

# Μέτρηση ξηρής φθοράς ταχύτητας διάβρωσης και σκληρότητας σε συνηθισμένα μεταλλικά υλικά

*Πτυχιακή εργασία*

Φοιτητές

- Θεοφάνης Κωνσταντίνου
- Χρήστος Μπαλιξής

## Πίνακας περιεχομένων

<b>Εισαγωγή .....</b>	<b>σελ. 3</b>
<b>Κοπή δειγμάτων και λείανση .....</b>	<b>σελ.4-17</b>
<b>Διεργασία ξηρής φθοράς.....</b>	<b>σελ.18-36</b>
<b>Ταχύτητα διάβρωσης.....</b>	<b>σελ.37-55</b>
<b>Σκληρομέτρηση.....</b>	<b>σελ. 56-74</b>

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας ήταν να εξετασθούν ορισμένα μεταλλικά υλικά (χαλκός, αλουμίνιο, μπρούντζος, αλουμινούχος μπρούντζος, ορείχαλκος και χάλυβας) στις δοκιμασίες: ξηρής φθοράς, ταχύτητας διάβρωσης, και σκληρομέτρησης με τις μεθόδους Rockwell και Vickers. Στα επόμενα παρουσιάζονται οι εργασίες που εκτελέστηκαν και τα αποτελέσματα των δοκιμασιών.

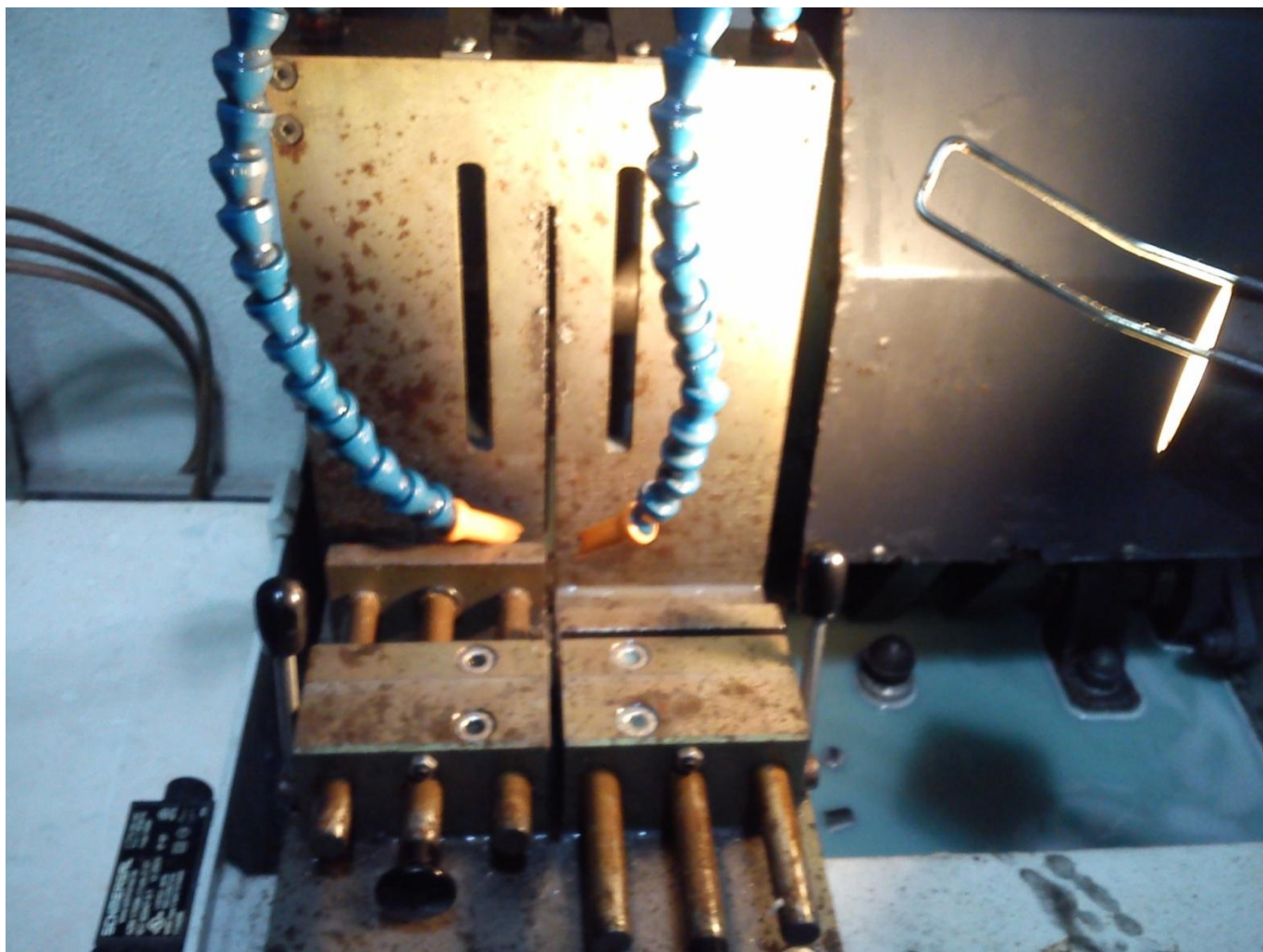
## 2. ΚΟΠΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΑΝΣΗ

Αρχικά κατά την παραλαβή της πτυχιακής άσκησης παραλάβαμε διάφορα υλικά, άλλα κυκλικής και άλλα τετραγωνικής διατομής. Τα υλικά περιλάμβαναν, χαλκό, αλουμίνιο, μπρούντζο, αλουμινιούχο μπρούντζο, ορείχαλκο και χάλυβα. Η πρώτη επεξεργασία των υλικών ήταν η κοπή σε κύβους διαστάσεων 20 x 20 mm.

Η κοπή των μετάλλων έγινε σε κοπτική μηχανή του εργαστηρίου εργαλειομηχανών του ιδρύματος, τύπου Mecatome TZ 55/300 της εταιρίας Presi.



Εικ. 2. 1 Τα υλικά που θα εξετασθούν



Εικ. 2. 2 Σφιχτήρας για πρόσδεση δοκιμίου στον υδρόψυκτο τροχό κοπής τύπου Mecatome TZ/55/300 της εταιρίας Presi.



Εικ. 2. 3 Υδρόψυκτος τροχός κοπής τύπου Mecatome TZ 55/300 της εταιρίας Presi, με ανοιχτό κάλυμμα.



Εικ. 2. 4 Ορείχαλκος





Εικ. 2. 5 Αλουμίνιο



Εικ. 2. 6 Χαλκός



Εικ. 2. 7 Αλουμίνιο στρόγγυλο.



Εικ. 2. 8 Μπρούντζος



Εικ. 2. 9 Αλουμινιο



Εικ. 2. 10 Χαλκός στρόγγυλος



Εικ. 2. 11 Αλουμινούχος μηρούντζος

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε λείανση των υλικών για να πετύχουμε εντελώς λεία επιφάνεια, έτσι ώστε να πάρουμε άσο είναι δυνατόν καλύτερα αποτελέσματα στις παιραιτέρω διεργασίες. Η εργασία αυτή ολοκληρώνεται με το κυκλικό πέραςμα των κύβων από διάφορα πάχη γυαλόχαρτων ξεκινώντας από το παχύτερο για την αποπεράτωση, μέχρι το πιο λεπτό. Ο μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο γίνεται αυτή η διεργασία ονομάζεται φθορά λείανσης Η φθορά λείανσης (abrasive wear) προκαλείται είτε όταν μια τραχεία και σκληρή επιφάνεια ολισθαίνει επί μαλακότερης και δημιουργεί μια σειρά από αύλακες/ αμυχές πάνω σ'αυτήν, είτε όταν χαλαρά τραχεία ψήγματα παγιδεύονται μεταξύ των επιφανειών κατά την διάρκεια της κίνησης.

Χρησιμοποιήθηκε μηχανήμα λείανσης τύπου Larobol-5 το οποίο φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.





Εικ. 2. 12 Μηχάνημα λείανσης τύπου Labopol-5

## 3. ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΞΗΡΗΣ ΦΘΟΡΑΣ

### 3.1 Φθορά επιφανειών

Οι επιφανειακές ανωμαλίες στερεών σωμάτων που έρχονται σε επαφή «καταστρέφονται», υπό την επίδραση των δυνάμεων τριβής, με διάφορους μηχανισμούς. Το είδος και το μέγεθος της «καταστροφής» εξαρτάται αφενός από τις ιδιότητες των τριβόμενων υλικών και αφετέρου από τις τιμές των παραμέτρων λειτουργίας του τριβοσυστήματος (φορτίο, ταχύτητα, κλπ). Για παράδειγμα, αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου οδηγεί σε αύξηση του πλήθους των επιφανειακών δεσμών που καταστρέφονται, ενώ ενδέχεται να αυξηθεί, κατά την ολίσθηση, και η θερμοκρασία επιφανειακών στρωμάτων των στερεών, με αποτέλεσμα τη μεταβολή των ιδιοτήτων τους. Το αποτέλεσμα της φθοράς, η οποία οδηγεί σε απομάκρυνση υλικού από τις στερεές επιφάνειες λόγω μηχανικής δράσης, είναι μεγάλης οικονομικής σημασίας, καθώς είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τη διάρκεια ζωής και ασφαλούς λειτουργίας των περισσότερων μηχανολογικών κατασκευών.

### 3.2 Ζύγιση φθειρόμενων μερών

Η ζύγιση των φθειρόμενων μερών αποτελεί τον απλούστερο τρόπο ελέγχου φθοράς ενός αντικειμένου, χωρίς ωστόσο να δίνει πληροφορίες ειδικού ενδιαφέροντος, όπως για παράδειγμα ποια είναι η κατανομή φθοράς στην επιφάνεια επαφής. Για να γίνει η μέτρηση απαιτείται προσεκτική εξάρμωση του μετρούμενου στοιχείου και ζύγισή του με ζυγό ακριβείας, ο οποίος πρέπει να έχει διακριτική ικανότητα της τάξεως των  $10^{-4}$ g. Τα σφάλματα που εισάγονται, πολλές φορές, στον υπολογισμό της φθοράς, οφείλονται στην αδυναμία και στη μειωμένη διακριτική ικανότητα του ζυγού.



Εικ. 3.1 Ζυγός ακριβείας

### 3.3 Πειραματική διαδικασία

Κατά την πειραματική διαδικασία τοποθετούμε το υλικό μας πάνω στο κυκλικό πλαίσιο όπου εφαρμόζεται διάφορα πάχη γυαλόχαρτων τα οποία θα απεικονιστούν στην συνέχεια . Στο δοκίμιο εφαρμόζεται βαρύδιο ίσο με 500 gr. Ο δίσκος με το γυαλόχαρτο περιστρέφεται με συχνότητα 300 rpm. Το δοκίμιο τοποθετείται σε απόσταση  $R = 10\text{cm}$  από το κέντρο του δίσκου. Οι περιστροφές που εκτελεί ο δίσκος καταμετρώνται από ειδική συσκευή μέτρησης στροφών. Η διαδικασία της φθοράς διακόπτεται σε προκαθορισμένες στιγμές για να πάρουμε μετρήσεις (ζύγιση δοκιμίων σε ηλεκτρονική ζυγαριά μεγάλης ακρίβειας). Συγκεκριμένα διακόπτεται μετά από 300, 600, 900, και 1200 αντιστοίχως περιστροφές του δίσκου. Η διεργασία που ακολουθείται είναι η ίδια για όλα τα υλικά. Είναι προτιμότερο να εκφραστεί η διάρκεια του πειράματος όχι σε περιστροφές του δίσκου, αλλά σε μήκος της διαδρομής του δοκιμίου σε σχέση με το γυαλόχαρτο. Στο τέλος του πειράματος( δηλαδή μετά από 1200 περιστροφές του δίσκου) αυτό το μήκος της διαδρομής θα είναι:

$$L_{\text{ξηρής φθοράς}} = 1200 * ( 2 \Pi R ) = 1200 * ( 2 * 3,14 * 0.1\text{m}) = 753,6\text{m}$$



Εικ. 3.2 Μηχανήμα κατεργασίας ξηρης φθορας



Εικ. 3.3 Βαρυδίο σκληρης φθορας

Χρησιμοποιήθηκαν γυαλόχαρτα με πυκνότητες κόκκων 80, 120, 180, 240, 600 και 800 GRIT αντίστοιχα. Η εμφάνισή τους οπτικά είναι αυτή που φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες.





