

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΕΡΜΙΟΝΕΩΝ

ΣΚΩΡΙΕΣ ΕΚΚΑΜΙΝΕΥΣΗΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΣΙΔΗΡΟΥ



Η μελέτη αυτή σκοπό έχει να φέρει στο προσκήνιο τις μεταλλουργικές δραστηριότητες στην αρχαία Ερμιόνη. Παρέχει πληροφορίες και τεκμήρια με σκοπό να προσεχθεί και κατανοηθεί αυτό το σπουδαίο κομμάτι της ζωής της αρχαίας πόλης των Ερμιονέων, κυρίως από τους σημερινούς κατοίκους της και τις αρμόδιες υπηρεσίες, να ερευνηθεί και αναδειχθεί όπως αρμόζει σε μια από τις ωραιότερες και σημαντικότερες αρχαίες ελληνικές πόλεις.

Η παρούσα μελέτη ως προς ό,τι έχει σχέση με τις σκωρίες σιδήρου είναι στο σύνολό της πρωτότυπη εργασία.

Αναλύονται επίσης με όσο γίνεται πιο απλό και παραστατικό τρόπο θέματα μεταλλουργίας χαλκού και σιδήρου, για να γίνει κατανοητό το θέμα των σκωριών, αλλά και για να στρέψουμε την προσοχή μας στα τεχνολογικά επιτεύγματα της πόλης των Ερμιονέων.

Από το ψήσιμο σε ανοικτή φωτιά, στον βιοτεχνικό φούρνο. Καμίνι (φούρνος) για ψήσιμο κεραμικών.

Ανοικτή φωτιά είναι η καύση ξύλων. Εκεί πρωτόψησε ο άνθρωπος τα κεραμικά του. Εκεί έκανε πολλές παρατηρήσεις για το τι παθαίνουν πολλές «πέτρες» όταν πυρώνονται. Ο άνθρωπος της ερήμου είδε μετά από το άναμμα μεγάλης φωτιάς την πυριτική άμμο να γίνεται υαλόμαζα. «Πέτρες» να καίγονται και να αναδίδουν οσμές αποπνικτικού θείου. Η φωτιά υπήρξε **το κλειδί** για το πέρασμα από τα λίθινα εργαλεία στα μεταλλικά. Ήταν ο πειρασμός δοκιμής διαφόρων υλικών για να δούμε τι θα πάθουν όταν πυρωθούν.

Με το πέρασμα του χρόνου ο άνθρωπος τιθάσευσε τις φλόγες της ανοικτής φωτιάς και τις κατηύθυνε σε ένα θάλαμο όπου ψήνονταν ομοιόμορφα τα κεραμικά. Μπορούσε να ρυθμίζει με ακρίβεια τη θερμοκρασία του θαλάμου αλλά και το είδος της φλόγας. Άλλοτε να καπνίζει, δηλαδή να έχει έλλειψη οξυγόνου και περίσσευμα μονοξειδίου του άνθρακα (αναγωγική φλόγα), και άλλοτε να έχει περίσσευμα οξυγόνου και καθόλου μονοξείδιο του άνθρακα (οξειδωτική φλόγα).

Έτσι κατάφερνε να κάνει την κόκκινη επιφάνεια των κεραμικών μαύρη με την επίδραση του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και μετά να την επαναφέρει στο κόκκινο χρώμα με την επίδραση του οξυγόνου. Δηλαδή το τριοξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3) που δίνει το κόκκινο χρώμα στον πηλό, με την αναγωγική φλόγα το έκανε μονοξείδιο και επιτεταρτοξείδιο του σιδήρου ($\text{FeO} - \text{Fe}_3\text{O}_4$) που έχουν μαύρο χρώμα και στη συνέχεια μπορούσε να κάνει το ανάποδο με την οξειδωτική φλόγα. Αν μια επιφάνεια δεν ήθελε να επηρεαστεί από την φλόγα και να μείνει στο χρώμα της, άπλωνε πάνω της ένα λεπτό στρώμα υαλόμαζας που προστάτευε την από κάτω επιφάνεια του πηλού.

Βέβαια αυτά τα «τεχνάσματα» δεν ήταν ουρανοκατέβατα. Πήλινα που ψήνονταν σε ανοικτή φωτιά έπαιρναν μαύρο ή κόκκινο χρώμα εν όλω ή εν μέρει ανάλογα με το πού έτυχε να τοποθετηθούν. Αν ήταν πάνω σε

κλαριά που αερίζονταν εύκολα, ο πηλός γινόταν κόκκινος. Αν όμως έπεφταν πάνω σε φύλλα και ξερά χόρτα που δεν αερίζονται και καίγονται όπως λέμε βουβά, ο πηλός μαύριζε λόγω έλλειψης οξυγόνου και μεγάλης παραγωγής μονοξειδίου του άνθρακα (ατελής καύση).

Παρατήρηση, επανάληψη, αποτυχία, επιτυχία, λάθος, δοκιμή, συστηματικότητα, μέτρηση, στοχαστικό μυαλό, δημιουργούσαν τον έμπειρο τεχνίτη, την έμπειρη συντεχνία. Και προφορική παράδοση της τέχνης μέχρι να ανακαλυφθεί η γραφή.

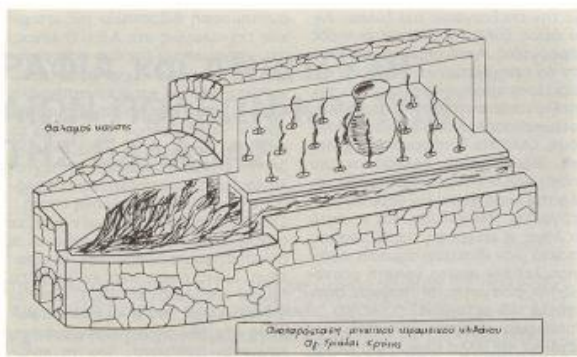
Ερυθρόμορφα και Μελανόμορφα αγγεία.

Ένα αγγείο από κόκκινο πηλό το έψηνε σε οξειδωτική φλόγα, οπότε παρέμενε όλο κόκκινο, και μετά πάνω του σχεδίαζε μορφές τις οποίες κάλυπτε με στρώμα υαλόμαζας. Μετά το έβαζε πάλι στο φούρνο για ψήσιμο, αλλά με φλόγα αναγωγική. Τότε όλη η επιφάνεια του αγγείου γινόταν μαύρη, όμως οι μορφές έμεναν κόκκινες, γιατί προστατεύονταν από το λεπτό στρώμα υαλόμαζας. Έτσι έπαιρνε τα ερυθρόμορφα αγγεία.

Ένα αγγείο από κόκκινο πηλό το έψηνε σε αναγωγική φλόγα, οπότε μαύριζε όλο το αγγείο, και μετά πάνω του σχεδίαζε μορφές τις οποίες μετά κάλυπτε με στρώμα υαλόμαζας. Μετά το έβαζε πάλι στο φούρνο για ψήσιμο, αλλά με φλόγα οξειδωτική. Τότε όλη η επιφάνεια του αγγείου γινόταν κόκκινη, όμως οι μορφές έμεναν μαύρες, γιατί προστατεύονταν από το στρώμα υαλόμαζας. Έτσι έπαιρνε τα μελανόμορφα αγγεία. Τα σχέδια μπορούσε να τα κάνει με ένα λεπτότατο πινέλο με μαύρο πηλό για χρώμα για τις ερυθρές μορφές και με κόκκινο πηλό για τις μελανές μορφές, ή και με άλλο χρώμα πηλού. Ούτως η άλλως θα τα προστάτευε το λεπτό στρώμα υαλόμαζας που θα τις κάλυπτε προστατευτικά.

Από την ανοικτή φωτιά πέρασε στον κεραμικό θάλαμο και έμαθε να ρυθμίζει τη φλόγα, να είναι άλλοτε αναγωγική (με έλλειψη οξυγόνου και παρουσία ισχυρή μονοξειδίου του άνθρακα) και άλλοτε οξειδωτική (με περίσσεια οξυγόνου και έλλειψη μονοξειδίου του άνθρακα). Η θερμοκρασία μπορούσε άνετα να φτάσει τους 600 – 800 βαθμούς Κελσίου.

Κατάλαβε όμως με τα χρόνια και την εμπειρία ότι η φλόγα δεν θερμαίνει μόνο τα αντικείμενα αλλά επενεργεί στο υλικό τους και το μεταβάλλει. Κατάλαβε ότι και άλλα υλικά, όπως το ερυθροπυρωμένο κάρβουνο επενεργούν στο υλικό και το μεταβάλλουν. (Εικόνα 1)



4. Αναπαράσταση κεραμικού κλιβάνου Αγ. Τριάδας, Κρήτης.



Ο κεραμικός κλιβάνος στο τελικό στάδιο εξέλιξής του με τα θαυμάσια μελανόμορφα και ερυθρόμορφα Αττικά Αγγεία. Η θερμοκρασία του είναι στη ζώνη των 600 – 800 βαθμών Κελσίου.



Εικόνα 1. Η τελειοποίηση του κεραμικού κλιβάνου και η τεχνογνωσία έκαναν διάσημα στη Μεσόγειο τα ερυθρόμορφα και μελανόμορφα αγγεία της Αττικής. Πίσω από την καλλιτεχνική έκφραση κρυβόταν καινοτόμος τεχνολογία.

Λίγα λόγια για τη Μεταλλουργία.

Είναι η τέχνη που βγάζει τα μέταλλα από τα ορυκτά τους. Τα ορυκτά συμπεριφέρονται σαν κοινές πέτρες, δηλαδή δεν γίνονται ελάσματα ούτε λεπταίνουν άμα τα τραβήξουμε (όπως λέμε, δεν είναι τα ορυκτά ελατά και όλκιμα). Αν το επιχειρήσουμε, σπάνε αμέσως.

Το ορυκτό έχει το μέταλλο μέσα του αλλά σε μορφή κυρίως οξειδίου, δηλαδή ένωση του μετάλλου με οξυγόνο, και η μεταλλουργία καλείται να ελευθερώσει το μέταλλο. Και ελευθέρωση σημαίνει αφαίρεση του οξυγόνου από το οξείδιό του.

Για να γίνει αυτό πρέπει η φωτιά να εγκλωβιστεί μέσα σε μια πυρίμαχη κατασκευή (για να ανεβαίνει ψηλά η θερμοκρασία), μέσα στην οποία βάζουμε κατά στρώσεις ξυλοκάρβουνα και ορυκτό και στο κάτω μέρος φυσάμε αέρα για να συντηρούμε τη φωτιά. Αν φυσάμε μικρή ποσότητα αέρα, τότε η φωτιά είναι αναγωγική, βγάζει δηλαδή πολύ μονοξείδιο του άνθρακα (CO) το οποίο τραβάει το οξυγόνο από το ορυκτό μετατρέπόμε-νο σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και μένει έτσι ελεύθερο το μέταλλο. Το μονοξείδιο το άνθρακα κάνει αυτή τη δουλειά και όχι ο άνθρακας.

Για να συμβεί όμως αυτό, η θερμοκρασία του κλίβανου πρέπει να είναι στη ζώνη των 1000 – 1100 βαθμών Κελσίου και ο αέρας που φυσάμε μέσα να είναι υπό έλεγχο. Αυτό το πετυχαίνουμε με τον πυρίμαχο κλίβανο που θα εγκλωβίζει τη θερμότητα, ώστε η θερμοκρασία να φτάνει αρκετά ψηλότερα από τον κλίβανο των κεραμικών, ο δε αέρας, αν δεν είναι δυνατή η αναρρόφησή του, να «φυσιέται» με πίεση μέσω ενός πυρίμαχου ακροφυσίου, κάτω όμως από τον έλεγχο έμπειρου μεταλλουργού ο οποίος γνωρίζει πόσο αέρα πρέπει να φυσάει κάθε στιγμή και σε κάθε φάση λειτουργίας πέρα από τον χειρισμό των υλικών.

Στον κεραμικό κλίβανο καίμε ξύλα και κλαριά. Στον μεταλλουργικό κλίβανο ξυλοκάρβουνα.

Στόχος της Μεταλλουργίας ήταν να φτιάξει αποτελεσματικά εργαλεία, εξαρτήματα και όπλα, ώστε να αντικαταστήσει τα πέτρινα, τα κοκάλινα και τα ξύλινα.

Αυτοφυή Μέταλλα.

Είναι μέταλλα που υπάρχουν στη φύση. Πολύ σπάνια και σε πολύ μικρή ποσότητα. (Εικόνα 2).

Είναι κυρίως ο χρυσός, ο χαλκός, ο άργυρος. Αυτά τα ανακάλυψε αρκετά νωρίς ο άνθρωπος. Του έκανε εντύπωση ότι ήσαν ελατά και όλκιμα,

έφτιαχνε με αυτά αντικείμενα, όμως ήσαν πάρα πολύ μαλακά για να χρησιμοποιούν στην κατασκευή εργαλείων και όπλων. Τα πέτρινα εργαλεία και όπλα από πυριτόλιθο και οψιδιανό εξακολουθούσαν να είναι κυρίαρχα.



Εικόνα 2. Οι έστω και σπάνιες εμφανίσεις αυτοφυών μετάλλων ήταν ενδείξεις ότι πιθανόν αυτές οι παράξενες πέτρες, που τις είπαν ορυκτά, να έκρυβαν μέσα τους μέταλλα, ή να μπορούσαν να μετασχηματιστούν σε μέταλλα όχι μόνο με την τεχνική επεξεργασία αλλά και με θεία επέμβαση. Γιατί ο αυτοφυής χαλκός και άργυρος βρίσκονταν ανάμεσα στα ορυκτά τους.

Μετεωρίτης.

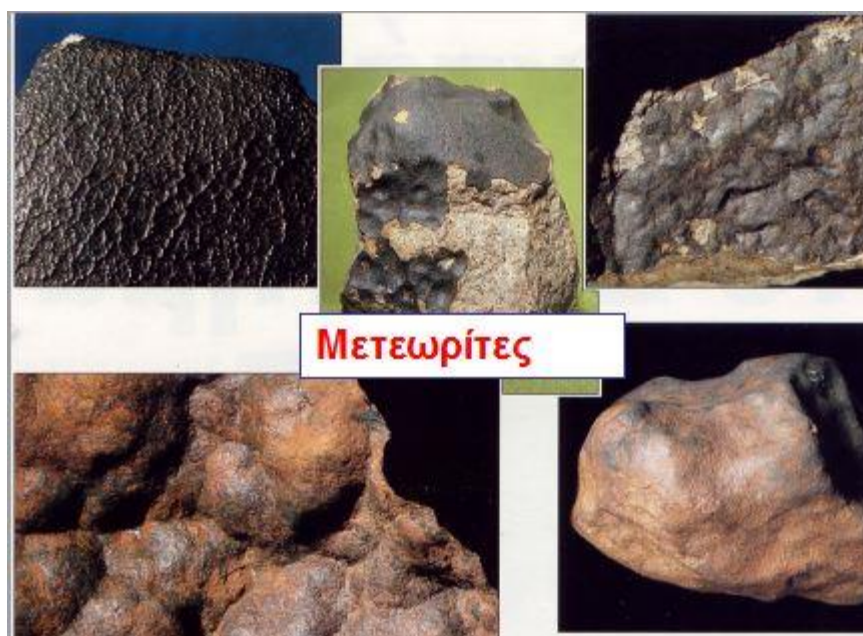
Ο μετεωρίτης είναι ένα μεταλλικό αντικείμενο που πέφτει διάπυρο στη γη, χώνεται βαθιά μέσα της αλλά με το χρόνο έρχεται κάποτε στην επιφάνεια. Είναι μέταλλο και όχι πέτρα. Είναι πάρα πολύ σκληρό, και ανο-

ξείδωτο, γι' αυτό το λόγο διατηρείται και το βρίσκουμε. Είναι από σίδηρο, χρώμιο και νικέλιο και είναι πάρα πολύ σκληρό (**Εικόνα 3**).

Εξαιρετικά σπάνιος, αλλά έπεσε στην αντίληψη του ανθρώπου αρκετά νωρίς, δηλαδή κατά τη λίθινη εποχή, και παρ' όλη τη σκληρότητά του κατάφερε να σπάσει κομμάτια του και να κατασκευάσει «ιερά» μαχαίρια τελετουργιών. Η μαύρη πέτρα, η ιερή της Μέκκας, είναι ένας τέτοιος μεγάλος μετεωρίτης, φυσικά σταλμένος από τον Θεό. Όμως η σημασία του η μεγάλη είναι ότι ο άνθρωπος κατανόησε ότι υπάρχει αυτό το δώρο του Θεού στη γη, δηλαδή το σκληρό μέταλλο, και αυτό ήταν μόνιμο κίνητρο για την ανάπτυξη της μεταλλουργίας.

Κίνητρο ήταν βέβαια και τα πολλά παράδοξα που συμπτωματικά συνέβαιναν στο κεραμικό καμίνι. Αν για παράδειγμα ανακάτευαν μέσα στον πηλό κάρβουνο σε μικρούς κόκκους με το σκεπτικό να γίνει το σκεύος πορώδες, πιθανό να παρατηρούσαν μικρά γυαλιστερά γλομπαλάκια αλουμινίου που προέρχονταν από την αναγωγή του οξειδίου του αλουμινίου που είναι κύριο συστατικό του πηλού. Το ίδιο μπορούσε να συμβεί αν το πήλινο αγγείο είχε χρωματιστεί με χρώματα που περιείχαν μόλυβδο.

Ήδη όμως η «τεχνική σκέψη» είχε κατακτηθεί από την νεολιθική εποχή όχι μόνον στην επεξεργασία αλλά και στην ιδέα ότι τα υλικά κρύβουν καλά μέσα τους μορφές χρήσιμες. Μια κροκάλα από πυριτόλιθο έκρυβε μέσα της 16 διαφορετικά εργαλεία, αρκεί να είχες κατακτήσει τη σειρά κτυπημάτων που απαιτούνταν για να τα πάρεις. Και αυτή η κατάκτηση ολοκληρώθηκε μετά από χιλιάδες χρόνια, και όταν ήλθε το πλήρωμα του χρόνου επεκτάθηκε και γενικεύτηκε αυτή η αντίληψη. Και άλλες παράξενες πέτρες δυνατόν να κρύβουν μέσα τους εντελώς άλλα υλικά, ή να μπορούν να μετασχηματιστούν σε τέτοια.



