

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΛΙΚΩΝ

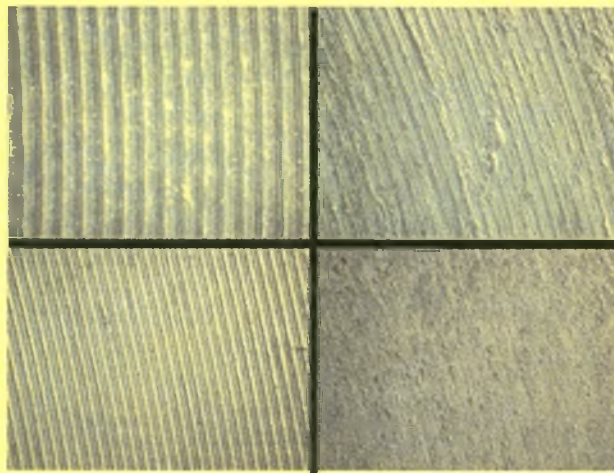
ΚΑΙ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΡΝΕΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΑΝΟΞΕΙΑΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ AISI 304

ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ Ι. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



Επιβλέποντες:

Νικόλαος Δ. Χασιώτης

Δρ. Μεταλλουργός Μηχανικός

Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής

Βόλος 2005



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 4474/1
Ημερ. Εισ.: 07-08-2005
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2005
ΧΑΤ

Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής: Δρ. Γρηγόρης Χαιδεμένοπουλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής: Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος
(Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Βιομηχανίας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής: Δρ. Νικόλαος Χασιώτης
(Επιβλέπων) Δρ. Μεταλλουργός Μηχανικός, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Βιομηχανίας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γρηγόρη Χαιδεμενόπουλο Διευθυντή του Εργαστηρίου Υλικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας για την παραχώρηση του εργαστηρίου και του αναγκαίου εξοπλισμού για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και για τη τιμή που μου έκανε να είναι μέλος της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Πετρόπουλο επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, για τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις και για όλη τη πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Μέσα από τη καρδιά μου θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μεταλλουργό Μηχανικό κ. Νικόλαο Χασιώτη, επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, για την πολύτιμη βοήθεια, τη καθοδήγηση του, για την υπομονή και τη κατανόηση που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ακόμα τον ευχαριστώ για τις πολύτιμες συμβουλές του σε επιστημονικά και γενικά θέματα.

Ακόμα ευχαριστώ όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Υλικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας για τη βοήθεια που μου πρόσφεραν. Ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Σπύρο Σαμαρά πολύτιμη βοήθεια και της συμβουλές που έδωσε.

Ευχαριστώ τους φίλους και συναδέλφους μου Ευάγγελο Ντότσιο, Πασχάλη Πλιάτσιο και Γρηγόρη Στεριάδη για τις υποδείξεις, τις συμβουλές και την υποστήριξη που μου πρόσφεραν.

Πάνω απ' όλα, ευχαριστώ τους γονείς μου Λουκία Χατζοπούλου και Ιωάννη Χατζόπουλο καθώς και την αδερφή μου Βικτωρία για την αγάπη τους και την υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Κώστας Χατζόπουλος

Βόλος

Ιούλιος 2005

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΡΝΕΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ AISI 304

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας

Επιβλέποντες :

1. Νικόλαος Δ. Χασιώτης

Δρ. Μεταλλουργός Μηχανικός, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας

2. Δρ. Γεώργιος Πετρόπουλος

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την μελέτη της διάβρωσης σε τورνεμένες επιφάνειες του ωστενιτικού ανοξείδωτου χάλυβα AISI 304. Αρχικά γίνεται αναφορά στους ανοξείδωτους χάλυβες και ειδικότερα στον ανοξείδωτο χάλυβα 304. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρόποι προσδιορισμού της τοπογραφίας της επιφανείας και οι τρόποι μέτρησης της τραχύτητας της επιφανείας. Έπειτα παρουσιάζονται οι συνθήκες τórνευσης των επιφανειών και η προετοιμασία των δοκιμών που θα χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη της διάβρωσης στις κατεργασμένες επιφάνειες. Στα πλαίσια της μελέτη της διάβρωσης των τórνεμένων επιφανειών του ανοξείδωτου χάλυβα AISI 304 έγιναν δυο δοκιμές επιταχυνόμενης διάβρωσης α) με Διαδοχικές Εμβάπτισεις (Alternate Immersion Test) β) με εμβάπτιση σε διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου (FeCl_3 7%). Τέλος παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των δοκιμών επιταχυνόμενης διάβρωσης σε συνάρτηση με την τοπογραφία των κατεργασμένων επιφανειών και των παραμέτρων της τórνευσης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1	Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	1
2	Διάβρωση και διαβρωτικά περιβάλλοντα.....	1
3	Επιφανειακή τοπογραφία και διάβρωση.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

1.1	Η ιστορία των ανοξείδωτων χαλύβων	6
1.2	Ταξινόμηση των ανοξείδωτων χαλύβων.....	8
1.3	Οι αντιδιαβρωτικές ιδιότητες των ανοξείδωτων χαλύβων.....	10
1.4	Εφαρμογές των ανοξείδωτων χαλύβων.....	10
1.5	Επίδραση των κραματικών στοιχείων στις αντιδιαβρωτικές ιδιότητες των ανοξείδωτων χαλύβων.	13
1.6	Ο ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας AISI 304.....	15
1.7	Παραδείγματα εφαρμογών ανοξείδωτων χαλύβων.....	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ

2.1	Η ποιότητα επιφανειών των μεταλλικών υλικών.....	20
2.2	Τραχύτητα επιφανείας των μεταλλικών υλικών.....	24
2.3	Προτυποποίηση της τραχύτητας.....	25
2.4	Η μέτρηση της επιφανειακής τραχύτητας	27
	2.4.1 Νεώτερες παράμετροι χαρακτηρισμού της ποιότητας της επιφάνειας.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Η ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

3.1	Μορφές διάβρωσης.....	33
	3.1.1 Ομοιόμορφη διάβρωση.....	34
	3.1.2 Γαλβανική διάβρωση.....	34
	3.1.3 Η Γαλβανική σειρά.....	36

3.1.4	Διάβρωση σχισμών.....	38
3.1.5	Περικρυσταλλική διάβρωση.....	40
3.1.6	Διάβρωση πρόσκρουσης.....	40
3.1.7	Εργοδιάβρωση.....	41
3.2	Τρηματική διάβρωση.....	41
3.2.1	Το σχήμα των διαβρωτικών τρημάτων.....	42
3.2.2	Μηχανισμοί τρηματικής διάβρωσης.....	43
3.2.3	Έναρξη της τρηματικής διάβρωσης.....	43
3.2.4	Ανάπτυξη των διαβρωτικών τρημάτων.....	43
3.2.5	Συνθήκες έναρξης και ανάπτυξης της τρηματικής διάβρωσης.....	45
3.3	Προστατευτικά στρώματα των ανοξειδωτων χαλύβων.....	46
3.3.1	Η επίδραση των ιόντων χλωρίου στο παθητικό στρώμα.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

4.1	Προετοιμασία δοκιμών.....	49
4.1.1	Οι επιφάνειες των δοκιμών.....	52
4.2	Περιγραφή πειράματος επιταχυνόμενης διάβρωσης με διαδοχικές εμβαπτίσεις (Α.Ι.Τ).....	53
4.2.1	Σκοπός του πειράματος.....	53
4.2.2	Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας.....	53
4.2.3	Περιγραφή πειραματικής διάταξης.....	54
4.2.4	Διάλυμα 3,5% NaCl.....	56
4.2.5	Συνθήκες αέρα.....	56
4.2.6	Καθαρισμός δοκιμών.....	56
4.2.7	Μεθοδολογία.....	57
4.3	Περιγραφή πειράματος επιταχυνόμενης διάβρωσης με τη χρήση διαλύματος τριχλωριούχου σιδήρου (FeCl ₃).....	58
4.3.1	Σκοπός του πειράματος.....	58
4.3.2	Διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου (FeCl ₃).	58
4.3.3	Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας.....	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

5.1	Αποτελέσματα της δοκιμής επιταχυνόμενης διάβρωσης με Διαδοχικές Εμβάπτισεις – Alternate Immersion Test (A.I.T).....	61
5.2	Αποτελέσματα της δοκιμής επιταχυνόμενης διάβρωσης με εμβάπτιση σε διάλυμα τριχλωριούχου σιδηρού (FeCl ₃).....	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

6.1	Ανάλυση αποτελεσμάτων των δοκιμών των Διαδοχικών Εμβάπτισεων.....	105
6.2	Ανάλυση αποτελεσμάτων των δοκιμών Εμβάπτισης σε διάλυμα FeCl ₃	117

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....130

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ133

Βιβλιογραφία.....135

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό τη μελέτη της διάβρωσης του ωστενιτικού ανοξειδωτού χάλυβα AISI 304 (18Cr – 8Ni) σε συνάρτηση με την επιφανειακή του κατεργασία. Η μηχανουργική κατεργασία που εφαρμόστηκε ήταν μετωπική τórνευση σε συνδυασμό με διαφορετικές ταχύτητες κοπής, πρόωσης και βάθη κοπής έτσι ώστε να δημιουργηθούν τέσσερις διαφορετικές επιφανειακές τοπογραφίες. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν δυο πειραματικές δοκιμές επιταχυνόμενης διάβρωσης α) με διαδοχικές εμβάπτισεις (Alternate Immersion Test) και β) εμβάπτισης σε διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου (FeCl₃ .7%). Τα δοκίμια των δυο πειραματικών δοκιμών υπέστησαν στερεοσκοπική ανάλυση και τραχυμέτρηση.

Η ευρεία χρηστικότητα των ανοξειδωτων χαλύβων και ιδίως του χάλυβα AISI 304 σε ολόκληρο το πεδίο των σύγχρονων μηχανολογικών κατασκευών οι οποίες λειτουργούν σε διάφορα διαβρωτικά περιβάλλοντα, καθώς και η ταυτόχρονη αναγκαιότητα της μηχανουργικής του κατεργασίας (επιφανειακής), οδήγησαν στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ

Ως *διάβρωση* ορίζεται εκείνη η διεργασία η οποία οδηγεί στην υποβάθμιση και εν συνεχεία στην καταστροφή των μεταλλικών υλικών, λόγω της αλληλεπίδρασης τους με το περιβάλλον λειτουργίας, ειδικά είναι δυνατόν να ειπωθεί ότι η διάβρωση είναι η ετερογενής αντίδραση στην διεπιφάνεια μεταξύ του μεταλλικού και μη μεταλλικού υλικού ως εξής:

ΜΕΤΑΛΛΟ + ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΥΛΙΚΟ —► ΠΡΟΪΟΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Η διάβρωση σε ένα υλικό μπορεί να είναι αργή ή γρήγορη. Ένας ανοξειδωτος χάλυβας π.χ 18Cr - 8Ni μπορεί να καταστραφεί από οξέα, μέσα σε λίγες ώρες. Οι σιδηροδρομικές ράγες εμφανίζουν μια μικρή διάβρωση, μετά από πολλά χρόνια, που δεν επηρεάζει όμως τη λειτουργία τους. Ο διάσημος σιδερένιος στύλος στο Δελχί της Ινδίας, ο οποίος κατασκευάστηκε πριν από περίπου 2000 χρόνια φαίνεται

ακόμη και σήμερα σχεδόν καινούργιος, έχοντας όμως εκτεθεί κυρίως σε ξηρές περιβαντολογικές συνθήκες (Εικ.1).

Όλα τα περιβάλλοντα είναι λίγο ή πολύ διαβρωτικά. Μερικά παραδείγματα είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας, η υγρασία, το νερό, ο ατμός όπως και κάποια αέρια για παράδειγμα η αμμωνία, το διοξείδιο του θείου, διάφορα οργανικά ή ανόργανα οξέα, έλαια προερχόμενα από τρόφιμα (φυτικά, ζωικά έλαια) ή από πετρέλαιο. Γενικά τα ανόργανα στοιχεία και ενώσεις είναι πιο διαβρωτικά από τα οργανικά. Στην πετροχημική βιομηχανία, για παράδειγμα, η διάβρωση οφείλεται πιο πολύ στο χλωριούχο νάτριο, στο θειικό και υδροχλωρικό οξύ και όχι τόσο στο πετρέλαιο, στη νάφθα ή στη βενζίνη. Τα διαβρωτικά περιβάλλοντα γίνονται συνήθως πιο επιθετικά με την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων .

Τα αποτελέσματα της διάβρωσης είναι καταστροφικά και επιβλαβή. Σε μερικές όμως ειδικές κατεργασίες, όπως η ηλεκροδιάβρωση, η ελεγχόμενη διάβρωση είναι επιθυμητή . Επίσης τα διαβρωτικά επικαλύμματα σε ορισμένα μεταλλικά υλικά όπως το Al_2O_3 στα κράματα αλουμινίου και το CrO στους ανοξειδωτους χάλυβες, έχουν προστατευτική δράση διότι δεν επιτρέπουν την αλληλεπίδραση των υλικών αυτών με το περιβάλλον.

- *Κόστος συντήρησης και κόστος λειτουργίας_:*

Κατά την μελέτη ενός έργου λαμβάνεται υπόψιν η βέλτιστη σχέση μεταξύ κόστους και κατασκευής, που αυξάνει με την αντιδιαβρωτική προστασία, και του κόστους συντήρησης και λειτουργίας που μειώνεται. Σε πολλές βιομηχανίες και κατασκευές μπορούν να εξοικονομηθούν κεφάλαια με την χρησιμοποίηση υλικών τα οποία παρουσιάζουν καλή αντίσταση στη διάβρωση. Για παράδειγμα, ένα χημικό εργοστάσιο εξοικονόμησε 10,000 \$ μόνο με την αντικατάσταση των αρχικών κοχλιών με άλλους οι οποίοι ήταν κατασκευασμένοι από κράμα ανθεκτικότερο στη διάβρωση στις προκειμένες συνθήκες [1]. Πολλές φορές πάλι, εργοστάσια έχουν αναγκαστεί να σταματήσουν γραμμές παραγωγής κατόπιν απρόσμενων αστοχιών που οφείλονταν στην διάβρωση. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η παρακολούθηση της διάβρωσης έτσι ώστε να αποφεύγονται παρόμοια γεγονότα που έχουν ως συνέπεια την αύξηση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

- *Ασφάλεια και αξιοπιστία :*

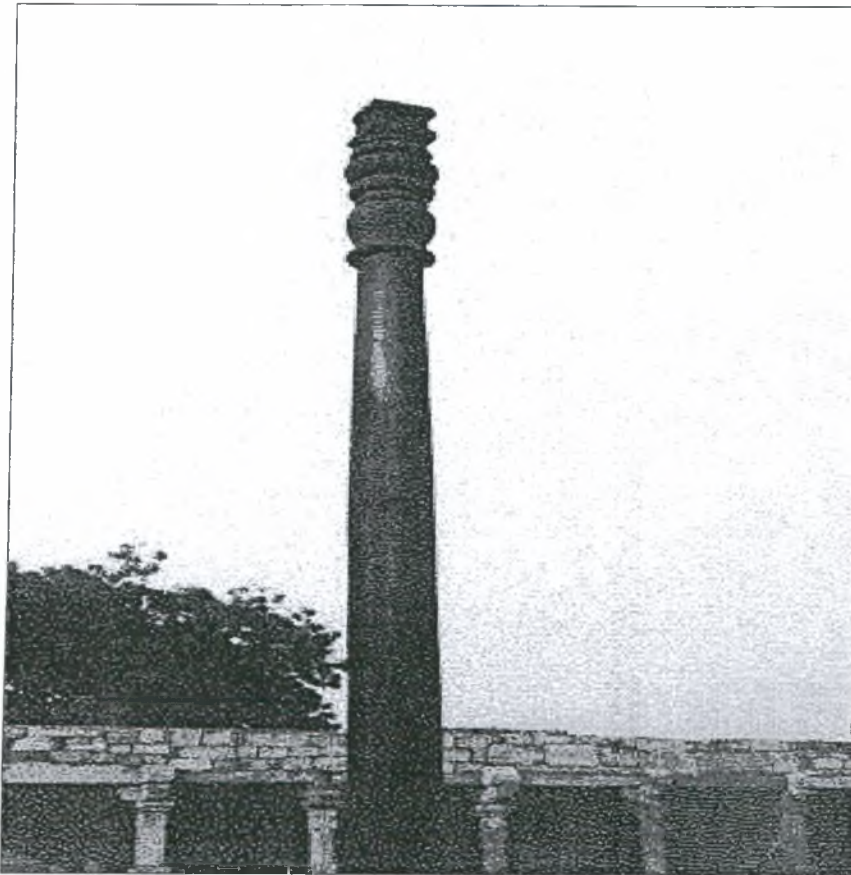
Η διαχείριση επικίνδυνων ουσιών-υλικών όπως τοξικών αερίων, υδροφθορικού, νιτρικού, υδροχλωρικού οξέος, εύφλεκτων υλικών, ραδιενεργών ουσιών και άλλων διαφόρων χημικών ουσιών σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις απαιτεί κατασκευαστικά υλικά που ελαχιστοποιούν την αστοχία λόγω της διάβρωσης, προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν ατυχήματα. Η οικονομία στο κόστος κατασκευής δεν είναι θεμιτή, όταν διακυβεύεται η ασφάλεια και οι ζωές ανθρώπων. Άλλες περιπτώσεις όπως η διασφάλιση της ποιότητας του νερού κατά την μεταφορά και αποθήκευσή του, εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων, διάφορες ιατρικές εφαρμογές απαιτούν υλικά τα οποία είναι ανθεκτικά στη διάβρωση.

- *Αισθητική*

Η αισθητική είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στις κατασκευές, ο διαβρωμένος και σκουριασμένος εξοπλισμός δεν αφήνει καλή εντύπωση στον παρατηρητή. Σε πολλούς δημόσιους χώρους θα ήταν φθηνότερο να χρησιμοποιηθούν πιο μεγάλες διατομές μετάλλου, έτσι ώστε να υπάρχει αντοχή στη διάβρωση, παρά η επικάλυψη του υλικού με μπογιά. Οι εξωτερικές επιφάνειες ή προσόψεις κτιρίων συχνά είναι κατασκευασμένες από ανοξείδωτο χάλυβα, αλουμίνιο ή χαλκό προς χάριν της αρχιτεκτονικής αισθητικής. Το ίδιο συμβαίνει σε εστιατόρια, εμπορικά κέντρα, χώρους εργασίας, κατοικίες και σε πολλά άλλα μέρη.

