστηριότητα και την παραγωγή αργύρου στο Λαύρειο σε πολύ υψηλά επίπεδα.

Εξ' ίσου υψηλά ήταν τα αντίστοιχα έσοδα του Κράτους από τα καταβαλλόμενα ενοίκια (υπολογίζονται ότι ξεπερνούν τα 30 Δις Ευρώ) όπως επίσης και τα κέρδη των μεταλλευτών, εφ' όσον όμως είχαν την τύχη να συναντήσουν κάποιο σημαντικό κοίτασμα «Αργυρίτη».

Δρ. Ηλίας Κ. Κονοφάγος

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Οι πρόσφατες ανασκαφικές έρευνες του Ε.Μ.Π. στη Λαυρεωτική, σε αρχαίες μεταλλουργικές εγκαταστάσεις, που από το έτος 1996 διευθύνω, έδωσαν νέα στοιχεία που συμπληρώνουν ή αναιρούν παλαιότερες απόψεις κυρίως σε θέματα εμπλουτισμού και καμινείας.

Στο πόνημα αυτό παρουσιάζονται τα παλαιά αλλά και τα νέα στοιχεία συνοδευόμενα με κατάλληλες εικόνες για καλύτερη κατανόηση τους, εφόσον μάλιστα πρόκειται για εξειδικευμένο επιστημονικό θέμα. Δηλαδή την μεταλλευτική και μεταλλουργική τεχνική που ανέπτυξαν οι αρχαίοι.

Έτσι, ο νεώτερος ερευνητής θα μπορεί εύκολα να ανατρέχει σε όλες αυτές τις παραστάσεις, να τις μελετά, να τις συμπληρώνει και να έχει μια πληρέστερη εικόνα.

Αυτό, εξάλλου, έκανα σε κάθε παλαιότερη δημοσίευσή μου, ακολουθώντας και το παράδειγμα του δασκάλου μου καθηγητή Κ. Κονοφάγου, του οποίου αρκετές παραστάσεις περιέλαβα στο πόνημα αυτό.

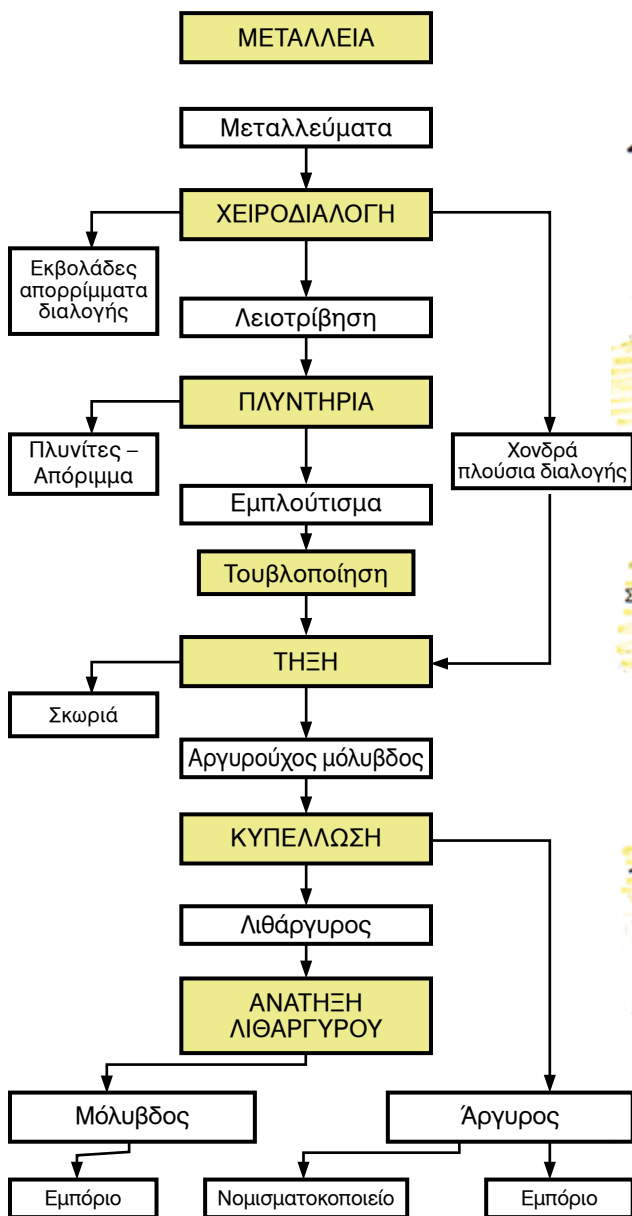
Κάθε παράσταση συνοδεύεται με μια σύντομη επεξήγηση.

*Κ. Γ. Τσαΐμου
Αρχαιολόγος
Ομ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.*

Αθήνα 2015

Η μεταλλευτική και μεταλλουργική τεχνική στην αρχαιότητα περιελάμβανε την εκμετάλλευση των μεταλλείων (εξόρυξη), κατόπιν τον εμπλουτισμό του μεταλλεύματος και στη συνέχεια τη μεταλλουργία.

ΤΟ ΑΡΧΑΙΟ ΛΑΥΡΙΟ ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΟΥ «ΑΡΓΥΡΙΤΟΥ»

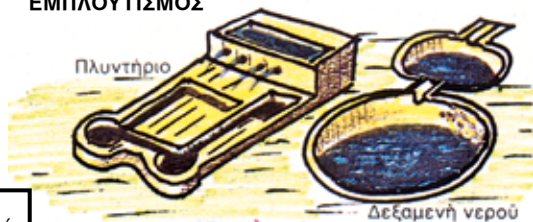


ΕΞΟΡΥΞΗ



Μετάλλευμα αργυρούχου μολύβδου (αργυρίτης)

ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ



ΤΗΞΗ



ΚΥΠΕΛΛΩΣΗ



ΑΝΑΤΗΞΗ ΤΩΝ ΛΙΘΑΡΓΥΡΩΝ



Η εξόρυξη του μεταλλεύματος άρχιζε από την επιφάνεια και συνεχιζόταν στο υπέδαφος με τη βοήθεια στοών μικρής διατομής. Με αυτό τον τρόπο έφθαναν οι αρχαίοι στο υπόγειο κοίτασμα. Οι δε στοές ήσαν τόσο στενές, ώστε ο εργάτης, για να εργαστεί, έπρεπε να είναι γονατιστός ή καθιστός. Για την εξόρυξη χρησιμοποιούσε σφυρί και καλέμι.

Ο κύριος παράγοντας για την επιτυχία και το κέρδος, ήταν η ταχύτητα δημιουργίας στοών. Αυτό εξηγεί γιατί οι στοές ήταν στενές.

Η μεταφορά του μεταλλεύματος γίνονταν από παιδιά.

Στην στοά εργάζονταν ένας εργάτης στο μέτωπο. Μόλις αυτός κουραζόταν τον αντικαθιστούσε αμέσως άλλος εργάτης. Ένα παιδί μετέφερε νέα καλέμια, που αντικαθιστούσαν τα παλιά, που είχαν φθαρεί.

Ο φωτισμός ήταν ατομικός. Δηλαδή ο εργάτης είχε ένα λυχνάρι πήλινο με μεγάλη χωρητικότητα. Έπαιρνε όμως και άλλο λάδι μαζί του για αναπλήρωση. Υπήρχαν και λυχνάρια από μόλυβδο.

Το λυχνάρι το τοποθετούσε σε κάποια εσοχή στα πλευρά της στοάς. Η στοά θα φωτιζονταν με άλλα λυχνάρια.

Στην Αίγυπτο, προσάρμοζαν στο μέτωπό τους τα λυχνάρια, που μάλλον είχαν ειδικό σχήμα για να προσαρμόζονται καταλλήλως.



Τη στοά, που άρχιζε να δημιουργείται καθώς έψαχναν για μετάλλευμα, την ονομάζουμε ερευνητική.

Αν εύρισκαν μαλακό ή εύθραυστο κοίτασμα για την εξόρυξη χρησιμοποιούσαν τον κασμά. Για την εξόρυξη μαλακού μεταλλεύματος χρησιμοποίησαν και φτυάρια.

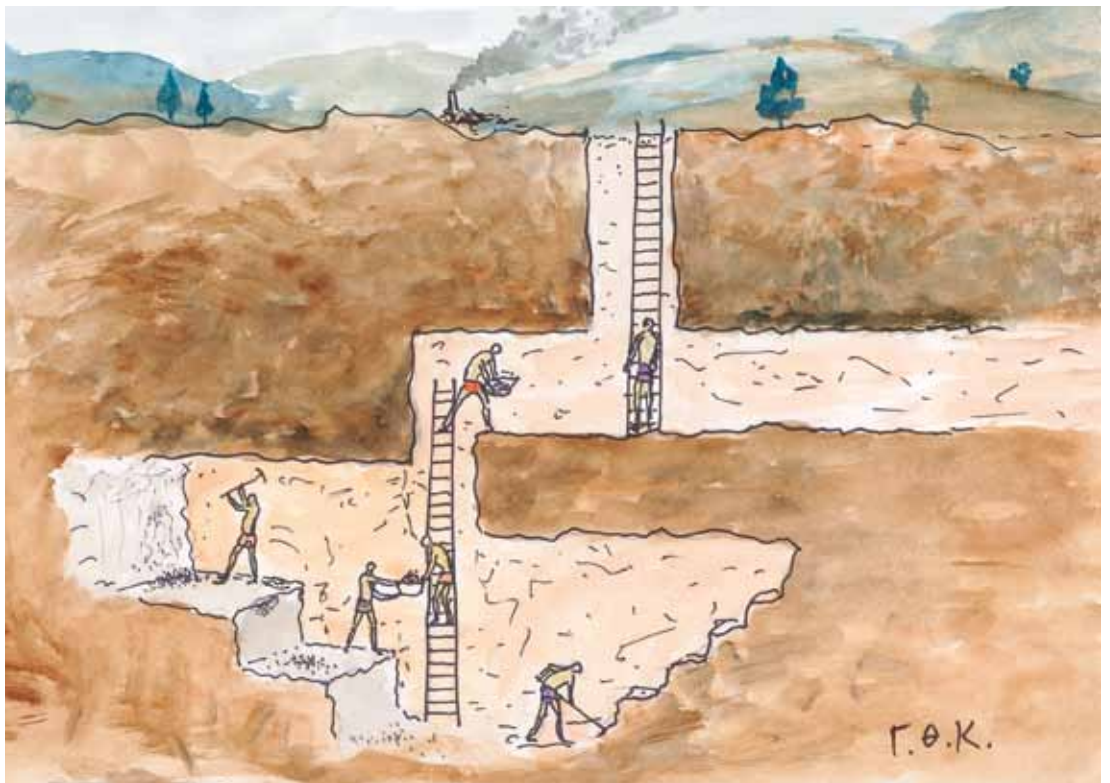
Για δε τη μετακίνηση των σωρών του μεταλλεύματος χρησιμοποιούσαν την τσάπα.

Όταν όμως το κοίτασμα είχε μεγάλο πάχος ή η φλέβα του κοιτάσματος δεν ήταν οριζόντια ακολουθούσαν τη μέθοδο των «βαθμίδων», όπως και σήμερα, οπότε το μέταλλευμα κόβεται σε βαθμίδες.

Κατ' αυτόν τον τρόπο οι μεταλλευτές έχουν τη δυνατότητα να εργάζονται και στα ψηλότερα τμήματα και να παίρνουν το μέταλλευμα που είναι κοντά στην οροφή.

Το μέτωπο προχωρεί και η μορφή των βαθμίδων διατηρείται.

Σε συνέχεια το μέταλλευμα το μετέφεραν παιδιά στους ώμους μέσα από στοές στο υπαίθρο ή το ανέβαζαν έξω από τα μεταλλευτικά φρέατα. Για τη μεταφορά του μεταλλεύματος στους ώμους χρησιμοποιούσαν κοφίνια ή σάκους δερμάτινους ή από σχοινιά.

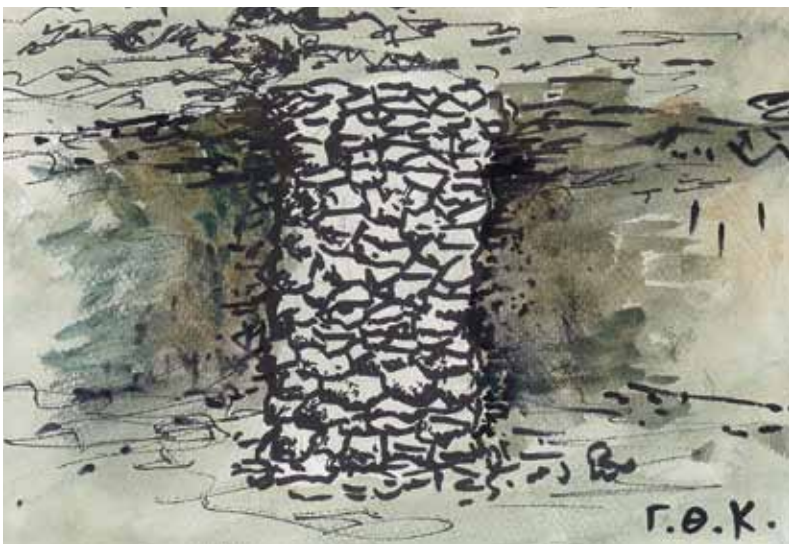


Για να αποτρέπεται η υποχώρηση των στοών του μεταλλείου οι αρχαίοι τις υποστήριζαν αφήνοντας στύλους από το ίδιο το μέταλλευμα.

Βέβαια αν το μέταλλευμα, που εξόρυσσαν, ήταν πλούσιο, ήταν ασύμφορο να αφήνουν έστω και μικρό τμήμα του για κολόνες. Τότε έφτιαχναν υποστυλώματα από «ξερολιθιές», δηλ. κατέφευγαν στην υποστύλωση με ξερή τοιχοποιία.

Αργότερα κατά τον 4ο π.Χ. αιώνα, οι κολόνες αυτές ήταν πρόκληση για τους μεταλλευτές, που εργάστηκαν τότε στα ίδια μεταλλεία, γιατί μπορούσαν να τις εκμεταλλευτούν εύκολα και να τις αντικαταστήσουν με ξερολιθιές ή να αφήσουν να πέσει η οροφή. Αυτό απαγορευόταν με αυστηρότατες ποινές, γιατί ήταν επικίνδυνο για την ασφάλεια των εργαζομένων, γιατί έκλεινε τις διόδους στο μέταλλείο και εμπόδιζε την καλή περαιτέρω εκμετάλλευση του μεταλλείου.