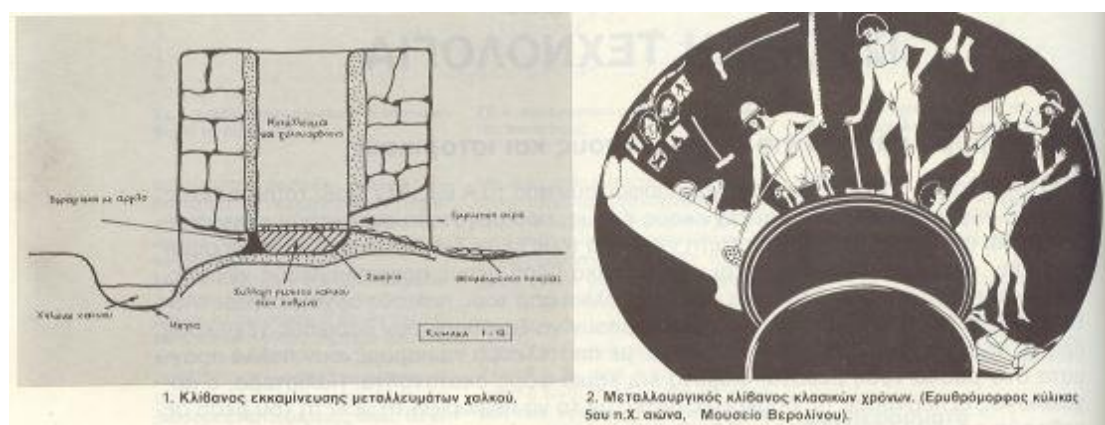
Εικόνα 3. Μορφές μετεωριτών.

Μεταλλουργία Χαλκού.

Είναι η τέχνη που βγάζει τον χαλκό από τα ορυκτά του. Αυτό γίνεται στη μεταλλουργική κάμινο του χαλκού (**Εικόνα 4**). Μέσα μπαίνει κατά στρώσεις ορυκτό του χαλκού και ξυλοκάρβουνο και στον πυθμένα παίρνουμε **ρευστό** χαλκό, τον οποίο κάθε τόσο χύνουμε σε μία γούβα στο χώμα ή σε πυρίμαχο καλούπι. Αυτό είναι η «χελώνα του χαλκού» που έχει σχήμα Χ για να κουβαλιέται και να φορτώνεται στα ζώα εύκολα. Υπήρχαν και άλλες μορφές χαλκού στο εμπόριο κατά πολύ μικρότερες της χελώνας σε σχήμα δίσκου ή μικρού ημισφαιρίου.

Το καμίνι είναι **συνεχούς** λειτουργίας, το φορτώνουμε με στρώσεις ορυκτού και κάρβουνου συνέχεια από πάνω. Ο αέρας μπαίνει λίγο πάνω από την επιφάνεια του υγρού χαλκού αλλά με φυσική ροή. Λόγω ύψους δημιουργείται μια ανοδική ροή του αέρα όπως γίνεται και στο τζάκι του σπιτιού, ή στο ασβεστοκάμινο. Έτσι το καμίνι «ρουφάει» από τα κάτω ανοίγματα τον αέρα και με μία συρόμενη πλάκα στο πάνω μέρος μπορούμε να ρυθμίζουμε την έξοδο των θερμών καυσαερίων, άρα και την αναρρόφηση αέρα. Ανάλογο είναι και το καμίνι για παραγωγή αργύρου.

Στο καμίνι αυτό οι θερμοκρασίες είναι σχετικά χαμηλές 900 – 1000 βαθμούς Κελσίου.



Εικόνα 4. Ο κλίβανος του χαλκού γρήγορα πήρε μεγαλύτερο ύψος όπως φαίνεται στη δεξιά φωτογραφία όπου διακρίνεται πάνω και η πλάκα που ρύθμιζε την έξοδο των καυσαερίων, άρα και τη ροή του αέρα.

Κράματα του Χαλκού με Αρσενικό και Κασσίτερο.

Τα όπλα και τα εργαλεία από χαλκό είναι πολύ μαλακά. Ο χαλκός σκληραίνει με σφυρηλάτηση αλλά και πάλι είναι μαλακός.

Γίνονται σκληρά και αρκούντως αποτελεσματικά, αν μέσα στον χαλκό προσθέσουμε αρσενικό και κυρίως κασσίτερο. Να φτιάξουμε δηλαδή ένα κράμα χαλκού – κασσιτέρου το γνωστό σε όλους μας ως μπρούτζος. Το αρσενικό πρωτοχρησιμοποιήθηκε αλλά είναι φοβερά επικίνδυνο για την υγεία και όχι τόσο αποτελεσματικό και γι' αυτό εγκαταλείφθηκε γρήγορα.

Όλη η περίοδος που ονομάζουμε ως Εποχή του Χαλκού, είναι η περίοδος όπου τα πέτρινα εργαλεία (και τα όπλα, εργαλεία πολέμου και κυνηγιού ήταν) αποσύρθηκαν και τη θέση τους πήραν τα φτιαγμένα από μπρούτζο, και το σωστό είναι να λέμε Εποχή του Μπρούτζου. Όσο περισσότερο κασσίτερο περιείχε το κράμα τόσο σκληρότερο γινόταν αλλά δεν ήταν εύκολο στη κατεργασία. Το σκληρότερο αντικείμενο που κατασκευάστηκε ποτέ είναι ο κρατήρας του Δερβενίου με 16% κασσίτερο και ακόμα και σήμερα οι επιστήμονες θαυμάζουν πώς κατάφεραν να κατεργαστούν τα φύλλα ενός τόσο σκληρού κράματος.

Πάντως από το καμίνι του χαλκού πάντα βγάζανε **ρευστό** χαλκό σε χελώνες. Μετά τον λιώνανε και του πρόσθεταν τον κασσίτερο (και λίγο μόλυβδο για να είναι πιο καλή η χύτευση), και το κράμα το χύνανε σε καλούπια. Μετά με θέρμανση και σφυρηλάτηση φτιάχνανε εργαλεία, όπλα και φυσικά κοσμήματα, αγγεία και αγάλματα.

Από τα πρώτα βήματα της μεταλλουργίας ο τεχνίτης ήρθε σε επαφή με δηλητήρια, αποπνικτικά και θανατηφόρα αέρια, φοβερές αρρώστιες από τη μακροχρόνια χρήση υλικών, όπως του χαλκού, του μολύβδου, του αρσενικού. Το τίμημα της προόδου.

Χαλκός: Το αριστοκρατικό μέταλλο.

Τον είπαν έτσι, γιατί οι θέσεις με κατάλληλα ορυκτά χαλκού είναι λίγες. Μόνο μεγάλες «κρατικές» οντότητες διαχειρίζονταν την εξόρυξη, τα καμίνια και την παραγωγή αντικειμένων από μπρούτζο.

Για τον απαραίτητο κασσίτερο οι θέσεις με τα ορυκτά του ήταν μετρημένες στα δάκτυλα του ενός χεριού. Στη Μαλαισία, στη Νιγηρία και η σημαντικότερη στην Κορνονάλη της Αγγλίας, γι' αυτό και η Αγγλία κατά την αρχαιότητα λεγόταν Κασσιτερίτες Νήσοι. Δυστυχώς απουσίαζε ο κασσίτερος από τον τότε ανεπτυγμένο κόσμο της Μεσογείου.

Το ενδιαφέρον λοιπόν των λαών της Μεσογείου να περάσουν το Γιβραλτάρ και να ελέγχουν τα παράλια Ισπανίας και Γαλλίας ήταν για να έχουν πρόσβαση σε αυτό το πολυτιμότερο ορυκτό. Χωρίς αυτό ξέμεναν από εργαλεία και όπλα. Και χαλκό πολύ να είχαν, τους ήταν εντελώς άχρηστος. Από εδώ και η μεγάλη αγωνία των παλατιών της Πύλου, της Σπάρτης και των Μυκηνών κατά το τέλος της Μυκηναϊκής Περιόδου που, όπως μαρτυρούν οι πινακίδες της Β' Γραμμικής Γραφής που βρέθηκαν στο κατεστραμμένο παλάτι της Πύλου, ζητούσαν να συγκεντρωθούν από όλους τους κατοίκους όλα τα μπρούτζινα σκεύη, προφανώς για να

φτιαχτούν όπλα, αφού ο εχθρός, συμβατικά οι Δωριείς, είχαν αποκόψει την Πελοπόννησο τόσο από γνωστά ορυχεία χαλκού, όσο και από τον εμπορικό δρόμο που έφερνε κασσίτερο από την Αγγλία.

Τη Ρωμαϊκή Εποχή, επειδή ο κασσίτερος ήταν πολύ ακριβό μέταλλο, κατάφεραν να φτιάξουν κράμα χαλκού – ψευδαργύρου που ήταν πολύ φτηνότερο και εξ ίσου σκληρό. Σήμερα το λέμε ορείχαλκο. Η μέθοδος ήταν περίεργη και πρωτοπόρα. Η παραγωγή μεταλλικού ψευδαργύρου από το οξειδίο του ήταν αδύνατη. Έκοβαν μικρά φύλλα χαλκού και τα θέρμαιναν μαζί με οξειδίο ψευδαργύρου σε αναγωγικές συνθήκες. Μία στρώση ψευδαργύρου κάλυπτε τα φύλλα τα οποία στη συνέχεια θερμαίνονταν μέχρι να λιώσουν. Έτσι περνούσε ο ψευδάργυρος μέσα στο χαλκό και γινόταν το κράμα του ορείχαλκου.

Αν και σε όλα τα κράματα ο χαλκός είναι το κύριο, η πρώτη ύλη, δεν είναι όμως το καθοριστικό για να αποκτήσει το κράμα την επιθυμητή σκληρότητα. Στην παρακάτω **Εικόνα 5** βλέπουμε σχηματικά την τεχνολογία του χαλκού – κασσιτέρου που χαρακτήρισε μια μεγάλη περίοδο ως Εποχή του Χαλκού.

Ασφαλώς έγιναν προσπάθειες (έρευνα) και για άλλα σκληρά κράματα. Στην Κρήτη βρέθηκαν μαχαίρια Μινωικής εποχής, κράμα αργύρου με 27% χαλκό, αρκετά σκληρά, σπάνια βέβαια και πανάκριβα.



Εικόνα 5. Σχηματικά παρακολουθούμε την «βιομηχανία χαλκού» που χαρακτήρισε μια μεγάλη περίοδο ως Εποχή του Χαλκού.

Η παραγωγή αργύρου, μολύβδου και χαλκού στην Αθήνα της Κλασικής Εποχής πήρε τεράστιες διαστάσεις. Μία τεράστια βιομηχανική ζώνη στη Λαυρεωτική με χιλιάδες δούλους στήριξε το οικονομικό θαύμα της Αθήνας και την ισχύ της. Μεταλλεία, εγκαταστάσεις εμπλουτισμού μεταλλευμάτων, καμίνια παντού, τεχνολογία, τεχνογνωσία, καινοτομία. Αλλά τον τόνο τον έδινε η παραγωγή ξυλοκάρβουνου, αφού για να λειτουργήσει αυτή η βιομηχανία χρειαζόταν καθημερινά τόνους άνθρακα. Καταναλώθηκαν όλα τα πεύκα της Αττικής και της Εύβοιας και άρχισαν οι αθρόες εισαγωγές κάρβουνου από μακρινές περιοχές.

Η αρχαία πόλις των Ερμιονέων, όπως και των Τροιζηνίων ήταν πολύ κοντά σε αυτό το βιομηχανικό κέντρο και ως ήταν φυσικό δεν μπορεί να έμειναν ανεπηρέαστες.

Ερμιόνη και Μεταλλουργία Χαλκού.

Η Ερμιόνη των Ελληνικών, Μυκηναϊκών και Γεωμετρικών Χρόνων αναπτύχθηκε στο λόφο της Μαγγούλας και κυρίως στην προς νότο παραλία που βρίσκεται σήμερα κάτω από τη θάλασσα. Αν και σημαντικό λιμάνι, φαίνεται μάλλον απίθανο να ανέπτυξε κλιβάνους παραγωγής χαλκού από ορυκτά, γιατί, όπως είπαμε, αυτή η δραστηριότητα θα έπρεπε λογικά να υπήρχε μόνον στην εκάστοτε κυρίαρχη πόλη της περιοχής, της Λέρνας, των Μυκηνών ή του Άργους.

Ακόμα και το δεύτερο στάδιο, δηλαδή η προμήθεια ταλάντων χαλκού και η δημιουργία μπρούτζου με τη προσθήκη κασσιτέρου φαίνεται δύσκολο να αναπτύχθηκε και στην Ερμιόνη. Αυτές οι εργασίες ανήκαν στο κρατικό μονοπώλιο της κυρίαρχης δύναμης της περιοχής. Οπότε το πιθανότερο στην πόλη να έρχονταν έτοιμα μπρούτζινα αντικείμενα ή μπρούτζος σε ράβδους ή πλάκες για περαιτέρω κατεργασία, δηλαδή τήξη για χυτά αντικείμενα και σφυρηλάτηση.

Λίγο πριν από την Κλασική Εποχή η πόλη μεταφέρθηκε στη νέα θέση της, και παρ' όλο που έχουμε πλέον την επικράτηση του σιδήρου στα εργαλεία και όπλα, ο μπρούτζος εξακολουθούσε να έχει ευρεία χρήση κυρίως για πανοπλίες, οικιακά σκεύη και εξαρτήματα θαλάσσης.

Παρόλα αυτά, επειδή η Πόλις των Ερμιονέων **ήταν σημαντική και ισχυρή**, δεν αποκλείεται να βρούμε και ίχνη μεταλλουργίας του χαλκού με εισαγόμενα ορυκτά χαλκού, σε μελλοντικές ανασκαφές, ή διάσπαρτα στον σημερινό οικισμό ή στα γύρω κτήματα. Ας μην αποκλείσουμε έστω και αυτή την πολύ μικρή πιθανότητα, ακόμη και για την προϊστορική Ερμιόνη στη θέση Μαγγούλα.

Έχουν σχέση τα Μεταλλεία του Ηλιοκάστρου με τη Μεταλλουργία Χαλκού;

Τα μεταλλεία έχουν χαλκοπυρίτη (CuFeS_2) πολύ φτωχό σε χαλκό. Κυρίως έχουν σιδηροπυρίτη (FeS), πολύ λίγο γαληνίτη (PbS) και επειδή οι

φλέβες αυτών των ορυκτών βγαίνουν σε ορισμένα σημεία στην επιφάνεια, φαίνεται απίθανο να μην τις είχαν εντοπίσει οι αρχαίοι, οι οποίοι, σημειωτέον, διέθεταν εξειδικευμένους ορυκτολόγους και μεταλλουργούς που γύριζαν παντού για τον εντοπισμό κατάλληλων ορυκτών.

Δεν έχει καταγραφεί μέχρι σήμερα αρχαία δραστηριότητα στον χώρο των Μεταλλείων Ηλιοκάστρου (δεν αποκλείεται καθόλου), ούτε υπάρχουν μεταλλουργικά αρχαία ευρήματα στην Ερμιονίδα που να παραπέμπουν στα Μεταλλεία Ηλιοκάστρου.

Η θέση των αρχαίων Ειλεών στο Ηλιόκαστρο, δεν έχει ουσιαστικά ανασκαφεί, και θεωρείται ως ένας αγροτικός οικισμός. Θα είναι μεγάλη έκπληξη να αποδειχθεί ότι έχει σχέση με το μετάλλευμα χαλκοπυρίτη για παραγωγή χαλκού. Με τον σιδηροπυρίτη προφανώς όχι, γιατί από θειούχα ορυκτά σιδήρου δεν βγάζανε σίδηρο. Μόνο από ορυκτά οξειδία του σιδήρου.

Όμως και στη θέση των αρχαίων Ειλεών εντοπίζεις με υπομονή μικρά τεμάχια σκωρίας σιδήρου σαν αυτά του Μπιστιού Ερμιόνης, ισχυρή ένδειξη ύπαρξης καμινιών παραγωγής σιδήρου κατά την αρχαιότητα. Αυτό δεν σημαίνει ότι το μετάλλευμα που χρησιμοποιούσαν ήταν από τα Μεταλλεία Ηλιοκάστρου.

Όμως τίποτε δεν αποκλείεται. Δεν είναι απίθανο να είχαν εντοπίσει φλέβα οξειδίων του σιδήρου στο Ηλιόκαστρο.

Να τονιστεί ότι αν πάρουμε σιδηροπυρίτη σε μορφή χονδρόκοκκης σκόνης από τα επιφανειακά ορυκτά Ηλιοκάστρου και τον πυρώσουμε με ένα καμινέτο ισχυρά, καίγεται το θείο και μετατρέπεται σε άνυδρα οξειδία του σιδήρου, δηλαδή σε ώχρα. Αν του ρίξουμε νερό τότε παίρνουμε ένα βαθύ σχεδόν αιμάτινο χρώμα. Δεν αποκλείεται να έχει χρησιμοποιηθεί ως χρώμα στα αρχαία σπίτια και ναούς ολόκληρης της Ερμιονίδας.

Ο χαλκοπυρίτης του Ηλιοκάστρου ήταν φτωχός σε χαλκό. Αυτό δεν σημαίνει ότι στις γαλαρίες δεν υπήρξαν και φλέβες πολύ πιο πλούσιες σε χαλκό. Το ίδιο συνέβαινε με τον γαληνίτη. Οι εργαζόμενοι στις γαλαρίες μάς έδιναν όταν είμαστε παιδιά εντυπωσιακά κομμάτια χαλκοπυρίτη κρυσταλικού, όπως και γαληνίτη. Τον γαληνίτη τον χρησιμοποιούσαμε

για να φτιάχνουμε ραδιοφωνάκια. Από αυτόν τον γαληνίτη ήταν πανεύκολο να πάρουν μόλυβδο.

Στο βιβλίο του «ΣΤΟ ΣΤΑΥΡΟΔΡΟΜΙ ΤΟΥ ΑΡΓΟΛΙΚΟΥ» ο Άδωνις Κύρου, σελ. 92, γράφει ότι εντόπισε κάποιου είδους υπολείμματα μεταλλουργίας στον Δοκό, αλλά χωρίς άλλα στοιχεία ή φωτογραφικό υλικό. Συγκεκριμένα στη θέση Λέδεζα σε μια περίφρακτη με ξερολιθιά θέση Μυκηναϊκής Εποχής, είδε «υπολείμματα σκουριάς χαλκού, που δείχνουν ότι γινόταν επιτόπια καμίνευση μεταλλευμάτων, ίσως από τα μεταλλεία της Ντάρδιζας, αν και ο πιθανότερος τόπος προελεύσεως είναι, κατά τη γνώμη του, το Λαύριο». Κατόπιν τηλεφωνικής επικοινωνίας, μού είχε πει ότι μάλλον ήταν σκωρία από ευκαιριακή τήξη ταλάντου χαλκού, πιθανόν από Κύπρο.

