

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΡΝΕΥΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ 6061

ΥΠΟ

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΧΑΤΖΗΜΑΝΩΛΑΚΗ

Επιβλέποντες: Νικόλαος Χασιώτης, Δρ. Μεταλλουργός Μηχανικός

Διδάσκων, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του διπλώματος

Μηχανολόγου Μηχανικού

Βόλος

Ιούλιος 2008



© 2007 Εμμανουήλ Κωνσταντίνου Χατζημανωλάκης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 6443/1
Ημερ. Εισ.: 15-07-2008
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜΒ
2008
ΧΑΤ

Βόλος

Ιούλιος 2008

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς

Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων): Δρ. Νικόλαος Χασιώτης

Διδάκτωρ Μηχανικός

Διπλωματούχος Μεταλλουργός Μηχανικός

Διδάσκων στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής (Επιβλέπων): Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής: Δρ. Γρηγόρης Χαϊδεμενόπουλος

Καθηγητής στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Βόλος

Ιούλιος 2008

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές της διπλωματικής μου εργασίας: Διδάκτορα Μεταλλουργό Μηχανικό κ. Νικόλαο Χασιώτη και Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Πετρόπουλο για την υποστήριξή τους, την αμέριστη συμπαράστασή τους και την υπομονή που επέδειξαν σε προβλήματα που αντιμετώπισα κατά την προσπάθεια περάτωσης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επιπλέον, θέλω να εκφράσω την ειλικρινή ευγνωμοσύνη προς τον κ. Νικόλαο Χασιώτη για τις κατευθυντήριες γραμμές που μου έδωσε όχι μόνο σε επίπεδο επιστημονικό, αλλά προπάντων σε ανθρώπινο, αναδεικνύοντας όχι μόνο την τεχνοκρατική αλλά και την ηθική αξία της γνώσης.

Ευχαριστώ επίσης θερμότατα τον υπεύθυνο του μηχανουργείου, κ. Αθανάσιο Βέργο, για την προθυμία και τη διάθεση να με βοηθήσει και να επιλύσει οποιαδήποτε απορία μου σε τεχνικά θέματα.

Στο σημείο αυτό θέλω να ευχαριστήσω, την αδερφή μου Σοφία, για την αμέριστη συμπαράστασή της στη διάρκεια των σπουδών και τους συναδέλφους και φίλους μου Θωμά Καλόγηρο, Μιχάλη Λαζαρίδη, Αναστάσιο Λαζαρίδη, Σπύρο Αλεφραγκή, Γεώργιο Σταμοκώστα και Γεώργιο Νούση.

Εν κατακλείδι, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου Κώστα και Άννα για την, με πολλές στερήσεις, χρηματοδότηση των σπουδών μου, αλλά και τις θείες μου, Σοφία και Αγγελική, για την ηθική τους συμπαράσταση.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
1.1. Γενικά	7
1.2. Περίληψη και Ιστορική Αναδρομή	8
1.3. Χρήσεις Αλουμινίου	10
1.4. Κράματα Αλουμινίου (Χρήσεις και Χαρακτηριστικά τους)	11
1.5. Ορισμοί Κραμάτων κατά Κατηγορία Χρήσης/Μείγματος	12
1.5.1. Σειρά 1000: Καθαρό αλουμίνιο με 99,00% ελάχιστη καθαρότητα	12
1.5.2. Σειρά 2000: κράματα αλουμινίου – χαλκού	12
1.5.3. Σειρά 3000: κράματα αλουμινίου – μαγγανίου	12
1.5.4 Σειρά 4000: κράματα αλουμινίου – πυριτίου	12
1.5.5. Σειρά 3000: κράματα αλουμινίου – μαγγανίου	13
1.5.6. Σειρά 6000: κράματα αλουμινίου - πυριτίου – μαγνησίου	13
1.5.7. Σειρά 7000: κράματα αλουμινίου – ψευδαργύρου	13
1.6. Τομείς Εφαρμογών και Κράματα που Χρησιμοποιούνται	13
1.7. Θερμική Κατεργασία Κραμάτων	17
1.7.1. Θερμικώς κατεργαζόμενα κράματα σειρά 2000	17
1.7.2. Σειρά 6000	18
1.7.3. Σειρά	19
1.7.4. Μη θερμικώς κατεργαζόμενα κράματα σειρά 1000	19
1.7.5. Σειρά 3000	19
1.7.6. Σειρά 4000	20
1.8. Ο Ρόλος Των Κραματικών Στοιχείων	20
1.8.1. Επίδραση Si	20
1.8.2. Επίδραση Mg	20
1.8.3. Επίδραση Fe	20
1.8.4. Επίδραση Cr	21
1.8.5. Επίδραση Mn	21
1.8.6. Επίδραση Cu	21
1.8.7. Επίδραση Zn	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Διάβρωση Μεταλλικών υλικών	25
2.1. Κατηγορίες Διάβρωσης	29

2.1.1. Ομοιόμορφη Διάβρωση	29
2.1.2. Γαλβανική Διάβρωση	29
2.1.3. Διάβρωση Ρωγμών	32
2.1.4. Τρημματική Διάβρωση	32
2.1.5. Περικρυσταλλική Διάβρωση	33
2.1.6. Διάβρωση Πρόσκρουσης	33
2.1.7. Εργοδιάβρωση	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - Έναρξη Πειραματικής Διαδικασίας	37
3.1. Προετοιμασία δοκιμίων	37
3.2. Περιγραφή πειραματικής διάταξης και διαδικασίας	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Αποτελέσματα δοκιμών επιταχυνόμενης διάβρωσης	43
4.1. Τραχυμετρήσεις και υπολογισμός παραμέτρων που έχουν χρησιμότητα στην διεξαγωγή του πειράματος	44
4.2. Αποτελέσματα πειράματος στα δοκίμια που είχαν υποβληθεί στην πρώτη κατεργασία (1 ^η επιφάνεια)	47
4.3. Αποτελέσματα πειράματος στα δοκίμια που είχαν υποβληθεί στην δεύτερη κατεργασία (2 ^η επιφάνεια)	64
4.4. Αποτελέσματα πειράματος στα δοκίμια που είχαν υποβληθεί στην τρίτη κατεργασία (3 ^η επιφάνεια)	82
4.5. Αποτελέσματα πειράματος στα δοκίμια που είχαν υποβληθεί στην τέταρτη κατεργασία (4 ^η επιφάνεια)	100
4.6. Αποτελέσματα πειράματος στα δοκίμια που είχαν υποβληθεί στην πέμπτη κατεργασία (5 ^η επιφάνεια)	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Διαβρωτικά Τμήματα και Απώλεια Βάρους στα Δοκίμια της κάθε Επιφάνειας	135
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Ανάλυση Αποτελεσμάτων Πειράματος Επιταχυνόμενης Διάβρωσης	138
6.1. Μηχανισμός ανάπτυξης της διάβρωσης	146
6.2. Ανάλυση των μεταβολών των παραμέτρων R_t και R_z	153
6.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα	161
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – Συμπεράσματα	166
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – Προτάσεις	168
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 – Βιβλιογραφία	169
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 - Παράρτημα Α	170
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 - Παράρτημα Β	185

ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΓΕΝΙΚΑ ^[1,2,3,4,5,6,7]

13	←	Atomic Number
Al	←	Symbol
Aluminium		
26.98154	←	Atomic Weight
2 - 8 - 3	←	Electron Configuration

Τα μέταλλα, εξ' αιτίας των πολύτιμων φυσικών ιδιοτήτων τους (σκληρότητα, αντοχή στην τριβή, θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, δυνατότητα κατεργασίας εν ψυχρώ και εν θερμώ, κ.λπ.), αποτελούν τα πλέον σημαντικά κατασκευαστικά υλικά. Η πρόοδος της ανθρωπότητας εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό πλέον, από την ορθολογική χρήση και διαχείριση των κοιτασμάτων, για την παραγωγή των απαιτούμενων μετάλλων. Μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο, το αλουμίνιο είναι το τρίτο πιο διαδεδομένο στοιχείο στον φλοιό της γης, του οποίου αποτελεί το 8%. Ο σίδηρος, το επόμενο πιο διαδεδομένο στοιχείο αποτελεί το 5% του φλοιού της γης. Όπως και τα περισσότερα άλλα μέταλλα το αλουμίνιο δεν βρίσκεται στη φύση σε καθαρή μορφή, αλλά ενωμένο με άλλα στοιχεία στα διάφορα ορυκτά και πετρώματα. Πετρώματα που περιείχαν αργιλικά ορυκτά με την πάροδο του χρόνου και την επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας, που είναι διαλυμένο, στο νερό της βροχής, αποσαθρώθηκαν με αποτέλεσμα να σχηματιστεί каоλίνη (κινεζική πορσελάνη $-Al_2Si_2O_5(OH)_4-$). Στη συνέχεια, κάτω από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις και με την πάροδο του χρόνου, σχηματίστηκε βωξίτης $Al_2O_3 \cdot H_2O$, ο οποίος αποτελεί πρώτη ύλη για παραγωγή αλουμινούχων προϊόντων. Ο βωξίτης αποτελείται από διάσπορο ($Al_2O_3 \cdot H_2O$) και υδραργιλίτη ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), με προσμίξεις Fe_2O_3 , TiO_2 και SiO_2 , η δε περιεκτικότητά του σε Al_2O_3 κυμαίνεται από 55-65%.

Το αλουμίνιο είναι ένα λευκό αργυρόλευκο μέταλλο, 2.7 φορές πυκνότερο από το νερό, λειώνει στους 660° C και χαρακτηρίζεται από πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες. Είναι ελατό και όλκιμο(σε θερμοκρασίες μεταξύ 150 ° C και 250 ° C) και αποτελεί πολύ καλό αγωγό της θερμότητας και του ηλεκτρισμού και δικαίως χαρακτηρίζεται ως το πιο σημαντικό στοιχείο της τρίτης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Εκτός από τις μηχανικές του ιδιότητες και την ελαφρότητα του, το αλουμίνιο έχει μια άλλη πολλή χρήσιμη ιδιότητα, την αντίσταση στην διάβρωση.

Το αλουμίνιο και τα κράματά του, είναι ανθεκτικά στις διαβρωτικές συνθήκες ,κατά πολύ ανθεκτικότερα του σιδήρου ,αν και στην ηλεκτροδιακή σειρά των χημικών στοιχείων το αλουμίνιο βρίσκεται ψηλά. Κατά Nerst, το ηλεκτροδιακό (πρότυπο) δυναμικό για το αλουμίνιο υπολογίζεται $E_0 = (Al/Al^{3+}) = 1,662V$,ενώ για τον σίδηρο $E_0 = (Fe/Fe^{2+}) = 0,440V$ (σύμφωνα με την αμερικανική σύμβαση)^[6]

Από την σύγκριση αυτή φαίνεται ότι το αλουμίνιο είναι πιο ηλεκτροθετικό από τον σίδηρο και κατά συνέπεια θα έπρεπε να έχει μεγαλύτερη προδιάθεση για διάβρωση. Η μεγάλη αυτή αντοχή του αλουμινίου στην διάβρωση ,οφείλεται στην αυθόρμητη δημιουργία επιφανειακού οξυγονούχου στρώματος φυσικού οξειδίου του αλουμινίου, $\gamma\text{-}Al_2O_3$, αρκετά ανθεκτικού, πάχους έως 1000Å, αμέσως μόλις το νέο μέταλλο έρθει σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα^[8].

1.2. ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ^[5 6]

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το φαινόμενο της διάβρωσης σε торνευμένη επιφάνεια κράματος αλουμινίου 6061 κατά τρόπο – όσο ήταν δυνατό – επιστημονικά αυστηρό. Η δομή της εργασίας έχει την εξής μορφή: Αρχικά παρουσιάζονται τα διάφορα είδη διάβρωσης και ο τρόπος προσδιορισμού της τοπογραφίας των επιφανειών. Εν συνεχεία παρατίθενται γενικές πληροφορίες για το αλουμίνιο αλλά και τα διάφορα κράματά του. Στο πλαίσιο της παρούσης διπλωματικής πραγματοποιήθηκε δοκιμή επιταχυνόμενης διάβρωσης η διαδικασία της οποίας παρουσιάζεται λεπτομερώς, και είχαμε ως στόχο την εξαγωγή αποτελεσμάτων της διάβρωσης και της μεταβολής που πραγματοποίησε στην τοπογραφία των δοκιμίων του κράματος αλουμινίου 6061. Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα της διάβρωσης και ακολουθεί ανάλυσή τους.

Οι χημικές και φυσικές ιδιότητες του αλουμινίου το καθιστούν μία από τις πλέον χρήσιμες βιομηχανικές πρώτες ύλες, που χαρακτήρισαν μεγάλα βήματα της

ανθρωπότητας το δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, όπως η κατάκτηση του διαστήματος. Σε αντίθεση με τον χαλκό, τον χρυσό και τον σίδηρο το αλουμίνιο δεν υπάρχει στην φύση σε απλές χημικές ενώσεις εύκολα διασπάσιμες, έτσι η απομόνωση του μετάλλου αυτού καθυστέρησε ιδιαίτερα. Αν και όπως προαναφέρθηκε το αλουμίνιο είναι εκείνο το μέταλλο που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αφθονία στον φλοιό της γης, δεν είχε ανακαλυφτεί από κανένα μέχρι και 200 χρόνια πριν. Αιτία για αυτήν την καθυστέρηση αποτελούσε η δυσκολία που παρουσίαζε ο διαχωρισμός του από άλλα συστατικά με τα οποία ήταν ανακατωμένο μέσα στο έδαφος. Όταν άρχισε να χρησιμοποιείται, γρήγορα έγινε αντιληπτή η σπουδαιότητά του. Οι πολύ ενδιαφέρουσες ιδιότητες αυτού του μετάλλου με το ασημένιο χρώμα, οδήγησαν στην ακρότητα του να είναι πιο ακριβό ακόμα και από το χρυσάφι! Η ανακάλυψή του, αλλά και η παραγωγή του έγινε δυνατή μόνον μετά την ανακάλυψη και ευρεία χρήση του ηλεκτρισμού και όταν η χημεία αποχωρίστηκε από το φάντασμα της αλχημείας. Το γύρισμα της μοίρας έγινε το 1886, με την ταυτόχρονη - τυχαία - ανακάλυψη σε Αμερική και Γαλλία της ηλεκτρολυτικής μεθόδου κτήσης του μετάλλου από το οξείδιο του αλουμινίου (την αλουμίνα). Ο Αμερικανός Hall και ο Γάλλος Heroult χάραξαν το δρόμο που μετέτρεψε σε λεωφόρο ο Γερμανός Bayer το 1888, επινοώντας μια λογικά οικονομική μέθοδο παραγωγής αλουμίνας από τον βωξίτη. Σε μία νύχτα η τιμή του μετάλλου έπεσε από τα 18 \$ στα 4,50 \$.

Ξεκίνησε η βιομηχανική ιστορία του αλουμινίου....

Ο βωξίτης, που πήρε το όνομά του από την γαλλική πόλη Kes Baux όπου και ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά, αποτελεί το ορυκτό από το οποίο εξάγεται το σπουδαίο αυτό μέταλλο. Περιοχές που υπήρχαν πλούσια κοιτάσματα βωξίτη ήταν αναμενόμενο να γνωρίσουν οικονομική άνθηση.

Η σημερινή υψηλή τεχνολογία και οι ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του, εξηγούν το σημερινό ευρύ φάσμα εφαρμογών του.

Πλέον η καθημερινότητά μας είναι συνυφασμένη με τη χρήση του αλουμινίου. Πολλές από τις καθημερινές μας δραστηριότητες εμπεριέχουν αυτό το μέταλλο ή τα κράματά του. Από κουτάκια αναψυκτικών έως τα αυτοκίνητα και τα αεροπλάνα, το αλουμίνιο είναι παντού και όπως όλα δείχνουν θα συνεχίσει να μας συντροφεύει για πολλά χρόνια ακόμη.

1.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ^[1 2,3 4,5 6 8.13]

Το αλουμίνιο είναι σήμερα το δεύτερο πιο πολύ χρησιμοποιούμενο μέταλλο μετά τον σίδηρο. Το ίδιο και πολλά από τα κράματα του χρησιμοποιούνται σαν μέταλλα κατασκευών σε μια ευρύτατη περιοχή εφαρμογών, από αεροπλάνα και πλοία έως μαγειρικά σκεύη. Τα λεπτά φύλλα αλουμινίου παράγονται από μια διεργασία θερμικής εξέλασης, που ακολουθείται από ψυχρή εξέλαση και χρησιμοποιούνται για συσκευασία φαγητών.



Εικόνα 1 «Πριν από 135 χρόνια, ο Ιούλιος Βερν, γράφοντας το "Από τη Γη στη Σελήνη" είχε χαρακτηρίσει το αλουμίνιο: Άσπρο σαν το ασήμι και ελαφρό σαν το γυαλί.... »

Το αλουμίνιο ως υλικό συσκευασίας δεν είναι τοξικό, είναι αδιαπέραστο από υγρά και αέρια και εξασφαλίζει την υγιεινή των τροφίμων όταν και όπου χρησιμοποιείται για την συσκευασία τους. Είναι αδιάβρωτο από καιρικούς παράγοντες και δίνει μοναδικές λύσεις στην κατασκευή μοντέρνων κτιρίων, στην ανακατασκευή, την ανακαίνιση ή συντήρηση παλαιών κτιρίων με ιστορική και αρχιτεκτονική αξία. Τα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται στις οικοδομές, σε σκελετούς θυρών και παραθύρων. Το βάρος του είναι το 1/3 του βάρους του ατσαλιού, έτσι το ίδιο το αλουμίνιο αλλά και τα κράματά του το καθιστούν ιδανικό για χρήση σε κατασκευές που είναι απαραίτητο να έχουν μεγάλη αντοχή και μικρό βάρος (αεροπλάνα, πλοία). Η διάρκεια ζωής των κατασκευών από αλουμίνιο είναι σημαντικά μεγαλύτερη εκείνων από χάλυβα, για λόγους αντοχής στη διάβρωση, ενώ το κόστος συντήρησής τους είναι ελάχιστο. Η τεχνολογία των κραμάτων σε συνδυασμό με την ευκολία υποβιβασμού του πάχους με την έλαση, δίνει νέα διάσταση σε δυνατότητα οικονομίας μετάλλου στις κατασκευές (σκληρότερα κράματα - χαμηλότερο πάχος).

Στην δυτική Ευρώπη παράγονται ετησίως περισσότεροι από 3 εκατομμύρια τόνοι καθαρού αλουμινίου και ακόμα 2 εκατομμύρια τόνοι που προέρχονται από ανακύκλωση. Πλέον το αλουμίνιο αποτελεί το 80% της κατασκευής ενός τυπικού πολιτικού αεροσκάφους και αναμένεται σε λίγα χρόνια να αποτελεί το 40% των αυτοκινήτων. Η πολεμική βιομηχανία δεν θα μπορούσε να μην εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα που προσφέρει αυτό το σπουδαίο μέταλλο και να επωφεληθεί από αυτά σε ζητήματα όπως η ταχύτητα και η ακρίβεια.

Κάτοπτρα ανάκλασης αλουμινίου χρησιμοποιούνται σε μεγάλα αστρονομικά τηλεσκόπια, κάτι που αποδεικνύει το εύρος εφαρμογών του πολύ ιδιαίτερου αυτού μετάλλου.



Εικόνα 2 Το 80% ενός πολιτικού αεροσκάφους αποτελείται από αλουμίνιο. ^[21]



Εικόνα 3 Χρήση αλουμινίου σε άρμα. ^[20]

1.4. ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ - ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ

Το αλουμίνιο έχει την δυνατότητα, με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων χημικών στοιχείων, να δημιουργεί συνθέσεις (κράματα) με διαφορετικές ιδιότητες. Αυτή η δυνατότητα που έχει το αλουμίνιο, να επιτυγχάνει διαφορετικές ιδιότητες προκειμένου να καλύψει τις ειδικές απαιτήσεις κάθε προϊόντος, οφείλεται στο γεγονός της εύκολης κραματοποίησής του. Με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων κραματοποιών (χημικών) στοιχείων (π.χ. χαλκός, μαγνήσιο, πυρίτιο, μαγγάνιο, ψευδάργυρος κλπ), μπορούμε να επιτύχουμε πρώτη ύλη αλουμινίου με τις επιθυμητές και κατάλληλες ιδιότητες για κάθε τύπο προϊόντος. Οι τελικές ιδιότητες κάθε προϊόντος που θα παραχθεί από αλουμίνιο, επιτυγχάνονται με την επιλογή του κατάλληλου κράματος αλουμινίου, την μέθοδο επεξεργασίας του (μηχανική πλαστική διαμόρφωση ή χύτευση) και τις θερμικές κατεργασίες (βαφή, τεχνητή γήρανση, ανόπτηση κλπ) που θα υποστεί. Η διάκριση των κραμάτων γίνεται α) ανάλογα με τις κατεργασίες που έχουν υποστεί σε χυτά και ελατά β) σε αυτά που επιδέχονται ή όχι

θερμική κατεργασία και γ) ανάλογα με το κραματικό σύστημα στο οποίο βασίζεται η σύσταση τους.

1.5. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ/ΜΕΙΓΜΑΤΟΣ^[1,2,3,9]

Το αλουμίνιο και τα κράματά του- είτε πρωτόχυτο είτε δευτερόχυτο- διαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες, ως αλουμίνιο ή κράματα αλουμινίου για μηχανική πλαστική διαμόρφωση (παραγωγή προϊόντων έλασης, διέλασης, ολκής, κλπ) και ως αλουμίνιο ή κράματα αλουμινίου για χρήση σε χυτήρια (παραγωγή χυτών αντικειμένων).

Το αλουμίνιο και τα κράματά του που προορίζονται για μηχανική πλαστική διαμόρφωση προσδιορίζονται από τη χημική τους σύσταση βάσει ενός διεθνώς αποδεκτού συστήματος που χρησιμοποιεί τέσσερις αριθμούς. Το σύστημα αυτό είναι το IADS (International Alloy Designation System) και βοηθάει στην εύκολη αναγνώριση των διαφορετικών κραμάτων αλουμινίου από χώρα σε χώρα. Το πρώτο από τα τέσσερα ψηφία δείχνει την ομάδα κράματος σύμφωνα με το, σε μεγαλύτερη αναλογία ευρισκόμενο, κραματοποιό στοιχείο. Έτσι προκύπτουν 7 κύριες σειρές με ξεχωριστές ιδιότητες και χρήσεις να αντιστοιχούν στην κάθε μια:

1.5.1. Σειρά 1000: Καθαρό αλουμίνιο με 99,00% ελάχιστη καθαρότητα

Το καθαρό αλουμίνιο υποδιαιρείται σε κατηγορίες ανάλογα με την περιεκτικότητα σε αλουμίνιο. Το καθαρό αλουμίνιο χαρακτηρίζεται από την υψηλή αντίσταση στη διάβρωση, υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και την εύκολη μορφοποίηση. Οι μηχανικές αντοχές είναι σχετικά χαμηλές.

1.5.2. Σειρά 2000: κράματα αλουμινίου – χαλκού

Τα κράματα της σειράς αυτής αποκτούν μηχανικές αντοχές υψηλότερες από αυτές του μέσου χάλυβα. Χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις κατασκευών με απαίτηση υψηλές μηχανικές αντοχές.

1.5.3. Σειρά 3000: κράματα αλουμινίου – μαγγανίου

Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων της σειράς αυτής είναι: η εύκολη μορφοποίηση, η καλή αντοχή στην ατμοσφαιρική διάβρωση, η ευκολία συγκόλλησης με τις συνήθεις μεθόδους. Χαρακτηριστικά κράματα το 3003 και 3004.

1.5.4. Σειρά 4000: κράματα αλουμινίου – πυριτίου

Η παρουσία του πυριτίου ελατώνει το σημείο τήξης των κραμάτων της κατηγορίας αυτής. Το γεγονός αυτό, καθιστά αυτά τα κράματα κατάλληλα για χρήση ως ηλεκτρόδια πλήρωσης σε εργασίες συγκόλλησης κομματιών αλουμινίου.

1.5.5. Σειρά 5000: κράματα αλουμινίου – μαγνησίου

Τα χαρακτηριστικά των κραμάτων αυτών είναι: πολύ καλή συγκολλητικότητα, πολύ καλή συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες (κρυογενικά συστήματα), πολύ καλή αντιδιαβρωτική συμπεριφορά στο θαλάσσιο περιβάλλον, μέσες μηχανικές αντοχές. Χρησιμοποιείται ευρέως στη ναυπηγική, στη χημική βιομηχανία, στις οικοδομές, στα μεταφορικά μέσα, κλπ. Χαρακτηριστικά κράματα: 5005,5052,5754,5083,5086,5182.

1.5.6. Σειρά 6000: κράματα αλουμινίου - πυριτίου – μαγνησίου

Αποτελούν τα κράματα που κατά βάση χρησιμοποιούνται στην διέλαση για την παραγωγή προφίλ. Χαρακτηριστικά κράματα: 6005, 6061,6082,6060,6063.

1.5.7. Σειρά 7000: κράματα αλουμινίου – ψευδαργύρου

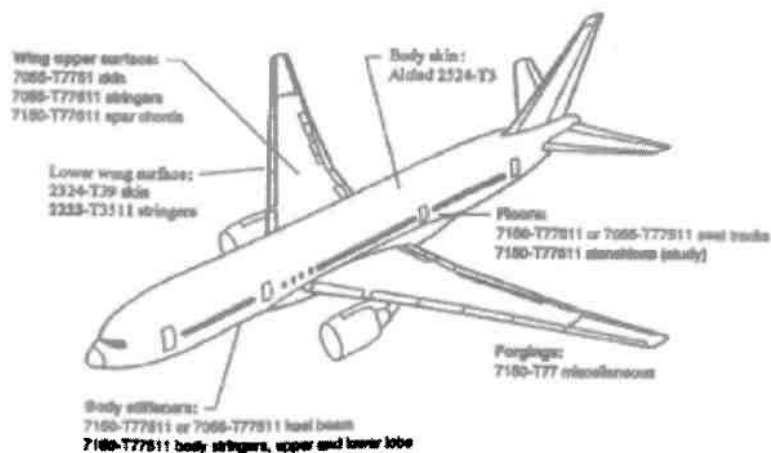
Ο ψευδάργυρος με το μαγνήσιο είναι τα κύρια κραματοποιά στοιχεία. Τα κράματα αυτά επιτυγχάνουν τις υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες από όλα τα κράματα αλουμινίου. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροναυπηγική και αεροδιαστημική βιομηχανία.

1.6. ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ

Το αλουμίνιο διατίθεται σε μεγάλη ποικιλία κραμάτων για κάθε τομέα εφαρμογών. Η επιλογή του κατάλληλου κράματος γίνεται ανάλογα με την χρήση του τελικού προϊόντος και τις ιδιαίτερες απαιτήσεις, καθώς και από την μέθοδο της παραγωγικής επεξεργασίας. Το αλουμίνιο και τα κράματά του (είτε πρωτόχυτο είτε δευτερόχυτο), διαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- α) Αλουμίνιο ή κράματα αλουμινίου για χρήση σε χυτήρια (παραγωγή χυτών αντικειμένων).
- β) Αλουμίνιο ή κράματα αλουμινίου για μηχανική μεταποίηση (παραγωγή προϊόντων έλασης, διέλασης, ολκής, κλπ).

Οι μηχανικές ιδιότητες των προϊόντων του αλουμινίου ή των κραμάτων του, εξαρτώνται τόσο από την κραματοποίηση, όσο και από τις μηχανικές ή θερμικές κατεργασίες που θα υποστεί.



Εικόνα 4 Χρήσεις κάθε κράματος στην κατασκευή ενός αεροσκάφους^[23]

Παρακάτω παραθέτουμε πίνακα των κραμάτων που χρησιμοποιούνται για κάθε τομέα εφαρμογών.

Πίνακας 1 Κράματα και τομείς εφαρμογών^[24]

Τομείς εφαρμογών	Προϊόντα	Κράματα που χρησιμοποιούνται
Αεροπορική βιομηχανία	κατασκευές υψηλών αντοχών	2014 2014A 2017A 2024 7010 7075
	κατασκευές μέσης αντοχής	6061 6082
Αυτοκινητοβιομηχανία	σκελετοί με προφίλ	6005A 6060 6063 6082
	σφυρήλατα	2014 6082

	οροφές/σώμα	1200 3003 3103 5005
	ταμπέλες αριθμών κυκλοφορίας	1200
	δεξαμενές καυσίμων	5083 5251 5454
Οικοδομή	ψευδοοροφές	1050A 1200 3003 3103 5005 5005A 6060
	πόρτες / παράθυρα/ προσόψεις	6060 6063 6082
	σκάλες	6060 6063 6082
	πάνελς	1050A 1200 3003 3103 5005A 5052 5251 5754
	κάγκελα	6060 6061 6063 6082
	πύργοι/σκαλωσιές	5083 5086 6061 6082
Χημική βιομηχανία	δοχεία	1005 3003 3103 5005 5005A
	σωλήνες	1050A 1200 3003 3103 5005 5005A 5052 5154A 5251 5454 5754 6061 6082
	δοχεία πίεσης	5052 5083 5086 5154A 5251 5454 5754
	δεξαμενές	3003 3103 5083 5086 5154A 5454 5754
Ηλεκτρικές εφαρμογές	κεραίες/δορυφορικές	5251 6063 6082

	ψύκτρες	6060 6063
	κέλυφος κινητήρα	6060 6063 6082
	πυλώνες	5083 5454 6005A 6061 6082 7020
Γενικές κατασκευές	κατασκευές υψηλών αντοχών	2014 2014A 2017A 2024 7075
	υδραυλικά συστήματα	2017A 2024 6082 7075
	σωληνώσεις	1050A 3003 3103 5005 5005A 5052 5083 5086 5154 5251 5754 6005A 6061 6082
	πλατφόρμες	5083 5086 6005A 6082 7020
	πνευματικά συστήματα	6005A 6060 6063 6082
	δοχεία	1050A 5005A 5083 5086 5454 5754
	συγκολλημένες κατασκευές	5083 5086 5154A 5251 6060 6063 6082 7020
Οδοποιία	γέφυρες	6061 6082 7020
	πινακίδες	5005 5005A 5052 5251
	φωτιστικά	5251 6060 6061 6063 6082
Εξοπλισμός	συναρμολογούμενα συστήματα	6060 6063
	έπιπλα	5005 5005A 6005A 6060 6063
	συσκευές γραφείου	3003 3103 5154A 5754 6060 6063

Συνδέσεις	βίδες/παξιμάδια	2007 2011 2024 2030 6061 6082 7075
	πριτσίνια	2017A 2024 5052 5754 6061 6082 7075
Ναυπηγική	βάρκες/ σκάφη ανοικτής θαλάσσης	5005 5005A 5083 5086 5251 5454 5754 6005A 6061 6082
	κατάρτια	5454 6005A 6061 6082
Συσκευασία	σώμα κουτιών	5052
	καπάκια	1050A 3003 3103
	Foil	1050A 1200
Όργανα Σπορ	ποδήλατα	6082 7020
	σκι	7075
	ρακέτες τένις	7075

1.7. ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ^[12,13 24]

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω ένας διαχωρισμός των κραμάτων αλουμινίου είναι αυτός που έχει σαν χαρακτηριστικό την θερμική κατεργασία. Έτσι έχουμε δύο κύριες ομάδες, τα θερμικώς κατεργαζόμενα κράματα και τα μη θερμικώς κατεργαζόμενα κράματα.

1.7.1. Θερμικώς κατεργαζόμενα κράματα σειρά 2000

Ανήκουν κράματα που έχουν ως βασικό στοιχείο τον χαλκό και είναι τα κράματα που έχουν εξεταστεί περισσότερο από τα άλλα. Η θερμική κατεργασία σε αυτά τα κράματα εξυπηρετεί στο να αποκτήσουν τις καλύτερες τους ιδιότητες. Στην θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με καθίζηση (γήρανση) οφείλονται οι υψηλές μηχανικές τους

ιδιότητες. Οι μηχανικές τους ιδιότητες που αποκτούν με θερμική κατεργασία είναι συνήθως ίδιες ή και καλύτερες από ένα χάλυβα με χαμηλό ποσοστό άνθρακα. Ένα αρνητικό χαρακτηριστικό όμως αυτών των κραμάτων είναι η μη μεγάλη αντοχή στη διάβρωση. Για αυτό σε αυτά τα κράματα όταν δίνεται η μορφή ελασμάτων είναι συνήθως καλυμμένα από καθαρά αλουμίνια ή από αλουμίνια της σειράς 6000 τα οποία μπορούν να γαλβανίσουν ώστε να αντέχουν στην διάβρωση.

Τα κράματα της σειράς αυτής είναι κατάλληλα για κατασκευαστικά στοιχεία τα οποία απαιτείται να έχουν σαν χαρακτηριστικό την υψηλή αντοχή συνδυασμένη με μικρό βάρος. (π.χ ρόδες και αναρτήσεις οχημάτων, σκελετός και πτερύγια αεροπλάνων...) Γενικά μπορούμε να πούμε ότι τα κράματα αυτά έχουν χαμηλή συγκολλησιμότητα αλλά καλή επεξεργασιμότητα.

1.7.2. Σειρά 6000

Ανήκουν κράματα που έχουν ως βασικά στοιχεία το μαγνήσιο και το πυρίτιο. Έχουν μέτρια αντοχή αλλά έχουν και πλεονεκτήματα όπως η καλή συγκολλησιμότητα και η αντοχή στην διάβρωση και την εργοδιάβρωση. Το μαγνήσιο και το πυρίτιο σε ισορροπημένες ποσότητες ώστε να έχουμε σχηματισμό ημιδυσαιδικού κράματος $Al-Mg_2Si(Mg:Si_{1.73}:1)$ με λίγο μεγαλύτερη ποσότητα ώστε να σχηματιστεί Mg_2Si . Τα κράματα αυτής της σειράς δεν είναι τόσο ισχυρά όσο αυτά της σειράς 2000 και 7000, αλλά μπορούν να επεξεργαστούν με θερμική κατεργασία και μετά την μορφοποίηση τους να ισχυροποιηθούν με την κατεργασία της γήρανσης λόγω καθίζησης της φάσης Mg_2Si . Συγκεκριμένα το κράμα 6061-που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε στα πειράματα-είναι αυτό που έχει και μεγάλη ποσότητα Mg_2Si στην θερμοκρασία γήρανσης. Αυτά τα κράματα εκτός από κάποιες εφαρμογές στην αρχιτεκτονική μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή σκελετού οργάνων γυμναστικής, στην οδοποιία σε περιπτώσεις μεταλλικών κατασκευών όπως οι γέφυρες και οι στήλες φωτισμού και φυσικά στην αυτοκινητοβιομηχανία. Στα κράματα αυτά αν δεν έχουμε αρκετό μαγγάνιο και χρώμιο τότε δημιουργούνται ενώσεις πλούσιες σε σιδηρά όπως Fe_3SiAl_{12} και $Fe_2Si_2Al_9$ η μίγμα και των δυο ενώσεων ανάλογα με τα ποσοστά στο κράμα μαγνησίου, σιδήρου και πυριτίου. Οι δευτερεύουσες διμεταλλικές φάσεις που δημιουργούνται κατά την στερεοποίηση της σειράς 6000 οι οποίες φαίνονται κάτω υπό προϋποθέσεις και με χρήση ηλεκτρονίου μικροσκοπίου είναι η β-φάση Mg_2Si καθώς και οι φάσεις του σιδήρου όπως οι Al_3Fe_4 και $AlFeSi$.

1.7.3. Σειρά 7000

Σε αυτήν τη σειρά ανήκουν τα κράματα αλουμινίου που έχουν ως βασικά στοιχεία τον ψευδάργυρο και το μαγνήσιο. Είναι από τα κράματα που δέχονται τεχνητή γήρανση αν και συνήθως τα πολύ ισχυρά κράματα της σειράς αυτής συνήθως έχουν ως κραματικό στοιχείο τον χαλκό. Βέβαια σε αυτήν την υποκατηγορία της σειράς ανήκουν κράματα τα οποία είναι μέτριας αντοχής και αυτά συνήθως έχουν ελάχιστο έως καθόλου χαλκό αλλά έχουν το πλεονέκτημα ότι εύκολα μπορούν να συγκολληθούν. Η διάφορα τους από τα άλλα συγκολλησιμα κράματα είναι ότι μπορούν να έχουν φυσική γήρανση στην θερμοκρασία δωματίου. Επιπλέον η αντοχή που αποκτά το κράμα αυτό δεν επηρεάζεται από την ταχύτητα ψύξης καθώς πέφτει από τις υψηλές θερμοκρασίες της συγκόλλησης και ούτε από την ίδια την θερμοκρασία. Μετά την συγκόλληση παρατηρείται και μια σημαντική ανάκαμψη της αντοχής σε εφελκυσμό που φτάνει γύρω στα 320 mpa χωρίς επιπλέον θερμική κατεργασία. Στην άλλη υποκατηγορία της σειράς 7000, που έχουν ως βασικό στοιχείο το χαλκό, έκτος από τον ψευδάργυρο και το μαγνήσιο, έχουν άμεση αντίδραση στην τεχνητή γήρανση. Ένα κράμα με ποσοστό χαλκού 2.5% μπορεί να φθάσει και στα 580mpa αντοχή εφελκυσμού, όταν το ντουραλουμίνιο φτάνει τα 420mpa. Τα κράματα αυτής της σειράς χρησιμοποιούνται κυρίως στην αεροναυπηγική όπου απαιτείται υψηλή αντοχή αλλά έχουν και άλλες εφαρμογές όπως κατασκευές πέλδλων σκι, ρακετών τένις και κατασκευή πυλώνων μεταφορά ρεύματος.

1.7.4. Μη θερμικώς κατεργαζόμενα κράματα σειρά 1000

Στην σειρά 1000 ανήκουν τα κράματα στα οποία δεν έχει προστεθεί κάποια ποσότητα κραματικών στοιχείων σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1%. Τα κράματα της σειράς αυτής έχουν εκτεταμένη χρήση στην χημική βιομηχανία αλλά και όπου απαιτούνται χημικές εφαρμογές όπως σε χημικά εργαστήρια. Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η υψηλή αντοχή στην διάβρωση, η υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς και η υψηλή κατεργασιμότητα αλλά όλα αυτά συνδυάζονται με χαμηλές μηχανικές ιδιότητες.

1.7.5. Σειρά 3000

Εδώ ανήκουν κράματα που έχουν ως βασικό στοιχείο το μαγγάνιο, συνδυάζουν μια μέτρια σκληρότητα με υψηλή ευπλαστικότητα και αντοχή στην διάβρωση. Όταν

προσθεθεί και μαγνήσιο στο όραμα τότε έχουμε μια αύξηση της σκληρότητας του στερεού διαλύματος. Ανάλογα με το ποσοστό μαγνησίου και μαγγανίου έχουν διαφορετικές ιδιότητες και εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται για κατασκευή δοχείων για πόσιμα υγρά, για κατασκευή οικιακών εργαλείων κ.α.

1.7.6. Σειρά 4000

Τα κράματα αυτής της σειράς έχουν ως βασικό στοιχείο το πυρίτιο με συγκέντρωση έως και 12%. Τα κράματα αύρα παρουσιάζουν χαμηλό σημείο τήξης χωρίς να δημιουργείται ευθραυστότητα. Για αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως σαν συγκολλητικό υλικό ανάμεσα σε κράματα αλουμινίου που έχουν υψηλότερο σημείο τήξης. Γενικά είναι μη-θερμικώς κατεργάσιμα αλλά όταν χρησιμοποιούνται για την συγκόλληση θερμικώς κατεργάσιμων κραμάτων τότε θα πάρουν κάποιες από τις ιδιότητες των κραμάτων αυτών και θα αντιδράσουν θετικά στις θερμικές κατεργασίες άλλα σε μικρό βαθμό.

1.8. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

1.8.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ Si

Αξιοσημείωτη είναι η επίδραση του πυριτίου στα κράματα αλουμινίου αφού έχουμε βελτίωση των χαρακτηριστικών της χύτευσης. Προσθέτοντας πυρίτιο σε κράμα αλουμινίου βελτιώνει την ρευστότητα, βοηθά στην αντίσταση στο φαινόμενο <hot tear> και στα χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας.

1.8.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ Mg

Όταν προσθεθεί μαγνήσιο στο κράμα αλουμινίου-χαλκού το θετικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της σκληρότητας μετά την θερμική κατεργασία και τη βαφή. Στα κατεργαζόμενα κράματα έχουμε μια αύξηση της αντοχής που συνοδεύεται και από μια αύξηση της ελαστικότητας όταν έχουμε φυσική γήρανση. Η αντοχή στη διάβρωση εξαρτάται από την ποσότητα μαγνησίου αλλά και από την θερμική κατεργασία.

1.8.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ Fe

Ο σίδηρος έχει μεγάλη διαλυτότητα στο αλουμίνιο και για αυτό μπορεί να διαλυθεί εύκολα σε όλα τα χυτά στάδια της κατεργασίας. Η διαλυσιμότητα αυτή όμως είναι μικρή στην στερεή κατάσταση. Όταν το κράμα αλουμινίου περιέχει σίδηρο έχει αντοχή ενάντια στο <hot tear>.Αύξηση της αναλογίας του σιδήρου στο κράμα

συνοδεύεται από την μείωση της ελαστικότητας. Ο σίδηρος δημιουργεί πάρα πολλές αδιάλυτες στο αλουμίνιο φάσεις, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την αντοχή των κραμάτων ιδιαίτερα στις υψηλές θερμοκρασίες. Όμως καθώς αυτές οι φάσεις αυξάνουν όσο αυξάνει το ποσοστό του σιδήρου στο κράμα αυτό έχει αρνητικό αποτελέσματα στην ροή και την τροφοδοσία της χύτευσης.

1.8.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ Cr

Το χρώμιο είναι σύνηθες κραματικό στοιχείο στα κράματα της σειράς 2000 αλλά και της 6000 και γενικά δεν ξεπερνά την ποσότητα του 0.35% του κράματος. Το χρώμιο χρησιμοποιείται στο να εμποδίσει την ανακρυστάλλωση σε μηχανικές κατεργασίες διαμόρφωσης και κατά την θερμική κατεργασία διαλυτοποίησης. Η σκληρή δομή που προσδίδει το χρώμιο στο υλικό μειώνει την ευπάθεια του στη διάβρωση και αυξάνει την σκληρότητα. Η παρουσία του χρωμίου αυξάνει την αντοχή σε διάβρωση και σκληρότητα λόγω στερεάς διαλυτότητας.

1.8.5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ Mn

Ο συνδυασμός μαγνησίου-μαγκανιού ισχυροποιεί τα κράματα αλουμινίου κάτω από συνθήκες εργοσκληρυνσης αλλά δίνει αντοχή στη διάβρωση και καλή συγκολλησιμότητα.

1.8.6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ Cu

Τα κράματα που περιέχουν χαλκό σαν ένα από τα βασικά κραματικά στοιχεία (περίπου 2-10%) είναι από τα σημαντικότερα κράματα του αλουμινίου. Και τα χυτά αλλά και τα κατεργαζόμενα αλουμίνια αποκρίνονται στην διαλυτότητα κατά τη θερμική κατεργασία και διαδοχικά στην γήρανση με αποτέλεσμα μια αύξηση στην αντοχή και την σκληρότητα και μια μείωση στην αντοχή της επιμήκυνσης. Η αντοχή γίνεται μέγιστη όταν το κράμα περιέχει 4-6% χαλκό και ανάλογα βέβαια και με τα άλλα κραματικά στοιχεία.

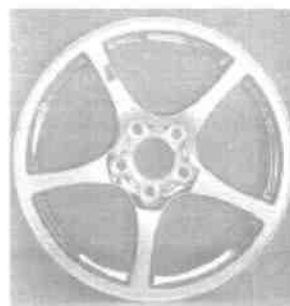
1.8.7. ΕΠΙΔΡΑΣΗ Zn

Δεν παρατηρούνται ιδιαίτερα πλεονεκτήματα προσθέτοντας ψευδάργυρο σε κράμα αλουμινίου. Ωστόσο όταν συνδυάζεται με την παρουσία χαλκού η και μαγνησίου έχουμε καλά αποτελέσματα στην θερμική κατεργασία η στην φυσική γήρανση με ορισμένους συνδυασμούς.

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΚΑΤΑ ΒΑΡΟΣ ΣΥΣΤΑΣΗ %
<u>Al</u>	97.9
<u>Si</u>	0.60
<u>Cu</u>	0.28
<u>Mg</u>	1.0

ΚΡΑΜΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ 6061

Στην παρούσα διπλωματική έγινε μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης σε κράμα αλουμινίου 6061. Το παραπάνω κράμα συναντάται σε αρκετές εφαρμογές, από τις πιο απλές έως τις πιο σύνθετες, ποδήλατα, φιάλες οξυγόνου, ζάντες αλουμινίου αλλά και προϊόντα που βρίσκουν εφαρμογή στην αεροναυπηγική και στην χειρουργική δημιουργούνται από αυτό το ιδιαίτερο κράμα αλουμινίου.



Εικόνα 5 Ζάντα κατασκευασμένη από κράμα αλουμινίου 6061



Εικόνα 6 Φιάλη οξυγόνου κατασκευασμένη από κράμα αλουμινίου 6061



Εικόνα 7 Σε αυτά τα ελικόπτερα έχει γίνει εκτεταμένη χρήση αλουμινίου 6061 καθώς και τιτανίου.



Εικόνα 8 Τα μεταλλικά μέρη από αυτό το αναπηρικό καρότσι είναι κατασκευασμένα από κράμα αλουμινίου 6061.

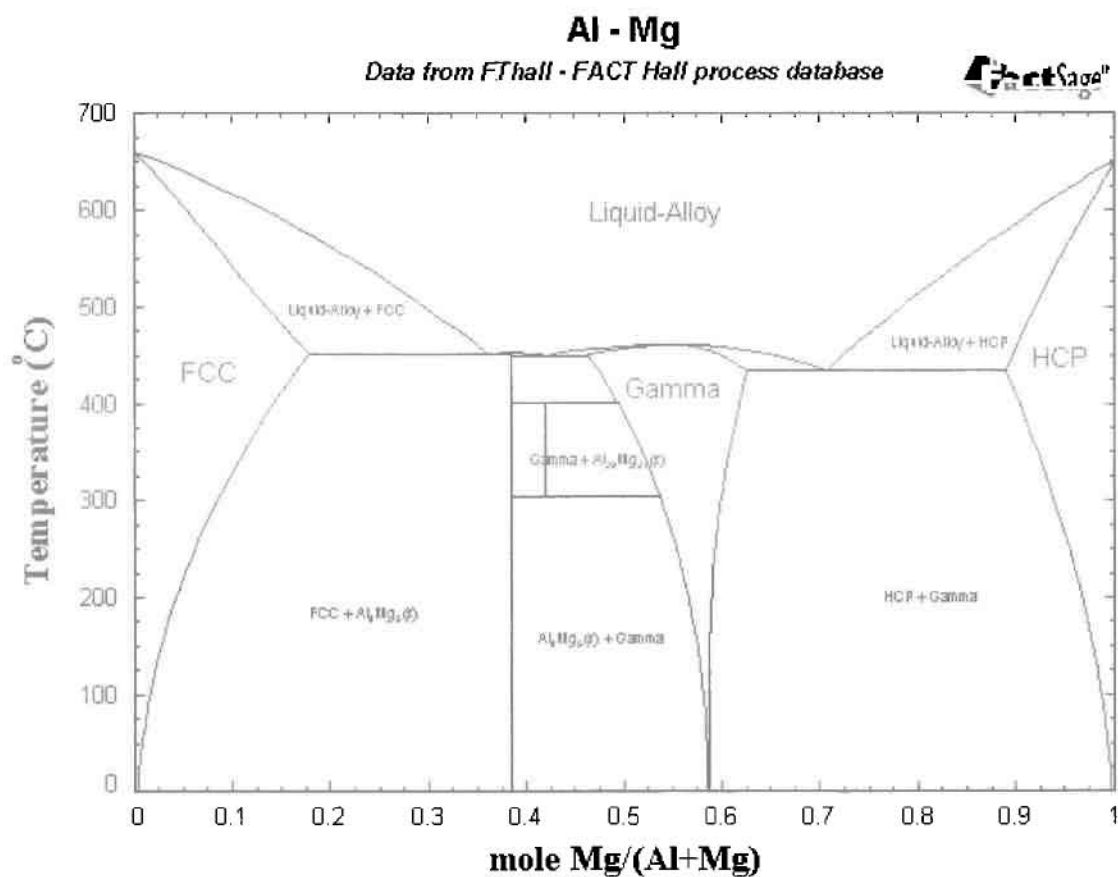
ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΡΑΜΑΤΟΣ 6061^[5,11,12]

Πίνακας 12

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΤΙΜΗ
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ($\times 1000 \text{ kg/m}^3$)	2.7
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ(HB500) 25 T ($^{\circ}\text{C}$)	30
ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (W/m-K)	180
ΣΗΜΕΙΟ ΤΗΞΕΩΣ T_{α} ($^{\circ}\text{C}$)	580

Βασικές ιδιότητες του κράματος και οι τιμές τους

Στο κράμα αλουμινίου 6061 το μαγνήσιο είναι αυτό που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα κράματα αλουμινίου. Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα που μας δείχνει τις φάσεις του κράματος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.



Εικόνα 8 Διάγραμμα φάσης κράματος αλουμινίου 6061

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ^(1,2,3 11)

Ο ορισμός⁽¹⁾ της διάβρωσης, όπως αυτός έχει προκύψει από συζητήσεις στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ομοσπονδίας Διάβρωσης, της Διεθνούς Επιτροπής Θαλάσσιας Διάβρωσης και Ρύπανσης των Υφάλων και Διεθνών Συνεδρίων, έχει ως εξής:

«ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΛΕΓΕΤΑΙ ΚΑΘΕ ΑΥΘΟΡΜΗΤΗ, ΚΑΤΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΕΚΒΙΑΣΜΕΝΗ, ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗΣ, ΚΑΤΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΧΗΜΙΚΗΣ, ΚΑΤΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΦΥΣΗΣ, ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ, ΠΟΥ ΟΔΗΓΕΙ ΣΕ ΑΠΩΛΕΙΑ ΥΛΙΚΟΥ»

Ο ίδιος ορισμός ισχύει και για οποιοδήποτε, εκτός από τα μέταλλα και κράματα, υλικό, με την διαφορά, ότι σε αυτά υπερέχει η χημικής και μηχανικής φύσης αλλοίωση, ως προς την ηλεκτροχημική, και μεγαλώνει και η αλλοίωση βιολογικής φύσης.

Για την καλύτερη κατανόηση του ορισμού, παρέχονται οι παρακάτω διευκρινίσεις:^(2,3)

α) Η αυθόρμητη αλλοίωση έχει την θερμοδυναμική έννοια του αυθόρμητου φαινομένου: ΔF , ΔG , $\Delta \mu < 0$, $\Delta S > 0$ και μάλιστα και σε συνηθισμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας.

β) Η εκβιασμένη αλλοίωση έχει ομοίως την θερμοδυναμική έννοια του αυθόρμητου φαινομένου, που όμως πραγματοποιείται με επιτάχυνση, εξαιτίας έντονου τεχνητού περιβάλλοντος (χημικές ουσίες, υψηλή θερμοκρασία, ραδιενέργεια, ανοδική ηλεκτρική φόρτιση κ.λ.π).

γ) Μηχανική αλλοίωση εννοείται κάθε επιφανειακή κάκωση, εξαιτίας της λειτουργίας ενός μηχανήματος (λόγω τριβής, κρούσης, μηχανικής καταπόνησης, από αμμοβολή, εξάχνωση από την δημιουργία υποπίεσης, κ.λ.π.

δ) Η χημική προσβολή, υπόκειται στους βασικούς νόμους της χημικής κινητικής των ετερογενών αντιδράσεων και αναφέρεται στις περιπτώσεις διάβρωσης που δεν συνοδεύονται από την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Η ηλεκτροχημική διάβρωση, υπόκειται στους βασικούς νόμους της ηλεκτροχημικής κινητικής και γενικά αναφέρεται στις περιπτώσεις διάβρωσης με πιθανή δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι μεταλλικές κατασκευές δεν είναι συνεπώς αναλλοίωτες στο χρόνο. Η μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων των κατασκευών αυτών από την μία και η διάβρωσή τους υπό την επίδραση του περιβάλλοντος από την άλλη, αποτελούν τις πιο σημαντικές αιτίες καταστροφής των κατασκευών αυτών. Σε αντίθεση όμως με τις μηχανικές κακώσεις, που συχνά επιδιορθώνονται, το φαινόμενο της διάβρωσης πολύ συχνά οδηγεί σε ολοκληρωτική αχρήστευση της κατασκευής.

ΜΕΤΑΛΛΟ+ ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΠΡΟΪΟΝ ΤΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ (οξειδώνεται)
(ανάγεται) ή **ΠΡΟΪΟΝ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ**

Πίνακας 2

<p>-Η φύση του μεταλλικού υλικού</p> <p>-Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των προϊόντων της διάβρωσης</p> <p>-Και οι συνθήκες του περιβάλλοντος λειτουργίας του υλικού (Τ.ρ.ν)</p>	<p>Προσδιορίζουν</p>	<p>*Το σχήμα</p> <p>*Το μέγεθος</p> <p>*Την ταχύτητα εξέλιξης της διάβρωσης.</p>
--	----------------------	--

ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ^(2,3,11)

Η ταξινόμηση της διάβρωσης⁽²⁾ γίνεται κυρίως σύμφωνα με τις μορφές με τις οποίες εμφανίζεται, μια περαιτέρω διάκριση μπορεί να γίνει λαμβάνοντας σαν κριτήριο το είδος του διαβρωτικού περιβάλλοντος. Η βάση για αυτήν την ταξινόμηση είναι η εμφάνιση του διαβρωμένου μεταλλικού υλικού. Όλα τα είδη της διάβρωσης μπορούν να προσδιοριστούν με απλή οπτική παρατήρηση του διαβρωμένου υλικού. Στην επίλυση των προβλημάτων που αφορούν την διάβρωση καθοριστικό ρόλο παίζουν οι πληροφορίες που προέρχονται από την προσεκτική παρατήρηση των διαβρωμένων δειγμάτων.

Εμφανίζονται τα παρακάτω είδη διάβρωσης(ανάλογα με την μορφή εμφάνισης).

- ομοιόμορφη διάβρωση (uniform corrosion)
 - γαλβανική, η διμεταλλική διάβρωση (galvanic corrosion)
 - διάβρωση ρωγμών (crevice corrosion)
 - τρημματική διάβρωση ή διάβρωση με βελονισμούς (pitting corrosion)
 - περικρυσταλλική διάβρωση (intercrystalline corrosion)
-
- εκλεκτική διάβρωση (Selective Corrosion)
 - εργοδιάβρωση ή δυναμοδιάβρωση (stress corrosion)
-
- ψαθυροποίηση υδρογόνου (hydrogen embrittlement)
 - νηματοειδής διάβρωση
 - διάβρωση πρόσκρουσης

Ανάλογα με το είδος του διαβρωτικού περιβάλλοντος, διακρίνονται τα παρακάτω είδη διάβρωσης:

- *Διάβρωση από αέρια (Gaseous Corrosion)*. Είναι η διάβρωση των μετάλλων με πλήρη απουσία υγρασίας στην επιφάνειά τους. Συνήθως αναφέρεται στην περίπτωση διάβρωσης μετάλλων σε υψηλές θερμοκρασίες από αέρια.

- *Διάβρωση από μη ηλεκτρολύτες (Corrosion in nonelectrolytes)*. Αναφέρεται στην δράση οργανικών ουσιών με μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- *Διάβρωση από ηλεκτρολύτες (Corrosion in electrolytes)*. Είναι ένας διαδεδομένος τύπος διάβρωσης, που περιλαμβάνει την δράση του φυσικού ύδατος και την δράση των περισσοτέρων υδατικών διαλυμάτων σε μεταλλικές κατασκευές. Σε εξάρτηση από την χημική φύση του μέσου, μπορεί να είναι όξινη, αλκαλική, ή θαλάσσια διάβρωση. Επίσης ανάλογα με τις συνθήκες εμφάνισης, μπορούμε να έχουμε διαφορετικούς τύπους διάβρωσης από ηλεκτρολύτες (διάβρωση με πλήρη ή μερική εμφάνιση, διάβρωση με διαλείπουσα έκθεση κ.λ.π.).
- *Διάβρωση από επιβολή εξωτερικού ρεύματος (Electro Corrosion ,or Corrosion by an External Current)*, όπως για παράδειγμα, η διάβρωση υπόγειων σωλήνων από ρεύματα διαφυγής.
- *Βιολογική διάβρωση (Biocorrosion or Microbiological Corrosion)*. Αναφέρεται στις περιπτώσεις υπόγειας ή θαλάσσιας διάβρωσης ,ή διάβρωσης από ηλεκτρολύτες ,που επιταχύνεται από προϊόντα που σχηματίζονται από μικροοργανισμούς ,ή ως αποτέλεσμα του μεταβολισμού τους. Είναι πολύ συνηθισμένη και στα συστήματα ανακύκλωσης νερού ψύξης.
- *Διάβρωση από γαλβανική επαφή (Contact Corrosion)*. Είναι τύπος ηλεκτροχημικής διάβρωσης, που οφείλεται στην γαλβανική επαφή, δύο ή περισσοτέρων μετάλλων με διαφορετικό ηλεκτροχημικό δυναμικό ή με το ίδιο μέταλλο, που έχει υποστεί διαφορετική επεξεργασία και έχει αναπτύξει άλλο δυναμικό.