Οι αρχαίοι σπανίως χρησιμοποιούσαν την ξύλινη υποστήριξη, όπως γινόταν στο Μεσαίωνα. Και αυτό για λόγους οικονομικούς, διότι η ξυλεία στην αρχαιότητα είχε μεγάλη αξία. Επιπλέον η μεταφορά της στα υπόγεια έργα θα ήταν σχετικά δύσκολη.



Η εργασία στις στοές ήταν επίπονη και η ατμόσφαιρα γινόταν συχνά ασφυκτική από την ελάττωση του οξυγόνου από ανθρώπους και από λυχνάρια. Ένα αναμμένο λυχνάρι κατανάλωνε οξυγόνο όσο περίπου και ένας εργάτης. Έτσι, ο αέρας στις στοές έπρεπε να ανανεώνεται συνεχώς. Αυτό το πρόβλημα οι αρχαίοι το αντιμετώπιζαν με την κατασκευή φρεάτων αερισμού κοντά στα στόμια των στοών, εκμεταλλευόμενοι το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού, δηλαδή το φαινόμενο της καμινάδας. Όταν δηλαδή το στόμιο ενός φρέατος είναι σε διαφορετικό υψόμετρο από το στόμιο μιας στοάς, δημιουργείται ρεύμα αέρα.

Ένα φρέαρ δεν εξυπηρετούσε μόνο μια στοά, αλλά μπορούσε να εξυπηρετεί πολλές. Επίσης μπορούσε να είναι και φρέαρ εξαγωγής μεταλλεύματος. Δηλαδή να εξυπηρετούσε τη μεταφορά στο ύπαιθρο του μεταλλεύματος που εξορυσσόταν.

Το μέταλλευμα το ανέβαζαν στην επιφάνεια από το φρέαρ κουβαλώντας τα γεμάτα κοφίνια στην πλάτη και χρησιμοποιώντας ξύλινες σκάλες.

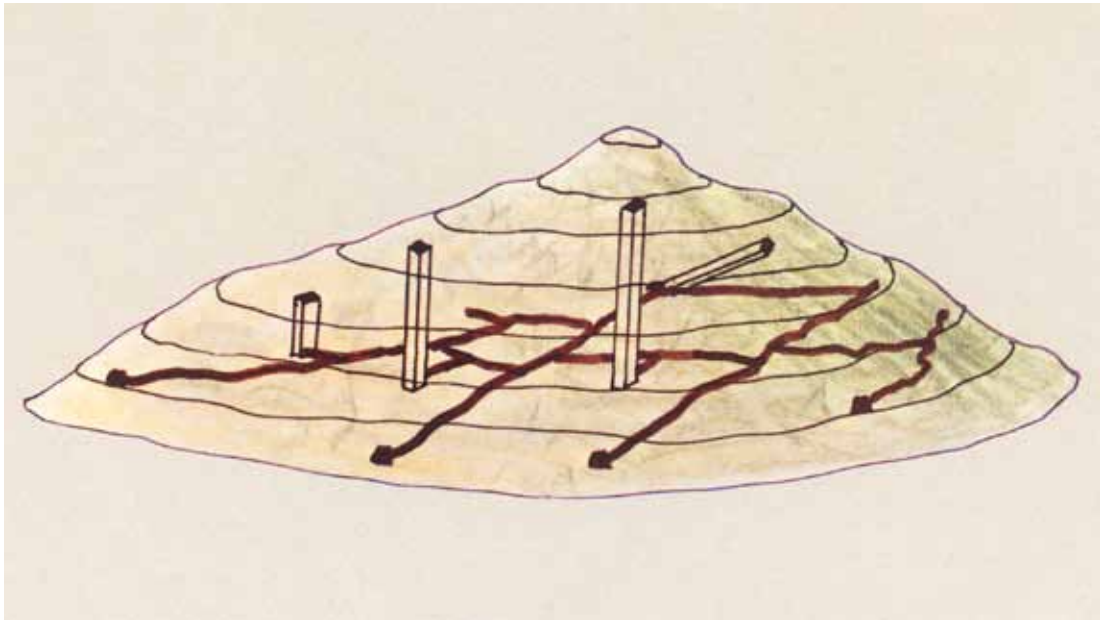
Το μεταλλευτικό φρέαρ είχε και άλλο σκοπό. Την έρευνα για νέα κοιτάσματα και την «περιχάραξη» των κοιτασμάτων.

Όλα τα φρέατα έχουν διατομή ορθογώνια. Τα δε βάθη τους ποικίλουν πολύ, αναλόγως της θέσεως των κοιτασμάτων.

Κατά την εξόρυξη του φρέατος, όσο προχωρούσε η εργασία σε βάθος, τόσο ο αερισμός ήταν πιο απαραίτητος. Πράγμα που οι αρχαίοι αντιμετώπιζαν χωρίζοντας στα δύο το φρέαρ, σε όλο του το μήκος, με ένα ξύλινο κατακόρυφο επίπεδο από σανίδες.

Αυτό επιβεβαιώνεται από τις εγκοπές που βρέθηκαν στις παρειές των φρεάτων, στις οποίες στηρίζονταν οι σανίδες. Αυτοί οι δύο κάθετοι παράλληλοι χώροι του φρέατος επικοινωνούσαν κοντά στον πυθμένα, όπου γινόταν η εργασία, και κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργείτο ρεύμα αέρος.

Προεκτείνοντας μάλιστα το ένα τμήμα του φρέατος ψηλά στο στόμιο με μια ξύλινη μορφή καμινάδας, το ρεύμα του αέρα γινόταν ισχυρότερο.



Το πλούσιο μέταλλευμα μετά την εξόρυξη πήγαινε κατευθείαν για τήξη, ενώ το φτωχό μέταλλευμα οι αρχαίοι στο Λαύριο το εμπλουτίζανε χρησιμοποιώντας οργανωμένες εγκαταστάσεις, δηλαδή πλυντήρια μεταλλεύματος.

Η εργασία του εμπλουτισμού άρχιζε με ένα πρώτο στάδιο, που είναι η θραύση και η λειοτρίβηση του μεταλλεύματος. Στην περιοχή του Λαυρίου οι αρχαίοι έσπαζαν το μέταλλευμα πάνω σε ασβεστολιθικές πλάκες με σιδερένιους κοπάνους. Σπανίως χρησιμοποιούσαν γουδιά.

Η λειοτρίβηση του μεταλλεύματος γινόταν με ειδικά επίπεδα τριβεία.

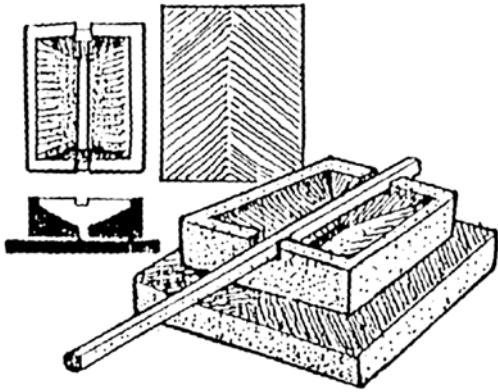
Το τριβείο αποτελείται από δύο πλάκες από τραχύτη, μία ακίνητη και άλλη κινητή.

Το τριβείο κινείται από τους εργάτες με ξύλινη ράβδο παλινδρομικά πάνω στην επίπεδη πλάκα.

Στο Λαύριο οι μηχανικές εργασίες της θραύσεως και της λειοτρίβησης γίνονταν κοντά στα πλυντήρια. Ένα πρόχειρο σπάσιμο του μεταλλεύματος γινόταν μέσα και έξω από το μεταλλείο, πριν τα μικρά παιδιά ανεβάσουν το μέταλλευμα στην επιφάνεια του εδάφους.

Στην αρχαία Αίγυπτο για την θραύση του χρυσοφόρου μεταλλεύματος χρησιμοποιούσαν λίθινα γουδιά.

Στη θραύση του μεταλλεύματος εργαζόντουσαν άνδρες νέοι και ρωμαλέοι, οι οποίοι ήταν πολιτικοί κρατούμενοι, ενώ η λειοτρίβηση του σπασμένου μεταλλεύματος γινόταν από γυναίκες ή ηλικιωμένους άνδρες, με επίπεδα τριβεία, που έμπαιναν σε κίνηση με «κώπη», που την κινούσαν από κάθε πλευρά 2-3 εργάτες.



Μετά τη θραύση και τη λειοτρίβηση ακολουθούσε ο κύριος εμπλουτισμός, που απέβλεπε στο διαχωρισμό του πλούσιου από το φτωχό μετάλλευμα.

Από την αρχαιότητα μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα ο εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων ήταν βαρυμετρικός εμπλουτισμός και γινόταν με νερό.

Δηλαδή διαχωρισμός με βάση το διαφορετικό «ειδικό βάρος» των τεμαχίων του μεταλλεύματος. Το τεμάχιο του πλούσιου μεταλλεύματος είναι βαρύτερο από το τεμάχιο του στείρου, όταν έχουν περίπου το ίδιο όγκο.

Ο εμπλουτισμός εμφανίστηκε με την ανακάλυψη του πρώτου μετάλλου από τον άνθρωπο στα προϊστορικά χρόνια και συγκεκριμένα του χρυσού σε αυτοφυή κατάσταση.

Για τον εμπλουτισμό αυτοφυούς χρυσού χρησιμοποιούσαν ξύλινα ρείθρα που έφερναν προεξέχοντα εμπόδια και κοιλότητες.

Στην αρχή του ρείθρου γινόταν η τροφοδοσία τρεχούμενου νερού και τριμμένου μεταλλεύματος.

Έτσι το νερό παρασέρνει το φτωχό μετάλλευμα. Μέσα στις κοιλότητες ή στα εμπόδια παρέμενε το πλούσιο μετάλλευμα, το εμπλουτισμα.

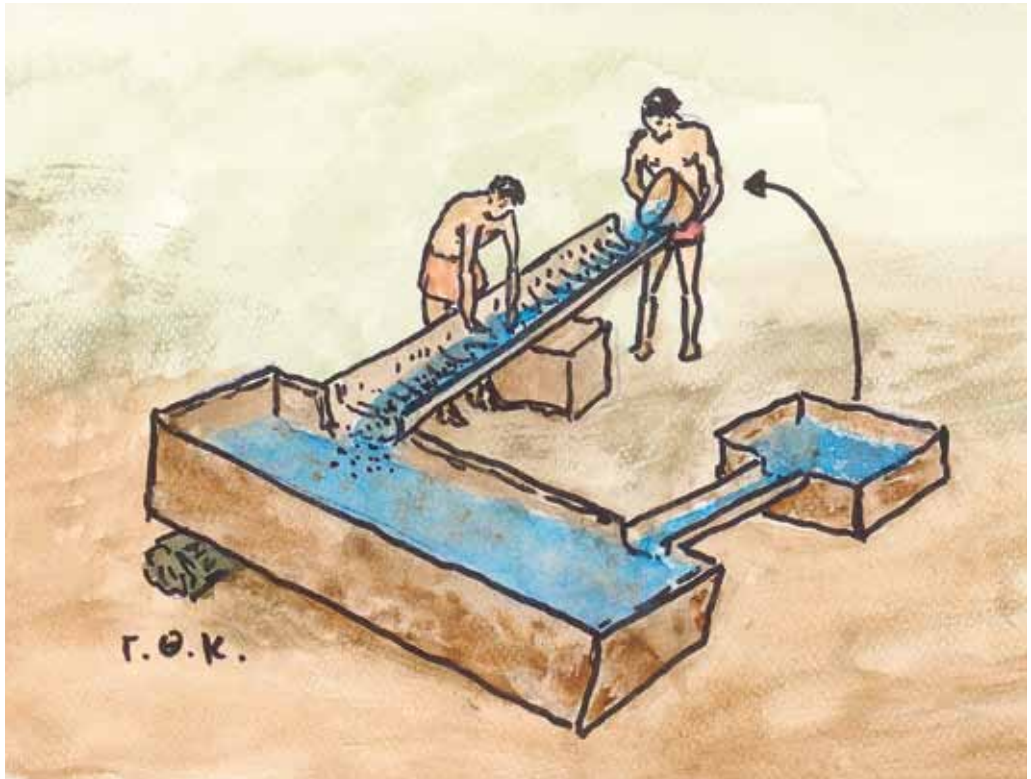
Στην Αίγυπτο εκτός από το νερό χρησιμοποιούσαν στην τελευταία φάση του καθαρισμού και σπόγγους, για να αφαιρέσουν από το χρυσό κάθε ξένο κόκκο.

Το αρχαιότερο κείμενο για τον εμπλουτισμό του προσχωματικού χρυσού στην περιοχή της Ελλάδος είναι ο μύθος του χρυσόμαλλου δέρατος.

Πάνω σε ξύλινο λούκι, που ομοίαζε με τις «φάτνες», όπου έβαζαν τις τροφές των ζώων, τοποθετούσαν το τριχωτό δέρμα ζώου.

Το ξύλινο λούκι καλυμμένο με το τριχωτό δέρμα δημιουργεί μια μορφή ρείθρου, του οποίου τα εμπόδια ήταν οι τρίχες του δέρματος. Οι αρχαίοι τοποθετούσαν το ρείθρο αυτό στην κοίτη των ποταμών. Πάνω στην επιφάνεια του ξύλινου λουκιού με κάποια κλίση έριχναν τη χρυσοφόρο άμμο και συγχρόνως νερό.

Το νερό παράσερνε την άμμο, ενώ ο χρυσός, που ήταν βαρύς, συγκρατιόταν από το τρίχωμα του δέρματος.



Στο αρχαίο Λαύριο ο εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων γινόταν σε μόνιμες εγκαταστάσεις στα «επίπεδα πλυντήρια» με τη βοήθεια ξύλινων ρείθρων με κοιλότητες στον πυθμένα.

Στο επίπεδο πλυντήριο έχουμε μια δεξαμενή νερού, τη Δ, που όλο γεμίζεται με νερό, το οποίο από τη δεξαμενή διοχετεύεται συνεχώς στα ρείθρα και με μεγάλη ταχύτητα, χάρη στα ακροφύσια κωνικής μορφής, που φέρνει αυτή η δεξαμενή.