Αναφέρει, μεταλλουργικές δραστηριότητες μολύβδου και αργύρου, μικρής βέβαια έκτασης, στο ηφαιστιογενές νησάκι Βελοπούλα (Παραπόλα) σελ. 60, 74, 75, 76. Ενδιαφέρον έχει ότι αναφέρει τη συλλογή μικρών κομματιών μολύβδου και κομματιών σκουριάς από καμίνευση μετάλλων. Μιλάει και για επιστημονική ανάλυση της σκουριάς (χωρίς να δίνει αποτελέσματα ή άλλη πληροφορία) η οποία κατέδειξε ότι ίσως πρόκειται για λιθάργυρο (οξειδίο του μολύβδου), από τον οποίο αποσπάται μολύβι κάποτε και ασήμι. Κατόπιν τηλεφωνικής επικοινωνίας μου είχε πει ότι αυτά τα ευρήματα και οι διαπιστώσεις είναι της δεκαετίας του 1970. Μετά όμως ακολούθησε συστηματικότερη έρευνα και διαπιστώθηκε ότι στη Φαλκονέρα υπάρχουν άφθονα μεταλλεύματα οξειδίων χαλκού και στοιχεία που δείχνουν εξόρυξη κατά την Πρωτοελλαδική Εποχή. Επειδή όμως το νησί είναι αφιλόξενο μετέφεραν το μετάλλευμα στο νησάκι της Παραπόλας.

Στην Παραπόλα εντόπισαν μικρό οικισμό Πρωτοελλαδικής Εποχής και σιδηρούχες σκουρίες χαλκού. Η Παραπόλα είναι πολύ κοντά στις Πελοποννησιακές ακτές και είναι απορίας άξιο, γιατί δεν μετέφεραν το μετάλλευμα στις ακτές, δεδομένου ότι τα καμίνια απαιτούν μεγάλη ποσότητα ξυλανθράκων που δεν διέθετε η Παραπόλα.

Όλες αυτές οι μεταλλουργικές δραστηριότητες έχουν σχέση με τη Λέρνα ως κέντρο της περιοχής, η οποία γύρω στο 2100 π.Χ. καταστρέφεται.

Αν αυτά συνέβαιναν σε αυτά τα δυσπρόσιτα νησάκια την Προϊστορική Εποχή, τι θα συνέβαινε στην ισχυρή προϊστορική πόλη της Ερμιόνης στη Μαγούλα;

Μεταλλουργία Σιδήρου.

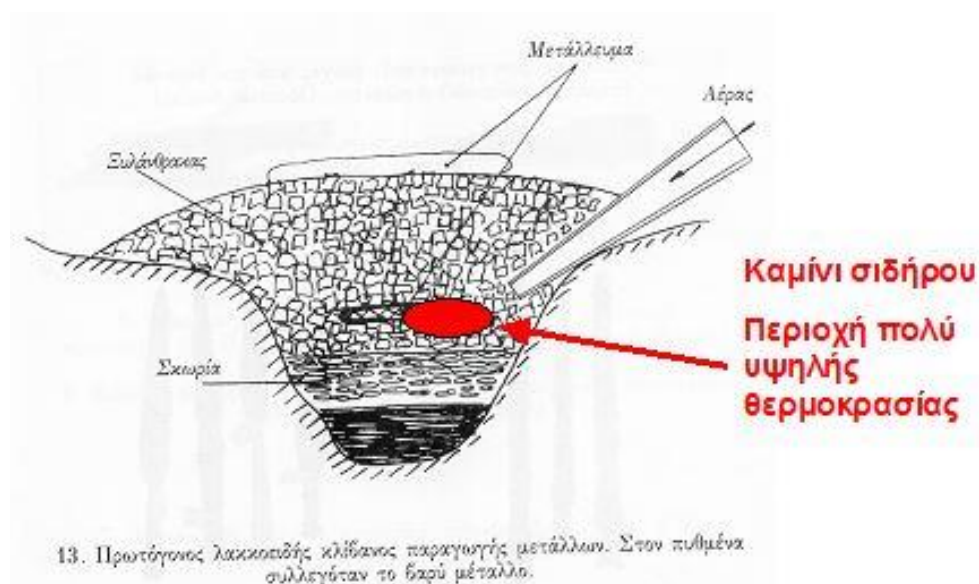
Αυτοφύης σίδηρος στη φύση δεν υπάρχει. Η πρώτη επαφή του ανθρώπου με τον σίδηρο έρχεται από το καμίνι χαλκού. Ορισμένα ορυκτά του χαλκού συνοδεύονται από ορυκτά οξειδία του σιδήρου που στο καμίνι μετατρέπονται σε μικρά σβολαράκια καθαρού σιδήρου. Ο καθαρός σίδηρος είναι πολύ μαλακός και δεν κάνει για κατασκευή όπλων και εργαλείων. Ακόμη και στα πρώτα στάδια της Εποχής του Χαλκού, έχουν βρεθεί πολύ μικρά αντικείμενα, συνήθως στολίδια, από σίδηρο, σημάδι ότι προέρχονταν από τα καμίνια του χαλκού. Προς το τέλος της Μυκηναϊκής Εποχής χρησιμοποιούνται σιδερένια όπλα που προέρχονται από καμίνια σιδήρου, είναι σπάνια και όχι τόσο σκληρά. Επειδή λυγίζουν εύκολα, έχουν στο κέντρο ένα ισχυρό νεύρο. Τα σιδερένια αντικείμενα σκουριάζουν πολύ εύκολα, και γι' αυτό σπανίζουν στις ανασκαφές.

Στη καρδιά του καμινιού χαλκού πρέπει η θερμοκρασία να είναι γύρω στους 1000 - 1100 βαθμούς Κελσίου. Στο καμίνι του σιδήρου πρέπει να είναι γύρω στους 1200 – 1250 βαθμούς. Όμως και στα δύο καμίνια, στην περιοχή όπου φυσάμε τον αέρα, η θερμοκρασία, έστω και για λίγο, μπορεί να φτάσει πολύ πιο ψηλά, και να παρουσιαστούν παράδοξα, μη αναμενόμενα φαινόμενα, όπως η εναθράκωση του σιδήρου. Από την εμπειρία λοιπόν των καμινιών παραγωγής χαλκού και τη διαπίστωση της ευκαιριακής παρουσίας σιδήρου και σκληρού εναθρακωμένου σιδήρου (χάλυβα), η μεταλλουργία προσανατολίστηκε προς την παραγωγή σιδήρου.

Το καμίνι σιδήρου.

Είναι μια γούβα σε πυρίμαχο έδαφος. Βάζουμε ξυλοκάρβουνα (αναμμένα) στον πάτο και μετά εναλλάξ στρώματα ορυκτού (οξειδία του σιδήρου) και ξυλοκάρβουνου. Και τα δύο σε μέγεθος χαλίκιού λίγων χιλιοστών. Μετά σκεπάζουμε την επιφάνεια με πυρόχωμα (**Εικόνα 6**). Φυσάμε με ένα πήλινο ακροφύσιο προς τον πάτο του καμινιού, ώστε τα κάρβουνα να βγάζουν μονοξείδιο του άνθρακα (ατελής καύση). Μόνον τότε θα βγάλει το καμίνι σίδηρο. **Δηλαδή η παραγωγή άφθονου μονοξειδίου είναι απαραίτητη.**

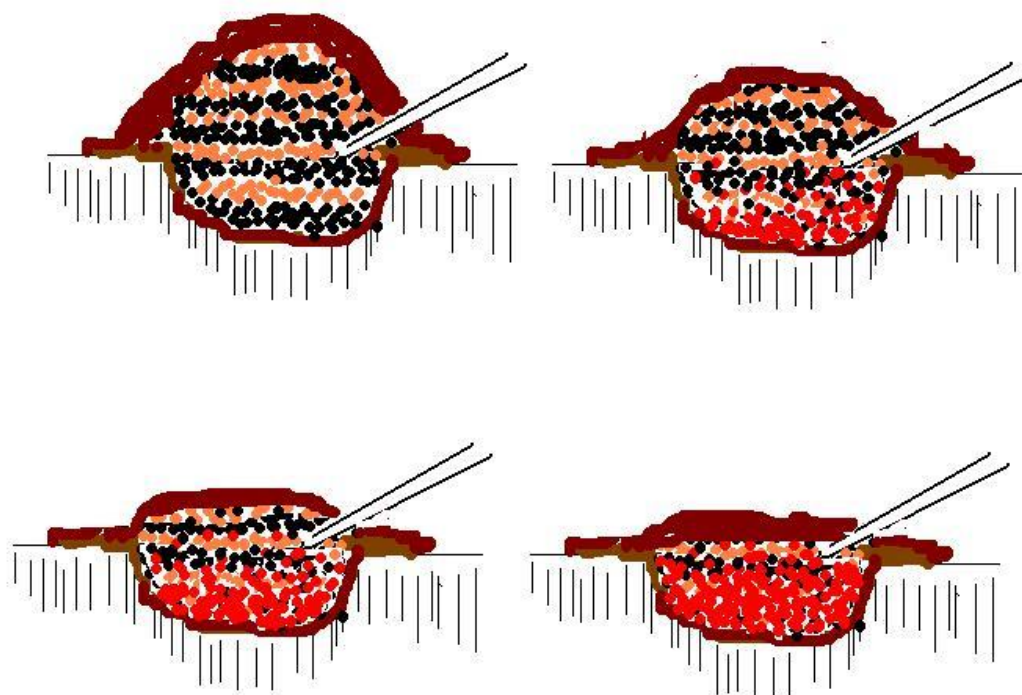
Αν φυσάμε έντονα (περίσσεια οξυγόνου) δεν παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα αλλά διοξείδιο και όσος σίδηρος τυχόν έχει ελευθερωθεί, με την περίσσεια οξυγόνου ξαναγίνεται οξείδιο, δηλαδή ορυκτό. Τόσο απλή κατασκευή είναι το καμίνι του σιδήρου, με την προϋπόθεση ότι ο καμινευτής είναι πολύ έμπειρος.



Εικόνα 6. Μια γούβα σε πυρίμαχο χώμα που περιείχε (ενδεικτικά) κατά στρώσεις περίπου 20 - 30 κιλά μετάλλευμα σιδήρου, 250 κιλά ξυλοκάρβουνο και περί τα 50 κιλά σκωληπασμάτα. Συνολικός όγκος υλικών περί τα 0.30 κυβ. μέτρα. Από πάνω μια γερή στρώση πυρίμαχου χώματος μέσα από τις ρωγμές του οποίου διέφευγαν τα καυσαέρια. Η ποσότητα του αέρα ρυθμιζόταν από τον καμινευτή.

Φυσάμε λοιπόν, ώστε στον πυθμένα να ανάβουν τα κάρβουνα, βγάζοντας όμως πολύ μονοξείδιο του άνθρακα. Η θερμοκρασία ανεβαίνει πολύ

και το μονοξείδιο συναντάει το ορυκτό και του αφαιρεί το οξυγόνο. Τα κάρβουνα όλο και λιγοστεύουν και το καμίνι σιγά σιγά χωνεύει. Το ορυκτό μετατρέπεται σε **στερεό** σίδηρο που κατηφορίζει προς τον πυθμένα συνοδευόμενο από **πυκνόρρευση** σκωρία που αποτελείται κυρίως από οξείδια του σιδήρου, οξείδια του πυριτίου και του ασβεστίου. Τα διάπυρα κομματάκια του **στερεού** σιδήρου έρχονται σε επαφή, ενώνονται σε μια μάζα που όμως στο ενδιάμεσο εγκλωβίζεται λίγη σκωρία. (**Εικόνα 7**).



Εικόνα 7. Το καμίνι σιγά σιγά χωνεύει κυρίως λόγω της καύσης των ξυλάνθρακων (μαύρα στίγματα). Το μεταλλεύμα πυρώνεται όλο και περισσότερο, το μονοξείδιο του άνθρακα τού αφαιρεί το οξυγόνο και λόγω βαρύτητας οδεύει προς τον πυθμένα. Μέρος του μεταλλεύματος μαζί με τα συλλιπάσματα δημιουργούν πηχτή ρευστή σκωρία μέσα από την οποία περνάνε τα ερυθροπυρωμένα **στερεά** κομματάκια του σιδήρου. Στο τελικό στάδιο το καμίνι έχει χωνέψει και μέσα του, αν όλα έχουν πάει καλά, πάντα με τη βοήθεια του Ηφαίστου, στον πυθμένα έχουν ενωθεί τα κομμάτια σιδήρου και από πάνω τους βρίσκεται η πυκνόρρευση σκουριά που είναι πολύ πιο ελαφριά. Ταχύτατα χαλάει το καμίνι, παίρνουν τον ερυθροπυρωμένο σίδηρο που έχει τη μορφή του πυθμένα και τον σφυρηλατούν στο αμόνι για να απομακρυνθούν τα εγκλείσματα σκωρίας, να ομογενοποιηθεί ο σίδηρος και σταδιακά με τη φουφού του σιδηρουργού να μορφοποιηθεί σε εμπορεύσιμες μορφές που ήταν ο οβολός και ο δίσκος. Η μορφοποίηση είναι εξαιρετικά επίπονη και χρονοβόρα, με πολλά μυστικά που καθιστούσε τον σίδηρο πανάκριβο υλικό.

Αλλά και οι πρώτες ύλες του καμινιού δεν ήσαν φτηνές. Πέρα από το μέταλλευμα και την εξόρυξή του χρειάζονταν ασβεστοκάμινα και καμίνια κάρβουνου. Η ασβέστη και τα ξυλοκάρβουνα ήσαν πάντα ακριβά.

Ο σίδηρος είναι διάπυρος αλλά στερεός, **δεν γίνεται ρευστός** όπως συμβαίνει με τον χαλκό. Γι' αυτό κατά την αρχαιότητα **δεν έχουμε σιδερένια αντικείμενα χυτά σε καλούπια, γιατί δεν έχουμε ρευστό σίδηρο.** **ΟΛΑ** τα αντικείμενα από σίδηρο έχουν γίνει με σφυρηλάτηση πυρωμένου στερεού σιδήρου. Πρέπει να ανέβει πολύ η θερμοκρασία στο καμίνι για να δημιουργηθούν συνθήκες σημερινής υψικαμίνου και να ρεύσει στον πυθμένα ενανθρακωμένος σίδηρος (χυτοσίδηρος).

Αν ο αέρας που φυσούσαν ήταν υπερβολικός, τότε ο σίδηρος που εμφανιζόταν στον πυθμένα γινόταν και πάλι οξειδίο, δηλαδή σκουριά και με τη σφυρηλάτηση έσπαγε σαν πέτρα χωρίς να μείνει καθόλου σίδηρος, ή ελάχιστος σίδηρος. Μόλις διαπιστώνανε την αποτυχία πετάγανε το ημισφαίριο ή μέρος αυτού ως άχρηστο, γι' αυτό και έφτασε ως τις μέρες μας. Τα παρακάτω είναι από αποτυχημένο καμίνι στο Λαύριο, με πολύ λίγο σίδηρο στη μάζα του ημισφαιρίου (**Εικόνα 8**).



15. Σπογγώδης σίδηρος κλασικών χρόνων από το Λαύριο.

16. Τομή σπογγώδους σιδήρου από το Λαύριο. Το σχήμα αποτυπώνει τη μορφή του πυθμένα του λακκοειδούς κλιδάνου.

Εικόνα 8. Αποτυχημένο καμίνι. Ο αέρας ήταν πολύς (οξειδωτικές συνθήκες) και το μονοξείδιο πολύ λίγο. Έτσι μόνο μικρό μέρος έγινε σίδηρος μέσα σε μια μπάλα σκουριάς στον πυθμένα. Μπορεί όμως να πήγαιναν όλα κανονικά και προς το τέλος ο αέρας να έγινε υπερβολικά πολύς, με αποτέλεσμα τα κομμάτια σιδήρου που κατηφόριζαν προς τον πυθμένα, να οξειδωθούν και να ξαναγίνουν οξείδια του σιδήρου εγκλωβισμένα στη σκουρία.

Όσο και απλό να φαίνεται το καμίνι του σιδήρου έχει και αυτό τα επτασφράγιστα μυστικά του, ώστε να πάρει ο μεταλλουργός εκ του ασφαλούς πολύ σίδηρο και καλής ποιότητας.

Το ένα μυστικό είναι να ξέρει πόσο αέρα φυσάει κάθε φορά, φυσικά από πείρα.

Το δεύτερο είναι η δημιουργία σκωρίας πυκνόρρευστης η οποία προστατεύει τον σίδηρο από το να ξαναγίνει οξείδιο και τον βοηθάει στο να γίνει μία μάζα στον πυθμένα. Η πείρα τούς δίδαξε ότι στο καμίνι πρέπει να προσθέτουν σε στρώσεις και άλλα υλικά (σήμερα τα λέμε συλλιπασματα) για καλύτερη απόδοση και ποιότητα σιδήρου. Προς τούτο πρόσθεταν στο καμίνι πυριτική άμμο (SiO_2), ασβέστη (CaO), και σόδα. Τα υλικά αυτά με την πύρωση, μαζί με ένα μέρος οξειδίων του σιδηρούχου μεταλλεύματος έλιωναν και σχημάτιζαν μια ρευστή μάζα σκωρίας.

Το τρίτο μυστικό ήταν η επιλογή σιδηρούχου μεταλλεύματος, να είναι όσο γίνεται από καθαρά οξείδια σιδήρου με σχεδόν μηδενική πρόσμιξη θείου και φωσφόρου, γιατί με αυτές τις προσμείξεις ο σίδηρος σκουριάζει εύκολα και ρωγματώνεται κατά τη σφυρηλάτηση. Γι' αυτό και ο σίδηρο-πυρίτης Ηλιοκάστρου ως θειούχο ορυκτό δεν κάνει για την παραγωγή σιδήρου.

Το καμίνι του σιδήρου έμεινε για αιώνες έτσι μικρό, με παραγωγή κάθε φορά 3 έως 7 κιλών σιδήρου, γιατί αυτή την ποσότητα ήταν και σχετικά εύκολο να την σφυρηλατήσουν και να διαμορφώσουν οι σιδηρουργοί. Γιατί έπρεπε να την κρατούν πυρακτωμένη με ειδικές τσιμπίδες και να την σφυρηλατούν επί πολύ χρόνο, ενώ κάθε τόσο έπρεπε να την βάζουν στα κάρβουνα του φυσερού του σιδηρουργού, για να ξαναπυρωθεί. Είναι εξαιρετικά επίπονη εργασία η διαμόρφωση του σιδήρου.

Πολύ αργότερα το καμίνι ψήλωσε, έγινε συνεχούς λειτουργίας σαν το καμίνι του χαλκού, και από κάτω έβγαζε υγρό μαντέμι (χυτοσίδηρος με 4.5% άνθρακα που λιώνει γύρω στους 1300 βαθμούς Κελσίου) το οποίο στη συνέχεια με δύσκολη επεξεργασία γινόταν χάλυβας (με μέχρι 0.4% άνθρακα).

Και αυτή η σπουδαία τεχνολογική εξέλιξη έγινε στην Κίνα και πέρασε στην Ευρώπη γύρω στο 1500 μ.Χ. Πριν από αυτή την εποχή μόνο μικρά καμίνια υπήρχαν σε Μεσόγειο, Ευρώπη, Μεσοποταμία και Αφρική, που έβγαζαν πάντα στερεό μαλακό σίδηρο και ποτέ υγρό.

