

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΤΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ, ΥΣΤΕΡΟΑΡΧΑΪΚΗΣ ΕΠΟΧΗΣ

Γιώργος Βαρουφάκης

Επίκουρος Καθηγητής Μεταλλουργίας
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Η έρευνα ενός διπλού ταυ έδειξε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην τεχνολογία του σιδήρου της αρχαϊκής και σ' εκείνη της κλασικής εποχής, γεγονός που δείχνει πόσο πολύ εξελίχθηκε η μεταλλουργία του μετάλλου αυτού σε σχετικά τόσο μικρό χρονικό διάστημα.

Οι σύνδεσμοι του Παρθενώνα και του Ερεχθείου σε σχήμα ταυ αποτελούνταν από δύο διακριτές μορφές σιδήρου: α) μαλακό σίδηρο με ελάχιστο άνθρακα, και β) σκληρό χάλυβα με κυμαινόμενη περιεκτικότητα σε άνθρακα, οι οποίες ήταν συγκολλημένες με σφυρηλασία σε θερμοκρασίες μεταξύ 1200-1250 °C.

Αντίθετα, οι σύνδεσμοι του ναού της Τραπεζάς περιέχουν μαλακό σίδηρο και νησίδες σκληρού χάλυβα, όπως αποκαλύπτει η παρούσα έρευνα. Με άλλα λόγια, οι σύνδεσμοι της Τραπεζάς δεν κατασκευάστηκαν από τη συγκόλληση δύο ποιοτήτων, μαλακού σιδήρου και χάλυβα, όπως στην περίπτωση των ναών της Ακρόπολης, αλλά από σίδηρο με νησίδες σκληρού χάλυβα, όπως αυτός προερχόταν από τον κλίβανο της αναγωγικής τήξης.

Αυτές οι πρώτες παρατηρήσεις δείχνουν τη σημαντική εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα της μεταλλουργίας του σιδήρου και του χάλυβα από την αρχαϊκή στην κλασική περίοδο και επαληθεύουν την αρχαιολογική άποψη σχετικά με τη χρονολόγηση του ναού της Τραπεζάς.

Τέλος, η χημική εξέταση όλων των συνδέσμων του ναού της Τραπεζάς έδειξε ότι τα αρχικά μεταλλεύματα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή τους προέρχονταν από τα πλούσια σε σίδηρο μεταλλεία της Λακωνίας, τα οποία –και αυτό είναι το πιο σημαντικό στοιχείο– δεν περιέχουν βλαβερά στοιχεία παρά σε ίχνη, όπως είναι το θείο και ο φωσφόρος. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι και τα μεταλλεύματα σιδήρου των ναών της Ακρόπολης προέρχονται από τη Λακωνία.

Μακροσκοπική εξέταση και χημική σύνθεση ενός διπλού ταυ από το ναό της Τραπεζάς

Στην εικόνα 1 εμφανίζεται η μακροσκοπική μορφή του διπλού ταυ ύστερα από λείανση, στίλβωση και μια χημική προσβολή. Αριστερά παρατηρούμε μία γκριζα νησίδα σκληρού χάλυβα (δηλαδή κράματος σιδήρου-άνθρακα). Παρόμοιες αλλά μικρότερες νησίδες υπάρχουν διάσπαρτες, με αποτέλεσμα η σκληρότητα αλλού να είναι μεγάλη και αλλού, όπου είναι μαλακός σίδηρος, να είναι πολύ μικρή. Η σύνθεση και η σκληρότητα των περιοχών μαλακού σιδήρου και σκληρού χάλυβα φαίνονται στον Πίνακα 1.

Σχολιασμός

Στις περιοχές του μαλακού σιδήρου, ο άνθρακας (C), όπως αναφέρεται στον Πίνακα 1, είναι σε πολύ χαμηλό ποσοστό. Εξάλλου αυτό φαίνεται και από τη χαμηλή τιμή της σκληρότητας (33-56 HRB).

Αντίθετα, ο άνθρακας (C) της σκληρής περιοχής φτάνει το 0.33% και σε αυτό οφείλεται η υψηλή σκληρότητά του (110 HRB). Πιθανόν σε άλλα σημεία να είναι ακόμη υψηλότερα.