Η διάβρωση μπορεί διαχωριστεί σε διάφορες κατηγορίες με πολλούς τρόπους . Μερικοί μέθοδοι διαχωρισμού είναι οι εξής :

- *Διάβρωση σε υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες .*
- *Διάβρωση μέσω άμεσης προσβολής (οξειδωση) ή ηλεκτροχημική διάβρωση.*
- *Υδατική διάβρωση ή αέρια διάβρωση .*



Εικ. 1: Σιδερένιος στύλος που βρίσκεται στο Δελχί

3 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει απολύτως λεία επιφάνεια στερεού σώματος. Ωστόσο, υπάρχουν πάντοτε ανωμαλίες που εξαρτώνται από τον τρόπο κατασκευής του, τη λειτουργία του, τον τρόπο επαφής του με άλλα σώματα (στατική, δυναμική, με ολίσθηση, περιδίνηση και άλλα), τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του υλικού - από τα οποία εξαρτάται και η φθορά τους- και διάφορα άλλα. Ο όρος ποιότητα μιας επιφάνειας αφορά τόσο τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της όσο και τα γεωγραφικά της.

Η μικροσκοπική παρατήρηση μιας τομής επιφάνειας μακροσκοπικά «λείας», αποδεικνύει τελικά ότι η επιφάνεια δεν είναι απόλυτα λεία. Παρουσιάζει μια συνεχή εναλλαγή εξάρσεων και βυθίσεων (κορυφών και κοιλάδων) όπου τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται κυρίως από την μέθοδο κατεργασίας της επιφάνειας (κοπή, τórνευση, λείανση) αλλά και τις άλλες λειτουργικές προαναφερθείσες παραμέτρους. Προφανώς, η πλήρης ανάλυση των ανωμαλιών της επιφάνειας πρέπει να γίνεται τρισδιάστατα αφού θεωρητικά το ύψος z πάνω από την θεωρητική (λεία) επιφάνεια του σώματος δίνεται γενικά από μια συνάρτηση της μορφής :

$$z = z(x, y) \quad (1)$$

Ωστόσο, επειδή οι κυριότερες μηχανουργικές κατεργασίες λειτουργούν με αφαίρεση υλικού κατά συγκεκριμένη διεύθυνση προκύπτει επιφάνεια με προσανατολισμένα χαρακτηριστικά, δηλαδή μέγιστες ανωμαλίες κατά κάθετη προς τον άξονα κατεργασίας διεύθυνση και ελάχιστες ανωμαλίες κατά τον άξονα κατεργασίας.

$$z = z(x) \quad (2)$$

- *Συμπερασματικά :*

Η επιφανειακή κατεργασία άρα και η τοπογραφία, λόγω της ανάπτυξης τάσεων στην επιφάνεια των μεταλλικών υλικών επηρεάζει άμεσα την διαβρωτική συμπεριφορά. Είναι γνωστό ότι η περιοχή συγκέντρωσης των τάσεων είναι ενεργειακά αναβαθμισμένη και συνεπώς περισσότερο επιρρεπής στην έναρξη της διαβρωτικής διαδικασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

1.1 Η ιστορία των ανοξειδωτων χαλύβων

Η ιστορία των ανοξειδωτων χαλύβων διακρίνεται από τη μεγάλη χρονική περίοδο που παρήλθε από την ανακάλυψη ορισμένων ιδιοτήτων του σιδήρου που αναμίχθηκε με το χρώμιο και της επιστημονικής μελέτης τους, μέχρι τη βιομηχανική εκμετάλλευσή τους. Αυτή η χρονική περίοδος μπορεί να συγκριθεί με αυτή της πενικιλίνης, που ανακαλύφθηκε από τον Fleming το 1928, της οποίας οι θεραπευτικές εφαρμογές δεν άρχισαν παρά μόνο το 1941, δηλαδή περίπου 13 έτη αργότερα. Στην περίπτωση των ανοξειδωτων χαλύβων, η αναμονή ανήλθε στα 90 έτη!

Τα καταστρεπτικά αποτελέσματα της διάβρωσης στο σίδηρο ήταν γνωστά πάντα, και αποτέλεσαν το αντικείμενο ερευνών στην αρχή του 20ού αιώνα. Η ελπίδα εύρεσης μιας μεθόδου η οποία θα έδινε στο σίδηρο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής δηλαδή θα τον έκανε ανθεκτικότερο στη διάβρωση επιτεύχθηκε μετά από πολλές ανεπιτυχείς προσπάθειες.

Μπορεί να ειπωθεί ότι οι πρώτες παρατηρήσεις των χημικών ιδιοτήτων που απέκτησε ο σίδηρος με την προσθήκη του χρωμίου (ένα μέταλλο που ανακαλύφθηκε το 1797 από τον Vauquelin και απομονώθηκε το 1854 από το Bunsen), έγιναν το 1821 από τον Berthier [2]. Ο Berthier παρατήρησε ότι το μίγμα σιδήρου και χρωμίου, ήταν ένα κράμα που είχε βελτιωμένη αντίσταση στα οξέα. Η αντίσταση αυξανόταν με την αύξηση του ποσοστού του χρωμίου στο κράμα. Ο Berthier σύστησε αυτόν τον τύπο κράματος στην κατασκευή οικιακών ειδών όπως τα μαχαιροπήρουνα. Χρησιμοποιώντας έναν χάλυβα με 1,5% χρώμιο, κατασκεύασε λεπίδες μαχαιριών μεγάλης σκληρότητας οι οποίες είχαν μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση από αυτές που ήταν κατασκευασμένες από ανθρακοχάλυβες.

Η ανάπτυξη επιβραδύνθηκε λόγω διάφορων παραγόντων. Κατ' αρχάς, τα κράματα ήταν γενικά πολύ πλούσια σε άνθρακα. Η περιεκτικότητα τους σε

χρώμιο ήταν συχνά είτε πάρα πολύ χαμηλή (ανεπαρκής αντίσταση στη διάβρωση) είτε πάρα πολύ υψηλή (μικρή διαμορφωσιμότητα). Ακόμα, το κριτήριο για την αξιολόγηση των ανοξειδωτων κραμάτων ήταν η αντίσταση στο θειικό οξύ ή το νερό. Είναι τώρα γνωστό ότι η αντίσταση στη διάβρωση των χαλύβων, μπορεί να ποικίλει αρκετά από το ένα μέσο στο άλλο.

Η αποτυχία και η αναποτελεσματικότητα των πρώτων πειραματικών δοκιμών αποθάρρυναν τους επιστήμονες από τη συνέχιση αυτής της έρευνας.

Η αρχή στην ανακάλυψη των ανοξειδωτων χαλύβων έγινε με την εργασία του Goldschmidt, που δημοσιεύτηκε κάπου μεταξύ 1904 και 1909. Οι συνθέσεις τους ήταν πολύ κοντά σε αυτούς που χρησιμοποιούμε και σήμερα, χρώμιο 13% για τους μαρτενσιτικούς και 17% για τους φερριτικούς χάλυβες. Ο Goldschmidt μελέτησε την επίδραση των θερμικών επεξεργασιών στη δομή και τις μηχανικές ιδιότητες των χρωμιοχαλύβων. Το 1909 ο Guillet δημοσίευσε μια μελέτη πάνω στους ωστενιτικούς χάλυβες χρωμίου-νικελίου και έτσι ολοκληρώθηκαν και τα τρία κύρια δομικά χαρακτηριστικά για την ταξινόμηση των ανοξειδωτων χαλύβων δηλαδή μαρτενσιτικοί, φερριτικοί και ωστενιτικοί.

Σε αυτό το σημείο άρχισε να μελετάται ο μηχανισμός διάβρωσης των ανοξειδωτων χαλύβων. Ο Γερμανός μεταλλουργός Monnartz τόνισε το ρόλο της παθητικότητας και της περιεκτικότητας άνθρακα σε σχέση με την αντίσταση στη διάβρωση των ανοξειδωτων χαλύβων[2]. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ετοιμάστηκε ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών κραμάτων, οδηγώντας στη δημοσίευση των αναρίθμητων διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Ακόμα έγινε προσπάθεια να καθιερωθούν διαγράμματα παρόμοια με το σύγχρονο διάγραμμα Schaeffler (Εικ 1.1) που δείχνει τη σχέση μεταξύ της δομής και της περιεκτικότητας σε χρώμιο και νικέλιο των κραμάτων μετά από αέρια ψύξη [3].

Οι πρώτες δοκιμές που έγιναν για να επιβεβαιώσουν τις δυνατότητες πρακτικών εφαρμογών των ανοξειδωτων χαλύβων, και οι πρώτες βιομηχανικές δοκιμές για την επεξεργασία τους πραγματοποιήθηκαν κυρίως από το 1910 έως το 1915. Έκτοτε πραγματοποιήθηκαν μελέτες για τη δομή, τη σύσταση των κραμάτων των ανοξειδωτων χαλύβων, ρόλο των σταθεροποιητών κ.τ.λ.

Σήμερα υπάρχουν πάνω από 170 βασικές συνθέσεις ανοξειδωτων χαλύβων και έχουν ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας και της καθημερινής ζωής [2].

1.2 Ταξινόμηση των ανοξειδωτων χαλύβων

Οι διάφοροι οργανισμοί ταξινομούν τους ανοξειδωτους χάλυβες σύμφωνα με τη χημική σύσταση και με τις άλλες ιδιότητες τους. Τις περισσότερες φορές η ταξινόμηση αυτή είναι διαφορετική. Εντούτοις, όλοι οι ανοξειδωτοι χάλυβες, με οποιοσδήποτε προδιαγραφές, μπορούν να ταξινομηθούν ικανοποιητικά σε έξι σημαντικές κατηγορίες οι οποίες αντιπροσωπεύουν τρεις ευδιάκριτους τύπους κραμάτων, ανάλογα με δομή και τη σύστασή τους.

- *Φερριτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες :*

Αυτή η κατηγορία ονομάζεται έτσι επειδή η κρυσταλλική δομή του χάλυβα είναι ίδια με αυτήν του σιδήρου στη θερμοκρασία δωματίου δηλ. κυβική χωροκεντρωμένη (B.C.C). Τα κράματα της κατηγορίας αυτής είναι μαγνητικά στη θερμοκρασία δωματίου και μέχρι τη θερμοκρασία Curie (περίπου 750 C). Τα κοινά κράματα της φερριτικής κατηγορίας περιέχουν μεταξύ 12 και 29 % χρώμιο, καθόλου νικέλιο, και πολύ λίγο άνθρακα. Οι φερριτικοί χάλυβες με 12% Cr, έχουν καλή αντίσταση στη διάβρωση, καλή διαμορφωσιμότητα και χαμηλό κόστος. Χρησιμοποιούνται ευρέως στα συστήματα εξάτμισης των αυτοκινήτων, στα εμπορευματοκιβώτια, και άλλες μηχανολογικές κατασκευές. Τα κράματα με χρώμιο 16-17%, χρησιμοποιούνται κυρίως στην κατασκευή εξαρτημάτων αυτοκινήτων και μαγειρικών σκευών. Οι χάλυβες που περιέχουν υψηλό ποσοστό σε χρώμιο (18 -29%), χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση και ειδικότερα, στην οξείδωση. Αυτά τα κράματα περιέχουν είτε αλουμίνιο είτε μολυβδαίνιο και έχουν πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα.

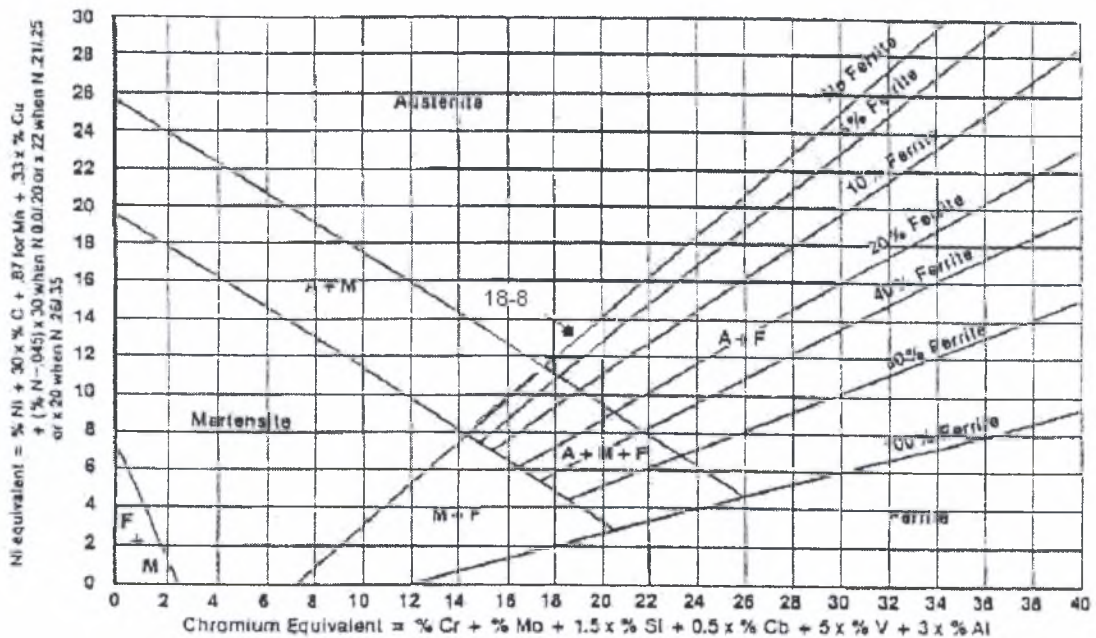
- *Μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες :*

Η κατηγορία αυτή των ανοξειδωτων χαλύβων χαρακτηρίζεται από την μαρτενσιτική κρυσταλλική δομή (τετραγωνική χωροκεντρωμένη). Στα κράματα αυτά η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι σχετικά μεγάλη έτσι ώστε να παράγεται η μαρτενσιτική δομή.

- *Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες :*

Η δομή σιδήρου σε υψηλές θερμοκρασίες (μεταξύ 910 και 1400 C) είναι γνωστή ως ωστενίτης, κυβική ενδροκεντρωμένη κρυσταλλική δομή (F.C.C). Η δομή αυτή είναι μη μαγνητική και μπορεί να διατηρηθεί στη θερμοκρασία δωματίου με την κατάλληλη κραμάτωση. Το πιο κοινό στοιχείο που διατηρεί την ωστενιτική δομή σε

θερμοκρασία δωματίου είναι το νικέλιο. Ως εκ τούτου, οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες έχουν τέτοια σύσταση ώστε να περιέχουν ικανοποιητική ποσότητα χρωμίου για να προσφέρει τη κατάλληλη αντιδιαβρωτική προστασία, ενώ με τη παρουσία του Ni για να εξασφαλίζει την ωστενιτική δομή στη θερμοκρασία δωματίου ή και μικρότερη. Η βασική ωστενιτική σύνθεση είναι το κράμα Cr 18%-Ni 8%. Το περιεχόμενο σε χρώμιο και νικέλιο μπορεί να αυξηθεί για να βελτιωθεί η αντιδιαβρωτική προστασία των χάλυβων, Τα δε πρόσθετα στοιχεία (όπως π.χ το μολυβδαίνιο) μπορούν να προστεθούν για να ενισχύσουν περαιτέρω την αντίσταση στη διάβρωση. Οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες δεν μπορούν να σκληρυνθούν με θερμικές κατεργασίες παρά μόνο εν ψυχρώ. Έχουν πολύ καλή διαμορφωσιμότητα και ικανότητα συγκόλλησης, ακόμα έχουν πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση, η οποία διαφέρει ανάλογα με τη σύσταση του κράματος. Στην Εικ. 1.1 παρουσιάζεται το Διάγραμμα Schaeffler στο οποίο αποτυπώνονται οι διαφορετικές κατηγορίες ανοξείδωτων χάλυβων σε συνάρτηση με τη χημική τους σύσταση.



Εικόνα 1.1 Διάγραμμα Schaeffler. Δείχνει τη δομή των χάλυβων ανάλογα με τη σύνθεσή του (το μαύρο στοιχείο είναι η περιοχή που ανήκουν οι χάλυβες 18-8) [3]

- *Διπλοί, ωστενιτικοί-φερριτικοί, ανοξειδωτοι χάλυβες :*

Η δομή αυτών των χάλυβων αυτών είναι ένα υβρίδιο των δομών του φερρίτη και του ωστενίτη, οι μηχανικές ιδιότητες είναι ένας συνδυασμός των ιδιοτήτων των δυο αυτών δομών του χάλυβα. Οι διπλοί χάλυβες συνδυάζουν την επιθυμητή αντίσταση στη διάβρωση και τις μηχανικές ιδιότητες. Η χρήση τους κατά συνέπεια είναι ευρύτερη τόσο για προϊόντα μηχανουργικά κατεργασμένα όσο και για χυτά εξαρτήματα.

1.3 Οι αντιδιαβρωτικές ιδιότητες των ανοξειδωτων χάλυβων

Οι ιδιότητες των ανοξειδωτων χάλυβων επηρεάζονται ουσιαστικά από τη χημική σύσταση και τη μικροδομή. Ως εκ τούτου οι προδιαγραφές περιλαμβάνουν τη χημική σύσταση, καθώς επίσης και τις θερμικές κατεργασίες που οδηγούν στη βελτιστοποίηση της δομής τους.

Οι αντιδιαβρωτικές ιδιότητες του ανοξειδωτου χάλυβα οφείλονται σε ένα σταθερό, προστατευτικό στρώμα οξειδίου του χρωμίου που δημιουργείται στην επιφάνεια του. Το στρώμα αυτό είναι συμπαγές, συνεχές και σταθερό .

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες έχουν σημαντική αντίσταση στα ατμοσφαιρικά περιβάλλοντα. Στις ξηρές ή υγρές ατμόσφαιρες οι ανοξειδωτοι χάλυβες παρουσιάζουν μικρή διάβρωση. Σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα η αντίσταση στη διάβρωση ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου χάλυβα.