Εικ. 3.4.α



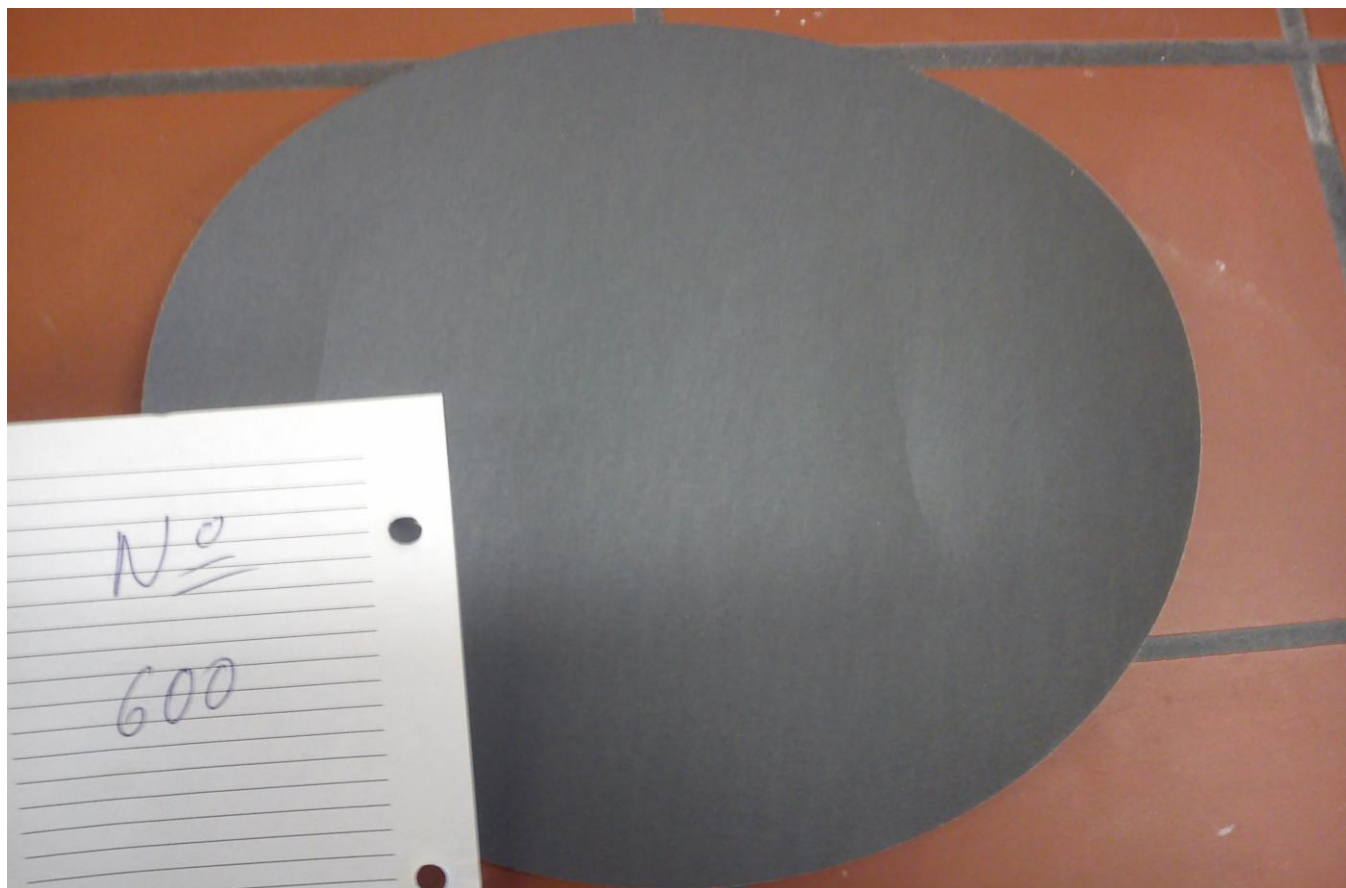
Εικ. 3.4.β



Εικ. 3.4.γ



Εικ. 3.4.δ



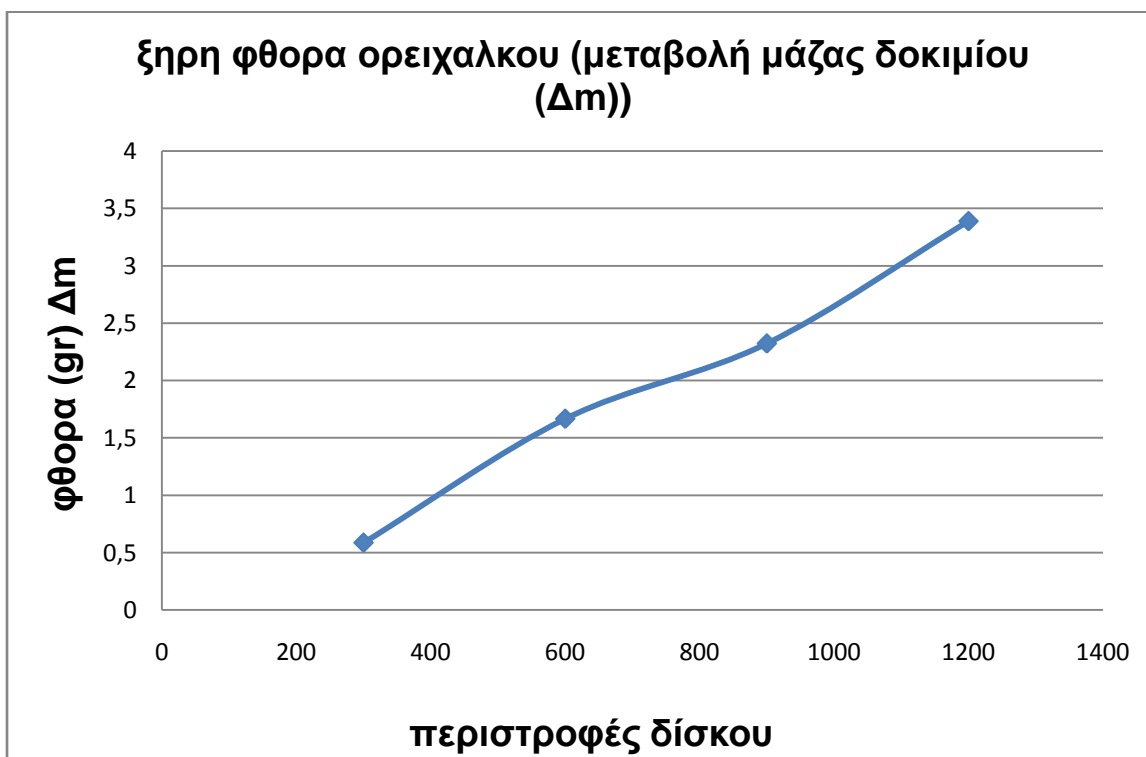
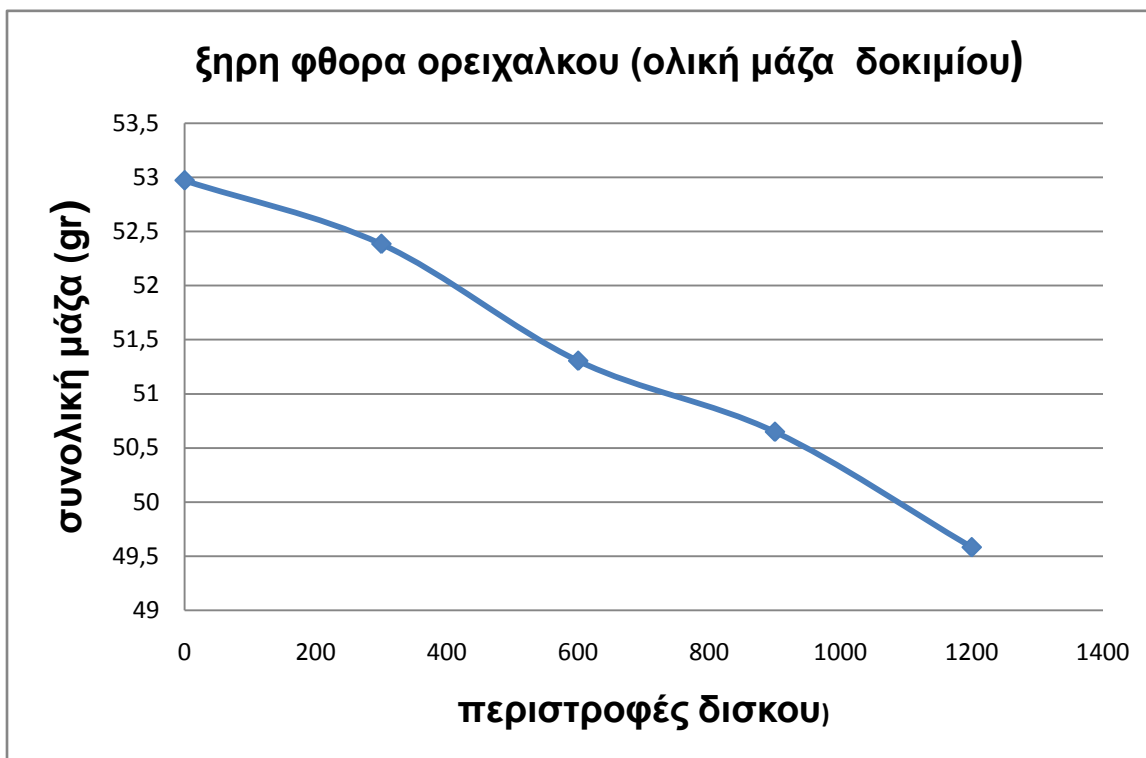
Εικ. 3.4.ε

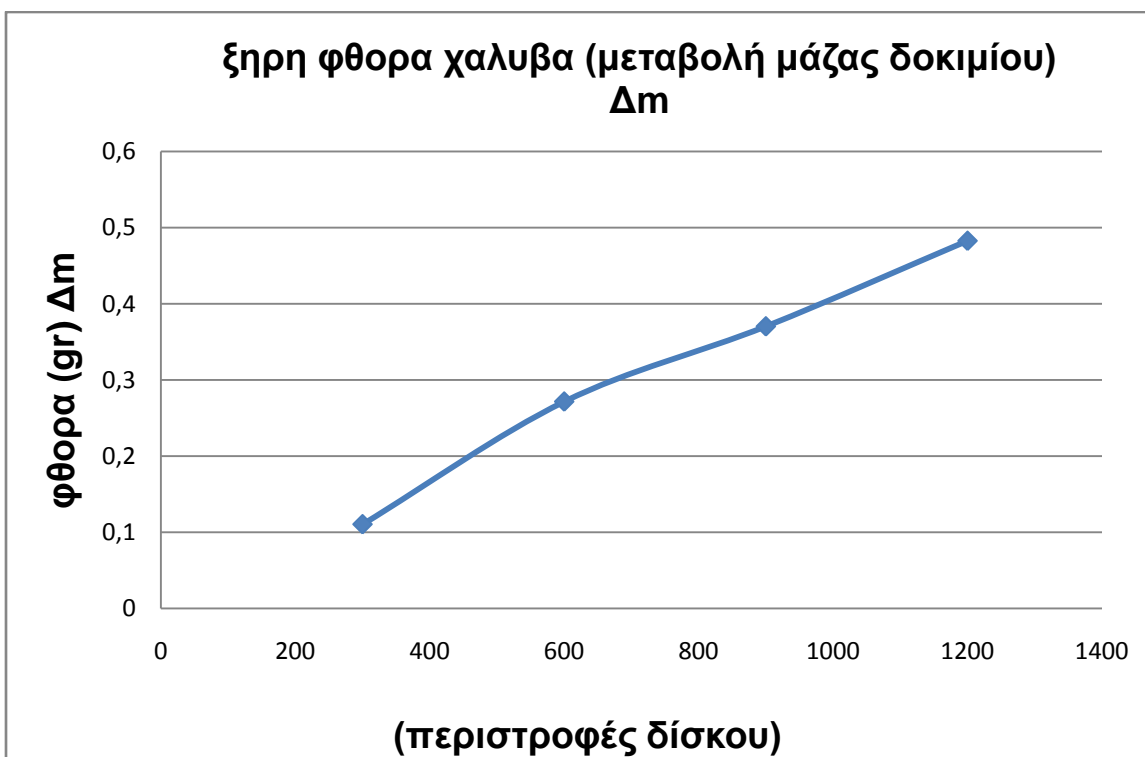
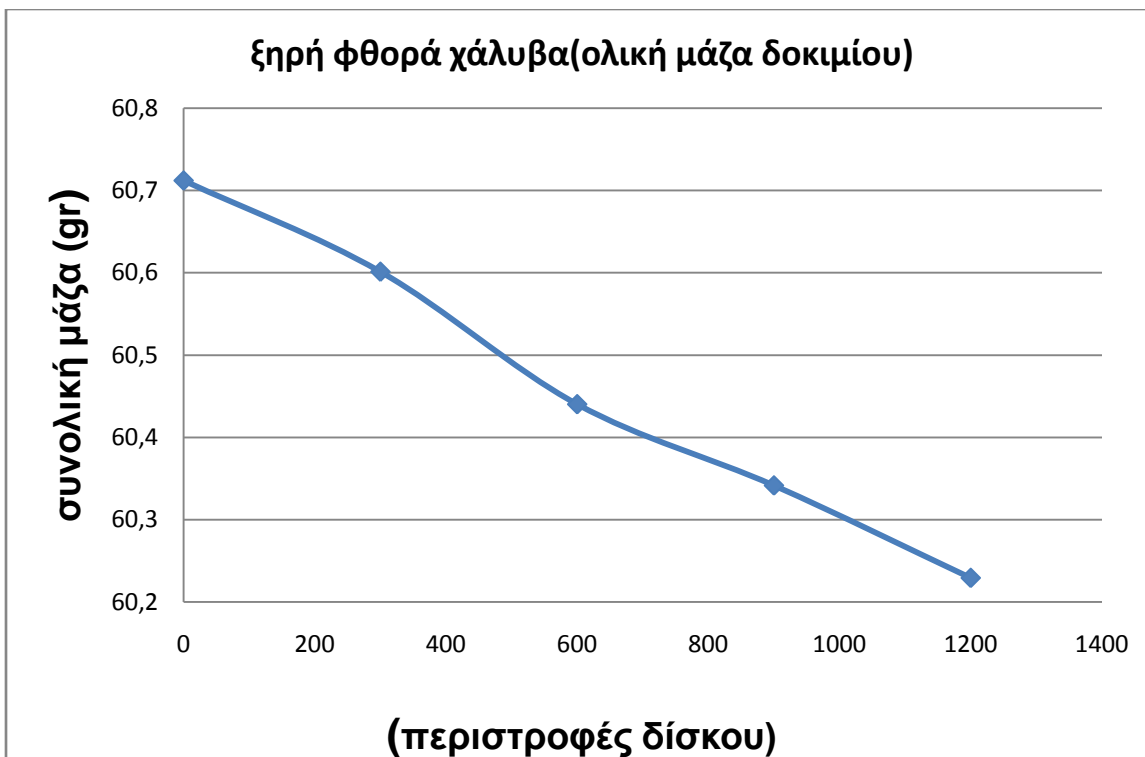


Εικ. 3.4.στ

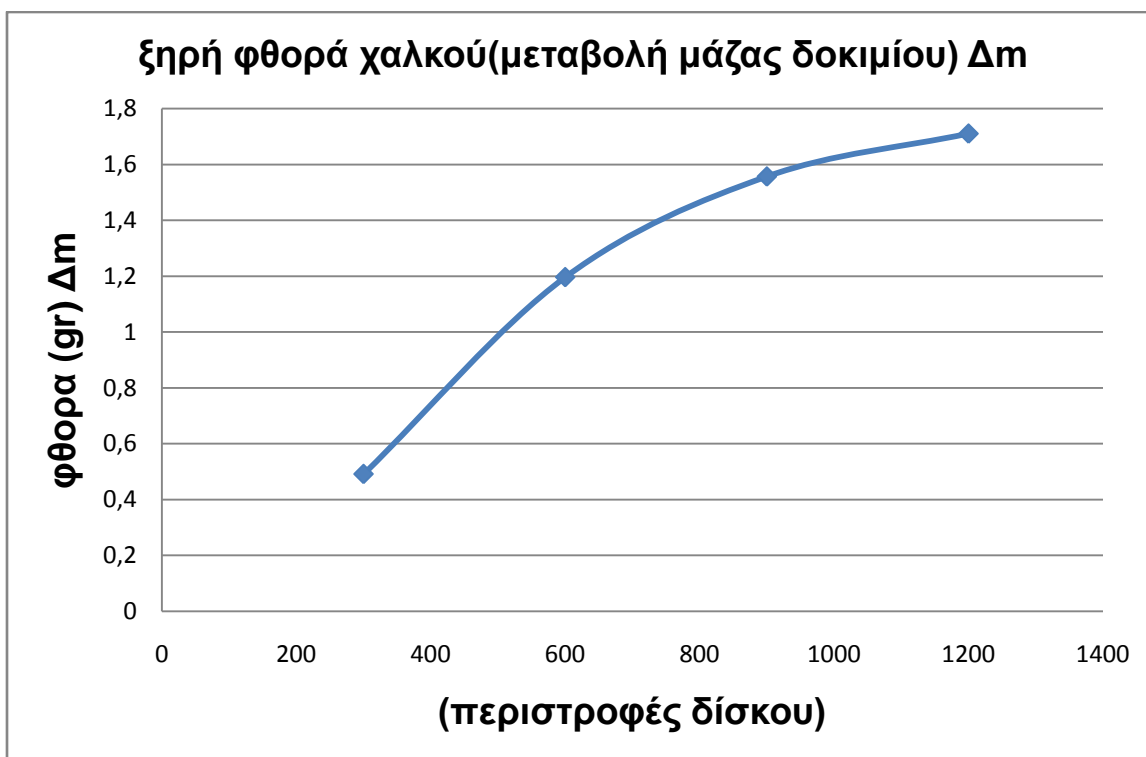
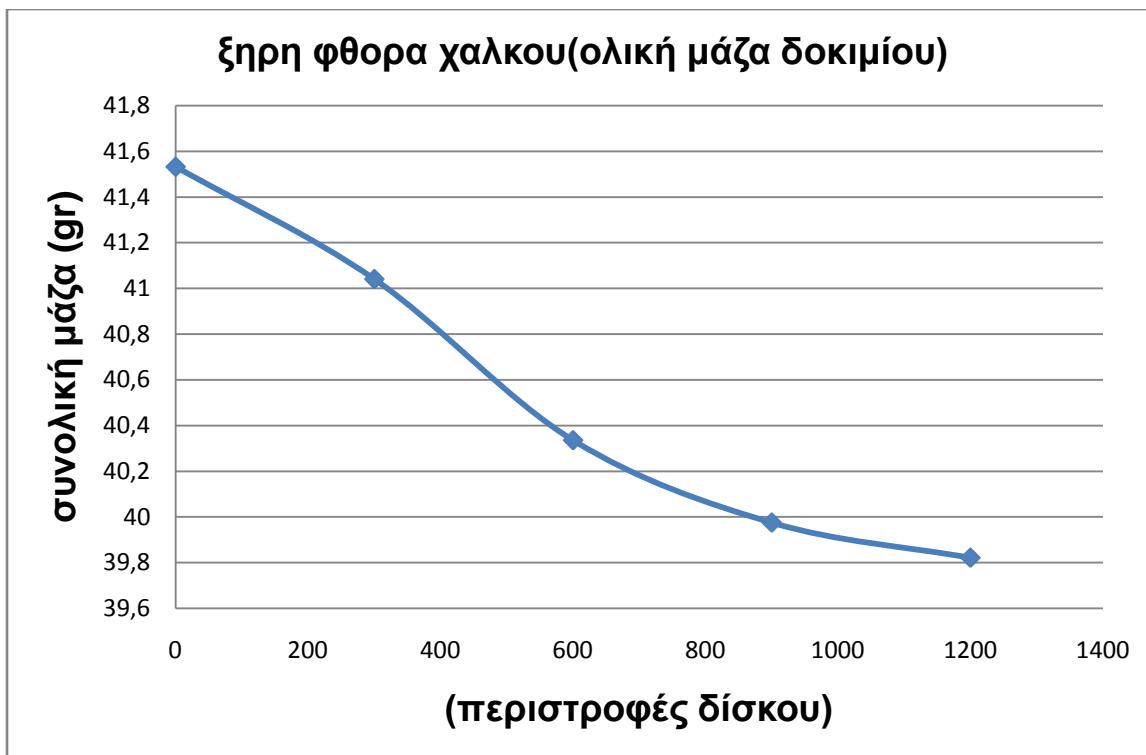
Εικ. 3.4 α έως στ: Οπτική εμφάνιση γυαλόχαρτων με πυκνότητα κόκκων 80, 120, 180, 240, 600 και 800 GRIT αντίστοιχα.