Είναι ενδιαφέροντα η χημική σύνθεση, η οποία δείχνει ότι τα συνυπάρχοντα στοιχεία, ιδιαίτερα το θείο (S) και ο φωσφόρος (P) βρίσκονται σε ίχνη. Τα δύο αυτά στοιχεία τα χαρακτηρίζουμε ως ασθένειες του σιδήρου και του χάλυβα, ιδιαίτερα, όπως γνωρίζουν οι χαλυβουργοί, το θείο. Η παρουσία του στο χάλυβα προκαλεί προβλήματα διάσπασης της συνοχής του μετάλλου, όταν διαμορφώνεται σε υψηλές θερμο-

Πίνακας 1

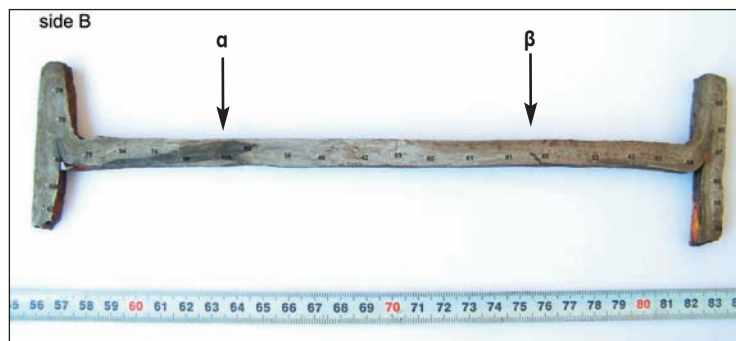
	%C	%Mn	%S	%P	%Si	%Ni	%Cr	%Cu	%Al	%Pb	HR _B
Μαλακός σιδήρος	0.012	0.045	0.007	0.028	0.062	0.009	0.002	0.071	0.007	0.003	33-56
Σκληρός χάλυβας	0.33	0.078	0.003	0.010	0.034	0.012	0.003	0.085	0.008	0.005	105-110

κρασίες (1200 °C). Αυτός είναι και ο λόγος που όλοι οι σιδερένιοι σύνδεσμοι των ναών της Ακρόπολης, της Τραπεζάς και του Επικούριου Απόλλωνα κατασκευάστηκαν με τα πλούσια και καθαρά μεταλλεύματα της Λακωνίας.

Στο σημείο αυτό, θα θέλαμε να σημειώσουμε πώς γνωρίζουμε με τόση βεβαιότητα την προέλευση των σιδηρομεταλλευμάτων. Όταν στη «Χαλυβουργική» λειτουργούσαν οι υψικάμιννοι, χρησιμοποιούσαμε μεταλλεύματα από τη Σέριφο, τη Σκύρο, τη Θάσο και για ένα διάστημα από τη δυτική Κρήτη, γιατί εκεί υπήρχαν από προπολεμικά οργανωμένα μεταλλεία σιδηρομεταλλευμάτων, τα οποία τροφοδοτούσαν τις μεγάλες χαλυβουργίες της Γερμανίας. Τότε, πολλοί ιδιώτες έφεραν στο εργαστήριο ποιότητας της εταιρίας σάκους με μετάλλευμα σιδήρου από διάφορες άλλες περιοχές της χώρας με την ελπίδα να τα πουλήσουν και να πλουτίσουν, δεδομένου ότι για την ημερήσια παραγωγή 1.200 τόνων χυτοσιδήρου απαιτούνταν περίπου 2.400 τόνοι μεταλλεύματος. Για το λόγο αυτό, ο γράφων γνωρίζει τη σύνθεση και την καθαρότητα των σιδηρομεταλλευμάτων σχεδόν όλης της χώρας. Μία περίπτωση είναι και η Λακωνία με τα πολύ πλούσια και καθαρά της σιδηρομεταλλεύματα, κυρίως από απόψεως θείου και φωσφόρου. Είναι η μοναδική περιοχή στην Ελλάδα με τέτοια καλή ποιότητα μεταλλευμάτων σιδήρου. Αντιθέτως, αυτά που χρησιμοποιούσαμε από τα αναφερθέντα νησιά ήταν σχετικά φτωχά σε σίδηρο (γύρω στο 30%) και περιείχαν αρκετό θείο, φωσφόρο και άλλα ανεπιθύμητα ξένα στοιχεία, όπως χαλκό και μόλυβδο. Είναι όμως γνωστό ότι στην αρχαιότητα οι Λάκωνες και κυρίως οι Σπαρτιάτες εκμεταλλεύονταν τα μεταλλεία αυτά και είχαν αναπτύξει μια εξαιρετική χαλυβουργία για την κατασκευή εργαλείων και όπλων. Έχει διαπιστωθεί ότι πολλοί σύγχρονοι δρόμοι στην περιοχή αυτή έχουν κατασκευαστεί από αρχαίες σκωρίες, που παράγονταν από την αναγωγική τήξη των εν λόγω μεταλλευμάτων – μία σαφής ένδειξη της αναπτυγμένης μεταλλουργίας σιδήρου στη Λακωνία της αρχαϊκής και κλασικής εποχής.