Οι γενικές χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε διάβρωση παρουσία υγρασίας, είναι:



ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ^(3,4)

- ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
- Η ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
- ΕΝΕΡΓΗ ΟΞΥΤΗΤΑ (ph)

- ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ
- ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΕΠΑΦΗ
- ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ
- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ
- ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΟΞΥΓΟΝΟ

2.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

2.1.1. ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

- Η ομοιόμορφη διάβρωση είναι η πιο κοινή μορφή διάβρωσης. Όταν εμφανίζεται αυτό το είδος διάβρωσης η επιφάνεια του μετάλλου παρουσιάζει μια ομοιόμορφη μορφή <σφουγγαριού>. Χαρακτηρίζεται από μια χημική η ηλεκτροχημική αντίδραση που προχωρά ομοιόμορφα πέρα από την εκτεθειμένη επιφάνεια η πέρα από μια μεγάλη περιοχή. Το μέταλλο γίνεται σταδιακά λεπτότερο και τελικά αστοχεί. Η ομοιόμορφη προσβολή, είναι δυνατόν να αποφευχθεί με διάφορες μεθόδους, από τις οποίες οι πιο σημαντικές είναι:
 - Ανοδίωση
 - Χρωμάτωση
 - Καθοδική προστασία (π.χ. ανόδιο ψευδαργύρου). Παρόλα αυτά, αυτή η μορφή διάβρωσης δεν προκαλεί πολύ μεγάλη ανησυχία από την τεχνική σκοπιά, επειδή ο χρόνος ζωής του εξοπλισμού μπορεί να υπολογιστεί με σχετικά μεγάλη ακρίβεια βάσει, συγκριτικά, απλών δοκιμών.

2.1.2. ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η γαλβανική διάβρωση πραγματοποιείται μεταξύ δυο διαφορετικών μετάλλων τα οποία συνδέονται παρουσία ενός ηλεκτρολύτη. Η διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε αυτά τα δυο μέταλλα είναι η αιτία για την ροή ηλεκτρονίων από το ένα μέταλλο στο άλλο. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στην αύξηση της διάβρωσης του λιγότερο ανθεκτικού μετάλλου ενώ αντίθετα η διάβρωση στο ανθεκτικότερο υλικό μειώνεται, σε σύγκριση με την συμπεριφορά τους όταν δεν είναι σε ηλεκτρική επαφή.

έχει φτιαχτεί μια σειρά κατάταξης των δυναμικών για διάφορα μεταλλικά υλικά η οποία ονομάζεται ηλεκτρεγερτική σειρά και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα 1.

Σε αυτήν την σειρά θεωρείται ως πρότυπα δυναμικό αναφοράς το δυναμικό ιονισμού του υδρογόνου. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί πως.

Η κόλληση 2 κραμάτων αλουμινίου με τη μέθοδο brazing (ή και άλλο τύπο συγκόλλησης) παρέχει έδαφος για ανάπτυξη γαλβανικής διάβρωσης.

Πίνακας 3 Ηλεκτρεγερτική σειρά

$\text{Na}=\text{Na}^++\text{e}^-$	+2.712
$\text{Mg}=\text{Mg}^{+2}+2\text{e}^-$	+2.340
$\text{Al}=\text{Al}^{+3}+3\text{e}^-$	+1.670
$\text{Zn}=\text{Zn}^{+2}+2\text{e}^-$	+0.762
$\text{Cr}=\text{Cr}^{+3}+3\text{e}^-$	+0.710
$\text{Fe}=\text{Fe}^{+2}+2\text{e}^-$	+0.440
$\text{Ni}=\text{Ni}^{+2}+2\text{e}^-$	+0.250
$\text{Sn}=\text{Sn}^{+2}+2\text{e}^-$ - $\text{Au}=\text{Au}^++\text{e}^-$	+0.136
$\text{Pb}=\text{Pb}^{+2}+2\text{e}^-$	+0.126
$\text{H}=\text{H}^++2\text{e}^-$	0.000 Πρότυπο δυναμικό αναφοράς
$\text{Cu}=\text{Cu}^{+2}+2\text{e}^-$	-0.345
$\text{Cu}=\text{Cu}^++\text{e}^-$	-0.522
$\text{Ag}=\text{Ag}^++\text{e}^-$	-0.800
$\text{Pt}=\text{Pt}^{+2}+2\text{e}^-$	-1.200
$\text{Au}=\text{Au}^{+3}+3\text{e}^-$	-1.420
$\text{Au}=\text{Au}^++\text{e}^-$	-1.680

Πίνακας 4 Γαλβανική Σειρά σε θαλασσινό νερό

1	Μαγνήσιο	21	Μπρούντζος Μαγγανίου
2	Κράματα Μαγνησίου	22	Ναυτικός Ορείχαλκος

3	Ψευδάργυρος	23	Νίκελ
4	Γαλβανισμένος Χάλυβας	24	Inconel
5	Γαλβανισμένος Σφυρήλατος Χάλυβας	25	Κίτρινος Ορείχαλκος
6	Αλουμίνιο (52 SH, 4S, 3S, 2S, 53 S-T)	26	Ορείχαλκος Ναυαρχείου
7	Acland	27	Μπρούντζος Αλουμινίου
8	Κάδμιο	28	Χαλκός
9	Αλουμίνιο (A 17 S-T, 17 S-T, 24 S-T)	29	Μπρούντζος Πυριτίου
10	Χάλυβας Καθησυχασμένος	30	Ambrac
11	Σφυρήλατος Χάλυβας	31	70-30 Cu-Ni
12	Χυτοσίδηρος	32	(Comp. G) Μπρούντζος G
13	Ni-Resist	33	(Comp. M) Μπρούντζος M
14	13% Cr Stainless steel 410	34	Νίκελ
15	50-50 Pb-Sn	35	Inconel
16	18-8 Stainless Steel 304	36	Μονέλ
17	18-8-3 Stainless Steel 316	37	18-8 304 Stainless Steel
18	Μόλυβδος	38	18-8-3 Stainless Steel 316
19	Κασσίτερος		
20	Μέταλλο Muntg		

Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται η γαλβανική σειρά E θαλασσινό περιβάλλον. Λόγω του ότι ο πίνακας αυτός έχει κυρίως πρακτική σημασία έχουν παραληφθεί οι αριθμητικές τιμές. Η Γαλβανική ή Διμεταλλική προσβολή αποφεύγεται μόνο με αποφυγή επαφής δύο μετάλλων με διαφορά ηλεκτροθετικότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχεδιασμό της κατασκευής καθώς και χρήση μονωτικών υλικών εφόσον είναι απαραίτητο .

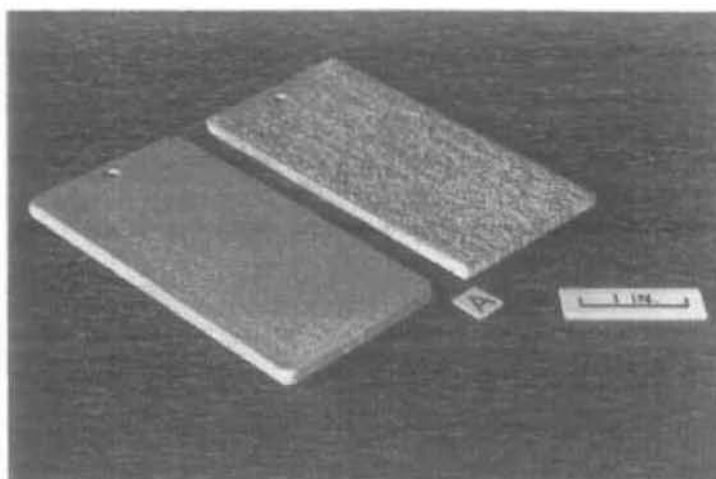
2.1.3. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΡΩΓΜΩΝ

Αυτό το είδος διάβρωσης εμφανίζεται όταν υπάρχει διαφορά στην συγκέντρωση μεταλλικών ιόντων η οξυγόνου ανάμεσα στο μέταλλο και το περιβάλλον του. Η έλλειψη οξυγόνου σε έναν ηλεκτρολύτη θα προκαλέσει ανοδικές θέσεις στο μέταλλο του οποίου η διάβρωση θα είναι ραγδαία. Αυτός ο τύπος συνδέεται συνήθως με τους μικρούς όγκους στάσιμου διαλύματος που υπάρχουν σε τρύπες η σε σχισμές στην επιφάνεια του μετάλλου, στις ενώσεις ελασμάτων, κάτω από επικαθίσεις ξένων σωμάτων, και στις σχισμές κάτω από τα κεφάλια κοχλιών και ήλων.

2.1.4. ΤΡΗΜΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η τρημματική διάβρωση, αποτελεί μια μορφή επιταχυνόμενης χημικής προσβολής στην οποία το ποσοστό διάβρωσης έχει μεγαλύτερη τιμή σε συγκεκριμένες περιοχές του μετάλλου από ότι σε άλλες. Αυτό το είδος της διάβρωσης έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται οπές (τρήματα ή pits). Το μέγεθος αυτών των οπών ποικίλει, μπορούν να είναι αρκετά μικρές σε σημείο που να γίνονται δυσδιάκριτες ακόμα και με χρήση οπτικών μέσων ή να έχουν αρκετά μεγάλο μέγεθος ώστε να μπορούν να παρατηρηθούν ακόμα και με γυμνό μάτι. Η πλειονότητα όμως των περιπτώσεων που παρουσιάζονται είναι σχετικά μικρές. Η τρημματική διάβρωση εμφανίζεται όταν το διαβρωτικό περιβάλλον διαπερνά το παθητικό στρώμα του μετάλλου μόνο σε μερικές περιοχές σε αντιδιαστολή με την γενική επιφάνεια. Ανάλογα με τις συνθήκες αυτού του διαβρωτικού περιβάλλοντος τα διαβρωτικά τρήματα απαιτούν και τον ανάλογο χρόνο για να εμφανιστούν. Αλογονούχα όπως τα χλωρίδια (το κύριο συστατικό του κοινού αλατιού), φθορίδια κ.τ.λ διεγείρουν την τρημματική διάβρωση. Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι η τρημματική διάβρωση είναι μια γαλβανική διάβρωση, δεδομένου ότι η μικρή ενεργός περιοχή διαβρώνεται από την μεγάλη παθητικοποιημένη περιοχή. Αυτή η διαφορά στις σχετικές περιοχές επιταχύνει την διάβρωση αναγκάζοντας τις οπές να γίνουν βαθύτερες. Ο ηλεκτρολύτης γεμίζει τις

οπές και αποτρέπει το οξυγόνο από την παθητικοποίηση του ενεργού μετάλλου με συνέπεια την μεγιστοποίηση του προβλήματος.



Εικόνα 9 PITTING CORROSION εμφάνιση τρηματικής διάβρωσης σε φύλλο αλουμινίου.

2.1.5. ΠΕΡΙΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Το μεγαλύτερο ποσοστό των μεταλλικών υλικών διαβρώνεται ομοιόμορφα, παρόλα αυτά κάτω από την επίδραση συγκεκριμένων συνθηκών οι διεπιφάνειες των κρυστάλλων γίνονται πολύ δραστικές με αποτέλεσμα την εμφάνιση περικρυσταλλικής διάβρωσης σε αυτές τις περιοχές. Συμβαίνει στα όρια των κόκκων του μετάλλου και οφείλεται στην ηλεκτροχημική προσβολή σωματιδίων κατακρημνίσεων (precipitations) στα όρια των κόκκων. Η τοπική διάβρωση πάνω και δίπλα στα όρια των κρυστάλλων, με σχετικά μικρή διάβρωση των κρυστάλλων, καλείται περικρυσταλλική διάβρωση.

2.1.6. ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΗΣ

Αυτό το είδος διάβρωσης εμφανίζεται κυρίως σε σωληνώσεις και οφείλεται στο γεγονός ότι η ταχύτητα των υγρών αποτρέπει την διαμόρφωση προστατευτικού παθητικού στρώματος οξειδίων από την επιφάνεια μετάλλων. Τα σωματίδια των υγρών αφαιρούν επίσης τμήμα από το παθητικοποιημένο στρώμα αυξάνοντας την γαλβανική δράση. Συνεπώς η διάβρωση πρόσκρουσης αποτελεί μια επιταχυνόμενη προσβολή ως αποτέλεσμα του συνδυασμού μηχανικής φθοράς και χημικής διαδικασίας.

2.1.7. ΕΡΓΟΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η εργοδιάβρωση (stress corrosion cracking (SCC)) εμφανίζεται όταν συνυπάρχει στατική εφελκυστική τάση σε συνδυασμό με διαβρωτικό περιβάλλον και είναι χαρακτηριστική για κάθε μέταλλο. Κατά την διάρκεια της εργοδιάβρωσης το μέταλλο ή το κράμα είναι φαινομενικά απρόσβλητο στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειάς του, ενώ λεπτά ρήγματα εξελίσσονται κάτω από αυτήν.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΙΔΟΣ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ^(3,4)

- *Διάβρωση από αέρια (Gaseous Corrosion)*. Είναι η διάβρωση των μετάλλων με πλήρη απουσία υγρασίας στην επιφάνειά τους. Συνήθως αναφέρεται στην περίπτωση διάβρωσης μετάλλων σε υψηλές θερμοκρασίες από αέρια.
- *Διάβρωση από μη ηλεκτρολύτες (Corrosion in nonelectrolytes)*. Αναφέρεται στην δράση οργανικών ουσιών με μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- *Διάβρωση από ηλεκτρολύτες (Corrosion in electrolytes)*. Είναι ένας διαδεδομένος τύπος διάβρωσης, που περιλαμβάνει την δράση του φυσικού ύδατος και την δράση των περισσοτέρων υδατικών διαλυμάτων σε μεταλλικές κατασκευές. Σε εξάρτηση από την χημική φύση του μέσου, μπορεί να είναι όξινη, αλκαλική, ή θαλάσσια διάβρωση. Επίσης ανάλογα με τις συνθήκες εμπάπτισης, μπορούμε να έχουμε διαφορετικούς τύπους διάβρωσης από ηλεκτρολύτες (διάβρωση με πλήρη ή μερική εμπάπτιση, διάβρωση με διαλείπουσα έκθεση κ.λ.π.).
- *Διάβρωση από επιβολή εξωτερικού ρεύματος (Electro Corrosion, or Corrosion by an External Current)*, όπως για παράδειγμα, η διάβρωση υπόγειων σωλήνων από ρεύματα διαφυγής.
- *Βιολογική διάβρωση (Biocorrosion or Microbiological Corrosion)*. Αναφέρεται στις περιπτώσεις υπόγειας ή θαλάσσιας διάβρωσης, ή διάβρωσης από ηλεκτρολύτες, που επιταχύνεται από προϊόντα που σχηματίζονται από μικροοργανισμούς, ή ως αποτέλεσμα του μεταβολισμού τους. Είναι πολύ συνηθισμένη και στα συστήματα ανακύκλωσης νερού ψύξης.
- *Διάβρωση από γαλβανική επαφή (Contact Corrosion)*. Είναι τύπος ηλεκτροχημικής διάβρωσης, που οφείλεται στην γαλβανική επαφή, δύο ή περισσοτέρων μετάλλων με διαφορετικό ηλεκτροχημικό δυναμικό ή με το ίδιο μέταλλο, που έχει υποστεί διαφορετική επεξεργασία και έχει αναπτύξει άλλο δυναμικό.

ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ ΟΦΕΙΛΟΜΕΝΑ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

Το αλουμίνιο εξαιτίας του χαμηλού του κόστους αλλά και όλων αυτών των εξαιρετικών χαρακτηριστικών που το διέπουν γρήγορα απέκτησε εξέχουσα θέση στον τομέα των κατασκευών αλλά και των μεταφορών. Πολυόροφα κτίρια, αεροπλάνα ακόμα και αυτοκίνητα εμπεριέχουν αυτό το πολύτιμο μέταλλο στην δομή τους. Δυστυχώς όμως η μη έγκαιρη αντιμετώπιση του φαινομένου της διάβρωσης έχει αποβεί μοιραία στο παρελθόν. Υπάρχει πληθώρα αναφορών σε ατυχήματα που έχουν συμβεί και οφείλονται σε αυτό το φαινόμενο, κάποια από αυτά ήταν ανώδυνα έχοντας ως μόνη συνέπεια το οικονομικό κόστος της όποιας καταστροφής, ενώ κάποια άλλα χαρακτηρίστηκαν από ανθρώπινες απώλειες. Οι εικόνες που ακολουθούν, αν και λίγο τρομακτικές, απεικονίζουν το μέγεθος της καταστροφής που μπορεί να επέλθει από την μη έγκαιρη διάγνωση της διάβρωσης και γεμίζουν με ευθύνες ανθρώπους που ασχολούνται με την σχεδίαση αλλά και την συντήρηση μεταλλικών κατασκευών.



Εικόνα 9 Αεροπορικό ατύχημα: αεροσκάφος κατέπεσε σε περιοχή του Ατλαντικού. Η πτώση οφείλεται στην εμφάνιση διάβρωσης στο ένα φτερό.^[21]



Εικόνα 10 Η διάβρωση "χτύπησε" αυτή τη γέφυρα στις Η.Π.Α ^[20]



Εικόνα 11 Ίσως το πιο διάσημο ατύχημα που οφείλεται στην διάβρωση. Όσο απίθανο και αν φαίνεται το αεροσκάφος διένυσε πολλά μίλια πάνω απο τον Ειρηνικό Ωκεανό σε αυτήν την κατάσταση, προσγειώθηκε και οι επιβάτες γλίτωσαν με μικροτραυματισμούς. ^[21]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΕΝΑΡΞΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

3.1. Προετοιμασία δοκιμίων



Εικόνα 12 Το υλικό μας στην αρχική του κατάσταση (συμπαγής κύλινδρος)

Όπως έχει προαναφερθεί, στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε κράμα αλουμινίου 6061. Το αρχικό υλικό είχε την μορφή συμπαγούς κυλίνδρου από τον οποίο με κατάλληλη διαδικασία κοπής προέκυψαν όμοια κυλινδρικά τεμάχια. Στην ανωτέρω εικόνα παρουσιάζεται η αρχική μορφή του υλικού.

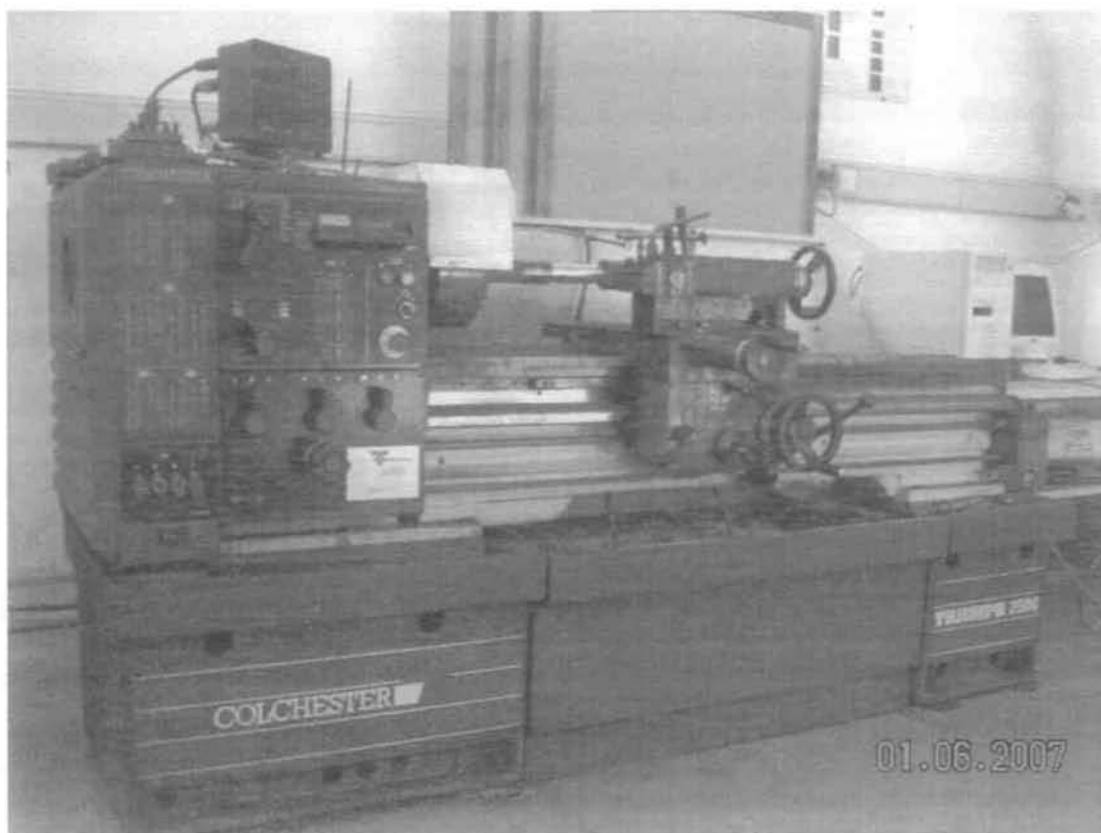
Έπειτα, το κάθε τεμάχιο υποβλήθηκε σε κατεργασία τόννευσης με πέντε διαφορετικές συνθήκες τόννευσης έτσι ώστε να προκύψουν πέντε διαφορετικές επιφάνειες. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν εγκάρσιας κοπής διατηρώντας παράλληλα σταθερή ταχύτητα κοπής. Οι συνθήκες τόννευσης για κάθε κατηγορία επιφανείας, συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5 Συνθήκες τόννευσης.

Κατηγορία Επιφάνειας	ΤΕΜΑΧΙΑ	Συνθήκες Κοπής:		
		Βάθος κοπής	Πρόωση	Αρχικές στροφές
1	2	0.5 mm	0.15 mm/rev	414
2	2	0.5 mm	0.55 mm/rev	414
3	2	0.5 mm	0.0025 mm/rev	414
4	2	0.5 mm	0.10 mm/rev	105
5	2	0.5 mm	0.3 mm/rev	414

Ο τόννος που χρησιμοποιήθηκε στην εν λόγω κατεργασία ήταν αγγλικής κατασκευής, τύπου COLCHESTER και με τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά:

- α) Μέγιστο μήκος κατεργασίας 1100 mm
- β) Μέγιστη διάμετρο κατεργασίας κομματιού 200 mm
- γ) Εύρος στροφών 15-2500



Εικόνα 12 Τόρνος τύπου COLCHESTER

Για την δοκιμή των διαδοχικών εμβαπτίσεων χρησιμοποιήθηκαν έξι δοκίμια για καθεμία από τις πέντε διαφορετικές επιφάνειες που προέκυψαν, δηλαδή συνολικά τριάντα δοκίμια, ενώ δύο δοκίμια ανά επιφάνεια παρέμεναν εκτός πειραματικής διαδικασίας ως δοκίμια ασφαλείας σε περίπτωση αστοχίας ή λάθους κατά την πειραματική διαδικασία.

Για να μπορέσουμε να επιτύχουμε την ανάρτηση των δοκιμίων από σταθερή βάση και συνεπώς να είναι πιο εύκολη η εμβάπτιση εντός των διαβρωτικών διαλυμάτων προχωρήσαμε σε διάτρηση του κάθε δοκιμίου κάνοντας χρήση του δραπάνου που βρίσκεται στο μηχανουργείο. Ο τύπος του δραπάνου αυτού είναι IBARMIA 1B-35-P, και είναι ισπανικής κατασκευής, επίσης διαθέτει τραπέζι X , Y καθώς και μία μέγγενη που χρησίμευσε στην στήριξη των δοκιμίων.



Εικόνα 13 Κάθετο δράπανο τύπου IBARMIA 1B-35-P

Η μορφή των δοκιμίων πριν από την διάτρηση απεικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 14 Τελική μορφή δοκιμίου πριν από την διάτρηση.

3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

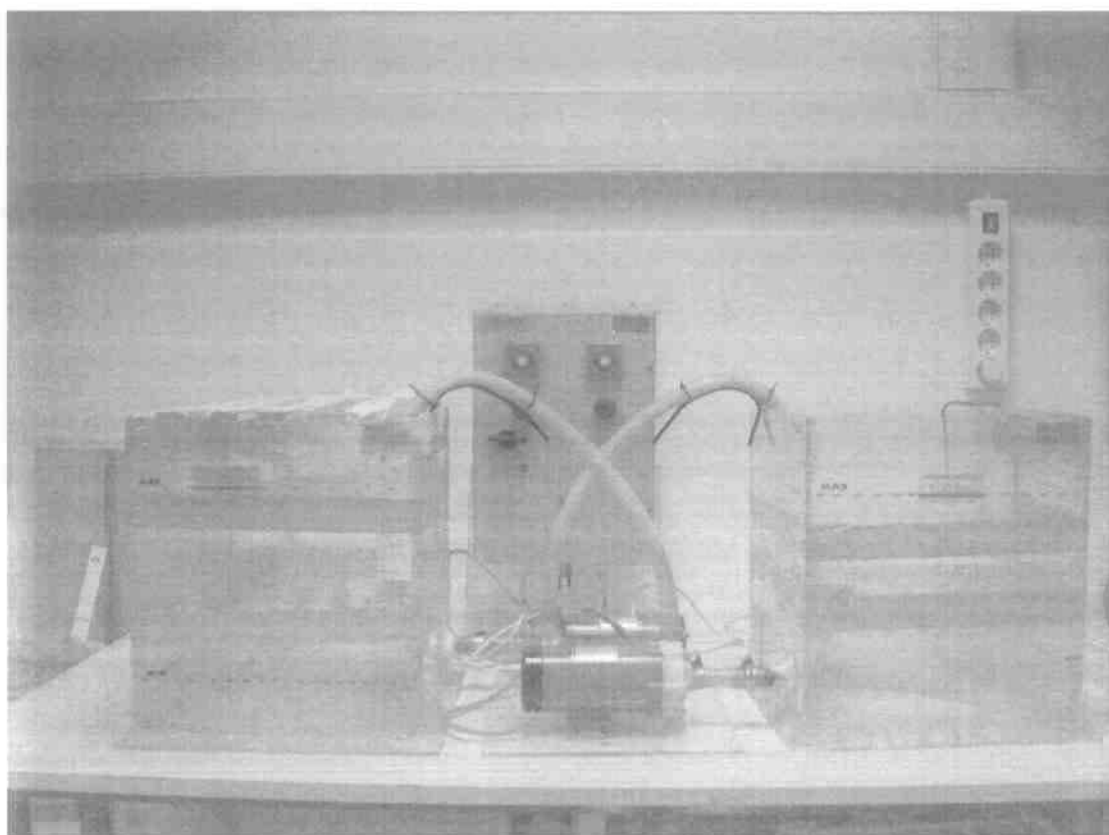
Η πειραματική διαδικασία των διαδοχικών εμβαπτίσεων πραγματοποιείται για τον προσδιορισμό στη διάβρωση των μεταλλικών και κραματικών υλικών.

Βασικό πλεονέκτημα της διαδικασίας αυτής είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα να προσομοιαστεί οποιοδήποτε πραγματικό διαβρωτικό περιβάλλον και ότι ελέγχεται σε πρακτικά ελάχιστο χρόνο η αντίσταση στην διάβρωση. Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε έλεγχος της αντίστασης στην διάβρωση του κράματος αλουμινίου 6061 σε θαλάσσιο περιβάλλον.

Η εν λόγω πειραματική διαδικασία όπως κατέστη σαφές αποτελεί μία επιταχυνόμενη διαδικασία διάβρωσης η οποία είναι συνεχής και αποτελείται από επαναλαμβανόμενους κύκλους διάρκειας μίας ώρας. Ο καταμερισμός του χρόνου κατά τον οποίο τα δοκίμια είναι εντός ή εκτός του διαβρωτικού διαλύματος (3.5% NaCl) ακολουθεί την αναλογική σχέση που υπαγορεύει πως για μια περίοδο 10 λεπτών, κατά την οποία τα δοκίμια είναι εμβαπτισμένα, αντιστοιχεί μία περίοδος 50 λεπτών κατά την οποία τα δοκίμια αφήνονται να στεγνώσουν στον ατμοσφαιρικό αέρα. Είναι φυσικό λοιπόν στις προδιαγραφές του πειράματος να υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για την θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, η τιμή της οποίας πρέπει να είναι στους 25°C με μια απόκλιση όχι μεγαλύτερη των τριών μονάδων. Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας αλλά και του pH του οποίου η τιμή έχει σαν περιορισμό να κυμαίνεται μεταξύ του 6.4 και 7.2 χρησιμοποιούταν καθημερινά όργανο το οποίο παρείχε με ακρίβεια αυτές τις τιμές.

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από δύο δεξαμενές χωρητικότητας 30 λίτρων η κάθε μία. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένες είναι το πλεξιγκλάς, κάτι το οποίο εξασφαλίζει το ότι δεν θα δημιουργούν οι ίδιες προϊόντα διάβρωσης τα οποία να είναι ικανά να επηρεάσουν το πείραμα. Στην προσπάθεια μεταφοράς του διαβρωτικού διαλύματος από την μια δεξαμενή στην άλλη υπάρχουν δύο αντλίες τύπου IWAKI Magnet pump. Στον ηλεκτρολογικό πίνακα υπάρχουν δύο χρονοδιακόπτες που ελέγχουν την λειτουργία των αντλιών. Σε καθεμία δεξαμενή υπάρχουν αισθητήρες που διακόπτουν την λειτουργία της αντλίας που αδειάζει την δεξαμενή όταν το διάλυμα φτάσει σε μία ελάχιστη στάθμη έτσι ώστε να μην εισέρχεται αέρας στην αντλία και να μην υπερχειλίζει η άλλη δεξαμενή.

Τα δοκίμια συγκρατούνται στην μία δεξαμενή με μη μεταλλικά στηρίγματα τα οποία δένονται σε πλαστικές ράβδους που στηρίζονται στην κορυφή της δεξαμενής. Αυτός ο τρόπος συγκράτησης εξασφαλίζει καταρχήν την ροή του αέρα με αποτέλεσμα να μην παραμένουν σταγονίδια διαβρωτικού διαλύματος στα δοκίμια και έτσι αυτά να στεγνώσουν το γρηγορότερο δυνατό. Επιπλέον αποφεύγεται η επαφή των δοκιμίων τόσο μεταξύ τους όσο και με τα τοιχώματα της δεξαμενής. Στην εικόνα απεικονίζεται η δεξαμενή, οι αντλίες καθώς και ο ηλεκτρολογικός πίνακας.



Εικόνα 15 Δεξαμενή, Αντλίες, Ηλεκτρολογικός Πίνακας

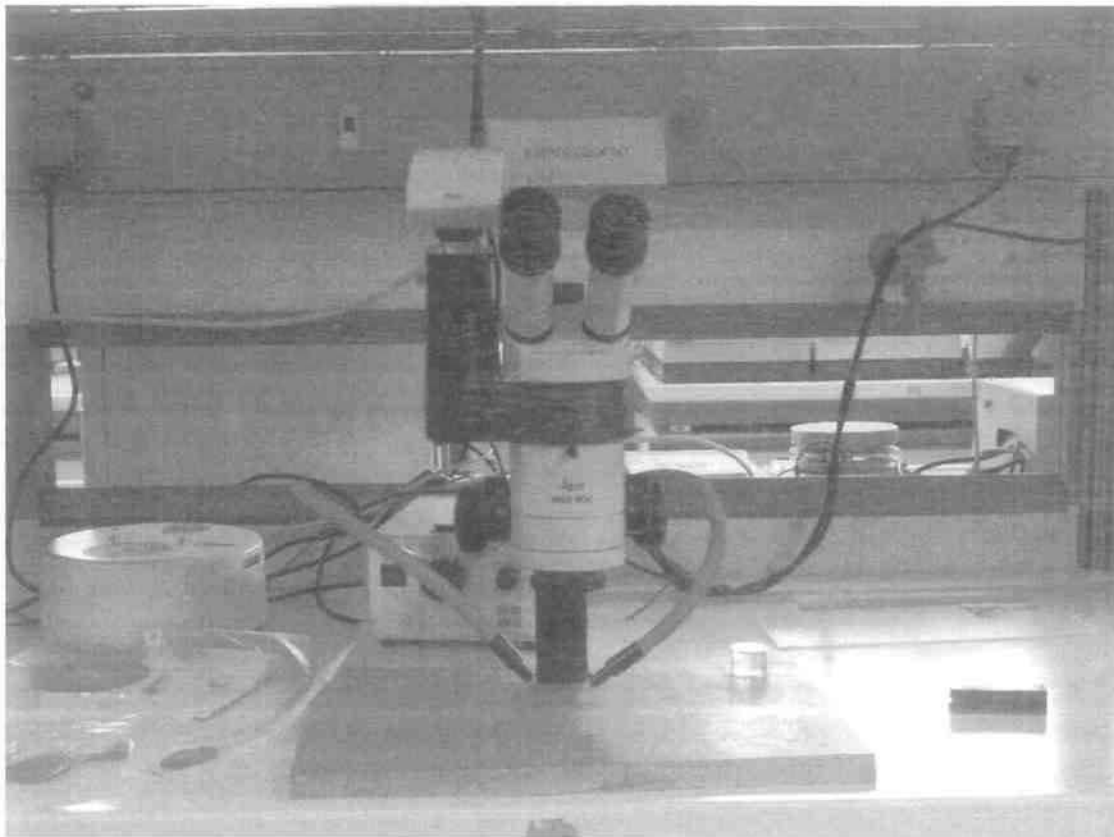
Προς διευκόλυνσή μας, πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας ταξινομήσαμε και κωδικοποιήσαμε τα δοκίμια ανάλογα με την κατεργασία που εφαρμόστηκε πάνω στην επιφάνεια τους αλλά και τον χρόνο της έκθεσής τους στις διαβρωτικές συνθήκες. Η κάθε στήλη αντιστοιχεί και σε ένα είδος διαφορετικής κατεργασίας, ενώ η κάθε γραμμή στις μέρες που παρέμειναν τα συγκεκριμένα δοκίμια εντός διαβρωτικού περιβάλλοντος.

Πίνακας 6

1	2	3	4	5	Διάρκεια πειραματικής διαδικασίας (σε μέρες)
1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	15
1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	30
1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	45
1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	60
1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	75
1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Στην προσπάθειά μας να απεικονίσουμε τις επιφάνειες των δοκιμίων χρησιμοποιήσαμε το στερεοσκόπιο που φαίνεται στην εικόνα, το οποίο είναι συμβατό με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή. Ο συνδυασμός των δύο αυτών συσκευών μας επιτρέπει να μπορούμε να παρουσιάζουμε στερεοσκοπίες της επιφάνειας των δοκιμίων στην παρούσα διπλωματική.



Εικόνα 16 Στερεοσκόπιο με προσαρμοσμένη ψηφιακή μηχανή

4.1. ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.

Πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκαν τραχυμετρήσεις στα δοκίμια αναφοράς κάθε διαφορετικής επιφάνειας. Τραχυμετρήσεις έγιναν επίσης και σε όλα τα δοκίμια με το πέρας των ημερών που έπρεπε να μείνουν στο διαβρωτικό περιβάλλον. Το όργανο που έκανε αυτές τις τραχυμετρήσεις ήταν συνδεδεμένο με ηλεκτρονικό υπολογιστή, στον οποίο ήταν εγκατεστημένο λογισμικό που μπορεί να επεξεργάζεται τα διαγράμματα της τραχύτητας και να μας δίνει ακριβείς τιμές για συγκεκριμένες παραμέτρους που μας ενδιαφέρουν.

Οι παράμετροι που έχουν χρησιμότητα στο δικό μας πείραμα είναι οι $Ra(\mu m)$, $Rt(\mu m)$, $Rz(\mu m)$.

Συγκεκριμένα:

Ra:arithmetic average height (μm)

Είναι παγκοσμίως η περισσότερο δημοφιλής ποιοτική παράμετρος, κάτι που οφείλεται και στην ευκολία με την οποία γίνεται ο υπολογισμός της. Η αριθμητική της τιμή δίνεται από τον τύπο:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

Rt:maximum height of the profile(μm)

Η παράμετρος αυτή, που συχνά συναντάται και ως R_{max} , ορίζεται ως η απόσταση ανάμεσα στην υψηλότερη κορυφή πάνω από την "mean line" και στην υψηλότερη κάτω από αυτή. Η αριθμητική της τιμή δίνεται από τον τύπο:

$R_{max}=R_p+R_v$ (R_p :υψηλότερη κορυφή πάνω από την "mean line", R_v :υψηλότερη κορυφή κάτω απο την "mean line")

Rz:ten-point height (μm)

Σύμφωνα με το διεθνές σύστημα πιστοποιήσεων ISO, η παράμετρος αυτή ορίζεται ως η διαφορά στο ύψος ανάμεσα στις πέντε υψηλότερες κορυφές πάνω από την "mean line" και στις πέντε υψηλότερες κάτω από αυτήν. Η αριθμητική της τιμή δίνεται από τον τύπο:

$$R_{z(ISO)} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n v_i \right)$$

Rsk:skewness

Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται ως μέτρο σύγκρισης της συμμετρίας του προφίλ.

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \int_{-\infty}^{\infty} y^3 p(y) dy$$

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} \left(\sum_{i=1}^N Y_i^3 \right)$$

Rku:kurtosis

Η παράμετρος της κύρτωσης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \int_{-\infty}^{\infty} y^4 p(y) dy$$

$$R_{ku} = \frac{1}{NR_q^4} \left(\sum_{i=1}^N Y_i^4 \right)$$

4.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΟΥ ΕΙΧΑΝ ΥΠΟΒΛΗΘΕΙ ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ (1^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ)

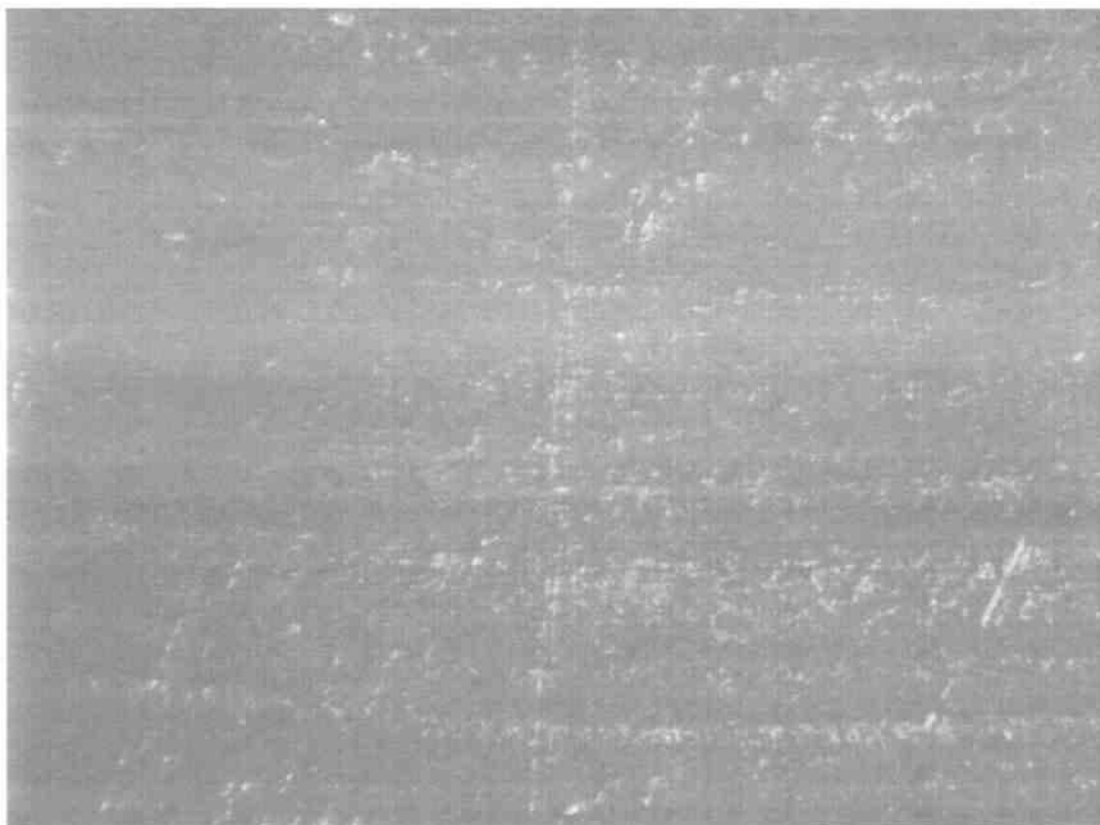
1η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι τιμές του βάθους κοπής, της πρόωσης καθώς και των αρχικών στροφών που δόθηκαν κατά την τόνρευση της πρώτης επιφάνειας δοκιμίων.

Πίνακας 7 Συνθήκες τόνρευσης για την επιφάνεια 1.

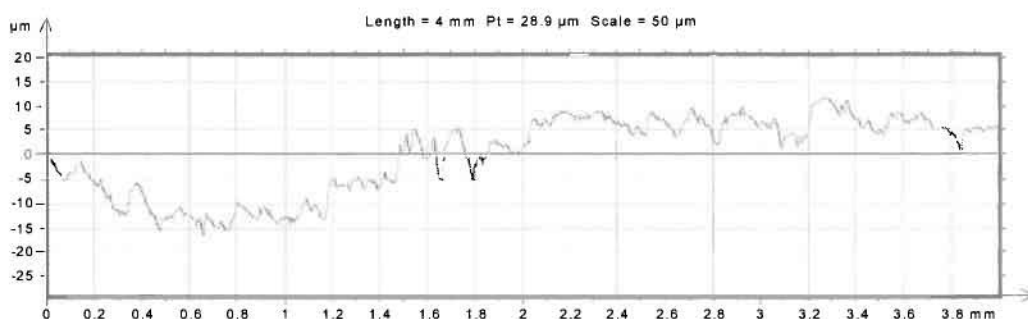
Κατηγορία Επιφάνειας	TEMAXIA	Συνθήκες Κοπής:		
		Βάθος κοπής	Πρόωση	Αρχικές στροφές
1	2	0.5 mm	0.30 mm/rev	414

Της έναρξης της πειραματικής διαδικασίας προηγήθηκαν στερεοσκοπίες των δοκιμίων αναφοράς. Η στερεοσκοπία της πρώτης κατηγορίας επιφάνειας ακολουθεί στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 17 Στερεοσκοπία δοκιμίου αναφοράς 1ης επιφάνειας 40x.

Επίσης έλαβαν χώρα τραχυμετρήσεις, έτσι ώστε να μπορούμε να έχουμε σαφή εικόνα για την τραχύτητα και την διαφοροποίησή της κατά τη διάρκεια του πειράματος. Το διάγραμμα της τραχυμέτρησης που έγινε στο δοκίμιο αναφοράς που ανήκει πρώτη κατηγορία επιφάνειας έχει την ακόλουθη μορφή:

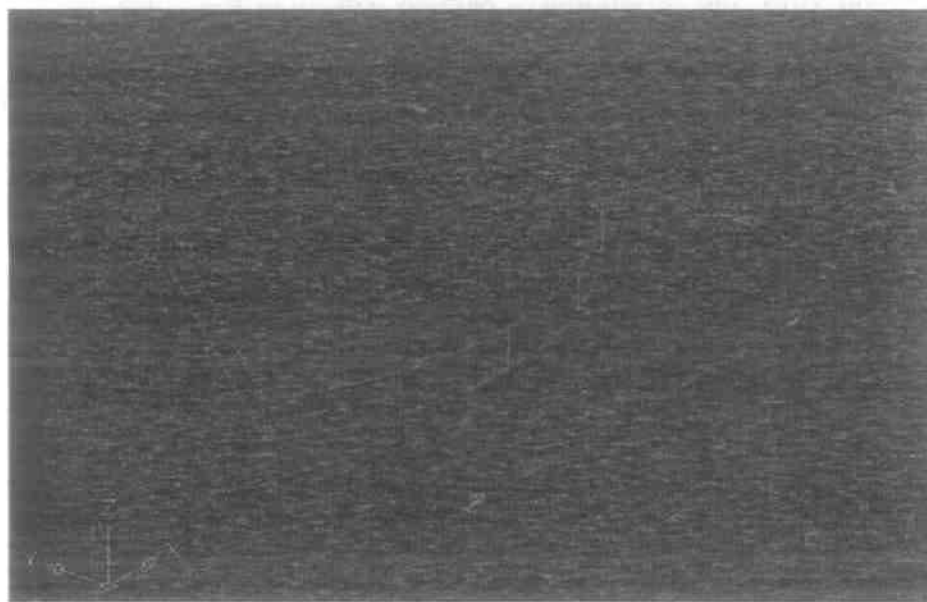


Εικόνα 18 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου αναφοράς πρώτης επιφάνειας κατεργασίας.

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να πάρουμε ακριβείς τιμές για συγκεκριμένες παραμέτρους.

Πίνακας 7 Παράμετροι τραχύτητας δοκιμίου αναφοράς 1^{ης} επιφάνειας.

	Ra (μm)	Rt (μm)	Rz (μm)	Sm (μm)	Rsk	Rku
Δοκίμιο αναφοράς 1ης επιφάνειας	1.61	12.7	9.25	0.148	0.00623	3.5

ΔΟΚΙΜΙΟ 1.1**Εικόνα 19** ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.1

Έχει ήδη αναφερθεί πως η κάθε διαφορετική επιφάνεια συμμετείχε με έξι διαφορετικά δοκίμια στο πείραμα. Έτσι ώστε με την περάτωση του πειράματος να μπορούμε να υπολογίσουμε την επίδραση της διάβρωσης στην μεταβολή του βάρους των δοκιμίων είναι προφανής η ανάγκη για μέτρηση του τελευταίου στην αρχή αλλά και στο τέλος της διαδικασίας για κάθε δοκίμιο ξεχωριστά. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές αυτές.

Πίνακας 8 Αρχικά βάρη δοκιμίων 1^{ης} επιφάνειας.

ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0 (ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)
1.1	14.28
1.2	17.16
1.3	19
1.4	16.52
1.5	26.22
1.6	17.57

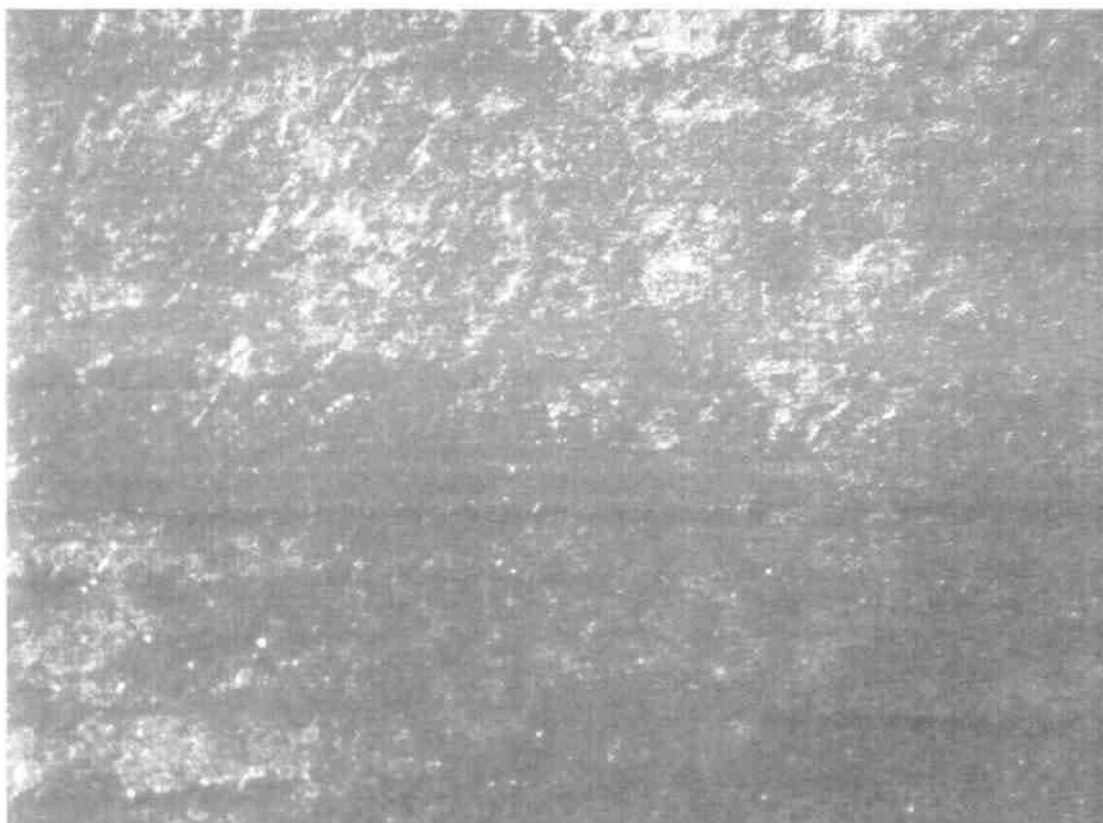
Η αλληλουχία των ενεργειών έπειτα από την ζύγιση είναι α) έναρξη πειραματικής διαδικασίας β) ανάλογα με τον αριθμό των ημερών που θα περάσουν, απομάκρυνση του δοκιμίου από την πειραματική διάταξη και συνεπώς από το διαβρωτικό περιβάλλον γ) καθαρισμός του δοκιμίου με χρήση διαλύματος νιτρικού οξέως 5% κ.β. δ) ζύγιση και υπολογισμός της ποσοστιαίας μεταβολής του βάρους του κάθε δοκιμίου ε) στερεοσκοπία του δοκιμίου.

Το πρώτο δοκίμιο που ολοκλήρωσε την πειραματική διαδικασία από τη πρώτη κατεργασμένη επιφάνεια ήταν το 1.1 αφού παρέμεινε σε συνθήκες διάβρωσης για το διάστημα των 15 ημερών. Η διαφορά στις ζυγίσεις μας έδωσε μία ποσοστιαία μεταβολή του βάρους με τιμή 0.21%.

Πίνακας 9

ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0 (ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
1.1	14.28	14.25	0.21%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.1 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 20 Στερεοσκοπία δοκιμίου 1.1 40x. (Εμφάνιση διαβρωτικών τρημάτων).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 1.1 μετά από 15 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

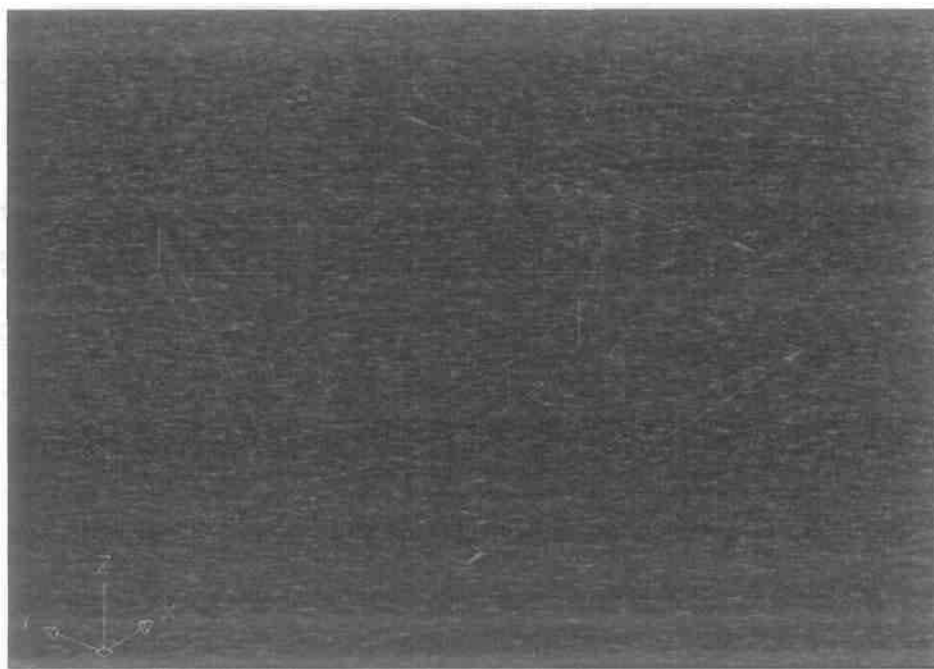


Εικόνα 21 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 1.1

Συνοπτικά για το δοκίμιο 1.1 έχουμε:

Πίνακας 20

Αριθμός τεμαχίου	1.1
Αρχικό βάρος(gr)	14.28
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	15
Τελικό βάρος(gr)	14.25
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.21%
Αριθμός pits	44
Ra(μm)	1.86
Rt(μm)	13.9
Rz(μm)	11.3
Sm(μm)	0.131
Rsk	-0.457
Rku	3.54

ΔΟΚΙΜΙΟ 1.2**Εικόνα 22** ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.2

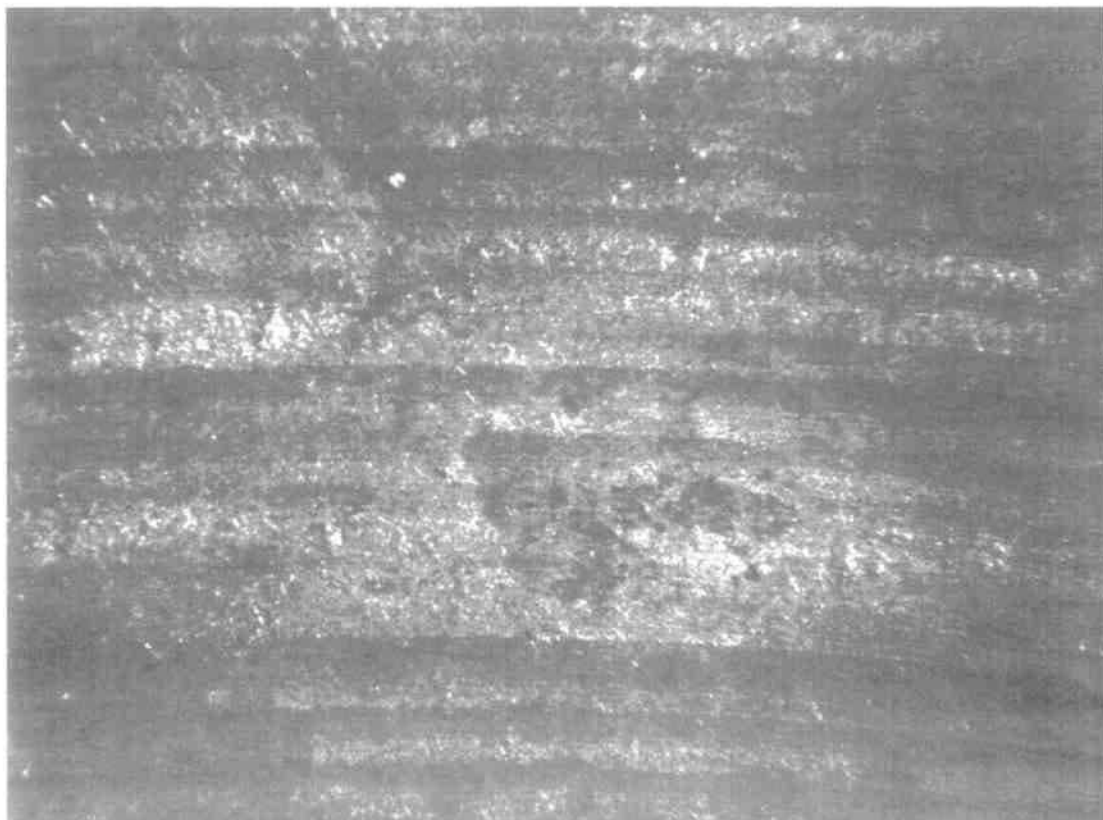
Το δοκίμιο 1.2 είναι το δεύτερο της πρώτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 30 ημερών.

Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 11

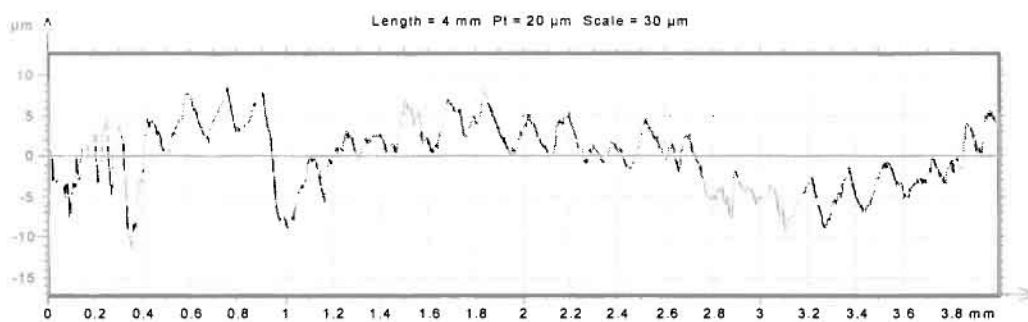
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0 (ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
1.2	17.16	17.13	0.17%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.2 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 23 Στερεοσκοπία δοκιμίου 1.2 40x. (διαβρωτικά τρήματα).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 1.2 μετά από 30 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



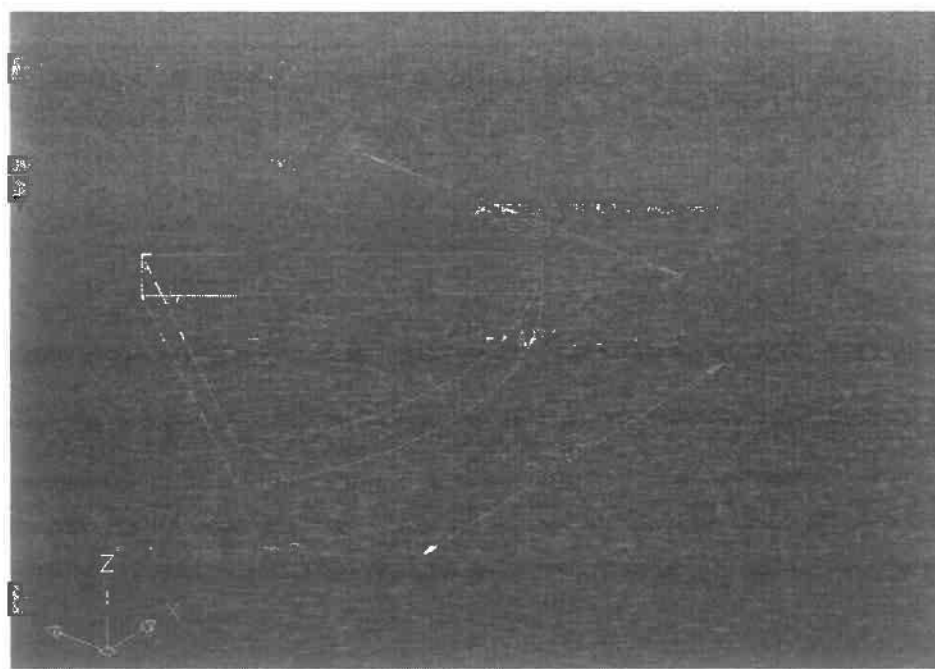
Εικόνα 24 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 1.2

Συνοπτικά για το δοκίμιο 1.2 έχουμε:

Πίνακας 11

Αριθμός τεμαχίου	1.2
Αρχικό βάρος(gr)	17.16
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	30
Τελικό βάρος(gr)	17.13
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.17%
Αριθμός pits	80
Ra(μm)	1.88
Rt(μm)	15.4
Rz(μm)	9.96
Sm(μm)	0.148
Rsk	-0.45
Rku	5.35

ΔΟΚΙΜΙΟ 1.3



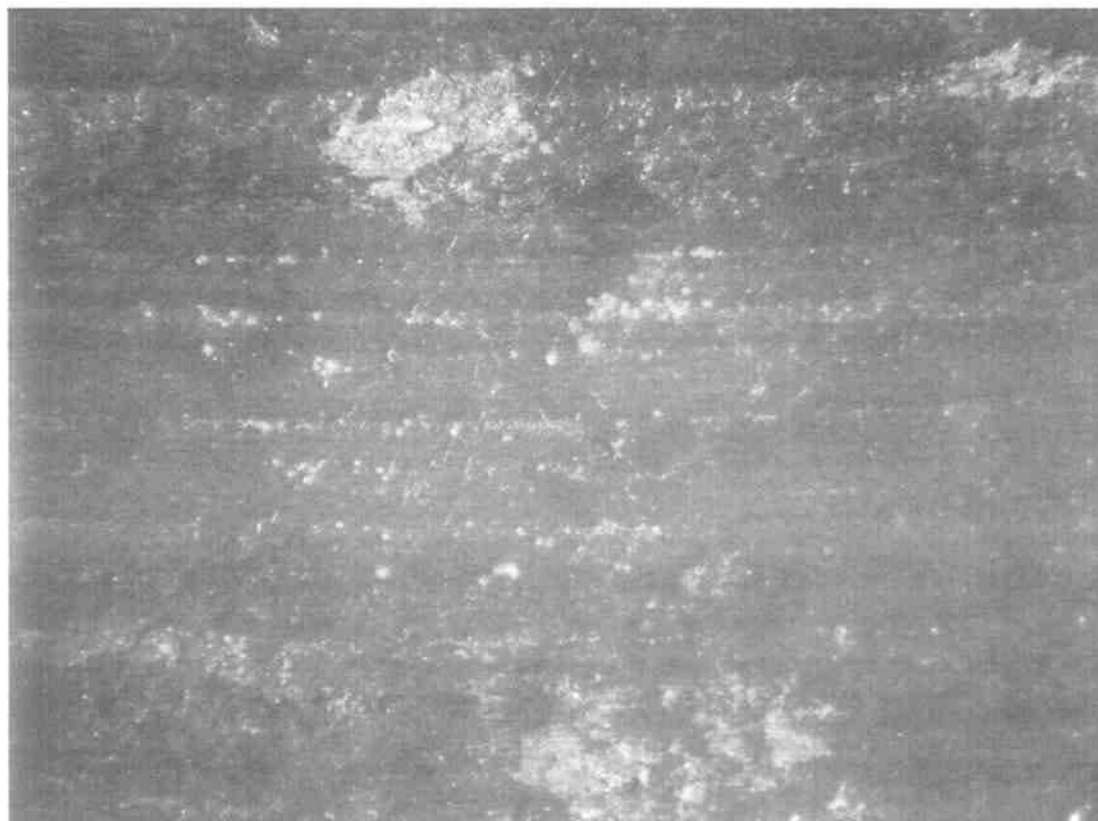
Εικόνα 25 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.3

Το δοκίμιο 1.3 είναι το τρίτο της πρώτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 45 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 12

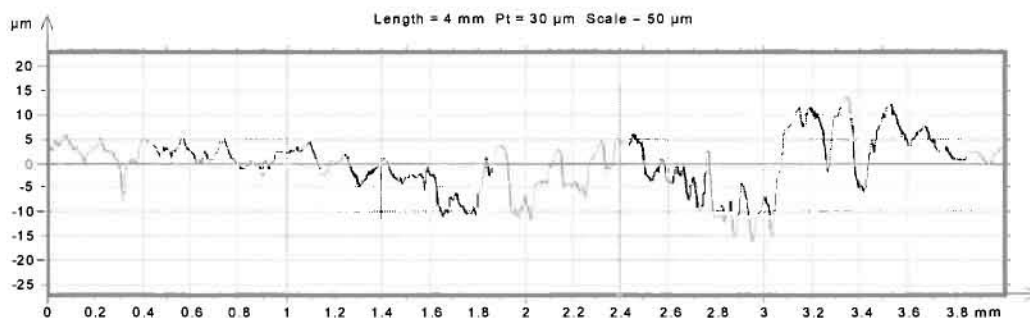
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0 (ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
1.3	19	18.97	0.15%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.3 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί:



Εικόνα 26 Στερεοσκοπία δοκιμίου 1.3 40x.

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 1.3 μετά από 45 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

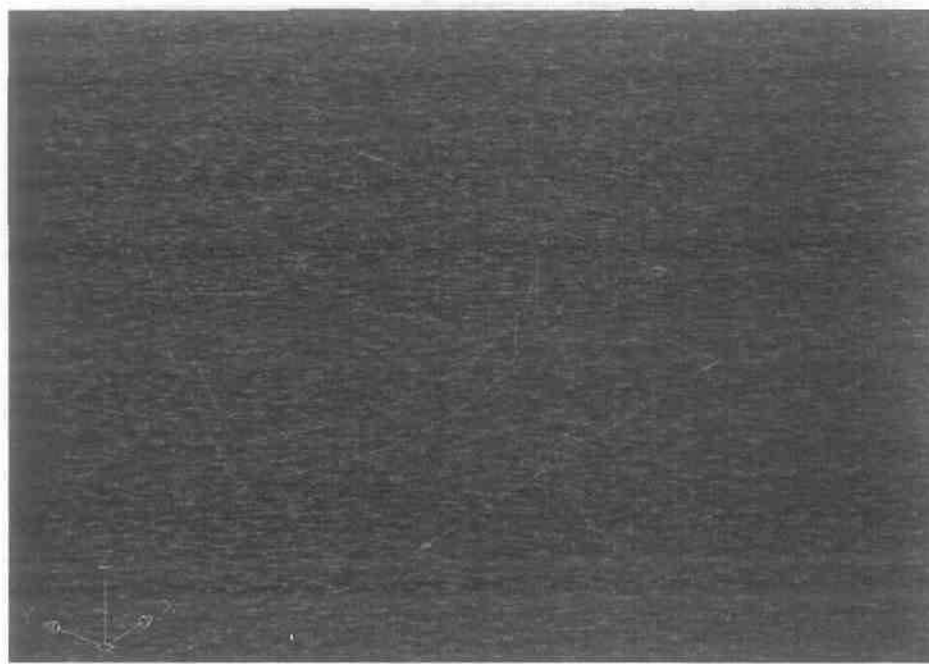


Εικόνα 27 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 1.3

Συνοπτικά για το δοκίμιο 1.3 έχουμε:

Πίνακας 13

Αριθμός τεμαχίου	1.3
Αρχικό βάρος(gr)	19
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	45
Τελικό βάρος(gr)	18.97
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.15%
Αριθμός pits	101
Ra(μm)	2.36
Rt(μm)	22
Rz(μm)	13.4
Sm(μm)	0.157
Rsk	0.344
Rku	3.71

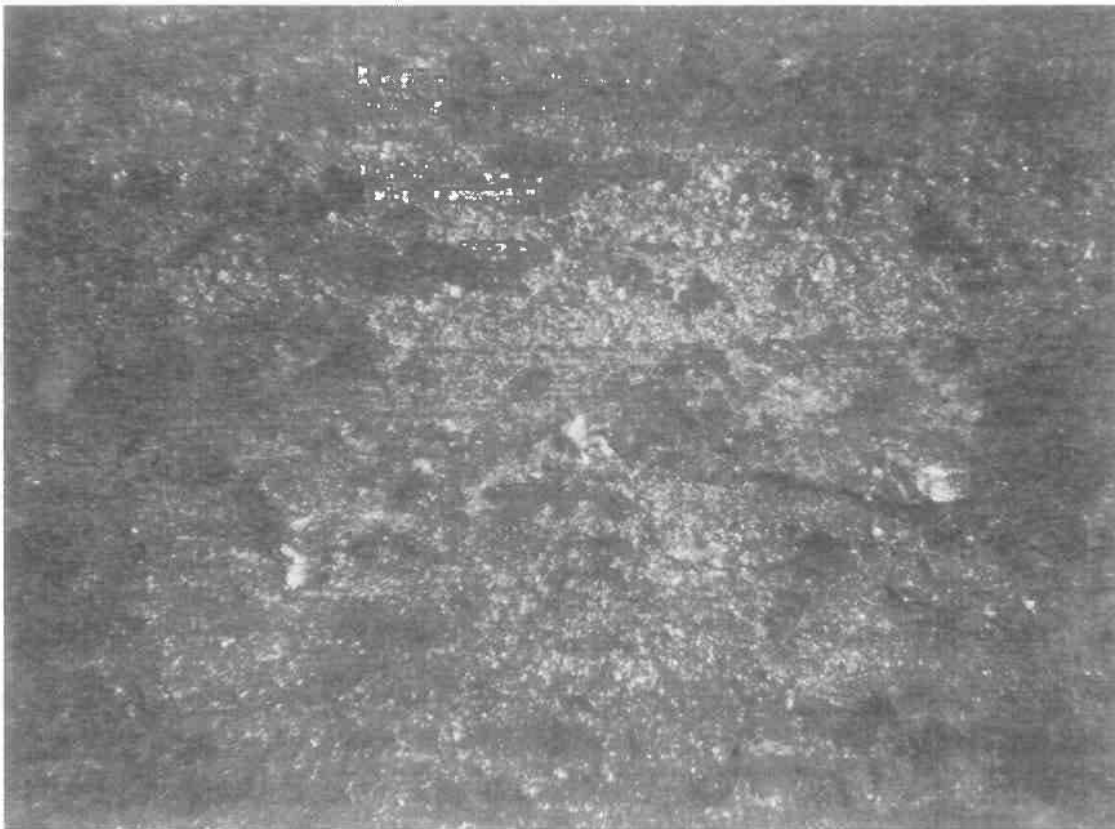
ΔΟΚΙΜΙΟ 1.4**Εικόνα 28** ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.4

Το δοκίμιο 1.4 είναι το τέταρτο της πρώτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 60 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 14

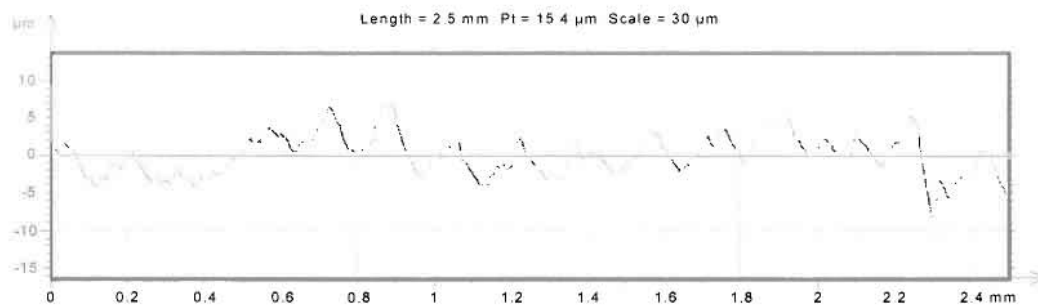
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0 (ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
1.4	16.52	16.47	0.30%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.4 φαίνεται στην εικόνα 12.5



Εικόνα 29 Στερεοσκοπία δοκιμίου 1.4 40x. (Τρηματική διάβρωση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 1.4 μετά από 60 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



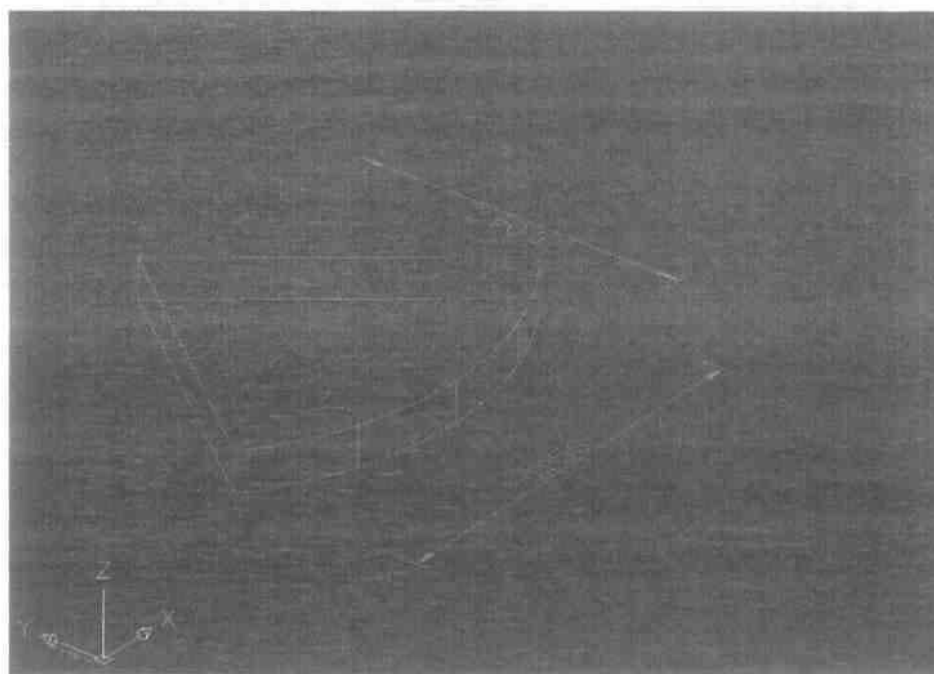
Εικόνα 30 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 1.4

Συνοπτικά για το δοκίμιο 1.4 έχουμε:

Πίνακας 15

Αριθμός τεμαχίου	1.4
Αρχικό βάρος(gr)	16.52
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	60
Τελικό βάρος(gr)	16.47
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.30%
Αριθμός pits	148
Ra(μm)	1.53
Rt(μm)	8.99
Rz(μm)	7.61
Sm(μm)	0.141
Rsk	0.65
Rku	2.93

ΔΟΚΙΜΙΟ 1.5



Εικόνα 30 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.5

Το δοκίμιο 1.5 είναι το πέμπτο της πρώτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 75 ημερών.

Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 16

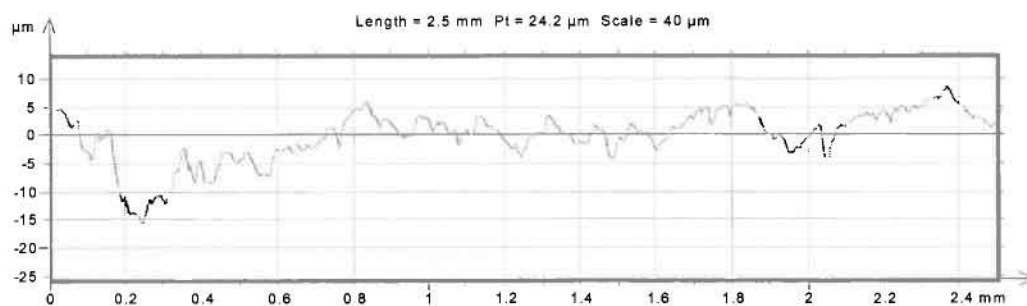
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0 (ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
1.5	26.22	26.18	0.15%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.5 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 31 Στερεοσκοπία δοκιμίου 1.5 40x. (διαβρωτικά τρήματα).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 1.5 μετά από 75 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

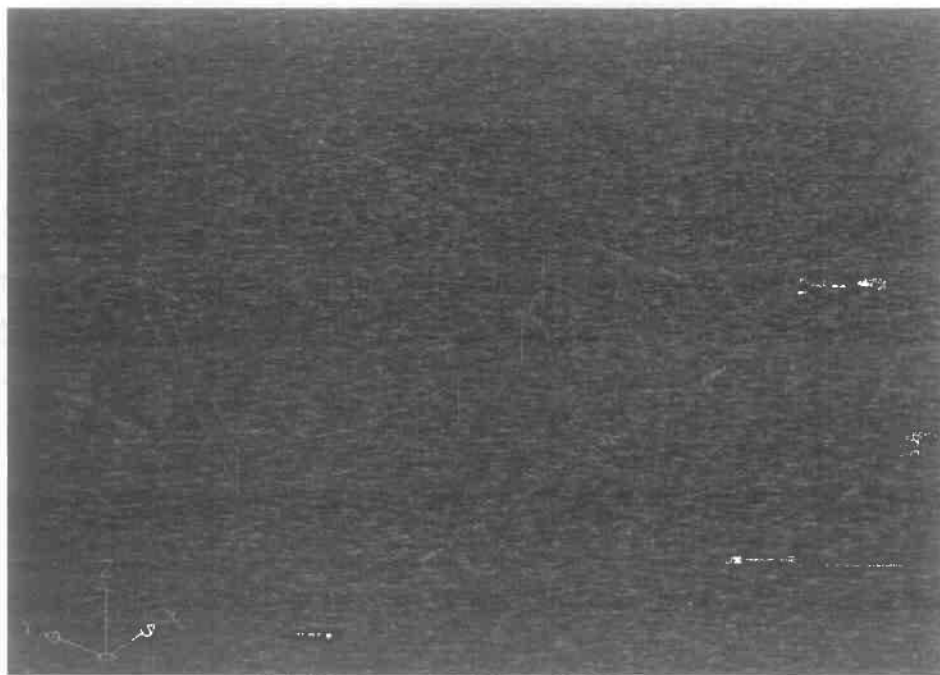


Εικόνα 32 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκίμιου 1.5

Συνοπτικά για το δοκίμιο 1.5 έχουμε:

Πίνακας 17

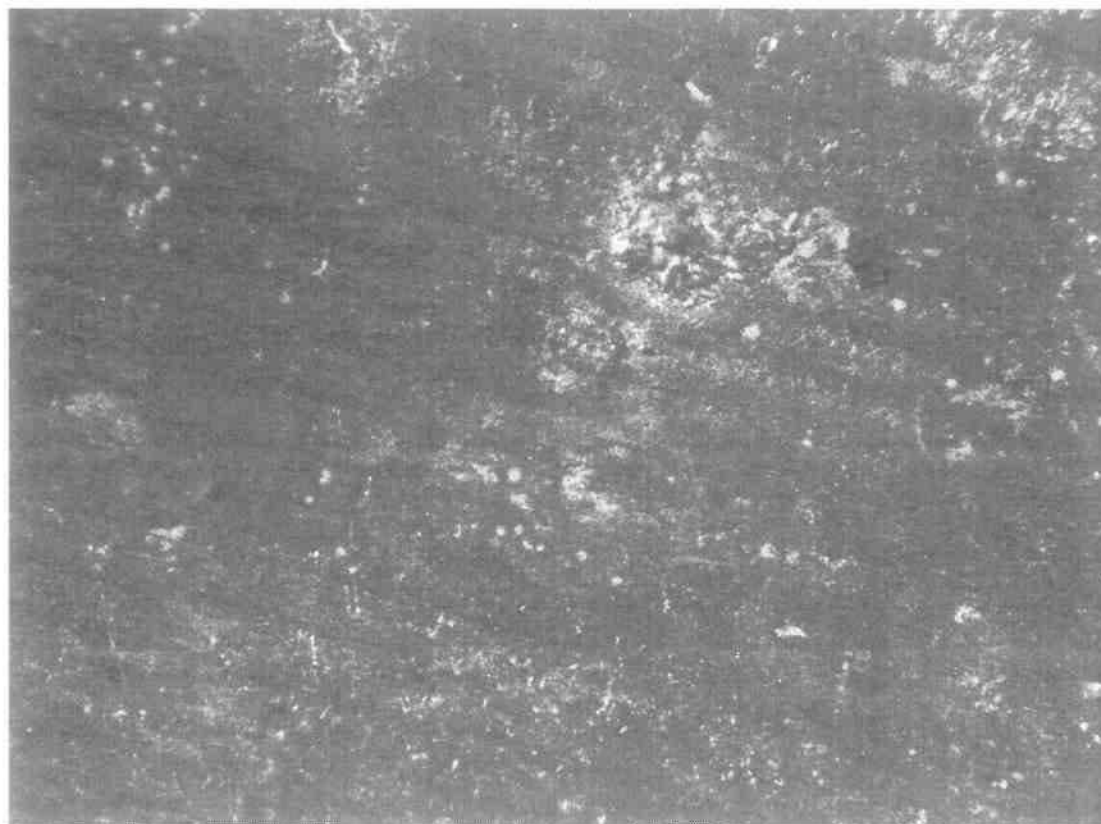
Αριθμός τεμαχίου	1.5
Αρχικό βάρος(gr)	26.22
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	75
Τελικό βάρος(gr)	26.18
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.15%
Αριθμός pits	194
Ra(μm)	1.62
Rt(μm)	11.6
Rz(μm)	8.66
Sm(μm)	0.118
Rsk	0.0418
Rku	2.53

ΔΟΚΙΜΙΟ 1.6**Εικόνα 33 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.6**

Το δοκίμιο 1.6 είναι το έκτο της πρώτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 90 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

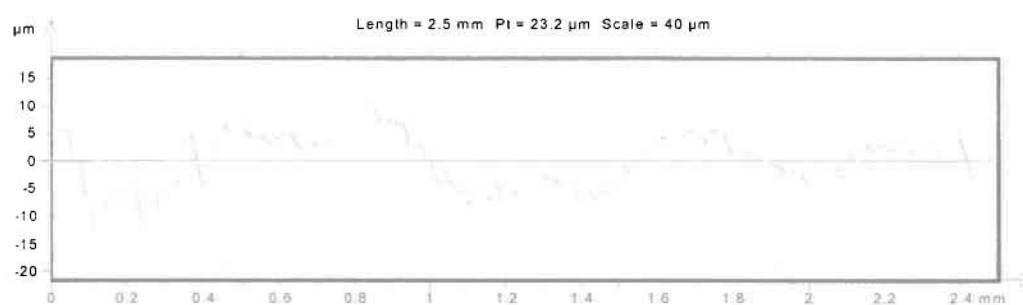
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0 (ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
1.6	17.57	17.50	0.39%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.6 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 33 Στερεοσκοπία δοκιμίου 1.6 40x. (έντονη τρηματοποίηση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 1.6 μετά από 90 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 34 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 1.6

Συνοπτικά για το δοκίμιο 1.6 έχουμε:

Πίνακας 17

Αριθμός τεμαχίου	1.6
Αρχικό βάρος(gr)	17.57
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	90
Τελικό βάρος(gr)	17.50
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.39%
Αριθμός pits	194
Ra(μm)	1.62
Rt(μm)	11.6
Rz(μm)	8.66
Sm(μm)	0.118
Rsk	0.0418
Rku	2.53

4.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΟΥ ΕΙΧΑΝ ΥΠΟΒΛΗΘΕΙ ΣΤΗ ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ (2^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ)

2η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι τιμές του βάθους κοπής, της πρόωσης καθώς και των αρχικών στροφών που δόθηκαν κατά την τórνευση της δεύτερης επιφάνειας δοκιμίων.

Πίνακας 18 Συνθήκες τόννευσης για την επιφάνεια 2.

Κατηγορία Επιφάνειας	ΤΕΜΑΧΙΑ	Συνθήκες Κοπής:		
		Βάθος κοπής	Πρόωση	Αρχικές στροφές
2	2	0.5 mm	0.11 mm/rev	414

Όπως και οι υπόλοιπες κατεργασμένες επιφάνειες, έτσι και η δεύτερη αποτελείται από έξι δοκίμια στα οποία ακολουθήθηκε η διαδικασία που αναφέρθηκε πιο πάνω. Ο πίνακας με τα αρχικά βάρη των δοκιμίων πριν από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας είναι ο ακόλουθος.

Πίνακας 19

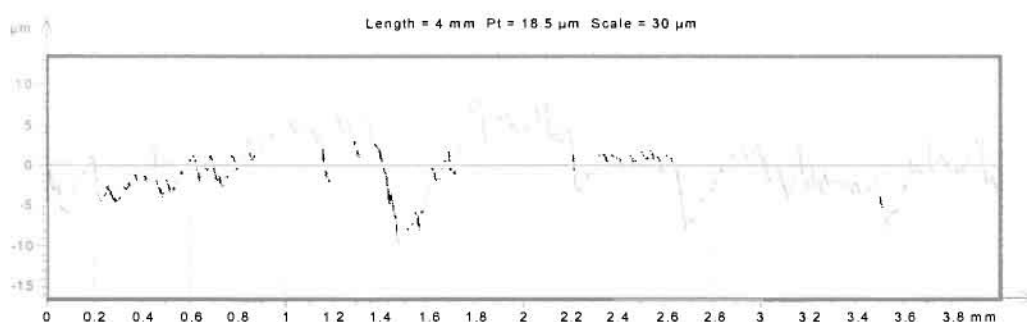
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)
2.1	11.06
2.2	16.62
2.3	17.52
2.4	13.8
2.5	14.04
2.6	9.61

Η στερεοσκοπία της δεύτερης κατηγορίας επιφανείας ακολουθεί στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 35 Στερεοσκοπία δοκιμίου αναφοράς δεύτερης επιφάνειας 40x.

Το διάγραμμα της τραχυμέτρησης που έγινε στο δοκίμιο αναφοράς που ανήκει στην δεύτερη κατηγορία επιφάνειας έχει τη ακόλουθη μορφή:

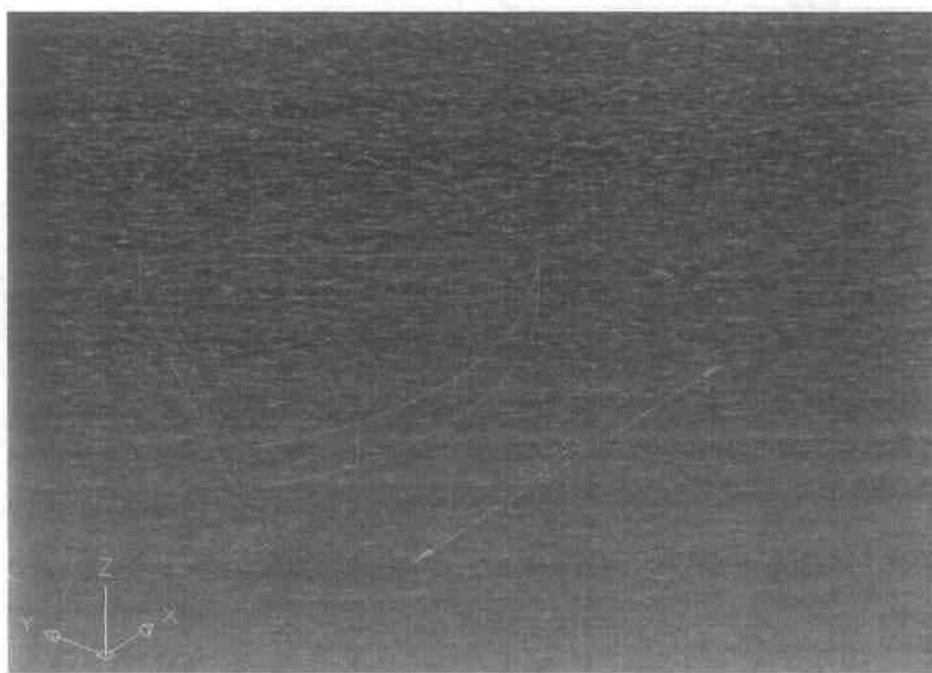


Εικόνα 36 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου αναφοράς δεύτερης επιφάνειας

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να πάρουμε ακριβείς τιμές για συγκεκριμένες παραμέτρους, έτσι για την 2η κατηγορία επιφάνειας έχουμε:

Πίνακας 30 Παράμετροι τραχύτητας δοκιμίου αναφοράς 2^{ης} επιφάνειας.

	Ra(μm)	Rt(μm)	Rz(μm)	Sm(μm)	Rsk	Rku
Δοκίμιο αναφοράς 2ης επιφάνειας	1.86	13.7	11.3	0.0952	-0.88	4.22

ΔΟΚΙΜΙΟ 2.1**Εικόνα 37 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.1**

Το δοκίμιο 2.1 είναι το πρώτο της δεύτερης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 15 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 21

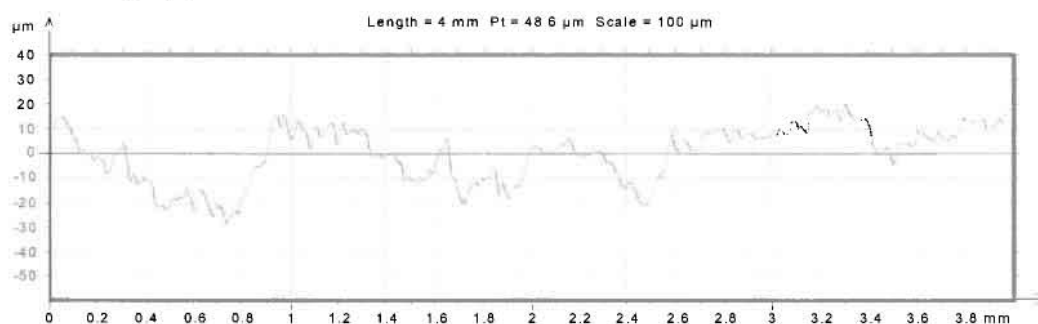
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
2.1	11.06	11.04	0.18%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.1 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 38 Στερεοσκοπία δοκιμίου 2.1 40x.

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 2.1 μετά από 15 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



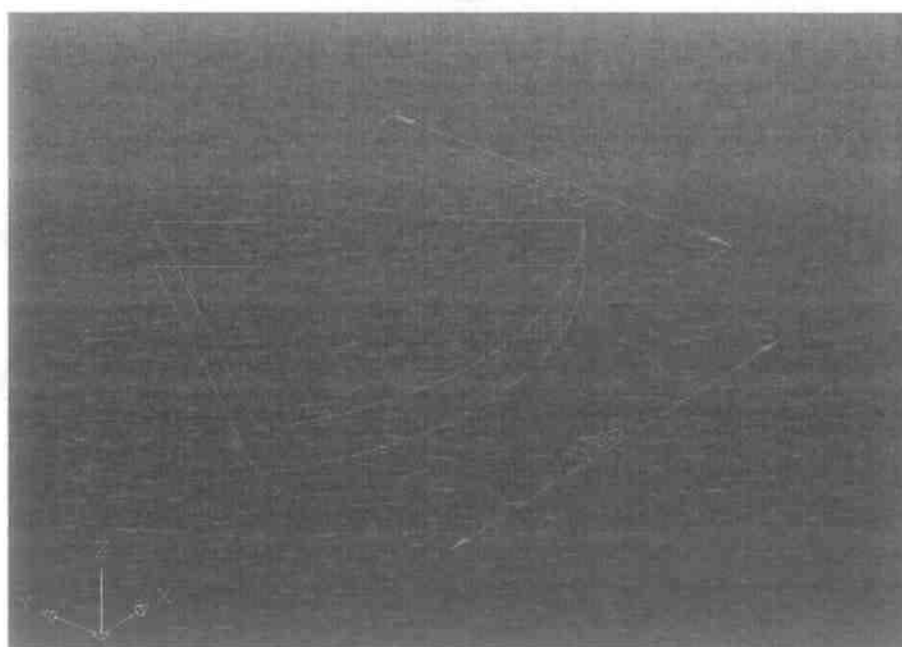
Εικόνα 39 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 2.1.

Συνοπτικά για το δοκίμιο 2.1 έχουμε:

Πίνακας 22

Αριθμός τεμαχίου	2.1
Αρχικό βάρος(gr)	11.06
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	15
Τελικό βάρος(gr)	11.04
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.18%
Αριθμός pits	64
Ra(μm)	4.85
Rt(μm)	30.7
Rz(μm)	27.5
Sm(μm)	0.213
Rsk	-0.268
Rku	2.78

ΔΟΚΙΜΙΟ 2.2



Εικόνα 40 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.2

Το δοκίμιο 2.2 είναι το δεύτερο της δεύτερης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 30 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 23

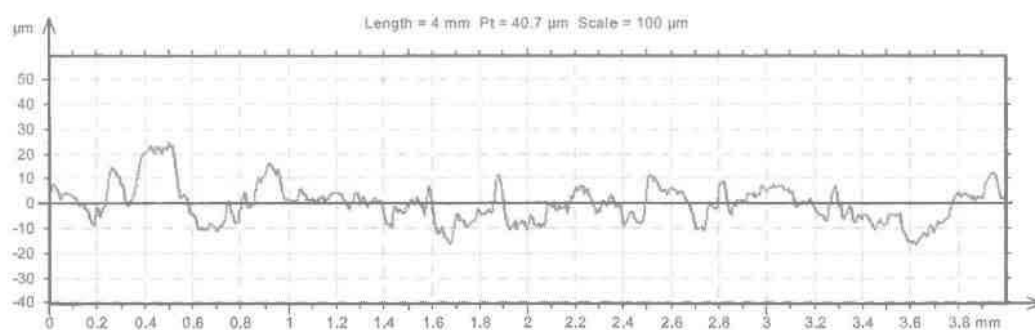
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
2.2	16.62	16.60	0.12%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.2 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 41 Στερεοσκοπία δοκιμίου 2.2 40x. (διαβρωτικά τρήματα).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 2.2 μετά από 30 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

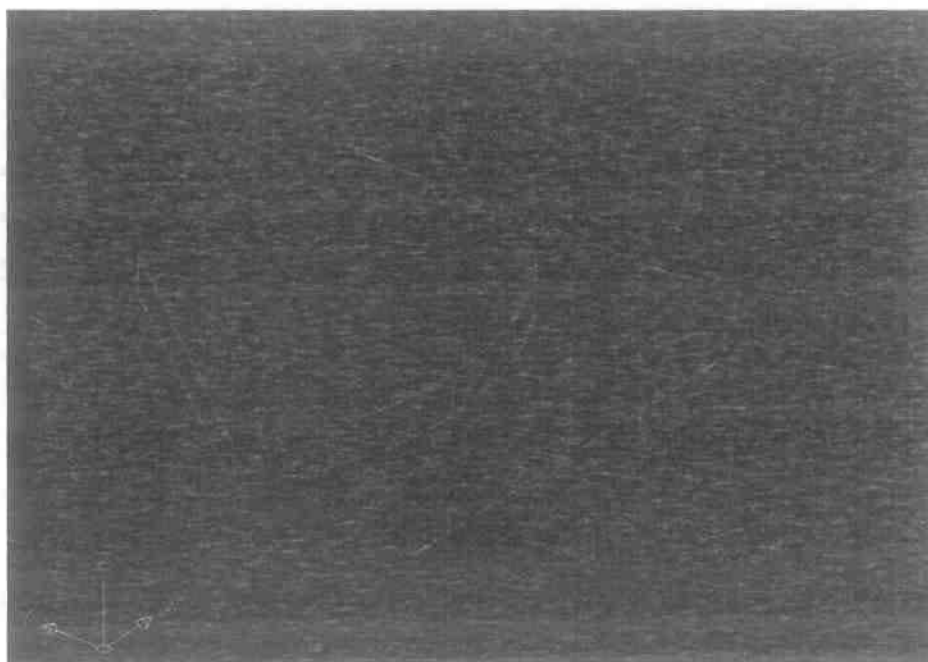


Εικόνα 42 Προφίλ ταχυμέτρησης δοκιμίου 2.2

Συνοπτικά για το δοκίμιο 2.2 έχουμε:

Πίνακας 24

Αριθμός τεμαχίου	2.2
Αρχικό βάρος(gr)	16.62
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	30
Τελικό βάρος(gr)	16.60
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.12%
Αριθμός pits	122
Ra(μm)	4.81
Rt(μm)	29.8
Rz(μm)	26.6
Sm(μm)	0.132
Rsk	0.459
Rku	3.25

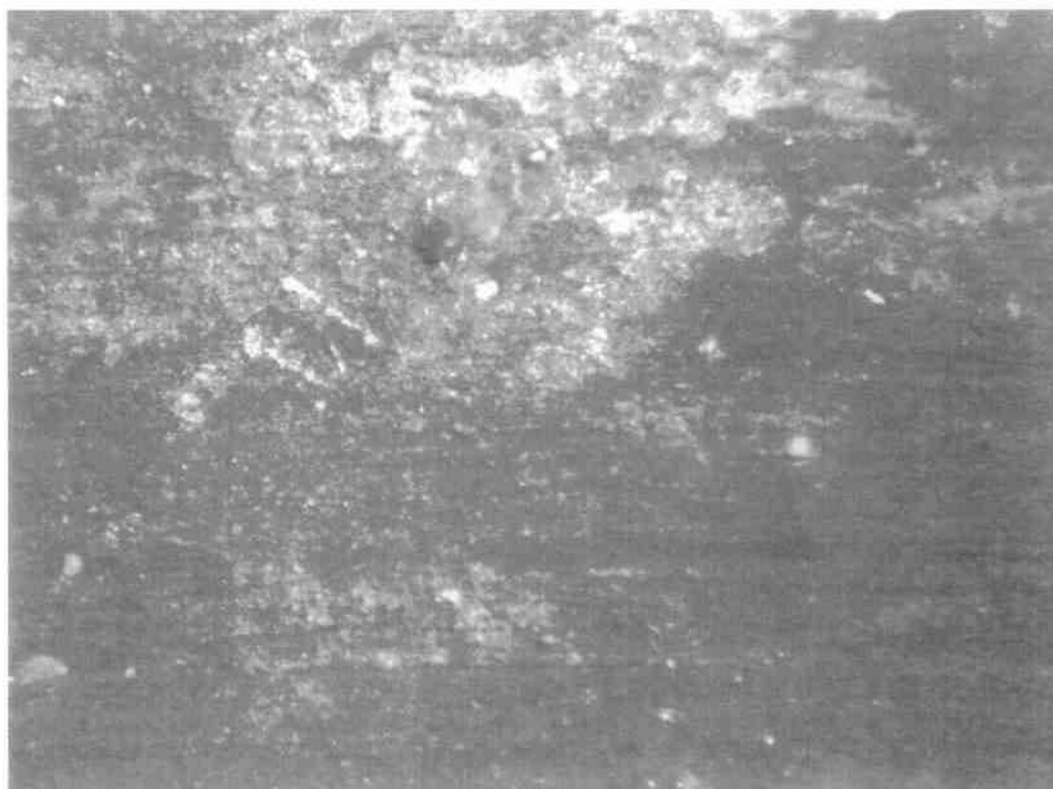
ΔΟΚΙΜΙΟ 2.3**Εικόνα 43 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.3**

Το δοκίμιο 2.3 είναι το τρίτο της δεύτερης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 45 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 25

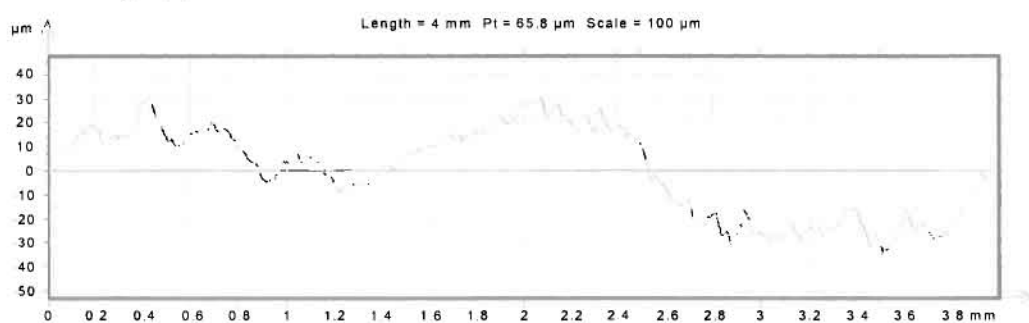
ΑΓΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
2.3	17.52	17.49	0.17%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.3 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 44 Στερεοσκοπία δοκιμίου 2.3 40x. (Τρηματική διάβρωση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 2.3 μετά από 45 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

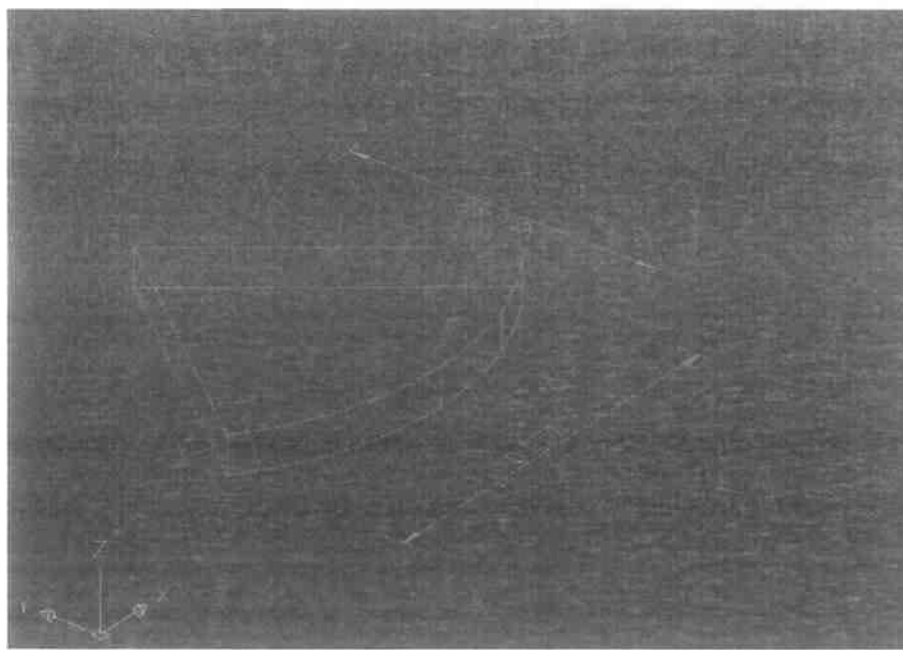


Εικόνα 45 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 2.3.

Συνοπτικά για το δοκίμιο 2.3 έχουμε:

Πίνακας 26

Αριθμός τεμαχίου	2.3
Αρχικό βάρος(gr)	17.52
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	45
Τελικό βάρος(gr)	17.49
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.17%
Αριθμός pits	108
Ra(μm)	3.41
Rt(μm)	24.5
Rz(μm)	18
Sm(μm)	0.166
Rsk	0.427
Rku	3.17

ΔΟΚΙΜΙΟ 2.4**Εικόνα 46 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.4**

Το δοκίμιο 2.4 είναι το τέταρτο της δεύτερης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 60 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 27

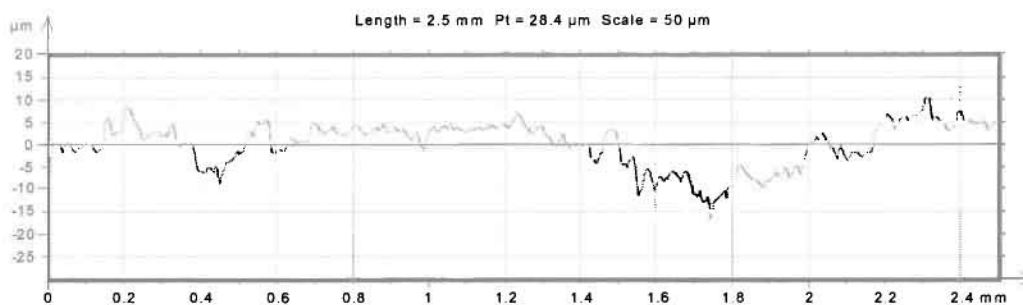
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
2.4	13.8	13.73	0.5%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.4 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 47 Στερεοσκοπία δοκιμίου 2.4 40x. (Τρηματική διάβρωση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 2.4 μετά από 60 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

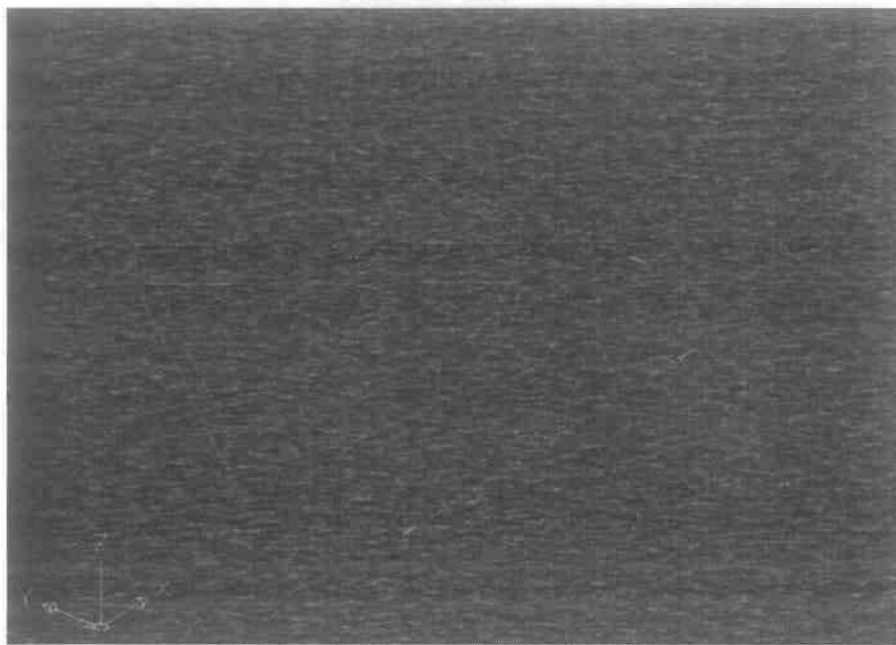


Εικόνα 48 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 2.4

Συνοπτικά για το δοκίμιο 2.4 έχουμε:

Πίνακας 28

Αριθμός τεμαχίου	2.4
Αρχικό βάρος(gr)	13.8
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	60
Τελικό βάρος(gr)	13.73
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.5%
Αριθμός pits	159
Ra(μm)	1.88
Rt(μm)	15.6
Rz(μm)	14.6
Sm(μm)	0.105
Rsk	-0.792
Rku	3.89

ΔΟΚΙΜΙΟ 2.5**Εικόνα 49 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.5**

Το δοκίμιο 2.5 είναι το πέμπτο της δεύτερης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 75 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

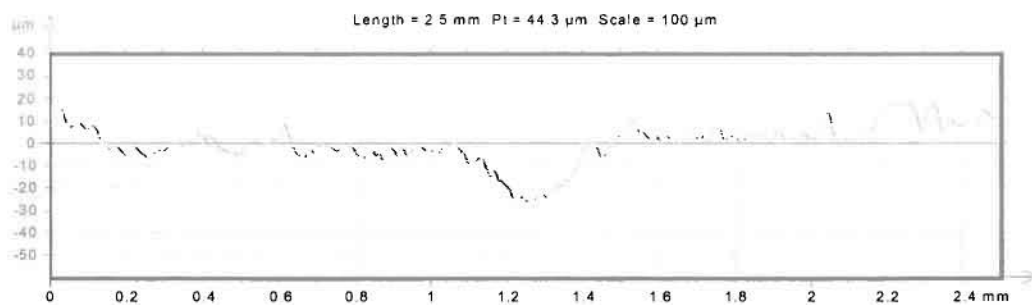
Πίνακας 29

ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
2 5	14.04	14	0.28 %

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.5 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 2.5 μετά από 75 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

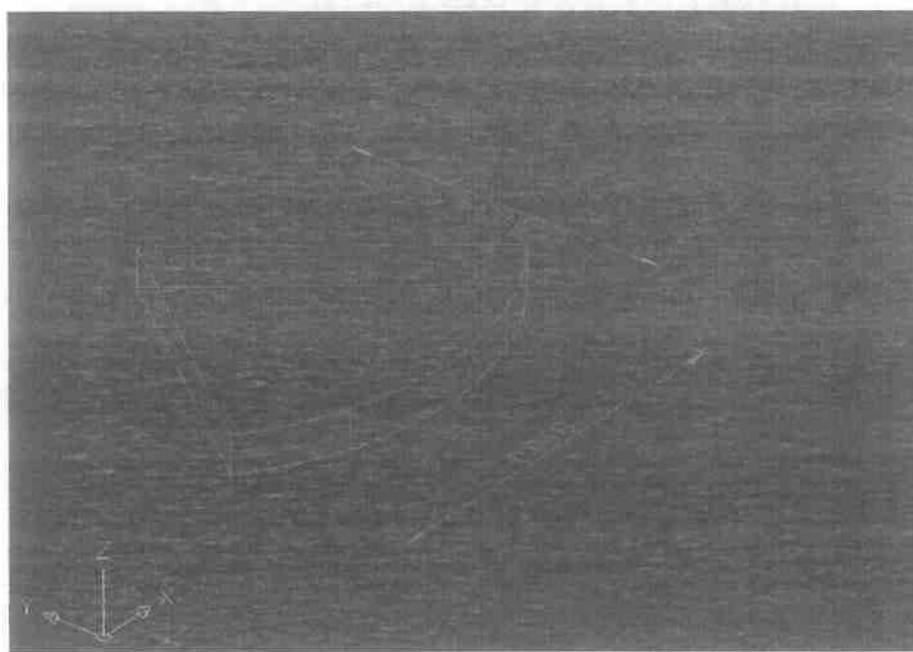


Εικόνα 46 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 2.5

Συνοπτικά για το δοκίμιο 2.5 έχουμε:

Πίνακας 40

Αριθμός τεμαχίου	2.5
Αρχικό βάρος(gr)	14.04
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	75
Τελικό βάρος(gr)	14
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.28%
Αριθμός pits	152
Ra(μm)	3.41
Rt(μm)	25.1
Rz(μm)	21.7
Sm(μm)	0.116
Rsk	-0.751
Rku	4.51

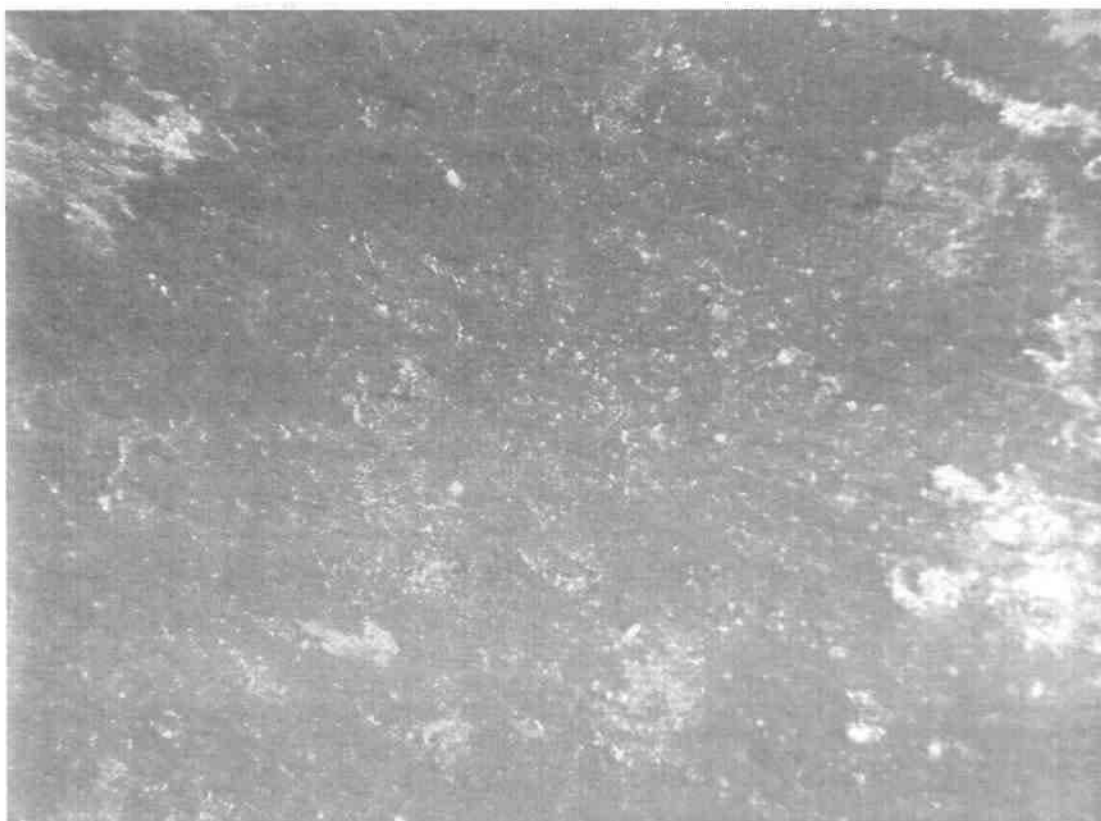
ΔΟΚΙΜΙΟ 2.6**Εικόνα 47 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.6**

Το δοκίμιο 2.6 είναι το έκτο της δεύτερης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 90 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 31

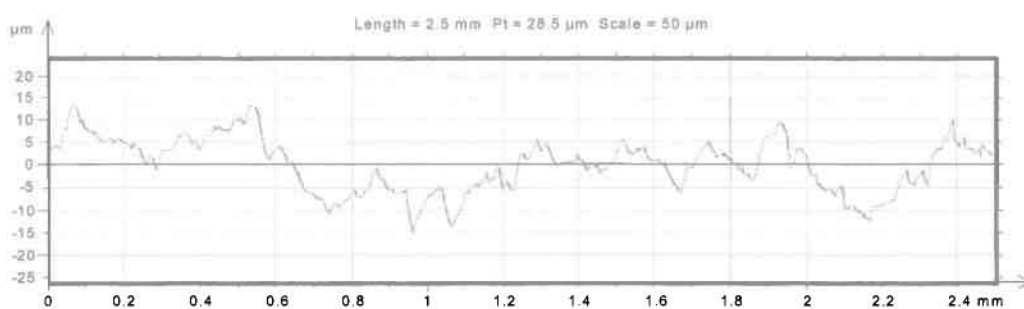
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
2.6	9.61	9.57	0.41 %

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.6 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 48 Στερεοσκοπία δοκιμίου 2.6 40x. (Σημαντικός αριθμός τρημάτων).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 2.6 μετά από 90 ημέρες πειράματος μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 49 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 2.6

Συνοπτικά για το δοκίμιο 2.6 έχουμε:

Πίνακας 32

Αριθμός τεμαχίου	2.6
Αρχικό βάρος(gr)	9.61
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	90
Τελικό βάρος(gr)	9.57
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.47%
Αριθμός pits	211
Ra(μm)	2.82
Rt(μm)	18.4
Rz(μm)	17.8
Sm(μm)	0.165
Rsk	0.46
Rku	3.1

4.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΟΥ ΕΙΧΑΝ ΥΠΟΒΛΗΘΕΙ ΣΤΗΝ ΤΡΙΤΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ (3^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ)

3Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι τιμές του βάθους κοπής, της πρόωσης καθώς και των αρχικών στροφών που δόθηκαν κατά την τόνρευση της τρίτης επιφάνειας δοκιμίων.