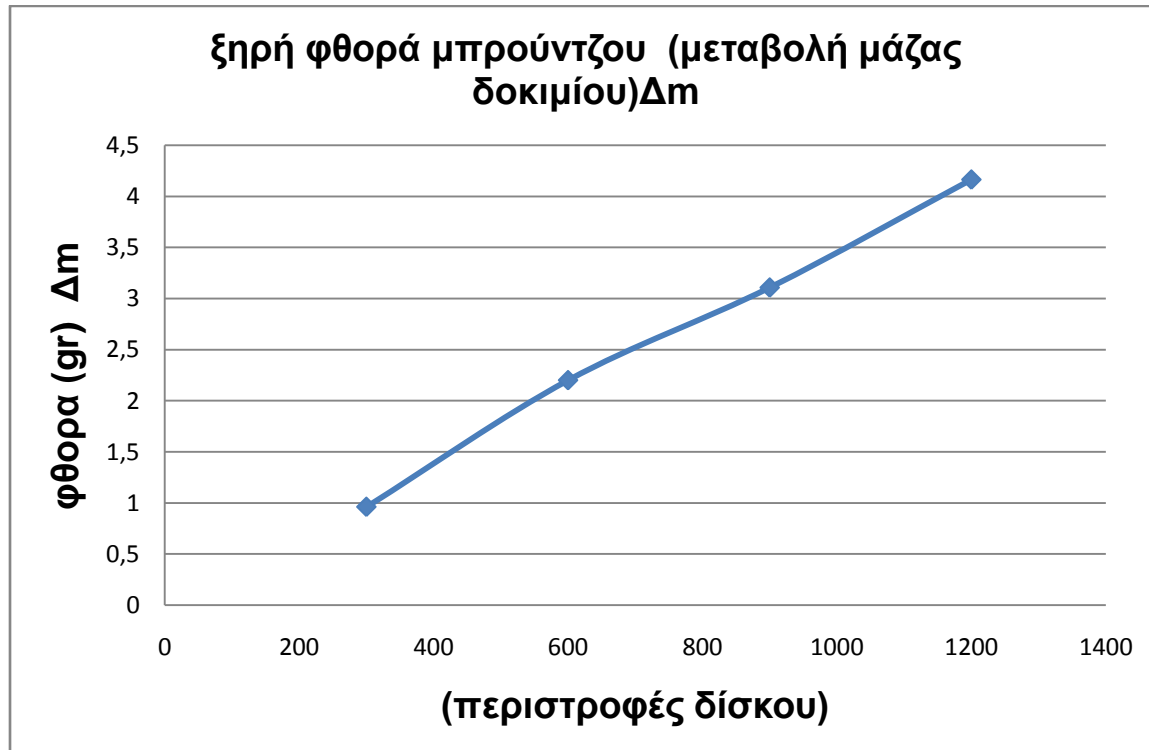
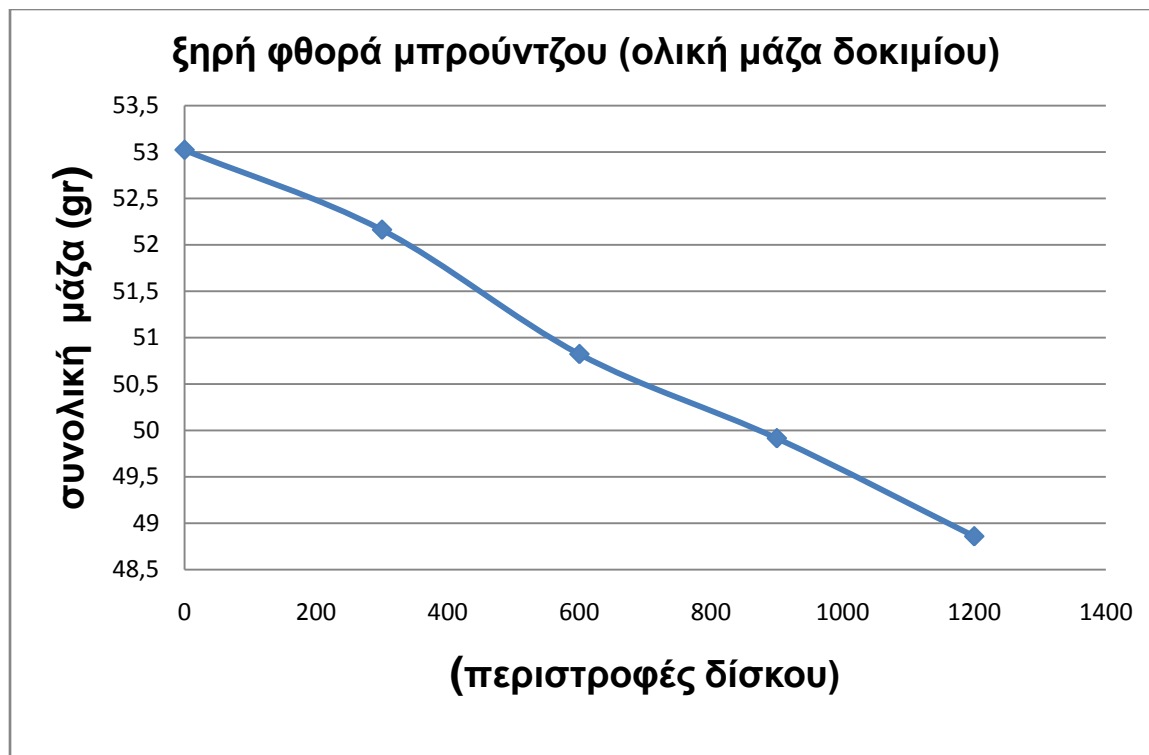
Οι μετρήσεις ξηρής φθοράς των υλικών που εξετάσθηκαν δίνονται στα παρακάτω διαγράμματα

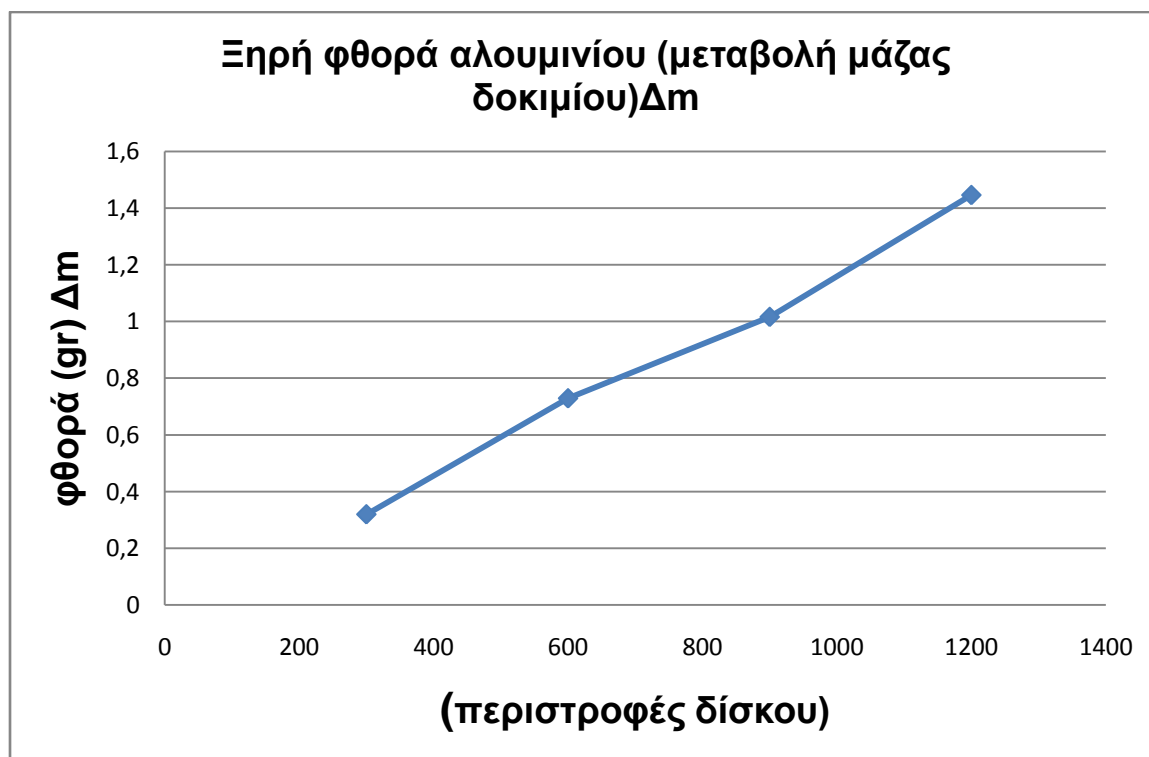
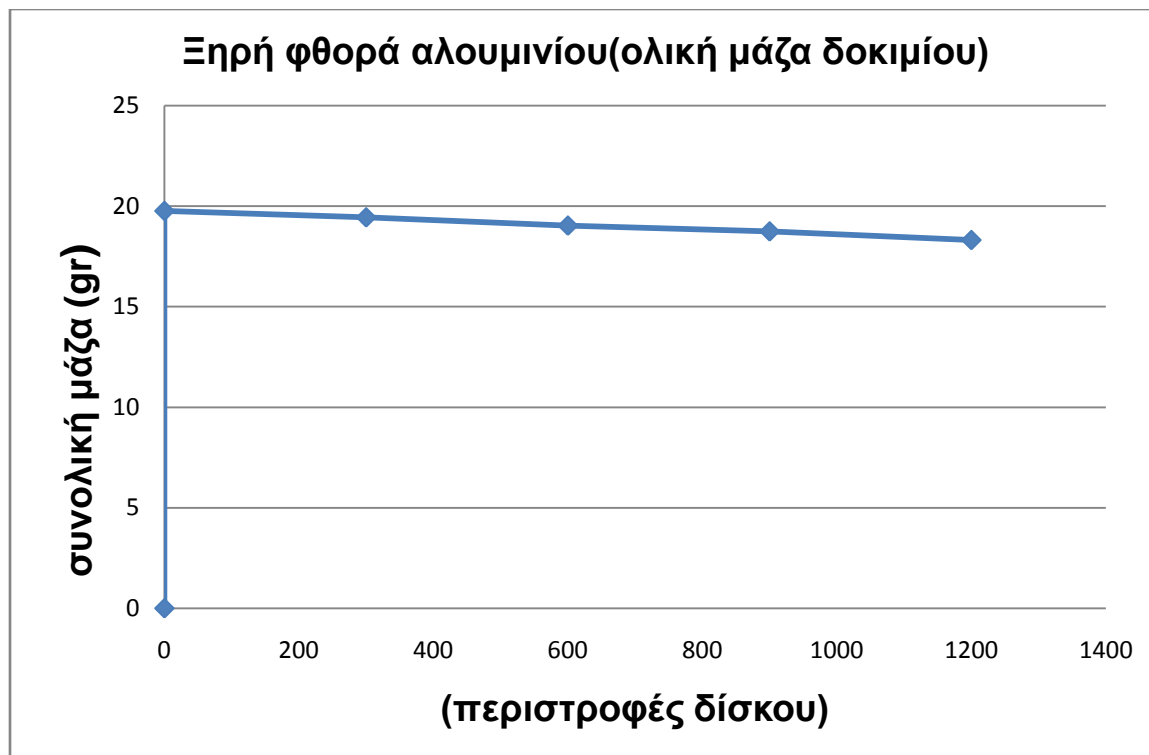












## Επομένως τα αποτελέσματα της ξηρής φθοράς συνοπτικά είναι:

υλικό	Φθορά στο τέλος του πειράματος		Πυκνότητα( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
	σε (gr)	σε $\text{cm}^3$	
Χαλκός	1,7	0,19	8,90
Αλουμίνιο	1,45	0,54	2,70
Μπρούντζος	4,15	0,49	8,40
Ορείχαλκος	3,45	0,41	8,40
Χάλυβας	0,49	0,062	7,85

Παρατηρούμε ότι στην ξηρή φθορά ο χάλυβας υπερέχει από τα άλλα υλικά που εξετάστηκαν. Όταν η φθορά του μετριέται σε απώλεια όγκου, είναι 3 φορές μικρότερη από εκείνην του χαλκού και 6,5 τουλάχιστον φορές μικρότερη από τη φθορά των άλλων εξεταζομένων υλικών

## 4. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

### 4.1 Εφαρμογή της διάβρωσης (χημικής προσβολής) στη μεταλλογραφία.

Η χημική προσβολή χρησιμοποιείται στην μεταλλογραφία, για την αποκάλυψη της μικροδομής ενός δοκίμιου και την παρατήρηση του στο οπτικό μικροσκόπιο. Το δοκίμιο, για να είναι κατάλληλο για χημική προσβολή, πρέπει να έχει μια προσεκτικά γυαλισμένη επίπεδη επιφάνεια, από υλικό ελεύθερο από τις αλλαγές που μπορεί να προκλήθηκαν από επιφανειακή παραμόρφωση, από ροή των υλικών ή από γρατσουινιές.

Παρ' ότι μερικές πληροφορίες μπορούν να συλλεχθούν από το γυαλισμένο δοκίμιο, η μικροδομή συνήθως αποκαλύπτεται (γίνεται ορατή) μόνο μετά από χημική προσβολή. Μόνο χαρακτηριστικά, τα οποία παρουσιάζουν διαφορά στην αντανακλαστικότητα τους 10% ή περισσότερο, είναι δυνατόν να είναι ορατά χωρίς χημική προσβολή. Αυτό ισχύει για μικροδομικά χαρακτηριστικά με μεγάλες χρωματικές διαφορές ή μεγάλες διαφορές στην σκληρότητα, οι οποίες προκαλούν τον σχηματισμό ανάγλυφης επιφάνειας. Ρωγμές, πόροι, οπές και μη μεταλλικά εγκλείσματα μπορούν επίσης να παρατηρηθούν χωρίς χημική προσβολή.

Ένα δοκίμιο το οποίο είναι μόνο γυαλισμένο, συχνά δεν αποκαλύπτει την μικροδομή του, διότι το φως αντανακλάται προς όλες τις κατευθύνσεις ομοιόμορφα. Το ανθρώπινο μάτι δεν μπορεί να ξεχωρίσει πολύ μικρές διαφορές στην αντανακλαστικότητα, οπότε πρέπει να δημιουργηθεί στην εικόνα αντίθεση (contrast). Παρ' ότι αυτή η τεχνική είναι γνωστή ως χημική προσβολή (etching), δεν αναφέρεται πάντα στην επιλεκτική χημική διαλυτοποίηση των

διαφόρων δομικών χαρακτηριστικών. Οι μεταλλογραφικές μέθοδοι για δημιουργία οπτικής αντίθεσης συμπεριλαμβάνουν χημικές αλλά και ηλεκτροχημικές τεχνικές προσβολής.

Η χημική προσβολή των δοκιμίων είναι μία απλή διαδικασία. Τα αποτελέσματα της χρήσης απλών, γνωστών διαλυμάτων σε συνηθισμένα μέταλλα είναι συνήθως προβλέψιμα και μπορούν να αναπαραχθούν, έστω και με μικρές αλλαγές στην σύσταση, τον χρόνο ή την θερμοκρασία.

Όταν κάποιο ασυνήθιστο κράμα ή μέταλλο πρόκειται να υποστεί προσβολή, πρέπει πρώτα να επιλεγεί το κατάλληλο αντιδραστήριο. Στη βιβλιογραφία είναι διαθέσιμη μεγάλη ποικιλία αντιδραστηρίων συμπεριλαμβανομένου οξέων, βάσεων, μιγμάτων διαλυμάτων, λιωμένα άλατα και αέρια. Οι περισσότερες φόρμουλες (δηλ. συνταγές) αντιδραστηρίων έχουν προκύψει εμπειρικά. Επειδή η σύσταση και ο τρόπος χρήσης τους μπορεί να τροποποιηθεί πολύ εύκολα, είναι χρήσιμα και για υλικά άλλα εκτός από αυτά για τα οποία προτείνονται. Ο ρυθμός προσβολής καθορίζεται κυρίως από τον βαθμό διαχωρισμού του αντιδραστηρίου και την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Και τα δύο συχνά επηρεάζονται από μικρές προσθήκες από άλλα χημικά. Αυτό μπορεί να εξηγήσει γιατί πολλές φόρμουλες περιέχουν μικρές ποσότητες από ουσίες των οποίων η σημασία δεν γίνεται αμέσως εμφανής. Η σταθερότητα πολλών διαλυμάτων προσβολής είναι περιορισμένη. Τα δυναμικά οξειδωσης –αναγωγής ποικίλουν με τον χρόνο.

Τα χημικά αντιδραστήρια συνήθως παρασκευάζονται σε μικρές ποσότητες, γενικά 50 -200mL, και τοποθετούνται σε ρηχά δοχεία. Συνήθως εμβαπτίζεται το δοκίμιο μέσα στο διάλυμα. Το δοκίμιο συγκρατείται πάντοτε με λαβίδες, ποτέ με τα χέρια, και ανακινείται ελαφρά, έτσι ώστε τα προϊόντα της αντίδρασης να μην επικαθίσουν πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου.

Οι χρόνοι προσβολής ποικίλουν από μερικά δευτερόλεπτα έως μερικές ώρες. Όταν δεν δίνονται οδηγίες, η πρόοδος κρίνεται από την εμφάνιση της επιφάνειας κατά την διάρκεια της προσβολής. Η επιφάνεια θα γίνει, συνήθως, λιγότερο αντανάκλαστική (πιο θολή) καθώς η προσβολή προχωράει.

Η θερμοκρασία προσβολής και ο χρόνος προσβολής είναι πολύ στενά συνδεδεμένα. Η αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως επιτρέπει μείωση του χρόνου προσβολής. Ωστόσο, αυτό μπορεί να μην είναι συνετό, επειδή η αντίθεση μπορεί να μην είναι ομαλή όταν ο ρυθμός προσβολής γίνεται πολύ γρήγορος. Τις περισσότερες φορές η προσβολή γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Οι πηγές σφαλμάτων στη διαδικασία χημικής προσβολής είναι πολλές, ειδικά στην ηλεκτροχημική προσβολή. Τα σφάλματα στην προσβολή μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένη ερμηνεία της μικροδομής. Για παράδειγμα, ιζήματα από τα διαλύματα προσβολής και πλυσίματος μπορεί να μεταφραστούν ως μια επιπλέον φάση.