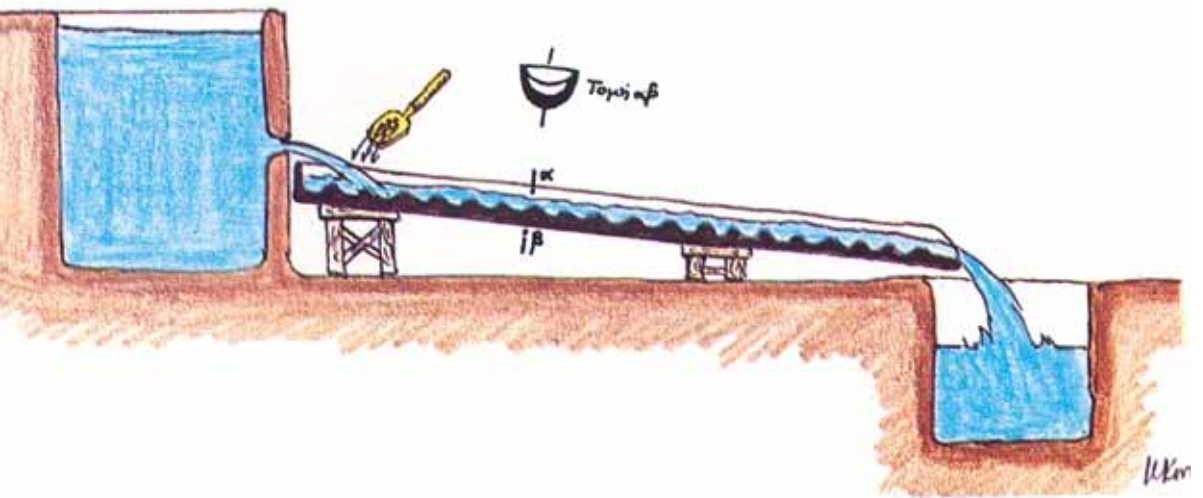
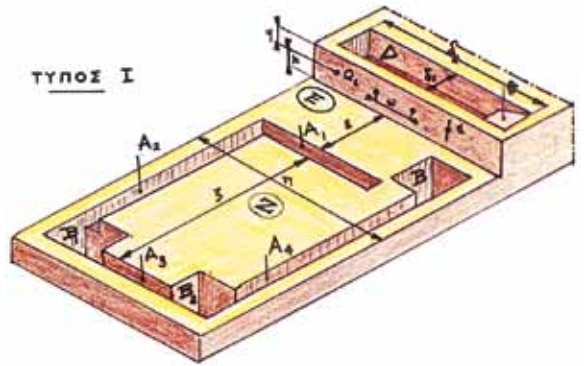
Τα ξύλινα ρείθρα έχουν κλίση, για να υποβοηθείται ο εμπλουτισμός. Στην αρχή του ρείθρου έριχναν το τριμμένο μέταλλευμα και όπως έτρεχε το νερό με αρκετή ορμή, παρέσερνε τους κόκκους του μεταλλεύματος κατά μήκος του ρείθρου.

Το μεγαλύτερο μέρος από τα βαρύτερα σωματίδια του μεταλλεύματος, πλούσιο σε αργυρούχο μόλυβδο, παρέμενε στις κοιλότητες του ρείθρου. Αποτελούσε το εμπλουτισμένο τμήμα του τριμμένου μεταλλεύματος, το «συμπύκνωμα», ενώ το ελαφρύ μέρος, το φτωχό σε αργυρούχο μόλυβδο, το «απόρριμμα», παρασύρονταν από το νερό σε ένα λούκι, το Α1.

Το νερό που τρέχει με τους αιωρούμενους κόκκους, ακολουθεί μια πορεία που επιτρέπει την ανακύκλωση. Η πορεία αυτή γινόταν χάρις στους ανοικτούς αγωγούς Α₁, Α₂, Α₃, Α₄ και στις μικρές δεξαμενές καθιζήσεως Β₁, Β₂ και Β.

Στη δεξαμενή Β το νερό έφθανε καθαρό, γιατί στην πορεία το απόρριμμα καθίζανε.

Από τη Β οι εργάτες επανέφεραν διαρκώς το νερό με δοχεία μέσα στη δεξαμενή Δ, ώστε η διαδικασία επαναλαμβάνονταν διαρκώς.



Οι αρχαίοι, στο Λαύριο, εφεύραν μια μέθοδο για να διατηρείται σταθερή η πίεση νερού στην είσοδο των ακροφυσίων με ταυτόχρονη δυνατότητα ρύθμισης της πίεσης στην έξοδο των ακροφυσίων των επιπέδων πλυντηρίων. Αυτό το πετύχαιναν μετατρέποντας το μακρόστενο και ίσιο σχήμα της δεξαμενής τροφοδοσίας νερού του πλυντηρίου, δηλαδή της Δ.

Ένα λούκι Κ, με συνεχή κλίση, που αρχίζει από ένα χείλος Χ, καταλήγει μέσα στη δεξαμενή Δ με ένα χείλος Ξ.

Το Ξ μέσα στη δεξαμενή είναι χαμηλά, περίπου στο ύψος του ακροφυσίου, ενώ το Χ είναι λίγο πιο ψηλά από το ακροφύσιο.

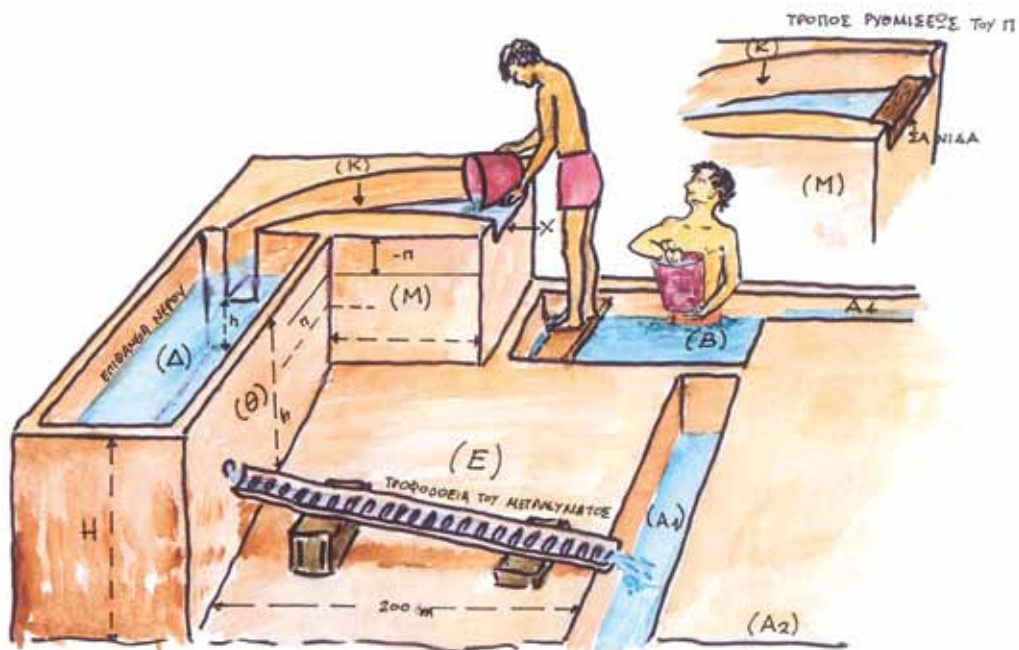
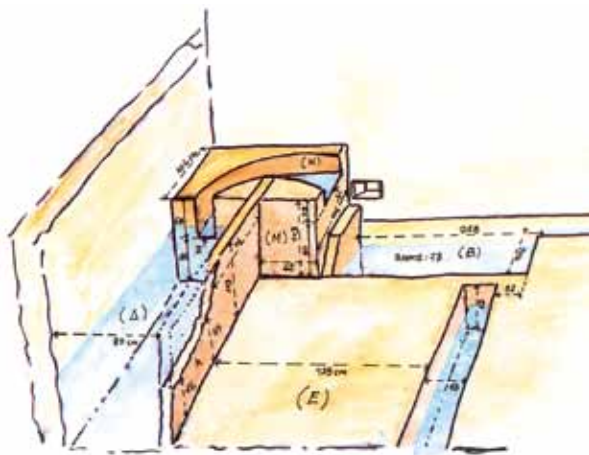
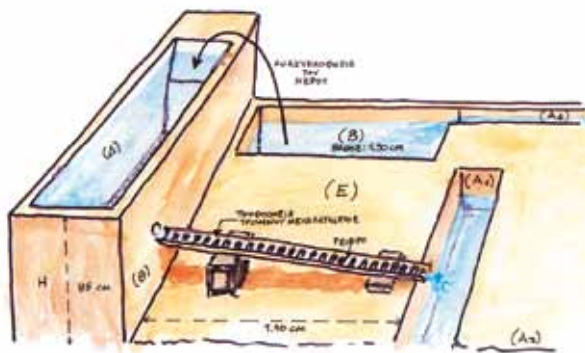
Ξεκινώντας, οι εργάτες παίρνουν νερό από τη δεξαμενή Β και γεμίζουν το λούκι Κ μέχρι το χείλος Χ. Τότε η πίεση και η ταχύτητα εκροής στο ακροφύσιο εξαρτάται από τη υψομετρική διαφορά. Οπότε, με απόλυτη ακρίβεια, πετυχαίνουν στο ακροφύσιο την πίεση που χρειάζεται. Συνεχίζοντας να ρίχνουν νερό, αυτό γυρίζει πίσω και η πίεση στο ακροφύσιο παραμένει σταθερή.

Κατ' αυτό τον τρόπο δεν είναι ανάγκη να προσέχουν πόσο νερό ρίχνουν μέσα στο λούκι Κ. Απλά φροντίζουν να βλέπουν μόνο ότι το νερό που ρίχνουν γυρίζει πίσω στη δεξαμενή Β μέσω του χείλους Χ. Αν ήθελαν να αυξήσουν την πίεση του νερού, ανέβαζαν την επιφάνεια του.

Έπαιρναν μια σανίδα πάχους 4 εκ., πλάτους 10 εκ. και μήκους όσο το πλάτος του χείλους Χ. Τοποθετούσαν την σανίδα αυτή πάνω στο χείλος Χ και ανέβαζαν την επιφάνεια του νερού.

Έτσι ρύθμιζαν την πίεση μέσω του ύψους λ της στάθμης νερού.

Επομένως η πίεση (και ταχύτητα) εκροής στο ακροφύσιο μπορεί να αυξομειώνεται κατά βούληση.



Εκτός από τα επίπεδα πλυντήρια, στην περιοχή της Λαυρεωτικής εντοπίστηκαν και άλλα πλυντήρια διαφορετικής μορφής, τα ελικοειδή πλυντήρια.

Το ελικοειδές πλυντήριο είναι ένα μαρμάρινο ελικοειδές ρείθρο με μια υψομετρική διαφορά των άκρων περίπου 10-30 cm.

Έτσι το νερό που έριχναν στο ρείθρο επέστρεφε στη δεξαμενή τροφοδοσίας.

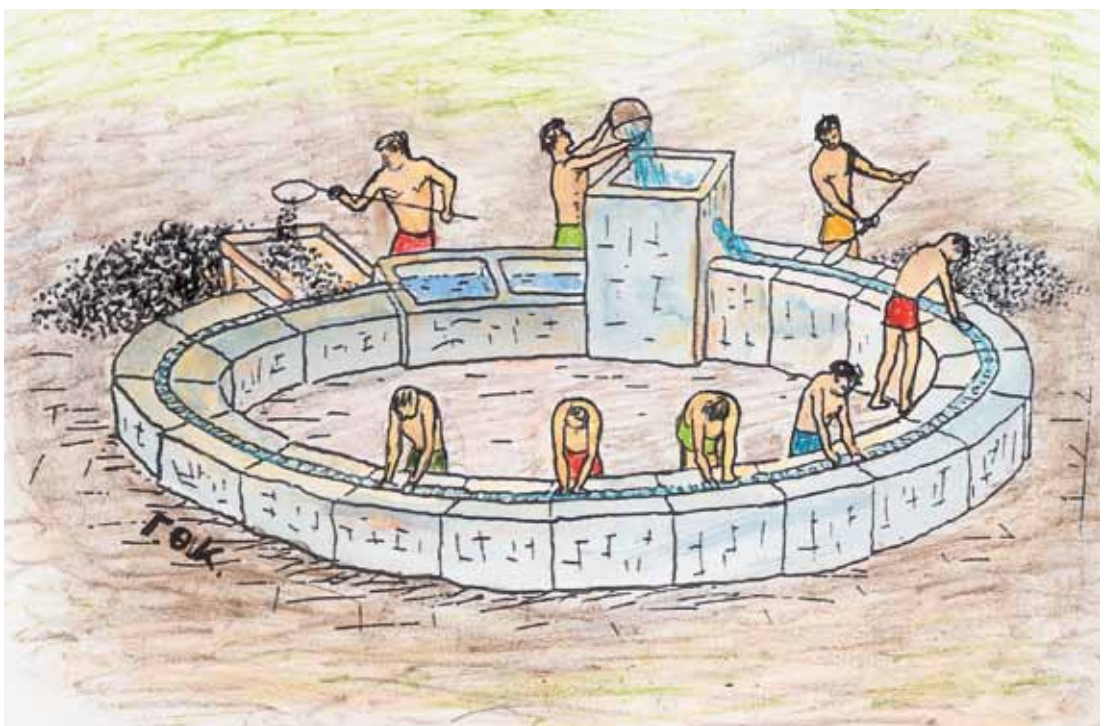
Η τροφοδοσία του μεταλλεύματος γινόταν στο ένα άκρο μαζί με το νερό, που επανακυκλοφορούσε.

Το νερό παρέσυρε το μέταλλευμα με αποτέλεσμα να γίνεται ο διαχωρισμός του μεταλλεύματος από το στείρο κατά μήκος του ρείθρου. Στη συνέχεια το νερό θα κατέληγε σε κάποια δεξαμενή.

Κατά μήκος του ρείθρου οι δούλοι αναμόχλευαν συνεχώς το μέταλλευμα στις κοιλότητες με τα δάκτυλα για να μπορεί το νερό να παρασύρει κάθε ελαφρύ κόκκο.

Πάντως οι αρχαίοι δεν έκαναν πολλά τέτοια πλυντήρια, αφού βρέθηκαν τόσο λίγα.