1.4 Εφαρμογές των ανοξειδωτων χάλυβων:

- *Αρχιτεκτονική:* Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες χρησιμοποιούνται ευρέως στην αρχιτεκτονική λόγω της ανθεκτικότητας τους και της καλής επιφανειακής κατάστασης που δε χρειάζεται σχεδόν καθόλου συντήρηση. Η αντίσταση στη διάβρωση των ανοξειδωτων χάλυβων είναι ικανοποιητική για όλες τις υπαίθριες κατασκευές (οικοδομικές).
- *Συστήματα μεταφορών:* Η χρήση των φερριτικών ανοξειδωτων χάλυβων στην κατασκευή εξαρτημάτων αυτοκινήτων ήταν κατά ένα μεγάλο μέρος η κυριότερη αιτία της αυξημένης παραγωγής των τύπων 430 και 434. Ωστενιτικοί χάλυβες χρησιμοποιούνται τώρα σε μεγάλη έκταση, οι δυνατότητες χρησιμοποίησης ενός υλικού που σε λεπτά διαμετρήματα έχει μεγάλη αντίσταση στη παραμόρφωση αύξησε

τις εφαρμογές των ανοξειδωτων χαλύβων στα συστήματα μεταφορών και την αυτοκινητοβιομηχανία .

- *Κατασκευή μεταλλικών επίπλων:* Η ηπιότερη μορφή διαβρωτικού περιβάλλοντος βρίσκεται στα γραφεία και στο εσωτερικό των κατοικιών. Ο ανοξειδωτος χάλυβας χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο εξ αιτίας της εμφάνισής του (που οφείλεται στην αντίστασή του στην δημιουργία στιγμάτων λόγω διάβρωσης) και του γεγονότος ότι με την απουσία επικάλυψης χρώματος δεν υπάρχει το πρόβλημα της σμίλευσης και της αποφλοίωσης των επιφανειών και δεν υπάρχει η ανάγκη για συντήρηση.

- *Εξοπλισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:* Οι ανοξειδωτοι χάλυβες είναι από τα υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως στη κατασκευή εξοπλισμού εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας συμπεριλαμβανομένων των αερίοστροβίλων, των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από φυσικά καύσιμα, εξοπλισμού εγκαταστάσεων παραγωγής με πυρηνική ενέργεια και ακόμη, των κυψελών καυσίμων και των ηλιακών κυττάρων.

- *Κατασκευή πλυντηρίων:* Η αντίσταση στη διάβρωση και η ευκολία στην μηχανουργική κατεργασία ευνοούν τη χρήση των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων στον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για το πλύσιμο και το στέγνωμα ενδυμάτων, για εμπορική αλλά και οικιακή χρήση.

- *Βιομηχανία τροφίμων και εξοπλισμός κουζινών:* Πολλές κατηγορίες ανοξειδωτου χάλυβα χρησιμοποιούνται για την προετοιμασία και το σερβίρισμα τροφίμων. Η χρήση τους μπορεί να απαιτείται υποχρεωτικά από τη νομοθεσία. Οι εφαρμογές κυμαίνονται στα βασικά σκεύη για την κουζίνα και τα επιτραπέζια σκεύη, ως της δεξαμενές των φορτηγών αυτοκινήτων, στα σκεύη παστερίωσης γάλακτος και στις εγκαταστάσεις των αρτοποιείων. Ο ανοξειδωτος χάλυβας χρησιμοποιείται σε όλα τα γαλακτοκομεία, τις βιομηχανίες ζαχαρωδών προϊόντων, και τις εγκαταστάσεις συσκευασίας τροφίμων, όχι μόνο λόγω της αντιδιαβρωτικής του συμπεριφοράς αλλά και λόγω της εξαιρετικά καλής κατάστασης της επιφανείας του.

- *Βιομηχανία κατασκευής γεωργικών μηχανημάτων:* Ενώ η χρήση ανοξειδωτου έχει γίνει αποδεκτή από καιρό στη βιομηχανία τροφίμων, γίνεται τώρα πιο συχνή γύρω στη γεωργία. Η τάση προς τα λιπάσματα και τους ψεκασμούς εισάγει το πρόβλημα της

διάβρωσης του εξοπλισμού, η απάντηση βρίσκεται στους ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες. Αν και το αρχικό κόστος είναι υψηλότερο, η εικοσαετή ζωή που προβλέπεται γενικά, με λίγη συντήρηση, ωθεί στη χρήση των ανοξειδωτων χαλύβων και ειδικότερα των ωστενιτικών.

- *Κλωστοϋφαντουργική βιομηχανία:* Για να διατηρηθούν τα χρώματα στα υφάσματα, που τα επεξεργάζονται σε ειδικά μηχανήματα, είναι αναγκαίος ο εύκολος και σωστός καθαρισμός τους, ούτως ώστε να διευκολύνονται οι αλλαγές των χρωστικών ουσιών και να παραμένουν τα υφάσματα καθαρά κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Οποιαδήποτε μόλυνση των χρωστικών ουσιών ή των λευκαντικών όχι μόνο οδηγεί σε μια απώλεια χημικών ουσιών, αλλά μπορεί να καταστρέψει το υφαντικό προϊόν. Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες χρησιμοποιούνται κυρίως στις υφαντικές μηχανές, στα δοχεία και τους αγωγούς που φέρνουν τη χλωρίνη στην εγκατάσταση βαφής.

- *Νοσοκομεία και χειρουργικός εξοπλισμός:* Οι μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες είναι τα πιο αποδεκτά υλικά για το χειρουργικό εξοπλισμό. Διατηρούν σταθερές τις ακονισμένες άκρες τους, αποστειρώνονται εύκολα, και αντιστέκονται στη διάβρωση. Χρησιμοποιούνται επίσης ως υλικά αντικατάστασης ανθρώπινων οστών στην ορθοπεδική επειδή είναι συμβατά με το ανθρώπινο οργανισμό. Ο εξοπλισμός αποστείρωσης, οι χύτρες πίεσεως, και οι χειρουργικές κλίνες αποτελούνται συνήθως από ωστενιτικό ανοξειδωτο χάλυβα. Ο εξοπλισμός των κουζινών, τα τμήματα των χώρων εξέτασης, και τα εργαστήρια συμπληρώνουν τις εγκαταστάσεις που κατασκευάζονται από ανοξειδωτους χάλυβες.

- *Χημικές και πετροχημικές βιομηχανίες:* Εδώ συναντώνται μερικά από τα πιο μεγάλα προβλήματα διάβρωσης. Υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες και ισχυρά διαβρωτικά περιβάλλοντα. Στην υδροπυρόλυση των αποσταγμάτων πετρελαίου, η διάβρωση που υπάρχει από τα σουλφίδια του υδρογόνου αντιμετωπίζεται με τη χρήση των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων. Η αυξανόμενη θερμοκρασία λειτουργίας των μονάδων καταλυτικών αντιδράσεων (μέχρι και 705 C) έχουν οδηγήσει σε μια μεγαλύτερη χρήση ανοξειδωτων χαλύβων, οι οποίοι αντικατέστησαν τους χαμηλά κραματωμένους χάλυβες και τους απλούς ανθρακοχάλυβες. Η χημική βιομηχανία θεωρεί τον ωστενιτικό ανοξειδωτο χάλυβα ως το πλέον τυποποιημένο υλικό

κατασκευής εγκαταστάσεων παραγωγής οξέων, αμμωνίας, λιπασμάτων, και πλαστικών.

- *Αεροδιαστημικές εφαρμογές:* Οι σχεδιαστές αεροσκαφών επιδιώκουν την καλύτερη αναλογία ευστάθειας-βάρους τόσο σε θερμοκρασία δωματίου όσο και σε υψηλή θερμοκρασία σε συνδυασμό με την καλή αντίσταση στη διάβρωση. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες καλύπτουν αυτήν την απαίτηση. Είναι οικονομικοί, και για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές στα σύγχρονα αεροσκάφη όπως στις εξωτερικές δεξαμενές καυσίμων, στα ακροφύσια, και σε δομικά μέρη. Στα διαστημικά οχήματα, τα κράματα σκληρυμένα με κατακρήμνιση χρησιμοποιούνται στους πυραύλους, ενώ οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες επιλέγονται για την κατασκευή των προωθητικών δεξαμενών. Τα ATLAS και CENTAUR κατασκευάστηκαν ουσιαστικά από ωστενιτικό ανοξείδωτο χάλυβα, το κέλυφος του EXPLORER XVII, 89 εκατ. στη διάμετρο, αποτελείται από ανοξείδωτο χάλυβα

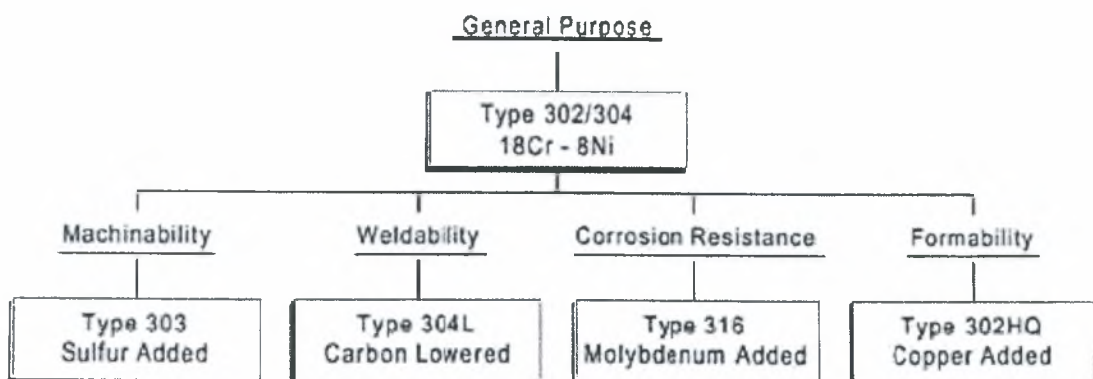
1.5 Επίδραση των κραματικών στοιχείων στις αντιδιαβρωτικές ιδιότητες των ανοξείδωτων χαλύβων.

Το χρώμιο είναι το κύριο στοιχείο που παρέχει στον ανοξείδωτο χάλυβα την αντίσταση στη διάβρωσή. Εντούτοις, και άλλα στοιχεία μπορούν να προστεθούν στον ανοξείδωτο χάλυβα για να ενισχύσουν την αντίσταση στη διάβρωση σε διάφορες συνθήκες.

- *Αλουμίνιο [Al]:* Η προσθήκη αλουμινίου ενισχύει την αντίσταση στη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες.
- *Νιόβιο [Nb]:* Χρησιμοποιείται για να συνδυαστεί με τον άνθρακα, μειώνοντας κατά συνέπεια το σχηματισμό καρβιδίων χρωμίου. Αυτό μειώνει την εμφάνιση περικρυσταλλικής διάβρωσης όταν ο ανοξείδωτος χάλυβας συγκολλείται ή υποβάλλεται σε θερμική επεξεργασία.
- *Χαλκός [Cu]:* Σε κάποιους ανοξείδωτους χάλυβες προστίθεται χαλκός για να παρέχει αντίσταση στη διάβρωση από θειικό οξύ.

- *Νικέλιο [Ni]*: Το νικέλιο είναι το στοιχείο που σταθεροποιεί τη φάση ωστενίτη και παρέχει στους ανοξειδωτους χάλυβες αντίσταση στη διάβρωση σε οξειδωτικά περιβάλλοντα.
- *Άζωτο[N]*: Το άζωτο παρέχει αυξανόμενη αντίσταση στη διάβρωση και τη διάβρωση ρωγμών σε κράματα που περιέχουν μολυβδαίνιο.
- *Μαγγάνιο [Mn]*: Το μαγγάνιο σταθεροποιεί τον ωστενίτη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει το νικέλιο σε μερικούς ανοξειδωτους χάλυβες.
- *Μολυβδαίνιο [M]*: Η αντίσταση στη τρηματική διάβρωση καθώς επίσης και στη διάβρωση ρωγμών και η αντίσταση στη διάβρωση σε αναγωγικά περιβάλλοντα ενισχύεται με την προσθήκη του μολυβδαίνιου.
- *Πυρίτιο [Si]*: Το πυρίτιο προστίθεται σε μερικά κράματα για να αυξήσει την αντίσταση στη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες..
- *Τιτάνιο [Ti]*: Το τιτάνιο χρησιμοποιείται για τον ίδιο σκοπό με το νιόβιο. Σε μερικά κράματα το τιτάνιο και το νιόβιο χρησιμοποιούνται μαζί.

Στην Εικ. 1.2 παρουσιάζονται οι ανοξειδωτοι χάλυβες που αναπτύχθηκαν με βάση τον ανοξειδωτο χάλυβα 18 Cr- 8Ni [15].

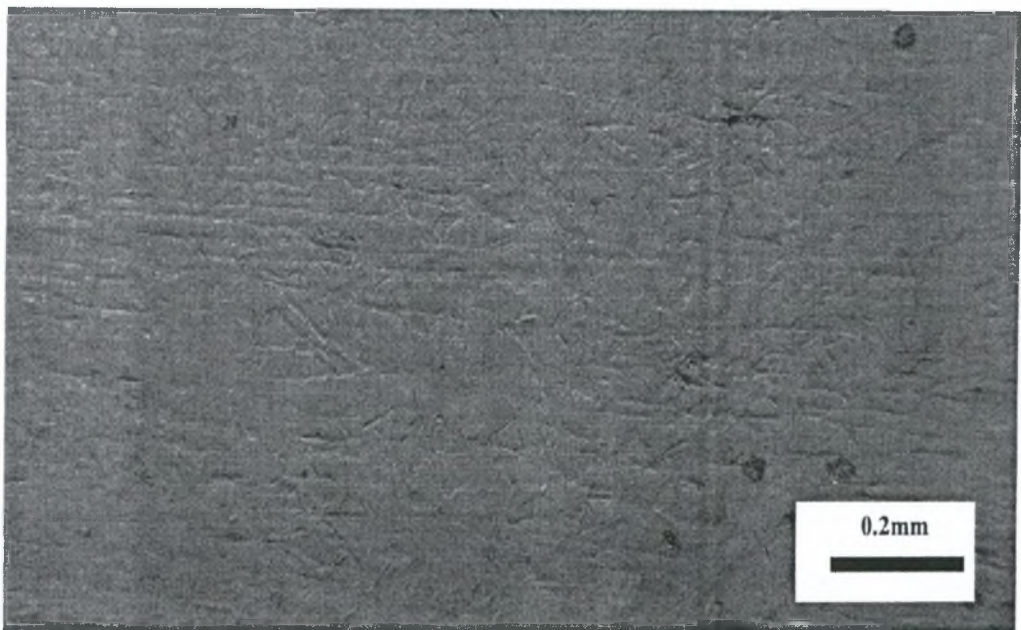


Εικόνα 1.2 Κράματα που αναπτύχθηκαν από το κράμα 304 (18Cr-8Ni)

1.6 Ο ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας AISI 304

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μελέτη της διάβρωσης των κατεργασμένων επιφανειών του ανοξείδωτου χάλυβα AISI 304. Η παράγωγή αυτού του χάλυβα αποτελεί το 50 και πλέον επί τοις εκατό της παραγωγής ανοξείδωτου χάλυβα.[4]. Πράγματι ο 304 είναι ο σημαντικότερος των ανοξείδωτων χαλύβων επειδή χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία, στη καθημερινή ζωή καθώς επίσης και σε εφαρμογές που απαιτούν περίπλοκη τεχνολογία όπως οι πυρηνικοί αντιδραστήρες και οι κρυογονικές εφαρμογές. Επειδή το υλικό αυτό είναι μη μαγνητικό προτιμάται για τη κατασκευή εξοπλισμού που η λειτουργία του μπορεί να επηρεαστεί από μαγνητικά υλικά.

Εκτός από τις καλές αντιδιαβρωτικές ιδιότητες, αυτοί οι χάλυβες προσφέρουν άριστη ικανότητας διαμόρφωσης, και συγκόλλησης. Ο τύπος 304, για τον οποίο η προδιαγραφή AISI δίνει μέγιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,08%, παράγεται αυτήν την περίοδο με πολύ χαμηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα, περίπου 0,04%. Το υλικό αυτό υπόκειται συνήθως κατεργασία εν ψυχρό. Στην Εικ. 1.3 παρουσιάζεται η μικροδομή του ανοξείδωτου χάλυβα AISI 304.