Είναι βέβαιο ότι και οι Αθηναίοι εισήγαγαν από την περιοχή αυτή σιδηρομεταλλεύματα –γιατί η χημική εξέταση των σιδερένιων συνδέσμων του Παρθενώνα και του Ερεχθείου έδειξε ότι η προέλευσή τους ήταν από τη Λακωνία– στο Λαύριο, το μεγαλύτερο μεταλλουργικό κέντρο της ελληνικής αρχαιότητας, και εκεί παρήγαγαν σίδηρο, τον οποίο μετέφεραν στα εργοτάξια της Ακρόπολης, όπου οι μεταλλουργοί τους τα διαμόρφωναν σε συνδέσμους ή άλλες κατασκευές.

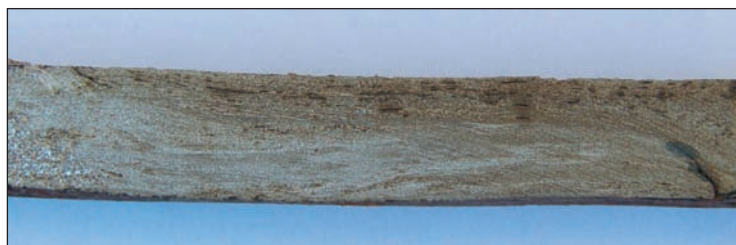
Βέβαια, μπορεί να υπάρξει σοβαρός αντίλογος ως προς τη χρήση μεταλλευμάτων της Λακωνίας από τους Αθηναίους. Πώς οι Σπαρτιάτες θα δέχονταν να εξάγουν μεταλλεύματά τους στους αιώνιους αντιπάλους τους; Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ανέγερση του Παρθενώνα και των άλλων ναών της Ακρόπολης πραγματοποιείται μερικά χρόνια μετά τα Μηδικά και οι Σπαρτιάτες έτρεφαν σεβασμό για την αποφασιστική συμβολή του αθηναϊκού στόλου στη ναυμαχία της



1. Δίπλο ταυ από το ναό της Τραπεζάς. Διακρίνονται α) νησίδα σκληρού χάλυβα, και β) περιοχή συγκόλλησης.



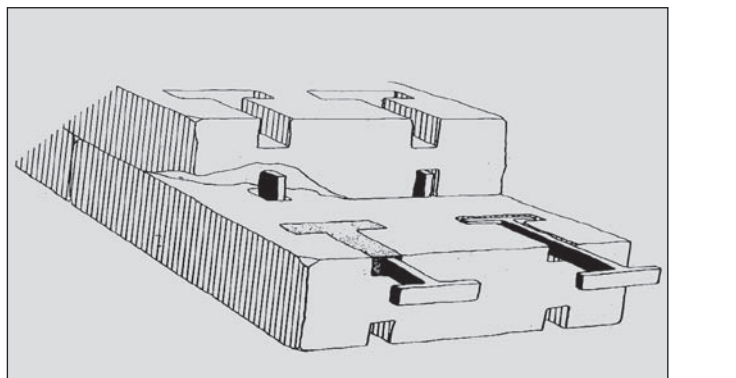
2. Λεπτομέρεια της εικόνας 1. Νησίδα σκληρού χάλυβα.