Ήταν πλυντήρια ειδικώς για καλή μεταλλική απόδοση.



Για να εμπλουτιστεί το μετάλλευμα, χρειάζεται πολύ νερό. Ένα πλυντήριο με 4 ακροφύσια για να λειτουργήσει χρειάζεται 1.000 κυβικά νερό.

Στο Λαύριο δεν υπάρχουν ούτε ποτάμια ούτε πηγάδια. Έτσι οι αρχαίοι χρησιμοποιούσαν το νερό της βροχής, συγκεντρώνοντάς το με λούκια σε μεγάλες δεξαμενές. Γι' αυτό, τα πλυντήρια και οι δεξαμενές βρίσκονται μέσα σε κοιλάδες.

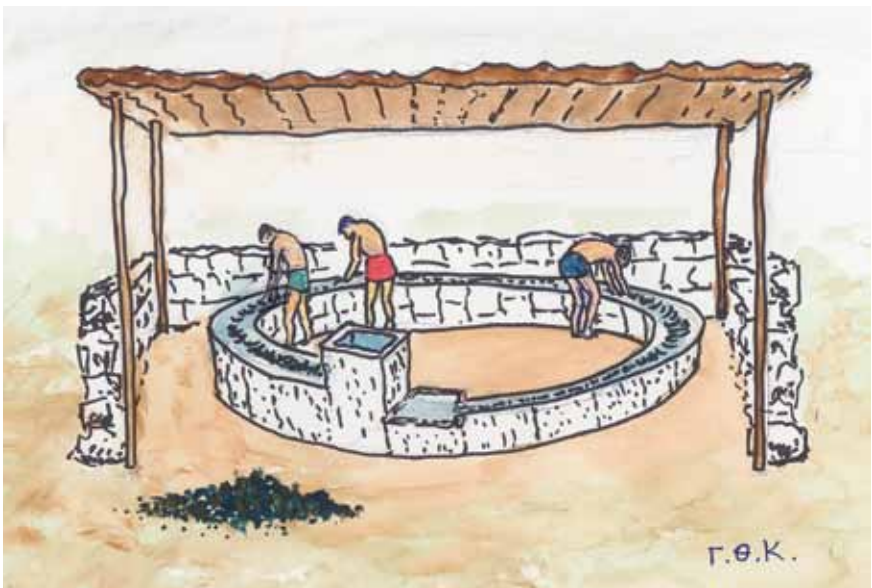
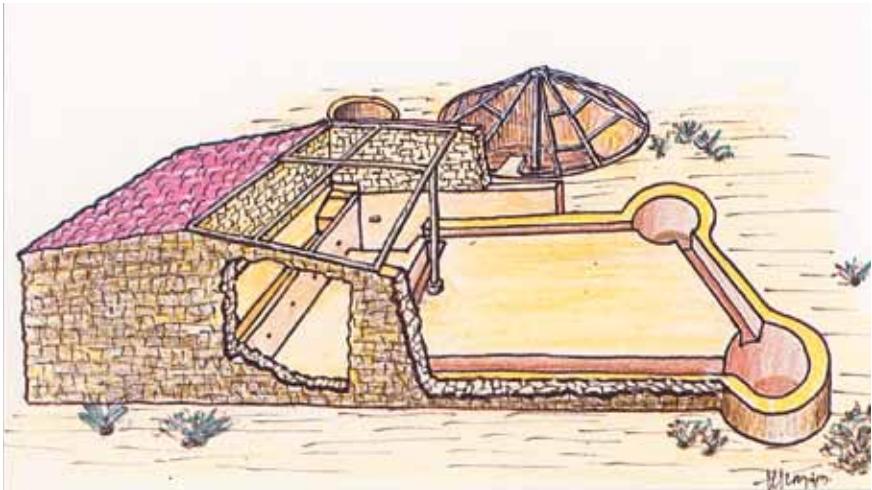
Αρχαίες δεξαμενές υπάρχουν πολλές στο Λαύριο και έχουν κτιστεί με διάφορους τρόπους. Άλλοτε είναι λαξευμένες εν μέρει στο πέτρωμα και άλλοτε είναι κτισμένες ολόκληρες με τοιχοποιία. Οι περισσότερες είναι κυκλικής τομής.

Οι δεξαμενές συνήθως είχαν εσωτερικά μια σκάλα, που χρησίμευε για τον καθαρισμό τους.

Οι αρχαίοι επιδίωκαν να έχουν καθαρό νερό για τον εμπλουτισμό. Έτσι η δεξαμενή κατά κανόνα συνδέεται με μικρότερη, στην οποία οδηγούσαν με λούκια τα νερά της βροχής, τα οποία με υπερχειλίση από αυτή πήγαιναν στη μεγάλη δεξαμενή. Χώματα και λοιπά κατακάθονταν στον πυθμένα της μικρής δεξαμενής.

Οι δεξαμενές και τα πλυντήρια στεγάζονταν με μια ελαφριά ξύλινη στέγη, Γεγονός που επιβεβαιώνεται από τις βάσεις των κίωνων που βρίσκονται στον πυθμένα των δεξαμενών. Οι κίονες αυτοί στήριζαν την οροφή. Η στέγη, εκτός των άλλων, περιόριζε την εξάτμιση του νερού κατά το καλοκαίρι.

Οι δεξαμενές και τα πλυντήρια καλύπτονται από λεπτό ειδικό αδιάβροχο κονίαμα που δίνει καταπληκτική στεγανότητα στις δεξαμενές και στα πλυντήρια. Το κονίαμα αυτό χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε οξειδία του μολύβδου.



Το εμπλουτισμένο μετάλλευμα, που έρχεται από τα πλυντήρια, πρέπει πρώτα να συσσωματωθεί, να «πλινθοποιηθεί» και στη συνέχεια να τακεί σε καμίλους τήξεως.

Η πλινθοποίηση ήταν απολύτως απαραίτητη, γιατί ένα ψιλό μέταλλευμα του εμπλουτισμού δεν μπορεί να τροφοδοτηθεί στην φρεατώδη κάμινο, επειδή βουλώνει τα διάκενα και εμποδίζει τη δίοδο του εμφυσώμενου αέρα. Οπότε η λειτουργία της καμίνου σταματά λόγω ελλείψεως αέρα για την καύση του ξυλοκάρβουνου.

Τα ψιλά πρέπει να συσσωματωθούν, να γίνουν πλίνθοι.

Οι πλίνθοι δίνουν ανάμεσά τους το πορώδες.

Οι πλίνθοι αυτοί μαζί με τα χονδρά μεταλλεύματα τροφοδοτούνταν συνεχώς στη φρεατώδη κάμινο μαζί με ξυλοκάρβουνο.

Στην αρχαιότητα η πλινθοποίηση του συμπυκνώματος γινόταν με λίγο νερό και άργιλο. Ως συνδετική ύλη χρησιμοποιούσαν τις αργιλώδεις ύλες που συνέλεγαν από τις δεξαμενές καθιζήσεως των πλυντηρίων.

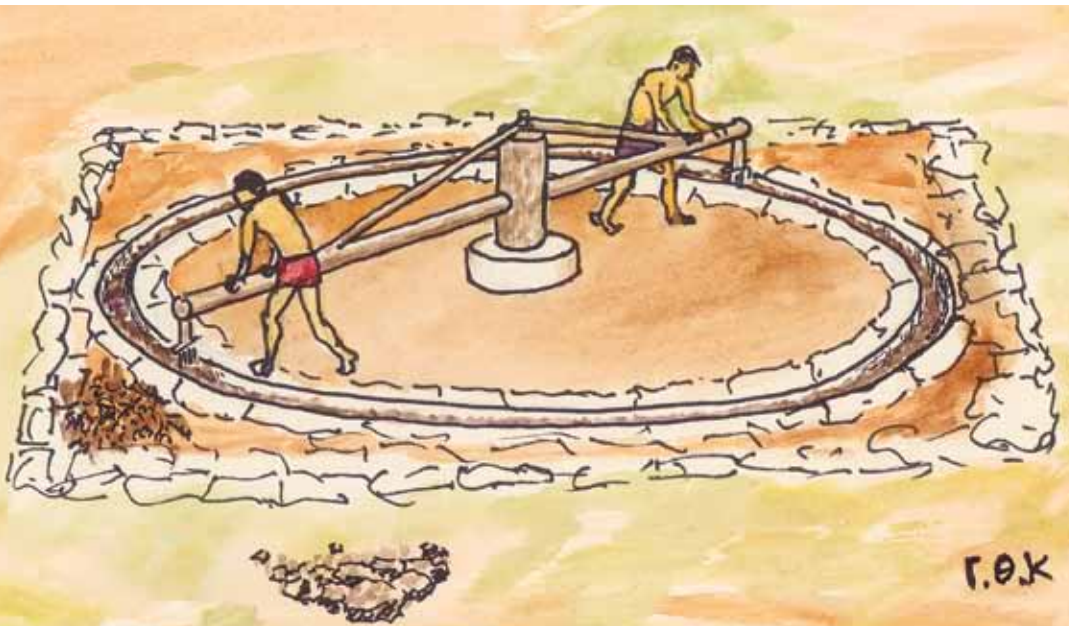
Τα τούβλα αυτού του συμπυκνώματος τα ξήρηναν στον αέρα.

Στο αρχαίο Λαύριο η συσσωμάτωση του εμπλουτίσματος γινόταν σε ειδικές εγκαταστάσεις, σε κλειστά επίπεδα ρείθρα κυκλικής μορφής σκαλισμένα πάνω σε μαρμάρια κομμάτια.

Μέσα στο ρείθρο έριχναν εμπλουτισμένο μετάλλευμα, άργιλο και νερό, τόσο όσο χρειάζεται για να γίνει το υλικό ένας πολτός.

Η ανάδευση των υλικών γινόταν με μια ξύλινη κατασκευή, στα δύο κάθετα άκρα της οποίας θα ήταν προσαρμοσμένο σιδερένιο εξάρτημα σε σχήμα «κτένας». Εργάτες περιέστρεφαν την κατασκευή και το «κτένι» αναμείγνυε τα υλικά, έως ότου γίνουν ένας σφικτός πολτός. Η τουβλοποίηση του συσσωματωμένου μεταλλεύματος γινόταν με τα χέρια. Τα «τούβλα» τα στέγνωναν με τον αέρα.

Τα κυκλικά ρείθρα συσσωμάτωσης βρίσκονται πλησίον των επιπέδων πλυντηρίων.



Το τουβλοποιημένο εμπλουτισμένο μετάλλευμα πήγαινε για τήξη στα εργαστήρια τήξεως.

Τα εργαστήρια τήξεως στη Λαυρεωτική είναι επιμήκεις κατασκευές, που περιλαμβάνουν τον χώρο των καμίνων και το χώρο τροφοδοσίας.

Οι δύο αυτοί χώροι βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα.

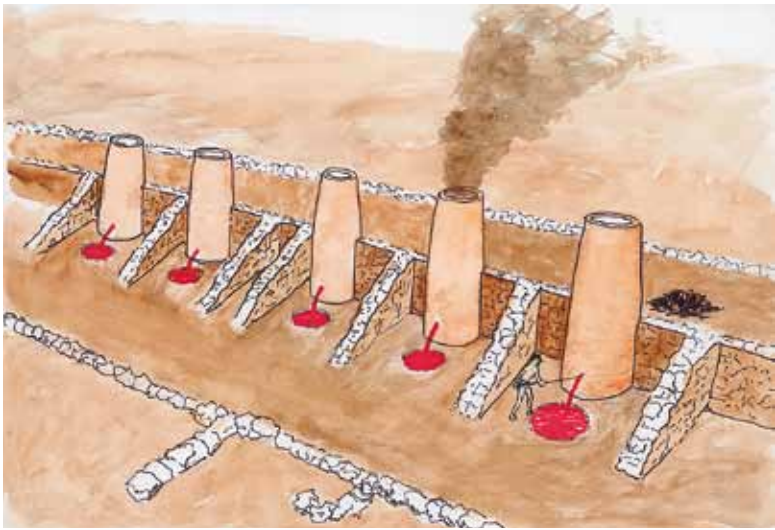
Χαμηλότερο είναι το επίπεδο των καμίνων, το οποίο είναι ένα μακρόστενο κτίσμα με τους χώρους των καμίνων κατά παράταξη. Περίπου 1,50 μ. υψηλότερα είναι το δάπεδο του χώρου των πρώτων υλών και τροφοδοσίας της καμίνου.

Οι χώροι των καμίνων είναι μικρά δωμάτια με την μια πλευρά ανοικτή. Σε κάθε δωμάτιο λειτουργούσε μία κάμιнос.

Οι κάμινοι είναι φρεατώδεις κυλινδρικοί και έχουν ύψος περίπου 3-4 μέτρα και εξωτερική διάμετρο 1-1,50 μ.

Η κάμιнос είχε εσωτερικό και εξωτερικό τοίχωμα. Τα δύο τοιχώματα έχουν δύο στρώσεις από διαφορετικά υλικά.

Το εξωτερικό είναι κτισμένο με ασβεστολιθικές πέτρες. Το εσωτερικό, μια πυρίμαχη κατασκευή, γινόταν από τραχύτη, που προερχόταν μάλλον από την Αίγινα.



Στο χαμηλότερο επίπεδο, εκτός από τα καμίνια, βρίσκονται τα φυσερά και η εγκατάσταση υποδοχής του ρευστού μετάλλου και της σκωρίας.