Εικόνα 1.3 Δομή χάλυβα τύπου AISI 304

Στους παρακάτω πίνακες 1.1 έως 1.4 παρουσιάζονται οι ιδιότητες οι προδιαγραφές και η σύσταση του ανοξείδωτου χάλυβα AISI 304

Πίνακας 1.1

AISI Type 304	
Κατηγορία	Χάλυβας
Τάξη	Ανοξείδωτος χάλυβας
Τύπος	Πρότυπος Ωστενιτικός
Κοινή ονομασία	Χάλυβας Χρωμίου-Νικελίου (18-8)
Προσδιορισμοί	<p>France: AFNOR Z 6 CN 18.09 Germany: DIN 1.4301 Italy: UNI X 5 CrNi 18 10 Japan: JIS SUS 304 Sweden: SS 2332 United Kingdom: B.S. 302 S 17 , B.S. 304 S 15 , B.S. 304 S 16 , B.S. 304 S 18 , B.S. 304 S 25 , B.S. 304 S 40 , B.S. En.58 E United States: AMS 5501 , AMS 5513 , AMS 5560 , AMS 5565 , AMS 5566 , AMS 5567 , AMS 5639 , AMS 5697 , ASME SA182 , ASME SA194 (Type 8) , ASME SA213 , ASME SA240 , ASME SA249 , ASME SA312 , ASME SA320 (B8) , ASME SA358 , ASME SA376 , ASME SA403 , ASME SA409 , ASME SA430 , ASME SA479 , ASME SA688 , ASTM A167 , ASTM A182 , ASTM A193 , ASTM A194 , ASTM A213 , ASTM A240 , ASTM A249 , ASTM A269 , ASTM A270 , ASTM A271 , ASTM A276 , ASTM A312 , ASTM A313 , ASTM A314 , ASTM A320 , ASTM A368 , ASTM A376 , ASTM A409 , ASTM A430 , ASTM A473 , ASTM A478 , ASTM A479 , ASTM A492 , ASTM A493 , ASTM A511 , ASTM A554 , ASTM A580 , ASTM A632 , ASTM A651 , ASTM A666 , ASTM A688 , FED QQ-S-763 , FED QQ-S-766 , FED QQ-W-423 , FED STD-66 , MIL SPEC M.IL-S-5059 , MIL SPEC MIL-F-20138 , MIL SPEC MIL-S-23195 , MIL SPEC MIL-S-23196 , MIL SPEC MIL-S-862 , MIL SPEC MIL-S-862 , MIL SPEC MIL-T-6845 , MIL SPEC MIL-T-8504 , MIL SPEC MIL-T-8506 , SAE 30304 , SAE J405 (30304) , UNS S30400</p>

Σύνθεση

Πίνακας 1.2

Στοιχείο	Βάρος %
C	0.08
Mn	2.00
Si	1.00
Cr	18.0-20.0
Ni	8.0-10.5
P	0.045
S	0.03

Πίνακας 1.3

Φυσικές ιδιότητες	
Πυκνότητα (g cm ⁻³)	7.93
Σημείο τήξης (C)	1400-1455

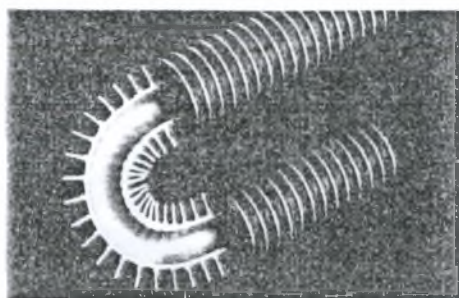
Πίνακας 1.4

Μηχανικές ιδιότητες	
Elongation at break (%)	<60
Σκληρότητα - Brinell	160-190
	20-136
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	190-210
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	460-1100
Θερμικές ιδιότητες	
Συντελεστής της θερμικής διαστολής @20-100C (x10 ⁻⁶ K ⁻¹)	18.0
Θερμική αγωγιμότητα @23C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	16.3

Ηλεκτρικές ιδιότητες	
Ειδική αντίσταση (10 ⁻⁹ Ω-m)	700-720

1.7 Παραδείγματα εφαρμογών ανοξείδωτων χαλύβων

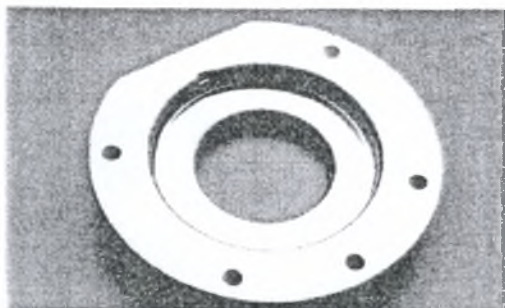
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η χρήση των ανοξείδωτων χαλύβων



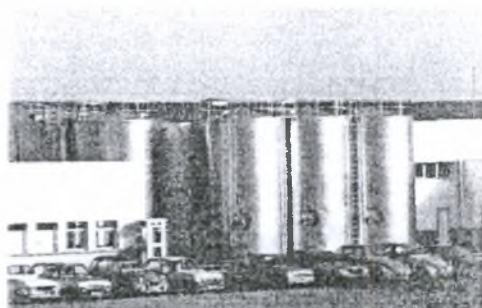
Εικόνα 1.3 Εναλλάκτης θερμότητας



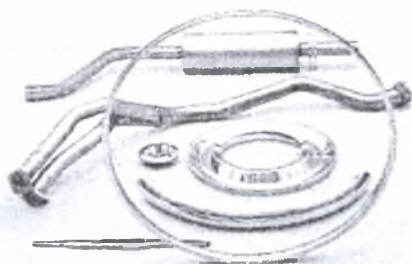
Εικόνα 1.4 Αγωγός Πετρελαίου



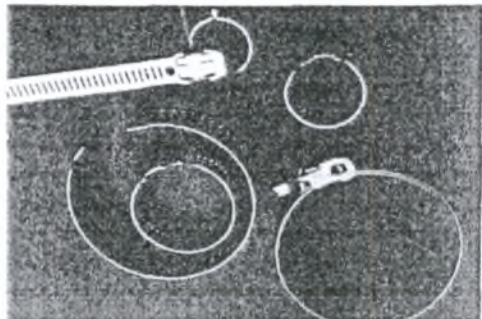
Εικόνα 1.5 Στερεωτική φλάντζα.



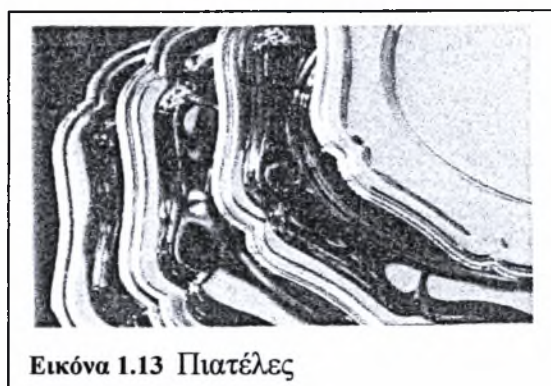
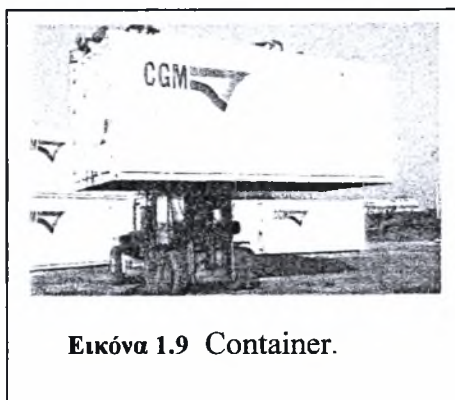
Εικόνα 1.6 Δεξαμενές κρασιού.



Εικόνα 1.7 Σύστημα εξάτμισης και άλλος εξοπλισμός.



Εικόνα 1.8 Περιλαίμια συσφίξεως.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ

2.1 Η ποιότητα επιφανειών των μεταλλικών υλικών

Η ποιότητα επιφανειών στη σύγχρονη τεχνολογία παίζει πρωτεύοντα ρόλο, σε ότι αφορά την απόδοση και ασφάλεια λειτουργίας των συναρμοζομένων ή ελεύθερων μηχανολογικών εξαρτημάτων, που αποτελούν μέρη διαφόρων μηχανισμών εξοπλισμών και κατασκευών στις διάφορες εφαρμογές. Επομένως, το πρόβλημα της απαιτούμενης ποιότητας επιφανείας περιλαμβάνει γενικώς:

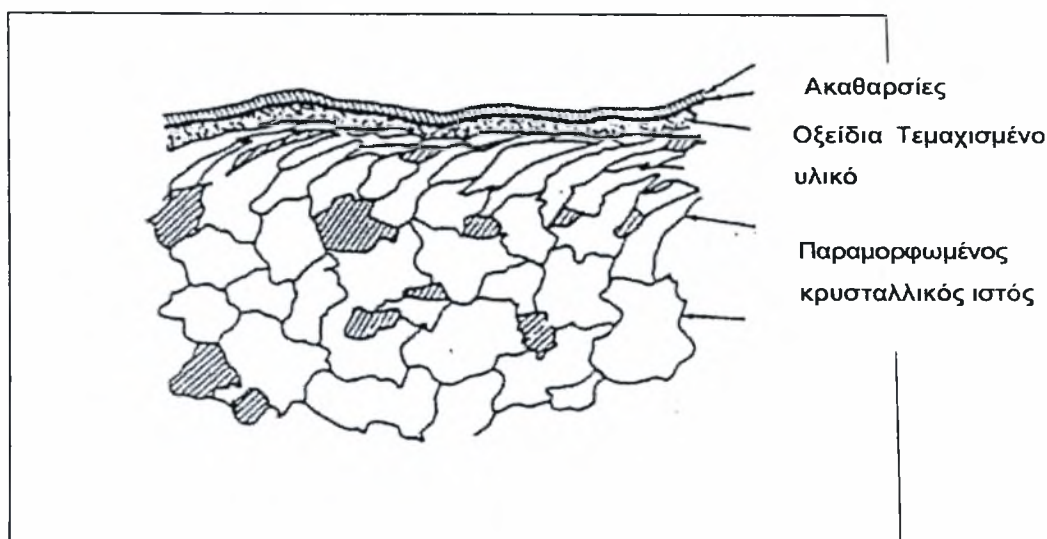
- Την συσχέτιση της ποιότητας επιφανείας προς τον σκοπό που αυτή καλείται να επιτελέσει.
- Τον καθορισμό της κατεργασίας ή των κατεργασιών, ως και την επιλογή των αναγκαίων παραγόντων κοπής και
- Την μέτρηση των αντιπροσωπευτικών χαρακτηριστικών παραμέτρων της επιφανείας.

Με τον όρο τεχνολογική επιφάνεια (απλώς "επιφάνεια" στα επόμενα) εννοούμε οποιαδήποτε επιφάνεια, η οποία προέρχεται από μεθόδους κατεργασίας των μετάλλων με προεξάρχουσες τις κατεργασίες κοπής και διαμόρφωσης συμπεριλαμβανομένης και της χύτευσης. Η μορφοποιημένη επιφάνεια αποκτά μετά την αντίστοιχη κατεργασία ορισμένες νέες ιδιότητες και χαρακτηριστικά, που δεν είχε ως ακατέργαστη και τα οποία συνιστούν ό,τι καλούμε ποιότητα επιφανείας. Έτσι, η ποιότητα επιφανείας αναφέρεται στα:

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά στη τοπογραφία της επιφανείας, στα φυσικοχημικά και κρυσταλλογραφικά χαρακτηριστικά καθώς επίσης και στις μηχανικές ιδιότητες της επιφανείας, όπως είναι: η σκληρότητα, οι παραμένουσες

τάσεις, η αντίσταση σε διάβρωση, η οξειδωση, η προσρόφηση, η επιφανειακή ενέργεια κ.ά.

Η ποιότητα επιφανείας, όπως ορίσθηκε, είναι συνάρτηση της μεθόδου κατεργασίας, αλλά και του περιβάλλοντος, με το οποίο κάθε μεταλλική κατεργασμένη έρχεται σε επαφή. Οι δύο αυτοί παράγοντες όχι μόνον προσδίδουν ιδιότυπη τοπογραφία στην επιφάνεια, αλλά και επιδρούν σε ορισμένο βάθος επί της επιφανειακής στιβάδας του μεταλλικού υλικού μεταβάλλοντάς διάφορα χαρακτηριστικά, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.[5]



Εικ. 2.1 Κάθετη τομή μιας κατεργασμένης με κοπή επιφανείας.

Κατά την ανάλυση της επιφανειακής τοπογραφίας, όπου περιλαμβάνεται και η τραχύτητα επιφανείας. Εδώ, κρίνεται σκόπιμο να δοθούν μερικοί χρήσιμοι ορισμοί:

- *Ονομαστική ή αληθής επιφάνεια:*

Η θεωρούμενη επιφάνεια του τεμαχίου, η μορφή και οι διαστάσεις της οποίας δίδονται

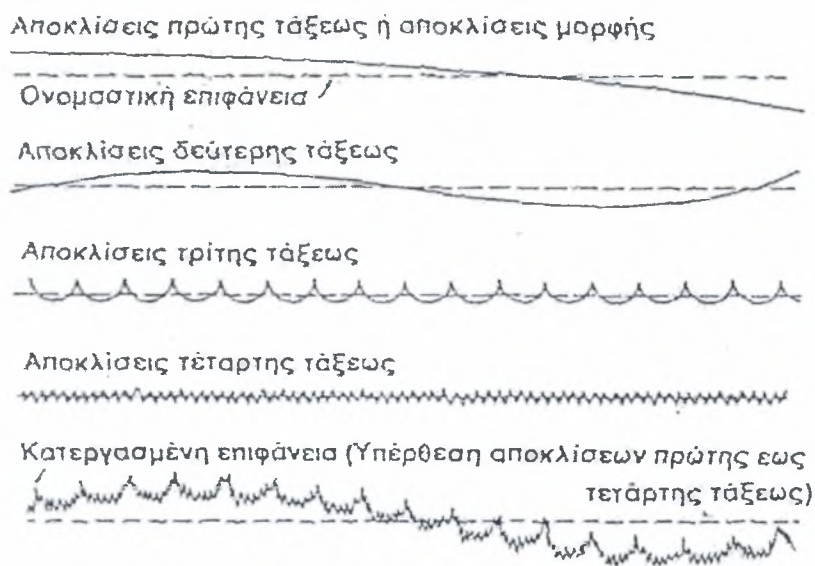
στο κατασκευαστικό σχέδιο.

- *Ονομαστικό περίγραμμα:*

Το θεωρητικό περίγραμμα της επιφανείας, χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν οι ανωμαλίες της επιφάνειας.

- *Πραγματικό περίγραμμα:*

Η παράσταση του περιγράμματος της επιφάνειας, όπως τούτο αποδίδεται με την βοήθεια μηχανικών ή οπτικών οργάνων και μέσων. Διευκρινίζεται, ότι τα περιγράμματα λαμβάνονται επί επιπέδου κάθετου προς την κατεύθυνση του χαρακτηριστικού προσανατολισμού των ανωμαλιών, η οποία συνήθως ταυτίζεται προς τον άξονα της κατεργασίας (κατεύθυνση παράλληλη προς την ταχύτητα κοπής). Η κατεργασμένη επιφάνεια εμφανίζει μέγιστες ανωμαλίες κατά κάθετη προς τον άξονα κατεργασίας διεύθυνση και ελάχιστες ανωμαλίες κατά την διεύθυνση του άξονα. Τιοιουτοτρόπως, οι γεωμετρικές αποκλίσεις από το ονομαστικό περίγραμμα κατατάσσονται, ως ακολούθως στο επόμενο σχήμα:



Εικ. 2.2 Γεωμετρικές αποκλίσεις μιας κατεργασμένης επιφάνειας από την θεωρητική επιφάνεια [5].

- *Μακρογεωμετρικά σφάλματα:*

Είναι οι αποκλίσεις πρώτης και δεύτερας τάξεως καλούμενες σφάλματα μορφής και κυματώσεις, αντιστοίχως.

- *Μικρογεωμετρικά σφάλματα:*

Είναι οι αποκλίσεις τρίτης και ανωτέρας τάξεως, οι οποίες αναφερόμενες στην μικρομορφή της επιφάνειας συνιστούν ό,τι ονομάζουμε τραχύτητα επιφάνειας. Στον παρακάτω πίνακα καταχωρίζονται οι διαφόρων τάξεων αποκλίσεις και τα βασικότερα αίτια που τις προκαλούν.

Πίνακας 2.1 Τάξεις αποκλίσεων της πραγματικής (κατεργασμένης) επιφανείας ως προς την ονομαστική (γεωμετρική ή αληθή) επιφάνεια κατά DIN 4760 [5]

Τάξη αποκλίσεων	Χαρακτηριστικά αποκλίσεων	Αιτίες αποκλίσεων
1 ^η	Σφάλματα μορφής (επιπεδότητα, κυκλικότητα, ευθύτητα, καθετότητα κ.α.)	Σφάλματα σε ολισθητήρες εργαλειομηχανής. Παραμορφώσεις εργαλειομηχανής, κατεργασμένου τεμαχίου. Εσφαλμένη στήριξη τεμαχίου και/ ή εργαλείου. Φθορά εργαλείου.
2 ^η	Κυματώσεις	Έκκεντρος τοποθέτηση ή παραμόρφωση τεμαχίου ή εργαλείου. Ταλαντώσεις μηχανουργικού συστήματος (Κατεργασία-Εργαλειομηχανή - Εργαλείο-Τεμάχιο - Περιβάλλον). Φθορά εργαλείου. Σημαντική ανομοιογένεια του υλικού του τεμαχίου.
3 ^η	Αυλακώσεις	T P A X Y T H T A Μορφή της κόπης του εργαλείου. Κινηματική της κατεργασίας
4 ^η	Ρωγμές, Διάφορες ανωμαλίες	Ατέλειες τρόχισεως της κόπης του εργαλείου. Δημιουργία ψευδόκοφης. Φθορά εργαλείου. Τρόπος σχηματισμού του αποβλίττου. Επίδραση γαλβανικών διεργασιών κ.α.
5 ^η	Φύση μετάλλου	Τρόπος κρυσταλλώσεως μετάλλου. Ανωμαλίες επιφανείας, λόγω χημικών επιδράσεων. Φαινόμενα διαβρώσεων.
6 ^η	Κρυσταλλικός σχηματισμός μετάλλου	Φυσικές και χημικές μεταβολές κατά την λεπτή δομή του υλικού. Παραμορφώσεις του κρυσταλλικού ιστού (παραμένουσες τάσεις, ολισθήσεις κρυστάλλων).

2.2 Τραχύτητα επιφανείας των μεταλλικών υλικών

Η τραχύτητα επιφανείας οφείλεται σε χαρακτηριστικά του εργαλείου, στην κινηματική της κατεργασίας, καθώς και σε χημικές επιδράσεις και σε μεταβολές στον κρυσταλλικό ιστό της επιφανειακής στιβάδας του μετάλλου. Έτσι, η τραχύτητα αποτελεί κρίσιμο μέγεθος σχετιζόμενο με την κατεργαστικότητα του δεδομένου μετάλλου, με τις απαιτήσεις ανοχών διαστάσεων και μορφής του κατεργαζόμενου τεμαχίου, με τριβολογικά μεγέθη (τριβή, φθορά, λίπανση κ.ά) σε περιπτώσεις συνεργαζόμενων επιφανειών και γενικότερα με την λειτουργικότητα των τεχνολογικών επιφανειών. Ακόμη, ειδικές γνώσεις και ανάλυση της τραχύτητας βοηθούν αποτελεσματικά σε προβλήματα προσομοιώσεως, βελτιστοποιήσεως, προσαρμοστικού ελέγχου και άλλων, κυρίως δε σε εφαρμογές στα σύγχρονα συστήματα μηχανουργικής παραγωγής CNC, FMS, CAD/CAM, CIM κλπ. Έχει αποδειχθεί ότι η πλειονότητα τεχνολογικών επιφανειών (άνω του 90%) υψηλού βαθμού τραχύτητας βρίσκει τριβολογικές εφαρμογές και κατά κύριο λόγο έχει προέλθει από κατεργασίες αποπερατώσεως. Κάθε μια από αυτές προσδίδει συγκεκριμένη τραχύτητα και χαρακτηριστική υφή στην επιφάνεια. Πέραν τούτου, οφείλουμε να σημειώσουμε ότι η τραχύτητα επηρεάζει την συμπεριφορά επιφανειών μεταλλικών τεμαχίων και κατασκευών έναντι αντοχής σε κόπωση, αντιστάσεως σε διάβρωση, μεταδόσεως θερμότητας, ροής ρευστών κατά μήκος τοιχωμάτων κ.λ.π [5].