Ενώ ένα κομμάτι χαλκού είναι εύκολο να το λιώσεις γύρω στους 1100 βαθμούς, για να λιώσεις ένα κομμάτι σιδήρου πρέπει να υπερβείς τους 1500 βαθμούς, πράγμα αδύνατο κατά την αρχαιότητα. Το να αυξήσεις τη θερμοκρασία κατά 100 βαθμούς, από τους 200 στους 300 βαθμούς, είναι εύκολο. Από 1100 στους 1200 είναι πολύ δύσκολο. **Κανένα** λοιπόν αρχαίο σιδερένιο αντικείμενο δεν έχει προέλθει από χύτευση, αλλά από στερεό πυρωμένο σίδηρο, με επίπονη εργασία.

Γιατί η εξέλιξη που έδωσε υγρό χυτοσίδηρο συνέβη στην Κίνα;

Γιατί μέχρι το 1500 μ.Χ. ήταν η πλέον εξελιγμένη τεχνολογικά χώρα του κόσμου. Εκεί έγιναν οι μεγαλύτερες ανακαλύψεις. Το δύσκολο ήταν να συντηρήσεις τη φωτιά σε ένα αρκετά μεγαλύτερο και υψηλότερο καμίνι (Υψικάμινος). Αλλά **1 κιλό κάρβουνο** απαιτεί για την καύση του **10 κυβικά μέτρα αέρα**. Για παραγωγή ενός κιλού σιδήρου στα αρχαία ατελή καμίνια απαιτούνταν 25 κιλά κάρβουνο. Άργησαν πολύ να εξελιχτούν τα φουσερά και έτσι η μεταλλουργία του σιδήρου έμενε στάσιμη, όπως επί των ημερών μας τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, λόγω μικρής εξέλιξης των μπαταριών. Οι Κινέζοι ανακάλυψαν το φουσερό που κινείται με νερό (υδατόπτωση). Μία ρόδα τεράστια σαν του υδρόμυλου έδινε την κίνηση, η οποία από περιστροφική μετατρέποταν σε παλινδρομική και ανοιγόκλεινε ένα τεράστιο φουσερό, ή πολλά τέτοια φουσερά στη σειρά. Έτσι την εποχή που στη Μεσόγειο ένα καμίνι έδινε μερικά κιλά σίδηρο την ημέρα, στην Κίνα η υψικάμινος έδινε μερικούς τόνους.

Τα φουσερά.

Το πρώτο φουσερό ήταν τα πνευμόνια του ανθρώπου. Ένας ασκημένος άνθρωπος μπορεί να φυσάει 12 λίτρα αέρα ανά πρώτο λεπτό με σχετικά ικανοποιητική πίεση. Το πρόβλημα είναι ότι γρήγορα υπεροξυγονώνεται ο οργανισμός του και θα λιποθυμήσει! Ένα στρώμα θαλάσσης θέλει 200 λίτρα αέρα για να φουσκώσει και όσοι το κάνουν, γρήγορα έχουν δει τη δυσκολία και το πόσο γρήγορα ο οργανισμός πάει προς λιποθυμική κατάσταση.

Στο αρχαίο μικρό καμίνι για να βγάλουμε 7 κιλά σίδηρο, πρέπει να κάψουμε 175 κιλά κάρβουνο και να φυσήξουμε 1750 κ.μ. αέρα, δηλαδή 1750000 λίτρα αέρα! Δεδομένου ότι ένας άνθρωπος φυσάει 12 λίτρα/πρώτο λεπτό, έπρεπε να φυσάει συνέχεια επί 100 ημέρες! Άρα η παραγωγή σιδήρου στο αρχαίο μικρό καμίνι εξαρτάτο απόλυτα από την εξέλιξη των φουσερών.

Η πρώτη καινοτομία ήταν να φυσάνε πολλοί άνθρωποι, ο καθένας με το δικό του «καλάμι» στο καμίνι, άντε όμως τότε να συντονιστούν όλοι όπως ήθελε ο μεταλλουργός.

Η δεύτερη ήταν να φυσάνε όλοι μαζί, φυσώντας όμως σε ένα ασκί μεγάλου ζώου, ή σε πολλά ασκιά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Από μια βάνα ο μεταλλουργός ρύθμιζε τον αέρα που έστελνε στο καμίνι τέλεια με τη ροή που κάθε φορά επιθυμούσε, αφού το ασκί μάζευε τις ατομικές ανθρώπινες εκπνοές και έφτιαχνε μια σταθερή πίεση διαρκείας. Αλλά και τότε η παραγωγή σιδήρου ήταν γύρω στο 1 κιλό τη φορά.

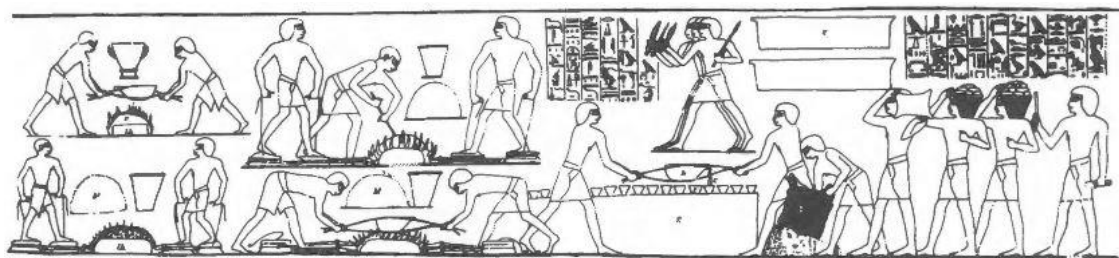
Αυτό ήταν και το δώρο του Αιόλου στον Οδυσσέα. Ο Αίολος έβαλε όλους τους ανέμους σε ένα ασκί και ο Οδυσσέας από ένα ακροφύσιον έστελνε μια σταθερή και ρυθμιζόμενη πνοή στο πανί του.

Μετά ήρθαν τα χειροκίνητα φουσερά, ακολούθησαν τα ποδοκίνητα και μετά τα φουσερά που κινούσαν ζώα. Σιγά σιγά αυξήθηκε το μέγεθος και η απόδοση του αρχαίου καμινιού, αλλά είναι οι Κινέζοι με τα νεροκίνητα από υδατόπτωση τεράστια φουσερά τους, που έκαναν δυνατή τη λειτουργία των υψικαμίνων και την παραγωγή υγρού χυτοσίδηρου.

Έτσι το αρχαίο μικρό καμίνι σιδήρου, ήταν μεν μικρό και απλό, αλλά γύρω του είχε ολόκληρες κατασκευές φουσερών για τον απαραίτητο αέρα.

Δεν φυσούσε.... με ένα καλάμι ο μεταλλουργός! Όλοι θυμόμαστε το τεράστιο φουσερό στα μικρά σιδηρουργεία (γυφτάδικα) της Ερμιόνης, τη δύναμη και τον κόπο που απαιτούσε η λειτουργία του, για να συντηρείται η μικρή φωτιά του σιδηρουργού.

Στην **Εικόνα 8.α.** βλέπουμε ένα βιομηχανικό για την εποχή του εργαστήριο τήξης χαλκού – κασσιτέρου για τη δημιουργία κράματος μπρούτζου και στη συνέχεια χύτευση αυτού σε καλούπια όπλων. Τοιχογραφία από τις Πυραμίδες της Αιγύπτου.



Εικόνα 8.α. Αν και έχουν περάσει πάνω από 3000 χρόνια σε τίποτα δεν θα διέφερε ένα σημερινό χαλκουργείο από το εικονιζόμενο στις Πυραμίδες. Μόνο το ποδοκίνητο φουσερό θα είχε αντικατασταθεί με έναν ηλεκτρικό φυσητήρα.

Από δεξιά φέρνουν τις πρώτες ύλες. Κόβουν κομμάτια σε ένα ειδικό κύπελλο στην αναλογία που πρέπει, και από αριστερά αρχίζει η θέρμανση μέχρι τήξεως του κράματος. Με ένα ειδικό εργαλείο που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείται, μεταφέρουν τον κάδο και τον τοποθετούν στη φουφού. Δύο τεχνίτες φυσούν συνέχεια αέρα στη φωτιά με ποδοκίνητα φουσερά που δεν είναι παρά ένας πήλινος αγωγός και από πάνω του ένα δερμάτινο φουσερό με δομή ακορντεόν. Το δέρμα στο πάνω μέρος και κάτω από το πέλμα έχει τρύπα. Ο τεχνίτης κλείνει με το πέλμα την τρύπα και ρίχνει με δύναμη το βάρος του σώματος σε αυτό το πόδι. Ο αέρας φεύγει με δύναμη στον πήλινο αγωγό και πάει στη φουφού. Συγχρόνως ανυψώνει το άλλο πόδι, ελευθερώνει την τρύπα και με ένα σχοινάκι τραβάει προς τα πάνω και τεντώνει το ακορντεόν για να γεμίσει αέρα. Χωρίς την τρύπα το ακορντεόν θα αναρροφούσε αέρια από τη φουφού. Ρίχνει τώρα το βάρος του σε αυτό το πόδι και ανασηκώνει το άλλο. Όλα γίνονται με ρυθμό και συντονισμένα.

Η τοιχογραφία έχει διατηρήσει την αναλογία μορφών και αντικειμένων. Το κάθε φουσερό φαίνεται να στέλνει 20 λίτρα αέρα ανά 4 δευτερόλεπτα ήτοι 5 λίτρα ανά δευτερόλεπτο, και ο κάθε τεχνίτης 10 λίτρα ανά δευτερόλεπτο = 600 λίτρα το πρώτο λεπτό, επί πολλές ώρες, με μεγάλη πίεση, ενώ αν φυσούσε με το στόμα του θα έστελνε μόλις 12 λίτρα αέρα το πρώτο λεπτό και σε 5 λεπτά έπρεπε να αντικατασταθεί, γιατί θα λιποθυμούσε. Το ποδοκίνητο φουσερό και ο τεχνίτης – αεροσυμπιεστής έκανε τη δουλειά που έκαναν παλιά 50 τεχνίτες που φυσούσαν με τα πνευμόνια τους, στην πράξη δε πολύ περισσότεροι. Η παραγωγικότητα στα ύψη!

Όταν ο αρχιτεχνίτης δώσει το ΟΚ μεταφέρεται ο κάδος στα καλούπια (που δεν διαφέρουν σε τίποτα από τα σημερινά) και έτσι παράγονται μαζικά όπλα και εργαλεία.

Το καμίνι των κεραμικών δεν έχει πρόβλημα αέρα, γιατί απλά κατευθύνει και παγιδεύει τις φλόγες ανοικτής φωτιάς. Η παραγωγή του μπορεί να είναι μεγάλη. Όμως η τήξη των κραμάτων του χαλκού, το καμμίνι του σιδήρου και η φουφού του σιδερά απαιτούν πεπιεσμένο αέρα σε μεγάλες ποσότητες.

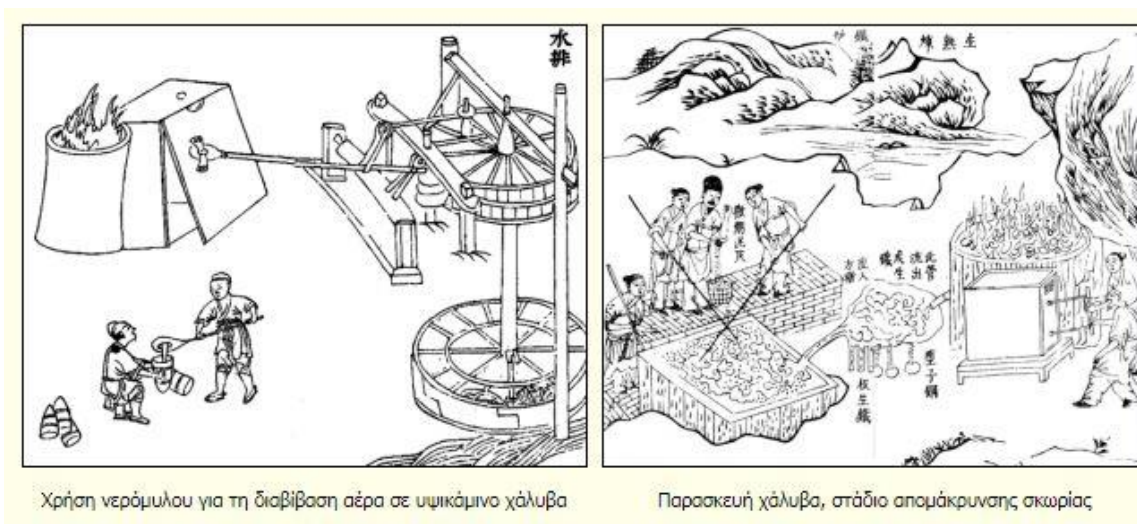
Όσο ο αέρας προερχόταν από τα πνευμόνια η τεχνολογική πρόοδος της μεταλλουργίας χαλκού και σιδήρου κάλλιστα θα προόδευε, και ο χάλυβας και η βαφή του κάλλιστα θα εφευρίσκονταν, αλλά η παραγωγή θα παρέμενε πολύ μικρή με όπλα και εργαλεία προορισμένα για λίγους άρχοντες και ιερείς. Η τεράστια ώθηση που έδωσε το ποδοκίνητο φουσερό αύξησε θεαματικά την παραγωγή, ώστε και ο αγρότης να αποκτήσει μεταλλικά εργαλεία.

Νέα ώθηση προήλθε από τα ζωοκίνητα φουσερά που εφάρμοσαν τη νέα καινοτομία της μετατροπής της κυκλικής κίνησης σε οριζόντια παλινδρομική για να ανοιγοκλείνει το φουσερό.

Και την μεγάλη ώθηση έδωσε η κίνηση του φουσερού από υδατόπτωση που έκανε δυνατή την μετατροπή του αρχαίου καμινιού σε υψικάμινο.

Στην **Εικόνα 8.β.** βλέπουμε κινέζικη υψικάμινο. Στην αριστερή φωτογραφία βλέπουμε το τεράστιο μηχανισμό για την κίνηση του φουσερού, και το φουσερό να είναι μεγαλύτερο και από την υψικάμινο. Και στις σημερινές σύγχρονες υψικαμίνους το σύστημα τροφοδοσίας και θέρμανσης

αέρα με την βοήθεια των θερμών απαερίων της υψικάμινου είναι ογκωδότερο της υψικάμινου.



Εικόνα 8.β. Η κινέζικη υψικάμιнос και το χαλυβουργείο όπου μετέτρεπαν τον χυτοσίδηρο σε χάλυβα. Ήδη το 30 μ.Χ. η βιομηχανία σιδήρου στη Κίνα, γιατί για βιομηχανία πρόκειται, ήταν ασυγκρίτως υπέρτερη από τα μικρά καμινάκια σιδήρου των Ρωμαίων.

Στη δεξιά φωτογραφία βλέπουμε άλλο τύπο φυσερού, ένα μεγάλο κλειστό κιβώτιο που μέσα έχει κινούμενο διάφραγμα που το κινούν πέρα δώθε εργάτες. Τα φυσερά αυτά έχουν φυσικά βαλβίδες εισαγωγής-εξαγωγής αέρα που λειτουργούν αυτόματα λόγω πίεσης – υποπίεσης μέσα στο φυσερό.

Από την υψικάμινο ρέει ρευστή σκωρία και αριστερά υπάρχει μια μεγάλη περίεργη εγκατάσταση που συγκεντρώνει το ενδιαφέρον των αρχιτεχνιτών. Η υψικάμιнос έχει το ανάποδο πρόβλημα του αρχαίου καμινιού το οποίο βγάζει μαλακό σίδηρο που στη συνέχεια πρέπει να τον ενανθρακώσουμε και να τον κάνουμε χάλυβα. Από την υψικάμινο βγαίνει υπερβολικά ενανθρακωμένος σίδηρος (χυτοσίδηρος) με άνθρακα 3.50% - 4.50% που είναι πλήρως ακατάλληλος για εργαλεία και όπλα. Πρέπει να γίνει χάλυβας με άνθρακα 0.10% - 0.40% και αυτό γίνεται μόνο με καύση του άνθρακα για να λιγοστεύει. Σε αυτή την πυρίμαχη λεκάνη την οποία προθέρμαιναν όσο μπορούσαν, έρριχναν τον υπέρθερμο ρευστό χυτοσίδηρο μαζί με καθαρό μέταλλευμα οξειδίου του σιδήρου (Fe_2O_3) σε ορισμένη αναλογία. Το οξείδιο δίνει το οξυγόνο του για να καεί κατά

προτίμηση ο άνθρακας προς διοξείδιο ($C + O_2 = CO_2$) και έτσι να λιγοστέψει ο άνθρακας στον χυτοσίδηρο. Δύσκολο να φυσηχτεί αέρας μέσα στον υπέρθερμο χυτοσίδηρο, ώστε να καεί ο άνθρακας με το οξυγόνο του αέρα, μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε πολύ αργότερα. Πέρα από την καύση του άνθρακα, δηλαδή την οξείδωση του σε διοξείδιο του άνθρακα, μετατρέπονται σε οξείδια και άλλα ανεπιθύμητες προσμείξεις στον χάλυβα, όπως ο φώσφορος, το Μαγγάνιο, το πυρίτιο κ.α. μετατρέπόμενα στα οξείδιά τους που είναι στην πράξη επιπλέον σκωρία που απομακρύνεται εύκολα. Άρα η μέθοδος καθαρίζει και ραφινάει το τελικό προϊόν, τον χάλυβα.

Και τι κάνουν οι τεχνίτες με τα τεράστια κοντάρια;

Ο τόπος ζεματάει, μόνο σε απόσταση μπορούν να σταθούν, εξού και τα μακριά σιδερένια κοντάρια. Το οξείδιο του σιδήρου είναι πολύ ελαφρύτερο και επιπλέει. Πρέπει λοιπόν να το βυθίζουν στο λουτρό και να το ανακατέβουν συνέχεια για να καεί ο άνθρακας. Επίπονη, δύσκολη, επικίνδυνη δουλειά. Η καύση του άνθρακα παράγει θερμότητα και έτσι βοηθάει, ώστε να διατηρείται υγρός ο χυτοσίδηρος.

Γιατί τόση προσήλωση, προσοχή, και τόσος κόσμος σε αυτή τη διαδικασία που τη λέμε χαλυβοποίηση του χυτοσίδηρου, ενώ φαίνεται ότι στην υψικάμινο έχουν μείνει μόνο εργάτες;

Γιατί αυτή είναι πλέον η δύσκολη και κρίσιμη διαδικασία. Αν δεν τα καταφέρουν και στερεοποιηθεί το λουτρό, δεν υπάρχει τρόπος να το ξαναλειώσουν, χώρια που η εγκατάσταση για μεγάλο διάστημα θα αχρηστευθεί.