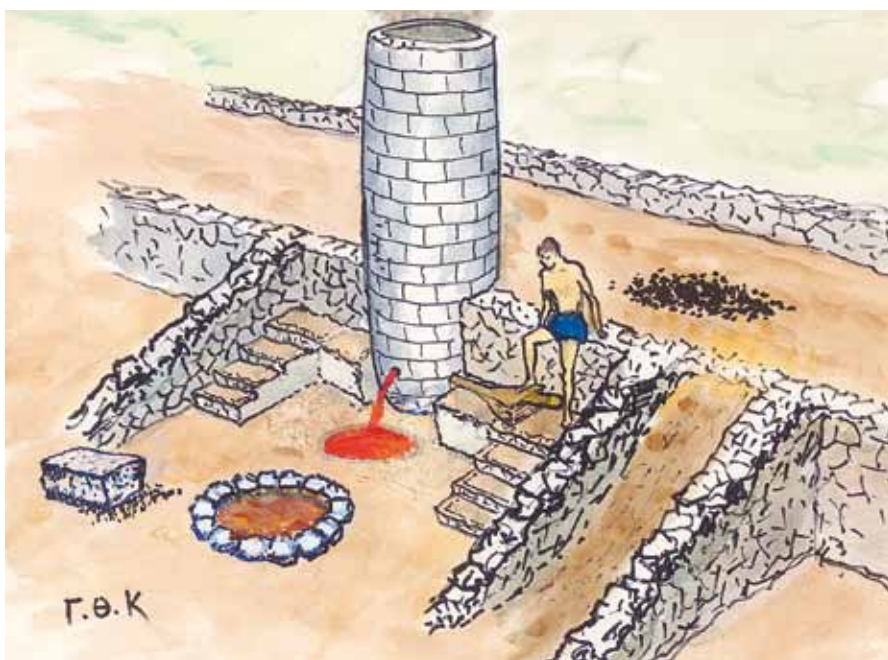
Εκατέρωθεν των καμίνων υπάρχουν σκάλες, οι οποίες εφάπτονταν στους διαχωριστικούς τοίχους των διαμερισμάτων των καμίνων. Τα σκαλιά οδηγούν σε δάπεδα, λίγο πλατύτερα από τα σκαλιά.

Στα δάπεδα αυτά τοποθετούσαν τα φυσερά, καθόσον υπήρχε αρκετός χώρος, τόσο για τα φυσερά, όσο και για τους εργαζόμενους. Στην θέση αυτή δεν υπήρχε κίνδυνος να καούν τα δέρματα των φυσερών, όχι μόνο επειδή τα δάπεδα έχουν μεγάλες διαστάσεις, αλλά και γιατί είναι προφυλαγμένα με ισχυρή τοιχοποιία από τη θερμότητα της καμίνου.

Σε ένα μικρό άνοιγμα της καμίνου τοποθετούσαν ένα ακροφύσιο φτιαγμένο από ψημένη άργιλο. Διαμέσου αυτού εμφυσάται ο αέρας.

Η κάμιнос λειτουργεί με τη βοήθεια του φυσερού, το οποίο εργάζεται συνεχώς. Οι εργάτες στα φυσερά εναλλάσσονται.

Τα φυσερά ήσαν μεγάλα και μάλλον ποδοκίνητα και σίγουρα τα μεγαλύτερα που θα μπορούσαν να κατασκευάσουν την εποχή εκείνη.



Το εμπλουτισμένο πλινθοποιημένο αργυρούχο μέταλλευμα στο Λαύριο υφίσταται μια αναγωγική τήξη με ξυλοκάρβουνο σε μια κατακόρυφη κάμινο.

Η τροφοδοσία της καμίνου γινόταν από πάνω. Το κάρβουνο ανακατεμένο με το μέταλλευμα καίγεται με ρεύμα αέρα, που διοχετεύεται συνεχώς μέσα στην κάμινο με φουσερά.

Η καύση του κάρβουνου προκαλεί την τήξη του μεταλλεύματος σε θερμοκρασία 1.000° C περίπου. Συγχρόνως ο άνθρακας και το μονοξειδίο του άνθρακα «ανάγουν» χημικά τα οξειδία του μόλυβδου και ελευθερώνουν το μόλυβδο σε μεταλλική κατάσταση.

Ο μόλυβδος περιέχει και τον άργυρο, αφού ο άργυρος διαλύεται τέλεια στο μόλυβδο.

Κατά την τήξη του μεταλλεύματος στο κάτω μέρος της καμίνου, στον πυθμένα της καμίνου, ρέουν λειωμένα τα προϊόντα, ο μόλυβδος που περιέχει και τον άργυρο και η σκωρία, σε δύο στρώσεις. Στην κάτω στρώση βρίσκεται ο μόλυβδος, που είναι βαρύτερος.

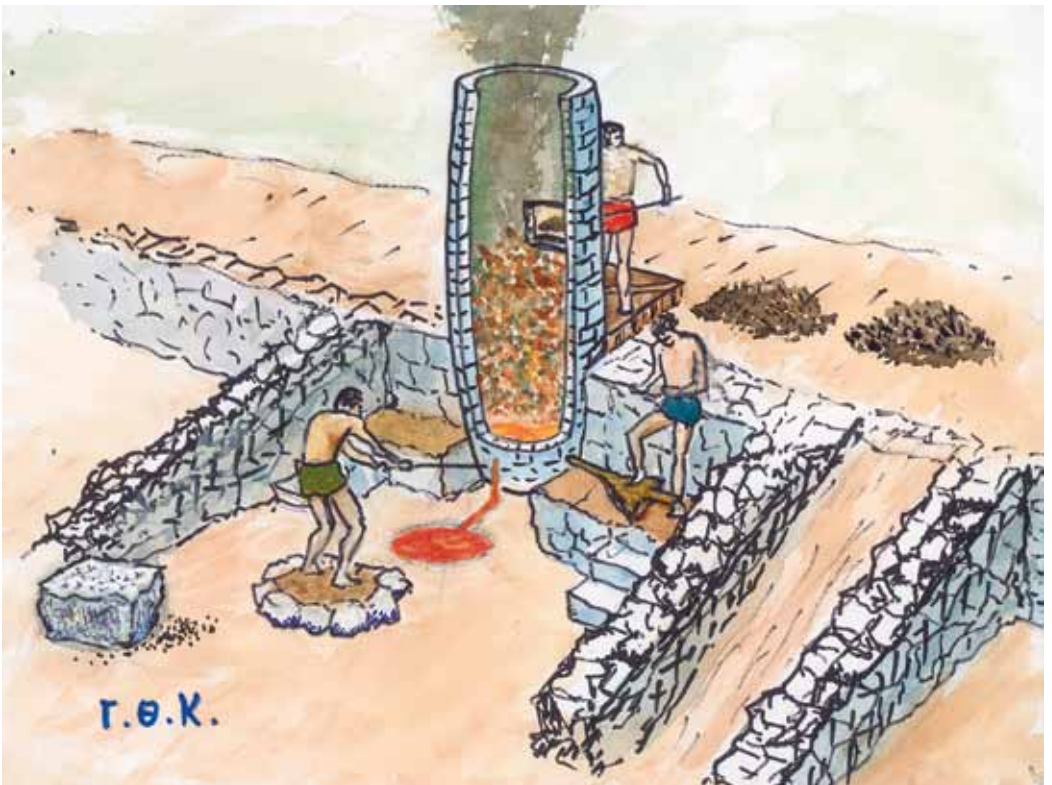
Όταν από τη λειτουργία της καμίνου παραγόταν αρκετός αργυρούχος μόλυβδος και σκωρία, ο εργάτης άνοιγε μια οπή του χωνευτηρίου με μια σιδερένια ράβδο.

Την οπή αυτή έκλειναν προηγουμένως με λίγο άργιλο.

Με το άνοιγμα της οπής έρεε πρώτα ο αργυρούχος μόλυβδος και μετά η σκωρία, που άφηναν να τρέχουν και συγκεντρωνόντουσαν σε μια λακούβα, όπου υπήρχε ένα πέτρινο γουδί, για τη συγκέντρωση των προϊόντων της τήξεως.

Η σκωρία επιπλέει πάνω στο αργυρούχο μόλυβδο. Εκεί τα προϊόντα της τήξεως στερεοποιούνταν σε δύο στρώσεις.

Ο εργάτης, για να ανοίξει την οπή της καμίνου με τη ράβδο, ώστε να τρέξει ο μόλυβδος και η σκωρία, πατούσε σε βάθρο, που βρίσκεται μπροστά στην κοιλότητα, όπου ρέουν τα προϊόντα της μεταλλουργικής κατεργασίας.

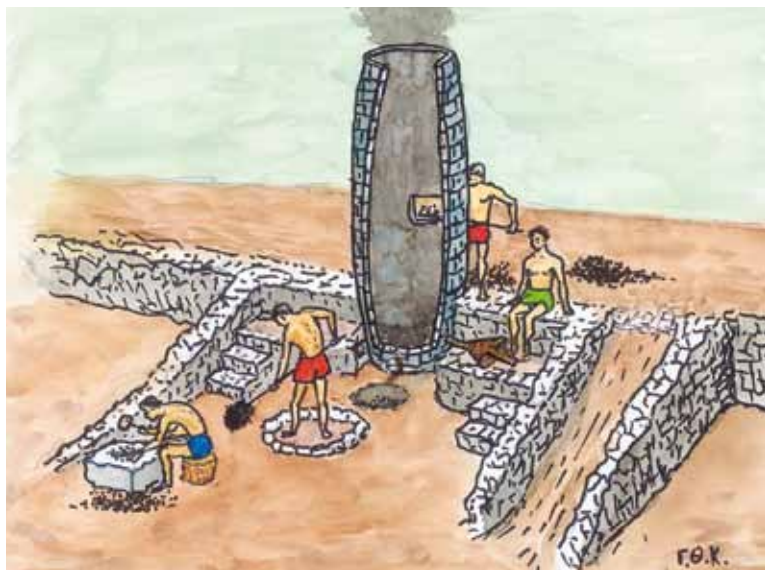


Τα προϊόντα της μεταλλουργικής διαδικασίας, που έχουν στερεοποιηθεί, αφαιρούνται από το γουδί με τη βοήθεια σιδερένιας ράβδου, την οποία είχαν μπήξει, όταν το μέταλλο ήταν ακόμη ρευστό. Στη συνέχεια τα προϊόντα αυτά τα διαχώριζαν.

Ο διαχωρισμός γίνονταν επάνω στη μεγάλη ασβεστολιθική πλάκα, που βρίσκεται στην ανοικτή πλευρά της καμίνου και εφάπτεται στον διαχωριστικό τοίχο του δωματίου της καμίνου.

Η σκωρία σπάζονταν σε κομμάτια. Φορτώνονταν σε κάρτα και μεταφέρονταν στο χώρο των σκωριών. Ενώ ο αργυρούχος μόλυβδος, που παραγόταν στις καμίνους μεταφέρονταν για κυπέλλωση.

Ο εργάτης, για να βγάλει από το γουδί το στερεοποιημένο πλέον υλικό, που είχε τρέξει από το καμίνι, στηρίζονταν στο κτιστό βάθρο, που ήταν εμπροσθεν της κοιλότητας, που έρεαν τα προϊόντα της μεταλλουργικής κατεργασίας.



Ο αργυρούχος μόλυβδος περιείχε κατά τόννο από 1 μέχρι και 4 κιλά περίπου αργύρου, ανάλογα με το αρχικό μετάλλευμα από το οποίο προερχόταν.

Οι αρχαίοι, για να χωρίσουν τον άργυρο από τον αργυρούχο μόλυβδο, ακολουθούσαν την ίδια μέθοδο που εφαρμόζεται και σήμερα. Την μέθοδο της κυπέλλωσης.

Σε ειδική κάμινο ο μόλυβδος τήκεται, οξειδώνεται και σαν οξειδίο, που οι αρχαίοι το ονόμαζαν «λιθάργυρο», ρέει έξω από την κάμινο. Στο τέλος έμενε ο άργυρος που δεν οξειδώνεται.

Η μεταλλουργική αυτή οξειδωση ονομάζεται «κυπέλλωση» και γίνεται σε πυρίμαχο κύπελλο, που τοποθετείται σε ειδική θολωτή κάμινο. Η κυπέλλωση στην περιοχή της Λαυρεωτικής γινόταν σε δύο στάδια. Στην αρχή το κύπελλο γεμιζόταν με αργυρούχο μόλυβδο.

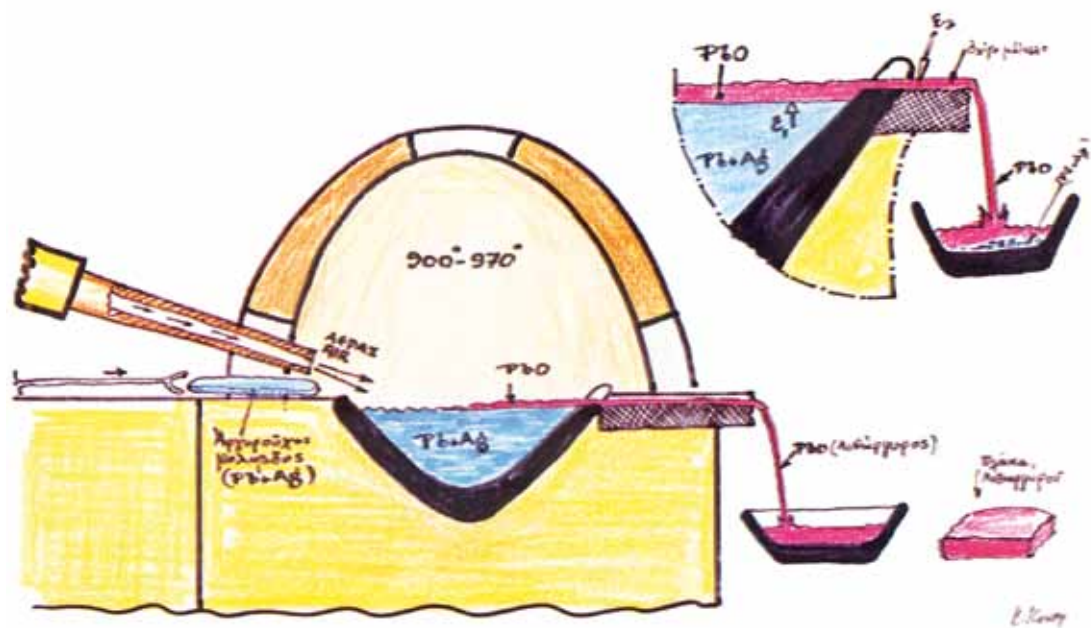
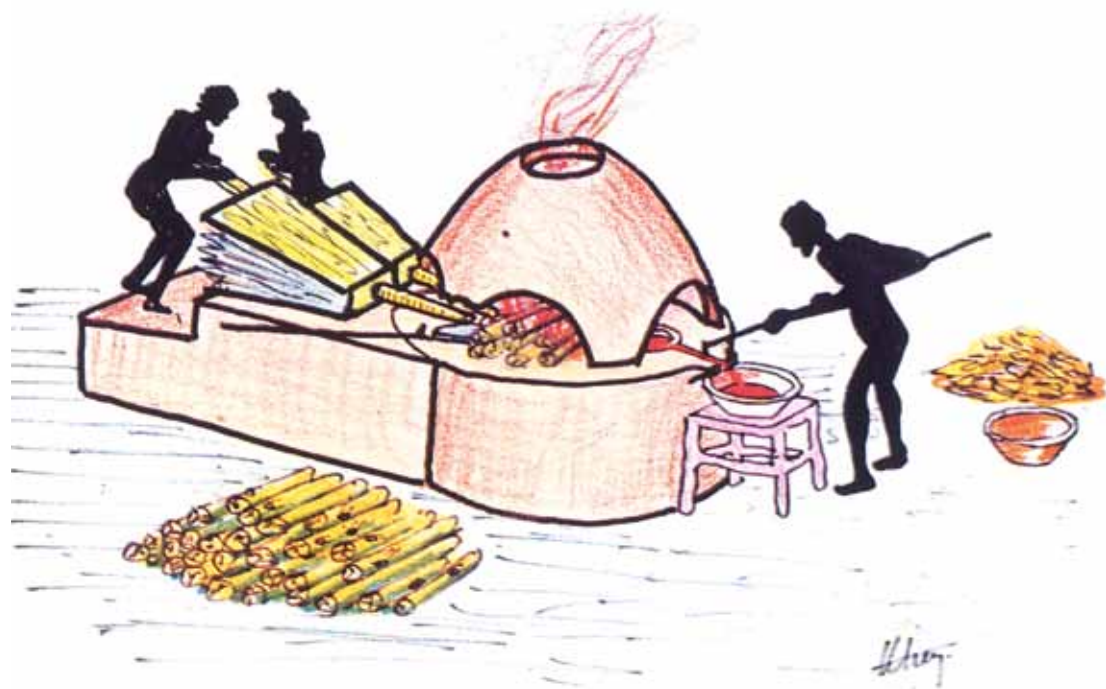
Στην κυπέλλωση καίγονται ξύλα, που δίνουν θερμοκρασία περίπου 900-970° C.