Τις απαιτήσεις των σύγχρονων μηχανουργικών κατασκευών σε ό,τι αφορά την τραχύτητα συναρμόζομενων επιφανειών είναι δυνατόν να τις συνοψίσουμε στα παρακάτω τρία σημεία:

1. Στον προσδιορισμό του βαθμού τραχύτητας επιφανείας που απαιτείται για κάθε δεδομένη εφαρμογή, ούτως ώστε να συμβιβάζεται η αποδοτική λειτουργία της θεωρούμενης επιφάνειας με την προϋπόθεση ελαχιστοποίησης του χρόνου και του κόστους κατεργασίας.
2. Στην γνώση του βαθμού της τραχύτητας, τον οποίο μπορούν να αποδώσουν οι χρησιμοποιούμενες στην πράξη μηχανουργικές κατεργασίες και
3. Στην προτυποποίηση χαρακτηριστικών (αντιπροσωπευτικών) μεγεθών της τραχύτητας, όπως και μεθόδων και αντιστοίχων οργάνων για την μέτρηση ή τον έλεγχο των μεγεθών

Επίσης, πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια, ώστε να συσχετίζεται κατά το δυνατόν ο βαθμός τραχύτητας της επιφάνειας με τον ελάχιστο αναγκαίο για την αποδοτική λειτουργία της θεωρούμενης επιφάνειας, υπό την βασική προϋπόθεση ελαχιστοποίησης του χρόνου ή του κόστους κατεργασίας. Κατεργασμένες επιφάνειες με υψηλότερο βαθμό τραχύτητας από τον απαιτούμενο για την συγκεκριμένη εφαρμογή έχουν υψηλότερο κόστος, χωρίς κανένα επιπλέον πλεονέκτημα. Αντιθέτως, κατεργασμένες επιφάνειες με χαμηλότερο, από τον αναγκαίο, βαθμό τραχύτητας παρουσιάζουν απαράδεκτες λειτουργικές ανωμαλίες.

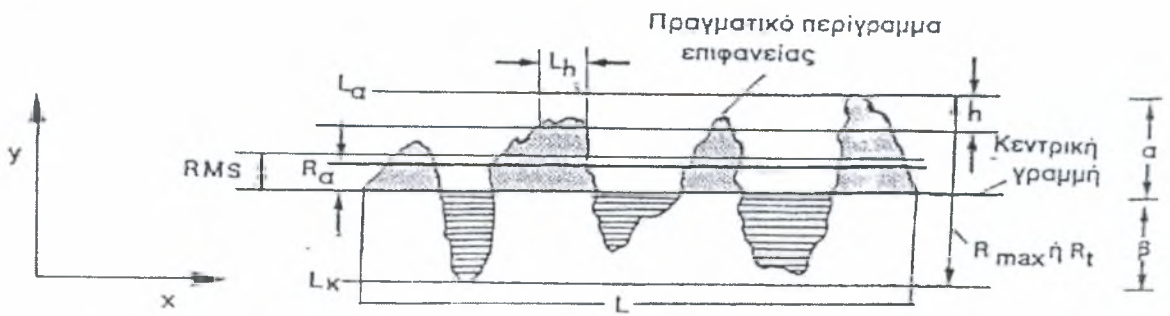
2.3 Προτυποποίηση της τραχύτητας

Η τραχύτητα μπορεί να προτυποποιηθεί σύμφωνα με δύο συστήματα, το σύστημα M ή σύστημα κεντρικής γραμμής και το σύστημα E ή σύστημα περιβάλλουσας. Στη παρούσα εργασία η τραχύτητα της επιφάνειας μετρείται με προφιλόμετρο στυλίσκου και η προτυποποίηση της τραχύτητας γίνεται με το σύστημα M.

- Το σύστημα Μέσης Γραμμής ή Σύστημα "M" (Mean Line System)

Το σύστημα "M" αποτελεί μετρολογική μέθοδο εκφράσεως της τραχύτητας των επιφανειών, ποιοτικής και κατά κύριο λόγο ποσοτικής, βασισμένη στην ανάπτυξη των τραχυμέτρων, οργάνων μετρήσεως του μεγέθους και του σχήματος των επιφανειακών ανωμαλιών μέσω ειδικής μηχανικής μετρητικής ακίδας (στυλίσκου).

Στο παρακάτω σχήμα παρίσταται το πραγματικό περίγραμμα της εκάστοτε θεωρούμενης επιφάνειας.



Εικ. 2.3 Χαρακτηριστικά στοιχεία της τραχύτητας επιφάνειας κατά το σύστημα Κεντρικής Γραμμής (M)[5].

Σε αυτό το σύστημα μέτρησης της τραχύτητας ορίζεται ως βασικό μέγεθος η λεγόμενη μέση γραμμή ως εξής:

Η ευθεία γραμμή κατά την κατεύθυνση της γεωμετρικής μορφής του πραγματικού περιγράμματος της επιφανείας εντός των ορίων του εκλεγόμενου μήκους δειγματοληψίας, συρόμενη κατά τρόπο ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των τεταγμένων των διαφόρων σημείων του περιγράμματος από την γραμμή αυτή να είναι ελάχιστο. Έτσι, η μέση γραμμή δίνει την γραμμή αναφοράς, ως προς την οποία λαμβάνονται οι αποκλίσεις του πραγματικού περιγράμματος της επιφανείας.

Η μέση γραμμή είναι μοναδική, επειδή όμως ο ακριβής προσδιορισμός της θέσεως και της διευσθύνσεως της είναι δύσκολος (πρέπει να γίνονται τουλάχιστον 6 εμβαδομετρήσεις), χρησιμοποιείται πρακτικώς η καλούμενη *κεντρική γραμμή*, που ορίζεται ως η ευθεία η παράλληλη προς την γενική κατεύθυνση του πραγματικού περιγράμματος, και φερόμενη έτσι ώστε να ισομοιράζει τα επάνω και κάτω της εμβαδά, εντός του καθορισμένου δειγματοληπτικού μήκους L . Η κεντρική αυτή γραμμή υλοποιείται μηχανικά από το πέδιλο των ταχυμέτρων τύπου στυλίσκου και μάλιστα με ευκολία (με μία μόνον εμβαδομέτρηση).

Παράλληλα προς την κεντρική γραμμή σύρονται άλλες δύο γραμμές αναφοράς, εντός του δειγματοληπτικού μήκους, από τις οποίες η μία L_a (ανωτέρα) εφάπτεται της υψηλότερης ανωμαλίας και ενώ η άλλη L_k (κατωτέρα) εφάπτεται της βαθύτερης ανωμαλίας απέχουσες από την κεντρική γραμμή κατά απόσταση α και β αντιστοίχως.

Όπως είναι εμφανές, για τον πλήρη χαρακτηρισμό της γεωμετρικής μορφής της επιφάνειας, σύμφωνα με το σύστημα αυτό, είναι αναγκαίο να ορισθούν και να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω διάφορα μεγέθη, όπου έκαστο εξ αυτών να καθορίσει αντίστοιχη γεωμετρική ιδιότητα της επιφανείας. Σύμφωνα με ισχύουσες προδιαγραφές τραχύτητας επιφανείας, προβλέπεται πληθώρα αριθμητικών παραμέτρων και συγκεκριμένα χαρακτηρισμού της κατά βάθος, δηλαδή καθέτως προς την κεντρική γραμμή, κατά μήκος και μέσω λόγων μεγεθών ή δεικτών. Βεβαίως λόγω της αδυναμίας των εν λόγω παραμέτρων να περιγράφουν σαφώς την τραχύτητα, βαθμιαία εισήχθησαν στατιστικές συναρτήσεις αναλύσεως της γεωμετρίας των επιφανειών.

Δεδομένου του στοχαστικού χαρακτήρα της τραχύτητας των επιφανειών, ακόμη και αν προσδιορισθούν όλα τα συνιστώμενα μεγέθη χαρακτηρισμού της (άνω των 50),

αφενός η πληρότητα και ακρίβεια περιγραφής της δεν εξασφαλίζονται, αφετέρου περιπλέκονται οι μετρήσεις στην παραγωγή και ακόμη τα κατάλληλα για μετρήσεις τόσο πολλών χαρακτηριστικών στοιχείων (προφανώς όχι όλων) της τραχύτητας όργανα είναι πανάκριβα. Ως εκ τούτου, στην διεθνή βιομηχανική πρακτική έχει επιλεγθεί κατόπιν συμφωνίας μεταξύ των ειδικών επιστημόνων και των Οργανισμών Τυποποίησης η μέση τιμή της τραχύτητας R_a ή CLA ως το πλέον ενδεδειγμένο προς μέτρηση μέγεθος, καθώς είναι αντιπροσωπευτικό και υπολογίζεται εύκολα είναι, εφόσον όμως αναφέρεται απαραίτητως και το είδος της κατεργασίας κοπής με το οποίο μορφοποιήθηκε η εκάστοτε θεωρούμενη επιφάνεια. Και αυτό, διότι κάθε κατεργασία κοπής μέσω της κινηματικής και της γεωμετρίας της αποδίδει χαρακτηριστική μορφή επιφανείας και είναι δυνατόν πραγματικά περιγράμματα επιφανείας προερχόμενα από διάφορες κατεργασίες κοπής, ενώ έχουν την ίδια R_a , να παρουσιάζουν εντελώς διαφορετική μορφή.

2.4 Η μέτρηση της επιφανειακής τραχύτητας

Από όσα προαναφέρθηκαν συνάγεται ότι το καθοριστικό στοιχείο της ποιότητας της επιφάνεια είναι η τραχύτητα. Η τιμή της τραχύτητας είναι ένα μέγεθος στοχαστικό. Ουσιαστικά η τραχύτητα δεν μετράται αλλά χαρακτηρίζεται. Κατά καιρούς εν τούτοις, έχουν προταθεί διάφορα μέτρα τραχύτητας με ποικίλα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

- *Τραχύτητα κεντρικής γραμμής ή μέση αριθμητική τραχύτητα R_a*

Η τραχύτητα R_a ορίζεται από τη σχέση:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx \quad (3)$$

και παριστάνει τη μέση τιμή των αποκλίσεων όλων των σημείων της πραγματικής κατατομής (όχι μόνο των κορυφών και των κοιλάδων) από την κεντρική γραμμή, μέσα στο δεδομένο μήκος δειγματοληψίας. Η τραχύτητα R_a είναι σήμερα η πλέον διαδεδομένη σε ολόκληρο τον κόσμο, διότι

ο προσδιορισμός της κεντρικής γραμμής γίνεται αυτόματα από τα ηλεκτρικά όργανα μέτρησης (τραχύμετρα, προφιλόμετρα) και κατά συνέπεια η διαδικασία προσδιορισμού της είναι απλούστατη.

- *Βάθος οριζοντίωσης R_p*

Ορίζεται σαν το μέσο βάθος της κατατομής κάτω από την περιβάλλουσα επαφής από τη Σχέση 4:

$$R_p = \frac{1}{L} \int_0^L h(x) dx \quad (4)$$

Αν η περιβάλλουσα επαφής μετατοπιστεί προς τα κάτω κατά R_p τότε τα εμβαδά που αποκόπτονται προς τις δύο πλευρές τους από την πραγματική κατατομή, είναι ίσα, όπως και στην περίπτωση της κεντρικής γραμμής. Το μέτρο R_p περιγράφει καλύτερα από κάθε άλλη παράμετρο, την τριβική ποιότητα της επιφάνειας γιατί δείχνει ουσιαστικά την απόσταση των κορυφών των ανωμαλιών από τη μέση στάθμη της επιφάνειας.

- *Μέγιστο βάθος R_t*

Είναι η υψομετρική διαφορά της υψηλότερης κορυφής των επιφανειακών ανωμαλιών από τη βαθύτερη κοιλάδα (μέσα στο μήκος δειγματοληψίας) {σχήμα 2.3}.

Η R_t δίδεται από την παρακάτω σχέση 5

$$R_t = a + b \quad (5)$$

Το μέγεθος R_t μετράται πολύ εύκολα, έχει όμως το μειονέκτημα να παρουσιάζει ευαισθησία σε τυχαίες τοπικές ανωμαλίες (π.χ. αμυχή στην επιφάνεια) που βρίσκονται συμπτωματικά μέσα στο μήκος δειγματοληψίας.

- Το μέσο βάθος R_z

Είναι το μέσο βάθος η διαδοχικών επιφανειακών ανωμαλιών και δίδεται από τη σχέση 6:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n \beta_i}{n} \quad (6)$$

- Τραχύτητα Μέσης Τετραγωνικής Τιμής ενδεικνυόμενη τιμή τραχύτητας R_{rms}, R_q

Το μέτρο τραχύτητας R_q , ορίζεται από τη σχέση 7:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2 dx} \quad (7)$$

Πρόκειται ουσιαστικά για την τυπική απόκλιση των αποστάσεων των κορυφών από τη μέση γραμμή (γι' αυτό και συμβολίζεται και με σ). Η μέτρηση μέσω ηλεκτρονικού σήματος είναι απλούστατη αφού μετράται η ενδεικνυόμενη τιμή του σήματος που παράγεται από το τραχύμετρο και δεν απαιτείται καμία περαιτέρω επεξεργασία.

2.4.1 Νεώτερες παράμετροι χαρακτηρισμού της ποιότητας της επιφάνειας

Για την βελτιστοποίηση του χαρακτηρισμού της ποιότητας της επιφάνειας. Οι παράμετροι αυτές προέρχονται από στατιστική ανάλυση της γεωμετρίας των επιφανειών. Οι κυριότερες από τις νεώτερες αυτές παραμέτρους είναι οι εξής:

- *Καμπύλη φέρουσας επιφάνειας και κατανομή κορυφών*

Καμπύλη φέρουσας επιφάνειας λέγεται η καμπύλη που παριστάνει την αθροιστική συχνότητα εμφάνισης ύψους ανωμαλίας μεγαλύτερου από δεδομένη στάθμη η οποία δίδεται από τη σχέση :

$$P_{(y>h)} = \int_h^{\infty} p(y) dy \quad (8)$$

Όπου $p(y)$ η συνάρτηση κατανομής των υψών που δείχνει την πιθανότητα κάποιο σημείο της επιφάνειας να έχει ύψος μεταξύ y και $y + dy$. Το παρακάτω σχήμα παριστάνει τη μορφή της κατανομής υψών και της καμπύλης φέρουσας επιφάνειας όταν η κατανομή υψών είναι κανονική (κατανομή Gauss), σύμφωνα με τη σχέση:

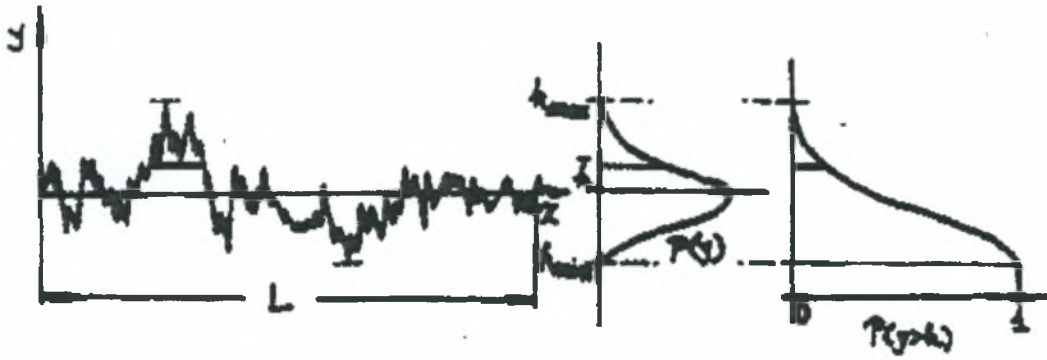
$$p(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-y^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

Όπου σ η τυπική απόκλιση του δείγματος.

Η καμπύλη φέρουσας επιφάνειας ονομάζεται έτσι διότι παριστάνει την πραγματική διατομή υλικού που υπάρχει σε κάθε ύψος h και φέρει, κατανεμημένο, το εξωτερικά ασκούμενο φορτίο.

Η κατανομή των υψών $p(y)$ χαρακτηρίζει ενδεικτικά τη γεωμετρική φύση της επιφάνειας και μεταβάλλεται όταν η επιφάνεια φορτίζεται, φθείρεται κ.λ.π. ενώ η καμπύλη

φέρουσας επιφάνειας μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για την πραγματική επιφάνεια επαφής δύο σωμάτων (δηλ. τον αριθμό των πραγματικών σημείων επαφής). Και τα δύο μεγέθη δεν είναι ευαίσθητα σε φαινόμενα μεταφοράς υλικού επί της επιφάνειας από ένα σημείο σε άλλο, φαινόμενο πολύ συνηθισμένο κατά τη λειτουργία των τριβικών συστημάτων.



Εικόνα 2.4 Κατανομή υψών και καμπύλη φέρουσας επιφάνειας.

- Άλλες παράμετροι

Άλλα στοχαστικά μεγέθη είναι η τρίτη κεντρική ροπή(λοξότητα) R_{sk} ή $s(y)$ που δίνεται από τη σχέση:

$$R_{sk} = \int_{-\infty}^h p(y)^3 dy \quad (10)$$

Επίσης η τέταρτη κεντρική ροπή (κύρτωση) R_{ku} ή $k(y)$ που δίνεται από τη σχέση:

$$R_{ku} = \int_{-\infty}^h p(y)^4 dy \quad (14)$$

Αυτά τα μεγέθη χρησιμοποιούνται για να δώσουν μια εικόνα για της κυματομορφής της επιφάνειας η να την χαρακτηρίσουν στην περίπτωση ανωμαλιών μεγάλου ύψους οπότε η R_a σαν μέσος όρος δεν δίνει αρκετά σαφή ένδειξη ύπαρξης τέτοιων επιφανειακών ανωμαλιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

3.1 Μορφές διάβρωσης

Η ταξινόμηση της διάβρωσης μπορεί να γίνει σύμφωνα με τις μορφές με τις οποίες εμφανίζεται. Η βάση για αυτήν την ταξινόμηση είναι η εμφάνιση του διαβρωμένου μεταλλικού υλικού. Κάθε μορφή μπορεί να προσδιοριστεί με οπτική παρατήρηση του διαβρωμένου υλικού. Πολύτιμες πληροφορίες, για τη λύση ενός προβλήματος διάβρωσης, μπορούν να ληφθούν μέσω της προσεκτικής παρατήρησης των διαβρωμένων δειγμάτων που προέρχονται είτε από πειράματα διάβρωσης ή από τη παρατήρηση εξοπλισμού που έχει διαβρωθεί κατά τη λειτουργία του.