3. Λεπτομέρεια της εικόνας 1. Περιοχή συγκόλλησης δύο απλών ταυ προς ένα δίπλο.



4. Σιδερένιο δίπλο ταυ από τον Παρθενώνα.



5. Σκαρίφημα που δείχνει τον τρόπο τοποθέτησης των σιδερένιων διπλών ταυ και των γόμφων, που ήταν καλυμμένοι με μόλυβδο.

Σαλαμίνας και αργότερα για τη συμμετοχή του στρατού της στη νικηφόρα μάχη των Πλαταιών. Επίσης η Σπάρτη είχε ανάγκη από χρήματα και φυσικά δεν θα είχε ποτέ αντίρρηση να εξαγάγει στην πλούσια Αθηναϊκή Δημοκρατία σιδηρομεταλλεύματα. Άλλωστε, να θυμίσουμε ότι η ιστορία επαναλαμβάνεται και στη σύγχρονη εποχή: στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, οι ΗΠΑ εξήγαγαν πετρέλαιο στην Ισπανία του Φράνκο, η οποία με τη σειρά της το διοχέτευσε στη ναζιστική Γερμανία μέσω των κατεχόμενων εδαφών της Γαλλίας. Πόσο μάλλον οι Σπαρτιάτες, που συναλλάσσονταν εν καιρώ όχι πολέμου αλλά ειρήνης με μια σύμμαχο, την Αθήνα, με την οποία συμπολέμησαν ενάντια στους ξένους εισβολείς της Ανατολής.

Οι διαφορές στην κατασκευή του αρχαϊκού ταυ από τους συνδέσμους ναών της Ακρόπολης

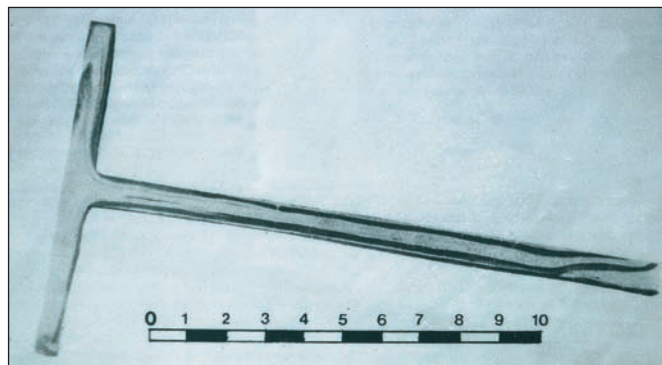
Ενδιαφέρουσα είναι η περίπτωση της κατασκευής του διπλού ταυ του ναού της Τραπεζάς (εικ. 1). Εδώ, οι μεταλλοτεχνίτες της υστεροαρχαϊκής εποχής χρησιμοποίησαν την τεχνική που αργότερα εφάρμοσαν και οι Αθηναίοι στην ανέγερση του Παρθενώνα. Δηλαδή συγκολλούσαν από τότε δύο απλά ταυ σε ένα διπλό. Η εικόνα 4 εμφανίζει έναν διπλό σιδερένιο σύνδεσμο ταυ από τον Παρθενώνα. Στην εικόνα 5 το σκαρίφημα δείχνει πώς προστατευόταν ο σύνδεσμος μέσα σε μόλυβδο, ενώ στην εικόνα 6 φαίνεται το σημείο συγκόλλησής του με ένα άλλο απλό προς ένα διπλό. Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά τη μακροσκοπική εξέτασή του, φαίνονται οι δύο ποιότητες: α) του μαλακού σιδήρου (λευκό χρώμα), συγκολλημένου εξωτερικά με δύο φύλλα σκληρού χάλυβα (μαύρο χρώμα). Η συνύπαρξη μαλακού και σκληρού χάλυβα κάνει να φαίνεται η συγκόλληση ευκρινέστερη από την περίπτωση του αρχαϊκού συνδέσμου (εικ. 3), όπου δεν υπάρχουν διακριτές περιοχές σιδήρου και χάλυβα για τους λόγους που αναφέρονται ανωτέρω.