Στην επιφάνεια του μεταλλικού λουτρού φυσερά βγάζουν αέρα, που οξειδώνει το μόλυβδο. Από το ίδιο άνοιγμα των φυσερών ή από άλλο άνοιγμα της καμίνου, εργάτης σπρώχνει τη χελώνα του αργυρούχου μολύβδου κοντά στη φωτιά κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να λειώνει τόση ποσότητα μολύβδου όση και η ποσότητα του λιθαργύρου που ρέει προς τα έξω.

Το οξειδίο του μολύβδου, ο λιθάργυρος, σχηματίζει στην επιφάνεια ένα παχύ «φιλμ». Η φλέβα ροής του λιθαργύρου ρέει από μια εγκοπή του κυπέλλου και πέφτει σε κατάλληλο κεραμεικό δοχείο. Ο λιθάργυρος στερεοποιείται σε μορφή πλακών.

Οι αρχαίοι σταματούσαν στην κατάλληλη στιγμή την κυπέλλωση, όταν δηλαδή άρχιζε το λουτρό να γίνεται πλούσιο σε μόλυβδο.

Τότε άρχιζε το δεύτερο στάδιο κυπέλλωσης, που απέβλεπε στη κυπέλλωση του «πλούσιου μολύβδου» για τη λήξη του αργύρου.



Στο δεύτερο στάδιο, οι αρχαίοι, για να μην έχουν απώλεια σε άργυρο στο λιθάργυρο εφεύραν μια μέθοδο, η οποία επέτρεπε να βγαίνει ο λιθάργυρος χωρίς να παρασέρνει το πλούσιο μόλυβδο του λουτρού. Ήταν η μέθοδος «δια εμβαπτίσεως σιδηρών ράβδων».

Για να πάρουν τελικά οι αρχαίοι Αθηναίοι τον άργυρο από τον «πλούσιο μόλυβδο» που είχε μείνει στο κύπελλο κυπέλλωσης, ανέβαζαν τη θερμοκρασία σε 970 °C και εμφυσούσαν περισσότερο αέρα. Πιθανόν να χρησιμοποιούσαν άλλη κάμινο.

Στην αρχή η κατεργασία ήταν η ίδια όπως και στην πρώτη φάση.

Ο εμφυσώμενος αέρας οξειδώνει επιφανειακά τον μόλυβδο και ο παραγόμενος λιθάργυρος ρέει έξω από την κάμινο στο κύπελλο.

Όταν ληφθεί αρκετός λιθάργυρος καταυτόν τον τρόπο και λίγο πριν την εμφάνιση του αργύρου, για να μην έχουν απώλειες αργύρου στο λιθάργυρο, χρησιμοποιούσαν μια πρωτότυπη μέθοδο.

Τη μέθοδο των «εμβαπτιζόμενων κρύων σιδερένιων ράβδων».

Ο λιθάργυρος λαμβάνεται με διαδοχικές εμβαπτίσεις σιδερένιων ράβδων μέσα στο λουτρό του κυπέλλου κυπέλλωσης.

Αν η ράβδος είναι ευθεία, ο λιθάργυρος που λαμβάνεται έχει σχήμα σωλήνα, ενώ αν είναι κεκαμμένη ο λιθάργυρος έχει σχήμα κώνου.

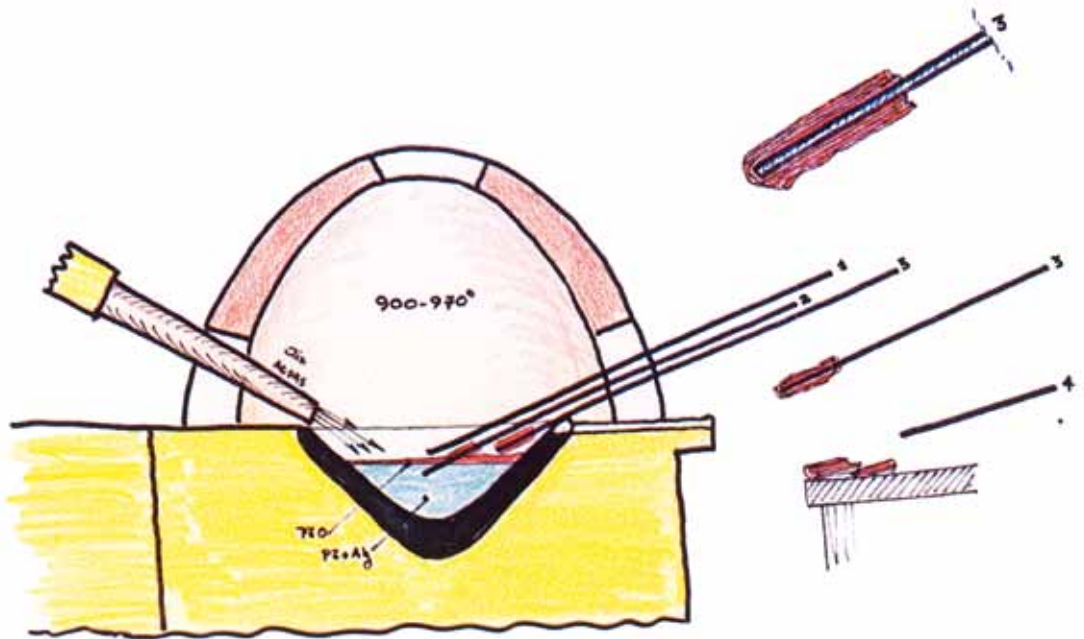
Ο αργυρούχος μόλυβδος του λουτρού δεν στερεοποιείται ούτε προσκολλάται στη σιδερένια ράβδο. Έτσι, με τις διαδοχικές εμβαπτίσεις της ράβδου γίνονται γύρω από αυτή στρώματα λιθαργύρου. Ο λιθάργυρος αυτός είναι τελείως απαλλαγμένος μεταλλικού μολύβδου του λουτρού.

Ο παραγόμενος λιθάργυρος πήγαινε για τήξη με σκοπό την παραγωγή μολύβδου, ενώ τον «πλούσιο μόλυβδο» που έμενε στο κύπελλο κυπέλλωσης τον ξανακυπέλλωναν για να πάρουν τον άργυρο.

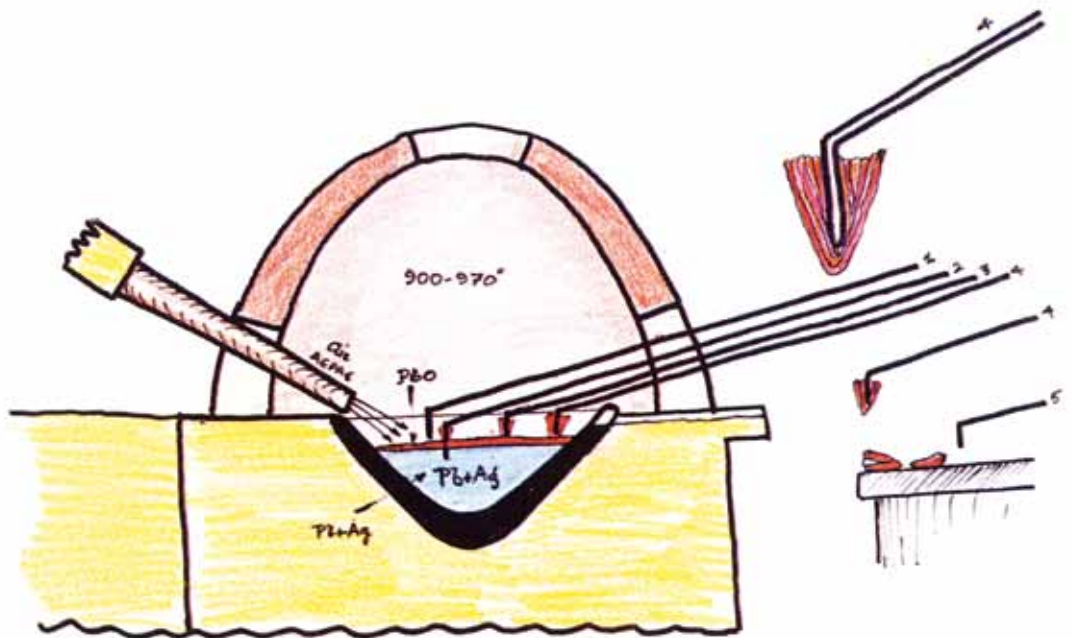
Η τήξη του λιθαργύρου για την παραγωγή μολύβδου γινόταν σε καμίνους τήξεως, που χρησιμοποιούσαν για το μετάλλευμα.

Η τήξη του λιθαργύρου είναι πολύ εύκολη. Χρειάζεται λίγο κάρβουνο 8-10% κατά τόννο λιθαργύρου.

Ο λιθάργυρος τήκεται, αλλά συγχρόνως αποδεσμεύεται ο μόλυβδος ως μεταλλικός. Ρέει από την κάτω οπή της καμίνου. Ο μόλυβδος αυτός έπαιρνε τον δρόμο του εμπορίου.



K. Kemp.



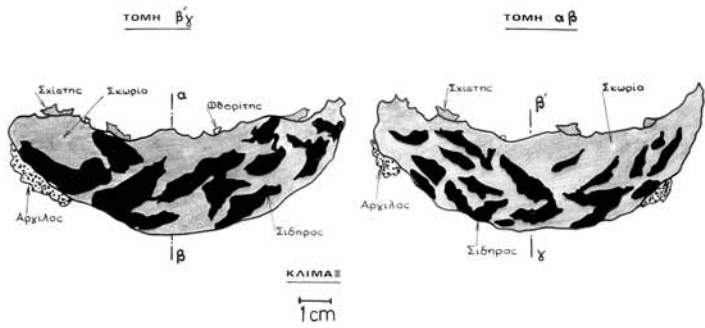
K. Kemp.

Ο σίδηρος, αν και ήταν γνωστός στον άνθρωπο από την εποχή του λίθου, άργησε να χρησιμοποιηθεί ευρέως, σε αντίθεση με το χαλκό λόγω των μεγάλων δυσκολιών της τεχνικής παραγωγής.

Ο αρχαίος μεταλλουργός δεν μπόρεσε να πετύχει θερμοκρασία πάνω από 1400 °C μέσα στην κάμινο, ώστε να πάρει από την τήξη των σιδηρούχων μεταλλευμάτων ρευστό μεταλλικό σίδηρο, που απαιτούσε πάνω από 1540 °C, πράγμα που επετεύχθη πολύ αργότερα, δηλ. το 19° αιώνα μ.Χ.

Από την κάμινο ο εργάτης αντί ρευστού μετάλλου έπαιρνε μια σπογγώδη μάζα γεμάτη σπές, δηλαδή το σύντηγμα. Μέσα σε αυτή τη μάζα υπήρχε εγκλωβισμένος ο σίδηρος σε μορφή σφαιριδίων και η σκωρία σε κάπως πολτώδη κατάσταση. Μόνο με συνεχή θέρμανση και σφυρηλασία του συντήγματος απομακρύνεται η σκωρία και το σύντηγμα διαμορφώνεται σε συνεχή μάζα σιδήρου.

Η παραγωγή συντήγματος από σιδηρούχα μεταλλεύματα στηρίζεται στην αναγωγή των οξειδίων του σιδήρου. Ο άνθρακας του ξυλοκάρβουνου κατά την καύση αποσπά οξυγόνο από τα οξείδια του σιδήρου. Έτσι ελευθερώνεται ο σίδηρος ως μέταλλο. Ο σίδηρος αυτός δεν είναι φυσικά σε κατάσταση στερεά.



Οι αρχαίοι για την αναγωγή σιδηρούχων μεταλλευμάτων χρησιμοποιούσαν φρεατώδη κάμινο όμοια με αυτή που χρησιμοποιούσαν για την τήξη του αργυρούχου μεταλλεύματος.