Ορισμένες από τις μορφές διάβρωσης είναι μοναδικές, αλλά όλες τους συσχετίζονται λίγο ή πολύ. Οι κυριότερες μορφές διάβρωσης είναι:

- ομοιόμορφη διάβρωση
- γαλβανική, ή διμεταλλική διάβρωση
- διάβρωση ρωγμών
- τρημματική διάβρωση
- περικρυσταλλική διάβρωση
- εκλεκτική διάβρωση
- εργοδιάβρωση ή δυναμοδιάβρωση
- ψαθυροποίηση υδρογόνου
- νηματοειδής διάβρωση
- διάβρωση πρόσκρουσης

Παρακάτω αναλύονται μερικές από αυτές τις μορφές διάβρωσης.

3.1.1 Ομοιόμορφη διάβρωση

Η ομοιόμορφη διάβρωση είναι η πιο κοινή μορφή διάβρωσης. Χαρακτηρίζεται από μια χημική ή ηλεκτροχημική αντίδραση που προχωρά ομοιόμορφα πέρα από την εκτεθειμένη επιφάνεια ή πέρα από μια μεγάλη περιοχή. Το μέταλλο γίνεται σταδιακά λεπτότερο και τελικά αστοχεί. Η ομοιόμορφη διάβρωση, αντιπροσωπεύει τη μέγιστη καταστροφή του μετάλλου με βάση την απώλεια βάρους. Αυτή η μορφή διάβρωσης, εντούτοις, 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.

3.1.2 Γαλβανική διάβρωση

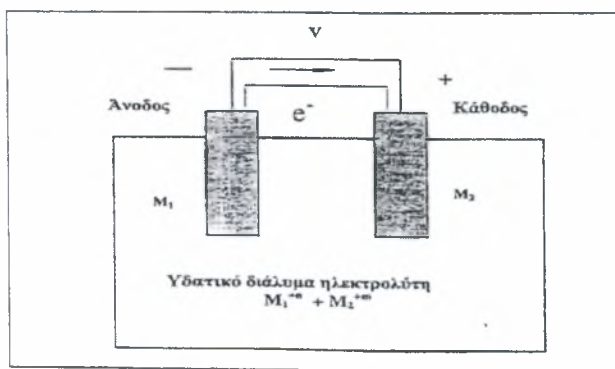
Όταν δύο ανόμοια μέταλλα βυθίζονται σε ένα διαβρωτικό ή αγώγιμο διάλυμα δημιουργείται συνήθως μεταξύ τους μια διαφορά δυναμικού. Εάν αυτά τα μέταλλα έρχονται σε επαφή (ή αλλιώς είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα), αυτή η διαφορά δυναμικού παράγει ροή ηλεκτρονίων από το ένα μέταλλο στο άλλο. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η διάβρωση του λιγότερο ανθεκτικού μετάλλου και η διάβρωση στο ανθεκτικότερο υλικό μειώνεται, σε σύγκριση με τη συμπεριφορά τους όταν δεν είναι σε ηλεκτρική επαφή. Ένα τέτοιο σύστημα αποτελεί το ηλεκτροχημικό στοιχείο όπως παρουσιάζεται στην Εικ. 3.1. Το λιγότερο ανθεκτικό μέταλλο γίνεται άνοδος και το ανθεκτικότερο μέταλλο κάθοδος. Συνήθως η κάθοδος ή το καθοδικό μέταλλο διαβρώνεται ελάχιστα ή καθόλου σε αυτόν τον τύπο ζεύγους. Η κινούσα δύναμη της διάβρωσης είναι η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ των δύο μετάλλων.

• Ηλεκτρεγερτική σειρά

Το δυναμικό μεταξύ της ανόδου, και της καθόδου είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως το άθροισμα των δυναμικών των δύο ημιστοιχείων. Τέτοια δυναμικά ηλεκτροδίων μπορούν να προσδιορισθούν πειραματικά και παρατίθενται σε πίνακες.

Η σειρά κατάταξης των δυναμικών των ηλεκτροδίων από διάφορα μεταλλικά υλικά λέγεται ηλεκτρεγερτική σειρά. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να προσδιορισθεί το άθροισμα ή η διαφορά των δυναμικών των ηλεκτροδίων. Δεν είναι όμως δυνατόν να υπολογισθούν τα δυναμικά για κάθε ένα από τα ηλεκτρόδια. Για τον προσδιορισμό των

μεγεθών αυτών απαιτείται να προσδιορισθεί αυθαίρετα το δυναμικό σε ένα ημιστοιχείο που χρησιμοποιείται ως μέσο σύγκρισης για όλα τα ηλεκτρόδια. Με μία ανάλογη παραδοχή θεωρείται μηδέν το δυναμικό ιονισμού του υδρογόνου. Σύμφωνα με τη παραδοχή αυτή καταρτίστηκε ο πίνακας 3.1 της σειράς των ηλεκτρεγερτικών δυναμικών.



Εικ. 3.1 Ηλεκτροχημικό στοιχείο. Ο αρνητικός πόλος είναι στην άνοδο.

Πίνακας 3.1 Ηλεκτρεγερτική σειρά

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

3.1.3 Γαλβανική σειρά

Το δυναμικό ενός στοιχείου συναρτάται όχι μόνο με το υλικό των ηλεκτροδίων, αλλά και με τον ηλεκτρολύτη επειδή υπάρχει η επίδραση της ιοντικής συγκέντρωσης και της πόλωσης.

Εκτός της πρότυπης ηλεκτρεγερτικής σειράς είναι αρκετά χρήσιμο να υπάρχει και το δυναμικό διαφόρων μετάλλων και σε άλλο περιβάλλον όπως αυτό του θαλασσινού νερού. Ο παρακάτω πίνακας περιέχει τα δυναμικά αυτά σε θαλασσινό νερό και ονομάζεται 'γαλβανική σειρά'. Επειδή ο πίνακας αυτός έχει κυρίως πρακτική σημασία δεν υπάρχουν αριθμητικά δεδομένα.

Ο πίνακας αυτός μας πληροφορεί μόνο για το γεγονός ότι 'αν δύο υλικά από το πίνακα σχηματίσουν στοιχείο με ηλεκτρολυτικό διάλυμα το θαλασσινό νερό, τότε το υλικό που προηγείται στον πίνακα θα γίνει άνοδος και θα διαλυθεί σχηματίζοντας ιόντα, δηλαδή θα διαβρωθεί.

Πρέπει να τονισθεί ότι η γαλβανική σειρά μπορεί να είναι διαφορετική σε άλλο περιβάλλον δηλαδή σε άλλο διάλυμα. Άλλη πληροφορία η οποία εξάγεται από τη γαλβανική σειρά είναι ότι, όσο πιο μακριά βρίσκονται δύο υλικά μεταξύ τους στον πίνακα αυτό τόσο πιο γρήγορα θα διαβρωθεί ή άνοδος στην περίπτωση που σχηματίσουν μεταξύ τους στοιχείο. Στο πίνακα 3.1 παρουσιάζεται η γαλβανική σειρά σε θαλασσινό νερό.

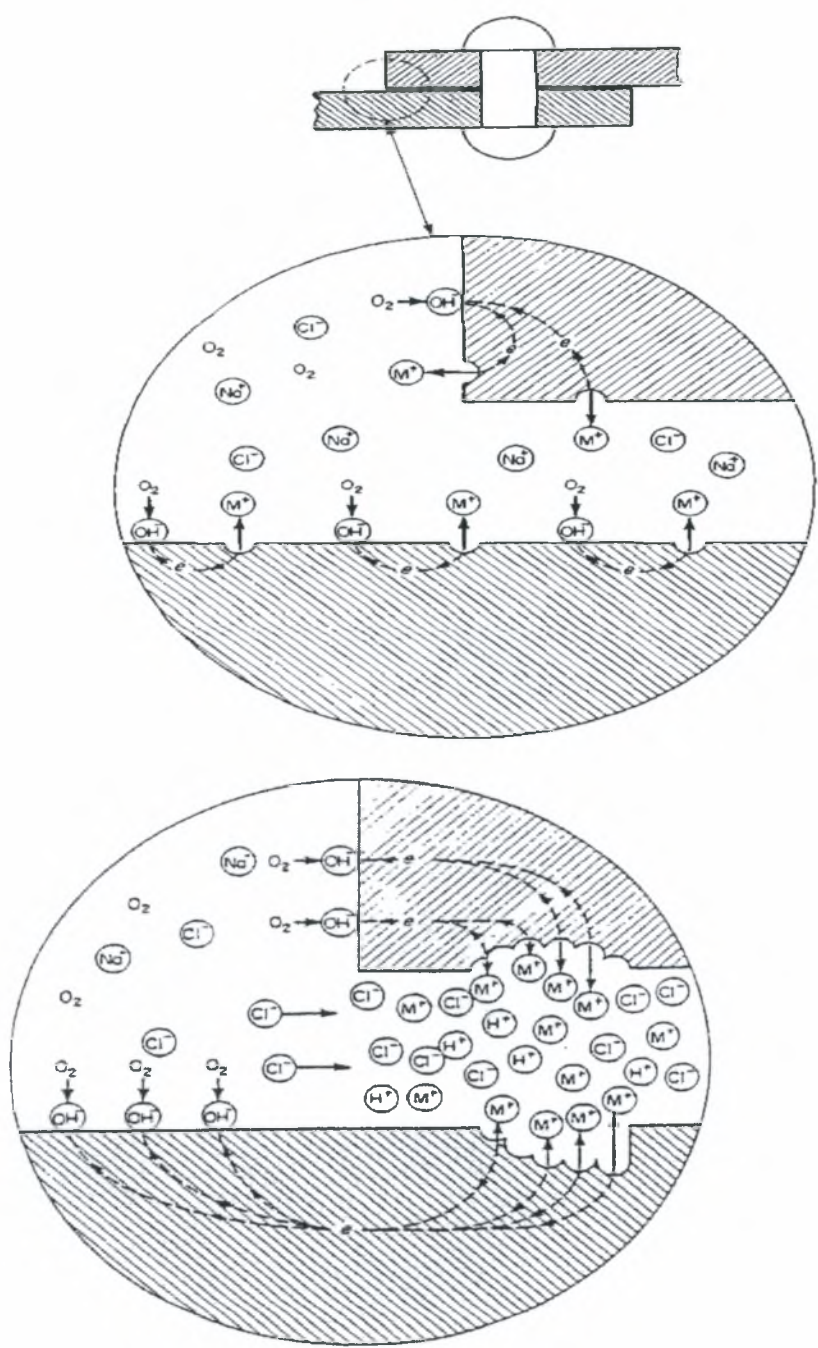
Πίνακας 3.1 Γαλβανική σειρά σε θαλασσινό νερό

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	•	

3.1.4 Διάβρωση σχισμών

Η τοπική διάβρωση που εμφανίζεται συχνά μέσα σε ρωγμές και σε άλλες καλυμμένες περιοχές στις επιφάνειες μετάλλων που βρίσκονται σε διαβρωτικά διαλύματα ονομάζεται διάβρωση σχισμών. Αυτός ο τύπος διάβρωσης συνδέεται συνήθως με τους μικρούς όγκους στάσιμου διαλύματος που υπάρχουν σε τρύπες ή σε σχισμές στην επιφάνεια του μετάλλου, στις ενώσεις ελασμάτων, κάτω από επικαθίσεις ξένων σωμάτων, και στις σχισμές κάτω από τα κεφάλια κοχλιών και ήλων. Αυτή η μορφή διάβρωσης καλείται διάβρωση ρωγμών.

Η μορφή αυτή της διάβρωσης οφείλεται στη διαφορά συγκέντρωσης του οξυγόνου ή των μεταλλικών ιόντων στις σχισμές με συνέπεια η περιοχή της σχισμής να γίνεται ανοδική. Στην Εικ. 3.2 (α) και (β) παρουσιάζεται σχηματικά η διάβρωση σχισμών.



Εικ. 3.2 α) Αρχικό στάδιο διάβρωσης σχισμών β) Τελικά στάδια διάβρωσης σχισμών

3.1.5 Περικρυσταλλική διάβρωση

Συνήθως ένα μεταλλικό υλικό διαβρώνεται ομοιόμορφα δεδομένου ότι τα όρια των κρυστάλλων είναι συνήθως ελαφρώς πιο ενεργητικά αναβαθμισμένο από τη μήτρα. Εντούτοις, κάτω από ορισμένες συνθήκες, οι διεπιφάνειες των κρυστάλλων γίνονται πολύ δραστικές και έχουμε εμφάνιση διάβρωσης σε αυτές τις περιοχές. Η τοπική διάβρωση πάνω και δίπλα στα όρια των κρυστάλλων, με σχετικά μικρή διάβρωση των κρυστάλλων, ονομάζεται περικρυσταλλική διάβρωση. Η περικρυσταλλική διάβρωση μπορεί να κραματικές προσμίξεις στα όρια των κρυστάλλων, τον εμπλουτισμό ή τη μείωση ενός κραματικού στοιχείου στα όρια των κρυστάλλων. Τα μικρά ποσά σιδήρου στο αλουμίνιο, όπου η διαλυτότητα του σιδήρου είναι χαμηλή, έχει αποδειχθεί, ότι διαχωρίζονται στα όρια των κρυστάλλων και προκαλούν περικρυσταλλική διάβρωση.

Η μείωση του χρωμίου στα όρια των κρυστάλλων οδηγεί στη περικρυσταλλική διάβρωση των ανοξείδωτων χαλύβων.

Έχουν εμφανιστεί πολυάριθμες αστοχίες σε 18-8 ανοξείδωτους χάλυβες λόγω της περικρυσταλλικής διάβρωσης, σε περιβάλλοντα όπου το κράμα θα έπρεπε να έχει άριστη αντίσταση στη διάβρωση. Όταν αυτοί οι χάλυβες ψυχθούν με μικρή ταχύτητα μεταξύ των 510 και 790°C, σχηματίζονται καρβίδια του χρωμίου κοντά στα όρια των κόκκων και απογυμνώνεται η γύρω περιοχή από χρώμιο. Όταν η συγκέντρωση του χρωμίου γίνει μικρότερη από 12% τότε το κράμα κοντά στα σύνορα των κόκκων παύει να είναι ανοξείδωτο με γίνονται και διαβρώνεται πολύ γρήγορα επειδή γίνεται άνοδος σε σχέση με το εσωτερικό του κόκκο. Για ανοξείδωτους χάλυβες που έχουν υποστεί τέτοια επίδραση λέγεται ότι έχουν ευαισθητοποιηθεί (ευαίσθητοι στη περικρυσταλλική διάβρωση) [16].

3.1.6 Διάβρωση πρόσκρουσης

Η διάβρωση πρόσκρουσης είναι το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού μηχανικής φθοράς και ηλεκτρολυτικής διαδικασίας.

Η φθορά του προστατευτικού στρώματος οξειδίων από σωματίδια μέσα στο νερό δημιουργεί ανοδικές και καθοδικές περιοχές, επιταχύνοντας με τον τρόπο αυτό την

ηλεκτρολυτική διαβρωτική δράση. Αυτό το φαινόμενο παρατηρείται πολύ συχνά σε σωλήνες μεταφοράς θαλασσινού νερού.

3.1.7 Εργοδιάβρωση

Η εργοδιάβρωση (Stress Corrosion Cracking (SCC)) αναφέρεται στα ρήγματα που προκαλούνται από την ταυτόχρονη παρουσία δυναμικών φορτίων και συγκεκριμένου διαβρωτικού περιβάλλοντος.

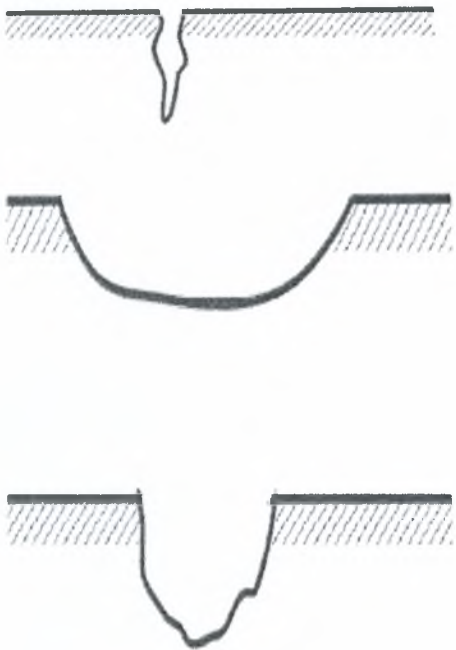
Κατά τη διάρκεια της εργοδιάβρωσης το μέταλλο ή το κράμα είναι φαινομενικά απρόσβλητο στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειάς του, ενώ λεπτά ρήγματα εξελίσσονται κάτω από αυτήν.

3.2 Τρηματική διάβρωση

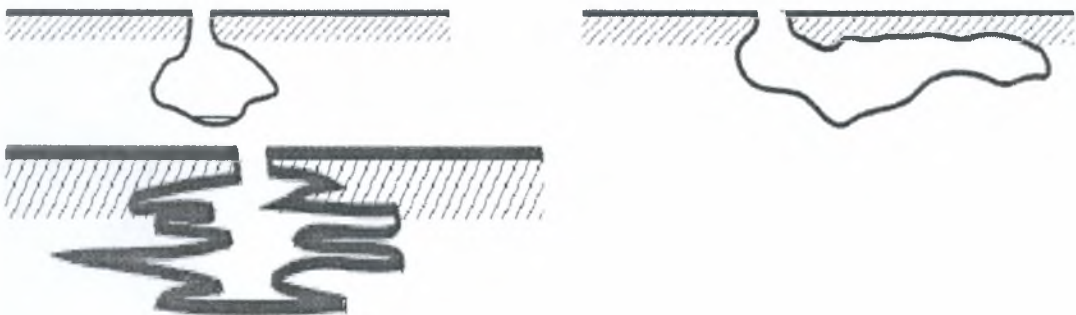
Η τρηματική διάβρωση είναι μια μορφή εξαιρετικά τοπική προσβολής που έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται οπές (τρήματα ή pits) στο μέταλλο. Αυτές οι οπές μπορούν να είναι πάρα πολύ μικρές (ο εντοπισμός τους είναι δύσκολος ακόμα και οπτικά μέσα) ή μεγάλες στη διάμετρο (εντοπίζονται με γυμνό μάτι). Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι σχετικά μικρές. Τα τρήματα είναι είτε απομονωμένα ή τόσο κοντά που μοιάζουν με μια τραχιά επιφάνεια. Γενικά ένα διαβρωτικό τρήμα μπορεί να περιγραφεί ως κοιλότητα ή οπή με διάμετρο επιφάνειας σχεδόν ίδια ή μικρότερη από το βάθος της. Η τρηματική διάβρωση είναι μια από τις πιο καταστρεπτικές και τις πιο ύπουλες μορφές διάβρωσης. Αναγκάζει τον εξοπλισμό να αποτύχει με μόνο μια μικρή απώλεια βάρους επί τοις εκατό σε σχέση με ολόκληρη τη μάζα του. Τα διαβρωτικά τρήματα είναι δύσκολο να ανιχνευθούν λόγω του μικρού μεγέθους τους και επειδή συχνά καλύπτονται από τα προϊόντα της διάβρωσης. Επιπλέον, είναι δύσκολο να μετρηθεί ποσοτικά και να εκτιμηθεί η έκταση της τρηματικής διάβρωσης λόγω των ποικίλων βαθών και αριθμών των διαβρωτικών τρημάτων που μπορούν να εμφανιστούν υπό της ίδιες συνθήκες.. Μερικές φορές τα διαβρωτικά τρήματα απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να εμφανιστούν (ανάλογα με τις συνθήκες του διαβρωτικού περιβάλλοντος). Η τρηματική διάβρωση είναι ιδιαίτερα επιθετική και έντονη μορφή διάβρωσης. Οι αστοχίες στα μεταλλικά υλικά που οφείλονται στην τρηματική διάβρωση εμφανίζονται συχνά αιφνιδιαστικά.