Με το τέλος της χημικής ή ηλεκτροχημικής προσβολής, το δοκίμιο πρέπει να ξεπλένεται σε καθαρό νερό έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα χημικά και να σταματήσει η αντίδραση. Στη συνέχεια ξεπλένεται με οινόπνευμα και στεγνώνεται σε ρεύμα θερμού αέρα. Το οινόπνευμα επιταχύνει το στέγνωμα και εμποδίζει την δημιουργία λεκέδων από το νερό.

Όταν τα γυαλισμένα και χημικά προσβεβλημένα δοκίμια πρόκειται να διατηρηθούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα, πρέπει να προστατευθούν από την ατμοσφαιρική διάβρωση. Οι συσκευές αποξήρανσης είναι ο πιο προσιτός τρόπος αποθήκευσης των δοκιμίων, παρότι μερικές φορές χρησιμοποιούνται πλαστική επίστρωση ή ταινία σελοφάν

## **4.2 Πειραματική διαδικασία για τη μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης**

Για τη μέτρηση της ταχύτητας διάβρωσης, χρησιμοποιήθηκε για κάθε ένα από τα εξεταζόμενα μεταλλικά υλικά κάποιο χημικό αντιδραστήριο που συνήθως χρησιμοποιείται για τη μεταλλογραφική παρατήρηση του συγκεκριμένου υλικού.



Για τη μέτρηση, λοιπόν, τοποθετήσαμε τους кубους των διαφορών υλικών μας σε ποτηράκια τα οποία περιείχαν 80ml του κατάλληλου κάθε φορά χημικού διαλύματος. Στόχος αυτού του πειράματος ήταν να καταγραφούμε τη συμπεριφορά του υλικού σε σχέση με το διάλυμα και την καθημερινή μείωση του βάρους του σε γραμμάρια.

Τα διαλύματα, για το κάθε ένα από τα υλικά μας ξεχωριστά, ήταν:

- Για αλουμίνιο: Μίγμα 5mL HCL, 10mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 85mL H<sub>2</sub>O
- Για ορειχαλκο: Μίγμα 50mL H<sub>2</sub>O, 50mL HNO<sub>3</sub>,
- Για στρογγυλό αλουμίνιο: Μίγμα 8mL HNO<sub>3</sub>, 45mL H<sub>2</sub>O, 45mL CH<sub>3</sub>OH
- Για αλουμινίουχο μπρουντζο: Μίγμα 20mL FELL3, 5mL HCL, 100mL H<sub>2</sub>O
- Για μπρουντζο: Μίγμα 50mL H<sub>2</sub>O, 50mL HNO<sub>3</sub>
- Για χάλυβα: Μίγμα 1,25mL HNO<sub>3</sub>, 98,75mL C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH (Nital 1,25%)

Οι φωτογραφίες που ακολουθούν στις επόμενες σελίδες, δίνουν μία ιδέα της πειραματικής διαδικασίας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων (δηλ. η απώλεια μάζας του υλικού συναρτήσει του χρόνου) δίνονται στις σελ. 43 - 52



Εικ. 4.1 Περιέκτης του αντιδραστηρίου που χρησιμοποιήθηκε για το αλουμίνιο (αριστερά) και του αντιδραστηρίου Nital, κατάλληλου για σιδηρούχα υλικά, που χρησιμοποιήθηκε για τον χάλυβα (δέξια)

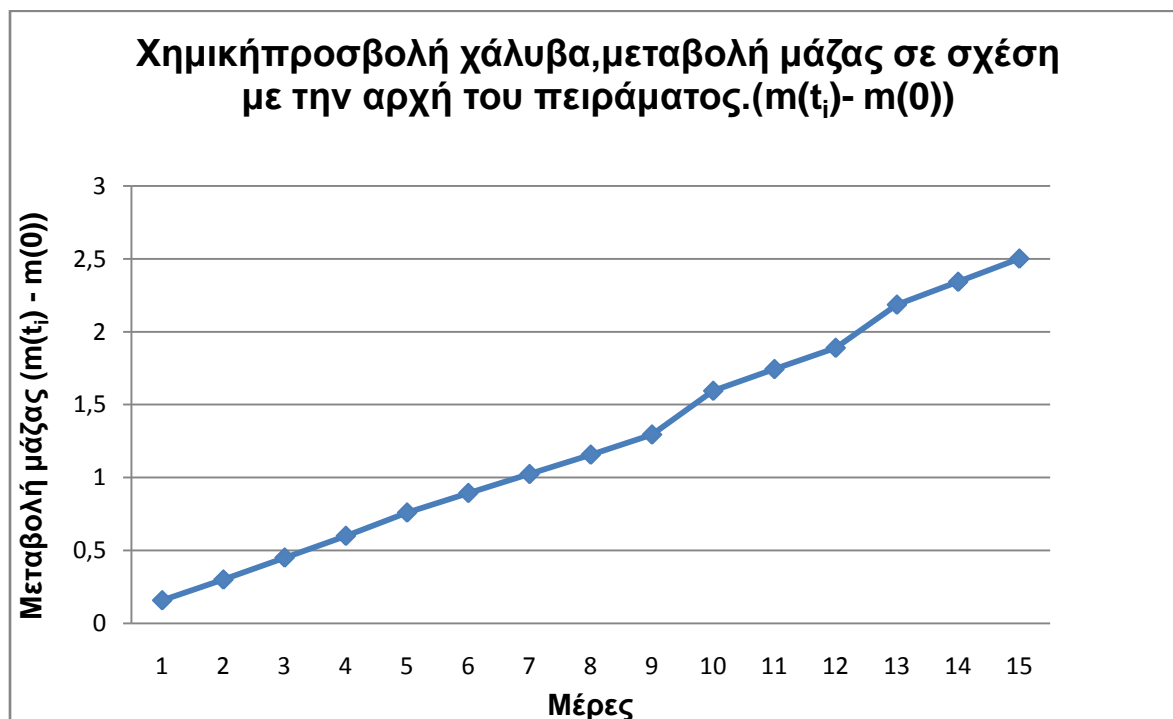
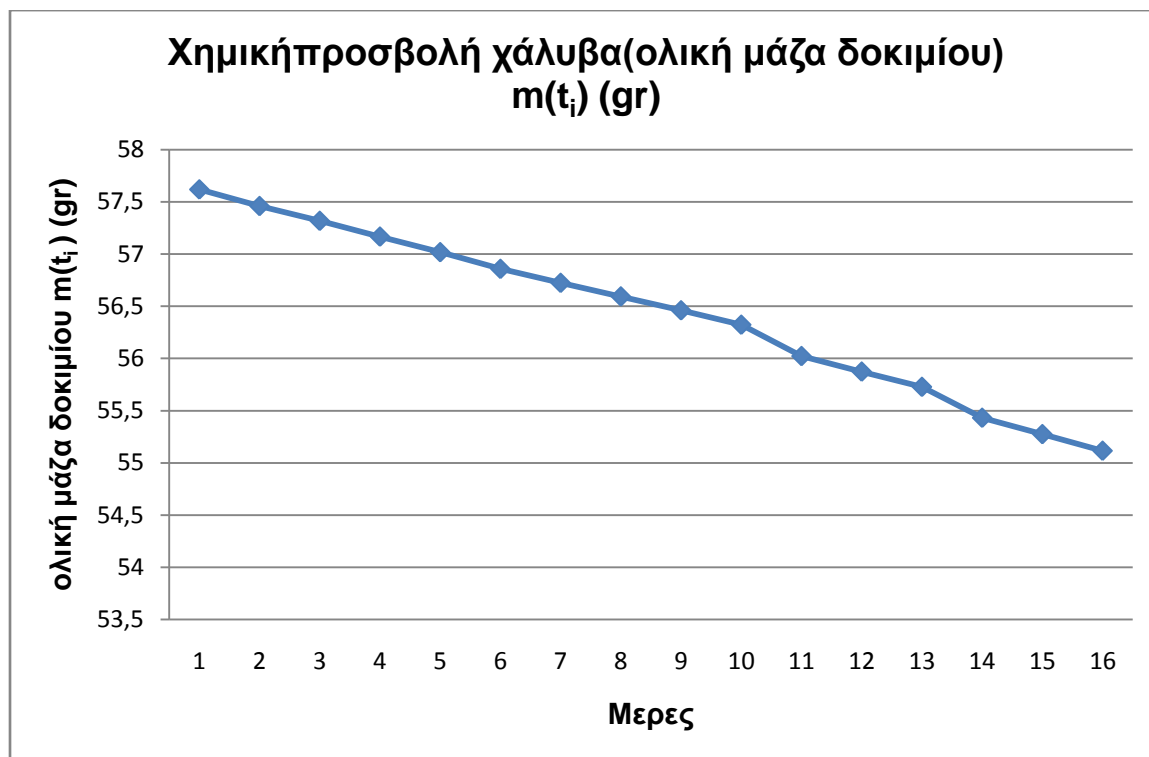


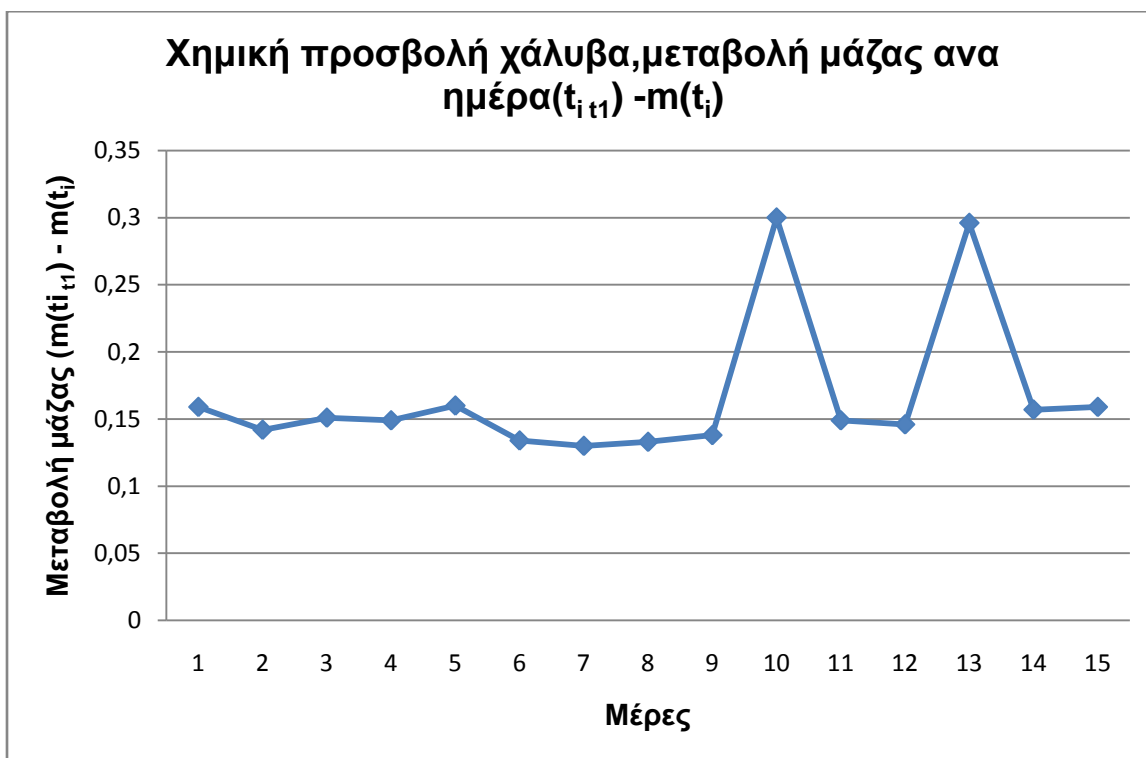
Εικ. 4.2 Παραγωγή φυσαλίδων αμέσως μετά την τοποθέτηση δοκιμίου από ορείχαλκο σε νιτρικό οξύ 50% (δεξιό δοχείο) και δοκίμιο αλουμινίου εμβαπτισμένο στο αντίστοιχο αντιδραστήριο (αριστερό δοχείο)



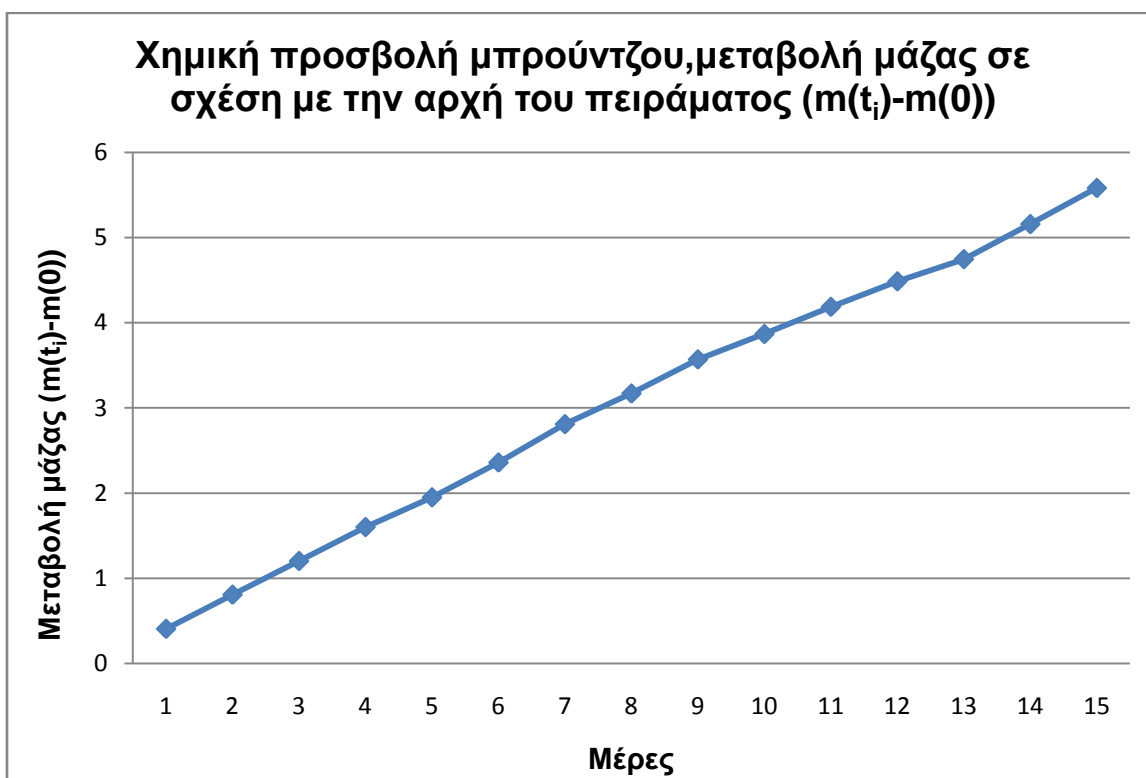
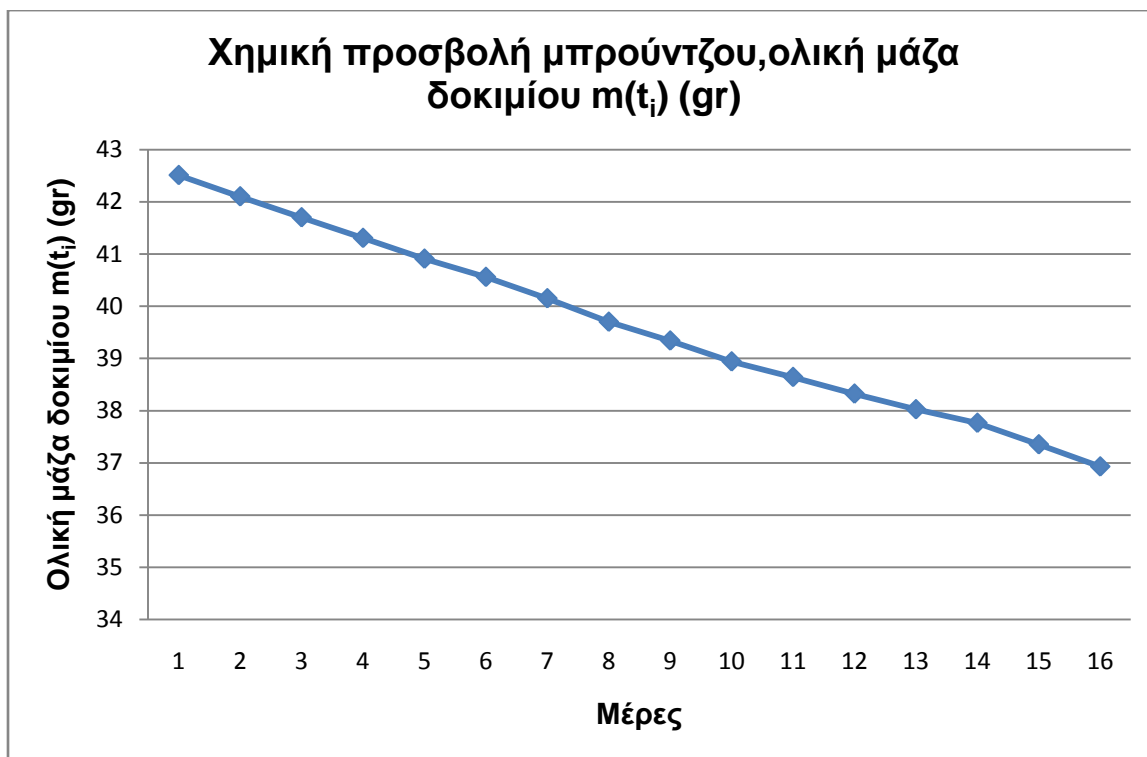
Εικ. 4.3 Παραγωγή φυσαλίδων από δοκίμιο χαλκού σε νιτρικό οξύ 50%