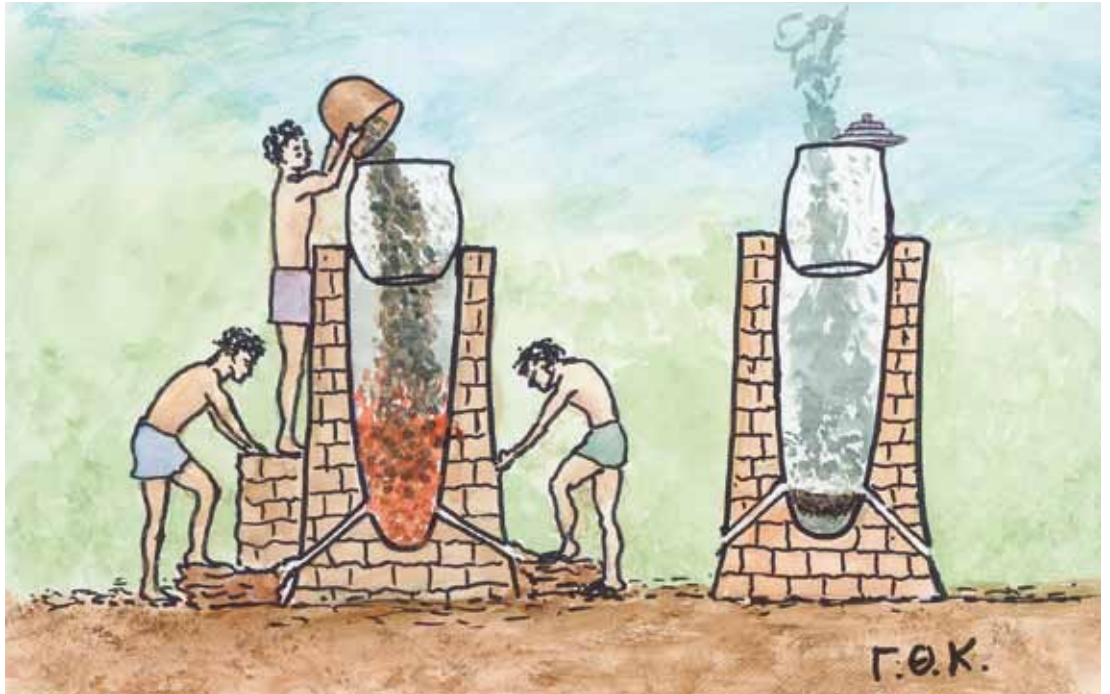
Η κάμινος όμως αυτή ήταν πιο χαμηλή, κτιστή, με ύψος περίπου 80-120 εκ. και με διάμετρο στο κατώτερο μέρος 15 εκ. και με πυθμένα ψηλότερα από το έδαφος.

Ο αέρας, απαραίτητος για την αναγωγή, διοχετεύεται με τη βοήθεια φυσερών στο κάτω μέρος της κάμινος.

Η τροφοδοσία της καμίνου με μετάλλευμα ανακατεμένο με ξυλάνθρακα γινόταν από πάνω. Μετά από 6-10 ώρες, περίπου, το μετάλλευμα έλειωνε και το φορτίο κατέβαινε προς τον πυθμένα. Κατ' αυτόν τον τρόπο σχηματιζόταν στον πυθμένα της καμίνου το ημισφαιρικό σύντηγμα.

Όταν όλος ο ξυλάνθρακας είχε καταναλωθεί και άφηναν την κάμινο να κρυώσει, έπαιρναν το σύντηγμα του σιδήρου είτε από το στόμιο της καμίνου είτε από άνοιγμα που έκαναν στο κάτω μέρος της.

Πιθανόν η κάμινος έκλεινε στο στόμιο της με ένα πυρίμαχο κεραμικό αγγείο με κινητό κάλυμμα ή με μια κινητή πλάκα.



Το παραγόμενο ημισφαιρικό σύντηγμα από την τήξη έπρεπε στη συνέχεια να καθαριστεί από την σκωρία.

Η απομάκρυνση της σκωρίας από το σίδηρο γινόταν με σφυρηλασία, σε υψηλή θερμοκρασία της τάξεως των 1200° – 1300° C, σε φρεατώδη κάμινο.

Η κάμινος αυτή είναι ουσιαστικά μια «εστία» ξυλοκάρβου-νου.

Το ημισφαιρικό τεμάχιο βυθιζόταν στο εσωτερικό της καμίνου, ανάμεσα στα διάπυρα κομμάτια του ξυλάνθρακα. Τα κομμάτια αυτά έμεναν στην κάμινο, έως ότου η σκωρία φθάσει σε κατάσταση σχετικής ρευστότητας.

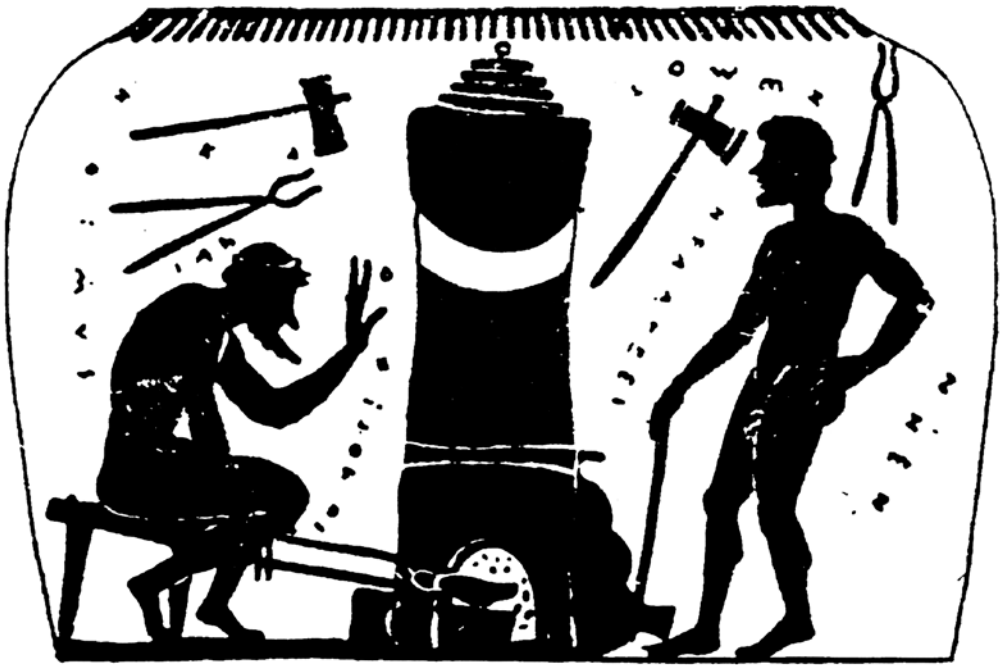
Το τεμάχιο το έβγαζαν και το σφυρηλατούσαν για να απομακρυνθεί η σκωρία.

Η κατεργασία επαναλαμβανόταν, εν ανάγκη, μέχρι πλήρους αφαιρέσεως των σκωριών από το συσσωματωμένο σίδηρο. Το κομμάτι του σιδήρου ήταν πλέον έτοιμο για την κατασκευή διαφόρων εργαλείων.

Ο παραγόμενος σίδηρος είναι ιδιαίτερα καθαρός.

Δεν περιέχει καθόλου άνθρακα. Αυτό αποδεικνύει ότι οι αρχαίοι άφηναν την κάμινο να κρυώσει με το σύντηγμα μέσα.

Το κομμάτι του μαλακού σιδήρου στη συνέχεια με σφυρηλασία εν θερμώ έπαιρνε το επιθυμητό σχήμα για την κατασκευή διαφόρων εργαλείων.



Ο παραγόμενος σίδηρος από την κατεργασία της σφυρηλατήσεως του συντήγματος είναι μαλακός και εύκαμπτος. Ο σίδηρος εκτιμήθηκε ιδιαίτερα, όταν τυχαίως και με ενανθράκωση μετατράπηκε σε χάλυβα. Ο χάλυβας που περιέχει λίγο άνθρακα από 0,2 έως 0,5% αποκτά ιδιότητες πολύ ανώτερες του σφυρήλατου σιδήρου. Τις γνωστές του ατσαλιού ικανότητες σκληρότητας, αντοχής και ελαστικότητας.

Ο μαλακός σίδηρος με την ενανθράκωση αποτελεί μια κρίσιμη πρόοδο στη μεταλλουργία του σιδήρου, μια σημαντική τεχνολογική αλλαγή.

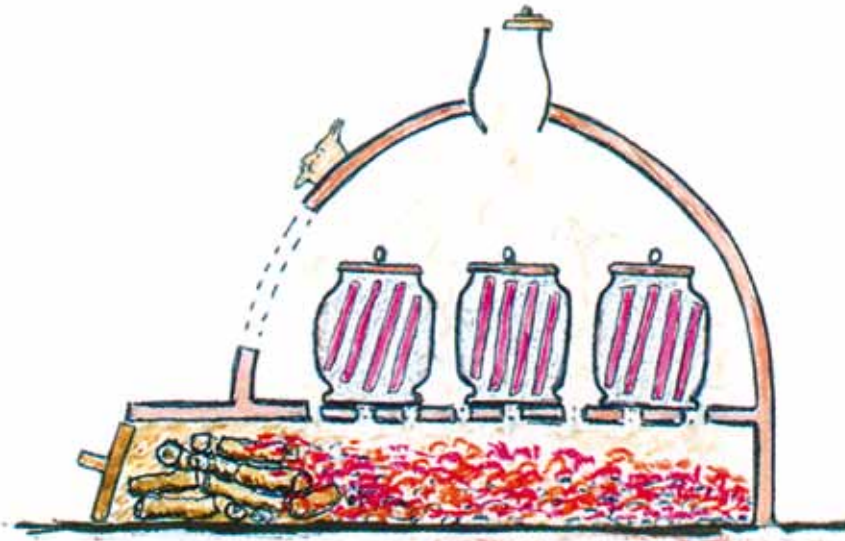
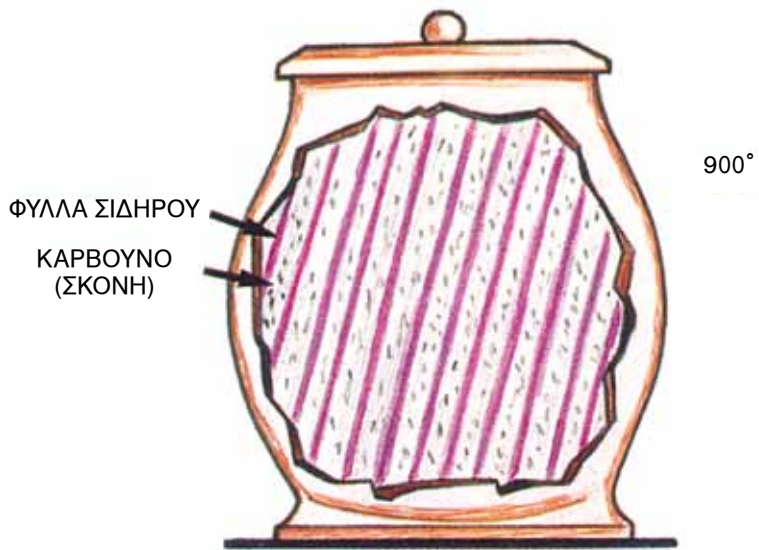
Όμως πέρασε αρκετό διάστημα, για να αναγνωρίσουν ότι ο χάλυβας ήτανε κράμα. Αυτό έγινε στα τέλη του 18ου αιώνα μ.Χ., δηλαδή 3000 χρόνια μετά την πρακτική του ανακάλυψη.

Ο χάλυβας στην αρχαιότητα παραγόταν υπό μορφή φύλλων σιδήρου, γιατί η ενανθράκωση δεν μπορεί να επιτευχθεί σε σημαντικά πάχη, λόγω του ότι πρόκειται για μια διαδικασία διάχυσης.

Τα λεπτά φύλλα του σιδήρου τα τοποθετούσαν σε πήλινα σφραγισμένα αγγεία με αρκετή σκόνη ξυλάνθρακα. Έτσι η ενανθράκωση έφθανε σε όλο το βάθος των φύλλων.

Αυτό απαιτούσε και θερμοκρασία της τάξεως των 800-900° C, που επιτυγχάνεται και σε καμίνοους που χρησιμοποιούσαν για το ψήσιμο των κεραμικών αγγείων.

Πιθανότατα παρόμοια κάμινοος εικονίζεται σε παράσταση αττικού αγγείου.

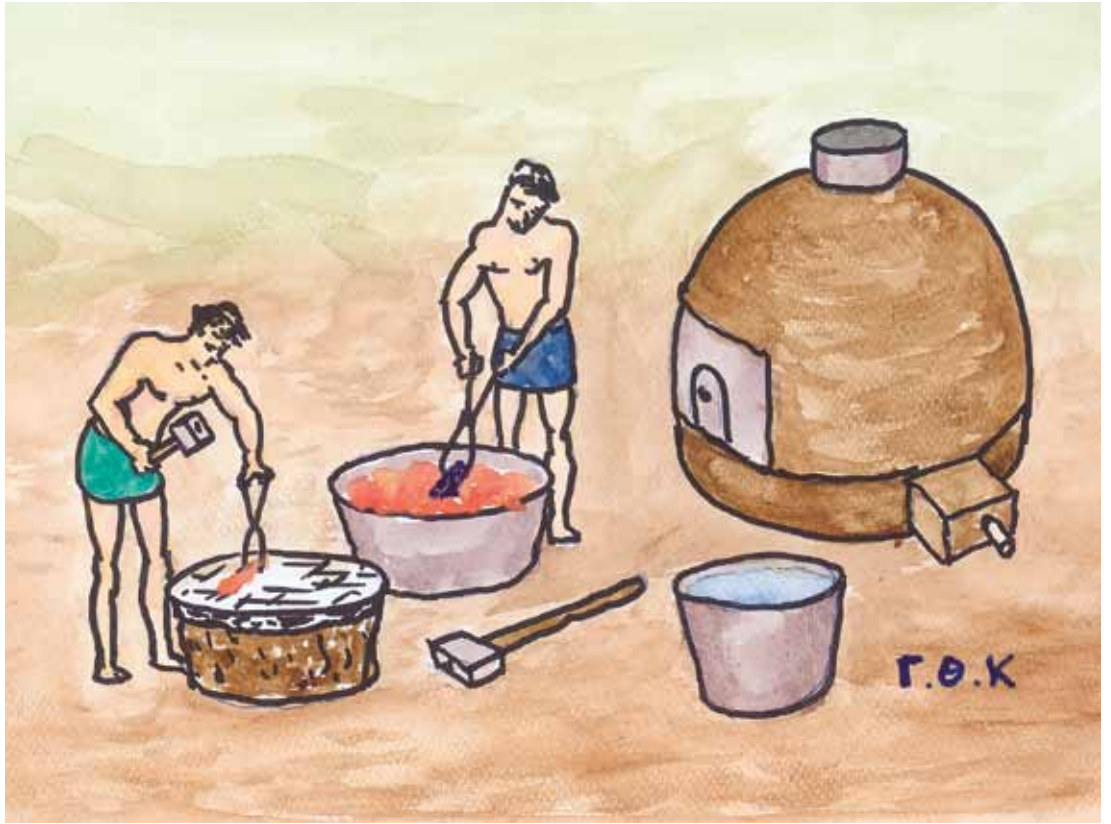


Η κατασκευή μεγάλων χαλύβδινων αντικειμένων γινόταν ή με συγκόλληση πολλών φύλλων χάλυβα ή με συγκόλληση εναλλάξ λεπτών φύλλων σιδήρου και χάλυβα. Η συγκόλληση των φύλλων αυτών επιτυγχανόταν με την τεχνική της αυτογενούς σφυρηλασίας, αφού θερμανθούν σε φωτιά σε υψηλή θερμοκρασία της τάξεως των 1300 °C. Στη συνέχεια ο τεχνίτης με σφυρηλασία εν θερμώ έδινε το επιθυμητό σχήμα στο μέταλλο. Ακολουθούσε η βαφή με απότομη ψύξη σε νερό.