Πίνακας 32 Συνθήκες τόνρευσης για την επιφάνεια 3.

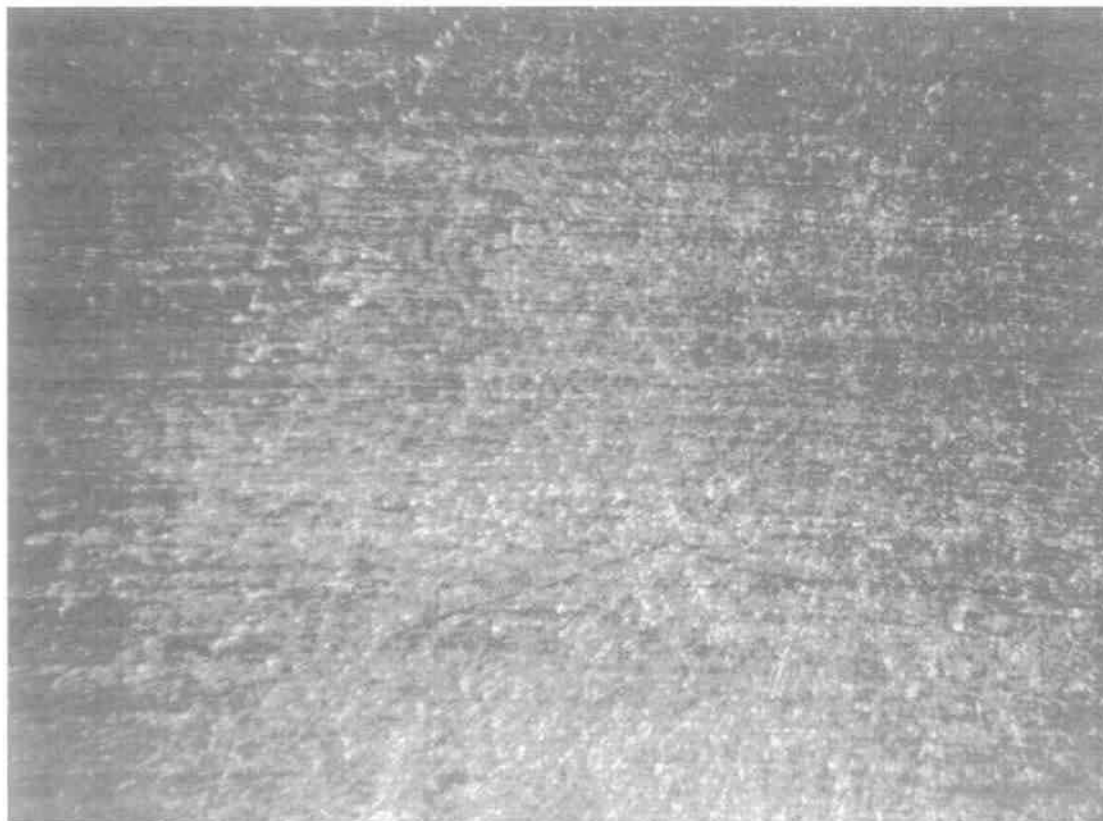
Κατηγορία Επιφάνειας	ΤΕΜΑΧΙΑ	Συνθήκες Κοπής:		
		Βάθος κοπής	Πρόωση	Αρχικές στροφές
3	2	0.5 mm	0.05 mm/rev	414

Ο πίνακας με τα αρχικά βάρη των δοκιμίων πριν από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας είναι ο ακόλουθος.

Πίνακας 33 Αρχικά βάρη δοκιμίων 3^{ης} επιφάνειας.

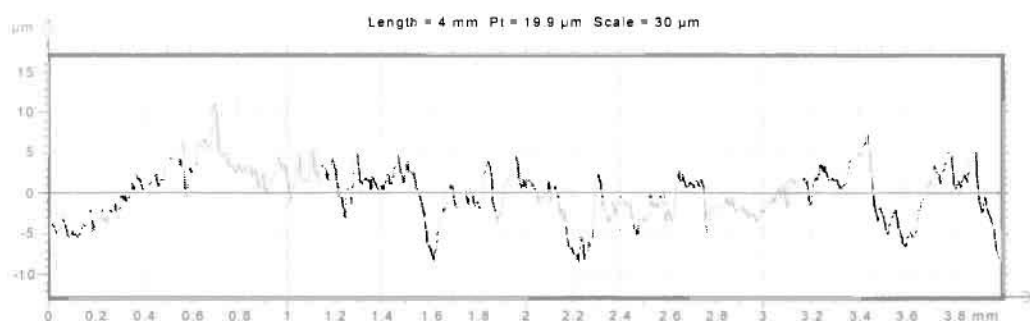
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)
3.1	18.36
3.2	14.35
3.3	21.25
3.4	26.06
3.5	19.12
3.6	24.33

Η στερεοσκοπία της τρίτης κατηγορίας επιφάνειας ακολουθεί στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 50 Στερεοσκοπία δοκιμίου αναφοράς τρίτης επιφάνειας 40x.

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου αναφοράς της τρίτης επιφάνειας μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



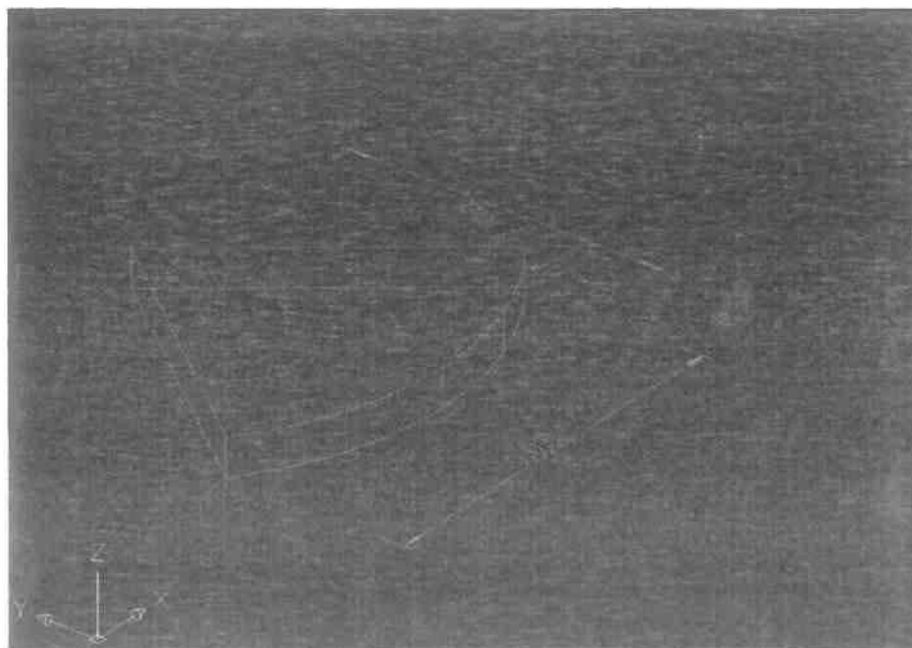
Εικόνα 51 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου αναφοράς τρίτης επιφάνειας

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να πάρουμε ακριβείς τιμές για συγκεκριμένες παραμέτρους, έτσι για την 3η κατηγορία επιφάνειας έχουμε:

Πίνακας 34 Παράμετροι τραχύτητας δοκιμίου αναφοράς 2^{ης} επιφάνειας.

	Ra(μm)	Rt(μm)	Rz(μm)	Sm(μm)	Rsk	Rku
Δοκίμιο αναφοράς 3ης επιφάνειας	1.75	15.2	11.6	0.0966	-0.344	3.84

ΔΟΚΙΜΙΟ 3.1



Εικόνα 52 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.1

Το δοκίμιο 3.1 είναι το πρώτο της τρίτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 15 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 35

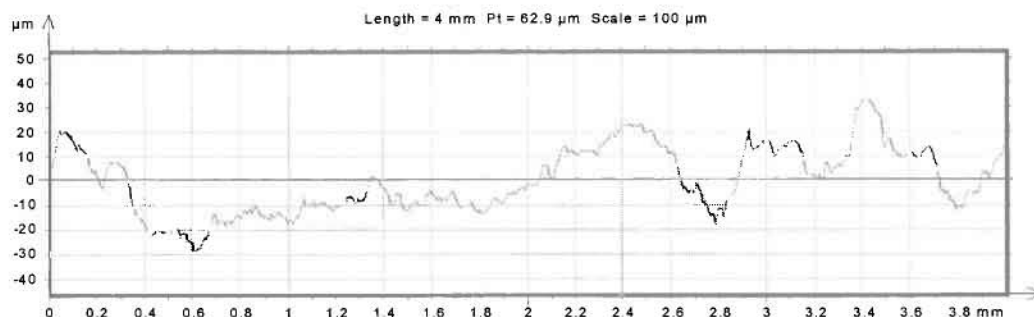
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
3.1	18.36	18.32	0.21%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.1 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 53 Στερεοσκοπία δοκιμίου 3.1 40x.

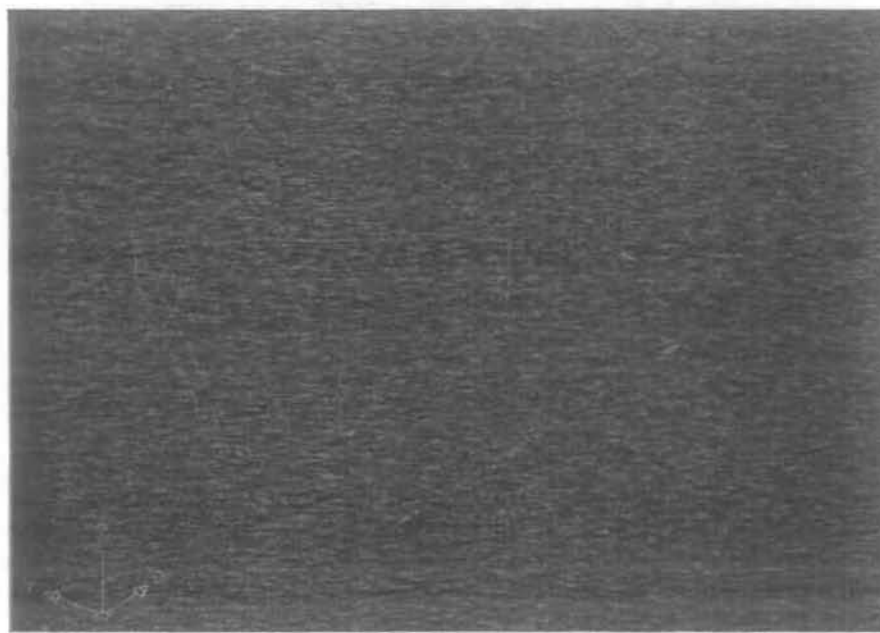
Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 3.1 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 54 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 3.1

Συνοπτικά για το δοκίμιο 3.1 έχουμε:

Αριθμός τεμαχίου	3.1
Αρχικό βάρος(gr)	18.36
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	15
Τελικό βάρος(gr)	18.32
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.21%
Αριθμός pits	36
Ra(μm)	3.61
Rt(μm)	36.7
Rz(μm)	20
Sm(μm)	0.213
Rsk	-1.03
Rku	4.89

ΔΟΚΙΜΙΟ 3.2**Εικόνα 55 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.2**

Το δοκίμιο 3.2 είναι το δεύτερο της τρίτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 30 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 36

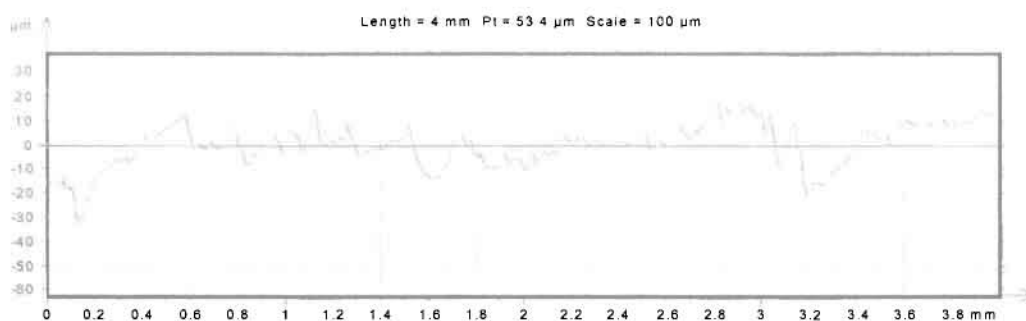
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
3.2	14.35	14.33	0.13%

Η στερεοσκοπία του δοκίμιου 3.2 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 56 Στερεοσκοπία δοκιμίου 3.2 40x. (Εμφάνιση τρημάτων)

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 3.2 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

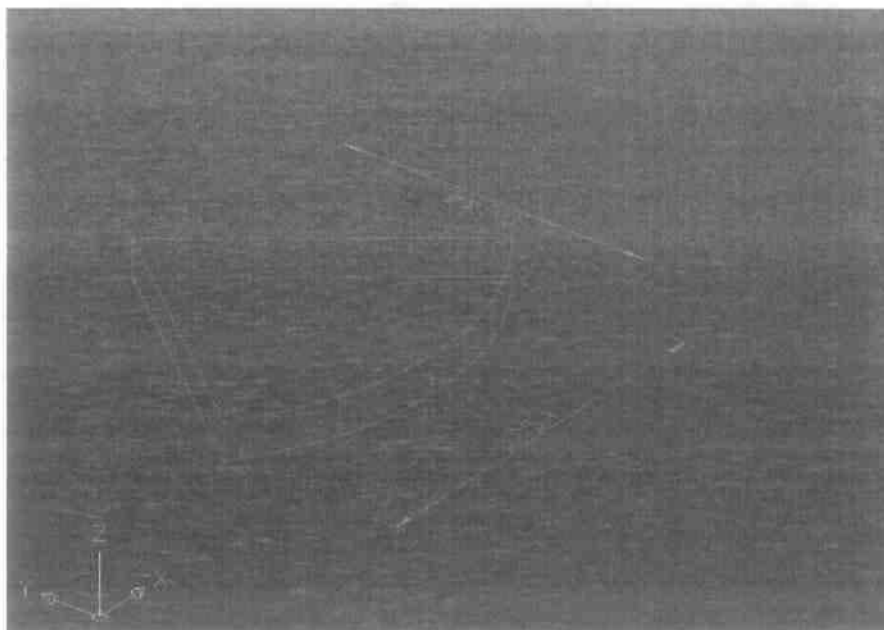


Εικόνα 57 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 3.2

Συνοπτικά για το δοκίμιο 3.2 έχουμε:

Πίνακας 37

Αριθμός τεμαχίου	3.2
Αρχικό βάρος(gr)	14.35
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	30
Τελικό βάρος(gr)	14.33
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.13%
Αριθμός pits	91
Ra(μm)	3.25
Rt(μm)	29.9
Rz(μm)	19.5
Sm(μm)	0.162
Rsk	0.442
Rku	3.41

ΔΟΚΙΜΙΟ 3.3**Εικόνα 58 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.3**

Το δοκίμιο 3.3 είναι το τρίτο της τρίτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 45 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 38

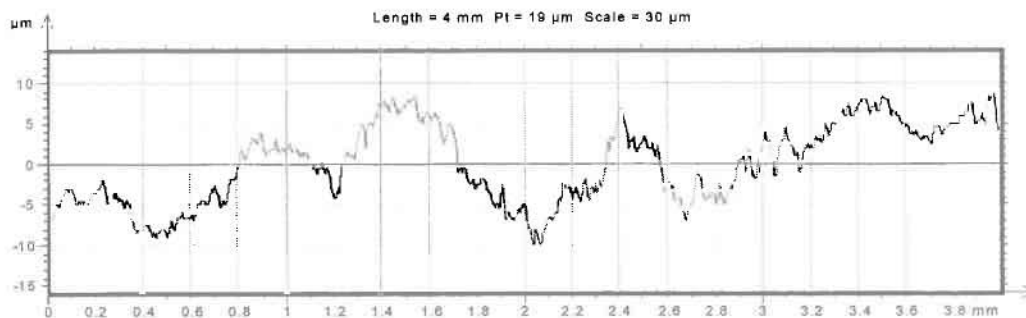
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W ₀ (ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W ₁	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
3.3	21.25	21.21	0.18 %

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.3 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 59 Στερεοσκοπία δοκιμίου 3.3 40x(Τρηματική διάβρωση)..

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 3.3 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

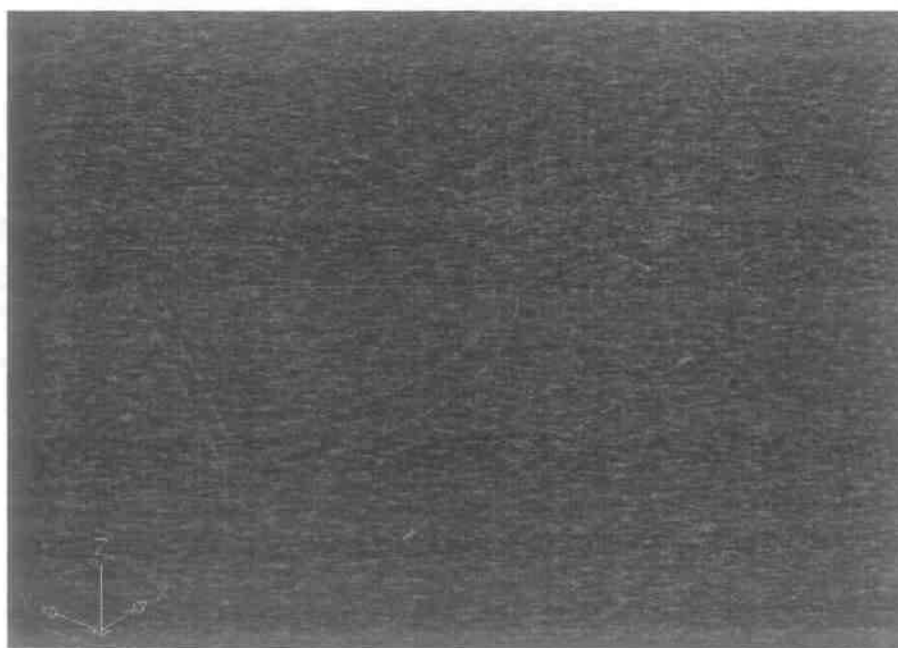


Εικόνα 60 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 3.3

Συνοπτικά για το δοκίμιο 3.3 έχουμε:

Πίνακας 39

Αριθμός τεμαχίου	3.3
Αρχικό βάρος(gr)	21.25
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	45
Τελικό βάρος(gr)	21.21
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.18%
Αριθμός pits	162
Ra(μm)	1.8
Rt(μm)	12.6
Rz(μm)	10.2
Sm(μm)	0.166
Rsk	0.0068
Rku	2.98

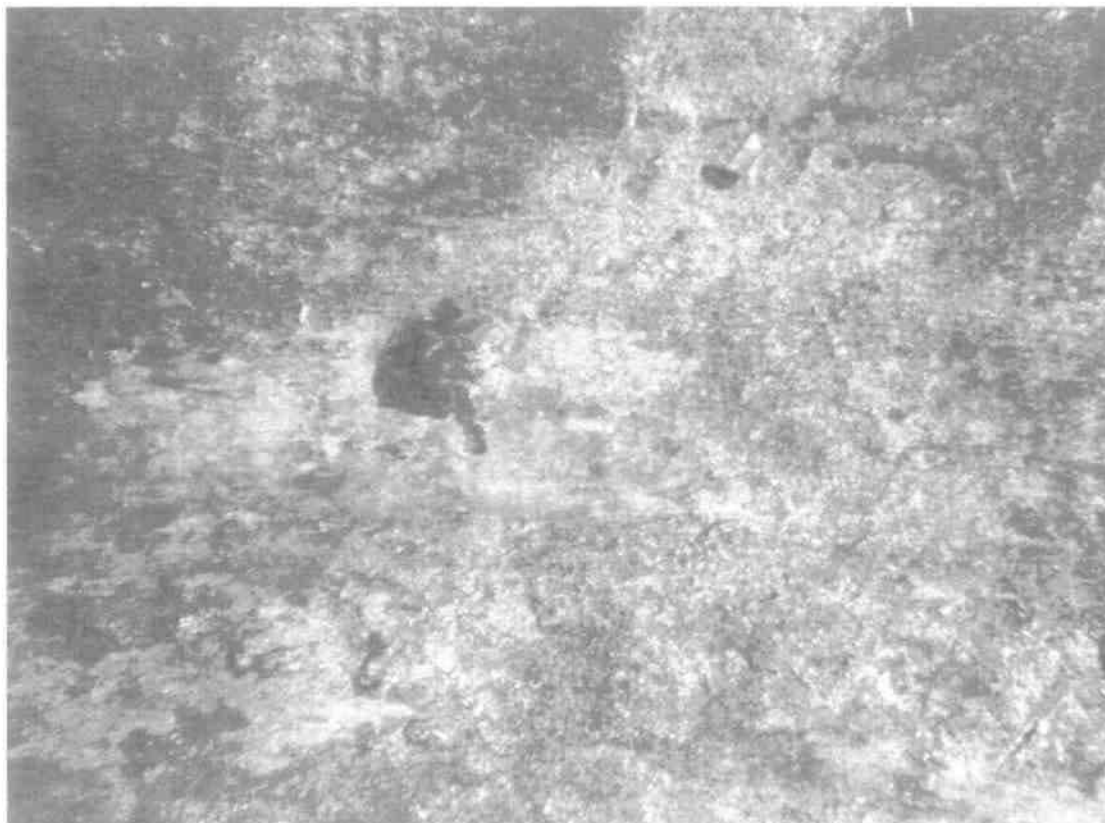
ΔΟΚΙΜΙΟ 3.4**Εικόνα 61** ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.4

Το δοκίμιο 3.4 είναι το τέταρτο της τρίτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 60 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 40

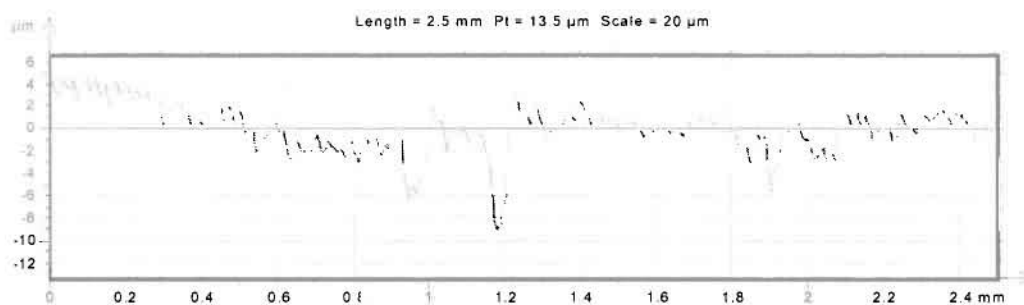
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
3.4	26.06	25.99	0.26 %

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.4 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 62 Στερεοσκοπία δοκιμίου 3.4 40x. (Έντονη τρηματοποίηση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 3.4 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

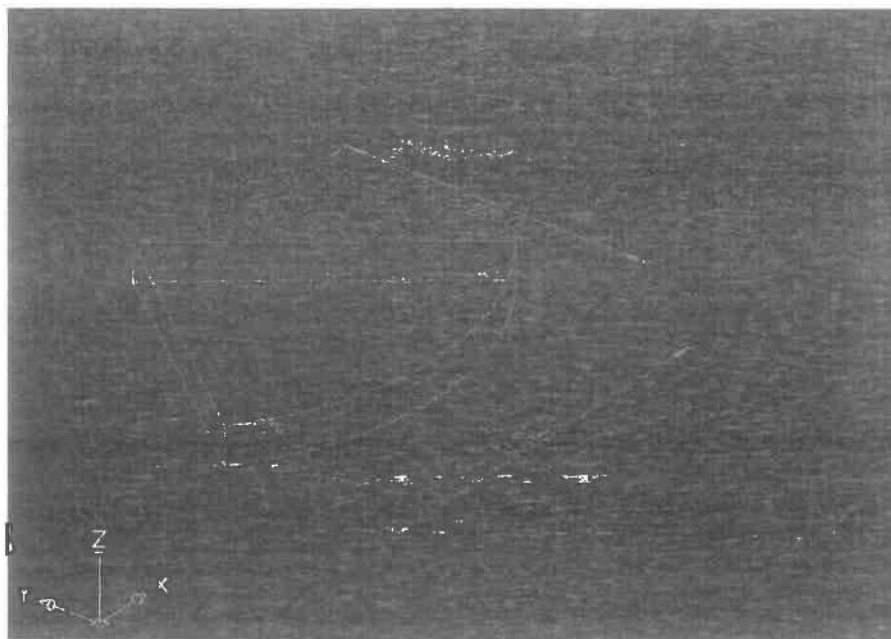


Εικόνα 63 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 3.4

Συνοπτικά για το δοκίμιο 3.4 έχουμε:

Πίνακας 41

Αριθμός τεμαχίου	3.4
Αρχικό βάρος(gr)	26.06
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	60
Τελικό βάρος(gr)	25.99
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.26%
Αριθμός pits	142
Ra(μm)	1.06
Rt(μm)	12
Rz(μm)	10.5
Sm(μm)	0.0911
Rsk	-2.14
Rku	10.5

ΔΟΚΙΜΙΟ 3.5**Εικόνα 64 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.5**

Το δοκίμιο 3.5 είναι το πέμπτο της τρίτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον, ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 75 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 52

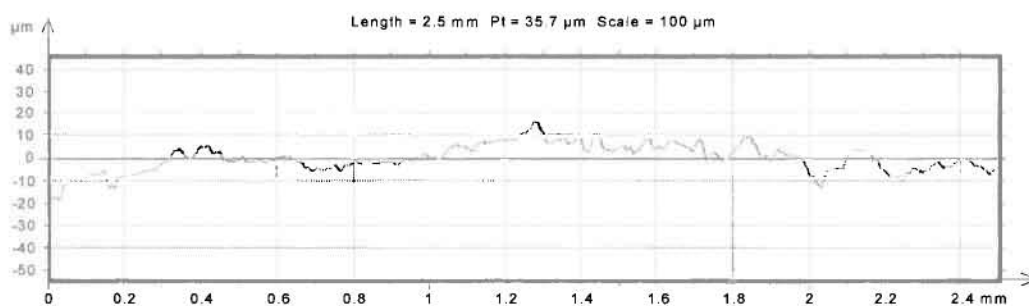
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
3.5	19.12	19.08	0.20 %

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.5 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 65 Στερεοσκοπία δοκιμίου 3.5 40x.

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 3.5 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα

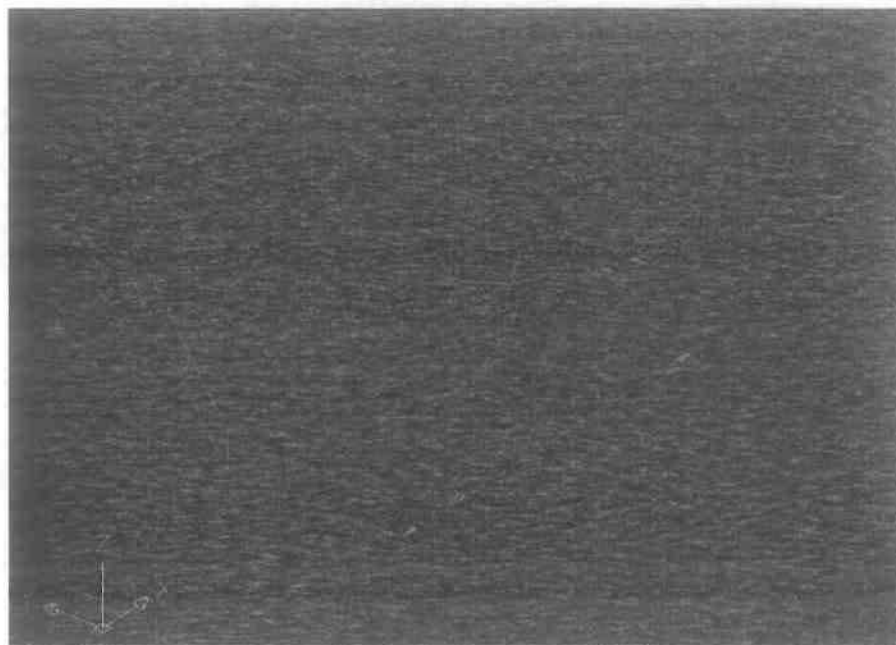


Εικόνα 66 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 3.5

Συνοπτικά για το δοκίμιο 3.5 έχουμε:

Πίνακας 43

Αριθμός τεμαχίου	3.5
Αρχικό βάρος(gr)	19.12
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	75
Τελικό βάρος(gr)	19.08
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.20%
Αριθμός pits	144
Ra(μm)	1.96
Rt(μm)	20.1
Rz(μm)	13.3
Sm(μm)	0.106
Rsk	1.08
Rku	4.36

ΔΟΚΙΜΙΟ 3.6**Εικόνα 67 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.6**

Το δοκίμιο 3.6 είναι το έκτο της τρίτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον, ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 90 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 44

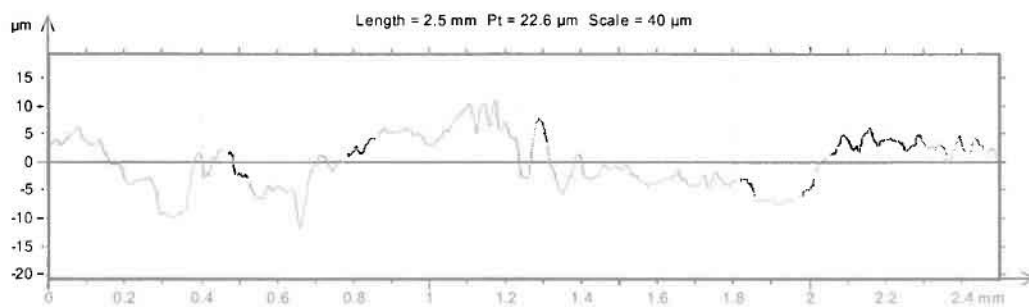
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
3.6	24.33	24.28	0.20%

Η στερεοσκοπία του δοκίμιου 3.6 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 68 Στερεοσκοπία δοκιμίου 3.6 40x. (Τρηματική διάβρωση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 3.6 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα



Εικόνα 69 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 3.6.

Συνοπτικά για το δοκίμιο 3.6 έχουμε:

Πίνακας 45

Αριθμός τεμαχίου	3.6
Αρχικό βάρος(gr)	24.33
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	90
Τελικό βάρος(gr)	24.28
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.20%
Αριθμός pits	289
Ra(μm)	2.95
Rt(μm)	21.4
Rz(μm)	18.5
Sm(μm)	0.13
Rsk	0.885
Rku	3.14

4.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΟΥ ΕΙΧΑΝ ΥΠΟΒΛΗΘΕΙ ΣΤΗΝ ΤΕΤΑΡΤΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ (4^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ)

4Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι τιμές του βάθους κοπής, της πρόωσης καθώς και των αρχικών στροφών που δόθηκαν κατά την τόννευση της τέταρτης επιφάνειας δοκιμίων.

Πίνακας 46 Συνθήκες τόννευσης για την επιφάνεια 4.

Κατηγορία Επιφάνειας	ΤΕΜΑΧΙΑ	Συνθήκες Κοπής:		
		Βάθος κοπής	Πρόωση	Αρχικές στροφές
4	2	0.5 mm	0.20 mm/rev	105

Ο πίνακας με τα αρχικά βάρη των δοκιμίων πριν από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας είναι ο ακόλουθος.

Πίνακας 47 Αρχικά βάρη δοκιμίων 4^{ης} επιφάνειας.

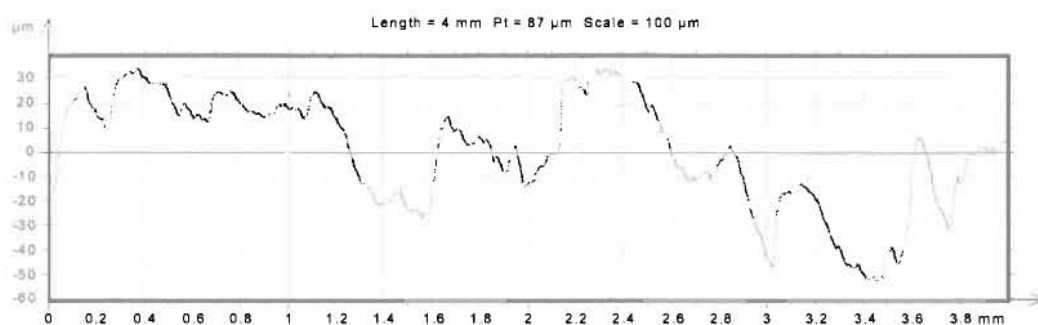
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)
4.1	22.23
4.2	18.22
4.3	15.49
4.4	17.25
4.5	15.24
4.6	23.64

Η στερεοσκοπία της τέταρτης κατηγορίας επιφάνειας ακολουθεί στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 70 Στερεοσκοπία δοκιμίου αναφοράς τέταρτης επιφάνειας 40x.

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου αναφοράς της τέταρτης επιφάνειας μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



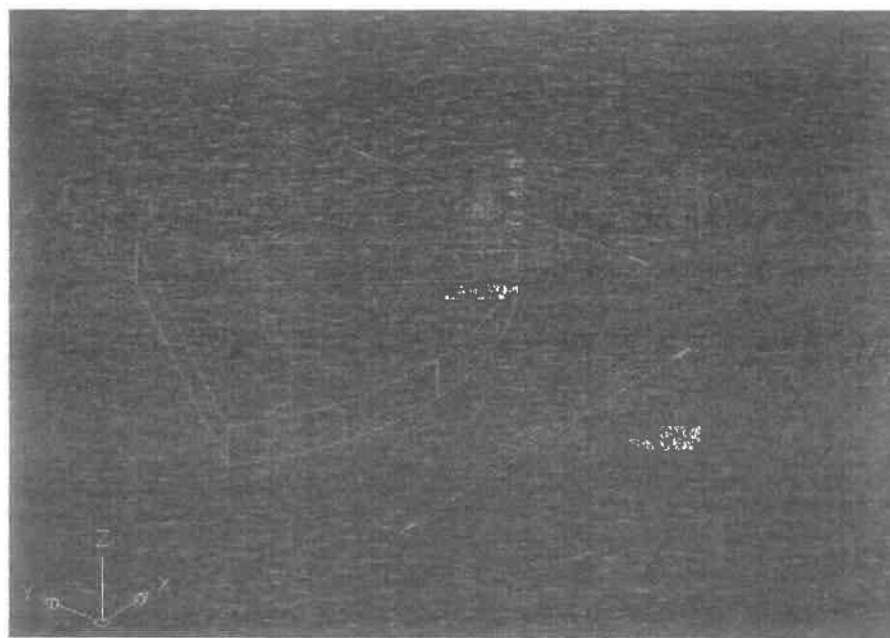
Εικόνα 71 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου αναφοράς τέταρτης επιφάνειας.

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να πάρουμε ακριβείς τιμές για συγκεκριμένες παραμέτρους, έτσι για την 4η κατηγορία επιφάνειας έχουμε:

Πίνακας 48

	Ra(μm)	Rt(μm)	Rz(μm)	Sm(μm)	Rsk	Rku
Δοκίμιο αναφοράς 4ης επιφάνειας	6.88	45.7	29	0.364	-0.0419	2.41

ΔΟΚΙΜΙΟ 4.1



Εικόνα 72 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.1

Το δοκίμιο 4.1 είναι το πρώτο της τέταρτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον, ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 15 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 49

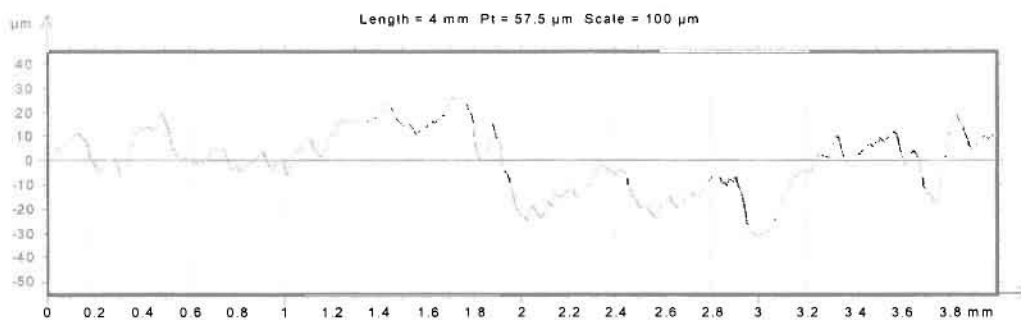
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
4.1	22.23	22.21	0.13%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.1 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 73 Στερεοσκοπία δοκιμίου 4.1 40x. (Εμφάνιση διαβρωτικών τρημάτων).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 4.1 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



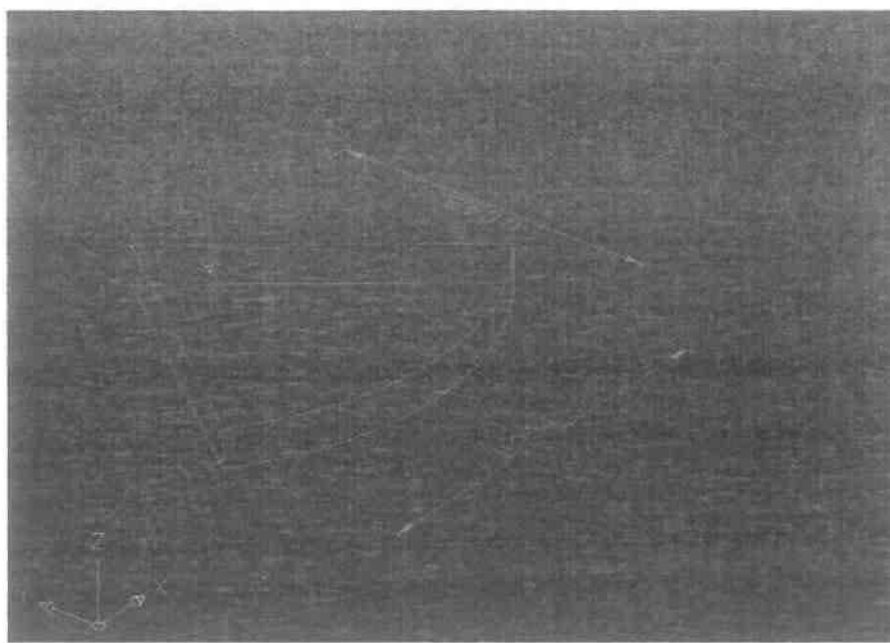
Εικόνα 74 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 4.1

Συνοπτικά για το δοκίμιο 4.1 έχουμε:

Πίνακας 50

Αριθμός τεμαχίου	4.1
Αρχικό βάρος(gr)	22.23
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	15
Τελικό βάρος(gr)	22.21
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.13%
Αριθμός pits	36
Ra(μm)	4.56
Rt(μm)	30
Rz(μm)	25.8
Sm(μm)	0.251
Rsk	0.192
Rku	3.12

ΔΟΚΙΜΙΟ 4.2



Εικόνα 75 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.2

Το δοκίμιο 4.2 είναι το δεύτερο της τέταρτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον, ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 30 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 51

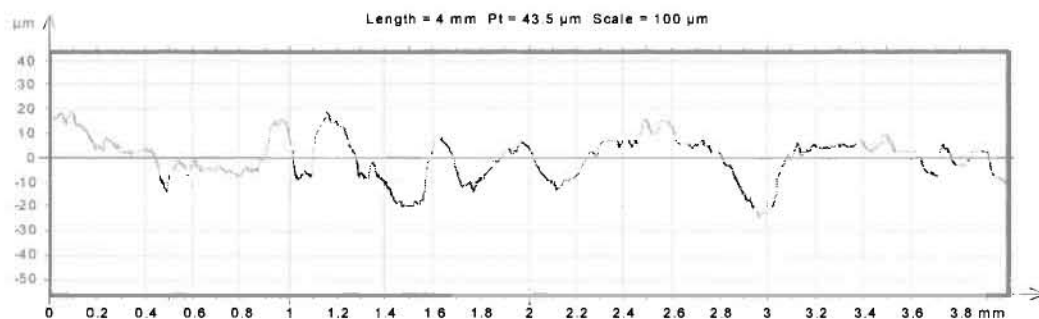
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
4.2	18.22	18.21	0.05 %

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.2 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 76 Στερεοσκοπία δοκιμίου 4.2 40x.

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 4.2 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.

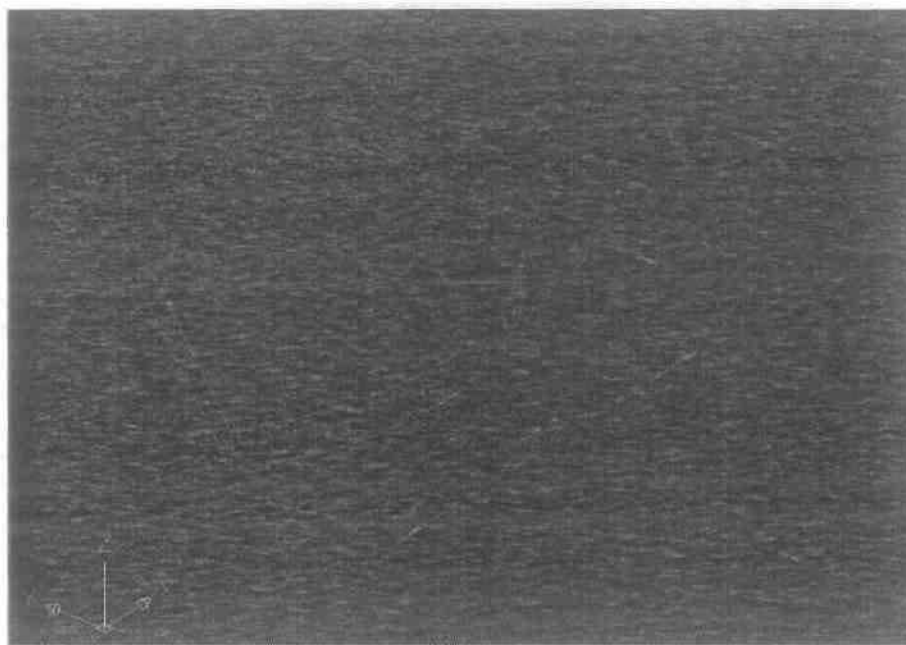


Εικόνα 77 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 4.2

Συνοπτικά για το δοκίμιο 4.2 έχουμε:

Πίνακας 52

Αριθμός τεμαχίου	4.2
Αρχικό βάρος(gr)	18.22
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	30
Τελικό βάρος(gr)	18.21
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.05%
Αριθμός pits	98
Ra(μm)	5.28
Rt(μm)	32.2
Rz(μm)	24.7
Sm(μm)	0.197
Rsk	0.241
Rku	2.63

ΔΟΚΙΜΙΟ 4.3**Εικόνα 78 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.3**

Το δοκίμιο 4.3 είναι το τρίτο της τέταρτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 45 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 53

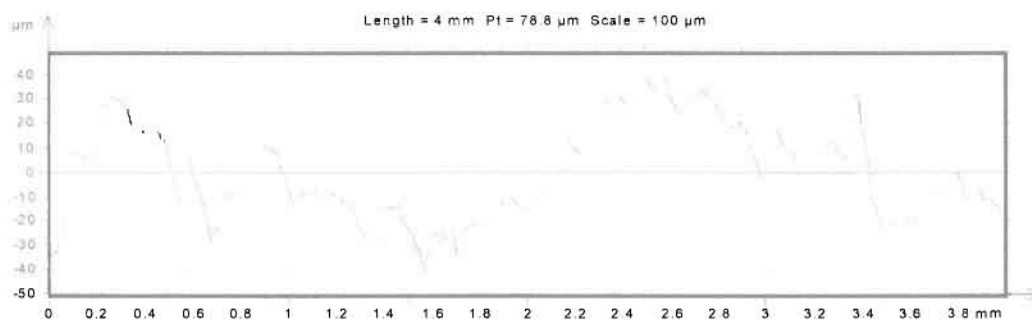
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
4.3	15.49	15.43	0.38%

Η στερεοσκοπία του δοκίμιου 4.3 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 79 Στερεοσκοπία δοκιμίου 4.3 40x. (Έντονη τρηματοποίηση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 4.3 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



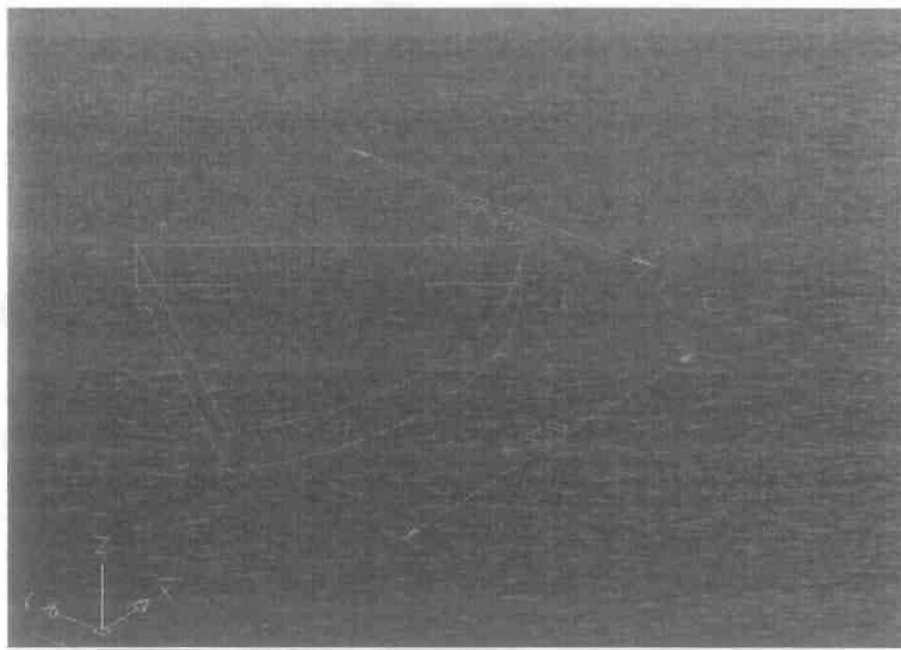
Εικόνα 80 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 4.3

Συνοπτικά για το δοκίμιο 4.3 έχουμε:

Πίνακας 54

Αριθμός τεμαχίου	4.3
Αρχικό βάρος(gr)	15.49
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	45
Τελικό βάρος(gr)	15.43
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.38%
Αριθμός pits	112
Ra(μm)	5.12
Rt(μm)	56.1
Rz(μm)	27
Sm(μm)	0.168
Rsk	-0.609
Rku	4.35

ΔΟΚΙΜΙΟ 4.4



Εικόνα 81 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.4

Το δοκίμιο 4.4 είναι το τέταρτο της τέταρτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον, ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 60 ημερών.

Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 65

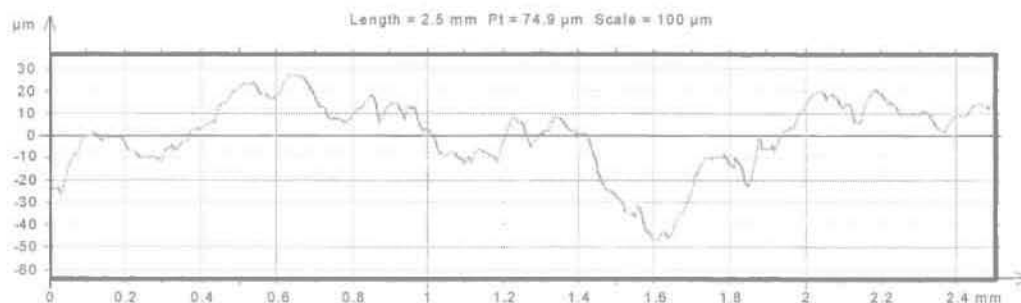
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
4.4	17.25	17.21	0.23 %

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.4 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 82 Στερεοσκοπία δοκιμίου 4.4 40x.(Έντονη τρηματοποίηση)

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 4.4 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα

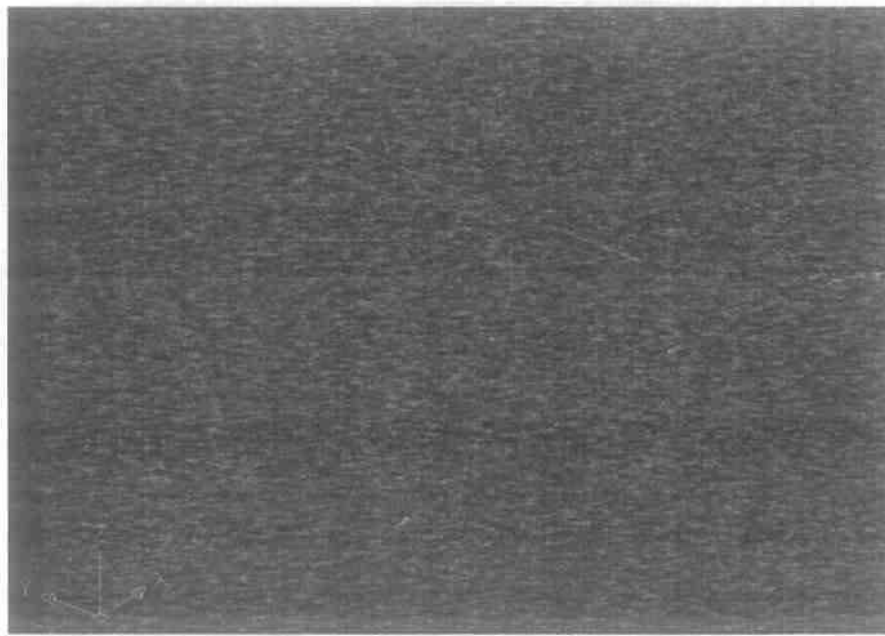


Εικόνα 83 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 4.4

Συνοπτικά για το δοκίμιο 4.4 έχουμε:

Πίνακας 56

Αριθμός τεμαχίου	4.4
Αρχικό βάρος(gr)	17.25
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	60
Τελικό βάρος(gr)	17.21
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.23%
Αριθμός pits	191
Ra(μm)	7.15
Rt(μm)	39.3
Rz(μm)	31.6
Sm(μm)	0.169
Rsk	-0.568
Rku	3.02

ΔΟΚΙΜΙΟ 4.5**Εικόνα 84 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.5**

Το δοκίμιο 4.5 είναι το πέμπτο της τέταρτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 75 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 57

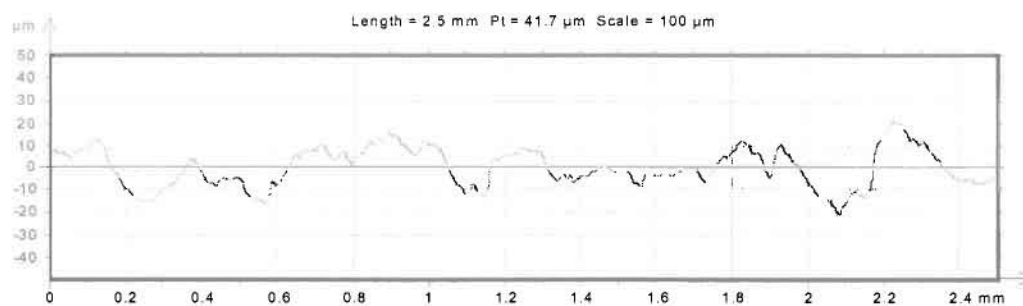
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
4.5	15.24	15.19	0.32 %

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.5 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 85 Στερεοσκοπία δοκιμίου 4.5 40x. (Τρηματική διάβρωση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 4.5 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα



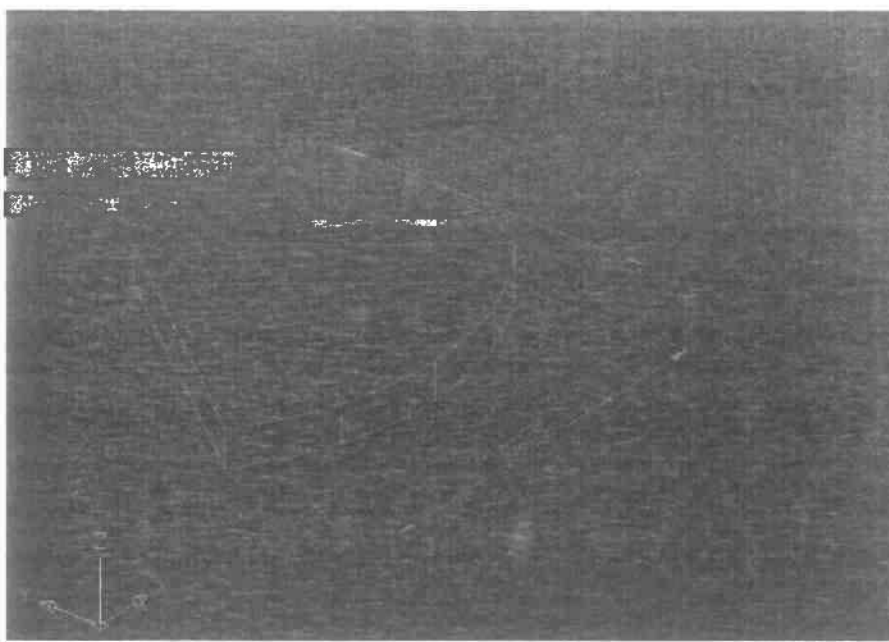
Εικόνα 86 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 4.5.

Συνοπτικά για το δοκίμιο 4.5 έχουμε:

Πίνακας 58

Αριθμός τεμαχίου	4.5
Αρχικό βάρος(gr)	15.24
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	75
Τελικό βάρος(gr)	15.19
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.32%
Αριθμός pits	182
Ra(μm)	4.47
Rt(μm)	29.8
Rz(μm)	20.6
Sm(μm)	0.203
Rsk	-0.299
Rku	2.88

ΔΟΚΙΜΙΟ 4.6



Εικόνα 87 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.6

Το δοκίμιο 4.6 είναι το έκτο της τέταρτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 90 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 59

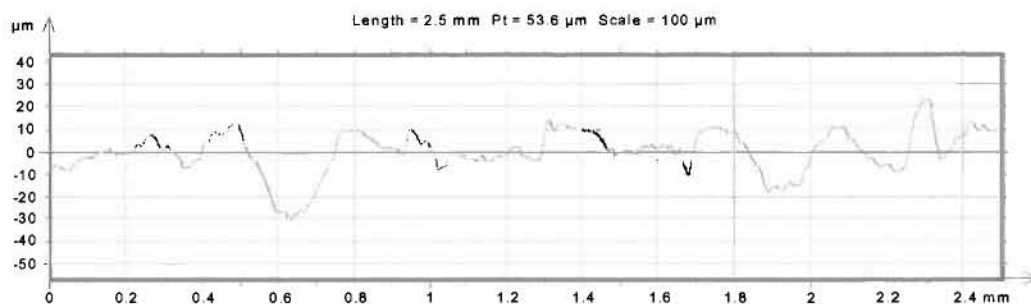
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
4.6	23.64	23.60	0.16 %

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.6 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 88 Στερεοσκοπία δοκιμίου 4.6 40x.(Διαβρωτικά τρήματα).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 4.6 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα



Εικόνα 89 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 4.6

Συνοπτικά για το δοκίμιο 4.6 έχουμε:

Πίνακας 60

Αριθμός τεμαχίου	4.6
Αρχικό βάρος(gr)	23.64
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	90
Τελικό βάρος(gr)	23.60
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.16%
Αριθμός pits	272
Ra(μm)	6.93
Rt(μm)	41
Rz(μm)	34
Sm(μm)	0.325
Rsk	-0.553
Rku	2.93

4.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΟΥ ΕΙΧΑΝ ΥΠΟΒΛΗΘΕΙ ΣΤΗΝ ΠΕΜΠΤΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ (5^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ)

5Η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται οι τιμές του βάθους κοπής, της πρόωσης καθώς και των αρχικών στροφών που δόθηκαν κατά την τόννευση της πέμπτης επιφάνειας δοκιμίων.