Και πώς καταλαβαίνουν ότι πέτυχαν το στόχο τους αφού δεν ξέρουν να κάνουν χημικές αναλύσεις;

Βλέπουμε ότι παρακολουθεί ο σοφός μεταλλουργός στο κέντρο όλη τη διαδικασία. Από το χρώμα που παίρνει το λουτρό, από τις σπίθες που πετάει και άλλες ενδείξεις, δηλαδή με το μάτι, ο σοφός μπορεί να προσδιορίσει με αρκετή ακρίβεια την % περιεκτικότητα σε άνθρακα! Ο αριστερά, με το μικρό κοντάρι, πρέπει να είναι ο δειγματολήπτης που με μια κουτάλα βγάζει δείγμα για να το δει ο σοφός. Μη σας κάνει εντύπωση. Και στην μοναδική Υψικάμινο – Χαλυβουργείο της Ελλάδας, στην ΧΑΛΥ-

ΒΟΥΡΓΙΚΗ υπήρχαν τεχνίτες που με το μάτι έπεφταν διάνα σε αυτά τα θέματα.

Αφού λοιπόν ο σοφός έδινε το ΟΚ, ο έτοιμος και σωστός στην αναλογία χάλυβας πήγαινε κατευθείαν για χύτευση στα καλούπια (χύτευση σε τύπους) από όπου έβγαιναν μεγάλες χοντρές βέργες ή πλάκες (επιμήκη ή πλατέα προϊόντα) από τα οποία αργότερα έκοβαν κομμάτια για να τα διαμορφώσει κατάλληλα ο σιδηρουργός, ή έκαναν χύτευση σε ειδικά καλούπια για να πάρουν κατευθείαν το αντικείμενο που ήθελαν.

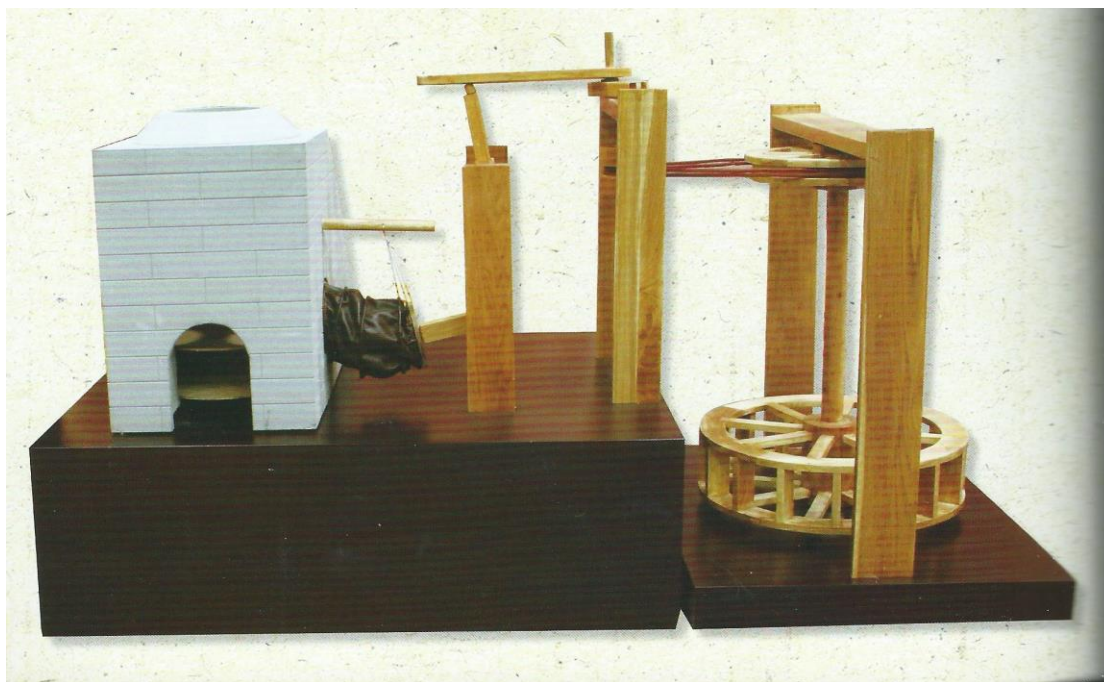
Υπήρχε άλλο σοβαρό πρόβλημα που οι Κινέζοι σοφοί τεχνοκράτες αντιμετώπισαν επιτυχώς;

Ήταν το πρόβλημα των εσωτερικών πυρίμαχων επενδύσεων της υψικάμινου, της λεκάνης του χαλυβουργείου και των κάδων μεταφοράς υγρού χάλυβα. Το αρχαίο καμίνι δεν είχε ουσιαστικό πρόβλημα, γιατί οι θερμοκρασίες του ήταν χαμηλές και παρήγαγε στερεό σίδηρο.

Όμως στην υψικάμινο, ιδιαίτερα στον πυθμένα της, οι θερμοκρασίες φτάνουν και ξεπερνούν του 1500 βαθμούς, ο δε υγρός χυτοσίδηρος και χάλυβας «τρώνε» γρήγορα τα πυρίμαχα, τα οποία για κάθε εργασία πρέπει να είναι ειδικής σύστασης. Και σε αυτό το πρόβλημα είχαν δώσει πολύ καλές λύσεις. Δεν είναι λοιπόν τυχαίο ότι η Κίνα ήταν πρωτοπόρος στους πηλούς, τις πορσελάνες και τα ειδικά πυρίμαχα υψηλής αντοχής.

Με τον υγρό χυτοσίδηρο και χάλυβα προκύπτει και ένα άλλο πρόβλημα: Για να ανακατέψεις το λουτρό ή να κάνεις άλλες εργασίες μόνο χαλύβδινες ράβδους και εργαλεία μπορείς να χρησιμοποιήσεις που όμως και αυτά γρήγορα λειώνουν. Τα μεγάλα λοιπόν σιδερένια κοντάρια που βλέπουμε γρήγορα κόνταιναν και τα άλλαζαν, δηλαδή αναπόφευκτα έχουμε μεγάλη κατανάλωση και φθορά εργαλείων.

Στην **Εικόνα 8.γ.** βλέπουμε αναπαράσταση μεγάλου φουσερού του 30 μ.Χ. Προέρχεται από το βιβλίο «Picture Collection of China's Ancient Machinery» από την εξαιρετική έκθεση στο Μουσείο Ηρακλειδών στην Αθήνα το 2018 όπου υπήρχε και εγκατάσταση επιτόπιας παραγωγής χαρτιού με την αρχαία κινεζική μέθοδο!



***Εικόνα 8.γ.** Ένα πολύπλοκο μεγάλο κινέζικο φυσηρό υψικαμίνου, το οποίο μέσω ιμάντα μετάδοσης κίνησης με μία στροφή τού κυρίως τροχού που περιστρέφεται από τη δύναμη του νερού, έχουμε περί τις 5 παλινδρομικές κινήσεις του φυσηρού.*

Από μια άλλη άποψη, από αυτήν της αύξησης της παραγωγικότητας που οφείλεται στα φυσηρά και συνακόλουθα της παραγωγής εργαλείων που με τη σειρά τους αύξησαν θεαματικά της παραγωγικότητα των αγροτών και των τεχνιτών, ίσως είναι σκόπιμο να μιλάμε και για Εποχή των Ανθρωπίνων Πνευμόνων, Εποχή του Ποδοκίνητου και Χειροκίνητου Φυσηρού, Εποχή του Ζωοκίνητου Φυσηρού, Εποχή του Νεροκίνητου Φυσηρού. Τόσο σημαντικός για τη παραγωγή σιδήρου ήταν ο ρόλος του φυσηρού.

Μαλακός σίδηρος – Χάλυβας – Βαφή Χάλυβα.

Από το καμίνι του σιδήρου βγαίνει τελικά σίδηρος μαλακός και καμιά φορά λίγο σκληρότερος, ανάλογα με τις συνθήκες.

Γρήγορα όμως διαπίστωσαν ότι όπως όταν διαλύουμε μέσα στον χαλκό κασσίτερο παίρνουμε τον σκληρό μπρούντζο, έτσι και στον μαλακό σίδηρο, αν διαλύσουμε πολύ λίγο **άνθρακα** (ενανθράκωση του σιδήρου), τότε παίρνουμε πολύ σκληρό σίδηρο που τον λέμε **χάλυβα**.

Πώς όμως να διαλύσουμε άνθρακα, αφού ο σίδηρος ποτέ δεν ήταν ρευστός και για να ρευστοποιηθεί έπρεπε να θερμανθεί πάνω από τους 1500 βαθμούς Κελσίου, πράγμα ακατόρθωτο με τα τότε τεχνικά μέσα;

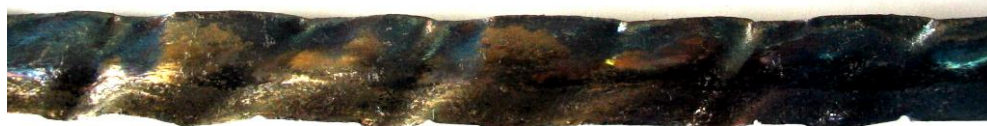
Είχαν διαπιστώσει ότι αν έβαζαν σε ερυθροπυρωμένα κάρβουνα (φουφού του σιδερά) ένα αντικείμενο σιδερένιο, μετά από ώρες απορροφούσε επιφανειακά άνθρακα από τα κάρβουνα και γινότανε χάλυβας. Ή αν έκλειναν το αντικείμενο μέσα σε ένα πήλινο σκεύος γεμάτο καρβουνόσκονη και το έβαζαν στη φουφού του σιδερά, απορροφούσε ακόμη περισσότερο άνθρακα. Ο σίδηρος με άνθρακα 0.16% - 0.20% είναι ήδη πολύ σκληρός (σημερινός χάλυβας οικοδομής), ενώ με 0.30% – 0.40% πάρα πολύ σκληρός (σούστα αυτοκινήτου). Όσο περισσότερο άνθρακα έχει, τόσο σκληρότερος γίνεται, αλλά με το κτύπημα υπάρχει κίνδυνος να σπάσει.

Έμαθαν λοιπόν να φτιάχνουν διάφορους χάλυβες από λίγο έως πάρα πολύ σκληρούς, με την ενανθράκωση του σιδήρου. Ήδη εργαλεία και όπλα από τέτοιο χάλυβα δεν συγκρίνονται με τα μπρούτζινα.

Στη συνέχεια διαπίστωσαν ότι ο χάλυβας που έχει άνθρακα αρκετό, παρουσιάζει μια εκπληκτική ιδιότητα, την οποία δεν παρουσιάζει ο μαλακός σίδηρος. Αμα θερμάνουμε γύρω στους 900 βαθμούς Κελσίου ένα χάλυβα με 0.3% – 0.4% άνθρακα και γρήγορα τον βυθίσουμε σε κρύο νερό, τότε σκληραίνει φοβερά. Και αν είναι κοπίδι, το άκρο του όχι μόνον θα σπάζει πέτρες, αλλά θα κόβει και όλα τα άλλα μαλακότερά του χαλύβδινα και μπρούτζινα αντικείμενα. Δηλαδή με τη βαφή όχι μόνο κατασκευάζονται όπλα και εργαλεία υπέρτερα, **αλλά κατασκευάζονται και**

εργαλεία για την κατεργασία των μετάλλων, και αυτό είναι πολύ πολύ σημαντικό επίτευγμα.

Πέραν αυτών, γρήγορα έμαθαν να ρυθμίζουν τη σκληρότητα που φέρνει η βαφή. Ερυθροπύρωναν στη φουφού το άκρο του κοπιδιού, βουτούσαν την άκρη του στο κρύο νερό για 2 - 3 δευτερόλεπτα μέχρι να μαυρίσει, και παρακολουθούσαν τη θερμότητα που ξαναθέρμαινε το άκρο και που ερχόταν από τον θερμό πυρήνα του κοπιδιού. Τότε το άκρο άλλαζε χρωματισμούς που ο καθένας αντιστοιχούσε σε ορισμένο βαθμό σκληρότητας. Σταματούσαν έτσι τη σκληρότητα του άκρου εκεί που ήθελαν, πετώντας όλο το κοπίδι μέσα στο νερό (**Εικόνα 9 και 10**). Έτσι απλά!



***Εικόνα 9.** Τα χρώματα που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του θερμού χάλυβα και είναι ανάλογα της θερμοκρασίας του. Προέρχονται από λεπτότατο στρώμα οξειδίων του.*

Κίτρινος βαθύς	σε 220°C
Χρυσοκίτρινος	σε 245°C
Ερυθροκαστανός	σε 265°C
Κόκκινος (πορφυρούς)	σε 275°C
Γαλανός ανοικτός (κυανούς)	σε 290°C
Γαλανός βαθύς (κυανούς)	σε 300°C
Γκριζογάλανος (κυανοτεφρόχρους)	σε 310°C
Γκρι (τεφρόχρους)	σε 325°C

Στην περιοχή πιο υψηλών θερμοκρασιών ο χρωματισμός μεταβάλλεται, ως εξής:

Ελαφρά κόκκινος (ερυθρός)	σε 500°C
Σκοτεινός κόκκινος (ερυθρός)	σε 700°C
Κόκκινος κερασί (ερυθρός)	σε 800°C
Κόκκινος ανοικτός (ερυθρός)	σε 900°C
Κερασί-κόκκινος ανοικτός	σε 1000°C
Πορτοκαλί	σε 1100°C
Κίτρινος σκοτεινός	σε 1150°C
Κίτρινος ανοικτός	σε 1200°C
Ισχυρά λευκός	σε 1350°C
Λαμπρός λευκός	σε 1500°C

Εικόνα 10. Τα χρώματα στην επιφάνεια του χάλυβα και η θερμοκρασία στην οποία σχηματίζονται.

Ο αρχαίος σιδηρουργός εκ πείρας είχε συνδυάσει το χρώμα με τη θερμοκρασία. Βουτούσε λοιπόν το άκρο του πυρωμένου κοπιδιού, περί τα τρία δάκτυλα, στο νερό κάνοντας κύκλους (οχτάρια) ταχύτατα. Ήξερε ότι πρέπει να ψυχθεί ταχύτατα το άκρο και σε αυτό εμπόδιζε το λεπτό στρώμα σκουριάς που είχε σχηματιστεί πάνω στο άκρο του κατά την πύρωση. Γι' αυτό μόλις το τράβαγε από τη φουφού το έτριβε ταχύτατα και δυνατά με μια ξύστρα, ή συρματοβουρτσα και μετά το βουτούσε στο κρύο νερό. Χωρίς αυτό το μυστικό δεν γίνεται καλή βαφή.

Βγάζοντας το κοπίδι από το νερό είχε μαυρίσει το άκρο του, περίπου δύο δάκτυλα, αλλά το πάνω μέρος ήταν ερυθροπυρωμένο, αφού δεν βυθίστηκε στο νερό. Τότε η θερμότητα επανερχόταν προς το άκρο του κοπιδιού γρήγορα και το θέρμαινε εκ νέου. Τότε ο τεχνίτης έβλεπε να αναπτύσσονται διαδοχικά με τη σειρά οι χρωματισμοί του πίνακα. Μόλις το άκρο γινόταν χρυσοκίτρινο πέταγε το κοπίδι μέσα στο νερό να κρυώσει ολόκληρο. Η κόψη του ήταν πολύ σκληρή κατάλληλη για να κόβει το κοπίδι σιδερένια κομμάτια. Αν προχωρούσε η θέρμανση μέχρι το βαθύ κυανό (μελιτζανί) και πετούσε το κοπίδι στο νερό, τότε το άκρο δεν ήταν τόσο σκληρό, αλλά κατάλληλο για επεξεργασία μαρμάρου και πέτρας.

Αν ξεχνιότανε και το χρώμα γινόταν κόκκινο, τότε το άκρο το είχε ξαναμαλακώσει η θερμότητα και έβγαινε πολύ μαλακό. Ο άριστος τεχνίτης μπορούσε λοιπόν να φτιάξει περί τα 8 κοπίδια διαφορετικής σκληρότητας με τη βαφή (βάπτω = εμβαπτίζω αλλά και χρωματίζω) και πολύ περισσότερα αν αναλογιστούμε και τον βαθμό ενανθράκωσης του σιδήρου του κοπιδιού. **Ήδη λοιπόν η Ομηρική Εποχή 700 – 800 π.Χ. διαθέτει εργαλεία σιδήρου τέλεια, όσο τέλεια ήσαν στην Ερμιόνη του 1950 τα εργαλεία που έφτιαχνε ο σιδεράς.** Εποχή λοιπόν τεχνολογικής και οικονομικής επανάστασης σε όλους τους τομείς.

Αυτή η τεχνολογική επανάσταση, που την είπαμε Εποχή του Σιδήρου κατ' αναλογία με την Εποχή του Χαλκού (κανονικά είναι Εποχή του Χάλυβα και της βαφής του) και που είναι η εποχή που γράφονται τα Ομηρικά Έπη (700 – 800 π.χ.), δίνει τεράστια ώθηση στην παραγωγικότητα, κάτι ανάλογο με την νεότερη εποχή του ατμού και των μηχανών. Γέννησε μεγάλες προσδοκίες εξέλιξης και απαλλαγής από τη σκληρή εργασία, αρκεί να αναφέρουμε ότι στον Όμηρο αναφέρονται 7 αυτόματα, δηλαδή μηχανισμοί που δουλεύουν χωρίς την επέμβαση του ανθρώπου. Από τον Όμηρο και την εποχή του ξεπηδά η έννοια του αυτοματισμού. Μάλιστα περιγράφοντας το σιδηρουργείο του Ηφαίστου, γράφει ότι τα φουσερά από μόνα τους ξέρουν πόσο αέρα και πότε να τον φυσήξουν, και όλες οι εργασίες γίνονται αυτόματα, αυτορυθμίζονται θα λέγαμε σήμερα μέσω ανάδρασης.

Σίδηρος – Χάλυβας. Το δημοκρατικό μέταλλο.

Η μεγάλη διαφορά από τον χαλκό είναι ότι τα ορυκτά του σιδήρου βρίσκονται σε πολλές θέσεις και σε ανεξάντλητες ποσότητες και στον ελληνικό χώρο.

Η δεύτερη διαφορά είναι ότι ενώ ο χαλκός για να γίνει σκληρός προύτλος χρειαζόταν κασσίτερο, άρα πρόσβαση σε πολύ μακρινές χώρες (Αγ-

γλία), ο σίδηρος γίνεται χάλυβας με το κοινό ξυλοκάρβουνο, και σκληραίνει με βαφή σε κρύο νερό.

Γι' αυτό και ο σίδηρος ονομάστηκε δημοκρατικό μέταλλο, δηλαδή μπορούσε κάθε πόλη να τον παράγει.