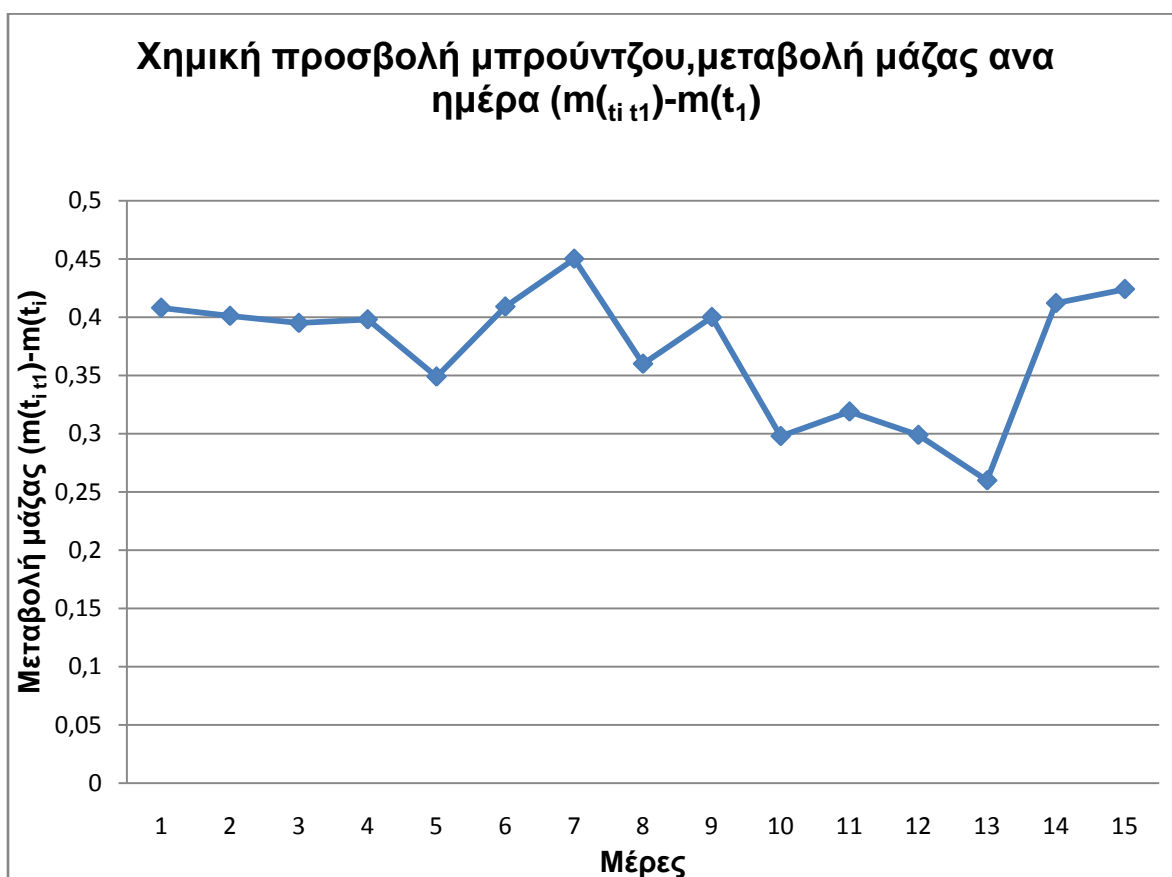
## 1)Χάλυβας





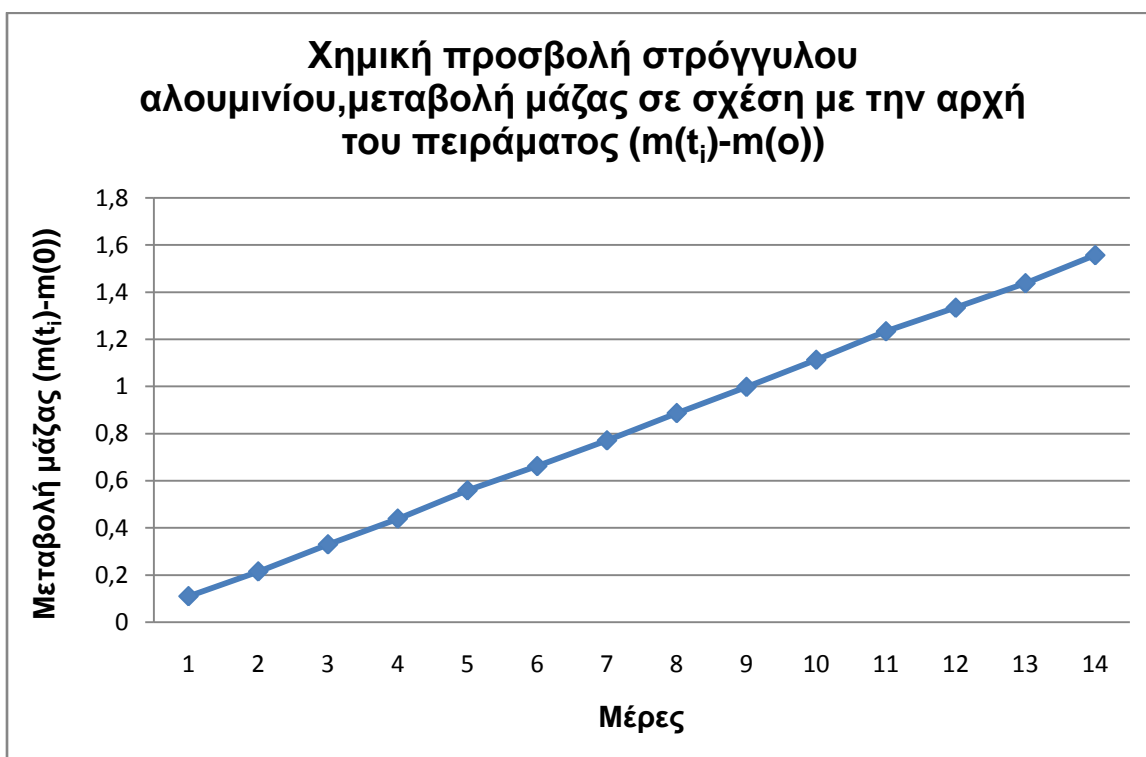
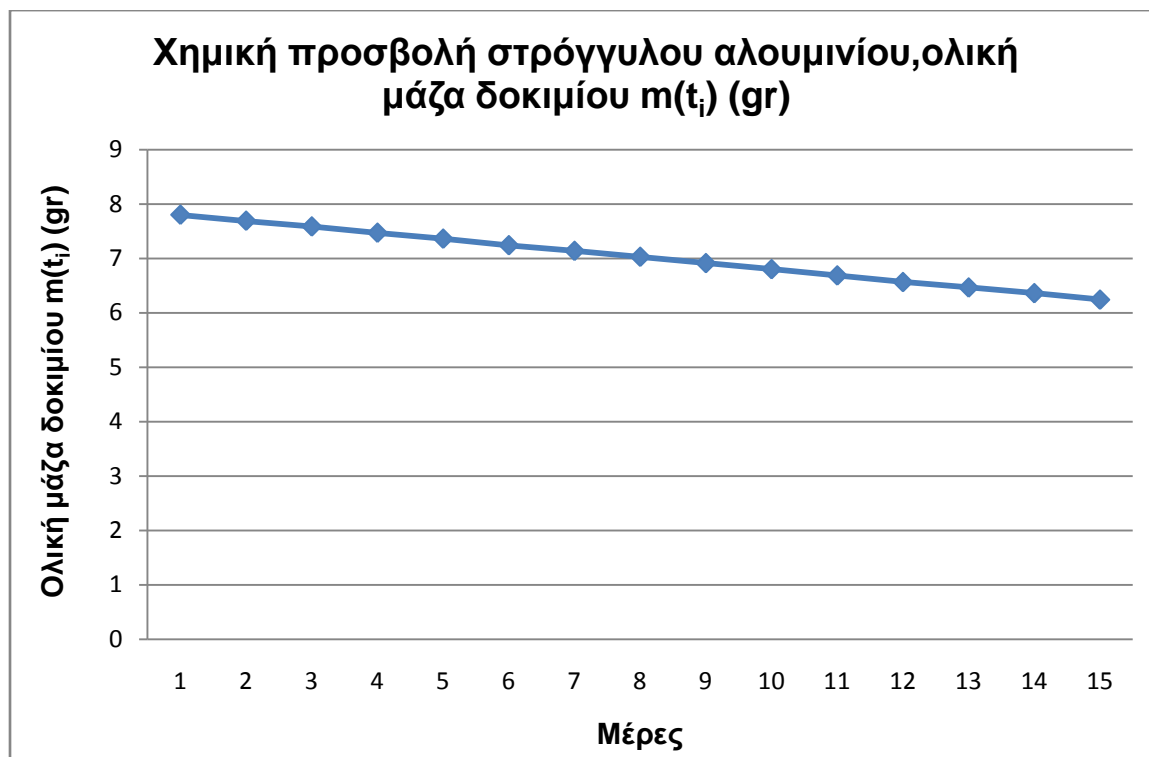
## 2)Μπρούντζος

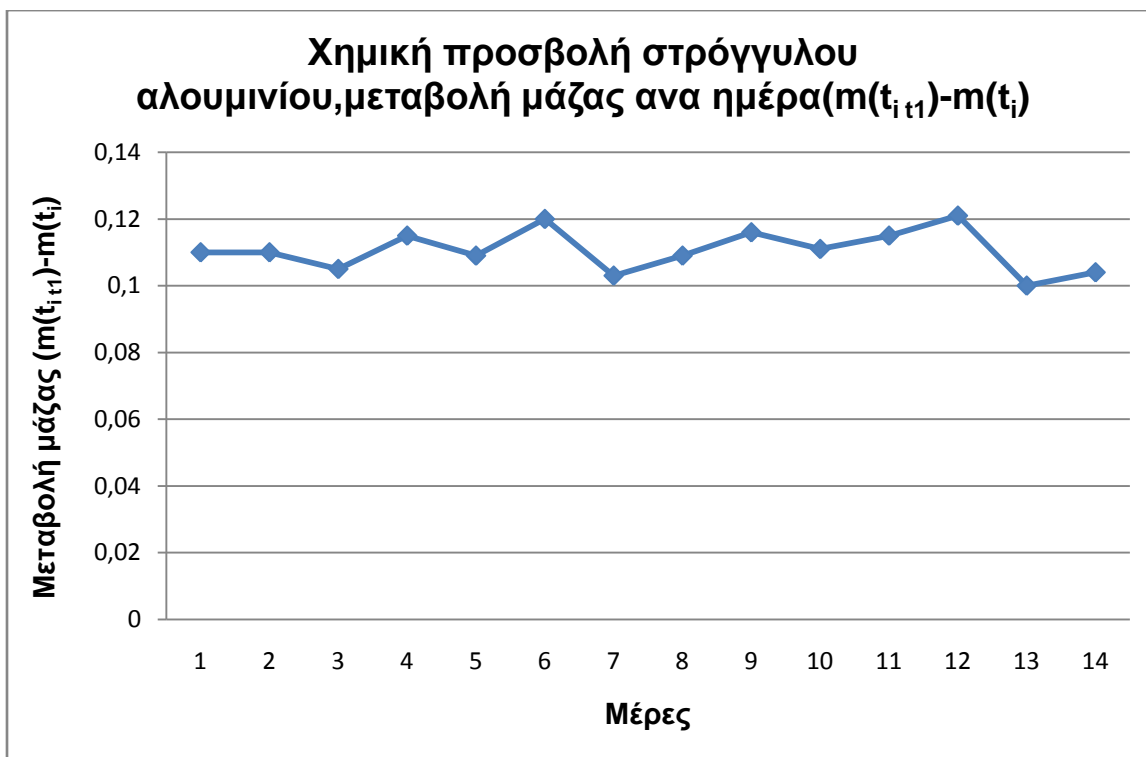




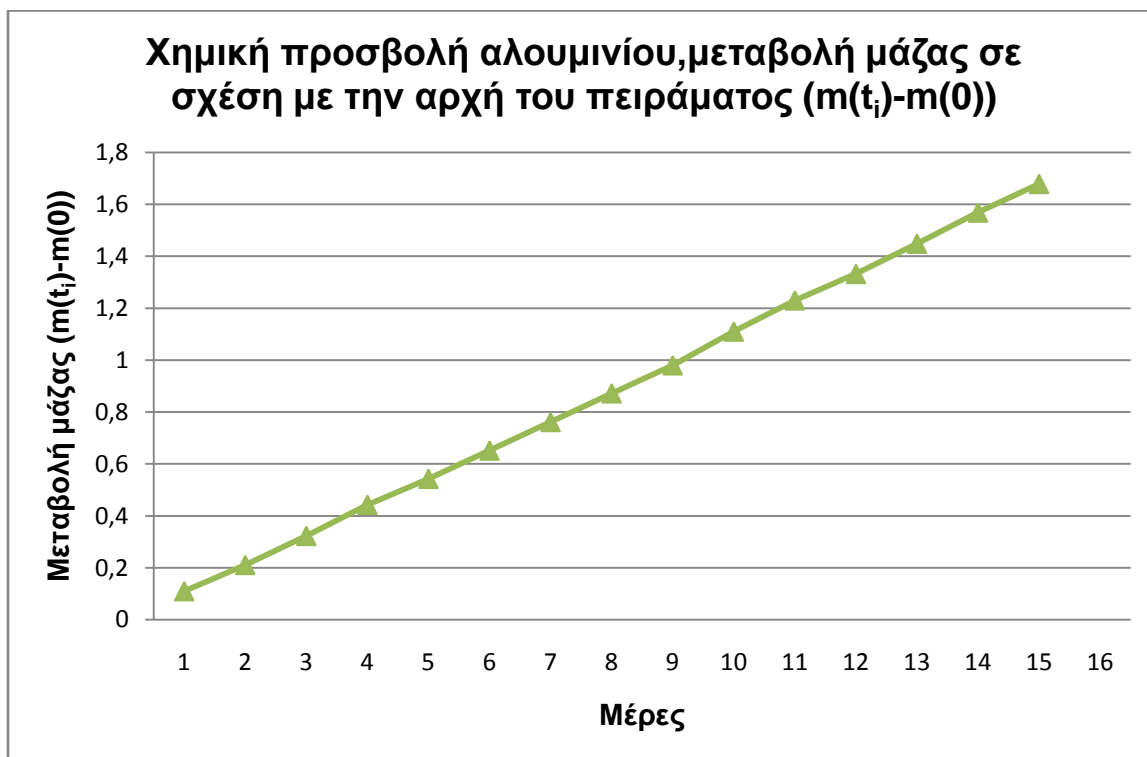
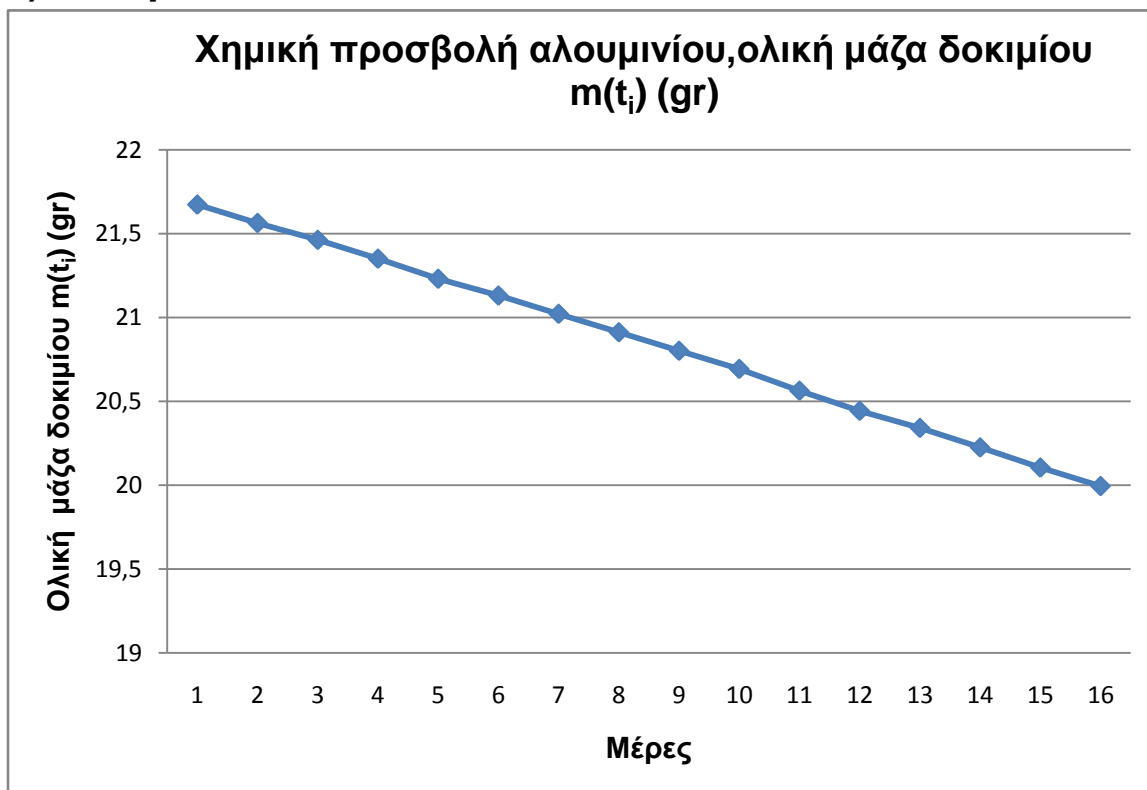