Πίνακας 61 Συνθήκες τόννευσης για την επιφάνεια 5.

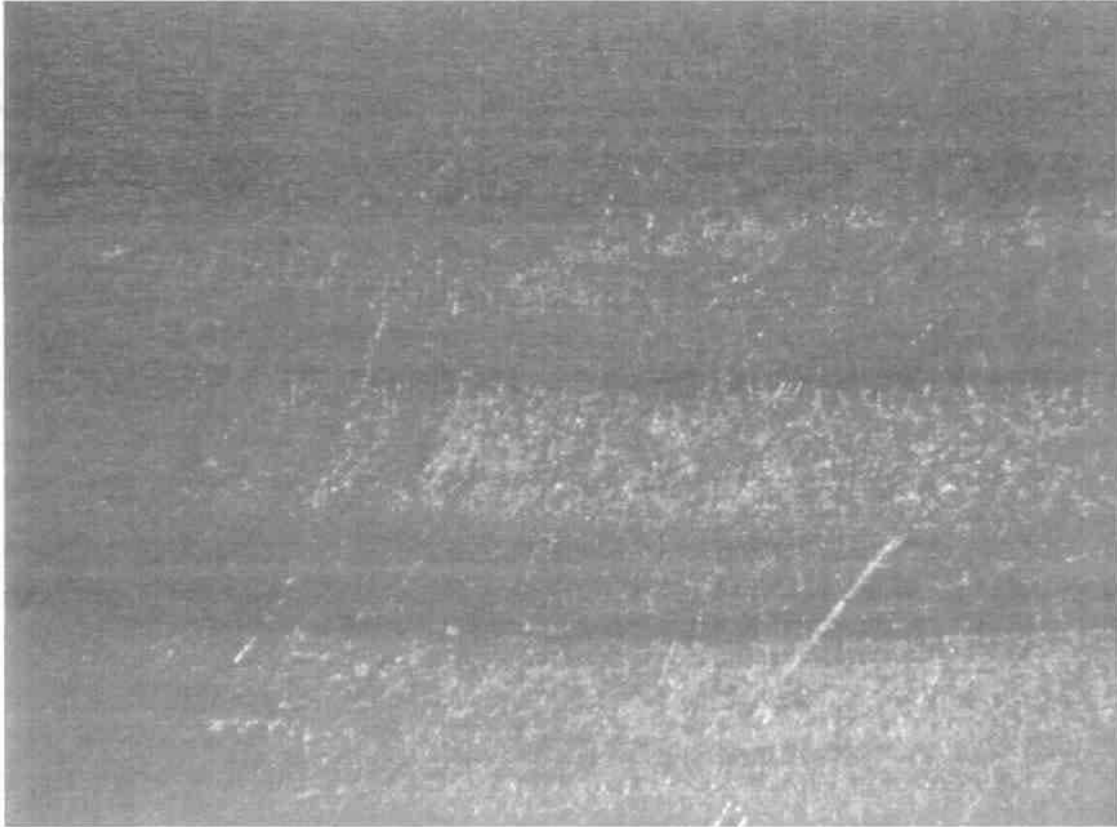
Κατηγορία Επιφάνειας	ΤΕΜΑΧΙΑ	Συνθήκες Κοπής:		
		Βάθος κοπής	Πρόωση	Αρχικές στροφές
5	2	0.5 mm	0.3 mm/rev	414

Ο πίνακας με τα αρχικά βάρη των δοκιμίων πριν από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας είναι ο ακόλουθος.

Πίνακας 72 Αρχικά βάρη δοκιμίων 5^{ης} επιφάνειας.

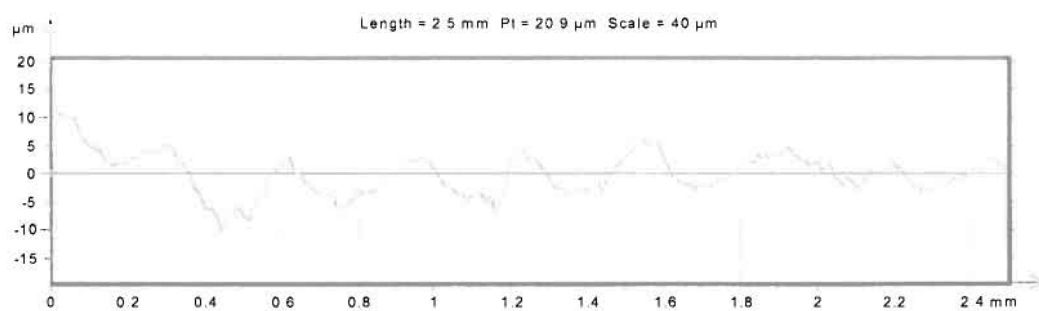
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0 (ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)
5.1	15.85
5.2	15.71
5.3	18.08
5.4	20.38
5.5	19.63
5.6	16.83

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου αναφοράς της πέμπτης επιφάνειας κατεργασίας φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 90 Στερεοσκοπία δοκιμίου αναφοράς της πέμπτης επιφάνειας 40x.

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου αναφοράς της πέμπτης επιφάνειας μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα.



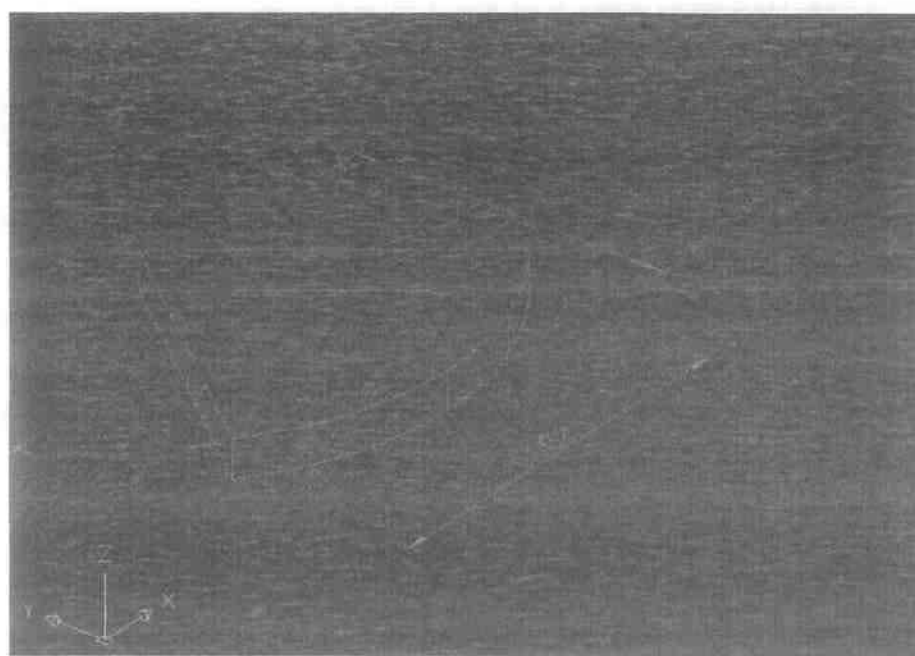
Εικόνα 91 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου αναφοράς πέμπτης επιφάνειας.

Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να πάρουμε ακριβείς τιμές για συγκεκριμένες παραμέτρους, έτσι για την 5η κατηγορία επιφάνειας έχουμε:

Πίνακας 63 Παράμετροι τραχύτητας δοκιμίου αναφοράς 5^{ης} επιφάνειας.

	Ra(μm)	Rt(μm)	Rz(μm)	Sm(μm)	Rsk	Rku
Δοκίμιο αναφοράς 5ης επιφάνειας	2.62	13.7	11.3	0.27	-0.145	2.16

ΔΟΚΙΜΙΟ 5.1



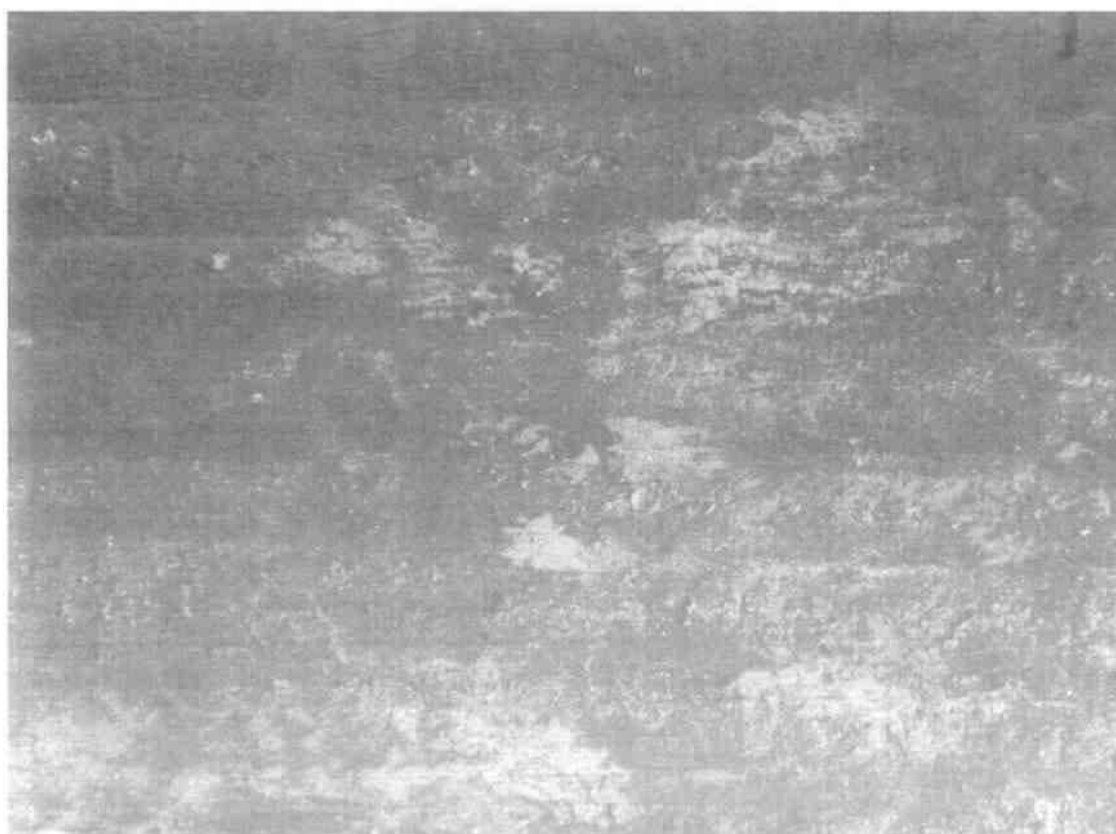
Εικόνα 92 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 5.1

Το δοκίμιο 5.1 είναι το πρώτο της πέμπτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 15 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 64

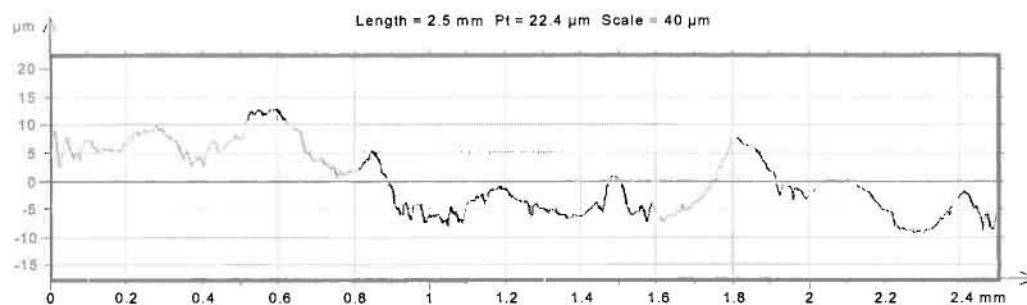
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
5.1	15.85	15.83	0.12%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 5.1 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 93 Στερεοσκοπία δοκιμίου 5.1 40x.

Η τραχιμέτρηση του δοκιμίου 5.1 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα

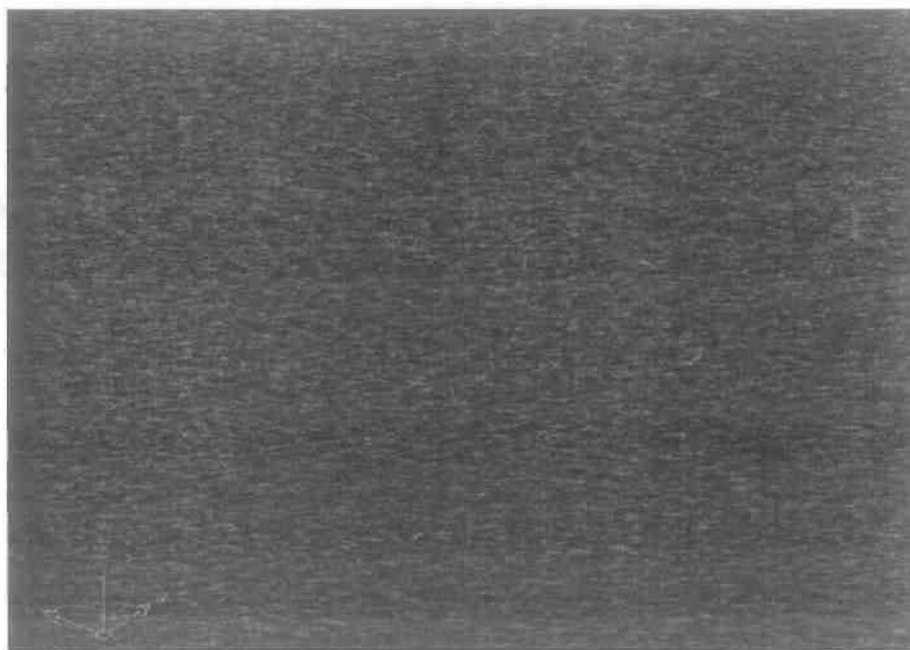


Εικόνα 94 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 5.1

Συνοπτικά για το δοκίμιο 5.1 έχουμε:

Πίνακας 65

Αριθμός τεμαχίου	5.1
Αρχικό βάρος(gr)	15.85
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	15
Τελικό βάρος(gr)	15.83
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.12%
Αριθμός pits	24
Ra(μm)	2.38
Rt(μm)	12.7
Rz(μm)	11.4
Sm(μm)	0.203
Rsk	0.744
Rku	2.58

ΔΟΚΙΜΙΟ 5.2**Εικόνα 95** ΠΡΟΦΙΛ ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 5.2

Το δοκίμιο 5.2 είναι το δεύτερο της πέμπτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 30 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 66

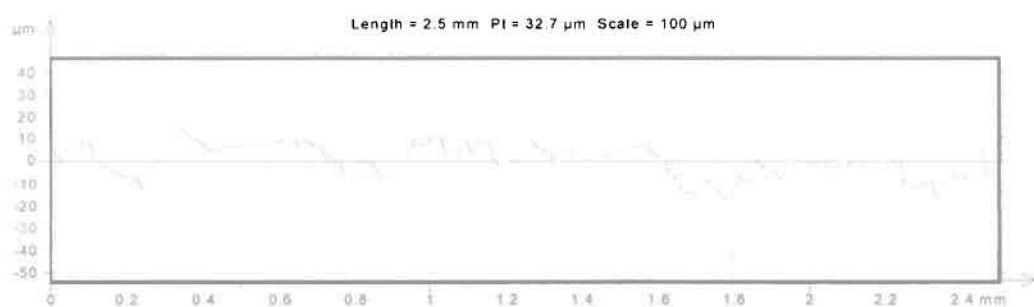
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
5.2	15.71	15.69	0.12%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 5.2 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 96 Στερεοσκοπία δοκιμίου 5.2 40x. (Διαβρωτικά τρήματα).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 5.2 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα

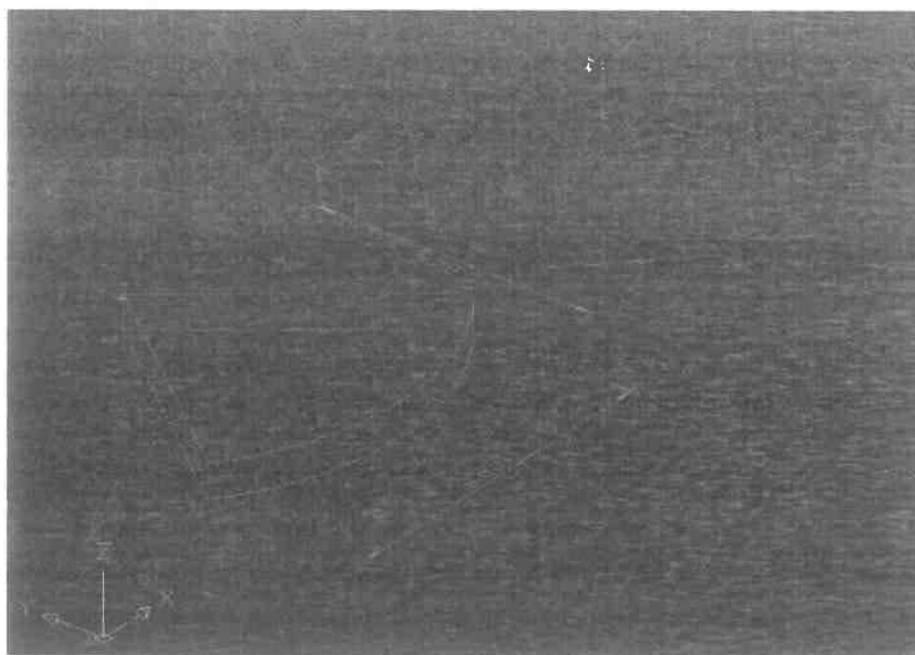


Εικόνα 97 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 5.2.

Συνοπτικά για το δοκίμιο 5.2 έχουμε:

Πίνακας 67

Αριθμός τεμαχίου	5.2
Αρχικό βάρος(gr)	15.71
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	30
Τελικό βάρος(gr)	15.69
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.12%
Αριθμός pits	39
Ra(μm)	3.75
Rt(μm)	20.3
Rz(μm)	19.6
Sm(μm)	0.175
Rsk	-0.411
Rku	2.6

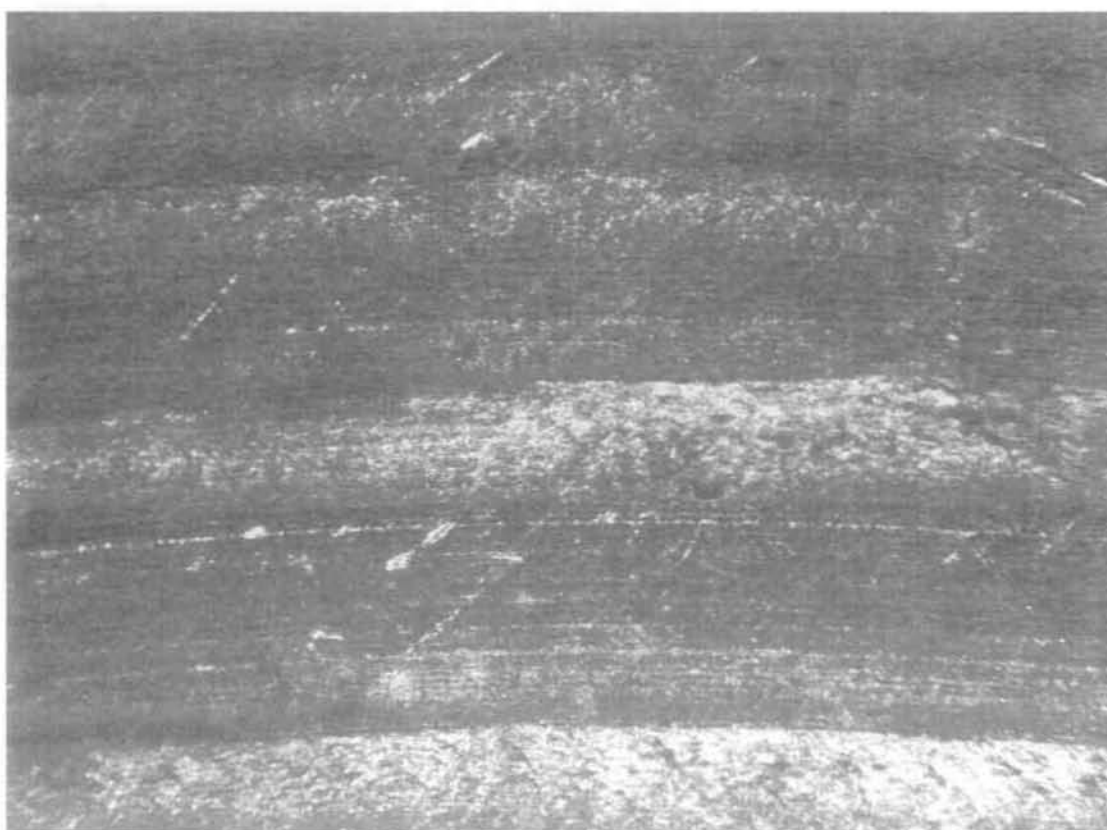
ΔΟΚΙΜΙΟ 5.3**Εικόνα 98 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 5.3**

Το δοκίμιο 5.3 είναι το τρίτο της πέμπτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 45 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 68

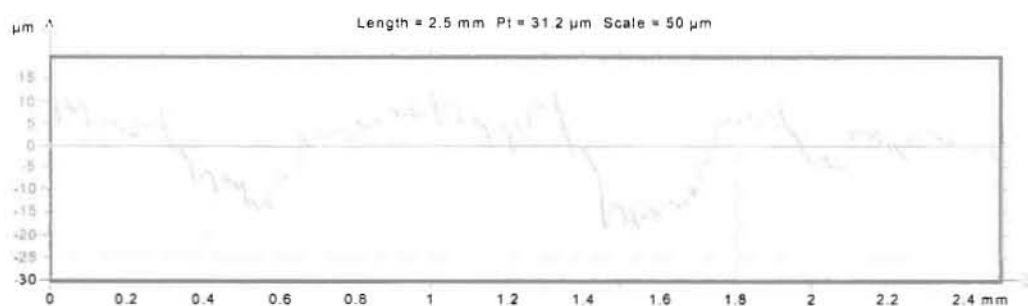
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
5.3	18.08	18.05	0.16%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 5.3 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 99 Στερεοσκοπία δοκιμίου 5.3 40x. (Τρηματική διάβρωση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 5.3 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα

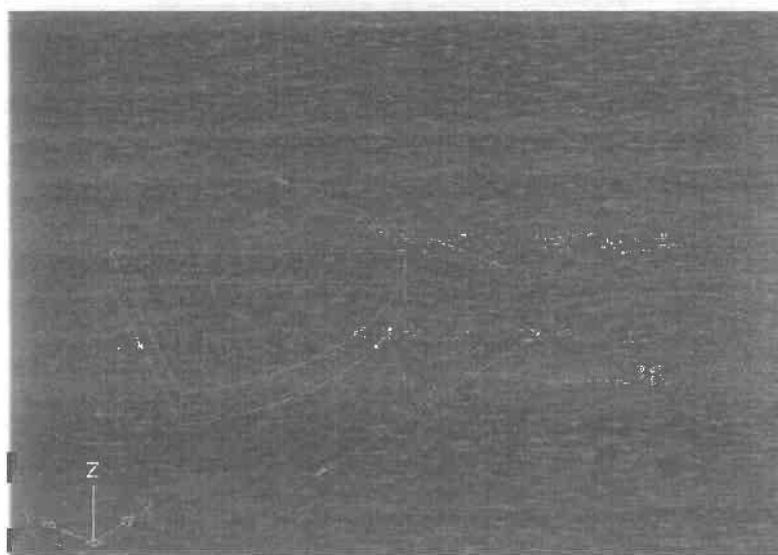


Εικόνα 100 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 5.3

Συνοπτικά για το δοκίμιο 5.3 έχουμε:

Πίνακας 69

Αριθμός τεμαχίου	5.3
Αρχικό βάρος(gr)	18.08
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	45
Τελικό βάρος(gr)	18.05
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.16%
Αριθμός pits	92
Ra(μm)	4.01
Rt(μm)	24.9
Rz(μm)	20.1
Sm(μm)	0.3
Rsk	-0.267
Rku	2.76

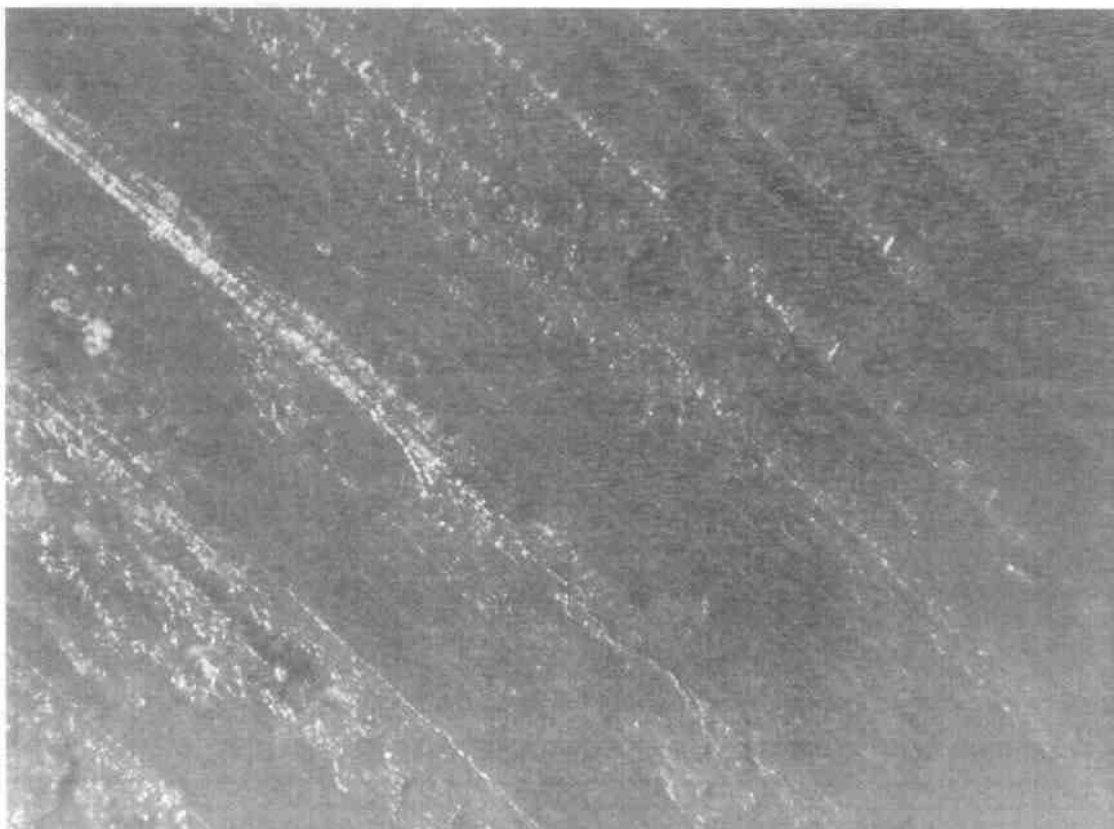
ΔΟΚΙΜΙΟ 5.4**Εικόνα 101 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 5.4**

Το δοκίμιο 5.4 είναι το τέταρτο της πέμπτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 60 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 80

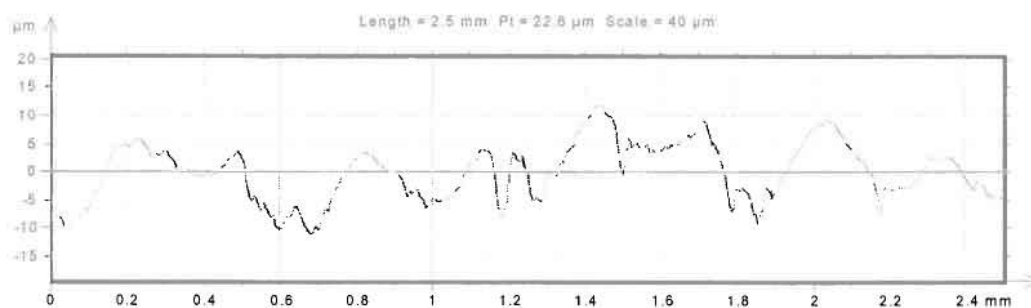
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
5.4	20.38	20.34	0.19%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 5.4 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 102 Στερεοσκοπία δοκιμίου 5.4 40x.(Διαβρωτικά τρήματα).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 5.4 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα



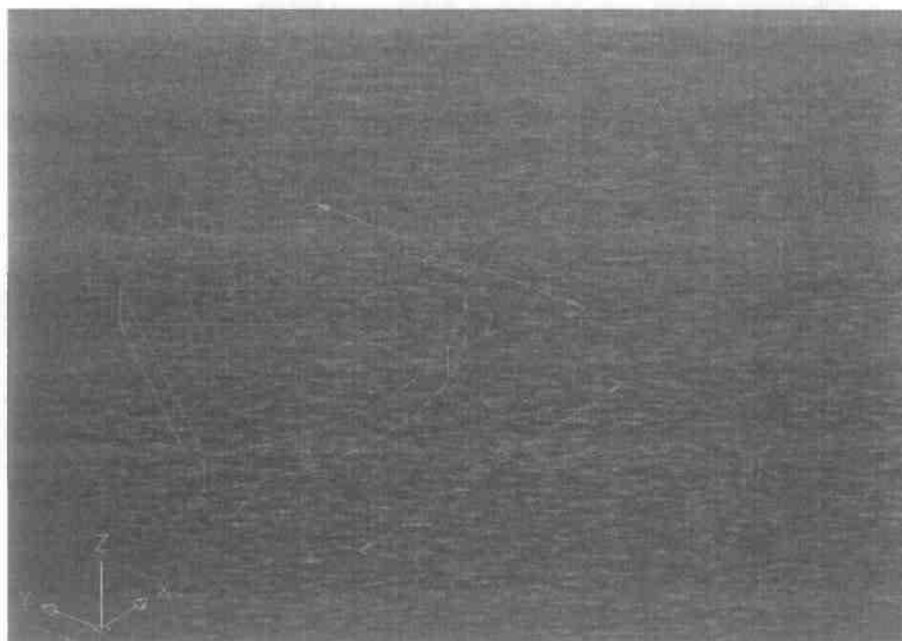
Εικόνα 103 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 5.4

Συνοπτικά για το δοκίμιο 5.4 έχουμε:

Πίνακας 70

Αριθμός τεμαχίου	5.4
Αρχικό βάρος(gr)	20.38
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	60
Τελικό βάρος(gr)	20.34
Ποσοσπαία μεταβολή βάρους(%)	0.19%
Αριθμός pits	159
Ra(μm)	3.38
Rt(μm)	18.1
Rz(μm)	16
Sm(μm)	0.207
Rsk	-0.281
Rku	2.17

ΔΟΚΙΜΙΟ 5.5



Εικόνα 104 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 5.5

Το δοκίμιο 5.5 είναι το πέμπτο της πέμπτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 75 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 71- Συσχέτιση κατεργασίας, τοπογραφίας, κορυφής και βαθμού διάβρωσης των δοκιμίων

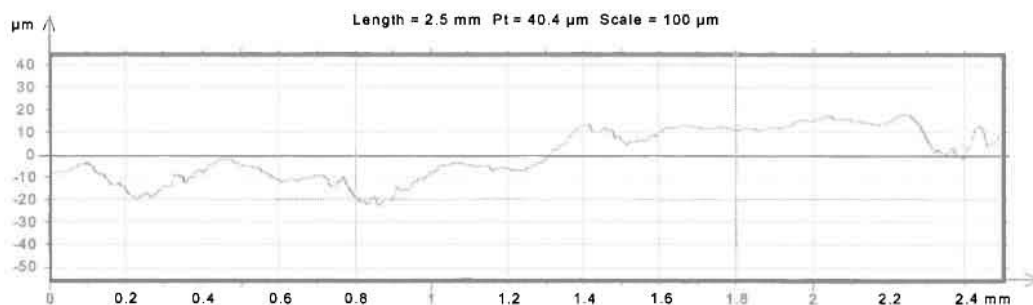
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
5.5	19.63	19.59	0.20%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 5.5 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 105 Στερεοσκοπία δοκιμίου 5.5 40x. (Διαβρωτικά τρήματα).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 5.5 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα

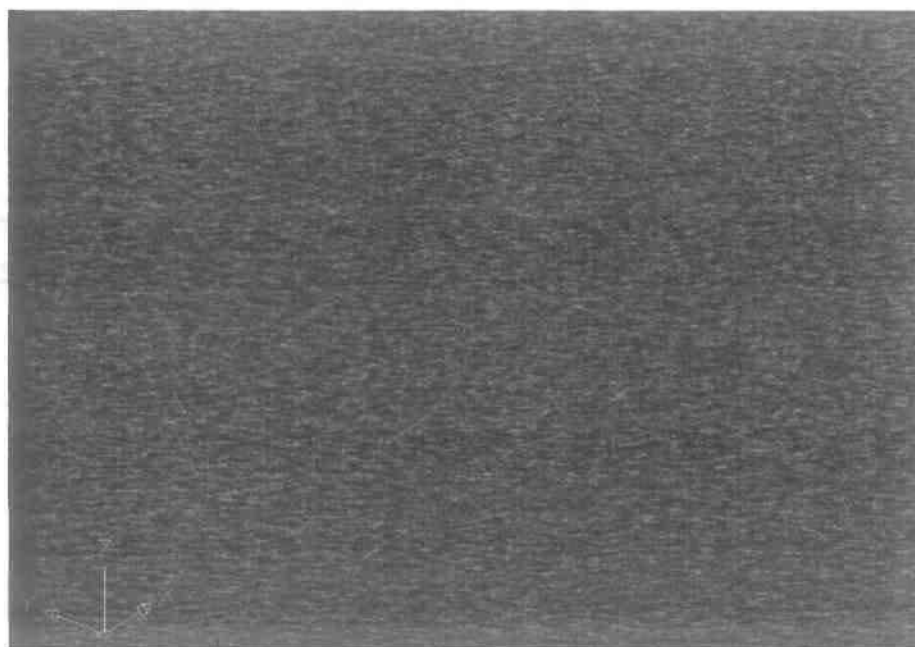


Εικόνα 106 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 5.5.

Συνοπτικά για το δοκίμιο 5.5 έχουμε:

Πίνακας 72

Αριθμός τεμαχίου	5.5
Αρχικό βάρος(gr)	19.63
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	75
Τελικό βάρος(gr)	19.59
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.20%
Αριθμός pits	179
Ra(μm)	2.78
Rt(μm)	17.8
Rz(μm)	15.3
Sm(μm)	0.271
Rsk	-0.034
Rku	3.01

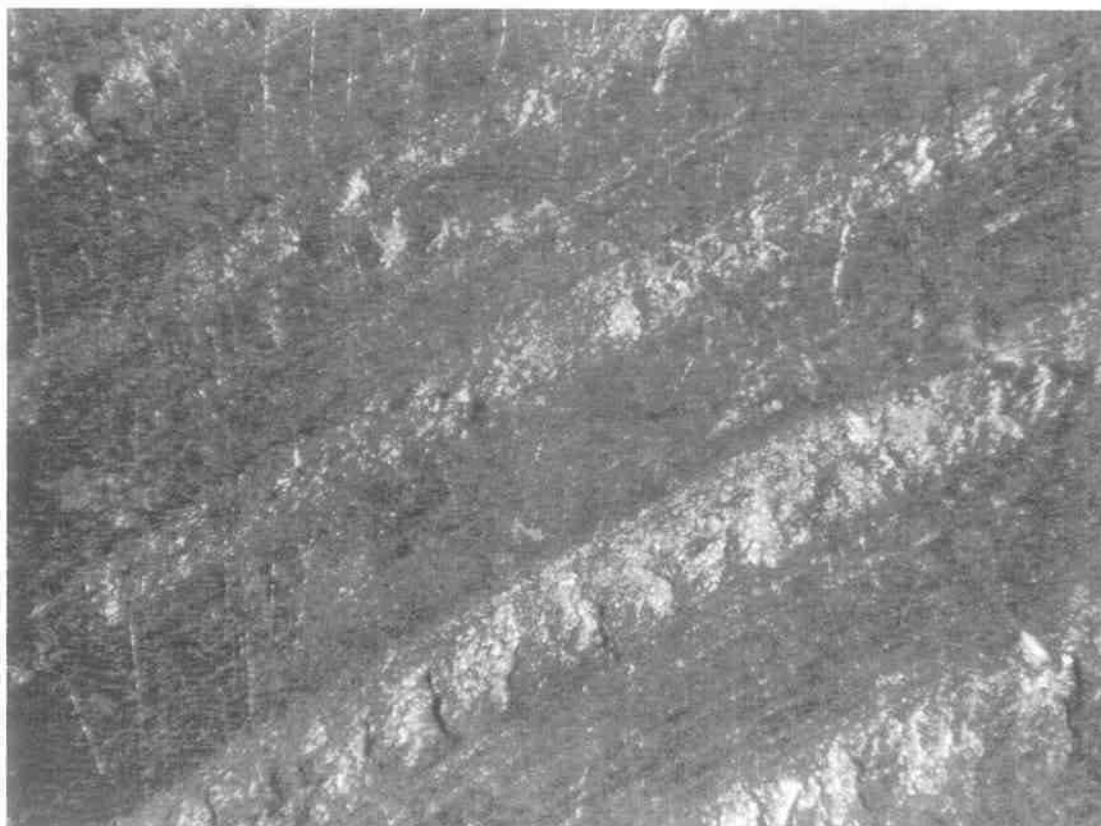
ΔΟΚΙΜΙΟ 5.6**Εικόνα 107 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 5.6**

Το δοκίμιο 5.6 είναι το έκτο της πέμπτης κατεργασίας και απομακρύνθηκε από το διαβρωτικό περιβάλλον ενώ είχε παραμείνει σε αυτό για το διάστημα των 90 ημερών. Οι ζυγίσεις μας έδωσαν τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 73

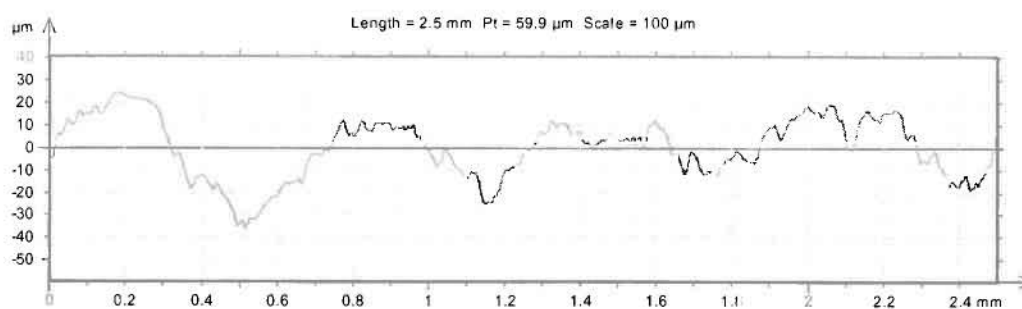
ΑΥΞΩΝ ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	W0(ΑΡΧΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΣΕ gr)	W1	ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΒΑΡΟΥΣ(%)
5.6	16.83	16.78	0.29%

Η στερεοσκοπία του δοκιμίου 5.6 φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 108 Στερεοσκοπία δοκιμίου 5.6 40x. (Τρηματική διάβρωση).

Η τραχυμέτρηση του δοκιμίου 5.6 μας έδωσε το παρακάτω διάγραμμα



Εικόνα 109 Προφίλ τραχυμέτρησης δοκιμίου 5.6

Συνοπτικά για το δοκίμιο 5.6 έχουμε:

Πίνακας 74

Αριθμός τεμαχίου	5.6
Αρχικό βάρος(gr)	16.83
Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον(ημέρες)	90
Τελικό βάρος(gr)	16.78
Ποσοστιαία μεταβολή βάρους(%)	0.29%
Αριθμός pits	186
Ra(μm)	6.89
Rt(μm)	35.4
Rz(μm)	21.9
Sm(μm)	0.211
Rsk	-0.848
Rku	2.97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΤΡΗΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΣΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Ένα χρήσιμο εργαλείο στην προσπάθειά μας για εξαγωγή συμπερασμάτων μπορεί να είναι ο αριθμός των pits ανά τετραγωνικό εκατοστό (pits/cm^2), του οποίου η συσχέτιση με την σχετική απώλεια βάρους(%) είναι προφανής και αποτυπώνεται στους πίνακες που ακολουθούν για την κάθε επιφάνεια κατεργασίας.

1η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Πίνακας 13.1

Αριθμός δοκιμίου	(pits/cm^2)	σχετική απώλεια βάρους(%)
1.1	5.63	0.21
1.2	9.12	0.17
1.3	11.28	0.15
1.4	13.45	0.30
1.5	17.6	0.15
1.6	23.12	0.39

2η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Πίνακας 13.2

Αριθμός δοκιμίου	(pits/cm^2)	σχετική απώλεια βάρους(%)
2.1	6.2	0.18
2.2	9.3	0.12
2.3	11.1	0.17
2.4	10.8	0.5
2.5	10.5	0.28
2.6	16.2	0.47

3η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ**Πίνακας 13.3**

Αριθμός δοκιμίου	(pits/cm ²)	σχετική απώλεια βάρους(%)
3.1	5.2	0.21
3.2	10.5	0.13
3.3	11.9	0.18
3.4	10.4	0.26
3.5	14.6	0.20
3.6	21.7	0.20

4η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ**Πίνακας 13.4**

Αριθμός δοκιμίου	(pits/cm ²)	σχετική απώλεια βάρους(%)
4.1	2.9	0.13
4.2	7.6	0.05
4.3	11.6	0.38
4.4	18.1	0.23
4.5	18.2	0.32
4.6	21.4	0.16

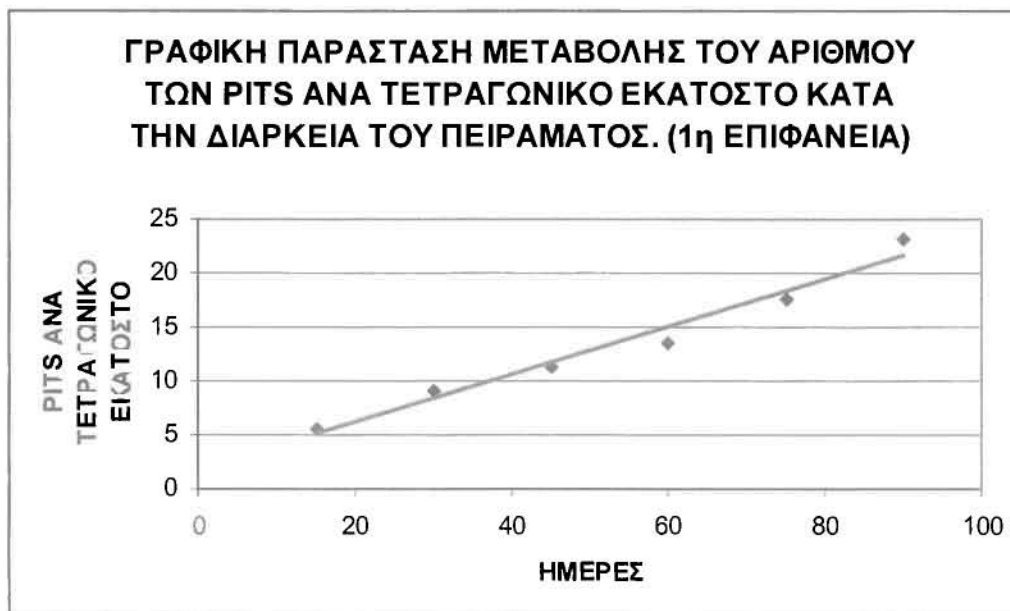
5η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Πίνακας 13.5

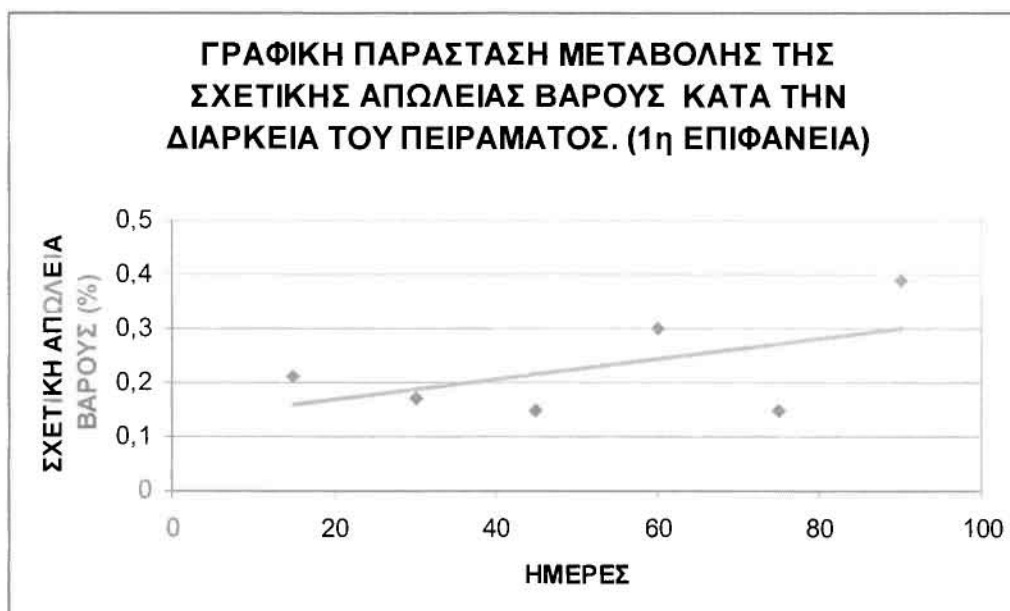
Αριθμός δοκιμίου	(pits/cm ²)	σχετική απώλεια βάρους(%)
5.1	2.1	0.12
5.2	3.5	0.12
5.3	5.8	0.16
5.4	10.2	0.19
5.5	11.1	0.20
5.6	14.1	0.29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

1^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



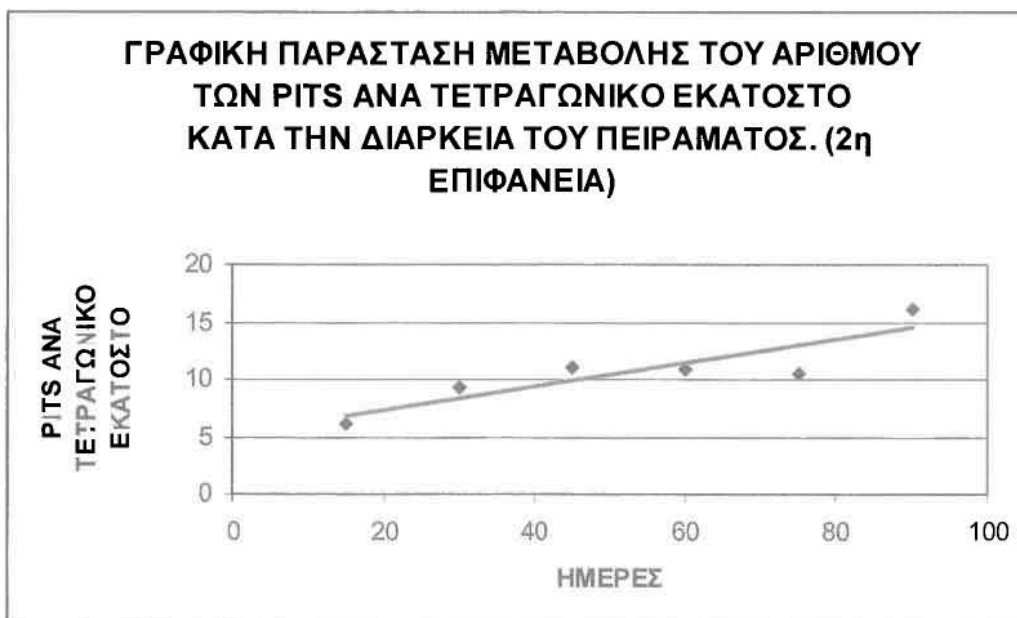
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 1



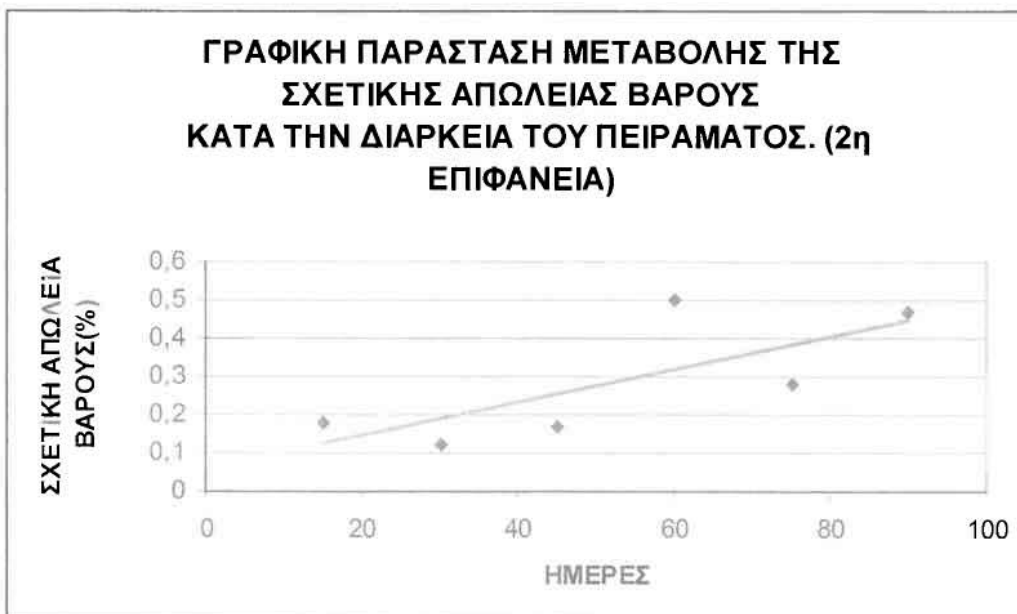
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 2

Η μεταβολή του βάρους των δοκιμίων που υποβλήθηκαν στην πρώτη κατεργασία κυμαίνεται από 0,15-0,39%, τιμές που αντιστοιχούν στα δοκίμια 1.3(45 ημέρες

παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον) και 1.6(90 ημέρες παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον). Με μία προσεκτική ανάλυση της στερεοσκοπίας παρατηρούμε ότι η πρώτη αξιολογη παρατήρηση διαβρωτικών τρημάτων(rits) εμφανίζεται στα δοκίμια 1.2 και 1.3, με την πάροδο 30 ημερών από την έναρξη του πειράματος δηλαδή. Το φαινόμενο της εμφάνισης rits γίνεται πολύ έντονο στο δοκίμιο 1.4 κάτι που συνοδεύεται και από σημαντική απώλεια βάρους στο συγκεκριμένο δοκίμιο(0.30 %). Το δοκίμιο 1.6 ήταν αυτό που αποσύρθηκε τελευταίο από την δεξαμενή και παρουσιάζει σχετική απώλεια βάρους 0.39%, ενώ είχε παραμείνει σε αυτήν για 90 ημέρες. Επιπλέον σε αυτό το δοκίμιο παρουσιάζεται και αύξηση του εμβαδού των διαβρωτικών τρημάτων, κάτι που ίσως να δικαιολογεί και την μεγάλη μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους. Συμπερασματικά και παρατηρώντας ταυτόχρονα τις γραφικές παραστάσεις 1 και 2 μπορούμε να συμπεράνουμε πως στα δοκίμια που υποβλήθηκαν στην πρώτη κατεργασία μία αύξηση του αριθμού των rits/cm² συνοδεύεται και από αντίστοιχη αυξητική τάση του ποσοστού της σχετικής απώλειας βάρους. Μία πιθανή εκτίμηση θα ήταν ότι καθώς το φαινόμενο εξελίσσεται τα rits αυξάνονται αριθμητικά στην επιφάνεια του υλικού και όχι προς το εσωτερικό του υλικού, κάτι που κάνει πιο εύκολη την παρατήρηση της διάβρωσης όταν αυτή εμφανίζεται και συνεπώς μας οδηγεί σε πιο έγκαιρη αντιμετώπισή της.

2^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

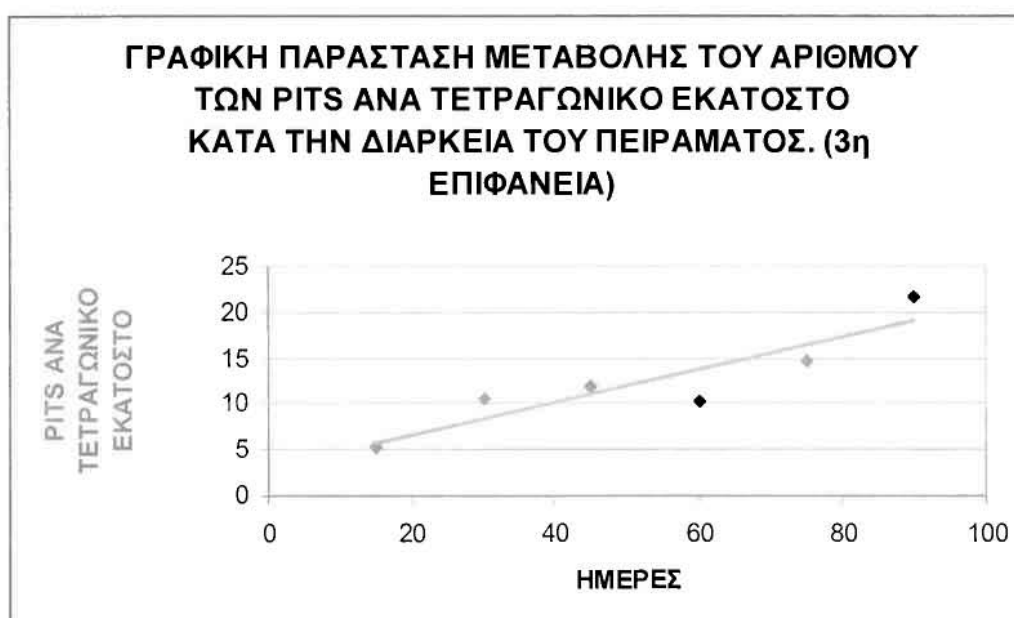
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 3



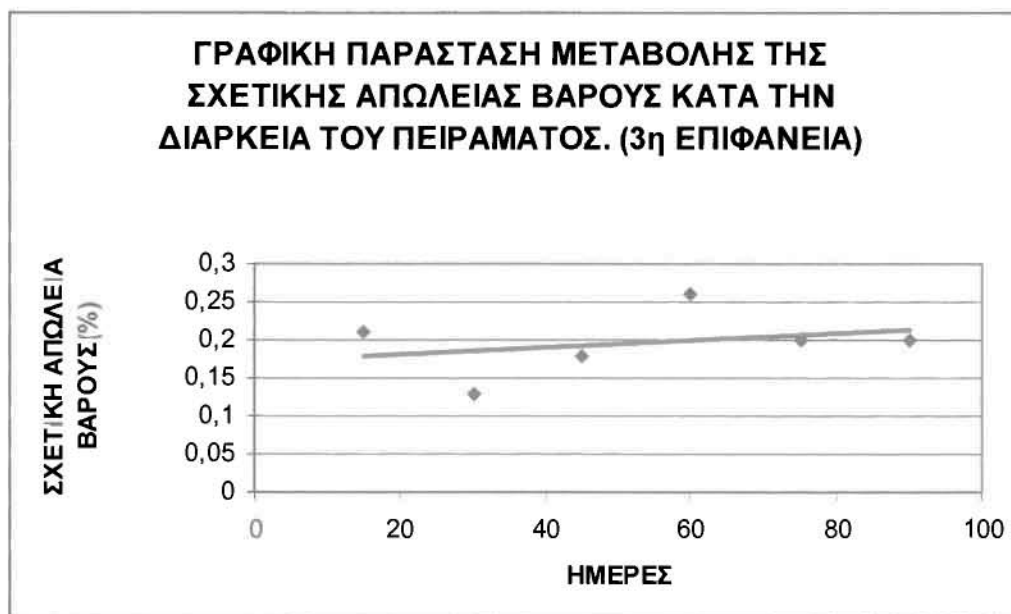
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 4

Μετά από προσεκτική ανάλυση των στερεοσκοπιών από τα δοκίμια της δεύτερης επιφάνειας εργασίας παρατηρούμε ότι αξιόλογη εμφάνιση διαβρωτικών τρημάτων εμφανίζεται ακόμη και στο δοκίμιο 2.1 το οποίο παρέμεινε στο διαβρωτικό περιβάλλον μόνο 15 ημέρες. Το φαινόμενο δεν μπορούμε να πούμε ότι εξελίσσεται ομαλά τις πρώτες 60 ημέρες του πειράματος (γραφικές παραστάσεις 3 και 4) καθώς τα δοκίμια 2.3 και 2.4 παρουσιάζουν τον ίδιο αριθμό pits/cm² (11.1 και 10.8 αντίστοιχα) αλλά εντελώς διαφορετικό ποσοστό σχετικής απώλειας βάρους (0.17 και 0.5). Αυτό το «παράδοξο» ίσως να ερμηνεύεται αν κάνουμε την υπόθεση ότι κατά την εξέλιξη του φαινομένου τα pits αυξάνονται κατά βάθος και όχι προς την επιφάνεια του υλικού. Άλλωστε η παρατήρηση της στερεοσκοπίας αυτών των δοκιμίων συνηγορεί προς αυτήν την κατεύθυνση. Ομαλοποίηση του φαινομένου μπορούμε να πούμε πως υπάρχει με την πάροδο 60 ημερών από την έναρξη του πειράματος αφού αυξητική τάση του αριθμού των pits συνοδεύεται και από αύξηση της σχετικής απώλειας βάρους.