Η μεγάλη διαφορά επίσης ήταν ότι ο χαλκός και ο μπρούτζος γίνονταν εύκολα ρευστό για να χυθεί σε καλούπια, ενώ ο σίδηρος και ο χάλυβας δεν γίνονταν ρευστά και αυτό δυσκόλευε πάρα πολύ την κατεργασία τους. Η εργασία του σιδηρουργού ήταν απείρως πιο δύσκολη, επίπονη και χρονοβόρα από του χαλκουργού.

Τα περισσότερα όπλα και εργαλεία από χάλυβα είναι ένας συνδυασμός μαλακού χάλυβα (με λίγο άνθρακα) που βοηθάει ώστε να μη σπάζει κατά την κρούση, και σκληρού χάλυβα (με πολύ άνθρακα) που με τη βαφή και τη σφυρηλάτηση σκληραίνει ακόμη πιο πολύ και κόβει αποτελεσματικά.

Τέσσερις ράβδοι μαλακού χάλυβα και 3 σκληρού συστρέφονται, σφυρηλατούνται και φτιάχνουν ένα σπαθί που δεν σπάει, με σκληρή κόψη και αιχμή (Τα περίφημα σπαθιά της Δαμασκού).

Ανάμεσα σε δύο μαλακά ελάσματα χάλυβα βάζουμε ένα πολύ σκληρό, τα συγκολλούμε εν θερμώ με σφυρηλάτηση, τα τροχίζουμε και φτιάχνουμε το περίφημο ρωμαϊκό σπαθί που η κόψη του και η αιχμή του σχηματίζονται από το σκληρό ενδιάμεσο.

Η συγκόλληση τεμαχίων σιδήρου μεταξύ τους γινόταν με σφυρηλάτηση εν θερμώ, αφού πρώτα καθάριζαν καλά τις επιφάνειες, ή έβαζαν ειδική πάστα να διώχνει τη σκουριά. Βαρύτατα σιδερένια αντικείμενα έχουν γίνει με συγκόλληση τεμαχίων σιδήρου εν θερμώ με τέτοια τέχνη που μόνο στο εργαστήριο εντοπίζονται οι επιφάνειες συγκόλλησης. Η εν θερμώ συγκόλληση είναι πλεονέκτημα του σιδήρου, ενώ αυτό δεν συμβαίνει στον χαλκό.

Η μεταμόρφωση του ορυκτού οξειδίου σιδήρου σε μεταλλικό σίδηρο.

Στο καμίνι σιδήρου, καθώς έχει πυρωθεί καλά το ορυκτό του, αρχίζει το μονοξείδιο του άνθρακα να εισχωρεί σε μικρές ρωγμές του ορυκτού και να αφαιρεί το οξυγόνο από τα οξείδια του σιδήρου.

Στην **Εικόνα 11** βλέπουμε μικρά τεμάχια ορυκτού σιδήρου (αιματίτη). Αν τα κτυπήσουμε με ένα σφυρί σπάνε, όπως οι πέτρες.



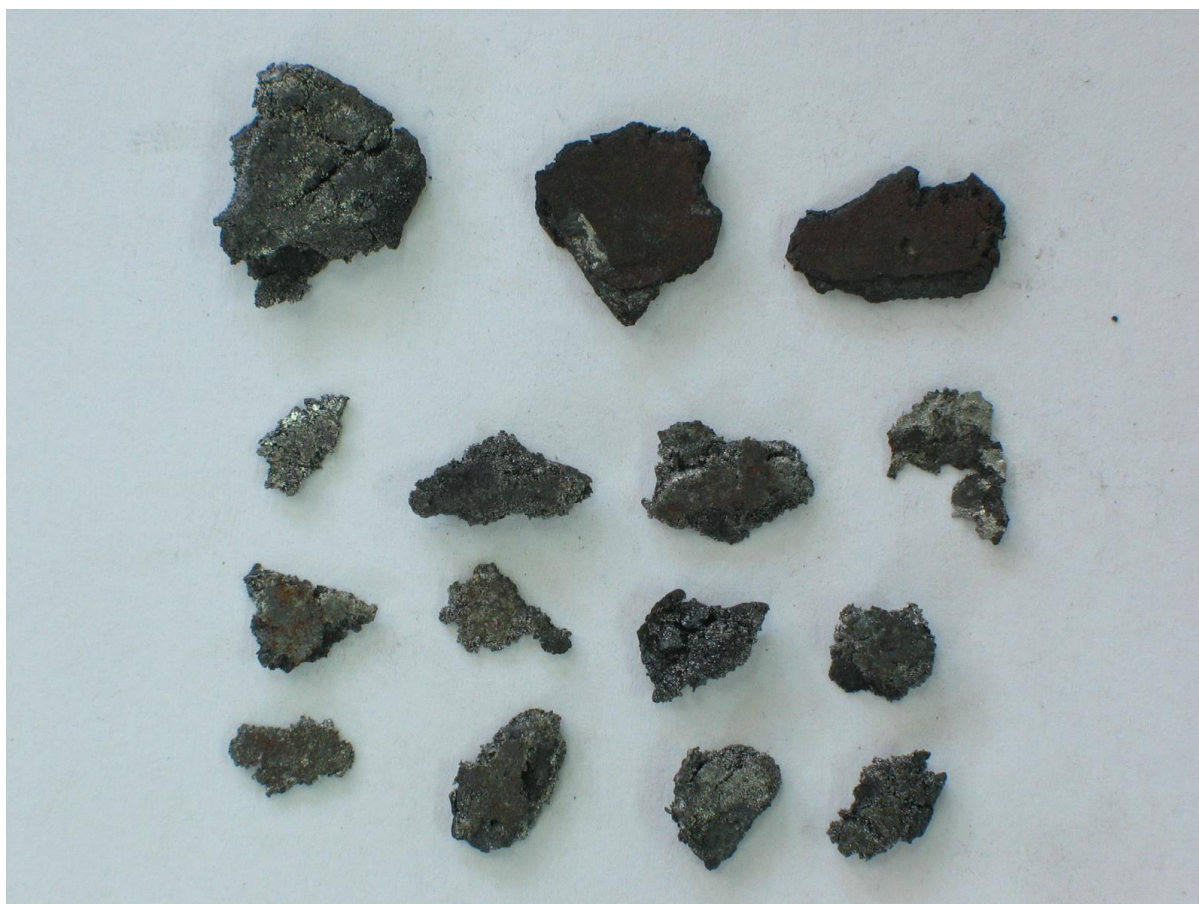
Εικόνα 11. Κομμάτια μεταλλεύματος σιδήρου (Αιματίτης) που τροφοδοτούσαν τις υψικαμίνους της ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗΣ στην Ελευσίνα. Μήκος περίπου 2-3 εκατοστά. Λίγο μικρότερα ήταν των αρχαίων καμινιών.

Στην **Εικόνα 12** βλέπουμε το ορυκτό πώς έχει γίνει μέταλλο με την επίδραση του μονοξειδίου του άνθρακα μέσα στο καμίνι. Βλέπουμε πόσο έχει ρωγματοποιηθεί το ορυκτό, όμως πλέον έχει μετατραπεί σε μεταλλικό σίδηρο, με πολλές μικρές και μεγάλες ρωγμές.



Εικόνα 12. Είναι τα κομμάτια της **Εικόνας 11** που μέσα στο καμίνι ήσαν ερυθροπυρωμένα, το μονοξείδιο του άνθρακα τούς είχε αφαιρέσει το οξυγόνο και έτσι είχαν μετατραπεί σε μεταλλικό σίδηρο με πολλές ρωγμές και εγκλείσματα σκωριών, έτοιμα να κατηφορίσουν προς τον πυθμένα και να ενοποιηθούν σε μια μάζα. Ελήφθησαν από τον γράφοντα με το χάλασμα του καμινιού πριν ολοκληρωθεί ο κύκλος του.

Αν με ένα σφυρί κτυπήσουμε τα μεταλλικά πλέον κομμάτια της Εικόνας 12 θα «πλακουτσωθούν» χωρίς να σπάζουν. Έχουν γίνει πλέον «ελατός και όλκιμος» σίδηρος (**Εικόνα 13**).



Εικόνα 13. Τα κομμάτια έχουν κτυπηθεί με σφυρί και μοιάζουν πλέον με μικρά ελάσματα.

Τελικά μπορούμε να διαμορφώσουμε αυτόν τον σίδηρο σε κοπτικό εργαλείο, αλλά όπως δείχνει η **Εικόνα 14 και 15** με πολλές ρωγμές και εγκλείσματα σκωρίας στη μάζα του. Ένα τέτοιο εργαλείο κάνει τη δουλειά του αλλά σπάει εύκολα, σκουριάζει και δεν μπορεί να θεωρηθεί προηγμένης τεχνολογίας.



***Εικόνα 14.** Κτυπημένα με σφυρί τα ελάσματα και τροχισμένα. Θα τα χαρακτηρίζαμε πρωτόλεια εργαλεία κοπής και διάτρησης γιατί είναι γεμάτα με ρωγμές και εγκλείσματα σκουριάς. Αυτό οφείλεται στο ότι δεν ολοκληρώθηκε το καμίνι, είναι δηλαδή ενδιάμεσα προϊόντα.*



***Εικόνα 15.** Το πιο πετυχημένο «εργαλείο» που ήδη έχει υπέρτερες δυνατότητες από τα αρκετά μπρούτζινα εργαλεία.*

Το καμίνι σιδήρου με τα συλλιπάσματα που προστίθενται και τους χειρισμούς τού αέρα έχει σκοπό όλα αυτά τα ρωγματομένα ερυθροπυρωμένα τεμάχια μεταλλικού σιδήρου να τα καθαρίσει από τις προσμείξεις και καθώς κατέρχονται μέσα στην πηκτή υγρή ερυθροπυρωμένη μάζα της σκωρίας, προς τον πυθμένα, να εφάπτονται και να κολλάει το ένα με το άλλο. Τότε το καμίνι πέτυχε τον σκοπό του και κατά τη σφυρηλάτηση του ημισφαιρίου θα βγει σίδηρος καλής ποιότητας σε μια μάζα.

Στην **Εικόνα 16** βλέπουμε ένα «δάκρυ» σιδήρου. Προέρχεται από την πάνω επιφάνεια του πυθμένα του καμινιού, και από θέση πολύ υψηλής τοπικής θερμοκρασίας. Ο σίδηρος υπέρθερμος μπορεί να κινηθεί σαν πυκνότερη μάζα προς τα κάτω, καθαρός, αφήνοντας τις προσμείξεις πίσω του. Με ακόμη μεγαλύτερη θερμοκρασία θα αρχίσει να απορροφάει άνθρακα, να γίνεται ρευστός και να καταλήξει στον πυθμένα ως υγρός χυτοσίδηρος. Τέτοιες θερμοκρασίες στο αρχαίο καμίνι δεν ήταν δυνατόν να επιτευχθούν, εκτός από εξαιρετική σύμπτωση, από λάθος, τοπικά και για λίγο.



***Εικόνα 16.** «Δάκρυ» σιδήρου πολύ υψηλής θερμοκρασίας, κατερχόμενο προς τον πυθμένα του καμινιού, Αφήνει πίσω του σκωρίες και ρωγμές και ταξιδεύει συμπαγές προς τον πυθμένα να ενωθεί με τα όμοιά του.*

Μία κατά λάθος εξαιρετική σύμπτωση που συνέβη πολύ νωρίς:

Έχει βρεθεί «χελώνα» λευκού σιδήρου (χυτοσιδήρου) με 3.51% άνθρακα από ατυχή καμίνευση, χρονολογημένη περί το 2300 – 2000 π.Χ.

Στην προσπάθειά τους να αυξήσουν τις θερμοκρασίες στο καμίνι θα έριξαν περισσότερο κάρβουνο. Αν μάλιστα το συγκεκριμένο καμίνι είχε καλά μονωτικά τοιχώματα και λίγο περισσότερο ύψος, με ικανοποιητική εμφύσηση αέρα, η θερμοκρασία για αρκετό χρόνο θα έφτασε πάνω από 1150 βαθμούς, ίσως 1300 – 1400 βαθμούς, οπότε στον πυθμένα πήρανε όντως υγρό χυτοσίδηρο με πολύ άνθρακα μέσα του, που όμως όταν κρύ-

ωσε δεν ήταν κατάλληλος για σφυρηλάτηση και διαμόρφωση. Προφανώς δεν αντιλήφθηκαν ότι σχηματίστηκε ένα είδος υγρού σιδήρου στον πυθμένα αλλά εκ του αποτελέσματος κατάλαβαν ότι κάτι εντελώς νέο και θαυμαστό, αλλά άχρηστο συνέβη. Φυσικά και πέταξαν αυτό το προϊόν ως άχρηστο, μη επιδεχόμενο κατεργασία. Ο χυτοσίδηρος (μαντέμι) σπάει σαν γυαλί με την κρούση.

Καμίνευση που οδήγησε, λόγω υπέρμετρης θερμοκρασίας, σε μια μεγάλη αλλά πρόωρη ανακάλυψη, που δεν αναγνωρίστηκε η σημασία της. Συνέβη το ανάλογο πολλές φορές στα εργαστήρια και τη βιομηχανία μέχρι σήμερα.

Πάνω από την ημισφαιρική μάζα του στερεού σιδήρου στον πυθμένα του καμινιού συσσωρεύεται πυκνόρρευστη σκωρία. Όταν κρυώσει γίνεται μια μάζα πορώδης, με πολλές εσωτερικές φυσαλίδες, που δεν έχει συμπεριφορά μετάλλου αλλά πετρώματος, αφού αποτελείται κυρίως από οξειδία, παραμένει δε αναλλοίωτη από καιρικά φαινόμενα. Αντίθετα, ο μεταλλικός σίδηρος σκουριάζει. Έτσι με τον όρο «**σκωρία**» εννοούμε αυτή τη πορώδη μάζα που σχηματίζεται στο καμίνι, ενώ με τον όρο «**σκουριά**» το σκούριασμα σιδηρού αντικειμένου και τη μετατροπή στα οξειδιά του. Έτσι η σκωρία έχει παντελώς διάφορη σύσταση από την σκουριά, ενώ η σκουριά είναι πάντα σχεδόν 100% οξειδία του σιδήρου.

Άρα σε ένα χώρο όπου λειτούργησαν αρχαία καμίνια σιδήρου μπορούμε σήμερα να βρούμε:

Υπολείμματα πρώτων υλών: Σπασμένα μικρά κομμάτια ορυκτών σιδήρου, τεμάχια ασβέστη που έχει γίνει άσπρη πέτρα, τεμάχια πυριτικής πέτρας, κομμάτια κάρβουνου, σπασμένα πήλινα ακροφύσια αέρος.

Μεγάλους σωρούς σκωρίας (τόνους σκωρίας συνήθως) σε μικρά και μεσαίου μεγέθους κομμάτια και σπανίως μεγάλα τεμάχια ή ολόκληρο τον πυθμένα αποτυχημένου καμινιού, που δεν είχε καθόλου σίδηρο ή είχε λίγο και το πέταξαν κατευθείαν με τη σκωρία ως άχρηστο.

ΕΡΜΙΟΝΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ – ΧΑΛΥΒΑ

Περπατώντας στον περιμετρικό χωματόδρομο του Μπιστιού και κοιτώντας κάτω προσεκτικά θα εντοπίσουμε σε πολλά του σημεία τις παρακάτω περίεργες «πέτρες» που είναι βαρύτερες από τις συνηθισμένες του ασβεστολίθου, έχουν καφετί – μαυριδερό χρώμα και φυσαλίδες σαν να έχουν προέλθει από λάβα. Πέρα από τη χαρακτηριστική μορφολογία τους και το βάρος τους, τις περισσότερες τις «πιάνει» ο μαγνήτης, γιατί είτε περιέχουν μέσα τους μικρά εγκλείσματα σιδήρου, είτε επιτεταρτοξείδιο του σιδήρου που έχει μαγνητικές ιδιότητες.

Είναι σκωρίες από καμίνια σιδήρου, και όπως είπαμε προέρχονται είτε από αποτυχημένα καμίνια σιδήρου, ή είναι αποσπασμένες από την σφυρηλάτηση της διάπυρης ημισφαιρικής μάζας του πυθμένα, ή κομμάτια από την υπερκείμενη ρευστή σκωρία του καμινιού. (Εικόνα 17).



Εικόνα 17. Σκωρίες. Κατά κανόνα είναι πορώδεις από τα αέρια που παράγονται στο καμίνι.

Ειδικό βάρος σκωριών:

Μεγάλο κομμάτι που βρέθηκε στον ελαιώνα της Κορίτας: $210.7 \text{ gr}/63\text{cm}^3 = 3.34 \text{ gr}/\text{cm}^3$.

Κομμάτι που βρέθηκε στο Μπίστι: $160.4 \text{ gr}/47\text{cm}^3 = 4.41 \text{ gr}/\text{cm}^3$

Κομμάτι που βρέθηκε στο Μπίστι: $93.6 \text{ gr}/40\text{cm}^3 = 2.34 \text{ gr}/\text{cm}^3$

Κομμάτι που βρέθηκε στο Μπίστι: $87.4 \text{ gr}/26\text{cm}^3 = 3.36 \text{ gr}/\text{cm}^3$

Μετάλλευμα σιδήρου (Λειμωνίτης) Υψικαμίνου: $72.1 \text{ gr}/12\text{cm}^3 = 6.03 \text{ gr}/\text{cm}^3$

Ασβεστόλιθος: $2.7 \text{ gr}/\text{cm}^3$.

Στην **Εικόνα 18** βλέπουμε σκωρίες με διαφορετικές συστάσεις, ανάλογα του σημείου που βρίσκονταν στο καμίνι σιδήρου.



Εικόνα 18. Μεγάλα κομμάτια σκωριών. Το ειδικό τους βάρος εξαρτάται από τη σύστασή τους και από τους πόρους τους.

Το μεγαλύτερο κομμάτι σκωρίας βάρους 210 γραμμαρίων, το βρήκα εντελώς τυχαία κατά το μάζεμα των ελιών στην Κορίτα (3 χιλιόμετρα μακριά από την Ερμιόνη), κάτω από μία ελιά (**Εικόνα 19**). Έψαξα επίμονα, αλλά δεν βρήκα άλλο. Έψαξα σε αρκετή απόσταση για ίχνη που να μαρτυρούν λειτουργία καμινιού σιδήρου. Δεν βρήκα, αλλά δεν αποκλείεται να υπάρχουν, γιατί δεν είναι δύσκολο να υπήρχε σε κάποιο αρχαίο κτήριο, καμίνι σιδήρου. Στην όψη 2 φαίνονται τα αρχικά ορυκτά σαν μι-

κρές μαυριδερές πετρούλες που συνενώθηκαν μεταξύ τους στον πυθμένα του διάπυρου καμινιού αλλά λόγω του ότι στο καμίνι φυσούσαν πολύ αέρα, δεν παραγόταν μονοξείδιο του άνθρακα και έτσι δεν ελευθερώθηκε ο σίδηρος και παρέμεινε ως οξείδιο του σιδήρου.