3.2.1 Το σχήμα των διαβρωτικών τρημάτων

Τα διαβρωτικά τρήματα αναπτύσσονται συνήθως κάθετα στην επιφάνεια του μετάλλου και μπορούν να έχουν ποικίλα σχήματα και βάθη. Μερικές μορφές διαβρωτικών τρημάτων παρουσιάζονται παρακάτω στις Εικ 3.3 και 3.4:



Εικ. 3.3 Διαβρωτικά τρήματα που μεγαλώνουν κάθετα και οριζόντια από την επιφάνεια



Εικ. 3.4 Διαβρωτικά τρήματα που αναπτύσσονται κάτω από την επιφάνεια

Τα διαβρωτικά τρήματα που αναπτύσσονται κάτω από την επιφάνεια είναι τα πιο επικίνδυνα γιατί η έκτασή τους δεν είναι ορατή και μπορούν να είναι η αιτία σε αιφνιδιαστική αστοχία του υλικού.

3.2.2 Μηχανισμοί τρηματικής διάβρωσης

Ο μηχανισμός της τρηματικής διάβρωσης μπορεί να διαχωριστεί σε δύο διαφορετικά στάδια , στη έναρξη των διαβρωτικών τρημάτων και στην ανάπτυξή τους. Ο μηχανισμός ανάπτυξης είναι καλά κατανοητός, ενώ ο μηχανισμός έναρξης δεν είναι πολύ σαφής.

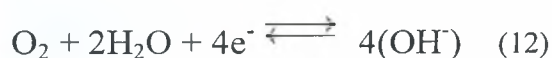
3.2.3 Έναρξη της τρηματικής διάβρωσης

Η έναρξη των τρημάτων δεν είναι καλά κατανοητή. Ο χρόνος έναρξης των τρημάτων μπορεί να διαφέρει από πολύ μικρό χρονικό διάστημα , ημέρες ή και ώρες , και σε πολύ μεγάλο, χρόνια. Οι μικρές αλλαγές στις διαβρωτικές συνθήκες να μπορεί να καθορίσουν εάν τα τρήματα θα εμφανιστούν ή όχι. Υπάρχουν πολλοί μηχανισμοί της έναρξης των τρημάτων αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει κάποιος γενικός μηχανισμός που να περιγράφει την έναρξη της τρηματικής διάβρωσης.

Οι περισσότεροι μηχανισμοί περιλαμβάνουν τη τοπική καταστροφή του παθητικού στρώματος στο μέταλλο.

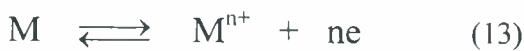
3.2.4 Ανάπτυξη των διαβρωτικών τρημάτων

Η ανάπτυξη ενός διαβρωτικού τρήματος μπορεί να θεωρηθεί παρόμοια με τη διαδικασία διάβρωσης σε μια ρωγμή. Η εκτεθειμένη επιφάνεια έξω από το διαβρωτικό τρήμα είναι κάθοδος βοηθώντας τη διάλυση του οξυγόνου με το σχηματισμό υδροξυλίου όπως περιγράφεται στην παρακάτω σχέση:

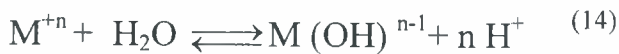


Δεδομένου ότι η περιοχή παραπλεύρως του τρήματος προστατεύεται καθοδικά, η διάβρωση δε μπορεί να αναπτυχθεί πλευρικά. Επιπλέον η μεγάλη καθοδική επιφάνεια μπορεί να διατηρήσει αυτήν την αντίδραση και να διαμορφώσει μια μεγάλη κάθοδο με μικρή αναλογία ανόδων και έτσι επιταχύνεται η ανοδική αντίδραση. Μέσα στο κοίλωμα πραγματοποιείται η αντίδραση διάλυσης του μετάλλου.

Η αντίδραση αυτή είναι:



Αυτή η αντίδραση μέσα στο κοίλωμα οδηγεί σε μια ηλεκτρική δυσαναλογία που προσελκύει τα αρνητικά ιόντα, συνήθως ιόντα χλωρίου. Έτσι υπάρχει μια συνεχιζόμενη αυτοκαταλυτική αντίδραση μέσα στο τρήμα όπως:



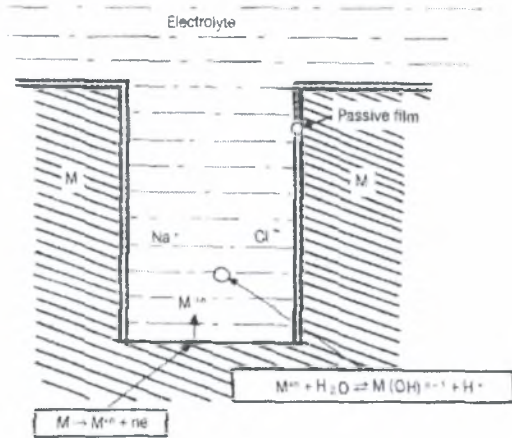
Σε περιβάλλον που περιέχει ιόντα χλωρίου η αντίδραση γίνεται:



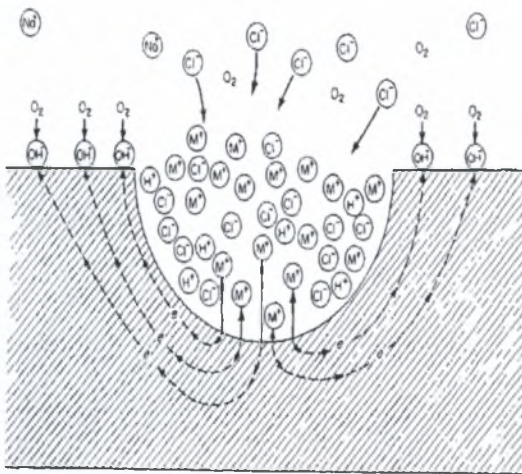
Τα ιόντα χρωμίου που υπάρχουν στους ανοξειδωτους χάλυβες ($M^{n+} = Cr^{+++}$) είναι πολύ ενεργά σε αυτή την αντίδραση. Οι παραπάνω αντίδραση γίνεται σε τοπικά σημεία της επιφάνειας και αφού το υδροχλωρικό οξύ, που είναι προϊόν της αντίδρασης, προστίθεται στο διαβρωτικό μέσο και τοπικά η διάβρωση επιταχύνεται η οποία με τη σειρά της κάνει το διάλυμα που είναι κοντά στους πυρήνες της διάβρωσης ακόμα πιο όξινο. Τα φαινόμενα αυτά παρουσιάζουν αυτοκαταλυτικό χαρακτήρα.

Η αύξηση το pH εντός του διαβρωτικού τρήματος και η ανοδική διάλυση του μεταλλικού υλικού είναι επομένως δύο αλληλένδετα φαινόμενα που είναι υπεύθυνα για τη διάβρωση.

Η τρηματική διάβρωση, όπως και η διάβρωση ρωγμών, χαρακτηρίζεται από μια αυτοκαταλυτική αντίδραση ,επέρχεται αύξηση στη συγκέντρωση των ιόντων στο διαβρωτικό τρήμα και κατά συνέπεια αυξάνετε και το pH μέσα σε αυτό. Στην Εικ 3.5 παρουσιάζεται ο μηχανισμός ανάπτυξης των διαβρωτικών τρημάτων.



Εικ. 3.5 Μηχανισμός ανάπτυξης διαβρωτικών τρημάτων.[6]



Εικ. 3.5 Μηχανισμός ανάπτυξης διαβρωτικών τρημάτων.[12]

3.2.5 Συνθήκες έναρξης και ανάπτυξης της τρηματικής διάβρωσης

Τα μεταλλικά υλικά που παρουσιάζουν τρηματική διάβρωση σχηματίζουν συμπαγές επιφανειακό παθητικό στρώμα οξειδίων, όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες, τα κράματα αλουμινίου και τα κράματα νικελίου. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην δυσκολία της εμφάνισης ομοιόμορφης διάβρωσης σε αυτά τα κράματα (εξαιτίας του προστατευτικού

στρώματος). Παραδείγματος χάριν ένας ανθρακοχάλυβας ή ένας χαμηλά κραματομένος χάλυβας θα διαβρωθεί ομοιόμορφα στο νερό της θάλασσας ενώ ένας χάλυβας 304 θα παρουσιάσει τρηματική διάβρωση Εντούτοις σε διαλύματα με αρκετά χαμηλή περιεκτικότητα σε χλωριόντα, παρουσιάζεται τρηματική διάβρωση και στους απλούς χάλυβες.

Η τρηματική διάβρωση παρουσιάζεται συνήθως σε στάσιμα διαλύματα. Η παρουσία ιόντων αλογόνων, χλωρίου, βρώμιου φθορίου και ιωδίου, προκαλεί στα μέταλλα τρηματική διάβρωση. Το κατά πόσο ένα ιόν είναι επιθετικό εξαρτάται από το μεταλλικό υλικό και τον συνδυασμό των ιόντων. Παραδείγματος χάριν, για τον ανοξείδωτο χάλυβα 304, το ιόν χλωρίου είναι το επιθετικότερο, ενώ για τον 316, ιόν φθορίου οδηγεί στη τρηματική διάβρωση σε μεγαλύτερο βαθμό από το ιόν χλωρίου. Η τρηματική διάβρωση είναι η μορφή διάβρωσης που μελετάται κατά τις πειραματικές διαδικασίες που έγιναν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

3.3 Προστατευτικά στρώματα των ανοξείδωτων χαλύβων

Η αντίσταση στη διάβρωση και των ανοξείδωτων χαλύβων οφείλεται και εξαρτάται από τις προστατευτικές ιδιότητες των παθητικών στρωμάτων, τα οποία καθορίζονται από τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά τους. Το πάχος των παθητικών στρωμάτων είναι της τάξης του 1 έως 10 nm, ανάλογα με την περίπτωση.

Το στρώμα αποτελείται κυρίως από μόρια νερού, από ανιόντα, και μέταλλα που οξειδώνονται εύκολα όπως ο σίδηρος, το χρώμιο, το πυρίτιο ή το αλουμίνιο.

Ακριβείς χημικές αναλύσεις αποκαλύπτουν ότι η σύνθεση του παθητικού στρώματος εξαρτάται από το μέταλλο που βρίσκεται από κάτω του, από την επεξεργασία της επιφάνειας και από το οξειδωτικό μέσο στο οποίο βρίσκεται το υλικό. Αυτό καταδεικνύει ότι η δομή και η σύσταση του στρώματος δεν έχει πάντα την ίδια μορφή, αλλά αλλάζει όποτε το οξειδωτικό περιβάλλον τροποποιείται.

Μια υγρή ατμόσφαιρα ενεργεί στην επιφάνεια του μετάλλου όπως ένα διάλυμα νερού, σε τόσο μεγάλο βαθμό έτσι ώστε η οξείδωση του να είναι παρόμοια με την εμβάπτιση του μετάλλου, αλλά με πιο σύντομη διάρκεια. Κατά συνέπεια, η ατμοσφαιρική

διάβρωση δεν περιλαμβάνει μόνο την αέρια οξείδωση από το οξυγόνο του αέρα, αλλά και την υδατική διάβρωση.

Το χρώμιο έχει έναν ουσιαστικό ρόλο στη σταθεροποίηση του παθητικού στρώματος. Το ελάχιστο ποσοστό χρωμίου για να θεωρείται ένας χάλυβας ανοξείδωτος είναι 12% και σήμερα 13 %. Είναι σημαντικό το χρώμιο να βρίσκεται ελεύθερο στο στερεό διάλυμα, όχι δεσμευμένο από άλλα στοιχεία όπως ο άνθρακας, έτσι ώστε να μπορεί να δεσμεύσει το οξυγόνο και να δημιουργήσει το προστατευτικό επιφανειακό φιλμ οξειδίων. Η σταθερότητα του προστατευτικού στρώματος εξαρτάται και από το διαβρωτικό μέσο. Σε ορισμένα περιβάλλοντα περιεχόμενο χρωμίου 17%, ή 20% ή ακόμα και υψηλότερο μπορεί να μην είναι αρκετό. Το όριο του χρωμίου 13% είναι αρκετό για τα περισσότερα, λιγότερο επιθετικά, υδάτινα περιβάλλοντα.

Στους ωστενιτικούς χάλυβες, το νικέλιο δεν φαίνεται να υπάρχει άμεσα στη σύνθεση του προστατευτικού φιλμ.

3.3.1 Η επίδραση των ιόντων χλωρίου στο παθητικό στρώμα

Στη περίπτωση που εξετάζουμε, έχουμε έναν ανοξείδωτο χάλυβα τύπου 304, ο οποίος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος στη παρουσία ιόντων χλωρίου που υπάρχουν στα περιβάλλοντα που χρησιμοποιήσαμε στις δοκιμές επιταχυνόμενης διάβρωσης για τη παρούσα διπλωματική εργασία. Η έναρξη της τοπικής διάβρωσης οφείλεται κατά πολύ στην επίδραση των ιόντων χλωρίου στο παθητικό στρώμα. Αυτά τα ιόντα μπορούν να επιδράσουν στο παθητικό στρώμα με τους παρακάτω τρόπους [6].

- Προσρόφηση Ιόντων Cl^- στη διεπιφάνεια προστατευτικού στρώματος – διαλύματος.

Τα ιόντα Cl^- προσροφώνται στην επιφάνεια του παθητικού στρώματος, πιθανώς μαζί με υδροξύλια (OH^-) και τα διάφορα ανιόντα που υπάρχουν στο διάλυμα. Μεταξύ αυτών των ανιόντων, μερικά ιδιαίτερα σταθερά προσροφούνται και διαμορφώνονται στη διεπιφάνεια. Αυτά τα ιόντα περιορίζουν έντονα το ποσοστό των ιόντων Cl^- που απορροφιέται. Διαπιστώνεται ότι η μείωση στο pH ενισχύει τη προσρόφηση Cl^- .

- Διείσδυση ιόντων Cl^- στο προστατευτικό στρώμα

Τα ιόντα Cl^- διαπερνούν την παθητικό στρώμα είτε σε "ελαττωματικές" περιοχές στη θέση ιόντων O^- είτε στη θέση μορίων νερού ή ιόντων OH^- .

- Επιτάχυνση της ανοδικής αντίδρασης(διάλυση)

Η παρουσία ιόντων Cl^- επιταχύνει την ανοδική διάλυση, είτε από το σχηματισμό ενός ασταθούς χλωριδίου ή με την τροποποίηση της ισορροπίας των σημειακών ατελειών (ιοντικά ή κατιονικά κενά) που υπάρχουν στο στρώμα. Σε όλες τις περιπτώσεις, υπάρχει μια αύξηση στη διαφορά δυναμικού μεταξύ του μετάλλου και του διαβρωτικού διαλύματος. Η αύξηση στη διαφορά δυναμικού οδηγεί στη συνέχεια σε μια αύξηση της συγκέντρωσης των κατιονικών κενών στο στρώμα. Παρουσία μιας μεγάλης ποσότητας ιόντων Cl^- στο στρώμα αυξάνεται η συγκέντρωση των κατιονικών κενών, η πυκνότητά τους που αυξάνεται καθώς η πιθανή διαφορά δυναμικού γίνεται μεγαλύτερη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

4.1 Προετοιμασία δοκιμίων :

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ανοξείδωτος χάλυβας 18-8 AISI 304 σε μορφή συμπαγούς κυλίνδρου ακτίνας $r=5\text{cm}$ και μήκους 50cm .

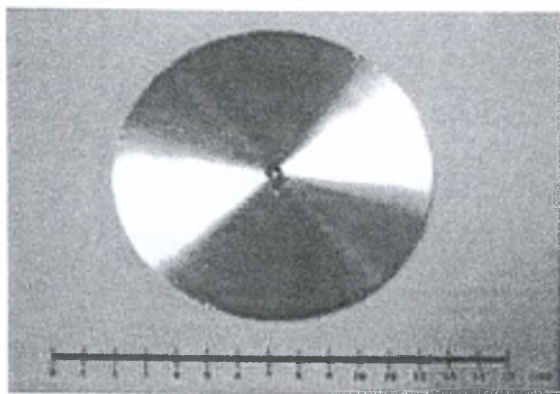
Από τον κύλινδρο αφαιρέθηκαν με κοπή τέσσερα όμοια κυλινδρικά τεμάχια (δίσκοι) πάχους 0.55 cm , όπως παρουσιάζονται στην Εικ. 4.1. Εν συνεχεία το κάθε κυλινδρικό τεμάχιο υποβλήθηκε σε κατεργασία τórνευσης με διαφορετικές συνθήκες (Πίνακας 4.1) ώστε να προκύψουν τέσσερες διαφορετικές επιφάνειες. Η κατεργασία ήταν η μετωπική τórνευση με σταθερή ταχύτητα κοπής και με συνεχή μεταβολή στροφών CSS (Constant Surface Speed).

Για την κατεργασία των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του Εργαστηρίου Μηχανουργικών Κατεργασιών του Τμ . Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας και ήταν Τόρνος COLCHESTER TRIUMPH 2500.