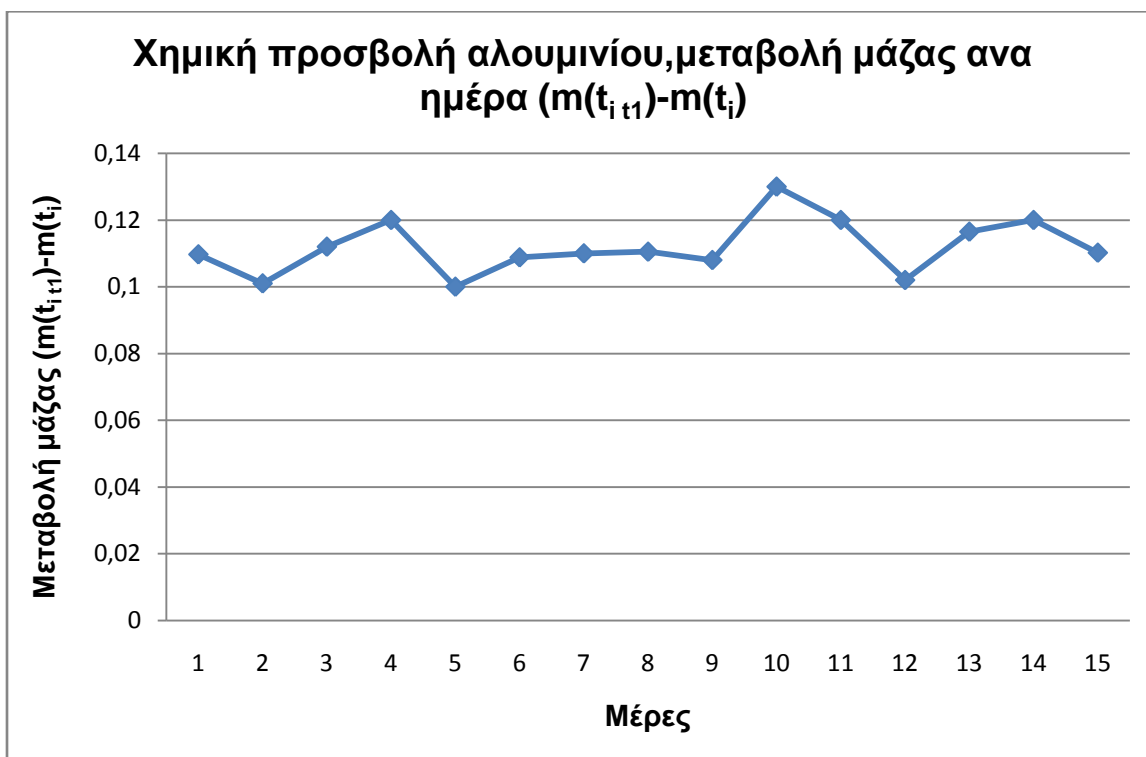
### 3) Στρόγγυλο αλουμίνιο



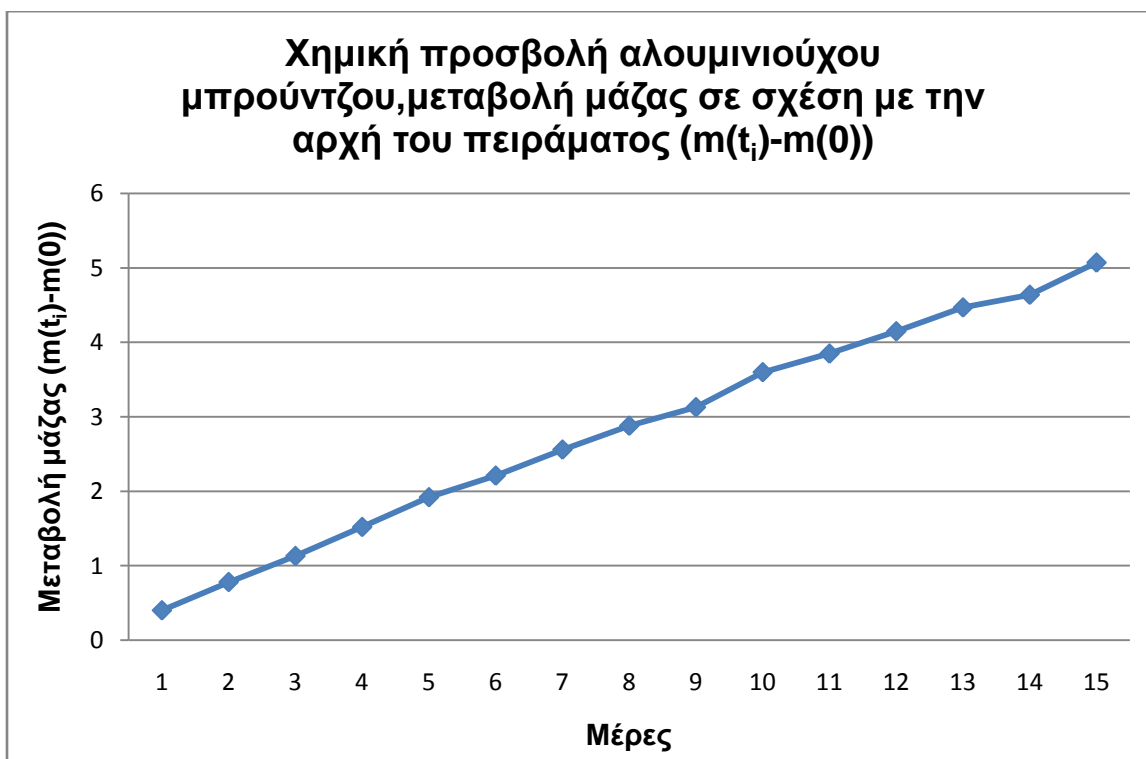
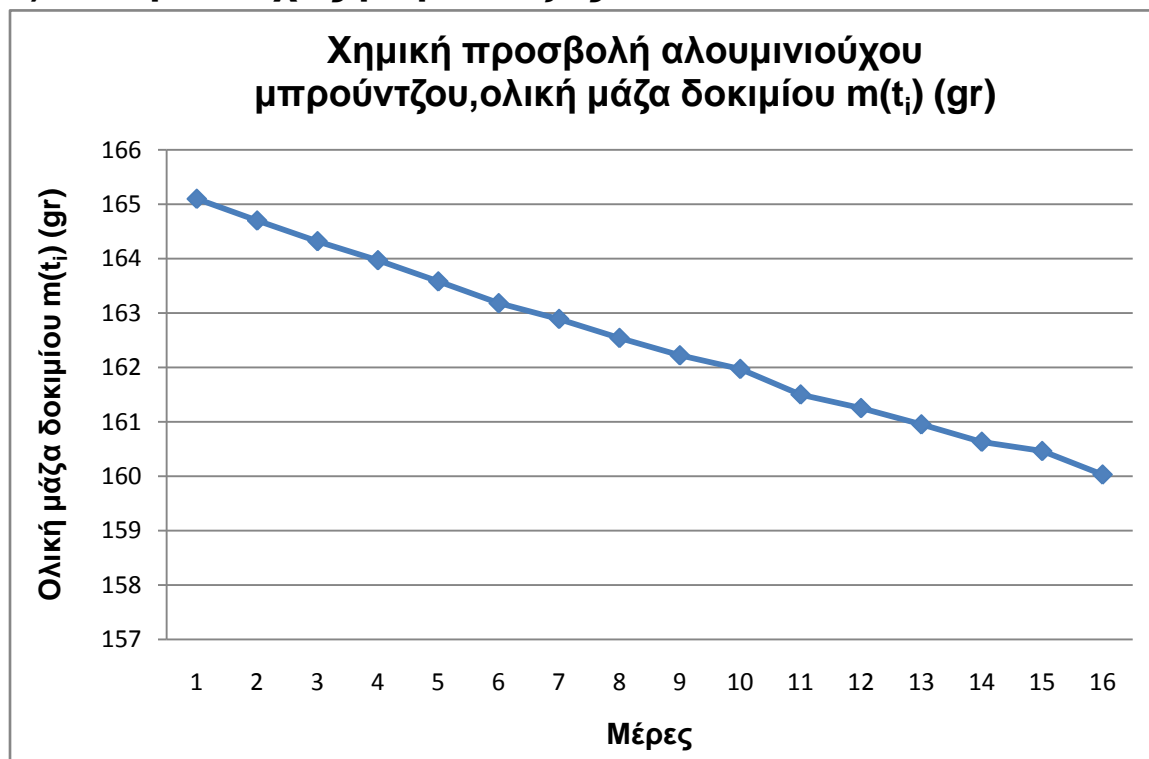


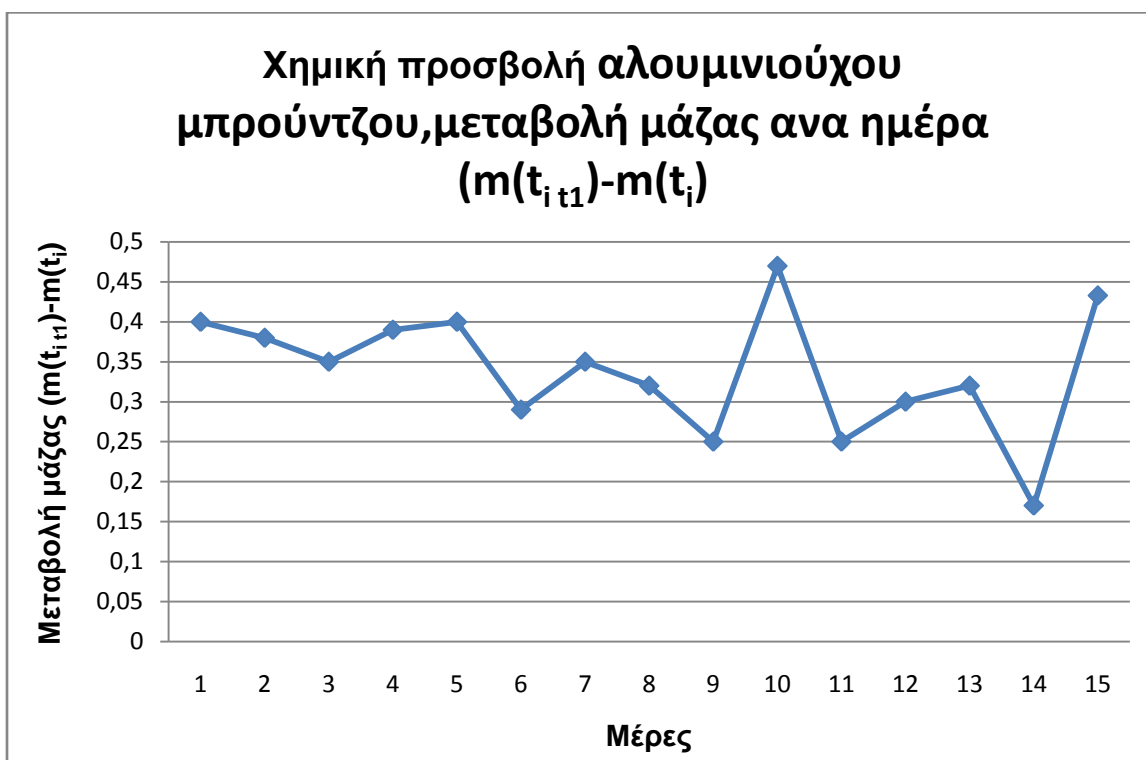
#### 4) Αλουμίνιο





## 5) Αλουμινούχος μπρούντζος





## Επομένως τα αποτελέσματα της μέτρησης της ταχύτητας διάβρωσης είναι:

υλικό	Ποσότητα που διαλύεται κάθε μέρα		Πυκνότητα( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
	σε (gr)	σε $\text{cm}^3$	
Αλουμίνιο	0,11	0,041	2,70
Στρόγγυλο αλουμίνιο	0,11	0,041	2,70
Μπρούντζος	0,36	0,043	8,40
Αλουμινιούχος μπρούντζος	0,32	0,039	8,20
Χάλυβας	0,15	0,019	7,85

Οι παραπάνω ταχύτητες διάβρωσης εξαρτώνται από τον συνδυασμό του εξεταζόμενου υλικού και του χημικού αντιδραστήριου στο οποίο το εμβαπτίζουμε. Η μικρή ταχύτητα διάβρωσης του χάλυβα πρέπει να αποδοθεί στο ότι εμβαπτίζεται σε αντιδραστήριο μικρής δραστηκότητας. (1,25%  $\text{HNO}_3$  σε αλκοόλη)

## 5. ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

### 5.1. Γενικά για τη σκληρομέτρηση

Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων και τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη, τον έλεγχο και την ανάλυση των υλικών περιλαμβάνονται και μέθοδοι προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, όπου μεταξύ άλλων μελετώνται:

- Η αντοχή σε εφελκυσμό, που δείχνει τη μέγιστη τάση που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα υλικό χωρίς να προκαλέσει τη θραύση του
- Η σκληρότητα, που αποτελεί μέτρο της ικανότητας πλαστικής παραμόρφωσης ενός υλικού
- Η δυσθραυστότητα, που δείχνει το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για τη θραύση ενός δοκιμίου με τη βοήθεια ενός κρουστικού φορτίου και αποτελεί μέτρο της αντίστασης ενός υλικού σε θραύση
- Η αντοχή σε ερπυσμό, που δείχνει τη συμπεριφορά ενός υλικού σε υψηλές θερμοκρασίες υπό φόρτιση
- Η αντοχή σε κόπωση, που δείχνει τη μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που μπορεί να εφαρμόζεται σε ένα υλικό που υφίσταται επαναλαμβανόμενες καταπονήσεις χωρίς να σπάσει



Η σκληρότητα είναι ένα μέτρο της αντίστασης του υλικού στην προσπάθεια τοπικής πλαστικής παραμόρφωσης της επιφάνειάς του. Για τα μεταλλικά υλικά η σκληρότητα εξαρτάται από τη φύση του μετάλλου, τη κρυσταλλική του δομή και τις τεχνικές κατασκευής και κατεργασίας του. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ελέγχου της σκληρότητας των υλικών, όπως η σκληρότητα σε εγχάραξη και η σκληρότητα σε διείσδυση

Οι μέθοδοι μέτρησης της σκληρότητας σε διείσδυση είναι αυτές που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο και στηρίζονται στη μέτρηση τη

αντίστασης που προβάλλει το υλικό στη διείσδυση ενός σκληρού, μικρών διαστάσεων εξαρτήματος (διεισδυτή), το οποίο πιέζεται με κατάλληλη δύναμη κάθετα στην επιφάνεια του υλικού. Η σκληρότητα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η διείσδυση του διεισδυτή. Για τη μέτρηση της σκληρότητας σε διείσδυση χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι που διαφέρουν ως προς το υλικό και το σχήμα του διεισδυτή, τα επιβαλλόμενα φορτία και τα μετρούμενα μεγέθη. Οι κυριώτερες από αυτές είναι οι μέθοδοι Rockwell και Vickers οι οποίες θα περιγραφούν αναλυτικά στη συνέχεια.

Οι τιμές της σκληρότητας χρησιμοποιούνται σαν κριτήριο για την σύγκριση υλικών μεταξύ τους, το σχεδιασμό και τον έλεγχο μηχανικών και θερμικών κατεργασιών τους καθώς και τον έλεγχο ποιότητας επιφανειακών κατεργασιών.

Η δοκιμασία της σκληρότητας είναι μια απλή, γρήγορη, σχετικά εύκολη και μικρού κόστους μέθοδος ελέγχου ποιότητας. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι από τις τιμές της σκληρότητας είναι δυνατόν να προσδιοριστούν με ικανοποιητική ακρίβεια άλλες μηχανικές ιδιότητες του υλικού, όπως η αντοχή σε εφελκυσμό (στ) και η αντοχή σε φθορά, οι δοκιμές των οποίων είναι πιο δύσκολες και πολύπλοκες. Όμως η σχέση μεταξύ των μηχανικών αυτών ιδιοτήτων διαφέρει από υλικό σε υλικό. Πάντως για ορισμένα κράματα έχουν βρεθεί προσεγγιστικές σχέσεις οι οποίες επιτρέπουν την εκτίμηση της μέγιστης αντοχής τους σε εφελκυσμό από τις τιμές της σκληρότητας με ακρίβεια 5-10%.