3^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

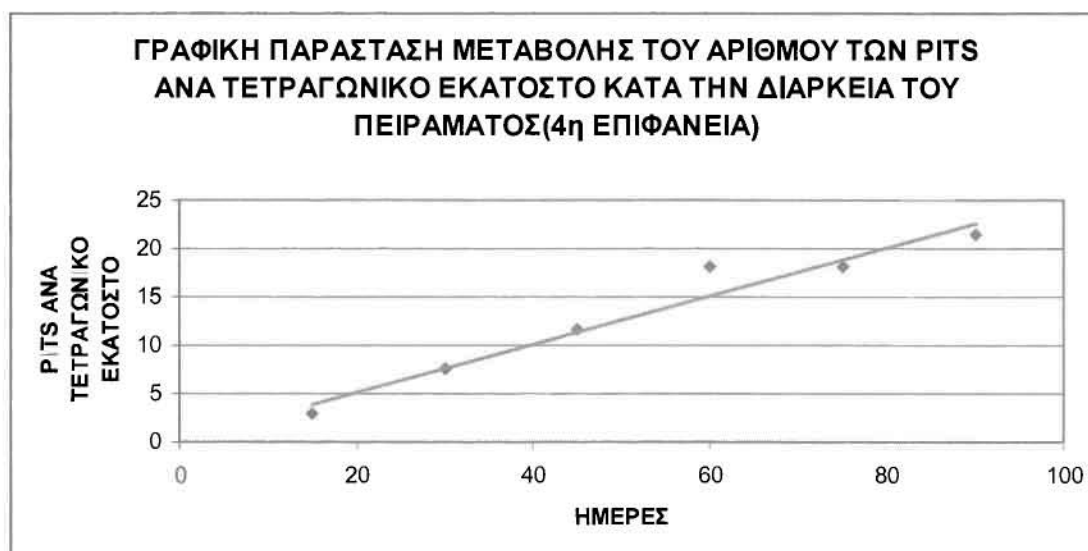


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 5

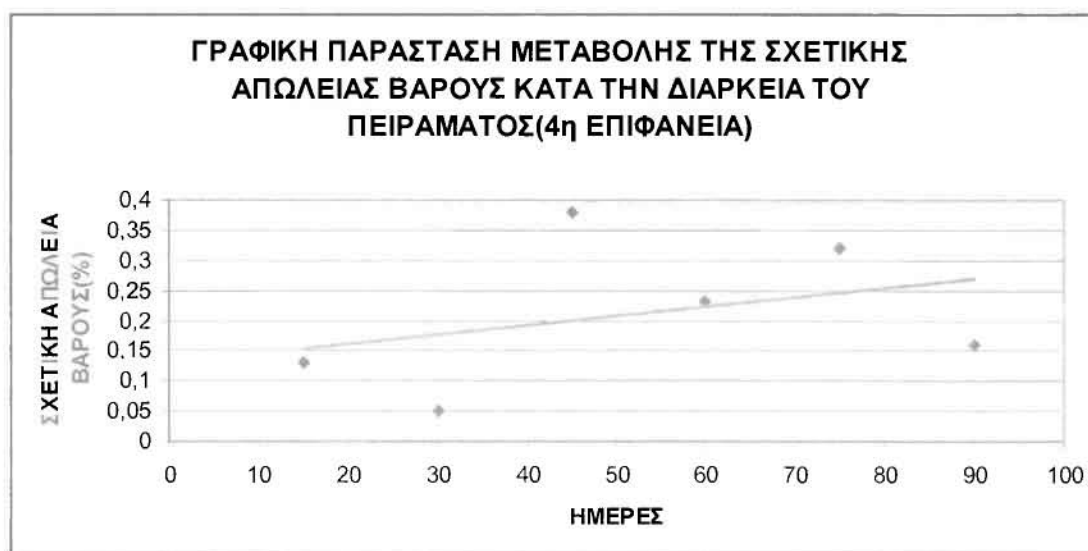


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 6

Μετά από ανάλυση των στεροσκοπιών της τρίτης επιφάνειας εργασίας, παρατηρούμε ότι η πρώτη αξιόλογη εμφάνιση pits στην επιφάνεια του υλικού παρατηρείται στο δοκίμιο 3.2. Συνδυάζοντας τις παρατηρήσεις μας από την μελέτη των στερεοσκοπιών, με τις τάσεις των γραφικών παραστάσεων 5 και 6 μπορούμε να πούμε πως το φαινόμενο εξελίσσεται ομαλά τις πρώτες 45 ημέρες του πειράματος. Στις 60 ημέρες πειράματος όμως και στο δοκίμιο 3.4, η σχετικά μεγάλη απώλεια βάρους δεν συνοδεύεται από αύξηση του αριθμού των pits/cm² σε σχέση με το δοκίμιο 3.3, κάτι που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σε αυτό το χρονικό διάστημα η διάβρωση αυξάνεται κατά βάθος, προς το εσωτερικό του υλικού μας (φαινόμενο ιδιαίτερα επικίνδυνο όπως έχει προαναφερθεί, αφού μπορεί να μας οδηγήσει σε αστοχία υλικού). Τέλος, μια προσεκτική παρατήρηση του δοκιμίου 3.6 (90 ημέρες παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον) μας οδηγεί στο να διακρίνουμε μία έντονη τρηματοποίηση στην επιφάνεια αυτού του δοκιμίου αφού ο αριθμός των pits στην επιφάνειά του φτάνει τα 289.

4^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

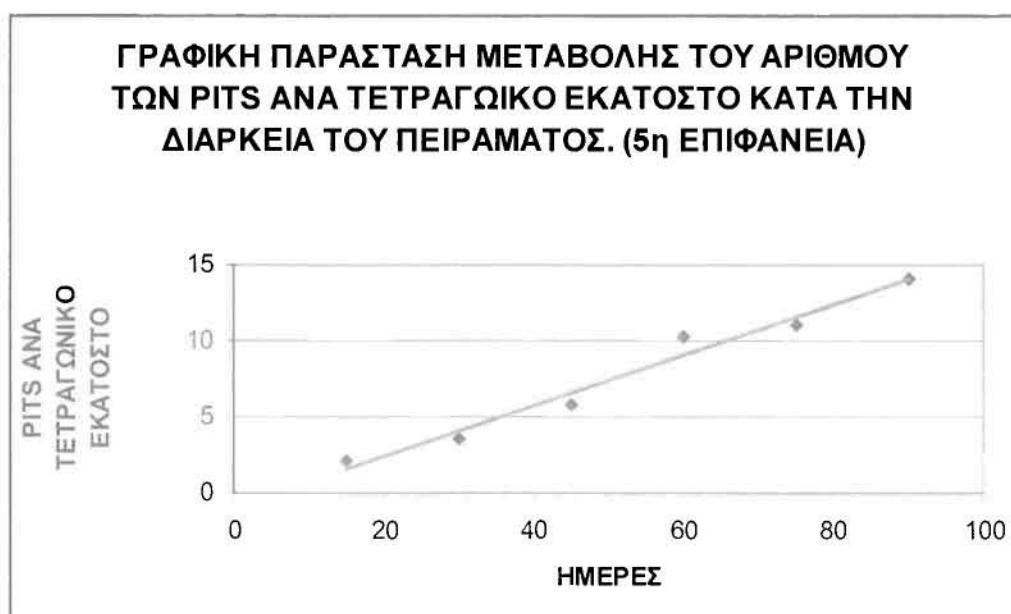
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 7



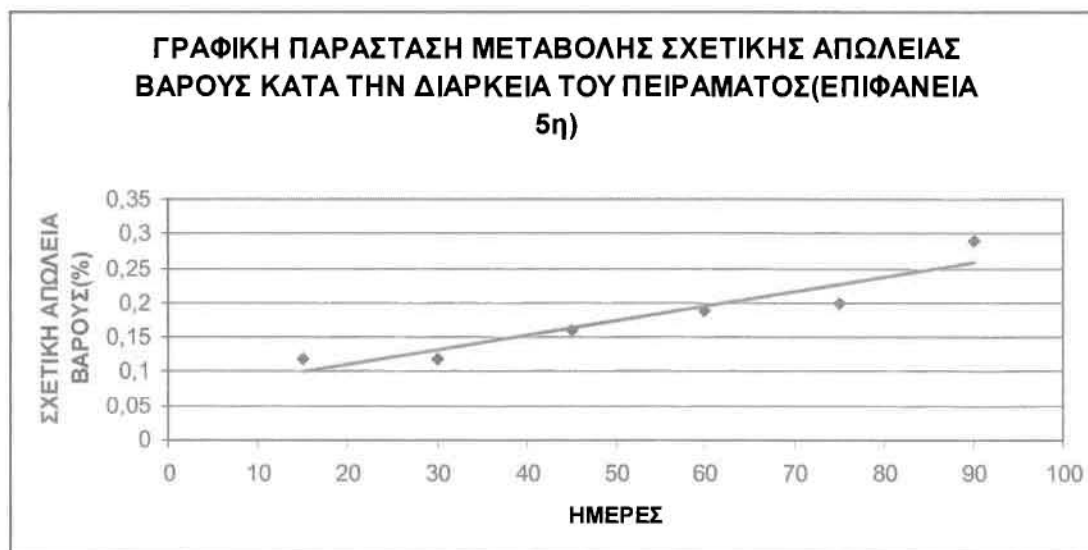
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 8

Σε αυτή την επιφάνεια κατεργασίας η παρατήρηση των στερεοσκοπιών μας δείχνει πως η πρώτη αξιολογη εμφάνιση pits συμβαίνει με το πέρας 30 ημερών από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα στο δοκίμιο 4.2 έχουμε 7.6 pits/cm² ενώ στο δοκίμιο 4.1 η αντίστοιχη τιμή είναι μόλις 2.9 pits/cm². Το φαινόμενο της αύξησης των ρηγμάτων κατά βάθος εμφανίζεται στις 45 ημέρες από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, αφού τα δοκίμια 4.4 και 4.5 παρουσιάζουν σχεδόν τον ίδιο αριθμό pits/cm² (18.1 και 18.2 αντίστοιχα), όχι όμως και την ίδια σχετική απώλεια βάρους (0.23 και 0.32). Ένα συμπέρασμα που μπορούμε να εξαγάγουμε, κάνοντας παράλληλη επεξεργασία των στερεοσκοπιών αλλά και των γραφικών παραστάσεων 7 και 8, είναι ότι στα δοκίμια που υποβλήθηκαν στην τέταρτη κατεργασία η διαβρωτική διαδικασία εξελίσσεται με παράλληλη αύξηση της επιφάνειας των τρημάτων αλλά και του βάθους τους.

5^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 9



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 10

Η παρατήρηση των στερεοσκοπιών των δοκιμών που υποβλήθηκαν στην πέμπτη κατεργασία αλλά και η μελέτη των γραφικών παραστάσεων 9 και 10 μας κάνουν να συμπεράνουμε ότι ο πρώτος σημαντικός αριθμός pits εμφανίζεται με το πέρας 45 ημερών πειραματικής διαδικασίας. Συγκεκριμένα η επιφάνεια του δοκιμίου 5.3 παρουσιάζει στο σύνολό της τον αριθμό των 92 διαβρωτικών τρημάτων. Γενικά δεν μπορούμε να πούμε ότι έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις της σχετικής απώλειας βάρους των δοκιμών αφού αυτή παίρνει τιμές από 0.12% έως 0.29 %. Το φαινόμενο μπορούμε να πούμε συνεπώς πως εξελίσσεται ομαλά, δεν εντατικοποιείται αλλά ούτε και παρουσιάζει διακυμάνσεις αυτές τις 90 ημέρες που τα δοκίμια παρέμειναν στο διαβρωτικό περιβάλλον.

Γενικά από την παρατήρηση των γραφικών παραστάσεων σχετικής απώλειας βάρους έχουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η 2^η επιφάνεια παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή σχετικής απώλειας βάρους σε σχέση με όλα τα άλλα δοκίμια.(0.5% δοκ.2.4)
- Η 5^η επιφάνεια μοιάζει να είναι η επιφάνεια στην οποία το φαινόμενο εξελίσσεται πιο ομαλά συγκριτικά με τις υπόλοιπες.
- Η 4^η επιφάνεια, η οποία όπως έχει προαναφερθεί χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη πολλών ατελειών, παρουσιάζει μη ομαλή εξέλιξη της απώλειας βάρους των δοκιμών της.

- Η 1^η και 3^η επιφάνεια φαντάζουν από αυτό το γράφημα ως αυτές των οποίων τα δοκίμια «χάνουν» το βάρος τους πιο ομαλά συγκριτικά με τις υπόλοιπες.

6.1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

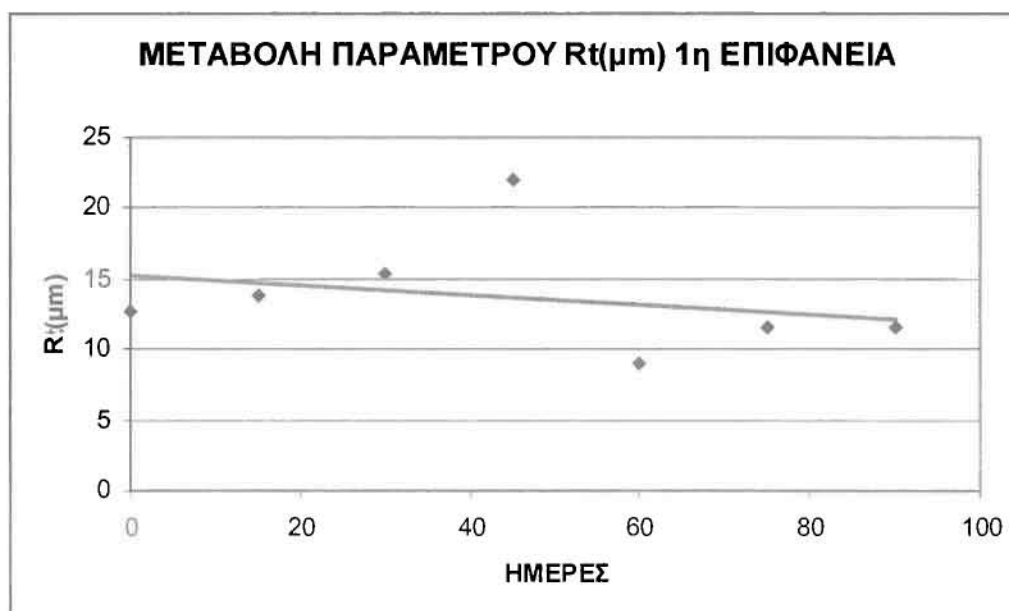
Στην προσπάθειά μας να ερμηνεύσουμε τον μηχανισμό της διάβρωσης αλλά και το πώς αυτός έδρασε σε κάθε επιφάνεια χωριστά δεν μπορούμε να παραβλέψουμε την τοπογραφική εξάπλωση της διάβρωσης. Είναι προφανές ότι από την μελέτη των στερεοσκοπιών τα διαβρωτικά τρήματα (pits) εμφανίζονται αρχικά ή στα όρη ή στις κοιλάδες των επιφανειών που προέκυψαν από την διαδικασία της τόννευσης. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει ομαδοποιημένα το πώς ξεκινάει το φαινόμενο της διάβρωσης ανά επιφάνεια. Οι παρατηρήσεις αυτές σε συνδυασμό με τις συνθήκες τόννευσης της κάθε κατεργασίας μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο της μελέτης της διαβρωτικής διαδικασίας.

Πίνακας 14.1

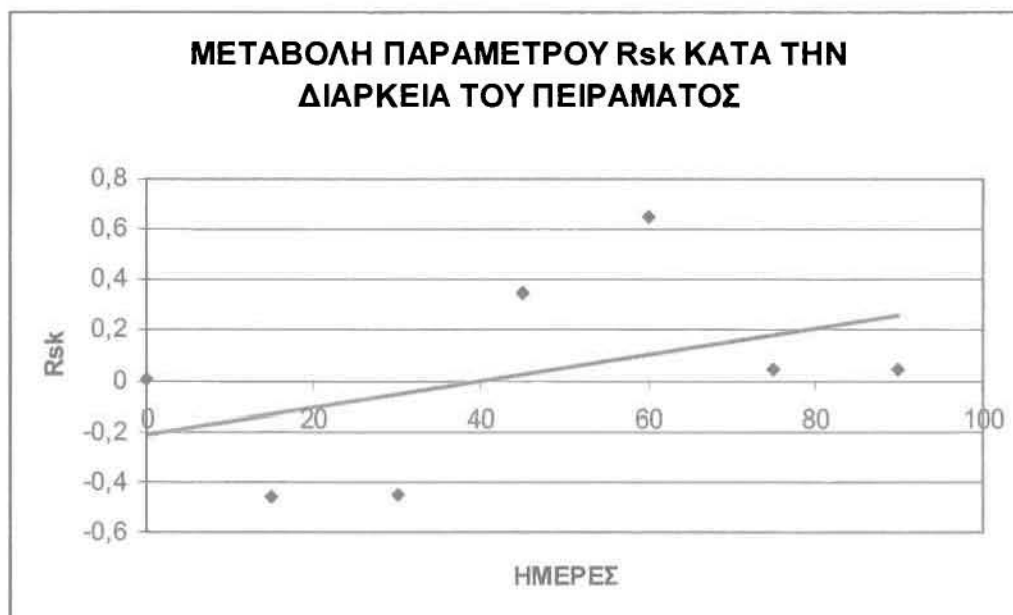
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ/ΑΡΧΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ PITS	ΚΟΡΥΦΕΣ	ΚΟΙΛΑΔΕΣ	ΚΟΡΥΦΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΛΑΔΕΣ
1		X	
2	X		
3			X
4			X
5	X		

Η ομοιομορφία της κάθε επιφάνειας, η ύπαρξη ή όχι ατελειών, το ύψος των κορυφών αλλά και διάφορα στοιχεία που εκφράζονται με κάποιες παραμέτρους τραχύτητας όπως η Ra η Rt και η Rsk (skewness) που αποτελεί το μέτρο σύγκρισης της συμμετρίας του προφίλ συμβάλλουν στον διαφορετικό βαθμό διάβρωσης που εμφανίζει η κάθε επιφάνεια. Ανά επιφάνεια μπορούμε να πούμε συνοπτικά τα παρακάτω:

1. Τα διαβρωτικά τρήματα (pits) εμφανίζονται τοπογραφικά, αρχικά στις κοιλάδες και έπειτα στις κορυφές των επιφανειών που προέκυψαν από την διαδικασία της τórνευσης. Η τιμή της R_{sk} πριν από την έναρξη της διαδικασίας (0.00623) μας δείχνει ότι πρόκειται για ένα συμμετρικό προφίλ. Επίσης η τιμή της παραμέτρου R_t (12.7) υποδηλώνει πως το ύψος των κορυφών είναι σχετικά χαμηλό αρχικά. Οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν δείχνουν το πώς μεταβάλλονται αυτές οι δύο παράμετροι στις 90 ημέρες που διήρκεσε το φαινόμενο της διάβρωσης.

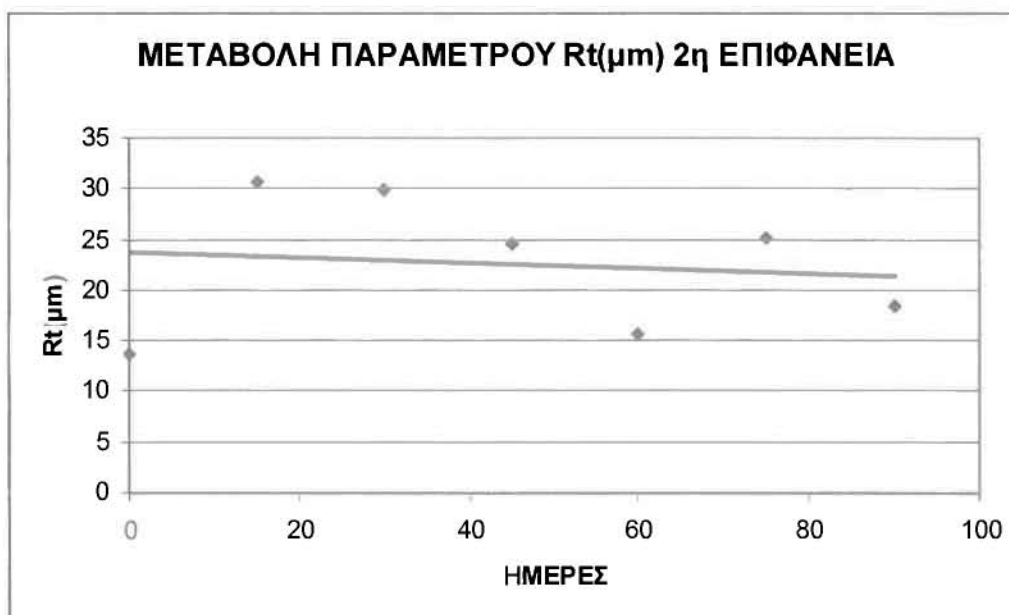


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 12

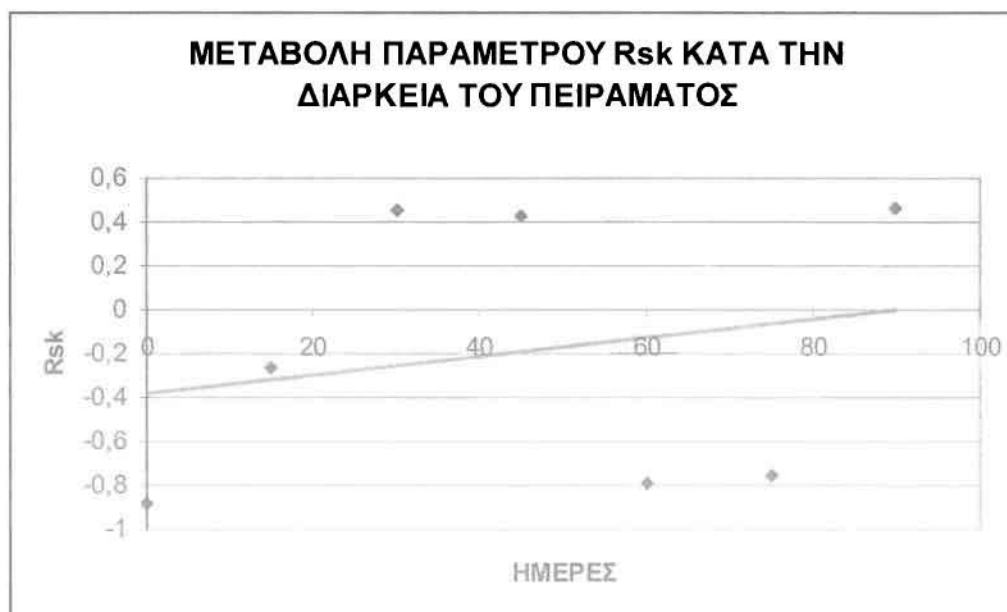


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 13

2. Τα διαβρωτικά τρήματα (pits) εμφανίζονται τοπογραφικά, αρχικά στις κορυφές και έπειτα στις κοιλάδες των επιφανειών που προέκυψαν από τη διαδικασία της τόννευσης. Η τιμή της R_{sk} πριν από την έναρξη της διαδικασίας (-0,88) μας δείχνει ότι πρόκειται για ένα μη συμμετρικό προφίλ. Επίσης η τιμή της παραμέτρου R_t (13,7) υποδηλώνει πως το ύψος των κορυφών είναι σχετικά χαμηλό αρχικά. Οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν δείχνουν το πώς μεταβάλλονται αυτές οι δύο παράμετροι στις 90 ημέρες που διήρκεσε το φαινόμενο της διάβρωσης.

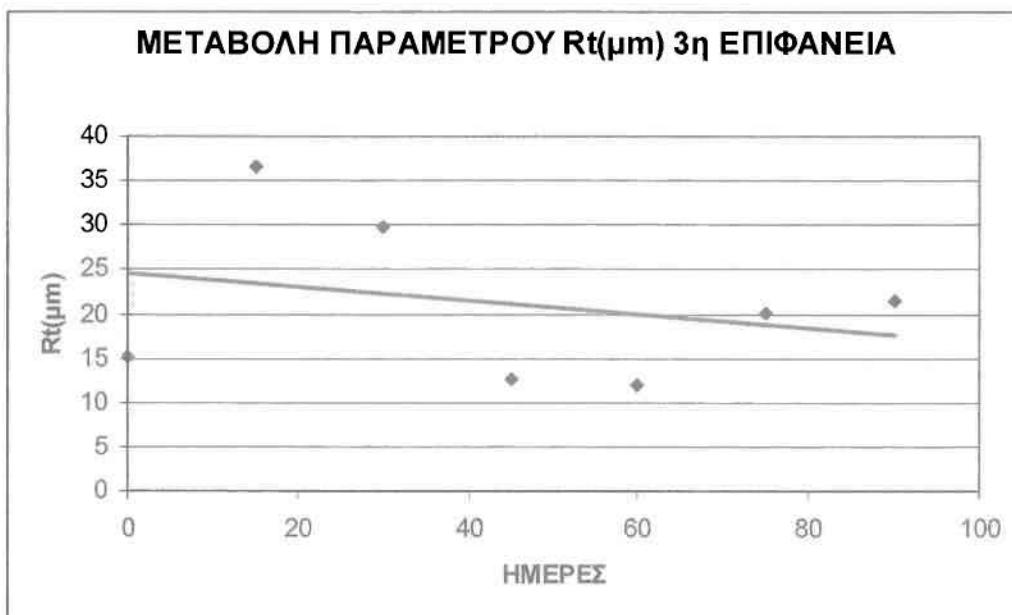


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 14



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 15

3. Τα διαβρωτικά τρήματα (pits) εμφανίζονται τοπογραφικά, ταυτόχρονα στις κοιλάδες και στις κορυφές των επιφανειών που προέκυψαν από την διαδικασία της τόννευσης, κάτι που διαφοροποιεί αυτή αλλά και την επόμενη επιφάνεια από τις υπόλοιπες. Η τιμή της R_{sk} πριν από την έναρξη της διαδικασίας (-0.344) μας δείχνει ότι πρόκειται για ένα μη συμμετρικό προφίλ. Επίσης η τιμή της παραμέτρου R_t (15.7) υποδηλώνει πως το ύψος των κορυφών είναι σχετικά χαμηλό αρχικά. Οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν δείχνουν το πώς μεταβάλλονται αυτές οι δύο παράμετροι στις 90 ημέρες που διήρκεσε το φαινόμενο της διάβρωσης.

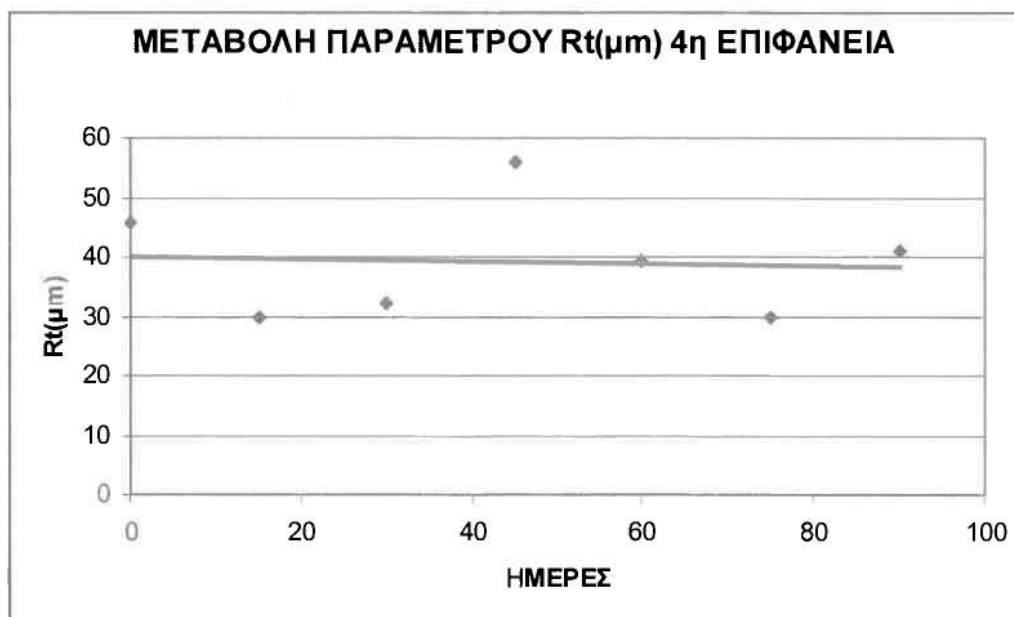


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 16

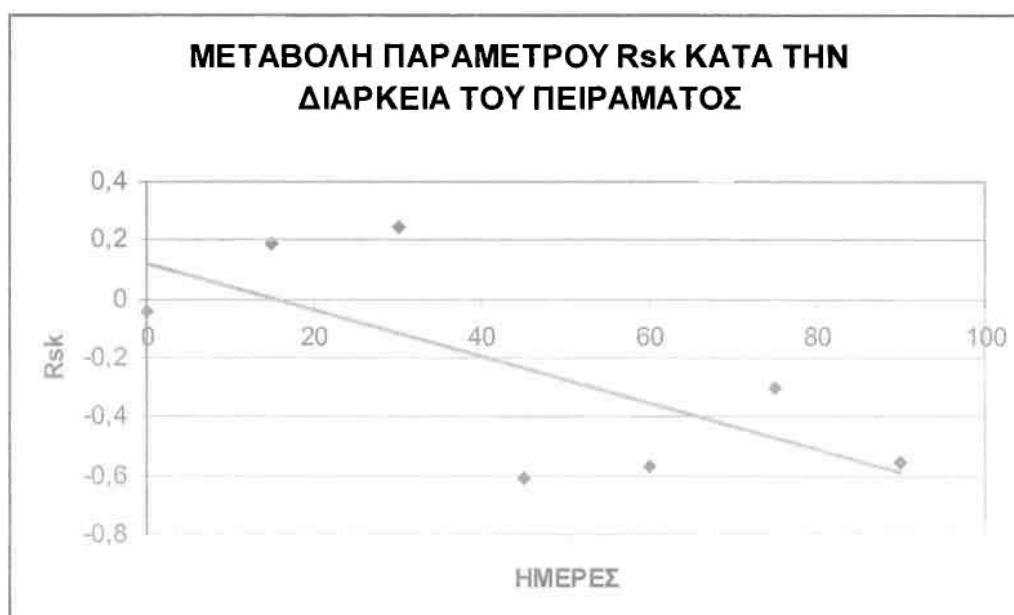


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 17

4. Τα διαβρωτικά τρήματα (pits) εμφανίζονται τοπογραφικά, ταυτόχρονα στις κορυφές και στις κοιλάδες των επιφανειών που προέκυψαν από την διαδικασία της τόννευσης. Η τιμή της R_{sk} πριν από την έναρξη της διαδικασίας (-0.0419) μας δείχνει ότι πρόκειται για ένα συμμετρικό προφίλ. Επίσης η τιμή της παραμέτρου R_t (45.7) υποδηλώνει πως το ύψος των κορυφών είναι αρκετά υψηλό αρχικά. Οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν δείχνουν το πώς μεταβάλλονται αυτές οι δύο παράμετροι στις 90 ημέρες που διήρκεσε το φαινόμενο της διάβρωσης

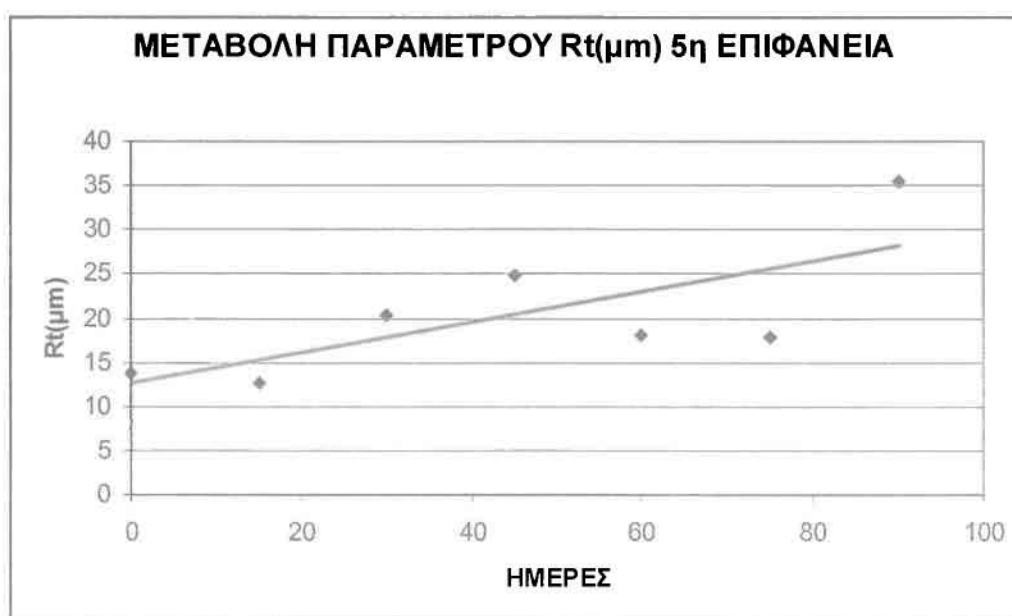


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 18

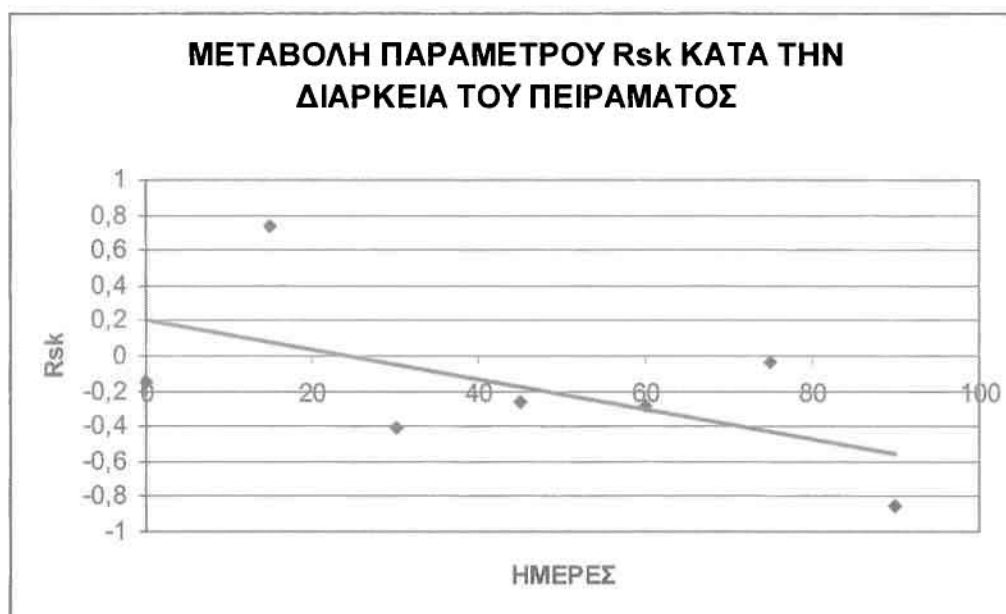


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 19

5. Τα διαβρωτικά τρήματα (pits) εμφανίζονται τοπογραφικά, αρχικά στις κορυφές και έπειτα στις κοιλάδες των επιφανειών που προέκυψαν από την διαδικασία της τόννευσης. Η τιμή της R_{sk} πριν από την έναρξη της διαδικασίας (0.145) μας δείχνει ότι πρόκειται για ένα μη συμμετρικό προφίλ. Επίσης η τιμή της παραμέτρου R_t (13.7) υποδηλώνει πως το ύψος των κορυφών είναι σχετικά χαμηλό αρχικά. Οι γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν δείχνουν το πώς μεταβάλλονται αυτές οι δύο παράμετροι στις 90 ημέρες που διήρκεσε το φαινόμενο της διάβρωσης.



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 20



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 21

6.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ Rt ΚΑΙ Rz

Η παράμετρος Rz ορίζεται ως η διαφορά στο ύψος ανάμεσα στις πέντε υψηλότερες κορυφές πάνω από την "mean line" και στις πέντε υψηλότερες κάτω από αυτήν. Μπορούμε να θεωρήσουμε δηλαδή ότι εκφράζει ένα μέτρο συμμετρίας ανάμεσα στις κορυφές που βρίσκονται πάνω από την mean line με αυτές που βρίσκονται κάτω από αυτήν.

Η παράμετρος Rt (Rmax) ορίζεται ως η απόσταση ανάμεσα στην υψηλότερη κορυφή πάνω από την "mean line" και στην υψηλότερη κάτω από αυτή. Η αριθμητική της τιμή δίνεται από τον τύπο:

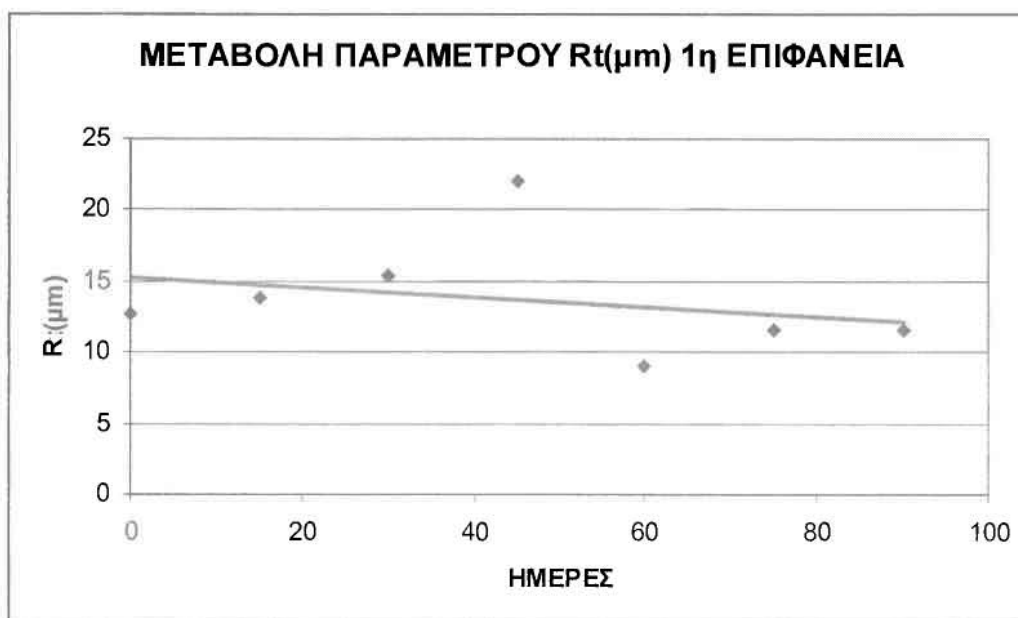
$R_{max} = R_p + R_v$ (R_p : υψηλότερη κορυφή πάνω από την "mean line", R_v : υψηλότερη κορυφή κάτω από την "mean line")

Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκε με την μορφή πίνακα ,από πού ξεκίνησε το διαβρωτικό φαινόμενο για κάθε επιφάνεια ξεχωριστά. Ειδικότερα στην δεύτερη αλλά και στην πέμπτη επιφάνεια κατεργασίας τα πρώτα διαβρωτικά τρήματα εμφανίστηκαν αρχικά στις κορυφές των επιφανειών που προέκυψαν από την

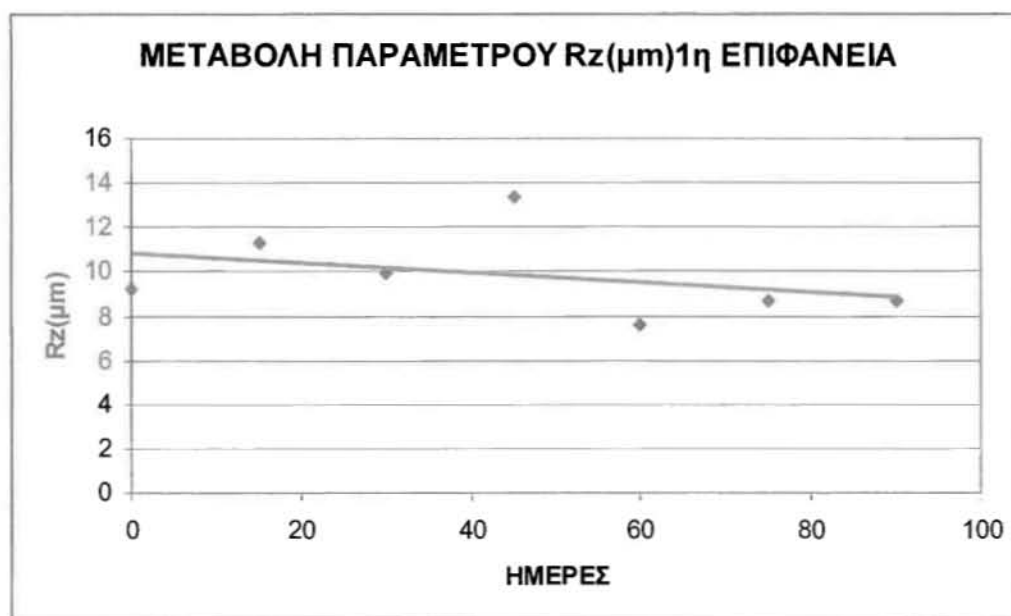
διαδικασία της τόννευσης. Συνεπώς για τα δοκίμια αυτών των δύο επιφανειών έχει ιδιαίτερη σημασία η παρακολούθηση της εξέλιξης των παραπάνω παραμέτρων.

Μετά από τραχυμετρήσεις, πριν, κατά τη διάρκεια αλλά και στο τέλος του πειράματος μας ,προέκυψαν οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις που απεικονίζουν την εξέλιξη των παραμέτρων Rz και Rt σε κάθε επιφάνεια.

1^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

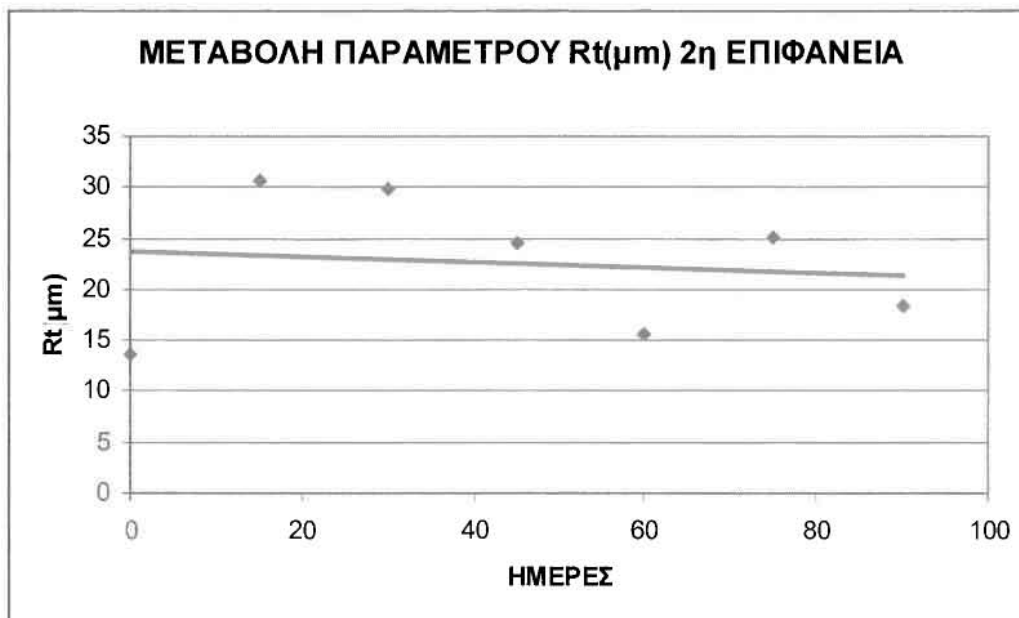


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 22

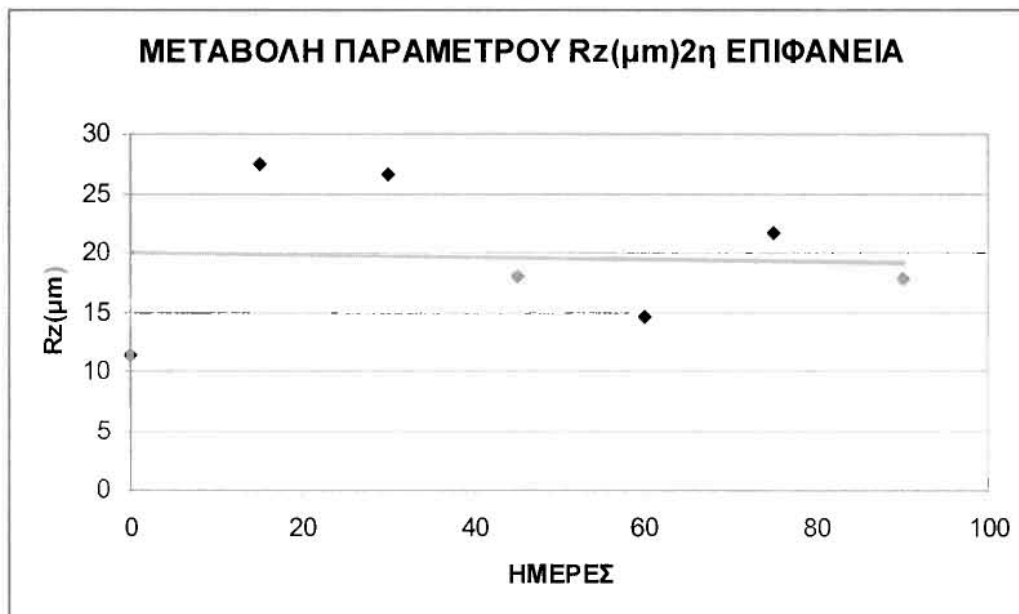


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 23

Η μελέτη των παραπάνω γραφικών παραστάσεων μας κάνει να συμπεράνουμε πως η έκθεση των δοκιμίων της πρώτης επιφάνειας στο διαβρωτικό περιβάλλον είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση του ύψους των κορυφών στο προφίλ τραχυμέτρησης και κατ' επέκταση της διαφοράς στο ύψος ανάμεσα στις πέντε υψηλότερες κορυφές πάνω από την "mean line" και στις πέντε υψηλότερες κάτω από αυτήν.

2^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 24

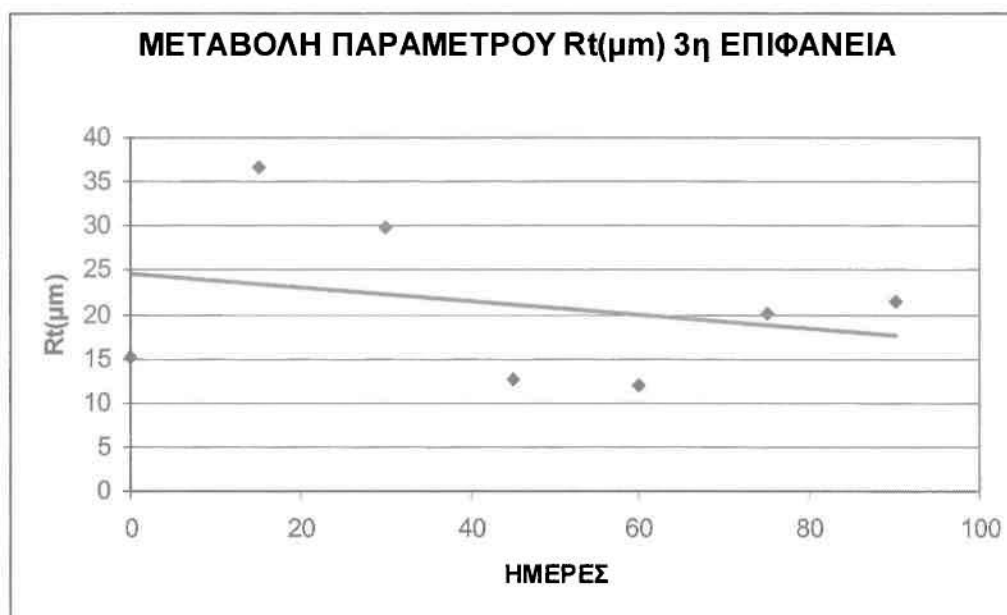


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 25

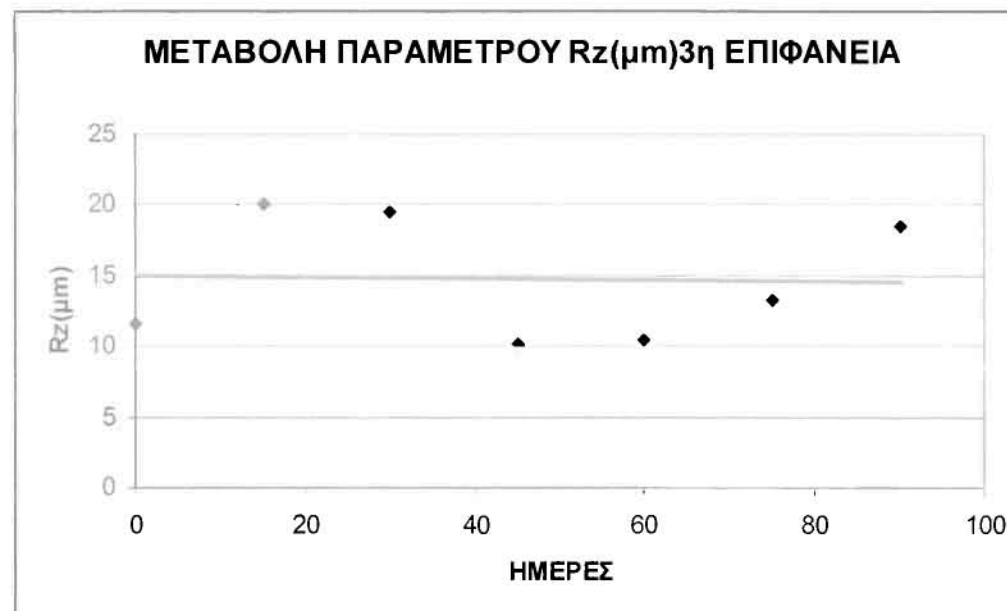
Η μελέτη των παραπάνω γραφικών παραστάσεων μας κάνει να συμπεράνουμε πως η έκθεση των δοκιμίων της δεύτερης επιφάνειας στο διαβρωτικό περιβάλλον είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση του ύψους των κορυφών στο προφίλ τραχυμέτρησης και κατ' επέκταση της διαφοράς στο ύψος ανάμεσα στις πέντε υψηλότερες κορυφές πάνω από την "mean line" και στις πέντε υψηλότερες κάτω από αυτήν. Πρέπει να

επισημάνουμε πώς η μεταβολή αυτών των παραμέτρων δεν παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις με την μεταβολή των αντίστοιχων παραμέτρων της πρώτης επιφάνειας.

3^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 26

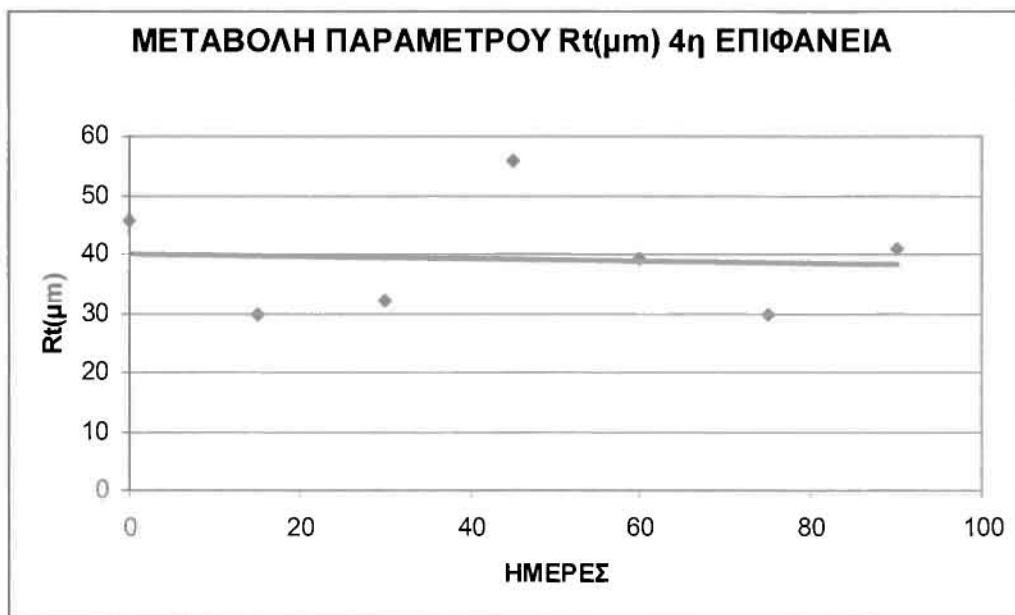


ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 27

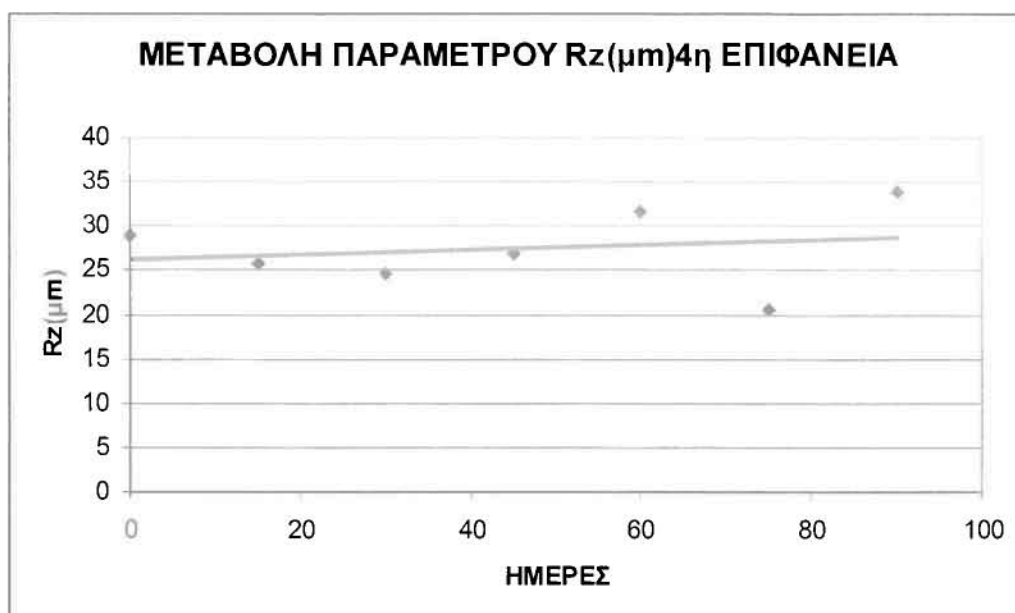
Η μελέτη των παραπάνω γραφικών παραστάσεων μας κάνει να συμπεράνουμε πως η έκθεση των δοκιμίων της τρίτης επιφάνειας στο διαβρωτικό περιβάλλον είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση του ύψους των κορυφών στο προφίλ τραχυμέτρησης και κατ' επέκταση της διαφοράς στο ύψος ανάμεσα στις πέντε υψηλότερες κορυφές πάνω από την "mean line" και στις πέντε υψηλότερες κάτω από αυτήν. Πρέπει να

επισημάνουμε πώς η μεταβολή της R_t είναι αρκετά σημαντική σε αυτή την επιφάνεια κατεργασίας αφού πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας έχει τιμή 25(μm) και στο τέλος αυτής 18(μm), ποσοστιαία μεταβολή 38.6 % δηλαδή.