Η απότομη ψύξη του θερμού χάλυβα σε νερό έδινε στο χάλυβα μεγαλύτερη σκληρότητα.

Η τεχνική της αυτογενούς συγκόλλησης με σφυρηλασία εν θερμώ, ήταν μια πολύ διαδεδομένη τεχνική στην κλασική περίοδο της Ελλάδος και αποτελούσε το μόνο τρόπο παραγωγής χαλύβδινων αντικειμένων μεγάλων διαστάσεων.

Την ενθερμώ διαμόρφωση χρησιμοποιούσαν μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις παραγωγής λεπτών αντικειμένων μαλακού χάλυβα ή σιδήρου π.χ. λεπίδες ή μαχαίρια.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agricola, De re Metallica, μετ. Hoover, N.York, 1950
- Βαρουφάκης Γ., Η ιστορία του σιδήρου από τον Όμηρο στον Ξενοφώντα, ελληνικά Γράμματα, Αθήνα, 2005
- Varoufakis G., Examination of an iron bloom from the Laurion, *Miscellanea Graeca fasciculus*, 9, Gent, 1994, σελ.153-160
- Varoufakis G., Examination of an iron tool found in an ancient marble quarry in the Laurion, *Miscellanea Graeca fasciculus*, 9, Gent, 1994, σελ.147-149
- Κακαβογιάννης Ε., Παραγωγή μολύβδου από λιθαργύρους στην ελληνιστική Ρόδο, AAA, 1984
- Κακαβογιάννης Ε., Χρονολόγηση σκωριών και λιθαργύρων της Λαυρεωτικής, ΙΓΜΕ, 1985
- Κακαβογιάννης Ε., Μέταλλα Συγκεχωρημένα. Η οργάνωση της εκμετάλλευσης του ορυκτού πλούτου της λαυρεωτικής από την Αθηναϊκή Δημοκρατία, Διδ. Διατριβή, Αθήνα, 1992
- Κονοφάγος Κ., Το αρχαίο Λαύριο και η ελληνική τεχνική παραγωγής του αργύρου, Αθήνα, 1980
- Κονοφάγος Κ., Μαντέκα Ε., Τσαΐμου Γ. Κ., Η αθηναϊκή τεχνική της νομισματοκοπίας κατά την κλασικήν εποχήν, Πρακτικά Ακαδημίας Αθηνών, 51, 1976.
- Κονοφάγος Κ. - Παπαδημητρίου Γ., Η τεχνική της παραγωγή σιδήρου και χάλυβα από τους αρχαίους Έλληνες στην Αττική κατά την κλασικήν περίοδο, ΠΑΑ, 1981
- Κονοφάγος Κ. - Παπαδημητρίου Γ., Ερμηνεία του χρησιμοποιούμενου αγγείου από τους αρχαίους Έλληνες στο στόμιο των καμίνων κατά την κλασική περίοδο, ΠΑΑ, 1981
- Conophagos C. - Tsaimou C., Interpretation du sujet figure dans un medaillon de figure rouge d'un Kylix des «Musees Royaux d'art et d'histoire» de Bruxelles signale par R349 d'un diametre de 8,8 cm. Ορυκτός Πλούτος, τεύχος 89, Μάρτ.-Απρ. 1994, σελ. 23-26.
- Κονοφάγος Κ. Ηλίας - Σιδέρη Η. Σταυρούλα, Οι παραχωρήσεις των μεταλλείων της Λαυρεωτικής και η οικονομία του κράτους των Αθηνών τον 5ο και 4ο αιώνα π.Χ., Συνάντηση ΝΑ Αττικής, Λαύριο, 2001

- Μπαντέκα Ε., Στεγανοποιητικά κονιάματα αρχαίων ελληνικών δεξαμενών ύδατος, Διδ. Διατριβή, Αθήνα, 1974
- Papadimitriou G. - Garagunis C. - Kordatos J., Examination of the iron shells of wooden poles used for the foundation of an ancient pier on the Strymon river near the ancient city of Amphipolis, Πρακτικά Συμποσίου Αρχαιομετρίας (Θεσσαλ. 26-28 Μαρτίου)
- Παπαδημητρίου Γ., Λιθάργυρος: ένα χρήσιμο παραπροϊόν της μεταλλουργίας αργύρου στο Αρχαίο Λαύριο, ΣΤ επιστ. Συνάντηση ΝΑ Αττικής, Μαρκόπουλο Αττικής, Αθήνα, 1993
- Tsaimou C., Verification of Aristotele's remark about the flotation of galena, Int. Colloq.on Archaeometallurgy, Bologna. 18-21 October, 1988. Πρακτικά Συνεδρίου.
- Τσαΐμου Γ. Κ., Αξιολόγηση ορισμένων χαρακτηριστικών του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων στο Θορικό υπό Π. Ζορίδη, (Αρχαιολογική εφημερίδα 1980), Δ΄ Επιστημονική Συνάντηση ΝΑ Αττικής, Καλύβια Αττικής, 30 Νοεμ.- 3 Δεκ. 1989. Πρακτικά Συνεδρίου.
- Τσαΐμου Γ. Κ. - Παπαδημητρίου Γ., Ελληνική επιγραφική Ρωμαϊκών χρόνων αναφερομένη στις μεταλλουργικές δραστηριότητες Ελλήνων στη Μαύρη Θάλασσα, Β΄ Συμπ. Αρχαιομετρίας, Θεσσαλονίκη, 1993
- Τσαΐμου Γ. Κ., Τα ελικοειδή πλυντήρια της Λαυρεωτικής, Ευρωπαϊκό Συμπόσιο «*Τα Αρχαία Μεταλλεία στην Ευρώπη*», Λαύριο, 13 - 16 Απριλίου, 1994.
- Τσαΐμου Γ. Κ. - Φραγκίσκος Α., Τα επίπεδα πλυντήρια εμπλουτισμού μεταλλευμάτων της Λαυρεωτικής. Παρατηρήσεις στη λειτουργία τους, 3ο Συμπόσιο Αρχαιομετρίας της ΕΑΕ. Αθήνα, 6 - 9 Νοεμβρίου, 1996.
- Τσαΐμου Γ. Κ., Αρχαιογνωσία των μετάλλων Αρχαία Μεταλλευτική και Μεταλλουργική Τεχνική, Αθήνα, 1997
- Τσαΐμου Γ. Κ. - Κονοφάγος Η., Σύστημα σταθερής πίεσης στον εμπλουτισμό των επίπεδων πλυντηρίων του αρχαίου Λαυρίου, Αργυρίτης γη, Χαριστήριο στον Κ. Κονοφάγο, Αθήνα, 1998, σελ. 155-162
- Τσαΐμου Γ. Κ., Το ελικοειδές πλυντήριο στη θέση Μπερτσέκο της Λαυρεωτικής (Ανασκαφή 1996), Η΄ Επιστημονική Συνάντηση ΝΑ Αττικής, Κερατέα 30-10 έως 2-11-1997, Πρακτικά Συνεδρίου, σελ. 699-712

- Τσαΐμου Γ. Κ., Ο χρυσός και ο άνθρωπος, Ορυκτός Πλούτος, 111, 1999, σελ. 41-54
- Τσαΐμου Γ. Κ. - Φραγκίσκος Α., Ανάδειξη και αξιοποίηση του Αρχαίου Μεταλλευτικού Λαυρίου, Θ' Επιστ. Συνάντηση ΝΑ Αττικής Λαύριο, 2000
- Τσαΐμου Γ. Κ., Ο ρόλος του συνδυασμού επιπέδων και ελικοειδούς πλυντηρίου στον οικονομικό αποτέλεσμα της τήξης του αργυρούχου μεταλλεύματος, Θ' Επιστ. Συνάντηση ΝΑ Αττικής Λαύριο, 2000, Πρακτικά του Συνεδρίου
- Τσαΐμου Γ. Κ., Μπερτσέκο 1996. Ανασκαφή ελικοειδούς πλυντηρίου, ΑΔ, τόμος 51 (1996), Αθήνα, 2001, σελ. 66
- Tsaimou G. K., Ancient Athenian technology of processing argentine ores and economic benefits, Istanbul, 2001 ,9th Balkaian Mineral processing Congress, Πρακτικά Συνεδρίου, σελ. 695-700
- Τσαΐμου Γ. Κ., Μεταλλουργικές δραστηριότητες στην Κάτω Βασιλική Αιτωλίας κατά την αρχαιότητα, Αγρίνιο, 2002, Πρακτικά Συνεδρίου, σελ.333-338
- Τσαΐμου Γ. Κ., Αρχαίες μέθοδοι εμπλουτισμού Παρατηρήσεις – Συγκρίσεις, Ι' Επιστ. Συνάντηση ΝΑ Αττικής, Καλύβια Αττικής 28 Νοεμβρίου - 2 Δεκεμβρίου 2002, Πρακτικά Συνεδρίου, σελ. 649-660
- Τσαΐμου Γ. Κ., Μπερτσέκο 1997. Ανασκαφή νοτίως του ελικοειδούς πλυντηρίου, ΑΔ, τόμος 52 (1997), Αθήνα, 2002, σελ. 89-90
- Tsaimou G. C., A first valuation of the excavation of ancient washeries a Laureotica, 4th Symposium on Archaeometry, Athens, 2003, Πρακτικά Συνεδρίου
- Τσαΐμου Γ. Κ., Νέα αρχαιολογικά ευρήματα στη Λαυρεωτική σχετικά με τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων, ΙΑ Επιστ. Συναντ. ΝΑ Αττικής, Σπάτα, 11-14 Νοεμβρίου, 2004, Πρακτικά Συνεδρίου
- Τσαΐμου Γ. Κ., Συγκρότημα εμπλουτισμού μεταλλευμάτων στο Μπερτσέκο Λαυρεωτικής. Αρχαίοι μεταλλευτικοί δρόμοι (Ανασκαφή Ε.Μ.Π. 2000), ΑΔ, 2004
- Τσαΐμου Γ. Κ., Συγκρότημα εμπλουτισμού μεταλλευμάτων στο Μπερτσέκο Λαυρεωτικής. Επίπεδο πλυντήριο Π3 (Ανασκαφή Ε.Μ.Π. 2002), ΑΔ, 2004
- Τσαΐμου Γ. Κ., Το επίπεδο κυκλικό ρείθρο κατεργασίας μεταλλευμάτων στο Αρύ Λαυρεωτικής, Ορυκτός Πλούτος, 137, 2005, σελ. 19-28

- Τσαΐμου Γ. Κ., Σκέψεις και προβληματισμοί για το συγκρότημα εμπλουτισμού μεταλλευμάτων στη θέση Μπερτσέκο Λαυρεωτικής, Τιμ. Τόμος Φραγκίσκου, Αθήνα, 2005, σελ. 279-296
- Τσαΐμου Γ. Κ., Αρύ III Το Έβδομο μαρμάρινο ρείθρο στη Λαυρεωτική (2005), ΑΔ 2005, σελ.185
- Τσαΐμου Γ. Κ., Τα δύο νέα ρείθρα στο Χάρβαλο και Καμάριζα Λαυρεωτικής (2005), ΑΔ 2005, σελ. 188-189
- Τσαΐμου Γ. Κ., Η μεταλλευτική στοά στο Μπερτσέκο (2005), ΑΔ, 2005, σελ. 189
- Τσαΐμου Γ. Κ., Ορολογία της αρχαίας μεταλλείας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις του Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2007
- Τσαΐμου Γ. Κ. - Τσαΐμου Σ. Ανθή, Αρχαία μεταλλευτική εγκατάσταση στην περιοχή Αρύ Λαυρεωτικής, ΙΓ Επιστ. Συνάντηση ΝΑ Αττικής, Καλύβια Θορικού Αττικής, 2010, Πρακτικά Συνεδρίου, σελ. 163-170
- Τσαΐμου Γ. Κ., Διαδικασία λειτουργίας καμίνων τήξεως μέσα από τις ανασκαφές του Ε.Μ.Π. στο Αρύ Λαυρεωτικής, ΙΔ Επιστ. Συνάντηση ΝΑ Αττικής, 2013, Πρακτικά Συνεδρίου, σελ. 80-88



Οι πρόσφατες ανασκαφικές έρευνες του Ε.Μ.Π. στη Λαυρεωτική, σε αρχαίες μεταλλουργικές εγκαταστάσεις, που από το έτος 1996 διευθύνω, έδωσαν νέα στοιχεία που συμπληρώνουν ή αναιρούν παλαιότερες απόψεις κυρίως σε θέματα εμπλουτισμού και καμινείας.

Στο πόνημα αυτό παρουσιάζονται τα παλαιά αλλά και τα νέα στοιχεία συνοδευόμενα με κατάλληλες εικόνες για καλύτερη κατανόηση τους, εφόσον μάλιστα πρόκειται για εξειδικευμένο επιστημονικό θέμα. Δηλαδή την μεταλλευτική και μεταλλουργική τεχνική που ανέπτυξαν οι αρχαίοι. Έτσι, ο νεώτερος ερευνητής θα μπορεί εύκολα να ανατρέχει σε όλες αυτές τις παραστάσεις, να τις μελετά, να τις συμπληρώνει και να έχει μια πληρέστερη εικόνα.