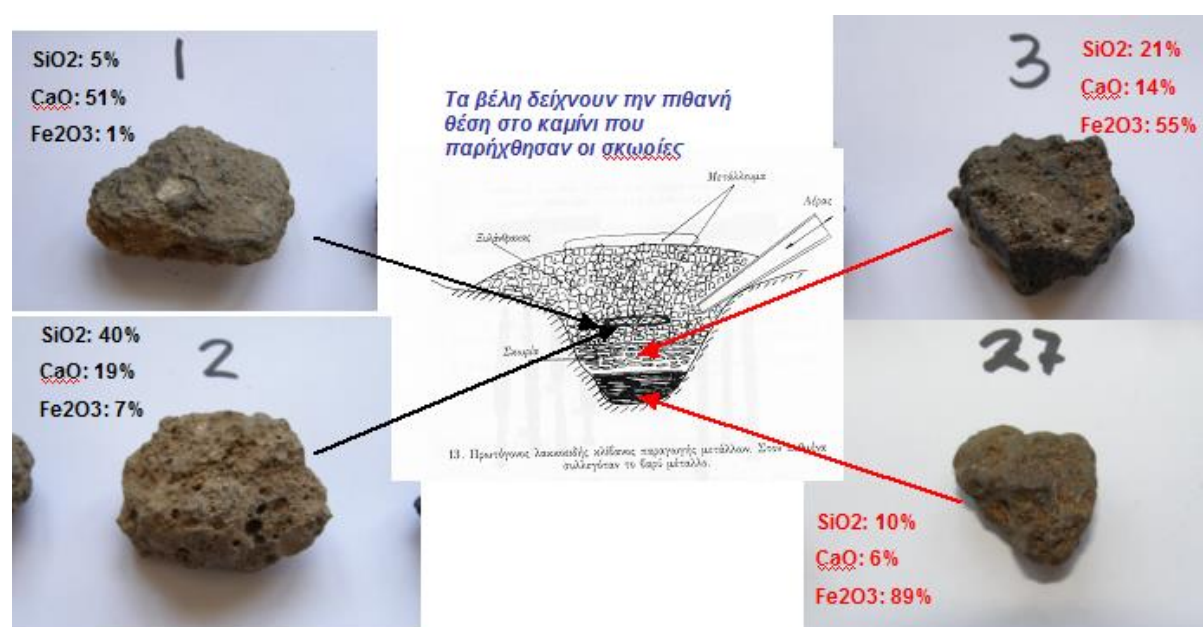
Εικόνα 19. Η Σκωρία της Κορίτας.

Το πιθανότερο κάποιο παιδάκι αρχαίας εποχής πήρε το κομμάτι από τα καμίνια σιδήρου του Μπιστιού για να παίξει, ίσως πιστεύοντας ότι αν το πυρώσει θα βγάλει σίδηρο. Κάτι ανάλογο της εποχής μας: Όταν είμαστε μικροί πηγαίναμε στο Γκουριμέσι, στη Σκάλα Λευκολίθου και βρίσκαμε κομμάτια λευκόλιθου που τα κάναμε σκόνη και με νερό προσπαθούσαμε να φτιάξουμε..... πιάτα και να τα ψήσουμε, γιατί μας είχαν πει οι μεγάλοι ότι με αυτό φτιάχνανε πιάτα. Φυσικά παιδεύομαστε μέρες χωρίς αποτέλεσμα, όμως είμαστε μαγεμένοι με αυτή την ιδέα.

Από τις χημικές αναλύσεις των σκωριών διαπιστώνουμε ότι ορισμένες έχουν πολύ λίγο σίδηρο και πολύ οξείδιο του πυριτίου και του ασβεστίου. Όμως στο ορυκτό του σιδήρου, τον αιματίτη, έχουμε μόλις 2% οξείδιο του πυριτίου και 2.6% οξείδιο του ασβεστίου. Αυτό σημαίνει ότι στο καμίνι πρόσθεταν ασβέστη και γρανίτη από ηφαίστειο (πιθανόν Μεθάνων) που είναι κυρίως οξείδιο του πυριτίου, γυαλί δηλαδή, ώστε η σκωρία του σιδήρου (αριθμός 2 και 3 στην **Εικόνα 20**) που σχηματίζεται να ρευστοποιείται σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και να απομακρύνεται εύκολα κατά την εν θερμώ σφυρηλάτηση του σιδηρούχου ημισφαιρίου.

Αυτή η προσθήκη όπως λέμε συλλιπασμάτων είναι μια τεχνολογική κατάκτηση ήδη από το καμίνι του Χαλκού. Αυξάνει την απόδοση σε σίδηρο, διευκολύνει τη λειτουργία του καμινιού, και ελευθερώνεται εύκολα ο σίδηρος κατά τη σφυρηλάτηση.

Στην Εικόνα 20 βλέπουμε 4 σκωρίες από το Μπίστι διαφορετικής σύστασης και την πιθανή τους θέση στο καμίνι σιδήρου.



Εικόνα 20. Τέσσερες σκωρίες και η πιθανή θέση τους στο καμίνι.

Μορφές που έδιναν στον σίδηρο για τις ανάγκες του εμπορίου και της παραγωγής εργαλείων και όπλων.

Η πιο πρακτική μορφή ήταν ο οβολός σε σχήμα σούβλας. Είχε μήκος περί τους 120 πόντους, διατομή τετράγωνη περίπου 0.7 X 0.7 εκ., τα άκρα του ήταν λίγο σουβλερά και το βάρος του περί τα 400 γραμμάρια. Ήταν οι οβολοί κατάλληλοι για επιμήκη προϊόντα (φάσγανο, ξίφος, σπάθα, μαχαίρι, δρεπάνι, σουβλί, κοπίδι, αλυσίδα κ.λ.π.). Τα προϊόντα αυτά προέρχονταν από έναν οβολό ή από μέρος του, ή με την εν θερμώ συγκόλληση περισσοτέρων. Το φάσγανο είχε μήκος περί τα 110 εκ., τα ξίφη, σπάθες κ.λ.π. περί τα 50 – 65 εκ. Η εν θερμώ συγκόλληση ήταν

μεγάλο πλεονέκτημα για την παραγωγή σιδερένιων αντικειμένων μεγάλου μεγέθους, μάλιστα με αρκετές καινοτόμες ιδέες, συγκολλώντας κομμάτια μαλακού και σκληρού χάλυβα.

Η τεχνογνωσία εκπλήσσει. Οι σιδερένιοι σύνδεσμοι του Παρθενώνα φαίνονται απλά σιδερένια αντικείμενα. Δεν είναι έτσι. Αποτελούνται από 7 φύλλα διαφορετικής ενανθράκωσης και σκληρότητας κολλημένα τέλεια το ένα πάνω στο άλλο. Αλλά και ο σίδηρος προέρχεται από άριστο μετάλλευμα χωρίς θείο και φώσφορο, που μόνο η Σπάρτη διέθετε στα μεταλλεία της. Σε ένα σημείο υπάρχει μια στένωση που μοιάζει με κακοτεχνία. Είναι σκόπιμη και υπολογισμένη. Ο σύνδεσμος περιβάλλετο με χυτό μόλυβδο που τον προστάτευε από την οξείδωση και την υγρασία, ενώ προσέφερε ως μαλακό υλικό μικρή ελαστικότητα. Σε περίπτωση μεγάλου σεισμού ο σύνδεσμος ενεργούσε όπως η μπετόβεργα στο σκυρόδεμα, αλλά ένας πολύ ισχυρός σύνδεσμος θα μετέφερε δυνάμεις στα μάρμαρα με κίνδυνο να σπάσουν. Η εγκοπή είχε υπολογιστεί έτσι, ώστε πέρα από ένα σημείο ο σύνδεσμος να σπάσει προστατεύοντας τα μάρμαρα.

Οι τεχνίτες του σιδήρου και οι συντεχνίες τους είχαν πολλά πολλά αξιοθαύμαστα μυστικά, ήσαν μικρά Πολυτεχνεία.

Για πλατέα προϊόντα όπως ήταν οι τσάπες, ξινιάρια, τσεκούρια, υνί, ελάσματα κ.λ.π. έδιναν τη μορφή δίσκου από τον οποίο έκοβαν κομμάτια. Ο Όμηρος αναφέρει αγώνα δισκοβολίας με βαρύ σιδερένιο δίσκο που αυτός που τον κέρδισε, θα εξασφάλιζε για 5 χρόνια όλα τα αγροτικά του εργαλεία. Μιλάμε περίπου για 10 – 15 κιλά σίδηρο που μπορούσε να είχε προέλθει από 2-3 καμίνια.

Ο σίδηρος ήταν πανάκριβος και ως εκ τούτου αρχικά χρησιμοποιήθηκε ως νόμισμα, και επειδή εύκολα συγκρατούσες στην παλάμη 6 οβολούς ορίστηκε να είναι η δραχμή = 6 οβολοί. Στην **Εικόνα 21** οβολοί στο Νομισματικό Μουσείο Αθηνών.

Κατά τον 8^ο π.Χ. αιώνα, αρχίζει να παρουσιάζεται ο σίδηρος σε μεγάλες ποσότητες. Στο παλάτι του Καρσαμπάτ (720 – 705 π.Χ.) βρέθηκαν 160 τόνοι σιδήρου στην εμπορεύσιμη μορφή των μπαρών μήκους 30 – 50 εκ., πάχους 6 – 14 εκ και βάρους 4 – 20 κιλών. Σίδηρος καλός, μαλακός, ελεύθερος Νικελίου και Μαγγανίου. Αυτή η «πρώτη ύλη» έχει βέβαια συγκεντρωθεί και από την περιφέρεια μέσω εμπορικών δρόμων. Επομένως ο 8^{ος} αιώνας π.Χ. είναι αιώνας σιδήρου και χάλυβα και φυσικά για την Ιωνία που βρίσκεται πιο κοντά στα κέντρα τα τεχνολογικά της Ανατολίας.

Από τότε αρχίζει η μέτρηση της οικονομικής ανάπτυξης και ισχύος ενός κράτους με τους τόνους χάλυβα που παράγει κατ' έτος, συνήθεια που έφτασε μέχρι την εποχή μας.

Από πού προμηθευόταν η Ερμιόνη κατάλληλα ορυκτά του σιδήρου;

Συγκρίνοντας τη χημική ανάλυση αιματίτη πολύ καλής ποιότητας από την Αυστραλία που χρησιμοποιείτο στις Υψικαμίνους της Χαλυβουργικής με την ανάλυση σκωρίας καμινιού σιδήρου από το Μπίστι Ερμιόνης, διαπιστώνουμε ότι έχει προέλθει από μια εξίσου καλή ποιότητα αιματίτη. Το λίγο θείο και ο λίγος φώσφορος χαρακτηρίζουν το καλό ορυκτό, γιατί όταν υπάρχουν σε μεγαλύτερη ποσότητα, εισχωρούν στον σίδηρο, ο οποίος κατά τη σφυρηλάτηση για να φτιάξουμε ελάσματα και λεπίδες σκάζει, δημιουργώντας πολλές ρωγμές. Μάλιστα η προσθήκη στο καμίνι ασβέστου, βοηθάει στη μείωση του θείου στο σίδηρο, όχι όμως και του φωσφόρου.

Παρακάτω η ανάλυση αιματίτη από την Αυστραλία (**Εικόνα 22**) και η ανάλυση σκωρίας Μπιστιού με αριθμό δείγματος 27 (**Εικόνα 23**).

Preset Sample Data

Sample Name	GATSOS	Dilution Material	HWC
Description		Sample Mass (g)	4,1597
Method	Tga-eafs	Dilution Mass (g)	0,8650
Job Number	2012_01	Dilution Factor	0,8279
Sample Type	Pressed tablet, 32 mm	Sample rotation	No
Sample State	Pressed tablet	Date of Receipt	01/18/2012
Sample Status	A A X X X	Date of Evaluation	01/18/2012

Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval

Z	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	1,08 %	0,55 %
12	MgO	Magnesium	< 0,065 %	(0,0) %
13	Al2O3	Aluminum	0,0727 %	0,0023 %
14	SiO2	Silicon	2,190 %	0,019 %
15	P2O5	Phosphorus	0,1671 %	0,0053 %
16	SO3	Sulfur	1,103 %	0,006 %
17	Cl	Chlorine	0,4446 %	0,0015 %
19	K2O	Potassium	0,1754 %	0,0050 %
20	CaO	Calcium	2,583 %	0,012 %
22	TiO2	Titanium	0,0251 %	0,0018 %
23	V2O5	Vanadium	< 0,0033 %	(0,0) %
24	Cr2O3	Chromium	0,1296 %	0,0027 %
25	MnO	Manganese	0,2230 %	0,0038 %
26	FeO	Iron	~ 87,59 %	0,09 %
27	CoO	Cobalt	0,0466 %	0,0044 %
28	NiO	Nickel	0,0139 %	0,0020 %
29	CuO	Copper	0,0809 %	0,0017 %
30	ZnO	Zinc	~ 3,606 %	0,009 %
31	Ga	Gallium	< 0,0016 %	(0,0) %
32	Ge	Germanium	< 0,00078 %	(0,0) %
33	As2O3	Arsenic	0,0141 %	0,0028 %
34	Se	Selenium	< 0,00041 %	(0,0) %
35	Br	Bromine	0,01670 %	0,00034 %
37	Rb2O	Rubidium	0,00052 %	0,00017 %
38	SrO	Strontium	0,01167 %	0,00027 %
39	Y	Yttrium	< 0,00066 %	(0,0) %
42	Mo	Molybdenum	< 0,0089 %	(0,0) %
47	Ag	Silver	0,00142 %	0,00067 %
48	Cd	Cadmium	0,00110 %	0,00025 %
50	SnO2	Tin	< 0,00032 %	(0,0) %
51	Sb	Antimony	< 0,0012 %	(0,0) %
52	Te	Tellurium	< 0,0018 %	(0,0) %
53	I	Iodine	< 0,0033 %	(0,0) %
56	BaO	Barium	< 0,0063 %	(0,0063) %
74	WO3	Tungsten	< 0,014 %	(0,0) %
80	Hg	Mercury	< 0,00088 %	(0,0) %
81	Tl	Thallium	< 0,0014 %	(0,00040) %
82	PbO	Lead	0,4228 %	0,0028 %
83	Bi	Bismuth	< 0,0015 %	(0,0) %
90	Th	Thorium	< 0,0021 %	(0,0) %
92	U	Uranium	< 0,0013 %	(0,0) %
Sum of concentration			100,00 %	

Εικόνα 22. Ανάλυση αιματίτη σε φασματογράφο.

– Preset Sample Data

Sample Name:	27	Dilution Material:	HWC
Description:		Sample Mass (g):	3,8480
Method:	Tq-7059	Dilution Mass (g):	1,0282
Job:	2007_07	Dilution Factor:	0,7891
Sample Type:	Pressed tablet, 32 mm	Sample Rotation:	Off
Sample State:	Pressed tablet	Date of Receipt:	07/09/2007
Sample Status:	A A A X X X	Date of Evaluation:	07/09/2007

– Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval.

N	Symbol	Element	Concentration		Abs. Error	
11	Na2O	Sodium	2,40	%	0,45	%
12	MgO	Magnesium	2,936	%	0,067	%
13	Al2O3	Aluminum	0,5700	%	0,0100	%
14	SiO2	Silicon	9,984	%	0,027	%
15	P2O5	Phosphorus	0,7028	%	0,0052	%
16	SO3	Sulfur	< 0,0013	%	(0,0)	%
17	Cl	Chlorine	0,01915	%	0,00038	%
19	K2O	Potassium	0,3937	%	0,0086	%
20	CaO	Calcium	5,980	%	0,017	%
22	TiO2	Titanium	0,0651	%	0,0030	%
23	V2O5	Vanadium	0,0184	%	0,0028	%
24	Cr2O3	Chromium	0,1788	%	0,0052	%
25	MnO	Manganese	0,0998	%	0,0056	%
26	Fe2O3	Iron	88,99	%	0,09	%
27	CoO	Cobalt	< 0,017	%	(0,0)	%
28	NiO	Nickel	0,0543	%	0,0020	%
29	CuO	Copper	0,0310	%	0,0012	%
30	ZnO	Zinc	0,00119	%	0,00047	%
31	Ga	Gallium	0,00053	%	0,00034	%
32	Ge	Germanium	< 0,00051	%	(0,00016)	%
33	As2O3	Arsenic	0,00203	%	0,00033	%
34	Se	Selenium	< 0,00028	%	(0,0)	%
35	Br	Bromine	< 0,00022	%	(0,00011)	%
37	Rb2O	Rubidium	< 0,00038	%	(0,00015)	%
38	SrO	Strontium	0,00545	%	0,00020	%
39	Y	Yttrium	0,00060	%	0,00019	%
42	Mo	Molybdenum	< 0,0072	%	(0,0)	%
47	Ag	Silver	0,00110	%	0,00063	%
48	Cd	Cadmium	< 0,00070	%	(0,0)	%
50	SnO2	Tin	< 0,00086	%	(0,0)	%
51	Sb	Antimony	< 0,0010	%	(0,0)	%
52	Te	Tellurium	< 0,0013	%	(0,0)	%
53	I	Iodine	< 0,0025	%	(0,0)	%
56	BaO	Barium	< 0,0048	%	(0,0)	%
74	WO3	Tungsten	< 0,0031	%	(0,0)	%
80	Hg	Mercury	0,00084	%	0,00043	%
81	Tl	Thallium	< 0,00064	%	(0,00031)	%
82	PbO	Lead	< 0,0015	%	(0,00092)	%
83	Bi	Bismuth	< 0,00067	%	(0,00018)	%
90	Th	Thorium	0,00182	%	0,00056	%
92	U	Uranium	< 0,00099	%	(0,0)	%
Sum of concentration:			112,44	%		

Εικόνα 23. Ανάλυση δείγματος 27 σκωρίας από το Μπίστι σε φασματογράφο.

Η καλύτερη ποιότητα μεταλλεύματος σιδήρου έβγαινε από τα ορυχεία της Λακωνίας που ανήκαν στην πόλη των Σπαρτιατών. Και η πολύ καλή ποιότητα που μαρτυρούν οι σκωρίες του Μπιστιού, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το μέταλλευμα μπορεί να ερχόταν αποκλειστικά από τη Λακωνία. Εύκολα, γιατί η Ερμιόνη ήταν παραδοσιακός σύμμαχος της Σπάρτης.

Και οι σιδερένιοι σύνδεσμοι του Παρθενώνα (εξαιρετικής τεχνολογίας) έγιναν από το ίδιο μέταλλευμα προφανώς με παραχώρηση των Σπαρτιατών, ή μεγάλη αμοιβή.