4^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



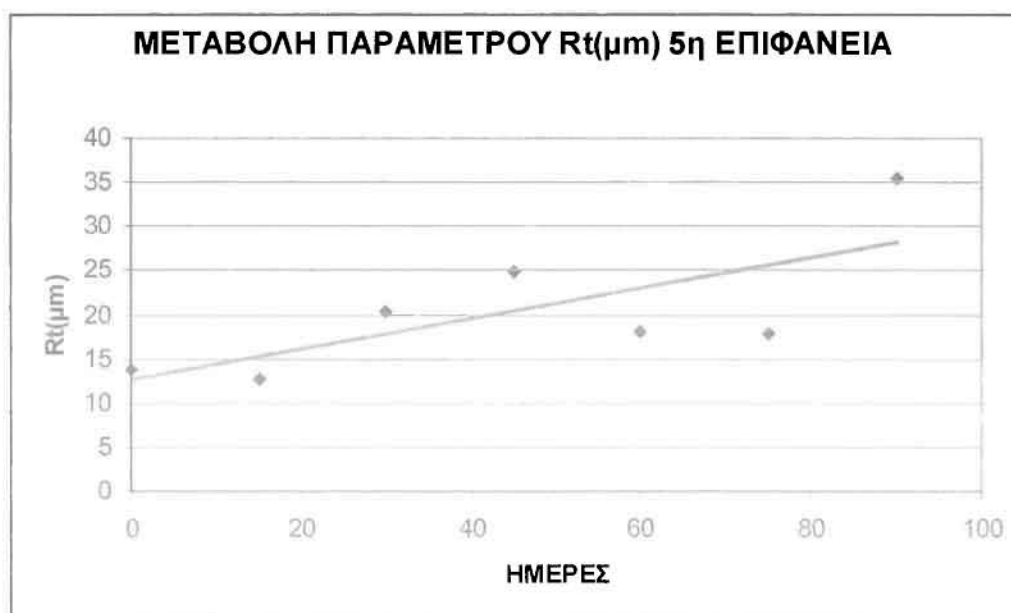
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 28



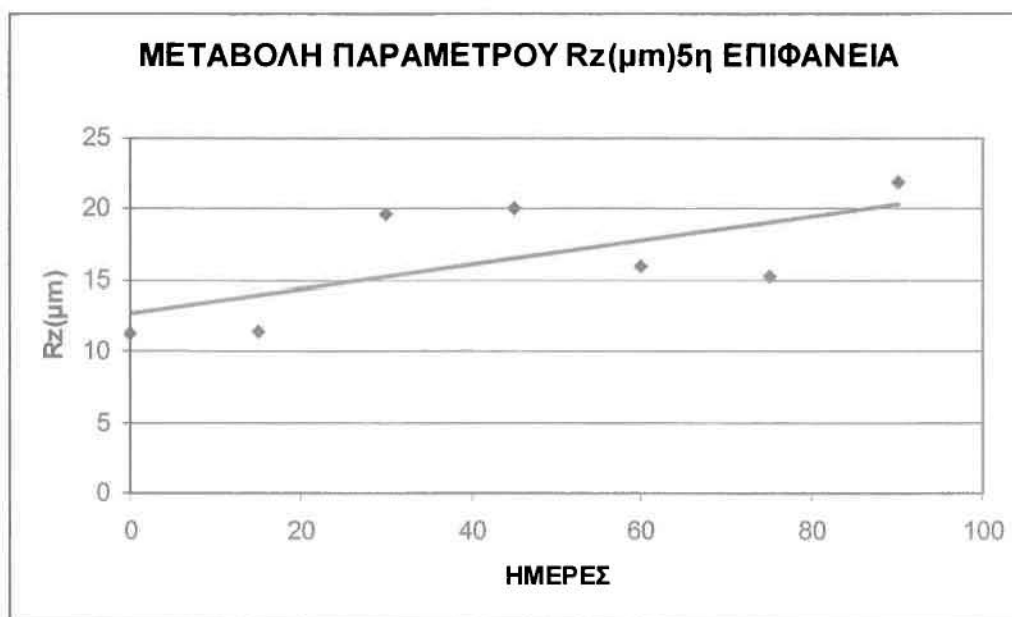
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 29

Η μελέτη των παραπάνω γραφικών παραστάσεων μας κάνει να συμπεράνουμε πως η έκθεση των δοκιμίων της τέταρτης επιφάνειας στο διαβρωτικό περιβάλλον είχε σαν αποτέλεσμα την μείωση του ύψους των κορυφών στο προφίλ τραχυμέτρησης αλλά όχι και της διαφοράς στο ύψος ανάμεσα στις πέντε υψηλότερες κορυφές πάνω από την "mean line" και στις πέντε υψηλότερες κάτω από αυτήν. Μία πιθανή εξήγηση για αυτήν την διαφοροποίηση της τέταρτης επιφάνειας σε σχέση με τις άλλες είναι ίσως οι πολλές ατέλειες που υπάρχουν στην επιφάνεια των δοκιμίων της. Άλλωστε αυτή η κατεργασία μας έχει δώσει τις μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου R_t , το προφίλ της δηλαδή αποτελείται από αρκετά υψηλές κορυφές πάνω και κάτω από την mean line.

5^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ



ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 30

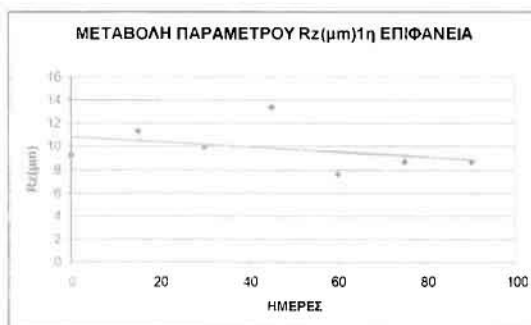
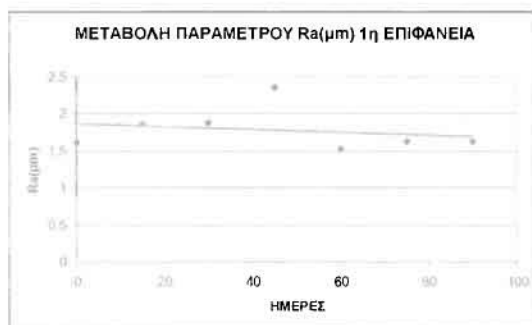
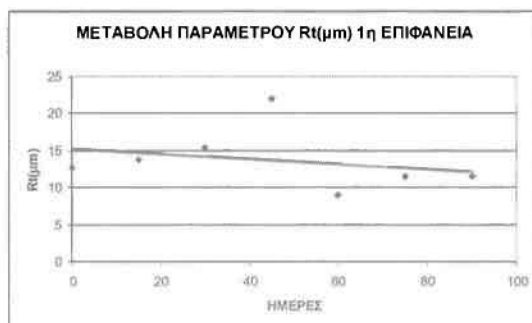
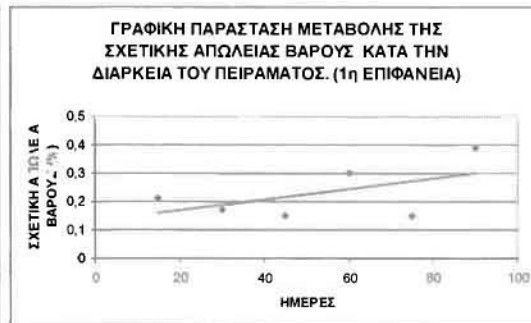


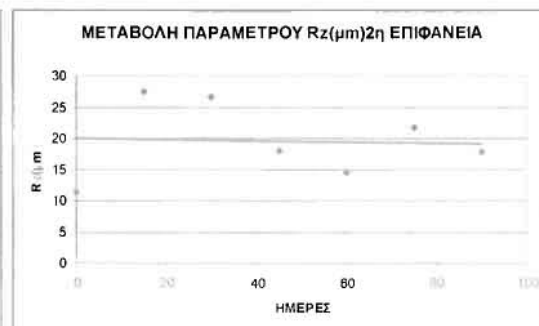
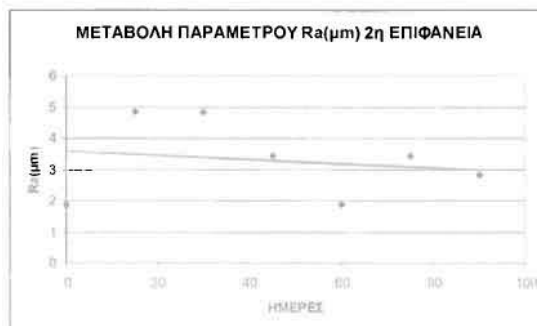
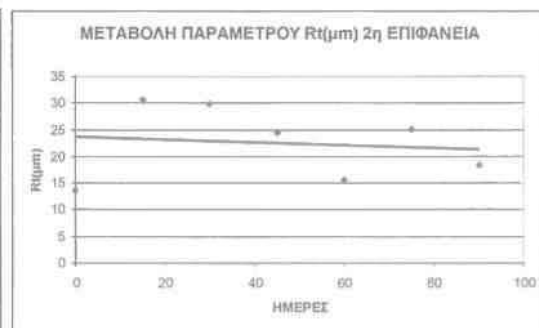
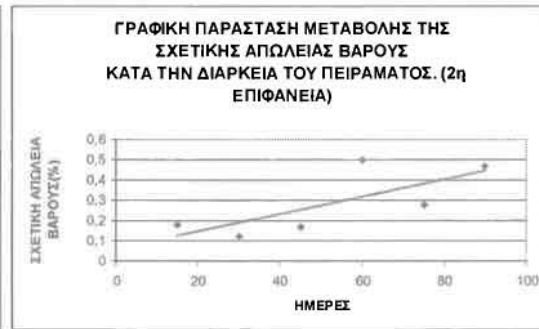
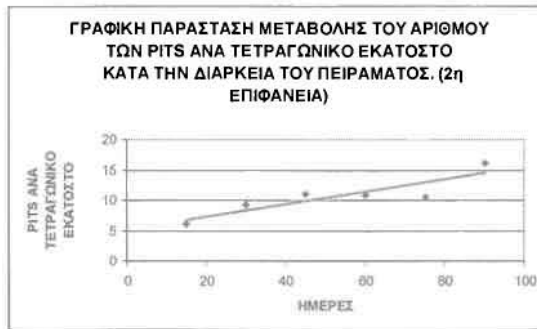
ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ 31

Η μελέτη των παραπάνω γραφικών παραστάσεων μας κάνει να συμπεράνουμε πως η έκθεση των δοκιμίων της πέμπτης επιφάνειας στο διαβρωτικό περιβάλλον είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ύψους των κορυφών στο προφίλ τραχυμέτρησης και κατ' επέκταση της διαφοράς στο ύψος ανάμεσα στις πέντε υψηλότερες κορυφές πάνω από την "mean line" και στις πέντε υψηλότερες κάτω από αυτήν. Οι μεταβολές των παραμέτρων είναι αρκετά σημαντικές πάντως αφού η παράμετρος Rt αυξάνεται κατά 125% !!! ενώ η Rz κατά 84%. Πρέπει να επισημάνουμε πώς αυτή η εξέλιξη είναι μη αναμενόμενη αφού ο μηχανισμός εξάπλωσης των pits σε αυτή την επιφάνεια κατεργασίας είναι ίδιος με αυτόν της δεύτερης επιφάνειας. Η εξήγηση αυτού του φαινομένου μπορεί να αναζητηθεί στις διαφορετικές συνθήκες κοπής που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε κατεργασία.

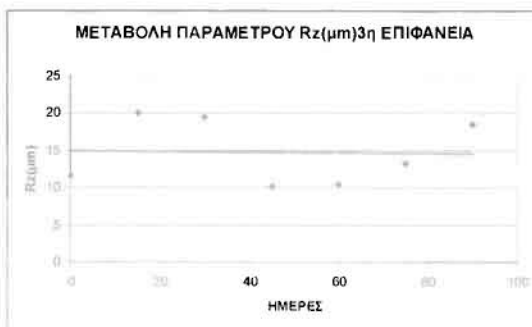
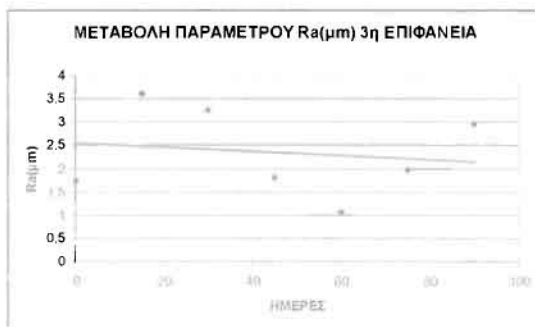
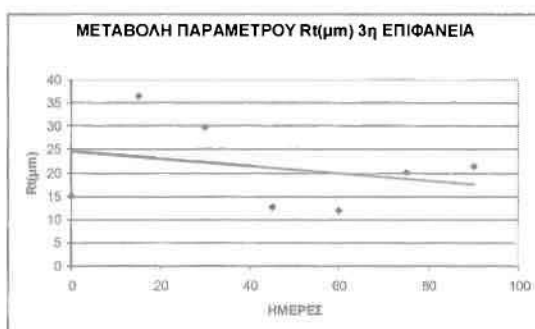
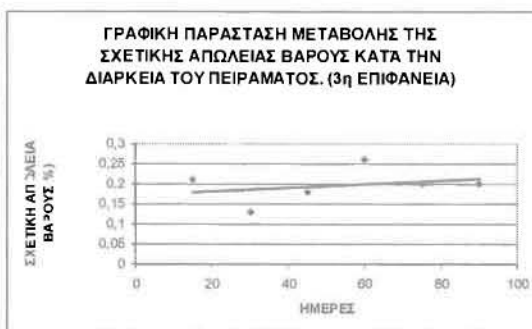
6.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1^η Επιφάνεια

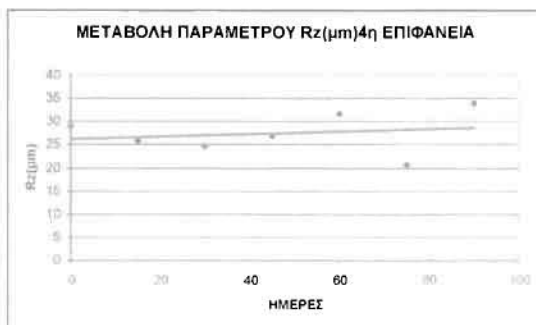
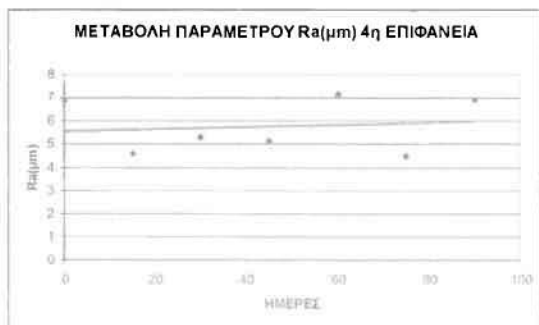
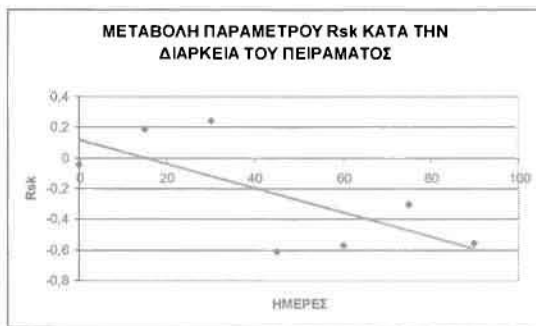
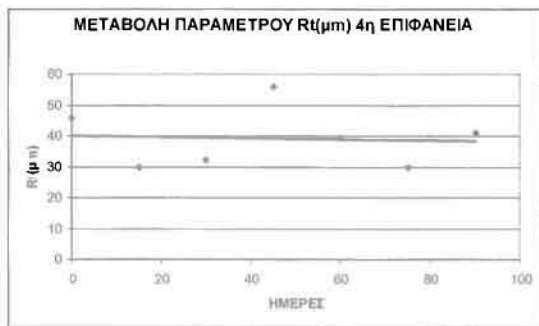
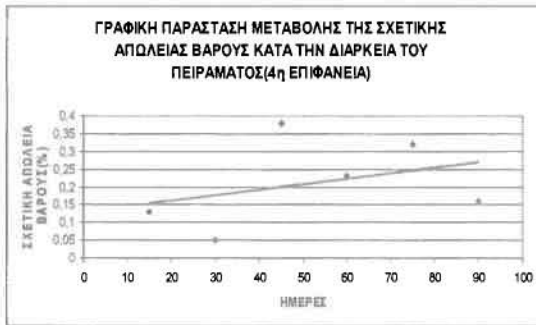
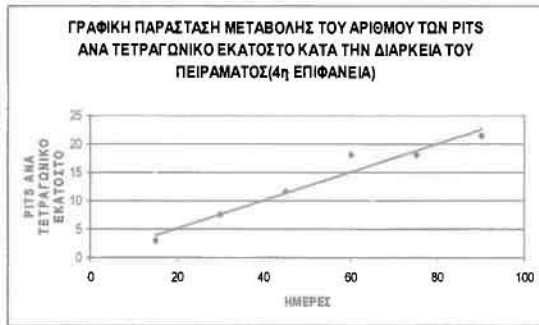


2^η Επιφάνεια

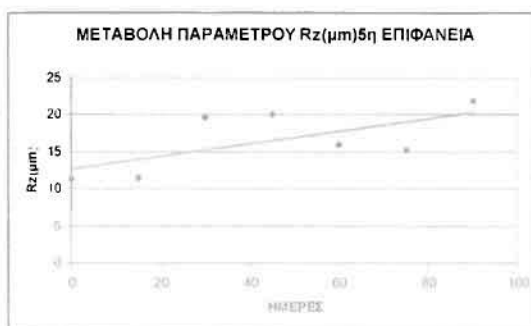
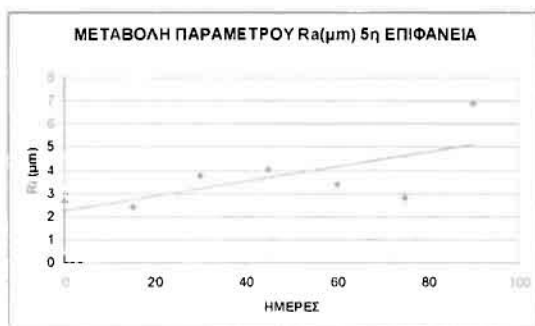
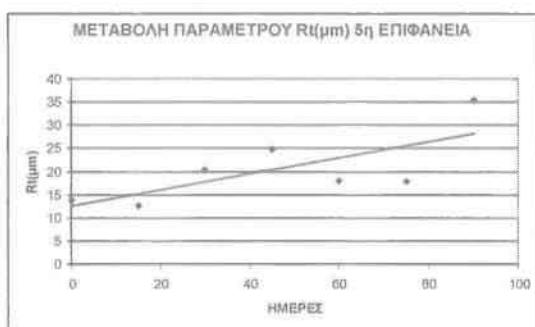
3^η Επιφάνεια



4^η Επιφάνεια



5^η Επιφάνεια



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΤΡΑΧΥΜΕΤΡΗΣΗΣ.

Το επόμενο βήμα θα είναι να προσπαθήσουμε να συσχετίσουμε το ύψος των κορυφών του προφίλ δοκιμίου αναφοράς της κάθε επιφάνειας με τον βαθμό της διάβρωσης. Σε αυτό τον σκοπό θα μας βοηθήσει ο πίνακας που ακολουθεί.

Πίνακας 15.1

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΚΟΡΥΦΕΣ ΥΨΟΥΣ(μm)	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ
1	12.7	ΥΨΗΛΟΣ
2	13.7	ΧΑΜΗΛΟΣ
3	15.2	ΥΨΗΛΟΣ
4	45.7	ΥΨΗΛΟΣ
5	13.7	ΜΕΤΡΙΟΣ

Αν εξαιρέσουμε τα δοκίμια της πρώτης επιφάνεια κατεργασίας, μπορούμε να πούμε πως υπάρχει κάποια συσχέτιση του βαθμού διάβρωσης με το ύψος των κορυφών.

- Οι επιφάνειες των κατηγοριών 1 και 2 οι οποίες χαρακτηρίζονται από κορυφές σχετικά μικρού ύψους εμφανίζουν ένα σχετικά μικρό βαθμό διάβρωσης. Οι κορυφές είναι ενεργειακά αναβαθμισμένες επειδή σε αυτές υπάρχει συσσώρευση σχετικά υψηλών παραμενουσών τάσεων λόγω της κατεργασίας τórνευσης που υπέστησαν τα αντίστοιχα δοκίμια.
- Η αύξηση του ύψους και του αριθμού των κορυφών στην τórνευμένη επιφάνεια (4^η επιφάνεια) των δοκιμίων επιφέρει μεγαλύτερο βαθμό διάβρωσης και άρα μικρότερη διάρκεια λειτουργίας της αντίστοιχης μηχανολογικής κατασκευής αφού μπορούμε να οδηγηθούμε πιο εύκολα σε κάποια αστοχία υλικού.

- Στην 4^η επιφάνεια, η οποία εμφανίζει εξαιτίας της κατεργασίας στην οποία υποβλήθηκε κορυφές υψηλού ύψους και αρκετές ατέλειες όπως ρωγμές και σχίσματα, τα διαβρωτικά τμήματα εμφανίζονται στον χώρο των ατελειών οι οποίες λειτουργούν ως πυρήνες έναρξης της διαβρωτικής διαδικασίας.
- Οι επιφάνειες της 5^{ης} κατηγορίας οι οποίες εμφανίζουν κορυφές μεσαίου ύψους παρουσιάζουν ένα μέτριο η και χαμηλό βαθμό διάβρωσης, προφανώς λόγω της χαρακτηριστικής απουσίας ατελειών και ρωγμών.
- Οι επιφάνειες της 3^{ης} κατηγορίας παρουσιάζουν έναν σχετικά υψηλό βαθμό διάβρωσης κάτι που ίσως να δικαιολογείται από την ύπαρξη ατελειών.
- Οι επιφάνειες της πρώτης κατηγορίας αν και έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά στις συνθήκες κοπής αλλά και τοπογραφικά με αυτές της δεύτερης παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό διάβρωσης αλλά και διαφορετικό μηχανισμό εξάπλωσης των τρημάτων. Αυτό ίσως να αποτελεί απόδειξη του πόσο σημαντική μπορεί να είναι μια μικρή μεταβολή στις συνθήκες κοπής του υλικού (πρόωση, ταχύτητα κοπής, αρχικές στροφές).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Παρακάτω καταθέτονται ορισμένες προτάσεις που έχουν ως στόχο την περαιτέρω ερευνητική διερεύνηση του προβλήματος της συσχέτισης της επιφανειακής μηχανουργικής κατεργασίας και της αντίστασης στην διάβρωση του κράματος αλουμινίου 6061.

- Περαιτέρω διερεύνηση κατεργασμένων επιφανειών με διαφορετικές συνθήκες τόννευσης.
- Χρησιμοποίηση ενός πιο ευρύ πλαισίου κατεργασιών με πιο πολλές παραμέτρους.
- Μελέτη των διαβρωμένων επιφανειών με ψηφιακή ανάλυση εικόνας.
- Μελέτη των διαβρωμένων επιφανειών με χρήση μικροσκοπίου ατομικής δύναμης.(Atomic Force Microscope)
- Να γίνει προσπάθεια απόδοσης μαθηματικού μοντέλου των αποτελεσμάτων.(μοντελοποίηση αποτελεσμάτων).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

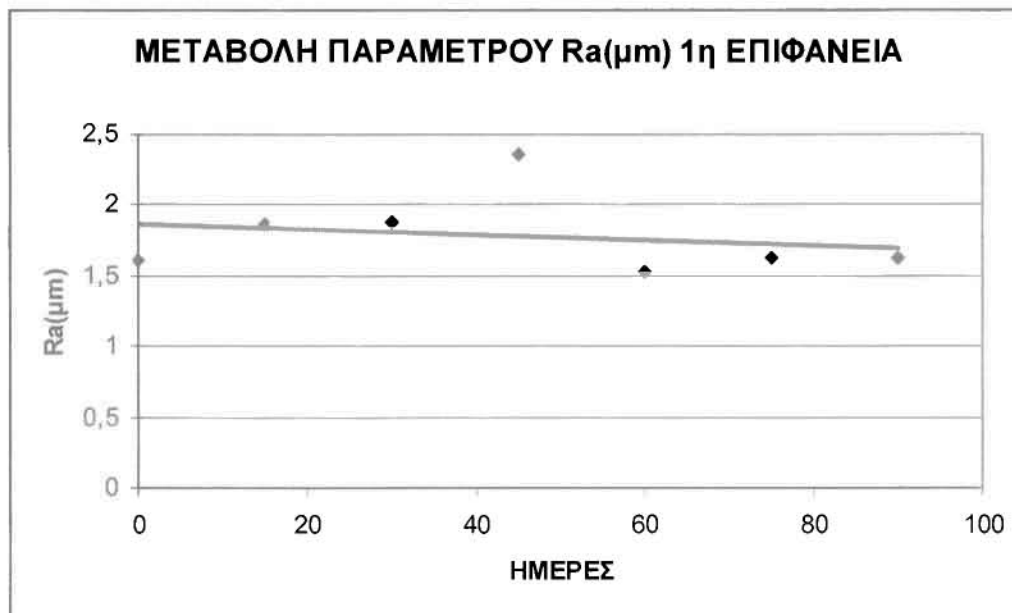
1. J.T.N. Atkinson, H.Van Droffelaar : "Corrosion and its Control", NACE, Second Printing, 1985
2. Δρ. Νικόλαος Χασιώτης ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΚΡΑΜΑΤΩΝ (ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΙΣ)
3. H.H. Uhlig: "Corrosion and Corrosion Control", Second Edition, John Wiles, 1971
4. "The Electrochemistry Of Corrosion" D.L PIRON-NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS EXTRUSION OF ALUMINIUM ALLOYS
5. K.Van Horn: "Aluminium, Vol 1-3", Amer .Soc .of Metals, 1967
6. Pechiney: "Aluminium,Vol 1-2" Eyrolles, 1964
7. Κ.Η.Κονοφάγος: "Μεταλλογνωσία ΙΙΙ: 'ΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ'"
8. M.S .Hunter, P.Fowle, J.Electroch. Soc., 103, p. 482, 1956
9. M.Fontana , N.Greene: "Corrosion Engineering", Mc Graw-Hill
10. ASTM SPECIAL TECHNICAL PUBLICATION 558, ASTM, 1973
11. ASM Handbook volume 13 Corrosion ASM International 1992
12. efunda engineering fundamentals, Aluminium Alloy 6061, MACHINERY LUBRICATION magazine
13. Welding of Aluminium and its Alloys Mathers, Gene © 2002 Woodhead Publishing
14. Φυσική Μεταλλουργία/Θεμελιώδεις Αρχές
15. Γ.Ν. Χαϊδεμένopoulos-Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας
16. T. Sheppard-Kluwer Academic Publishers
17. Asm Metals Handbook-Properties and Selection
18. Asm International-The Materials Information Company
19. Διάβρωση Μετάλλων και Κραμάτων (Πανεπιστημιακές Παραδόσεις Δρ.Νικόλαος Χασιώτης)

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

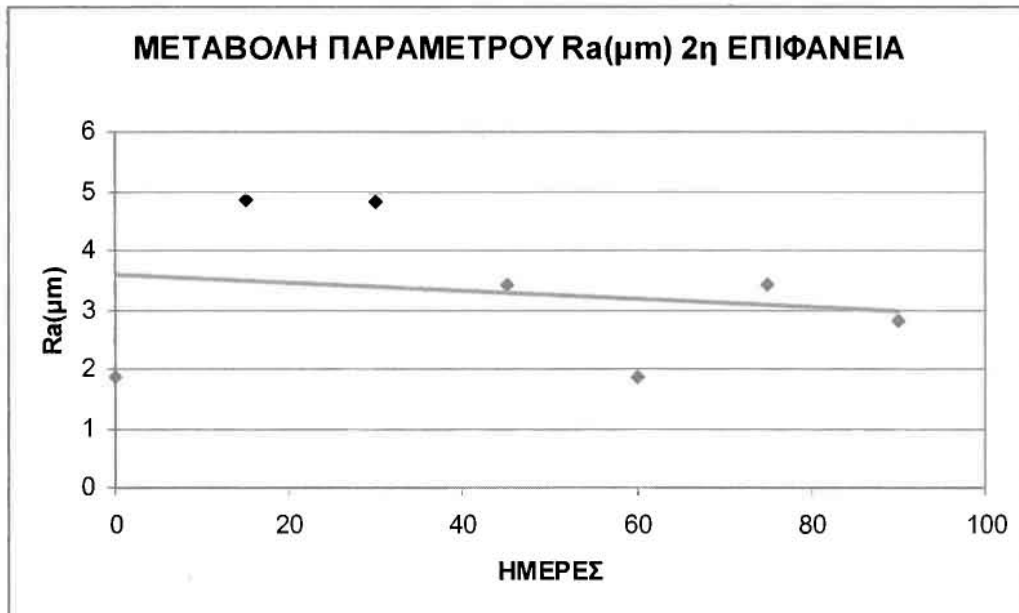
20. <http://edu.wikipedia.com>
21. <http://www.airlinesafety.com>
22. <http://blogs.usatoday.com/sky/safety>
23. <http://www.hsc.csu.edu.au>
24. <http://alunet.gr>
25. <http://www.crct.polmitl.ca>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

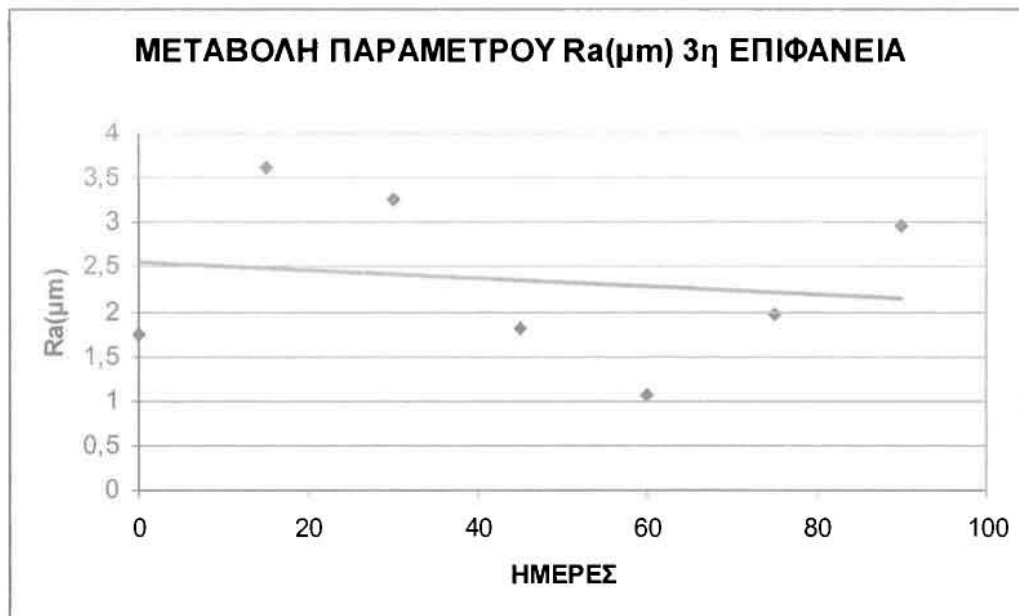
ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