## 5.2 Σκληρομέτρηση με τη μέθοδο Vickers

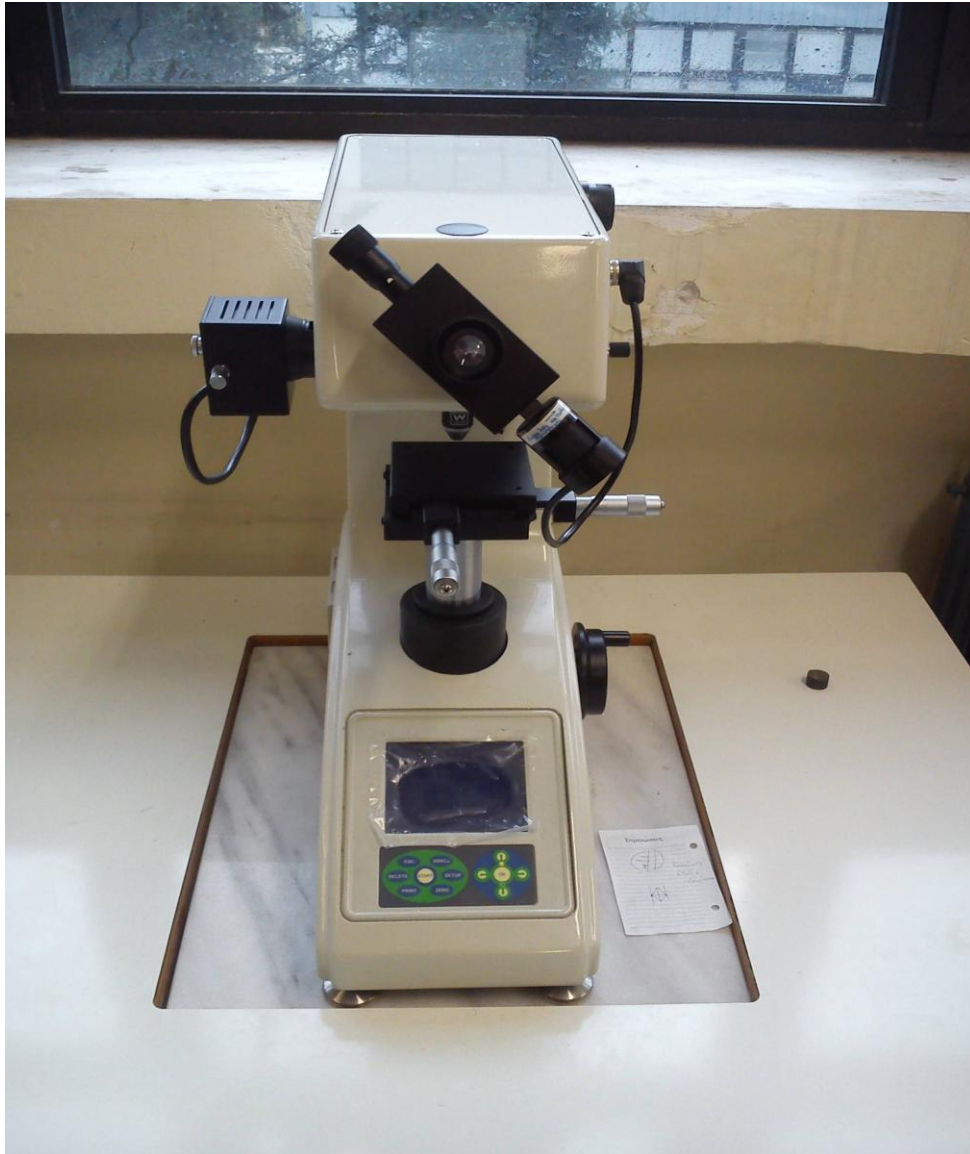
Στη μέθοδο αυτή ο διεισδυτής είναι από διαμάντι, σχήματος τετραγωνικής πυραμίδας, με γωνία κορυφής 136ο. Η μέθοδος Vickers είναι παρεμφερής της μεθόδου Brinell αφού ο διεισδυτής πιέζεται με ορισμένη δύναμη πάνω στην επιφάνεια που σκληρομετρείται, κατόπιν το φορτίο απομακρύνεται και μετρώνται οι δύο διαγώνιες του τετραγωνικού αποτυπώματος ( $\delta_1$  και  $\delta_2$ , σχήμα 2). Το φορτίο κυμαίνεται από 1 μέχρι 120 kgf ενώ η ταχύτητα εφαρμογής του ρυθμίζεται και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 0, 3mm/s. Το φορτίο διατηρείται σταθερό επί 15 ή 30s. Τα τυποποιημένα σκληρόμετρα Vickers έχουν σύστημα αυτόματης επιβολής και απελευθέρωσης του φορτίου. Η σκληρότητα υπολογίζεται από το λόγο του εφαρμοζόμενου φορτίου προς την επιφάνεια του αποτυπώματος από τη σχέση:

$$2F/\delta_1, 854F/AHV==$$

$$\text{όπου } \delta=(\delta_1+\delta_2)/2$$

Επειδή το λαμβανόμενο αποτύπωμα είναι μικρό και απαιτείται η μέτρηση των διαστάσεών του, η επιφάνεια του δοκιμίου πριν από τη μέτρηση πρέπει να λειαίνεται πολύ καλά.

Η μέθοδος Vickers χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις πολύ σκληρών και λεπτών δοκιμίων καθώς και δοκιμίων τα οποία έχουν υποστεί επιφανειακές κατεργασίες σκλήρυνσης. Επίσης είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό της σκληρότητας διαφορετικών μικροσυστατικών ενός υλικού. Τέτοιες μετρήσεις είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό της διαφοροποίησης των μηχανικών ιδιοτήτων μεταξύ διαφόρων περιοχών του εξεταζόμενου υλικού. Στις περιπτώσεις αυτές επειδή οι μετρήσεις γίνονται σε πολύ μικρές επιφάνειες (πχ. στο εσωτερικό μιας φάσης ή στο στρώμα μιας επιμετάλλωσης) χρησιμοποιούνται μικροσκληρόμετρα Vickers τα οποία χρησιμοποιούν φορτία από μερικά έως μερικές δεκάδες γραμμάρια.



Εικ. 5.1 Σκληρόμετρο Vickers

### 5.3 Σκληρομέτρηση με τη μέθοδο Rockwell

Η μέθοδος Rockwell διαφέρει από τις προηγούμενες στο ότι ο προσδιορισμός της σκληρότητας στηρίζεται στη μέτρηση του βάθους διείσδυσης του διεισδυτή και όχι της διαμέτρου ή της διαγωνίου του αποτυπώματος.

Το βάθος της διείσδυσης (Z) μετατρέπεται σε τιμές σκληρότητας η οποία δίδεται απευθείας σε βαθμονομημένη κλίμακα που είναι ενσωματωμένη στα όργανα μέτρησης της σκληρότητας. Το γεγονός αυτό καθιστά τη μέθοδο αυτή απλή και γρήγορη.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές της μεθόδου Rockwell, οι οποίες διαφέρουν είτε ως προς τον τύπο του διεισδυτή που χρησιμοποιείται κάθε φορά είτε ως προς τα επιβαλλόμενα φορτία. Στον Πίνακα 2 δίδονται τα χαρακτηριστικά των διαφόρων μεθόδων Rockwell καθώς και οι εφαρμογές τους. Οι δύο βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η Rockwell B και η Rockwell C. Στην πρώτη ο διεισδυτής είναι σφαίρα από σκληρυμένο χάλυβα σταθερής διαμέτρου 1/16" (1, 5875 mm) και χρησιμοποιείται για μετρήσεις μικρών τιμών σκληρότητας. Στη δεύτερη ο διεισδυτής είναι κώνος από διαμάντι με γωνία κορυφής 120ο στρογγυλεμένος στην κορυφή με ακτίνα 0, 2 mm και χρησιμοποιείται για μετρήσεις της σκληρότητας σκληρών υλικών



Εικ. 5.2 Σκληρόμετρο Rockwell

Με την βοήθεια μικροσκοπίου απεικονίστηκαν αποτυπώματα από τις σκληρομετρήσεις

Rockwell και Vickers.

Παρακάτω δίνονται:

- Φωτογραφία του μικροσκοπίου που χρησιμοποιήθηκε
- Ενδεικτική φωτογραφία αποτυπώματος σκληρομέτρησης σε αλουμίνιο με τη μέθοδο Vickers
- Φωτογραφίες αποτυπωμάτων με την μέθοδο Rockwell σε διάφορα υλικά. Σε αυτές, γύρω από το αποτύπωμα φαίνεται πτύχωση του υλικού λόγω της πλαστικής παραμόρφωσης που συμβαίνει στη διάρκεια της σκληρομέτρησης
- Πίνακας με τα αποτελέσματα των σκληρομετρήσεων

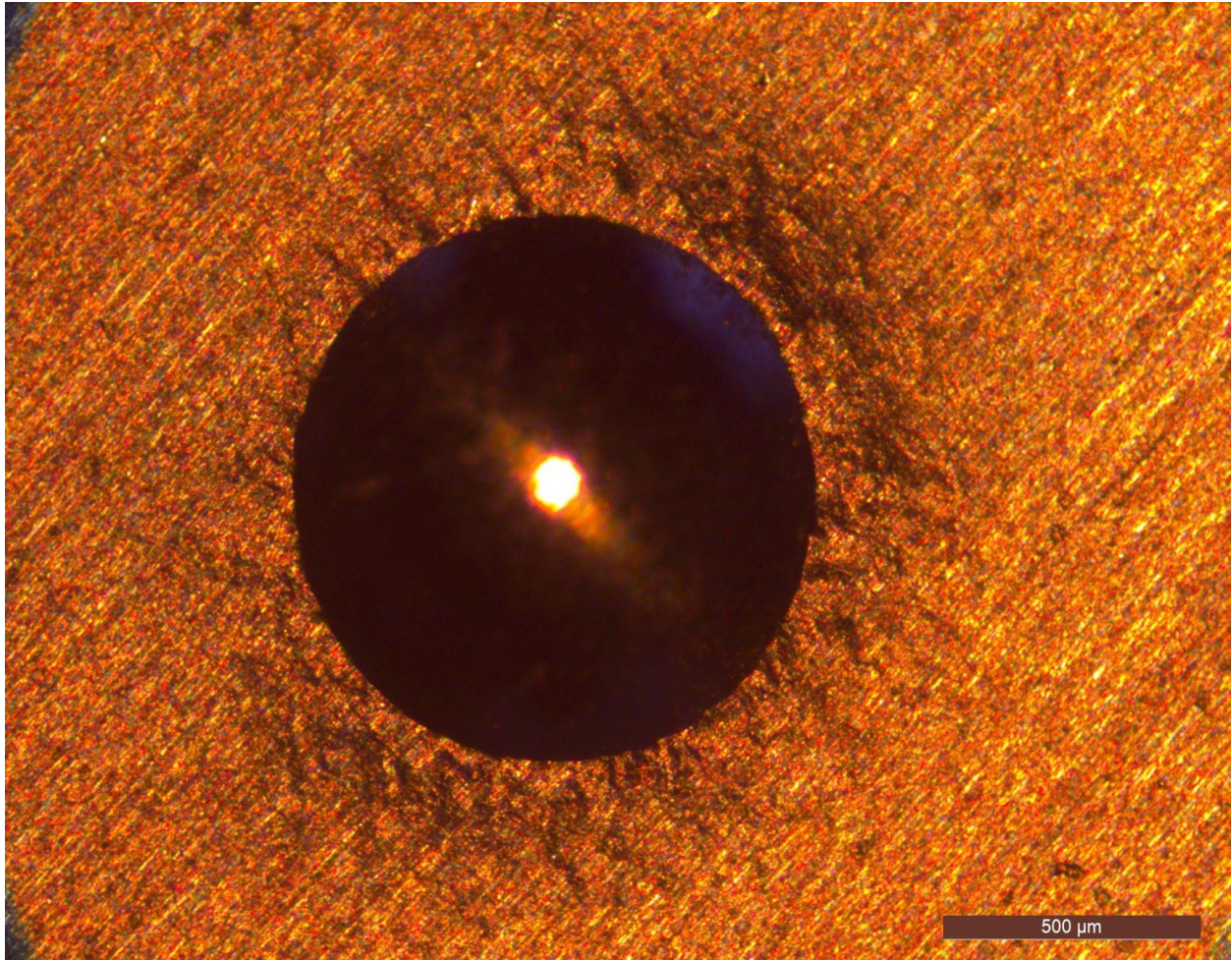




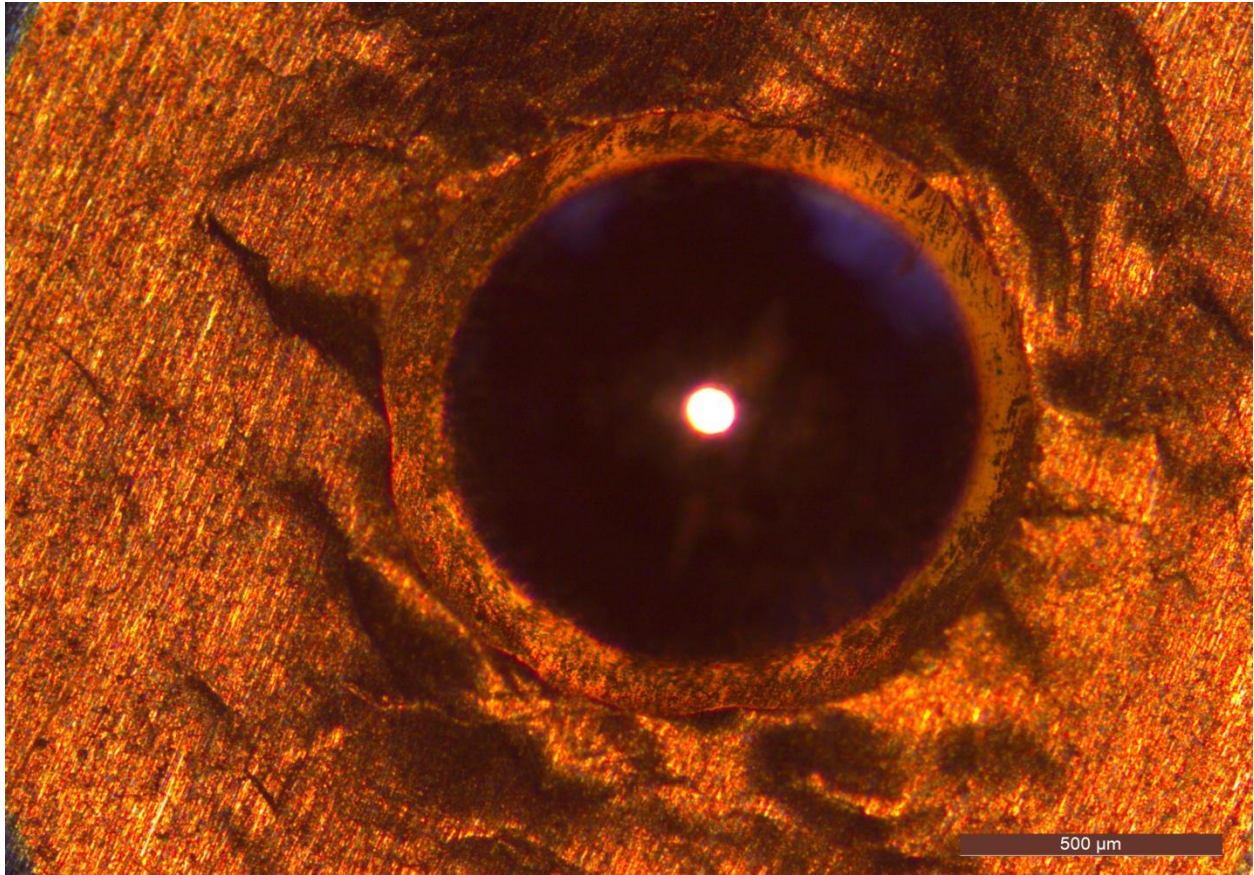
Εικ. 5.3 Μικροσκόπιο του εργαστηρίου με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή



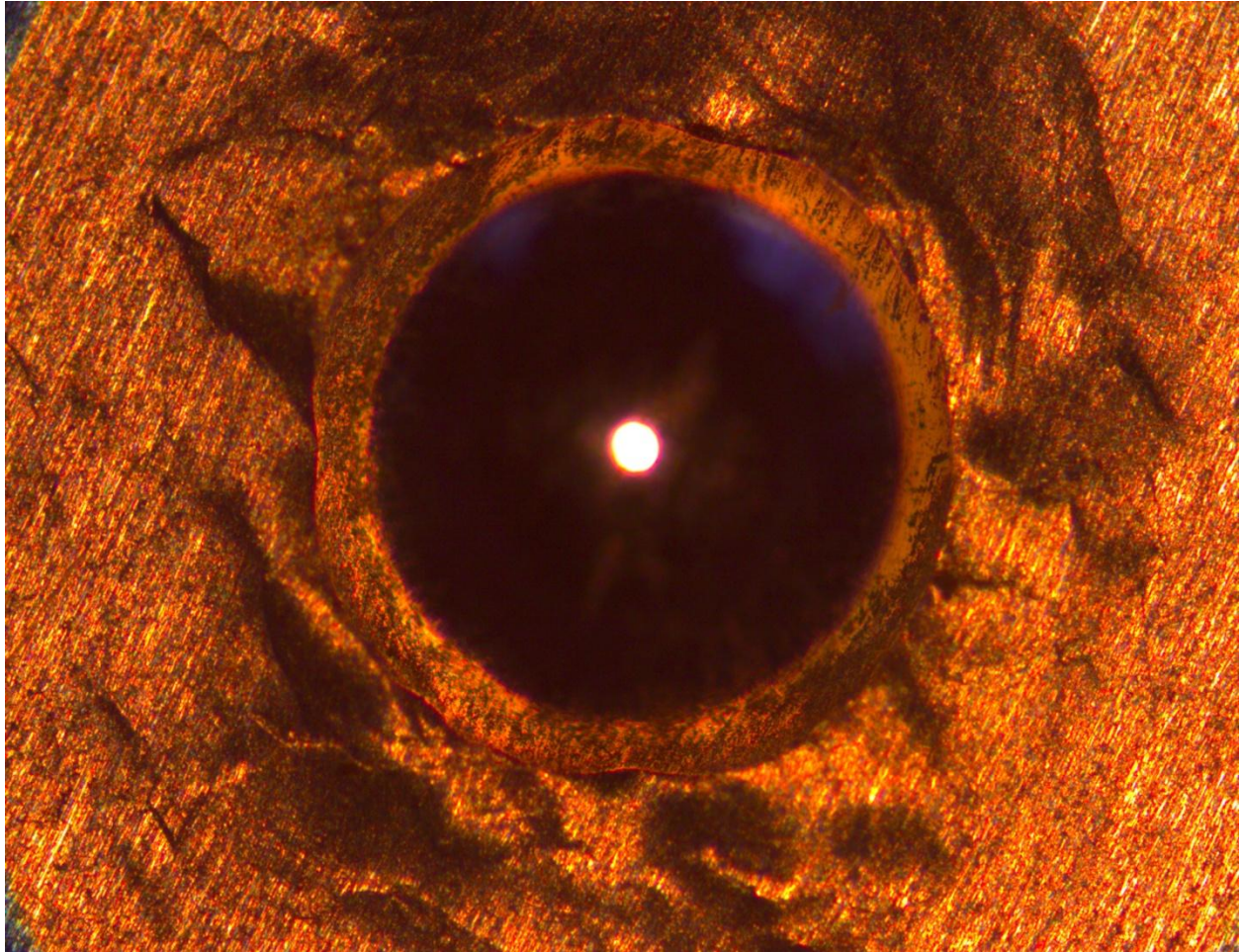
Εικ. 5.4 Αποτύπωμα σκληρομέτρησης Vickers σε αλουμίνιο



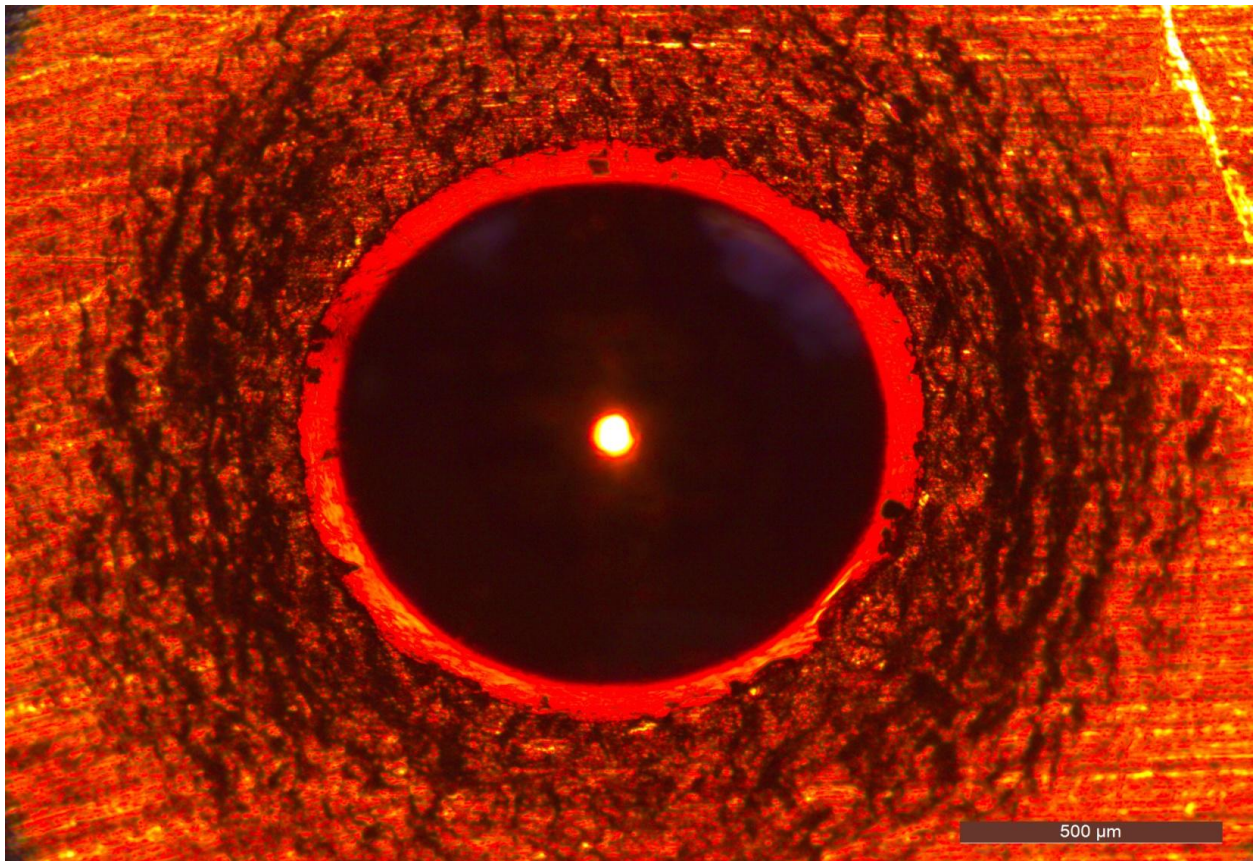
Εικ. 5.5 Αποτύπωμα σκληρομέτρησης Rockwell σε Αλουμινιο στρογγυλο



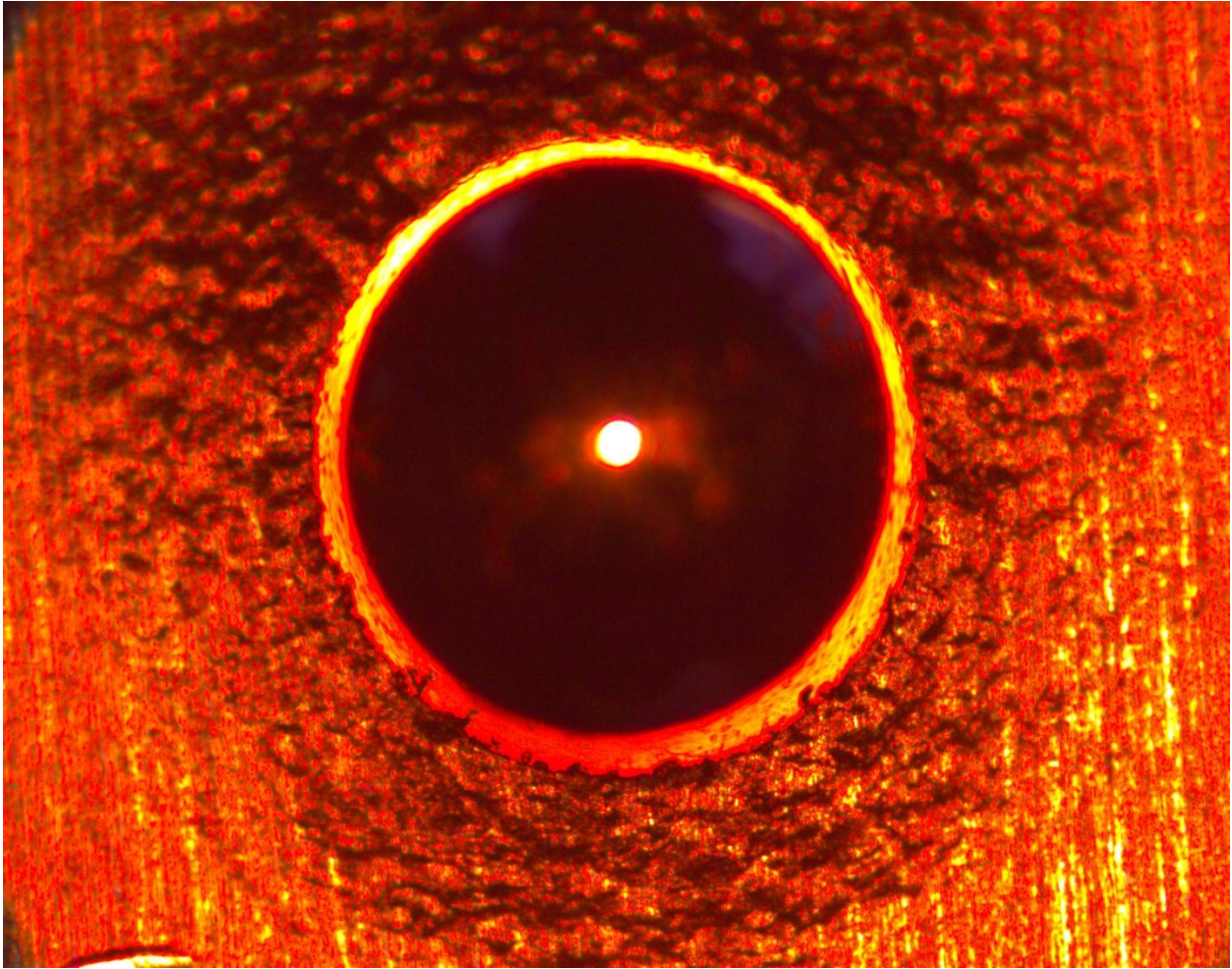
Εικ. 5.6 Αποτύπωμα σκληρομέτρησης Rockwell σε Αλουμινιο



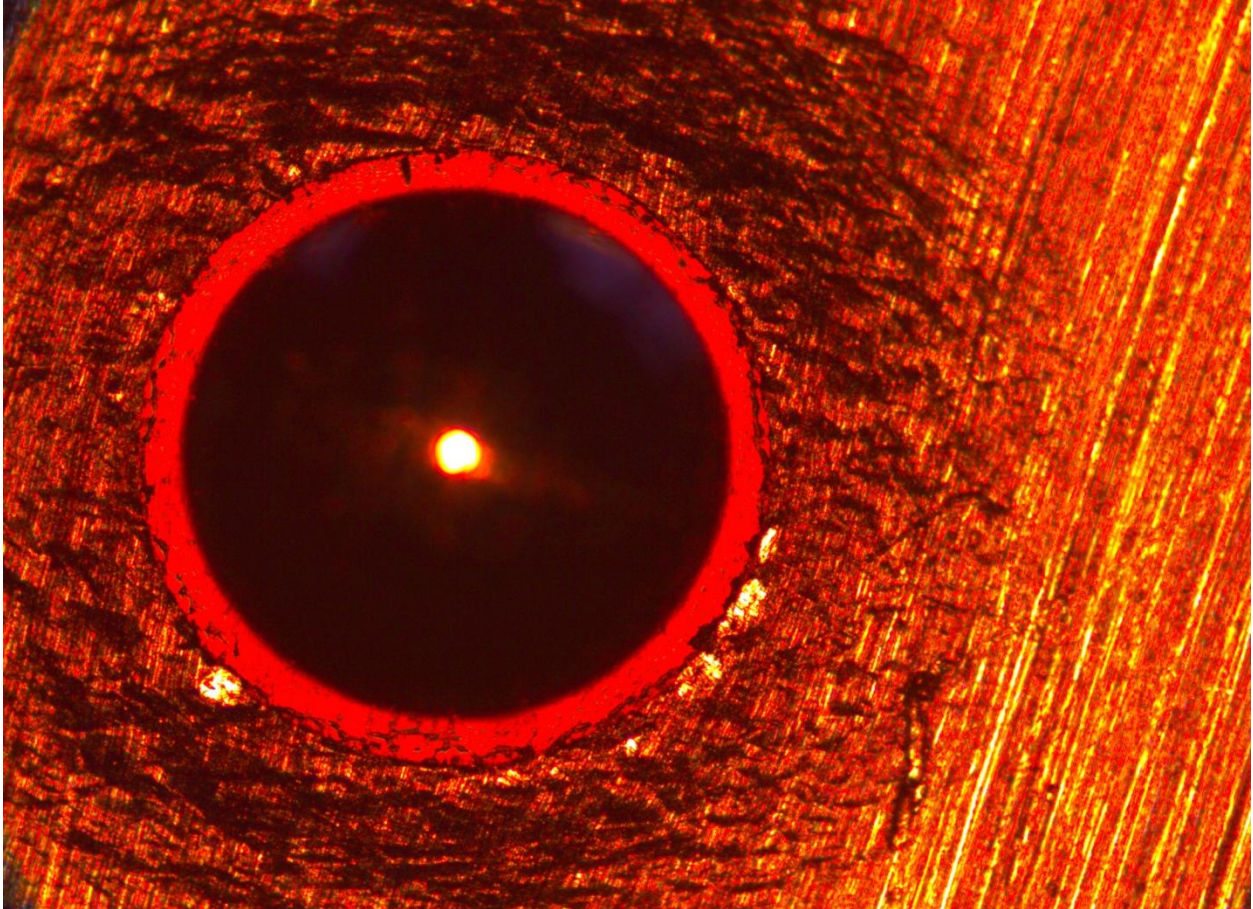
Εικ. 5.7 Αποτύπωμα σκληρομέτρησης Rockwell σε Μπρουντζο



Εικ. 5.8 Αποτύπωμα σκληρομέτρησης Rockwell σε στρογγυλο χαλκο



Εικ. 5.9 Αποτύπωμα σκληρομέτρησης Rockwell σε Χαλκο



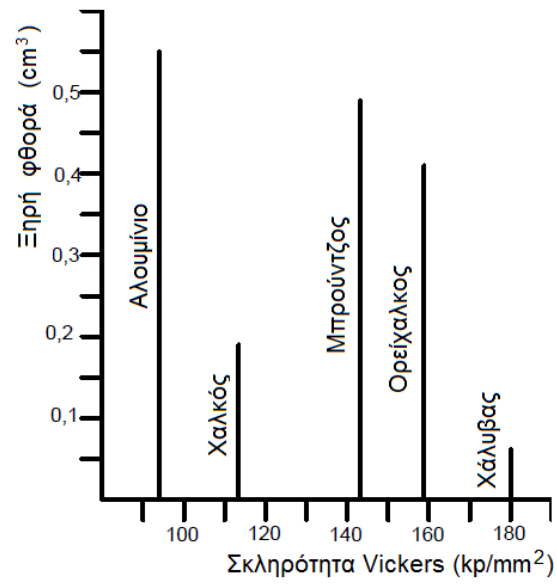
Εικ. 5.10 Αποτύπωμα σκληρομέτρησης Rockwell σε Χαλυβα



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

ΥΛΙΚΟ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ VICKERS				ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ROCKWELL B			
	1η	2η	3η	M.O	1η	2η	3η	M.O
Χαλκός	113,5	115,9	110,9	113,4	30,1	31,1	30,0	30,4
Χαλκός στρόγγυλος	109,8	120,9	114,0	114,9	31,6	34,4	34,5	33,5
Αλουμίνιο	90,5	96,6	95,3	94,1	19,6	20,9	20,8	20,43
Αλουμίνιο στρόγγυλο	123,7	130,01	124,9	126,2	61,2	63	61,5	61,9
Μπρούντζος	143,5	145,6	140,5	143,2	66,5	70,6	68,6	68,56
Αλουμινούχος μπρούντζος	278,1	319,1	249,1	282,1	84,8	91,5	92,0	89,4
Ορείχαλκος	155,5	152,8	168,3	158,8	71,3	74,0	75,2	73,5
Χάλυβας	175,4	184,3	179,5	179,7	70,4	64,6	64,9	66,6

Στο παρακάτω διάγραμμα διερευνάται αν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της σκληρότητας και της αντοχής του υλικού σε ξηρή φθορά. Οι χαμηλές τιμές ξηρής φθοράς του χαλκού και του χάλυβα δημιουργούν την εκτίμηση ότι η συσχέτιση μεταξύ των δύο ιδιοτήτων δεν είναι σαφής. Πιθανόν η ξηρή φθορά να εξαρτάται και από άλλους παράγοντες εκτός από την σκληρότητα.



Εικ. 5.11 Συσχέτιση της ξηρής φθοράς με τη σκληρότητα