Από πού προμηθεύονταν πυριτική άμμο;

Προφανώς από τα Μέθανα ή τη Μήλο. Ήταν άλλωστε κοινότατο πέτρωμα που όμως δεν είχε η Ερμιονίδα. Παρακάτω, αναλύσεις σκωριών Μπιστιού σε σχέση με την ανάλυση γρανίτη που βρέθηκε στο Μπίστι (Εικόνα 24).

			
ΣΚΩΡΙΑ 1	ΣΚΩΡΙΑ 5	ΣΚΩΡΙΑ 13	Γρανίτης Μεθάνων (SiO ₂)
Na ₂ O: 1.92%	Na ₂ O: 6.30%	Na ₂ O: 2.84%	Na ₂ O: 2.07%
MgO: 3.32%	MgO: 1.81%	MgO: 1.85%	MgO: 1.10%
Al ₂ O ₃ : 8.92%	Al ₂ O ₃ : 14.63%	Al ₂ O ₃ : 2.77%	Al ₂ O ₃ : 16.60%
SiO ₂ : 39.98%	SiO ₂ : 57.74%	SiO ₂ : 17.04%	SiO ₂ : 56.76%
K ₂ O: 1.69%	K ₂ O: 2.29%	K ₂ O: 0.69%	K ₂ O: 3.25%
CaO: 19.49%	CaO: 5.81%	CaO: 8.84%	CaO: 10.32%
Fe ₂ O ₃ : 6.68%	Fe ₂ O ₃ : 9.29%	Fe ₂ O ₃ : 82.43%	FeO: 6.03%

Εικόνα 24. Κύρια συστατικά σκωρίας αρ. 2, 5, 13 και γρανίτη.

Ποια τα κύρια συστατικά των σκωριών στο Μπίστι;

Στον παρακάτω πίνακα οι αναλύσεις ως προς τα κύρια συστατικά 29 σκωριών από το Μπίστι, σε σχέση με αιματίτη Αυστραλίας πολύ καλής ποιότητας που χρησιμοποιείτο στην Υψικάμινο της Χαλυβουργικής περί το 1978 (Εικόνα 25 και 26). Ίδιας και καλύτερης ποιότητας πρέπει να ήσαν τα ορυκτά σιδήρου, από τα οποία προήλθαν οι σκωρίες του Μπιστιού.



Εικόνα 25. Μικρές σκουριές από τον περιφερειακό δρόμο του Μπιστιού.

ΣΚΩΡΙΑ	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ ΥΨΙΚΑΜΙΝΟΥ
1	1.09	4.92	51.20	0.97	0.126	0.268	Na ₂ O 1,08
2	6.68	39.85	19.49	8.92	0.349	0.084	MgO 0,065

3	55.01	21.37	14.09	3.51	0.299	0.030	Al ₂ O ₃ 0,07
4	7.98	43.15	5.12	24.83			SiO ₂ 2,19
5	9.29	57.74	58.20	14.63			P ₂ O ₅ 0,167
6	53.85	21.84	17.03	3.79			SO ₃ 1,103
7	68.67	19.49	3.27	5.63			Cl 0,44
8	68.72	14.45	6.05	2.73			K ₂ O 0,17
9	72.45	10.24	7.49	1.69	0.272	0.050	CaO 2,58
10	64.76	9.45	15.04	1.82			TiO ₂ 0,02
11	8.05	52.48	7.50	12.68			V ₂ O ₅ 0,00
12	73.84	14.01	6.11	1.95			Cr ₂ O ₃ 0,12
13	82.43	17.04	8.84	2.72	0.327	0.013	MnO 0,22
14	9.54	61.16	4.27	11.74			FeO 87,59
15	31.54	30.49	14.99	4.34			CoO 0,04
16	70.12	15.33	7.52	2.24	0.796	0.104	NiO 0,01
17	35.91	17.12	27.05	2.53			CuO 0,08
18	68.11	6.14	10.13	0.66			ZnO 3,60
19	76.79	9.34	5.35	0.97			PdO 0,42

20	61.65	17.84	11.08	3.07			
21	60.20	19.50	13.11	3.58			
22	80.11	11.70	3.57	1.55			
23	12.63	60.79	3.70	7.64			
24	51.57	21.40	20.39	4.01			
25	77.48	15.76	7.14	1.74	0.603	0.190	
26	87.56	3.05	0.90	0.45	0.267	0.057	
27	88.99	9.98	5.98	0.57	0.702	0.013	
28	69.59	14.48	8.81	2.34	0.619	0.166	
29	64.97	18.90	7.62	2.79	0.294	0.010	
ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ	FeO 87,59	SiO2 2,19	CaO 2,58	Al2O3 0,07	P2O5 0,167	SO3 1,103	

Εικόνα 26. Τα κύρια συστατικά των σκωριών σε σχέση με τη σύσταση του αιματίτη.

Παρακάτω ενδεικτικά η σκωρία αρ. 10 και η πλήρης ανάλυσή της (**Εικόνα 27 και 28**)



***Εικόνα 27.** Η σκωρία αρ. 10 προφανώς ακουμπούσε στα τοιχώματα του καμινιού και έχει παρασύρει στην επιφάνειά της υλικό του πυρίμαχου τοιχώματος.*

— Preset Sample Data

Sample Name:	10	Dilution Material:	HWC
Description:		Sample Mass (g):	3,8183
Method:	Tq-7059	Dilution Mass (g):	1,0030
Job:	2007_07	Dilution Factor:	0,7920
Sample Type:	Pressed tablet, 32 mm	Sample Rotation:	Off
Sample State:	Pressed tablet	Date of Receipt:	07/05/2007
Sample Status:	A A A X X X	Date of Evaluation:	07/05/2007

— Results

The error is the statistical error with 1 sigma confidence interval.

N	Symbol	Element	Concentration	Abs. Error
11	Na2O	Sodium	1,67 %	0,39 %
12	MgO	Magnesium	0,939 %	0,050 %
13	Al2O3	Aluminum	1,824 %	0,018 %
14	SiO2	Silicon	9,453 %	0,024 %
15	P2O5	Phosphorus	0,4356 %	0,0043 %
16	SO3	Sulfur	0,1215 %	0,0013 %
17	Cl	Chlorine	0,1118 %	0,0006 %
19	K2O	Potassium	0,1708 %	0,0070 %
20	CaO	Calcium	15,04 %	0,03 %
22	TiO2	Titanium	0,1226 %	0,0033 %
23	V2O5	Vanadium	0,0224 %	0,0032 %
24	Cr2O3	Chromium	0,1037 %	0,0048 %
25	MnO	Manganese	0,1800 %	0,0063 %
26	Fe2O3	Iron	64,76 %	0,07 %
27	CoO	Cobalt	< 0,014 %	(0,0039) %
28	NiO	Nickel	0,0228 %	0,0014 %
29	CuO	Copper	0,02261 %	0,00096 %
30	ZnO	Zinc	0,00205 %	0,00042 %
31	Ga	Gallium	0,00053 %	0,00028 %
32	Ge	Germanium	< 0,00044 %	(0,0) %
33	As2O3	Arsenic	0,00136 %	0,00028 %
34	Se	Selenium	< 0,00024 %	(0,00010) %
35	Br	Bromine	< 0,00020 %	(0,0) %
37	Rb2O	Rubidium	< 0,00024 %	(0,0) %
38	SrO	Strontium	0,02491 %	0,00030 %
39	Y	Yttrium	0,00123 %	0,00015 %
42	Mo	Molybdenum	< 0,0062 %	(0,0) %
47	Ag	Silver	0,00130 %	0,00053 %
48	Cd	Cadmium	< 0,00070 %	(0,0) %
50	SnO2	Tin	< 0,00087 %	(0,0) %
51	Sb	Antimony	< 0,00088 %	(0,0) %
52	Te	Tellurium	< 0,0012 %	(0,0) %
53	I	Iodine	< 0,0022 %	(0,0) %
56	BaO	Barium	0,0085 %	0,0019 %
74	WO3	Tungsten	< 0,0024 %	(0,0015) %
80	Hg	Mercury	0,00142 %	0,00037 %
81	Tl	Thallium	< 0,00060 %	(0,00043) %
82	PbO	Lead	0,00114 %	0,00059 %
83	Bi	Bismuth	< 0,00057 %	(0,0) %
90	Th	Thorium	0,00076 %	0,00030 %
92	U	Uranium	< 0,00067 %	(0,0) %
Sum of concentration:			95,05 %	

Εικόνα 28. Η πλήρης ανάλυση της σκωρίας αρ. 10.

Συμπεράσματα:

1). Οι σκόρπιες σκωρίες σιδήρου στο Μπίστι της Ερμιόνης μαρτυρούν τη λειτουργία καμινιών σιδήρου με μετάλλευμα πολύ καλής ποιότητας, πιθανόν από τη Λακωνία, και πηγή «πυριτικής άμμου» το ηφαίστειο των Μεθάνων ή της Μήλου.

2). Το μέταλλευμα των Μεταλλείων Ηλιοκάστρου, ο σιδηροπυρίτης (FeS), ως θειούχο ορυκτό, ήταν πλήρως ακατάλληλο για πρώτη ύλη παραγωγής σιδήρου. Δεν αποκλείεται όμως να είχαν εντοπίσει και εκεί φλέβα μεταλλεύματος οξειδίων του σιδήρου. Είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι αρχαίοι είχαν εντοπίσει το μέταλλευμα στο Ηλιόκαστρο, γιατί ήταν επιφανειακό. Άλλωστε το γνώριζαν και οι κάτοικοι σαν παράξενη πέτρα, και στα τέλη 19^{ου} αιώνα οι Γερμανοί που πρωτοπήραν δείγματα, με φουρνέλα έσπασαν έναν επιφανειακό «βράχο σιδηροπυρίτη». Πιθανότητα ο σιδηροπυρίτης κατά την αρχαιότητα να χρησίμευσε στη παραγωγή κόκκινης ώχρας.

Έτσι, «μέχρι αποδείξεως του εναντίου», ας μην αποκλείουμε την πιθανότητα ο περιτειχισμένος οικισμός των Ειλεών να είχε σχέση με τα κοινά σε αυτόν Μεταλλεία.

3). Η πόλις των Ερμιονέων φαίνεται ότι κατείχε πλήρως την τεχνογνωσία των καμινιών σιδήρου και του σιδηρουργείου – χαλυβουργείου και έφτιαχνε τα δικά της χαλύβδινα εργαλεία και όπλα. Σε αυτό βοηθούσε και η σταθερή συμμαχία της με τη Σπάρτη.

4). Δεν έχουν βρεθεί ίχνη που να μαρτυρούν τη λειτουργία καμινιών χαλκού στην Ερμιόνη. Κάτι τέτοιο θα ήταν έκπληξη, γιατί αυτή η δραστηριότητα ανήκε στα κέντρα που εξουσίαζαν την περιοχή μας, Λέρνα, Άργος, Μυκήνες. Φυσικά θα υπήρχαν χαλκουργεία για τη διαμόρφωση, ίσως και την τήξη έτοιμου κράματος χαλκού – κασσιτέρου.

5). Η ύπαρξη σκωριών σιδήρου σε όλο σχεδόν το μήκος του περιμετρικού χωματόδρομου του Μπιστιού δείχνει ότι εκεί είχαν αναπτυχθεί και

λειτουργούσαν τα καμίνια του σιδήρου και τα σιδηρουργεία της πόλης. Πιθανόν με τη δημιουργία του κάστρου του Μπιστιού κατά τη Βυζαντινή Εποχή με τις διευθετήσεις του χώρου και τα νέα κτίσματα, να σκορπιστήκαν οι σκωρίες των καμινιών σε όλη την έκταση του Μπιστιού. Η ύπαρξη στο άκρο του Μπιστιού των ονομαστών Πορφυροβαφείων μαζί με τις υφαντουργικές εργασίες που τα συνοδεύουν και η συγκέντρωση στον ίδιο χώρο των καμινιών των σιδηρουργείων ίσως και χαλκουργείων της πόλης, δείχνει ότι το Μπίστι ήταν κάτι σαν «τεχνολογικό πάρκο» της αρχαίας πόλης των Ερμιονέων. Αυτό είναι πολύ λογικό, γιατί το Μπίστι ήταν ο τελευταίος ασφαλής αμυντικός χώρος της Ερμιόνης, πολύ μακριά από την πρώτη γραμμή αμύνης που ήταν τα δυτικά τείχη της πόλης επί του Πρωνός.

6). Ως εκ τούτου η πόλις των Ερμιονέων ήταν συναρπαστική και από τεχνολογικής πλευράς. Τα μικρά ερμιονιτόπουλα κινούνταν σε έναν χώρο τεχνολογίας: σιδηρουργείων, χαλκουργείων, αγγειοπλαστικής, πορφυροβαφείων, ναυπηγείων, σχοινοποιείων, λατομείων, εργαστηρίων αργυροχρυσοχοΐας, Νομισματοκοπείου, μαρμαροτεχνίας, ελαιουργείων, βυρσοδεψείων, κ.λ.π. Χώρια τα γνωστά επαγγέλματα για κατασκευή ρούχων, υποδημάτων, κρασιού, κ.λ.π.

Αν προσθέσουμε τους πολλούς ναούς και τις διάφορες τελετουργίες και αθλήματα, την καινοτόμο μουσική της παράδοση, το να είσαι παιδί στην αρχαία Ερμιόνη ήταν συναρπαστικότατο.

7). Η παραγωγή σιδήρου άρχισε από πολύ νωρίς, περί το 2300 π.Χ., αλλά ο μαλακός σίδηρος δεν ήταν κατάλληλος για αποτελεσματικά εργαλεία και όπλα. Με την ενανθράκωση του έγινε χάλυβας αρκετά σκληρός και άρχισε να εκτοπίζει τα κράματα χαλκού κασσιτέρου. Περί τον 8^ο αιώνα με τη βαφή του χάλυβα περνάμε στη νέα Εποχή του Σιδήρου, οπότε έχουμε και εργαλεία αποτελεσματικά για την κατεργασία κάθε υλικού όσο σκληρό και αν ήταν. Δεν έγιναν όλα σε μια μέρα. Η απουσία ευρημάτων σιδήρου και χάλυβα σε αντίθεση με την πληθώρα χάλκινων και μπρούτζινων, δεν πρέπει να μας ξεγελά. Ο σίδηρος σκουριάζει και χάνεται εύκολα.

8). Όπως είδαμε άλλο είναι η σκωρία που βγαίνει μέσα από το καμίνι του σιδήρου και άλλο είναι η σκουριά που προκύπτει από το σκούριασμα του σιδήρου. Ένα κομμάτι αρχαίου σιδερένιου ξίφους μπορεί να έχει μετατραπεί σε έναν όγκο σκουριάς που τη θεωρούμε ότι προέρχεται από ένα σύγχρονό μας αντικείμενο.

Γι' αυτό στο χώρο του Μπιστιού, όπως και της Μαγγούλας εν αγνοία μας, σκάβοντας, μεταποπίζοντας χώματα, μπαζώνοντας, μπορεί να πετάξουμε ή να αχρηστέψουμε πλήθος πληροφοριών που σχετίζονται με την αρχαία τεχνολογία της πόλης των Ερμιονέων. Δεν είναι μόνον τα κεραμικά και τα μάρμαρα.

Σκωρίες, σκουριές, βαριά πετραδάκια που μπορεί να είναι μετάλλευμα, ασβέστη, ηφαιστειακές πυριτικές πέτρες, υαλόμαζες, τεμάχια χρυσού, αργύρου, μολύβδου, πήλινα όστρακα με περίεργες αποθέσεις πάνω τους, είναι όλα ενδείξεις επεξεργασίας μετάλλων. Ακόμη και συγκεντρώσεις των πιο παράξενων υλικών.

Οι ορεσίβιοι αλλά πολυταξιδεμένοι Στεμνιτσιώτες ήσαν άριστοι στην κατεργασία αργύρου, χρυσού, μολύβδου και κραμάτων χαλκού. Όταν λοιπόν έρχονταν με τηνπραμάτεια τους στην Ερμιονίδα για να πουλήσουν, μετά μανίας συγκέντρωναν μεγάλα κόκαλα σουπιάς που τα πέταγαν τότε οι κάτοικοι στη θάλασσα. Έλεγαν γελώντας στους ψαράδες: «Τι μόνο τα παιδιά σας θα φτιάχνουν βαρκάκια στη θάλασσα; Εμείς δεν έχουμε παιδιά;» Και γέλαγαν οι ψαράδες και τους κρατούσαν κόκαλα σουπιάς. Όμως οι Στεμνιτσιώτες είχαν διαπιστώσει ότι το κόκαλο της σουπιάς ήταν εξαιρετικό για καλούπι στη χύτευση χρυσών και αργυρών κοσμημάτων που εύκολα τα αποτύπωναν πάνω του! Φυσικά δεν θα φανέρωναν το μυστικό τους. Θέλω να πω ότι και ο εντοπισμός αρχαίου σωρού από κόκαλα σουπιών δεν οδηγεί αναγκαστικά στο συμπέρασμα ότι είναι κόκαλα από καθάρισμα σουπιών για μαγείρεμα.

9). Στην παραλία της Μαγγούλας, μπροστά από το τετράγωνο κτίσμα που πρωτοπεριγράφηκε στο βιβλίο μου «Η ΤΩΝ ΕΡΜΙΟΝΕΩΝ ΠΟΛΙΣ», στη λασπώδη αμμουδιά, διακρίνονται ρηχές γούρνες. Στην **Εικόνα 29** βλέπουμε την πιο καλοδιατηρημένη. Τα τοιχώματα είναι από πηλό,

αλλά το εσωτερικό σε πολλά σημεία είναι επιστρωμένο με παχύ λευκό στρώμα πιθανότατα ασβέστου. Φαίνεται να είναι απομεινάρια κάποιας βιοτεχνικής δραστηριότητας της προϊστορικής Ερμιόνης που αναφέρει ο Όμηρος. Πόλη πραγματική που από τα ερείπιά της μέσα και έξω από τη θάλασσα είναι της τάξης των 500 στρεμμάτων!



Εικόνα 29. Πιθανά απομεινάρια βιοτεχνικής δραστηριότητας στη θέση της προϊστορικής Ερμιόνης.

10). Είναι ως εκ των ανωτέρω, χρέος των σημερινών κατοίκων της να διερευνήσουν, αναδείξουν και προβάλουν και την τεχνολογική διάσταση της πανέμορφης αρχαίας πόλης των Ερμιονέων, της Κλασικής, Ελληνιστικής και Ρωμαϊκής Εποχής αλλά και της Προϊστορικής, στη θέση Μαγγούλα. Τα χώματα του Μπιστιού και της Μαγγούλας κρύβουν πολλά τεχνολογικά τεκμήρια, που δεν γίνονται αντιληπτά και πρέπει να τα προστατέψουμε μέχρι να φτάσει η ποθούμενη στιγμή της ανασκαφής.

Βασίλειος Α. Γκάτσος
01 – 09 - 2021