1^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

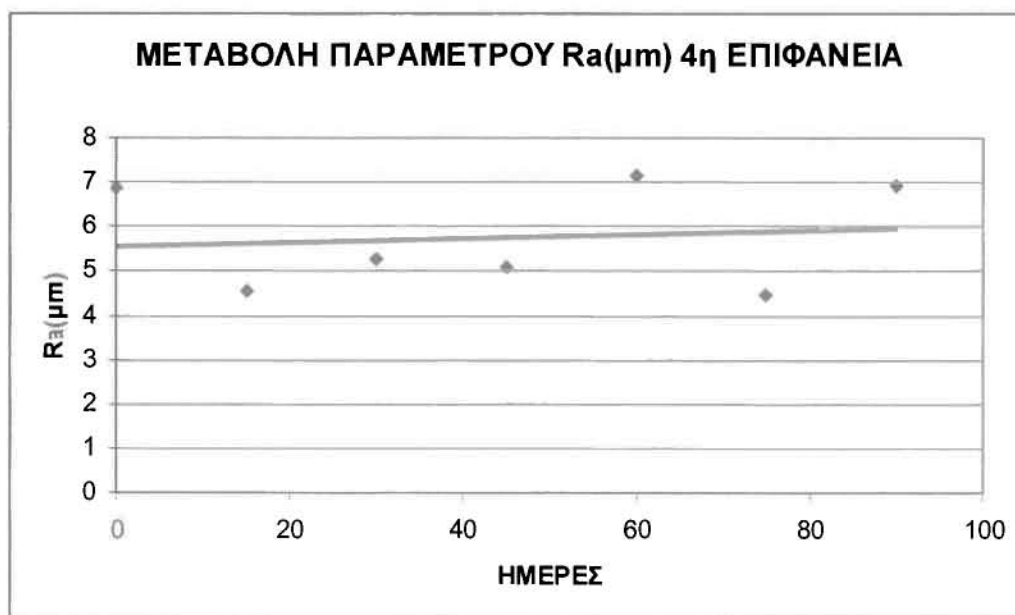
ΓΡΑΦΗΜΑ 1Α

2^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

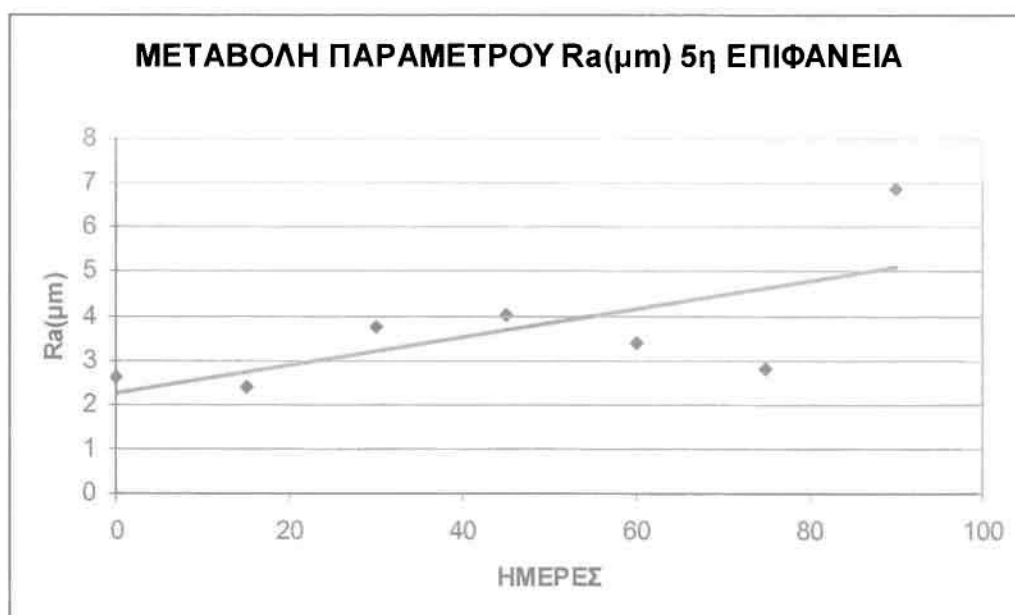
ΓΡΑΦΗΜΑ 2Α

3^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

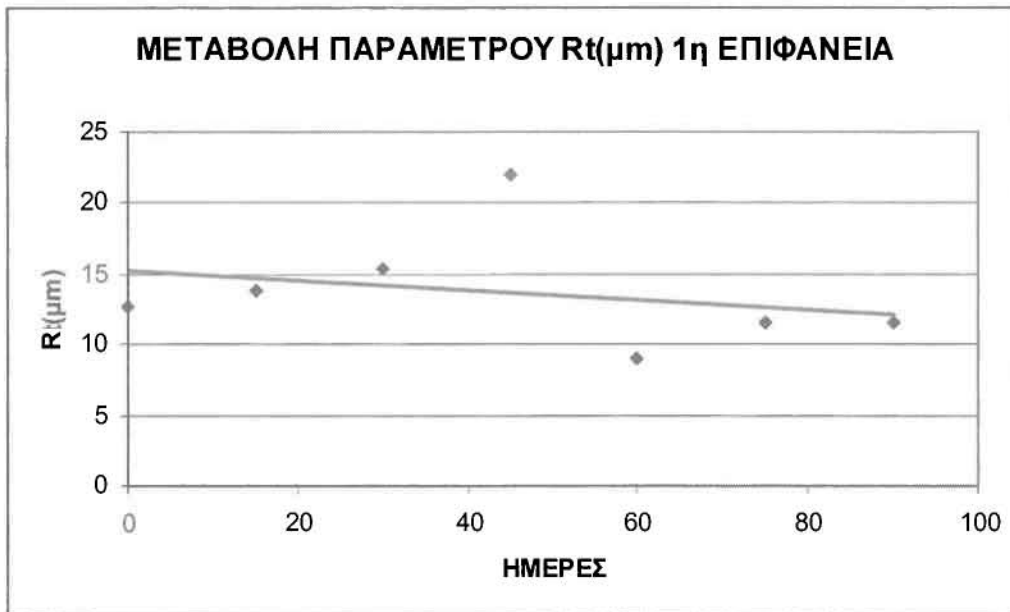
ΓΡΑΦΗΜΑ 3Α

4^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

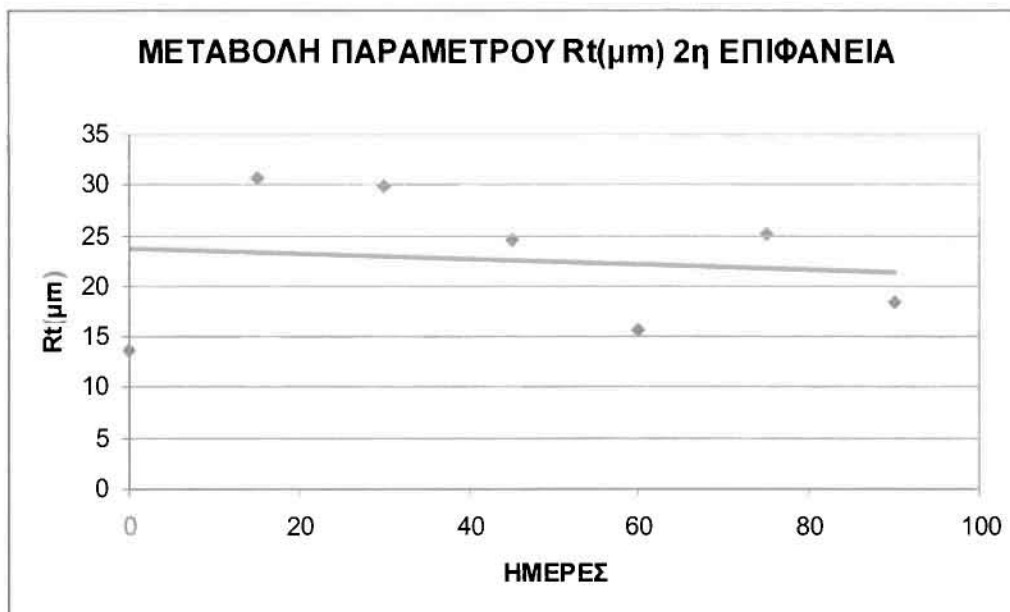
ΓΡΑΦΗΜΑ 4Α

5^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

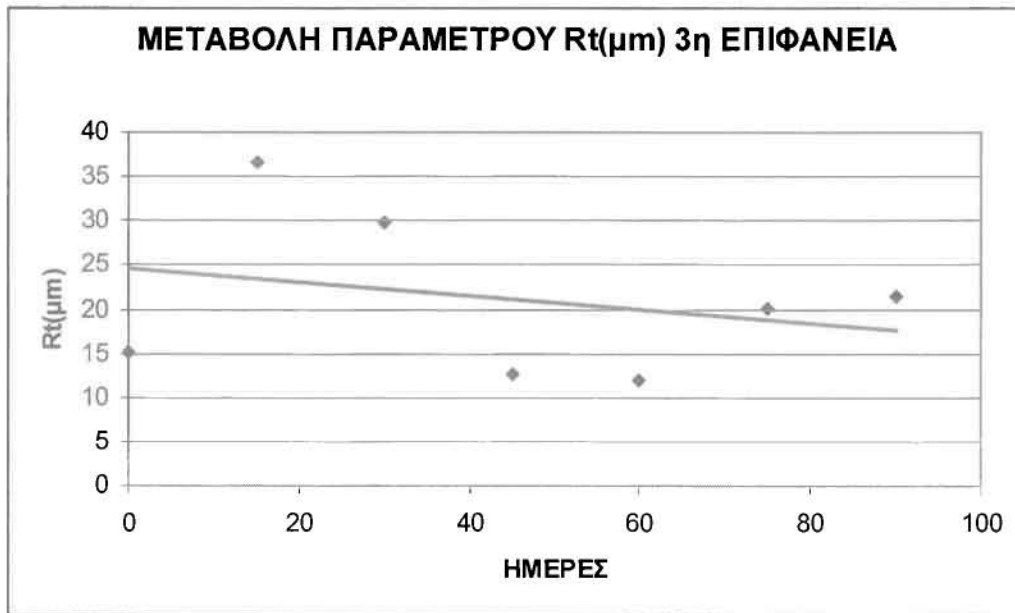
ΓΡΑΦΗΜΑ 5Α

1^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

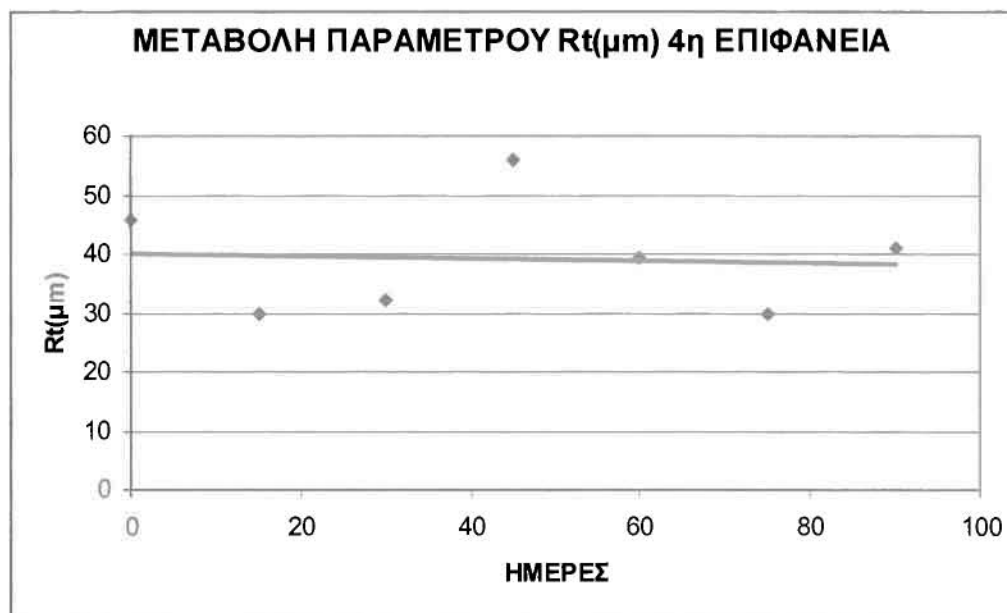
ΓΡΑΦΗΜΑ 6Α

2^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

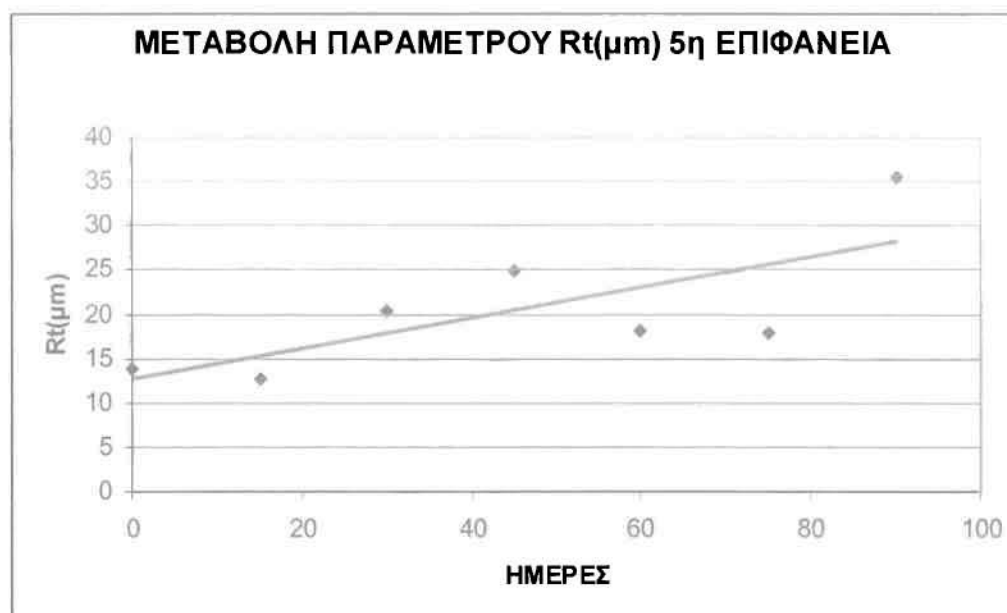
ΓΡΑΦΗΜΑ 7Α

3^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

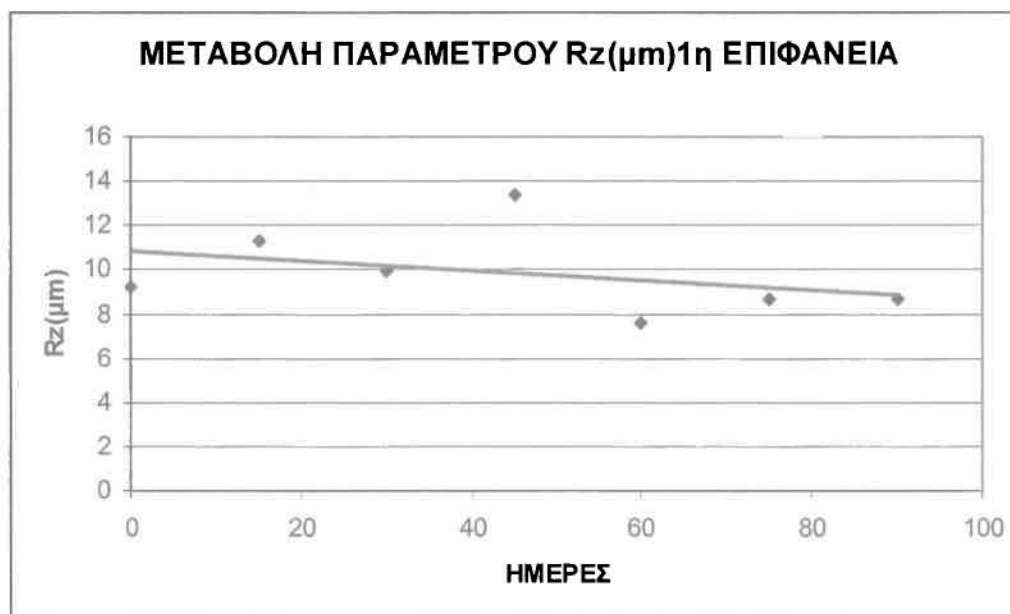
ΓΡΑΦΗΜΑ 8Α

4^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

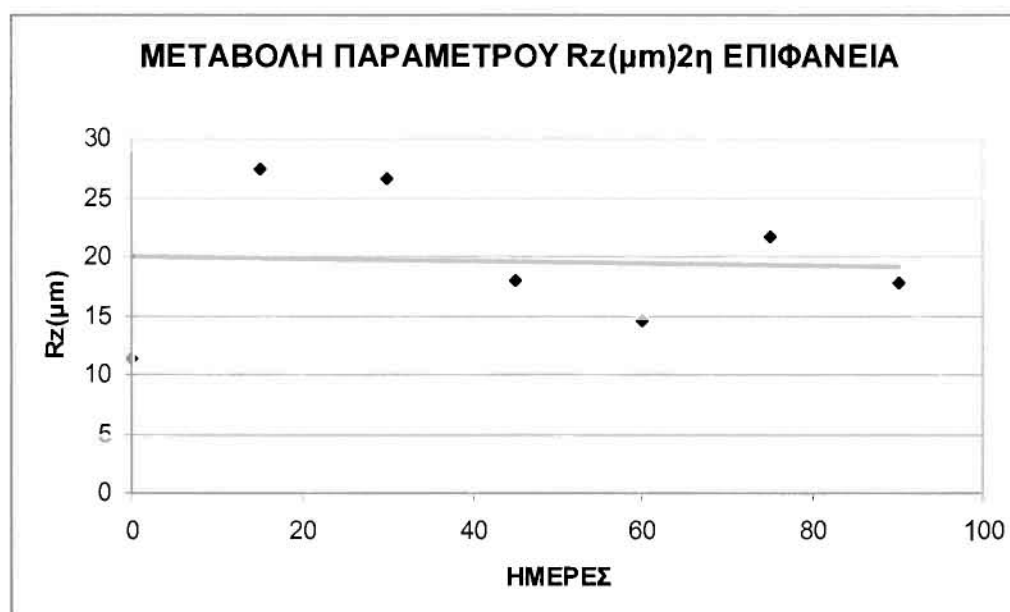
ΓΡΑΦΗΜΑ 9Α

5^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

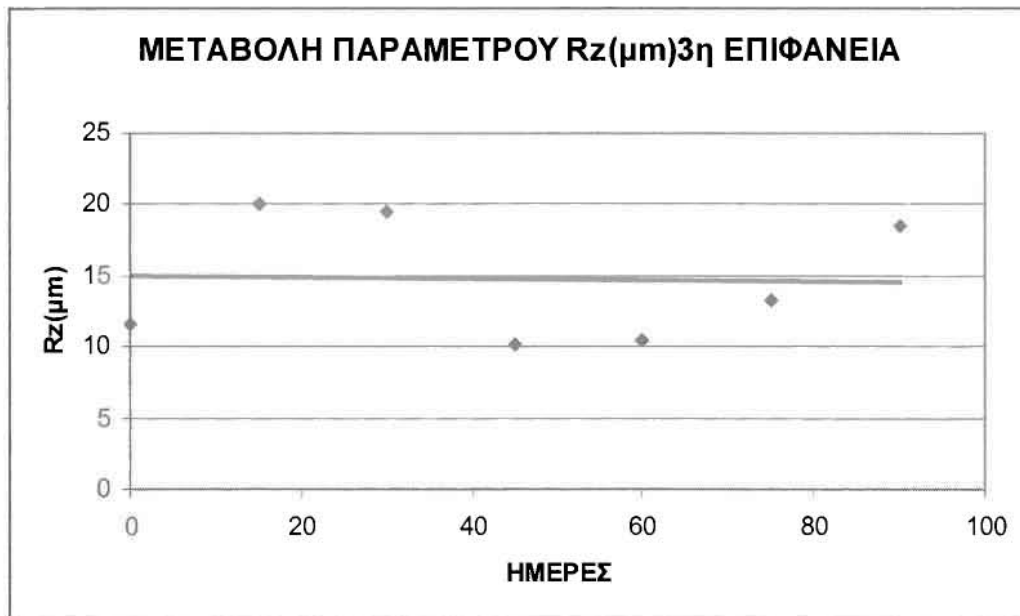
ΓΡΑΦΗΜΑ 10Α

1^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

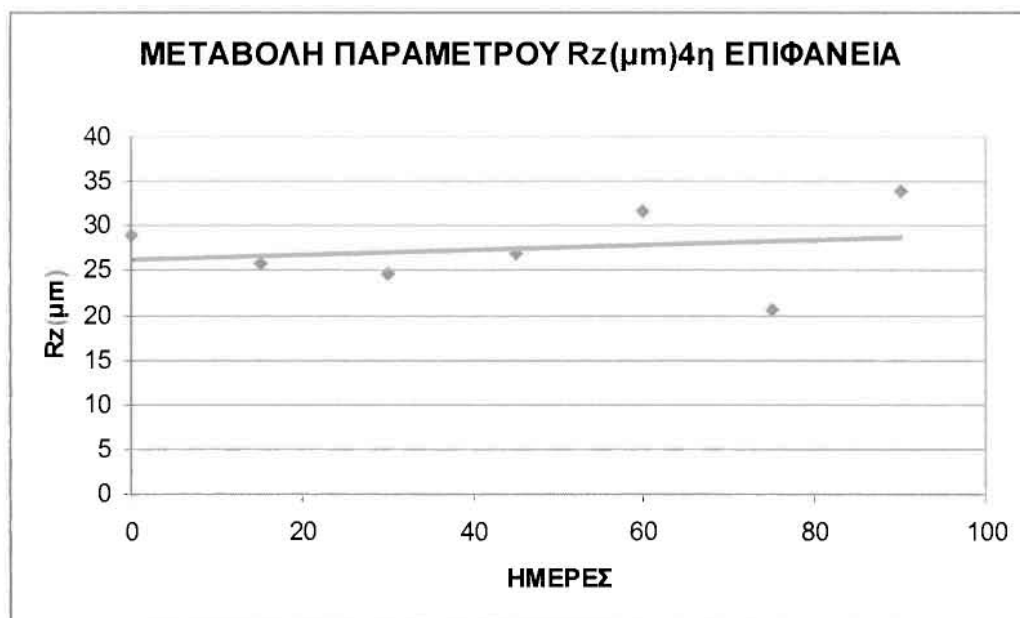
ΓΡΑΦΗΜΑ 11Α

2^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

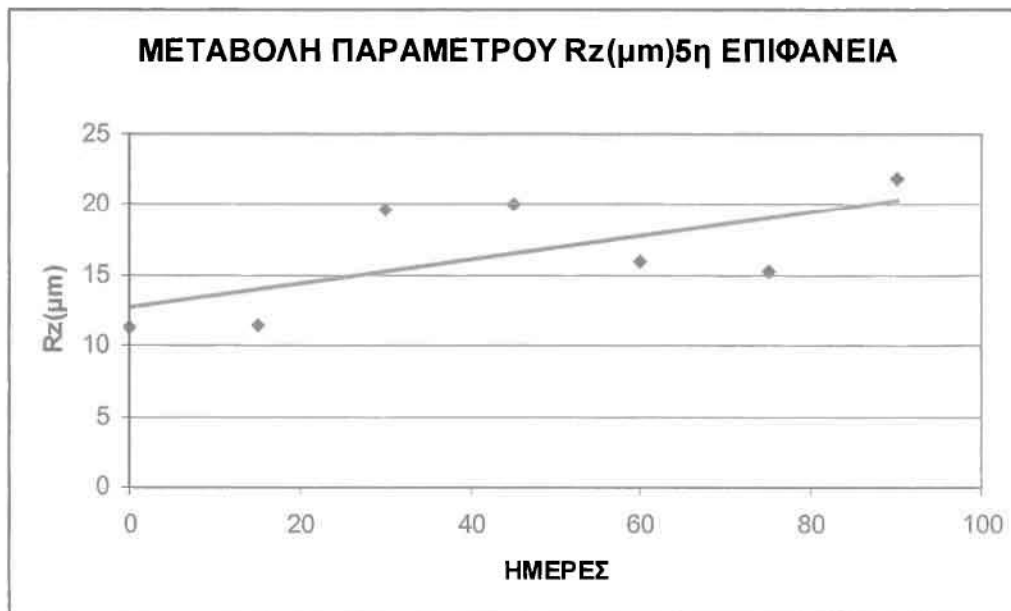
ΓΡΑΦΗΜΑ 12Α

3^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

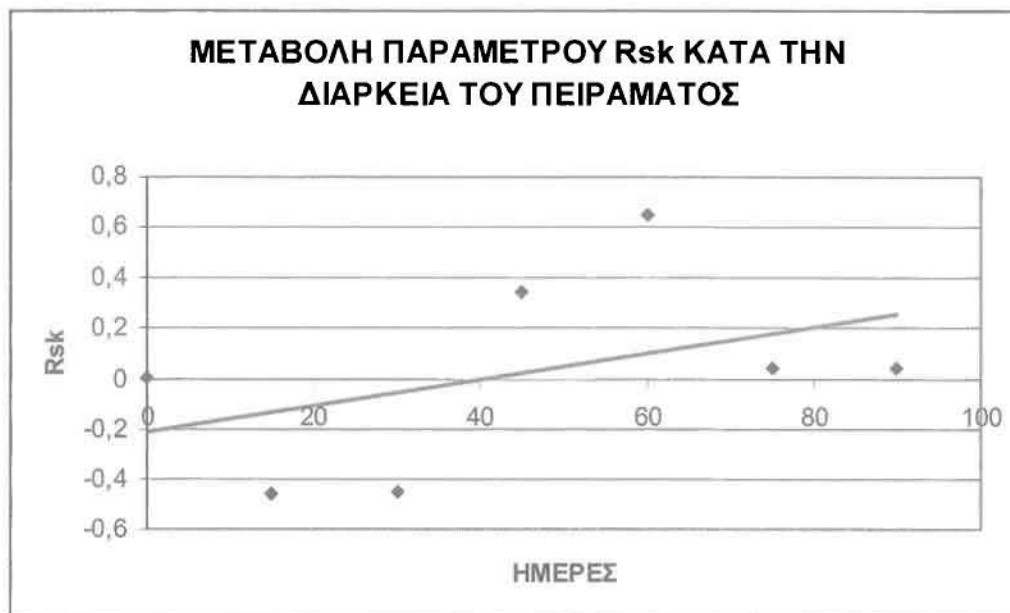
ΓΡΑΦΗΜΑ 13Α

4^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΓΡΑΦΗΜΑ 14Α

5^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΓΡΑΦΗΜΑ 15Α

1^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

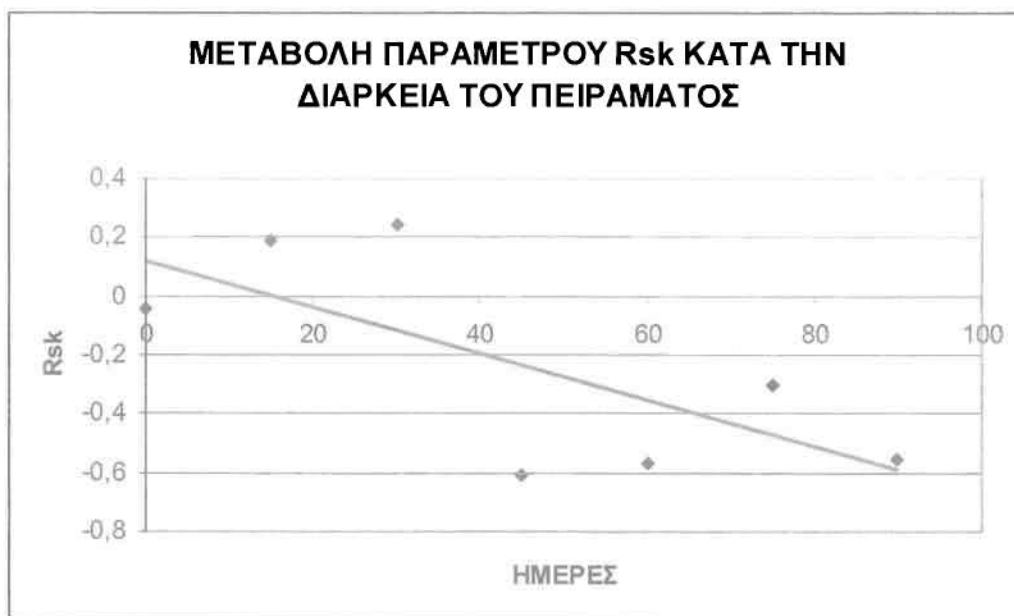
ΓΡΑΦΗΜΑ 16Α

2^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΓΡΑΦΗΜΑ 17Α

3^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

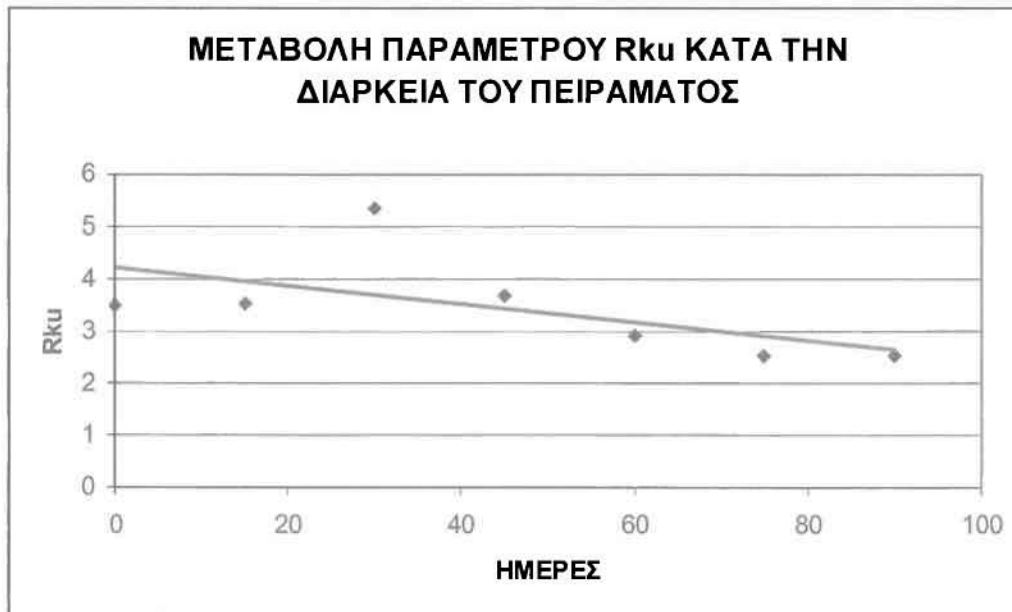
ΓΡΑΦΗΜΑ 18Α

4^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

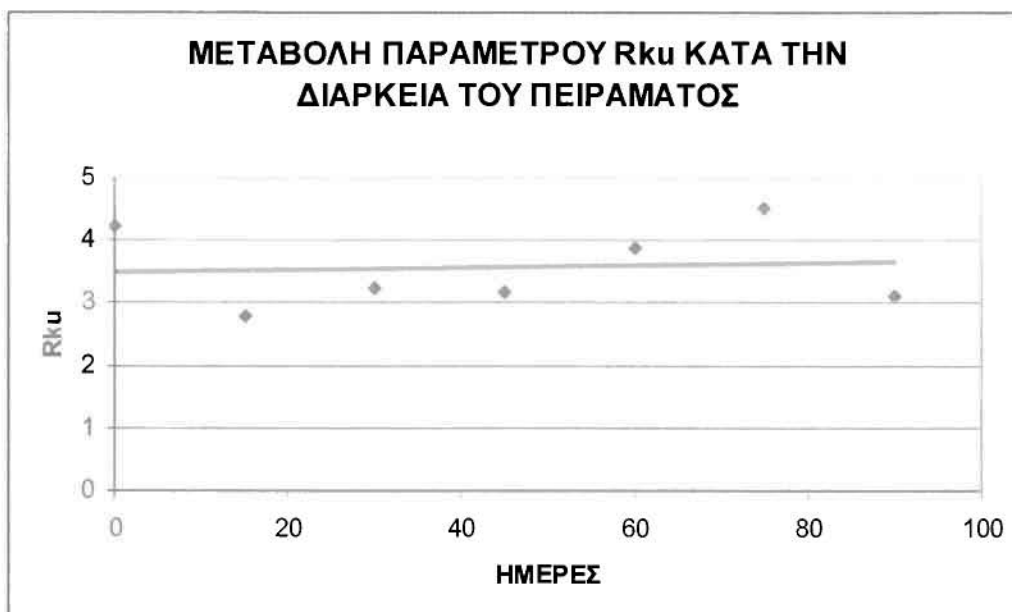
ΓΡΑΦΗΜΑ 19Α

5^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

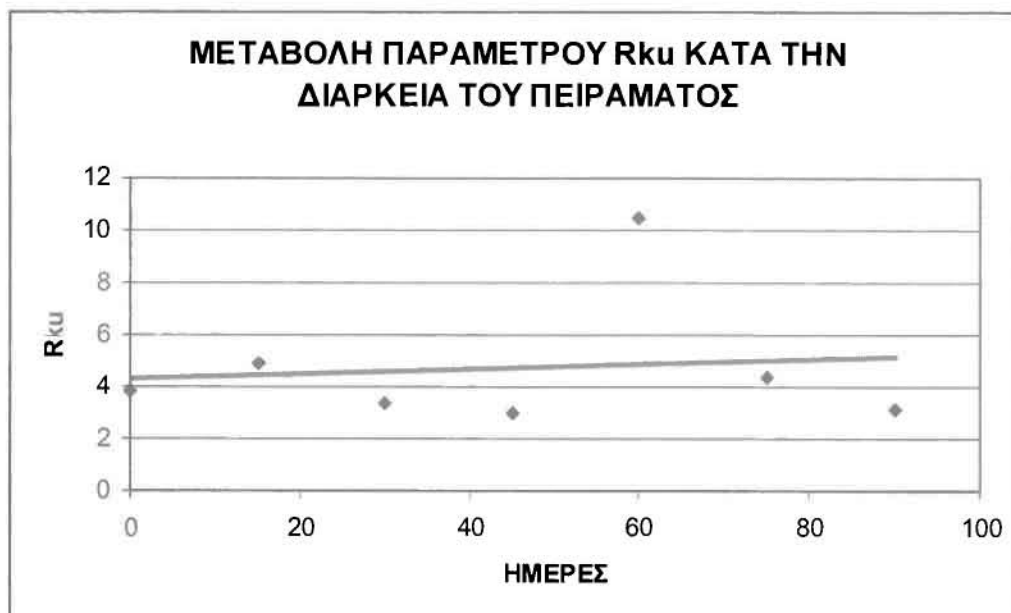
ΓΡΑΦΗΜΑ 20Α

1^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

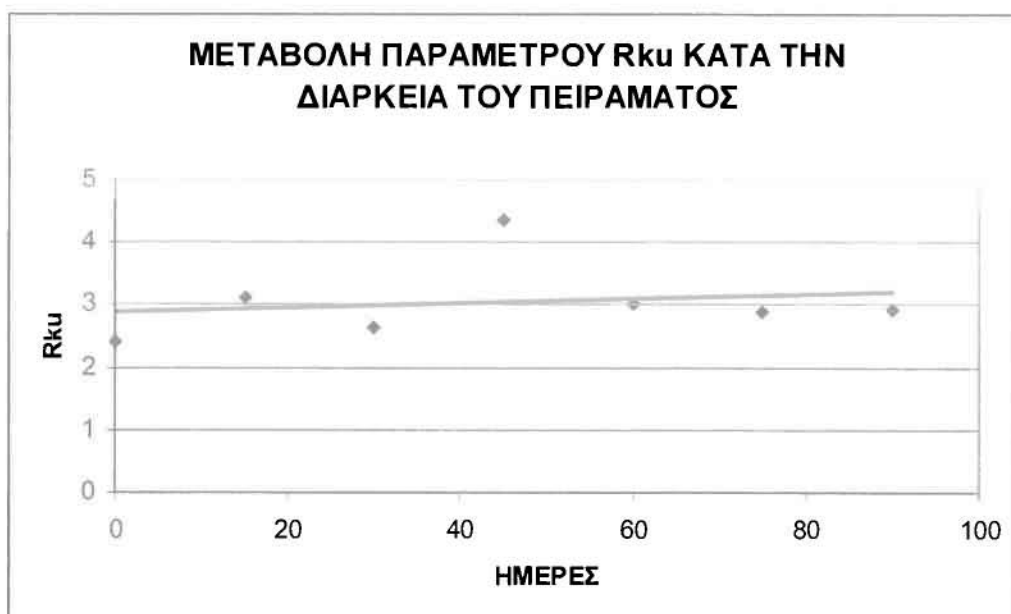
ΓΡΑΦΗΜΑ 21Α

2^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

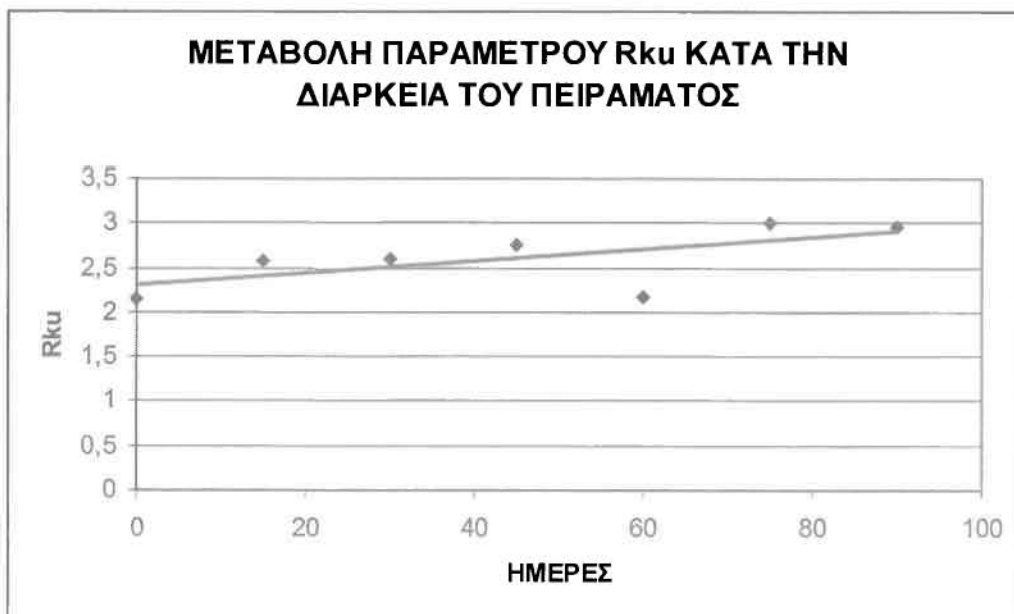
ΓΡΑΦΗΜΑ 22Α

3^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΓΡΑΦΗΜΑ 23Α

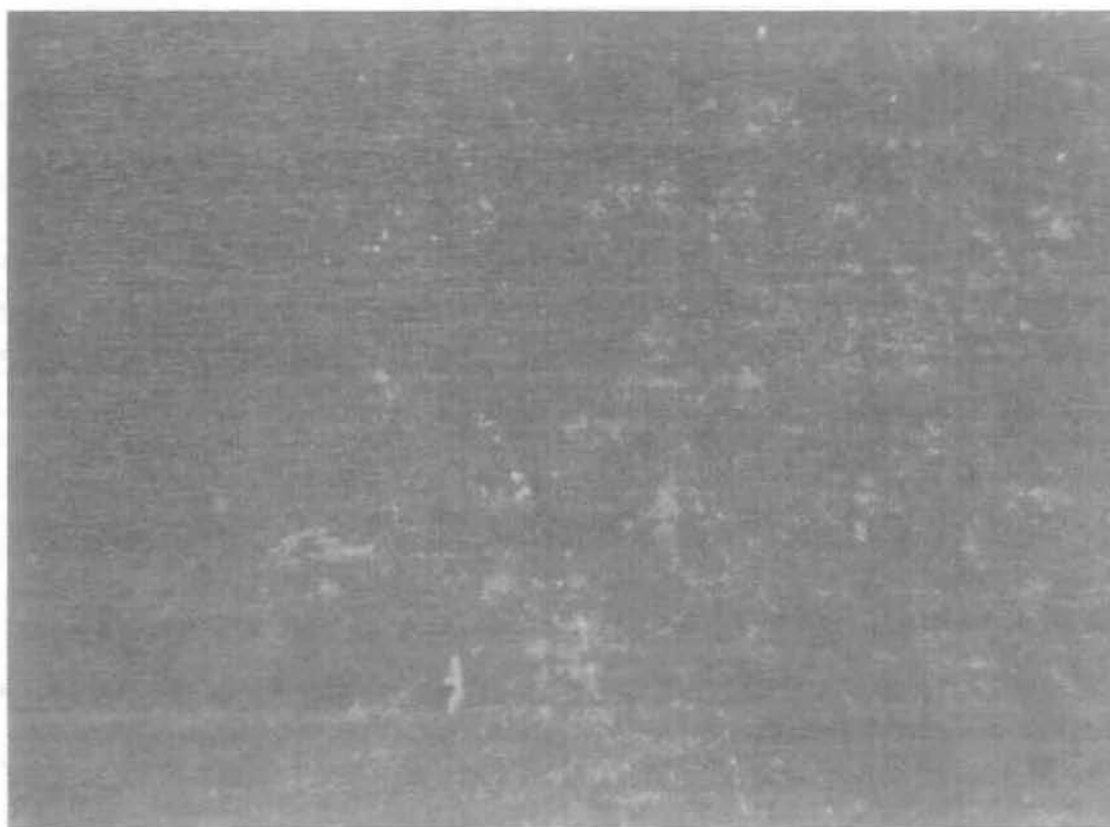
4^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΓΡΑΦΗΜΑ 24Α

5^η ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

ΓΡΑΦΗΜΑ 25Α

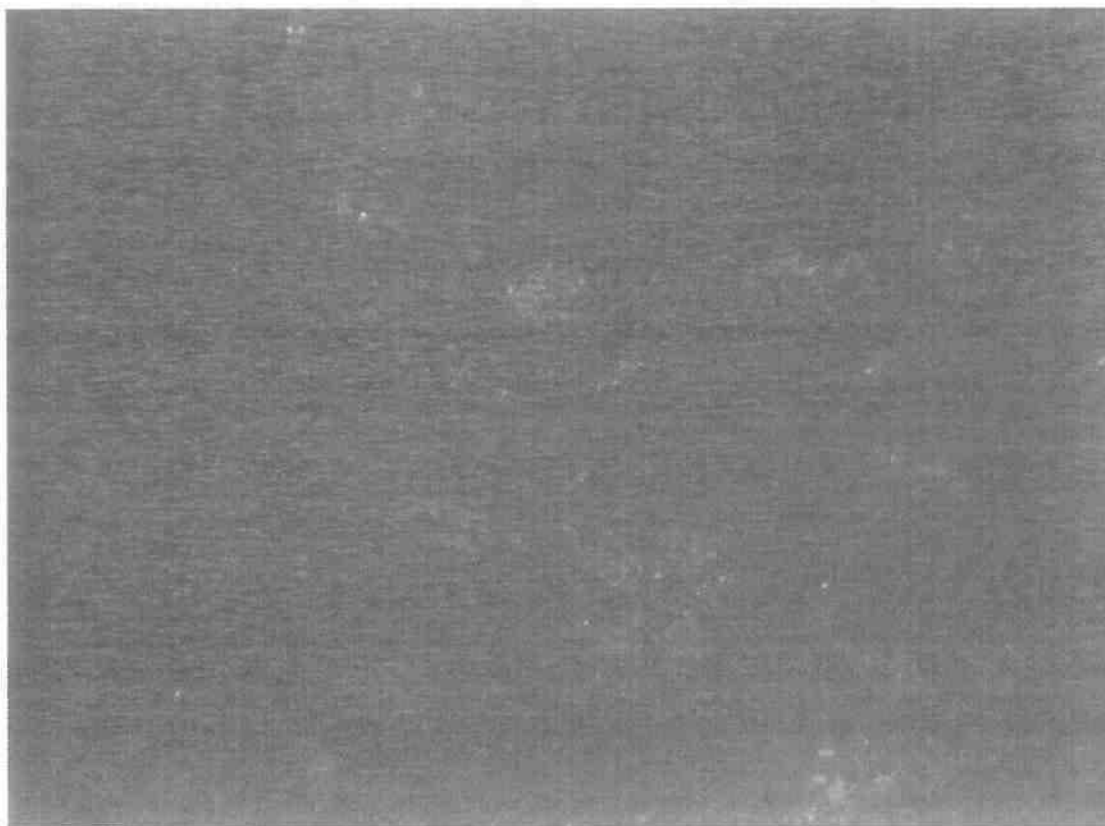
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 22 - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΕΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΕΙΣ.****ΕΙΚΟΝΑ 1Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.1 10Χ)**



ΕΙΚΟΝΑ 2Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.1 16Χ)



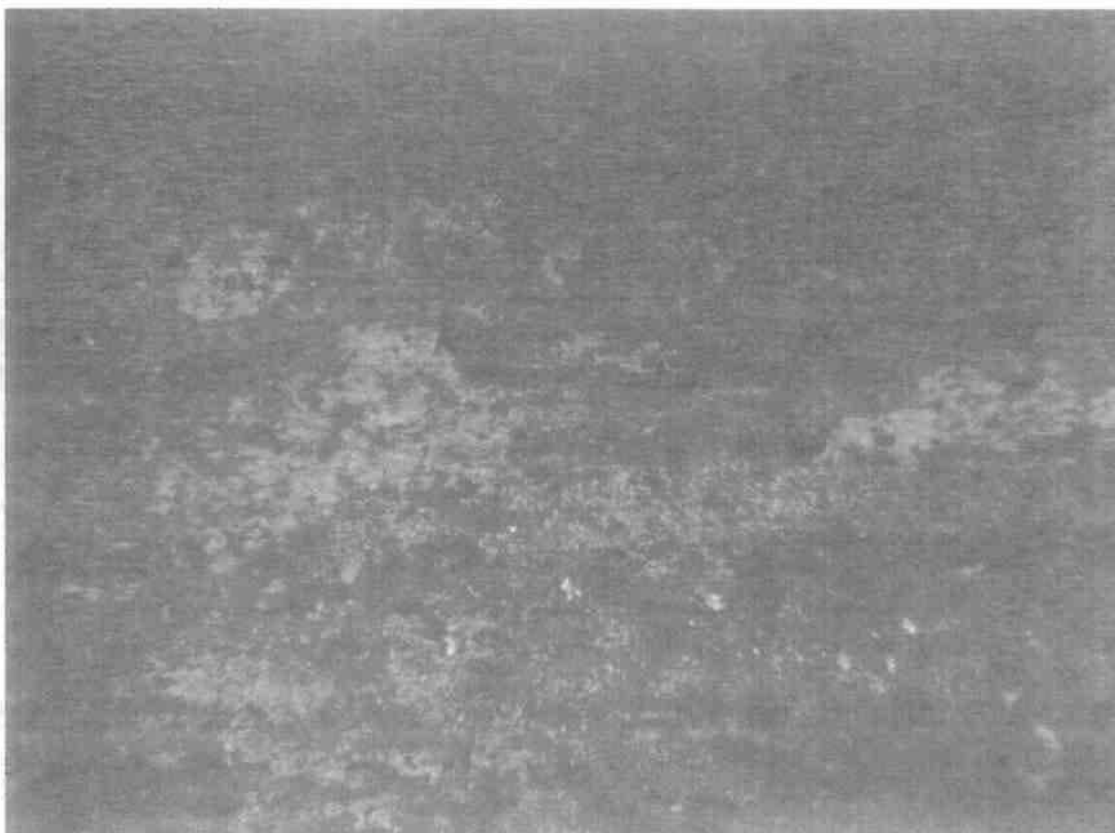
ΕΙΚΟΝΑ 3Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.3 10Χ)



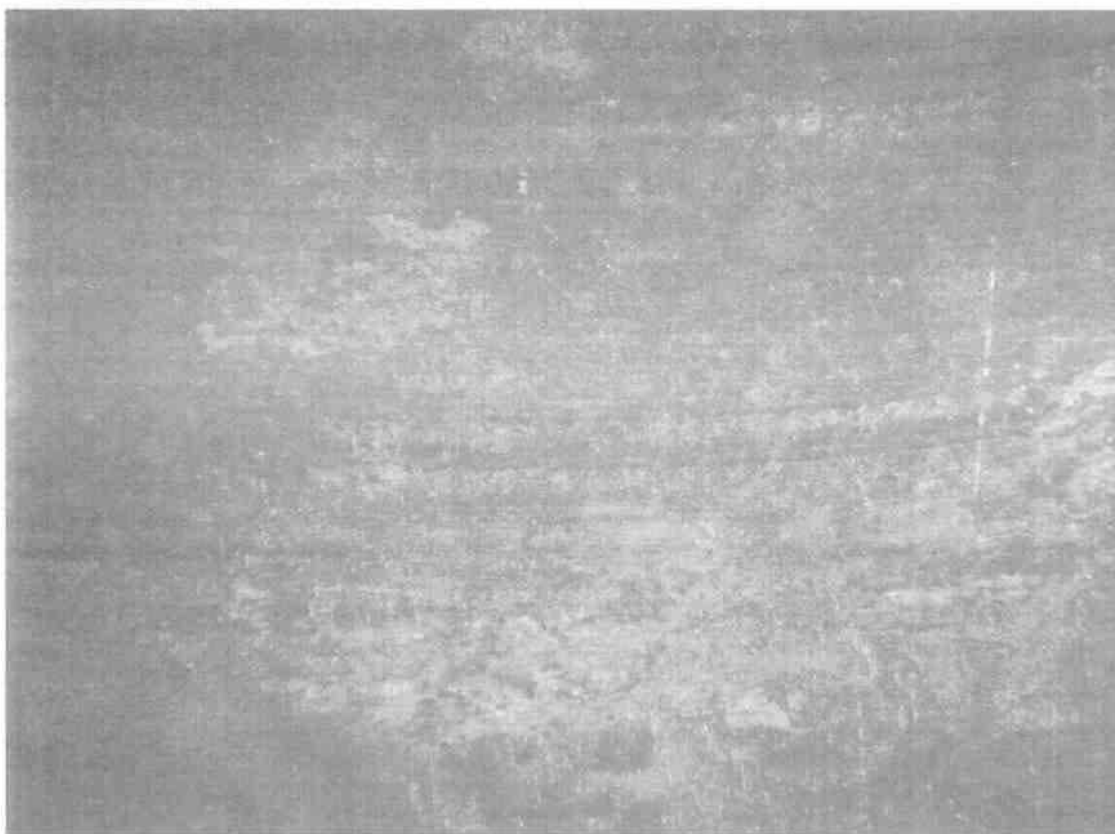
ΕΙΚΟΝΑ 4B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.3 16X)



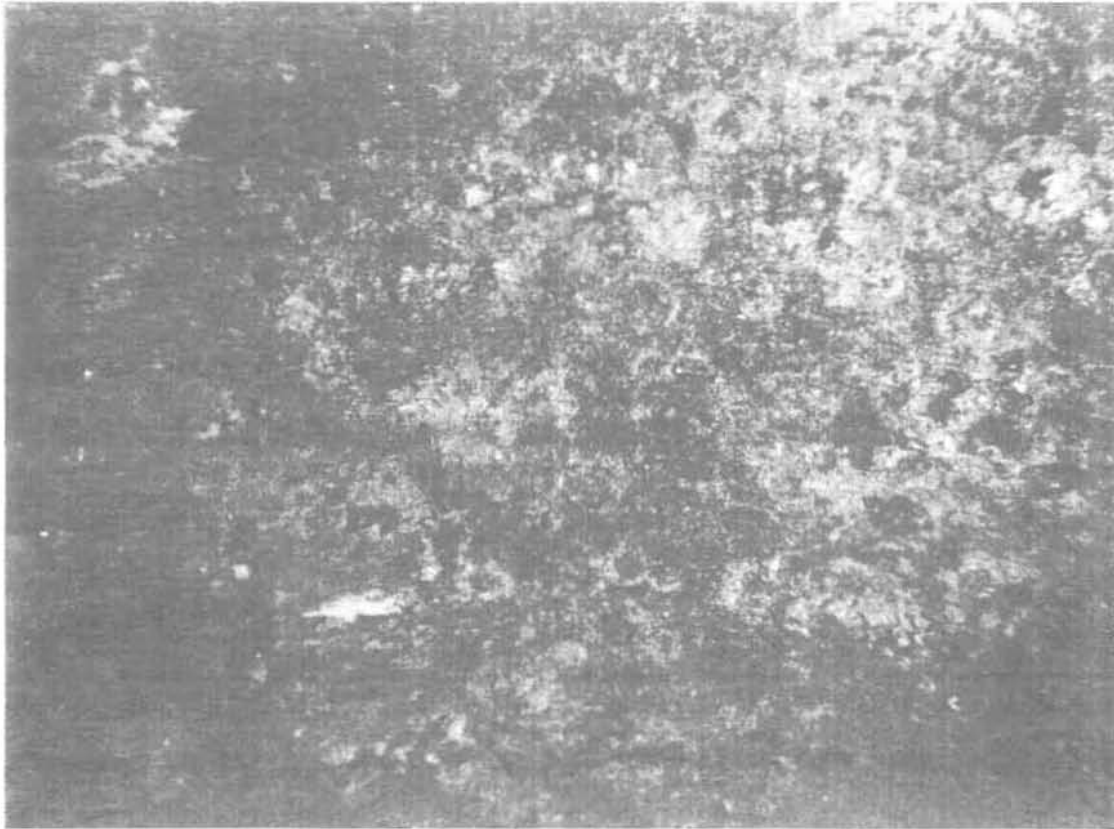
ΕΙΚΟΝΑ 5B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.4 10X)



ΕΙΚΟΝΑ 6B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 1.4 16X)



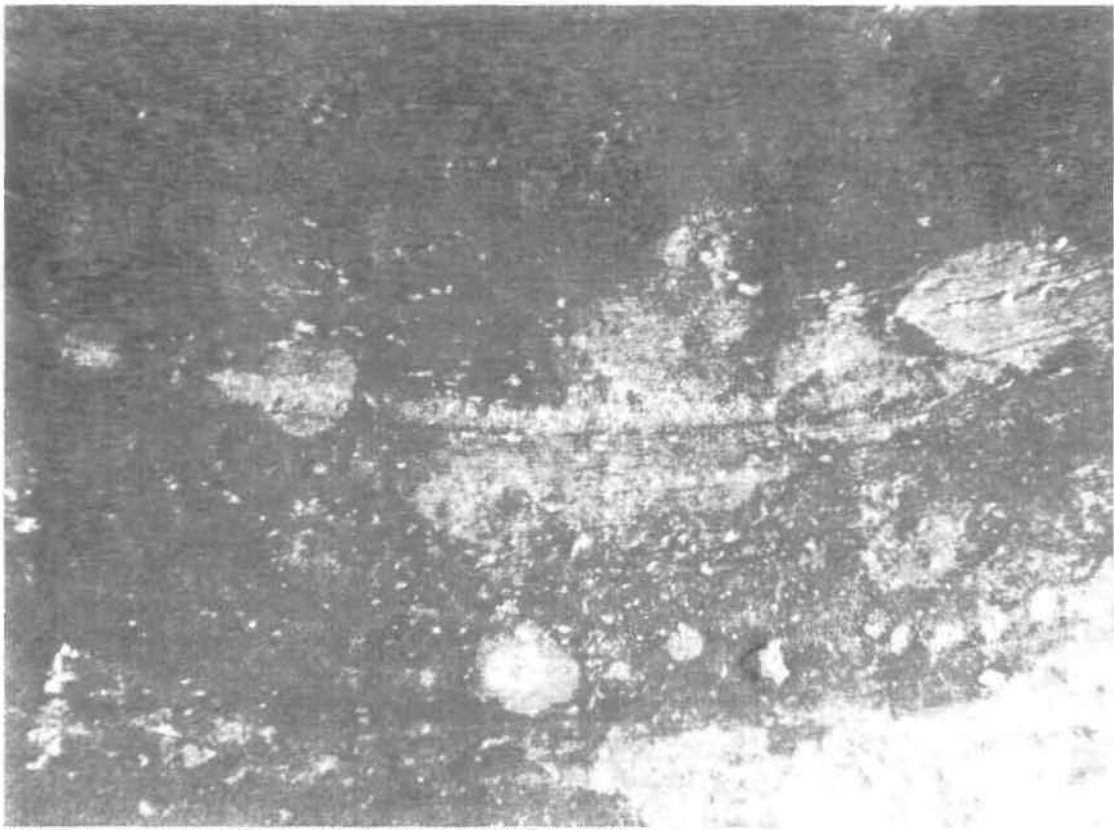
ΕΙΚΟΝΑ 7B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.1 16X)



ΕΙΚΟΝΑ 8B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.2 10X)



ΕΙΚΟΝΑ 9B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.2 16X)



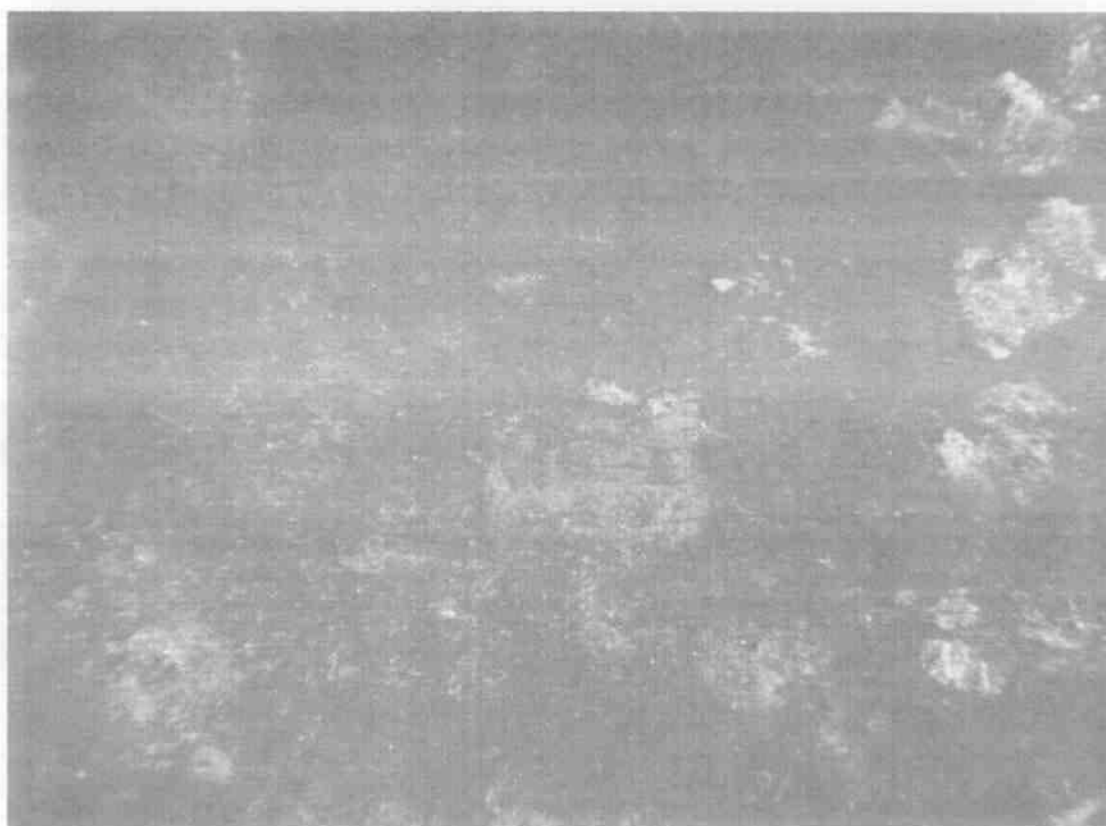
ΕΙΚΟΝΑ 10Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.3 10Χ)



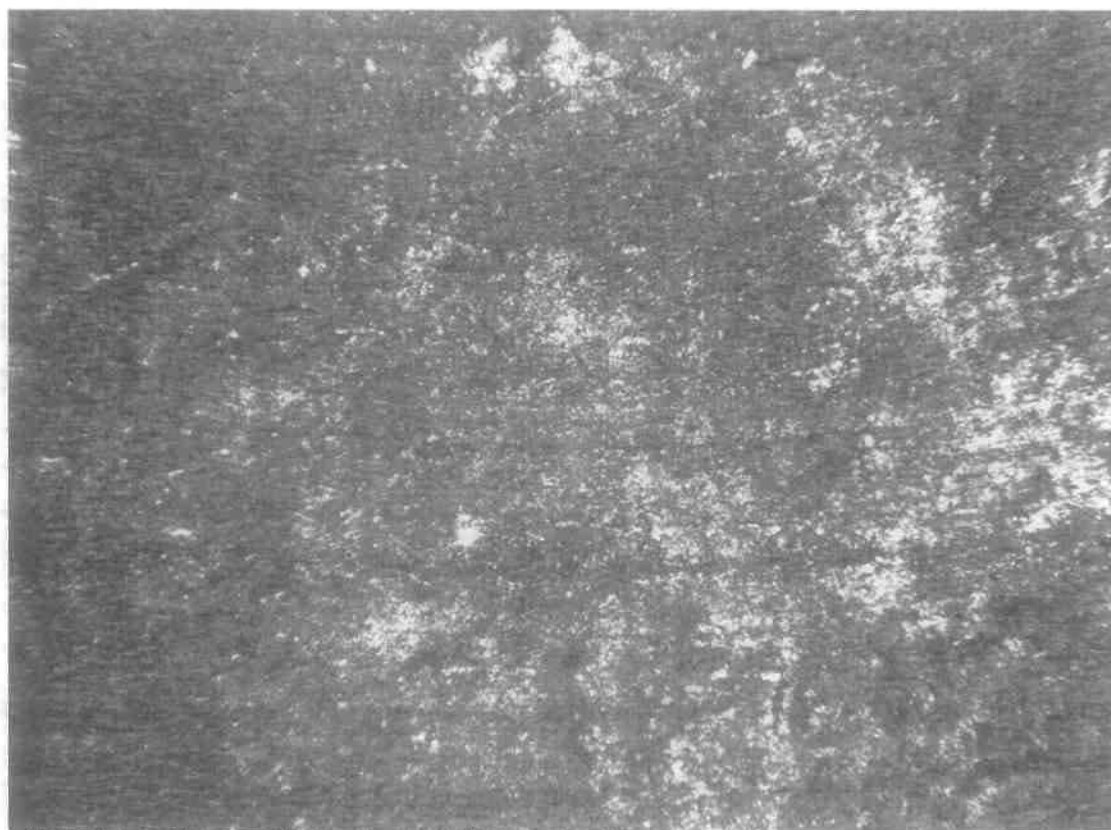
ΕΙΚΟΝΑ 11Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.3 16Χ)



ΕΙΚΟΝΑ 12Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.4 10Χ)



ΕΙΚΟΝΑ 13Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 2.4 16Χ)



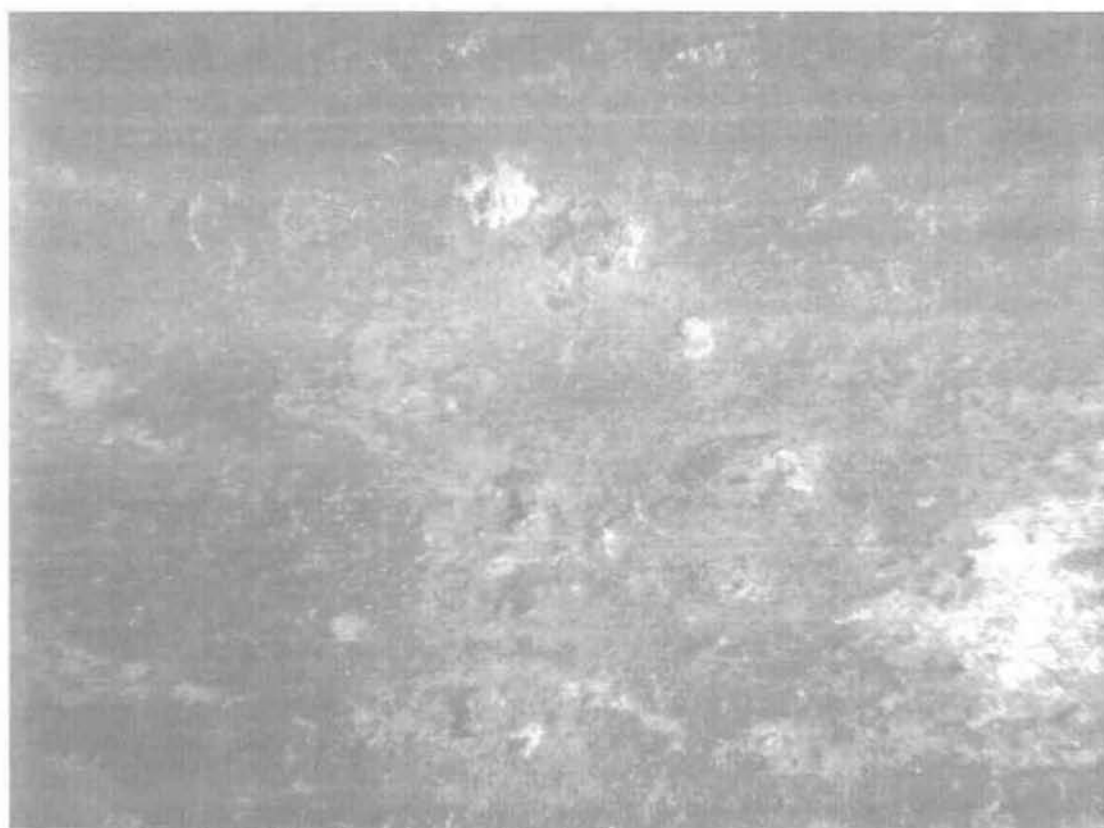
ΕΙΚΟΝΑ 14Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.1 25Χ)



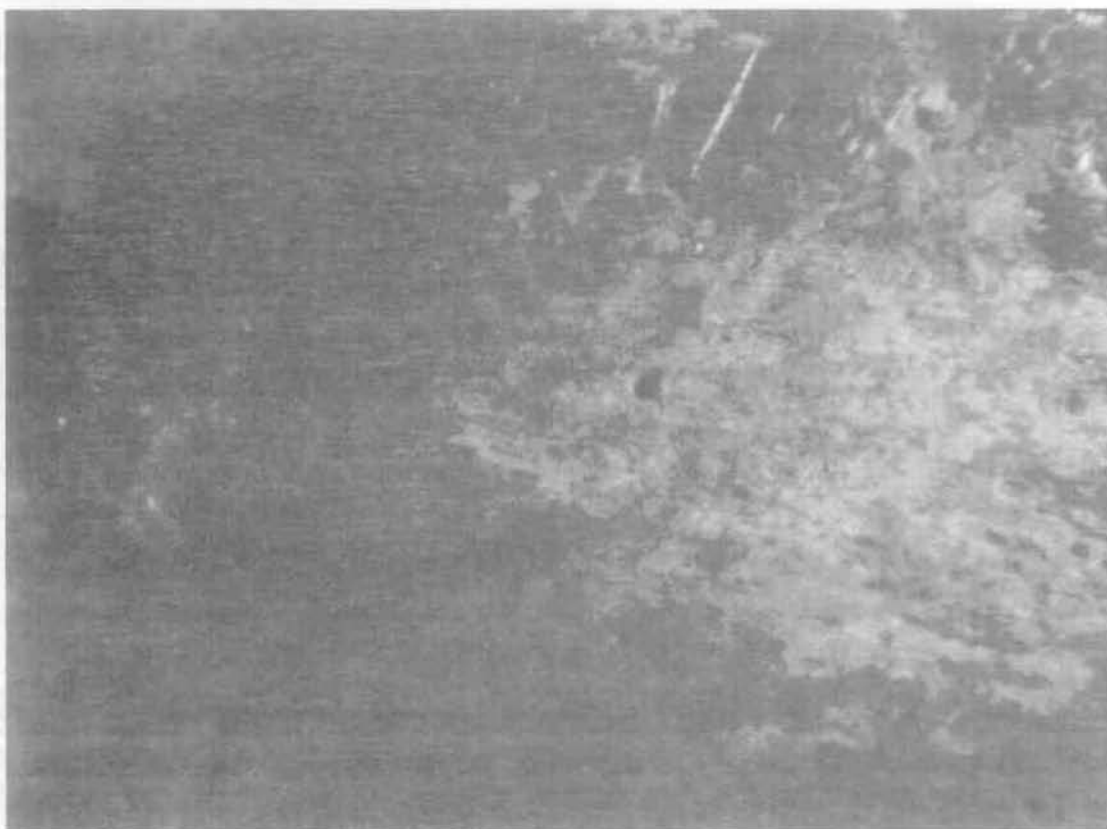
ΕΙΚΟΝΑ 15Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.2 16Χ)



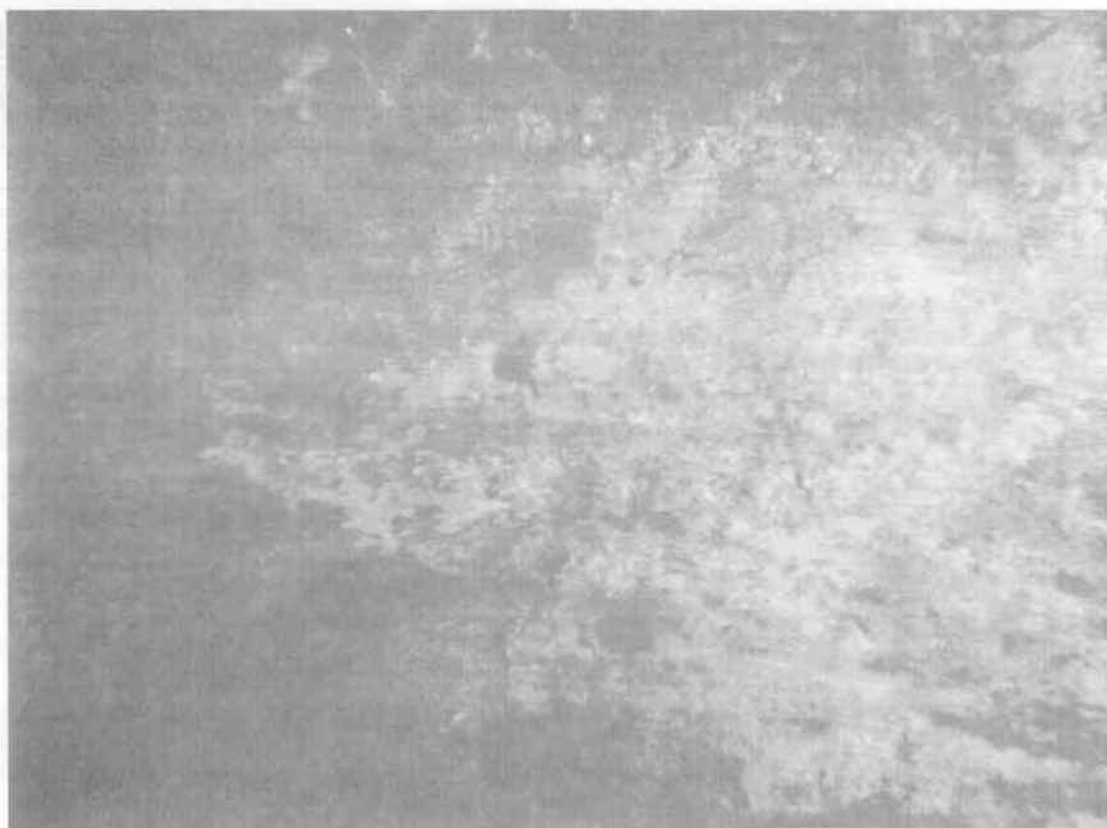
ΕΙΚΟΝΑ 16B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.3 10X)



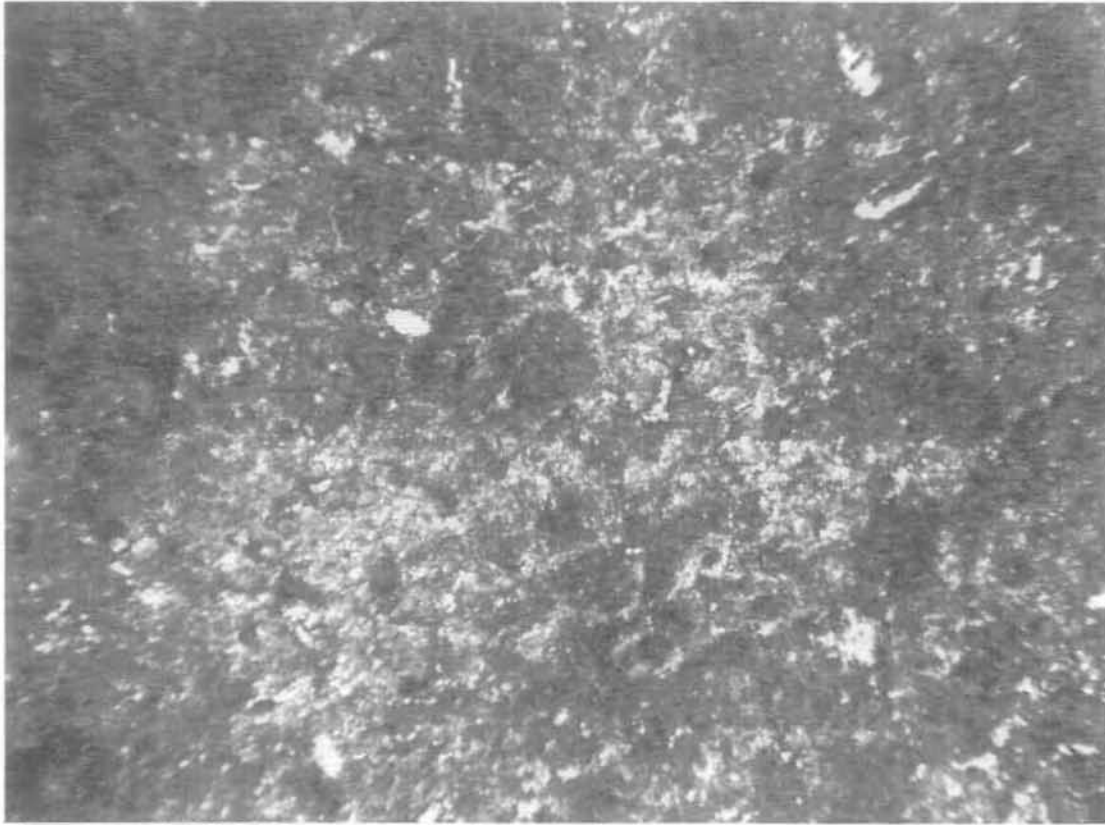
ΕΙΚΟΝΑ 17B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.3 16X)



ΕΙΚΟΝΑ 18Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.4 10Χ)



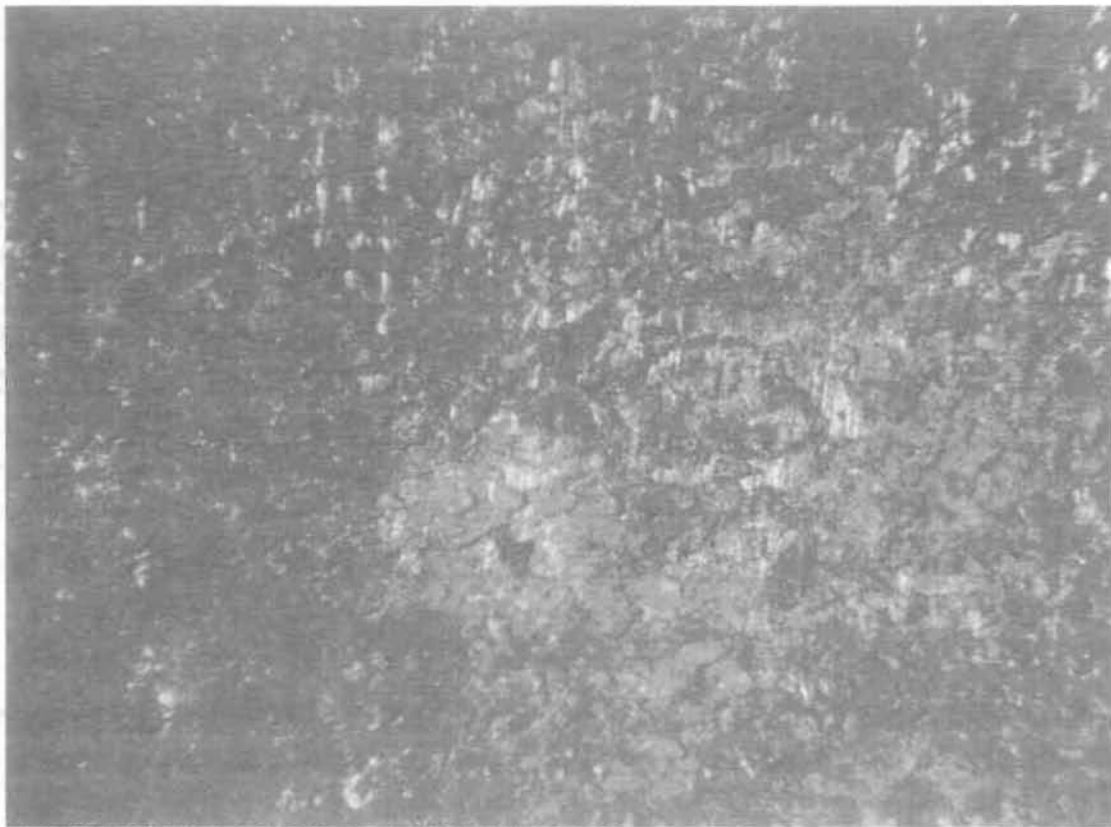
ΕΙΚΟΝΑ 19Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 3.4 16Χ)



ΕΙΚΟΝΑ 20Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.1 16Χ)



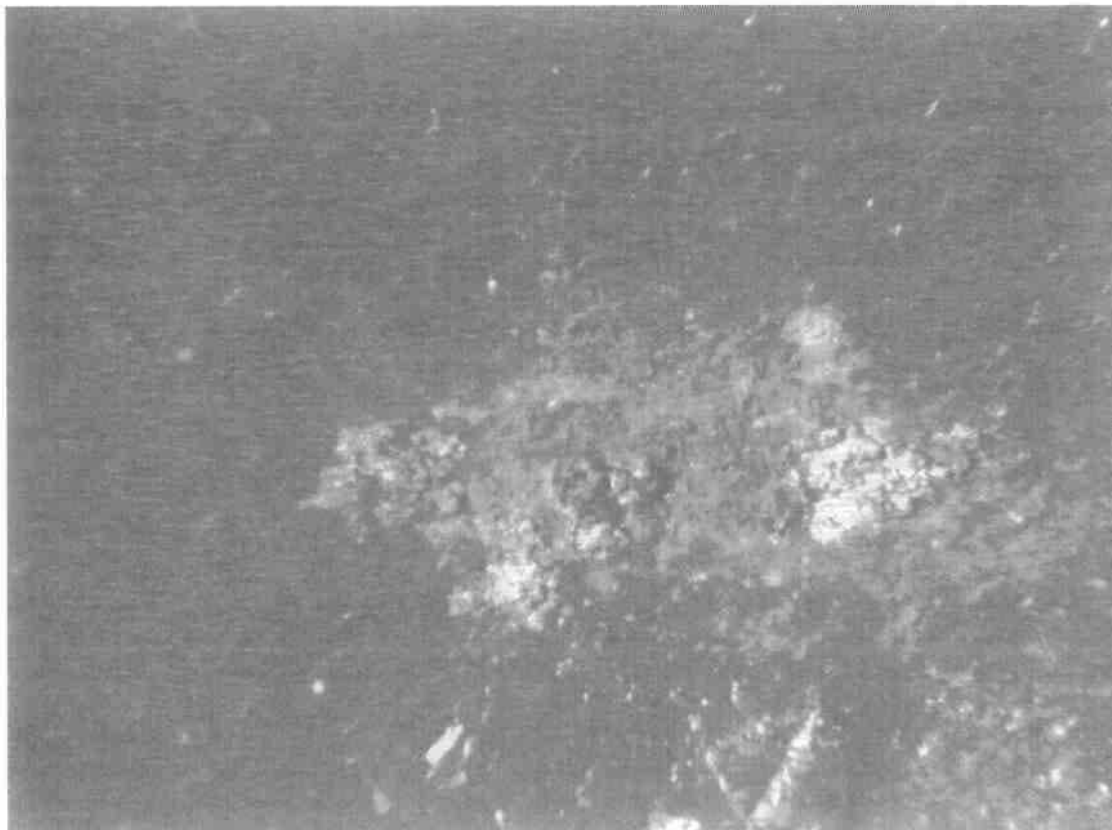
ΕΙΚΟΝΑ 21Β(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.2 10Χ)



ΕΙΚΟΝΑ 22B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.2 16X)



ΕΙΚΟΝΑ 23B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.3 10X)



ΕΙΚΟΝΑ 24B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.3 16X)



ΕΙΚΟΝΑ 25B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.4 10X)



ΕΙΚΟΝΑ 26B(ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ 4.4 16X)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091586