Γενικά συμπεράσματα

Από τη μεταλλουργική μελέτη των σιδερένιων συνδέσμων του Ναού της Τραπεζάς συνάγονται τα ακόλουθα ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Όλοι οι σύνδεσμοι παρήχθησαν από μεταλλεύματα σιδήρου της Λακωνίας, τα οποία είναι πλούσια σε σίδηρο και –το πιο σημαντικό– δεν περιέχουν παρά μόνο ίχνη από ξένες, βλαβερές για το παραγόμενο μέταλλο ενώσεις θείου και φωσφόρου. Παλαιότερες μελέτες του γράφοντος για τους σιδερένιους συνδέσμους του Παρθενώνα έδειξαν ότι και εκεί είχε χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη μέταλλο σιδήρου από τη Λακωνία.

Τα μεταλλεύματα σιδήρου που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των συνδέσμων του ναού της Τραπεζάς και των ναών της Ακρόπολης αποτελούν τα μόνα κοινά σημεία ανάμεσα στην τεχνολογία της αρχαϊκής και εκείνης της μετέπειτα κλασικής εποχής.



6. Μακροσκοπική εξέταση ενός συνδέσμου μετά τη λείανση, στίλβωση και προσβολή με Nital 10%. Εμφανίζεται η μακροσκοπική δομή του σιδερένιου ταυ, όπου μία μαλακή σιδερένια στρώση έχει συγκολληθεί ανάμεσα σε δύο σκοτεινόχρωμες χαλύβδινες στρώσεις με σφυρηλασία σε μια θερμοκρασία περίπου 1250-1300 °C.

Η σημαντική διαφορά τεχνολογίας ανάμεσα στους σιδερένιους συνδέσμους του Παρθενώνα (5ος αι. π.Χ.) και εκείνους του ναού της Τραπεζάς είναι ότι οι μεταλλοτεχνίτες του πρώτου γνώριζαν να παράγουν χώρια καθαρό σίδηρο και χώρια σκληρό χάλυβα (δηλαδή κράμα σιδήρου και άνθρακα), για να τα συνδυάσουν αργότερα μαζί με κατάλληλη συγκόλληση. Αντίθετα, στην υστεροαρχαϊκή εποχή (τέλη του 6ου αι. π.Χ.), παρήγαγαν και χρησιμοποιούσαν το σίδηρο έτσι όπως έβγαινε από την κάμινο αναγωγικής τήξης. Με άλλα λόγια, η τεχνολογία της εποχής τους δείχνει ότι βρίσκεται πολύ πίσω συγκριτικά με εκείνη της κλασικής εποχής, και αυτή η σύγκριση αποτελεί σημαντική εξέλιξη και φυσικά μια ενδιαφέρουσα διαπίστωση.

Απομένει να μελετηθούν οι σιδερένιοι σύνδεσμοι του Επικούριου Απόλλωνα. Οι πρώτες ενδείξεις της εν λόγω μεταλλουργικής μελέτης δείχνουν μια ακόμη πιο προηγμένη τεχνολογία συγκριτικά με εκείνη των ναών της Ακρόπολης και αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον. Φυσικά, η πρώτη ύλη για την κατασκευή τους προερχόταν και πάλι από τη Λακωνία, όπως και στις προηγούμενες δύο περιπτώσεις, της Τραπεζάς και του Παρθενώνα.

A Metallurgic Study of the Iron Joints in the Temple of Trapezas of the Late Archaic Period

Giorgos Varoufakis

The study of the iron joints in the temple of Trapeza, not far from Aegion in the Northern Peloponnese is of great importance, because it reveals the technology of the metallurgy of iron in the late archaic period, around the end of the sixth century BC. The study comprises: a. the macroscopic and metallographic examination of samples, b. their mechanical properties, c. their chemical composition, and d. the very interesting final conclusions, particularly when they are compared with the results of the metallurgic research on the iron joints in the fifth-century BC temples of the Athenian Acropolis, already studied by the author.