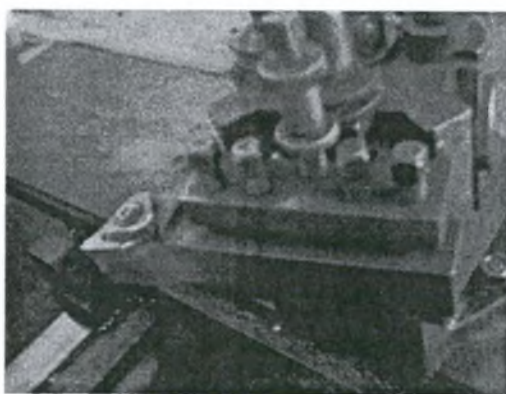
Πίνακας 4.1 Συνθήκες τórνευσης κάθε επιφάνειας

Κατηγορία Επιφάνειας	Συνθήκες Κοπής:		
	Βάθος κοπής	Πρόωση	Αρχικές στροφές
1	0.5 mm	0.30 mm/rev	414
2	0.5 mm	0.11 mm/rev	414
3	0.5 mm	0.05 mm/rev	414
4	0.5mm	0.20 mm/rev	105

Συνεπώς με την κατεργασία αυτή δημιουργήθηκαν τέσσερις διαφορετικές επιφανειακές τοπογραφίες



Εικόνα 4.1 Μορφή του δίσκου πριν τη κοπή



Εικόνα 4.2 Κοπτικό εργαλείο τόνου

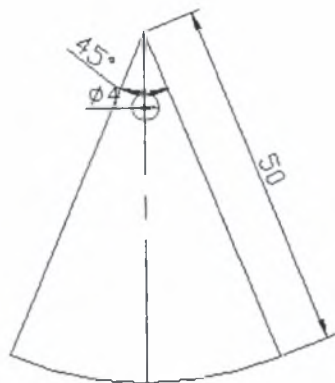
Ακολούθησε ο τεμαχισμός του κάθε δίσκου σε οκτώ ίσα τεμάχια (δοκίμια) Εικ.4.3. Τελικά προέκυψαν τέσσερες ομάδες δοκιμών δηλαδή μία ομάδα για κάθε διαφορετική επιφάνεια η οποία περιελάμβανε οκτώ ίδια δοκίμια.

Για την δοκιμή των διαδοχικών εμβαπτίσεων (Alternate Immersion Test) χρησιμοποιήθηκαν 6 δοκίμια ανά διαφορετική επιφάνεια, δηλαδή 24 δοκίμια. Τα έξι δοκίμια της κάθε ομάδας αντιστοιχούν σε έξι διαφορετικούς χρόνους διάβρωσης όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2

Για την δοκιμή διάβρωσης σε περιβάλλον διαλύματος $FeCl_3$ χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα δοκίμια δηλαδή ένα δοκίμιο ανά διαφορετική επιφάνεια (Πίνακας 4.3)

Τα υπόλοιπα τέσσερα δοκίμια ή ένα δοκίμιο ανά επιφάνεια παρέμειναν εκτός πειραματικών διαδικασιών ως δοκίμια ασφαλείας σε περίπτωση λάθους ή αστοχίας της πειραματικής διαδικασίας (Πίνακας 4.4)

Τα 32 δοκίμια διατρήθηκαν στο δράπανο τύπου IBARMIA 1B-35-P του εργαστηρίου Μηχανουργικών Κατεργασιών έτσι ώστε να μπορούν να αναρτηθούν εντός των διαβρωτικών διαλυμάτων κατά την διάρκεια των αντίστοιχων πειραματικών διαδικασιών



Εικόνα 4.3 Μορφή δοκιμίων

Κατόπιν τα απομακρύνθηκαν τα προϊόντα της κοπής και της διάτρησης που ήταν προσκολλημένα στις ακμές οι οποίες λειάνθηκαν στους τροχούς λείανσης του εργαστηρίου. Έπειτα τα δοκίμια κωδικοποιήθηκαν, καθαρίστηκαν και ζυγίστηκαν.

Τέλος έγινε τραχυμέτρηση των επιφανειών των δοκιμίων για να προσδιοριστούν οι παράμετροι της τραχύτητας των επιφανειών. Η τραχυμέτρηση έγινε στο τραχύμετρο Taylor-Hobson τύπου στυλίσκου του Εργαστηρίου Μηχανουργικών Κατεργασιών και τα δεδομένα επεξεργάστηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με το λογισμικό Talyprof. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας κωδικοποίησης των δοκιμίων ανά πειραματική διαδικασία.

Πίνακας 4.2 Πίνακας κωδικοποίησης των δοκιμίων για το Alternate Immersion Test

Διάρκεια Πειραματικής Διαδικασίας (Ημέρες)	Σειρά δοκιμίου	Κατηγορία Κατεργασμένης Επιφάνειας			
		1	2	3	4
35	1 ^η	1,1	2,1	3,1	4,1
50	2 ^η	1,2	2,2	3,2	4,2
65	3 ^η	1,3	2,3	3,3	4,3
80	4 ^η	1,4	2,4	3,4	4,4
95	5 ^η	1,5	2,5	3,5	4,5
110	6 ^η	1,6	2,6	3,6	4,6

Πίνακας 4.3 Πίνακας ονομασιών των δοκιμών ασφαλείας

Σειρά δοκιμίου	Κατηγορία Επιφάνειας			
	1	2	3	4
7 ⁿ	1,7	2,7	3,7	4,7

Πίνακας 4.4 Πίνακας ονομασιών των δοκιμών για την δοκιμή σε διάλυμα FeCl₃

Διάρκεια Πειραματικής Διαδικασίας (Ωρες)	Σειρά δοκιμίου	Κατηγορία Επιφάνειας			
		1	2	3	4
72	8 ⁿ	1,8	2,8	3,8	4,8

4.1.1 Οι επιφάνειες των δοκιμίων

Μετά τη τόννευση (Πίνακας 4.1) των δοκιμίων δημιουργήθηκαν τέσσερις επιφάνειες με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :

- Στην επιφάνεια 1 έχουμε υψηλή πρόωση και σαν αποτέλεσμα έχουμε λίγες κορυφές με σχετικά μεγάλο ύψος.
- Στην επιφάνεια 2 έχουμε μικρότερη πρόωση από την 1 και σαν αποτέλεσμα έχουμε αρκετές κορυφές με πιο μικρό ύψος.
- Στην επιφάνεια 3 έχουμε χαμηλή πρόωση και σαν αποτέλεσμα έχουμε πολλές κορυφές μικρού ύψους , ακόμα στην επιφάνεια αυτή υπάρχουν ρωγμές, σχισίματα και διάφορες άλλες ανωμαλίες.
- Στην επιφάνεια 4 έχουμε υψηλότερη πρόωση από τη 2 και 3, αλλά χαμηλότερες αρχικές στροφές, σαν αποτέλεσμα έχουμε αρκετές κορυφές ακόμα έχουμε ρωγμές και διάφορες άλλες ατέλειες, τέλος σε αυτή την επιφάνεια υπάρχει ψευδόκοψη , προσκολλημένα τεμαχίδια στην επιφάνεια .

4.2 Περιγραφή πειράματος επιταχυνόμενης διάβρωσης με διαδοχικές εμβαπτίσεις.

4.2.1 Σκοπός του πειράματος

Το πείραμα επιταχυνόμενης διάβρωσης με διαδοχικές εμβαπτίσεις (Alternate Immersion Test) - που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Υλικών του Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας – χρησιμοποιήθηκε για το προσδιορισμό της αντοχής / αντίστασης των μετάλλων και κραμάτων στη διάβρωση. Εφαρμόζεται κυρίως σε κράματα αλουμινίου και χάλυβα αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλα μεταλλικά υλικά [8]. Η δοκιμή προσομοιάζει πραγματικά διαβρωτικά περιβάλλοντα. Στη δική μας περίπτωση σκοπός ήταν να προσδιοριστεί η αντίσταση στη διάβρωση του ανοξείδωτου χάλυβα AISI 304 σε θαλάσσιο περιβάλλον και η σχέση της με τις επιφανειακές τοπογραφίες των δοκιμίων που προέκυψαν από διαφορετικές συνθήκες κοπής κατά τη τόννευση τους. Αυτή η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη προδιαγραφή ASTM G 44-94 [8].

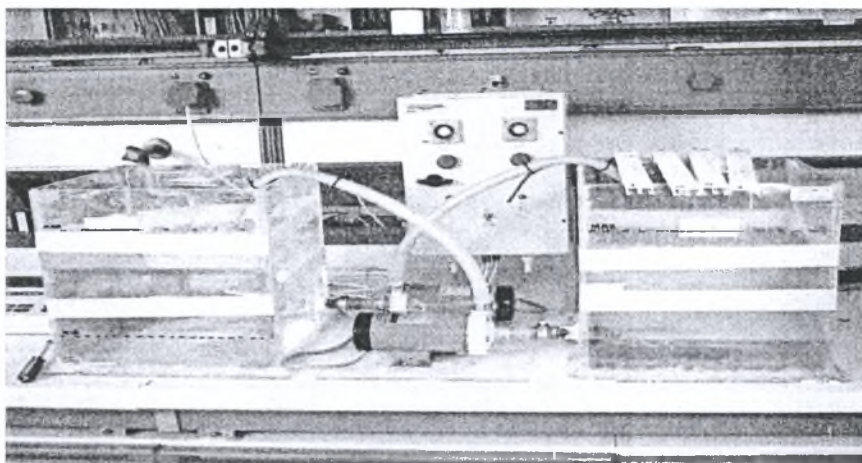
4.2.2 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Το πείραμα επιταχυνόμενης διάβρωσης με διαδοχικές εμβαπτίσεις είναι συνεχόμενο και περιλαμβάνει επαναλαμβανόμενους κύκλους διάρκειας μίας ώρας εντός της οποίας υπάρχει μια δεκάλεπτη περίοδος κατά την οποία τα δοκίμια είναι εμβαπτισμένα σε διάλυμα 3,5% NaCl και μια περίοδος 50 λεπτών κατά την οποία τα δοκίμια στεγνώνουν σε ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται όλο το εικοσιτετράωρο για 20 έως 90 ημέρες ή και περισσότερες αν χρειαστεί, ανάλογα με το υλικό, τις συνθήκες του αέρα περιβάλλοντος και του διαλύματος. Στην παρούσα περίπτωση κρίθηκε αναγκαία η διάρκεια του πειράματος να είναι 110 ούτως ώστε να διερευνηθεί πλήρως η συμπεριφορά του εξεταζομένου υλικού στο συγκεκριμένο διαβρωτικό περιβάλλον.

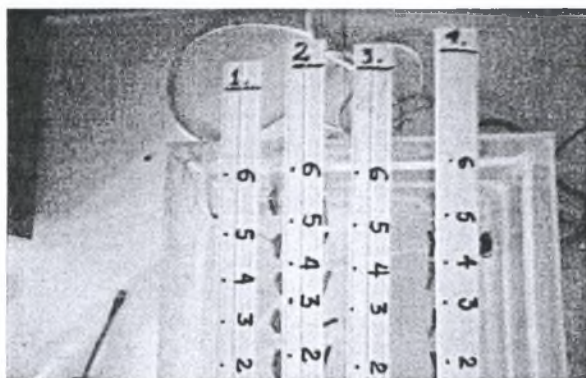
4.2.3 Περιγραφή πειραματικής διάταξης

Η πειραματική διάταξη (Εικ. 4.4) αποτελείται από δύο δεξαμενές διαστάσεων 310x360x360 mm χωρητικότητας 30 λίτρων η κάθε μια. Οι δεξαμενές αυτές είναι κατασκευασμένες από πλεξιγκλάς για να μην δημιουργούν οι ίδιες προϊόντα διάβρωσης που μπορούν να επηρεάσουν το πείραμα. Ακόμη υπάρχουν δυο ειδικές αντλίες (Εικ.4.8) τύπου IWAKI Magnet pump μεταφοράς διαβρωτικών διαλυμάτων που αδειάζουν και γεμίζουν τις δεξαμενές. Η πειραματική διάταξη αποτελείται ακόμη από έναν ηλεκτρολογικό πίνακα(Εικ. 4.7) στον οποίο υπάρχουν δύο χρονοδιακόπτες που ελέγχουν την λειτουργία των αντλιών, και οι διακόπτες που βάζουν σε λειτουργία τη διάταξη. Η δεξαμενή που περιέχει τα δοκίμια παραμένει γεμάτη για 10 λεπτά και η άλλη για 50 λεπτά έτσι ώστε να πραγματοποιείται ο κύκλος του πειράματος. Το άδειασμα και το γέμισμα των δεξαμενών γίνεται σε διάστημα λιγότερο των 2 λεπτών από τη στιγμή που τα δοκίμια καλύπτονται ή απομακρύνονται από το νερό. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχουν αισθητήρες που διακόπτουν τη λειτουργία της αντλίας που αδειάζει τη δεξαμενή όταν το διάλυμα φτάνει σε μια ελάχιστη στάθμη έτσι ώστε να μην εισέρχεται αέρας στην αντλία και να μην υπερχειλίζει η άλλη δεξαμενή.

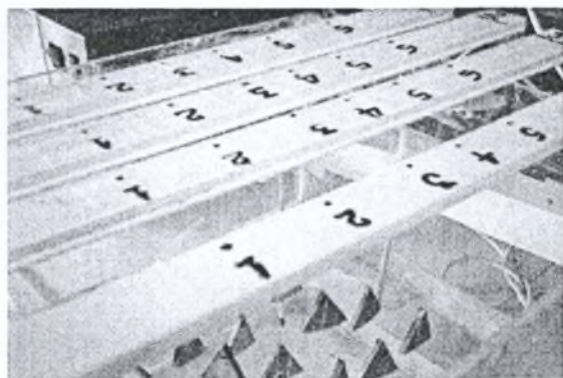
Τα 24 δοκίμια συγκρατούνται στη μία δεξαμενή με μη μεταλλικά στηρίγματα, μεσινέζα τα οποία δένονται σε πλαστικές ράβδους που στηρίζονται στη κορυφή της δεξαμενής έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η επαφή των δοκιμίων με το διάλυμα, να μην εμποδίζεται η ροή του αέρα και να αργούν να στεγνώσουν τα δοκίμια, να μην διατηρούνται σταγόνες διαλύματος πάνω στα δοκίμια και να εμποδίζουν την επαφή των δοκιμίων μεταξύ τους και με τη δεξαμενή (Εικ. 4.5- 4.6).



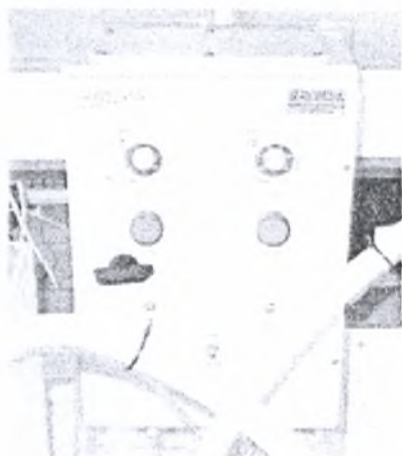
Εικ. 4.4 Συσκευή διαδοχικών εμβάπτισεων



Εικ. 4.5 Τρόπος συγκράτησης δοκιμίων



Εικ.4.6 Τρόπος συγκράτησης δοκιμίων



Εικ. 4.7 Ηλεκτρολογικός πίνακας



Εικ. 4.8 Αντλίες μεταφοράς διαλύματος

4.2.4 Διάλυμα 3,5% NaCl

Το διάλυμα παρασκευάζεται χρησιμοποιώντας αποσταγμένο νερό, στο οποίο αναμιγνύουμε υπερκαθαρό NaCl ώστε τελικά να αποκτήσει περιεκτικότητα 3,5 % κ.β. $\pm 0,1\%$. Το pH του διαλύματος πρέπει να κυμαίνεται από 6,4 έως 7,2 γι' αυτό το λόγο μετριέται κάθε μέρα ώστε να διατηρείται σε αυτά τα επίπεδα. Όταν το pH είναι υψηλότερο προσθέτουμε HCl έως ότου κατέβει στα επιθυμητά επίπεδα. Εάν είναι κάτω από 6,4 τότε προσθέτουμε διάλυμα NaOH. Η σχέση μεταξύ της επιφάνειας των δοκιμίων και της ποσότητας του διαλύματος είναι 32 ml/cm^2 . Με δεδομένες τις διαστάσεις των 24 δοκιμίων που χρησιμοποιήσαμε για κάθε πείραμα, η ποσότητα του διαλύματος στη δεξαμενή είναι 27,3 lt. Κατά περιόδους επιβάλλεται να συμπληρώνεται το νερό που χάνεται λόγω εξάτμισης. Το διάλυμα ανανεώνεται κάθε εβδομάδα με φρέσκο.

4.2.5 Συνθήκες αέρα

Η θερμοκρασία του αέρα πρέπει να διατηρείται στους $27 \pm 1 \text{ }^\circ \text{C}$ καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής η οποία ελέγχεται με το σύστημα κλιματισμού του εργαστηρίου. Η υγρασία του αέρα θα πρέπει να κυμαίνεται γύρω στο $45 \pm 10\%$.

4.2.6 Καθαρισμός δοκιμίων

Πριν την εφαρμογή των πειραμάτων, τα δοκίμια πρέπει να καθαριστούν σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM G1-90 [9] για να απομακρυνθούν τυχόν λιπαντικά ή ακαθαρσίες που θα επηρεάσουν τα πειράματα. Ακόμα τα δοκίμια πρέπει να καθαρίζονται και όταν απομακρυνθούν από το πείραμα. Η προδιαγραφή ASTM G1-90 για τον ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να καθαριστούν τα δοκίμια έτσι ώστε να απομακρυνθούν τα προϊόντα της διάβρωσης και τα άλατα που έχουν επικαθίσει στο υλικό. Μόλις τα δοκίμια απομακρύνονται από τη πειραματική διάταξη εμβαπτίζονται σε διάλυμα 10% HNO_3 θερμοκρασίας 60°C για 20 λεπτά

4.2.7 Μεθοδολογία

Πριν ξεκινήσει το πείραμα πρέπει να ετοιμαστεί το διάλυμα 3,5% NaCl και να γεμίσουμε μ' αυτό τις δεξαμενές, αφού πρώτα καθαριστούν καλά. Στη συνέχεια πρέπει να μετρηθεί το pH του διαλύματος και να ρυθμιστεί αν είναι αναγκαίο ώστε να είναι στα όρια που καθορίζει η προδιαγραφή. Στη συνέχεια πρέπει να ρυθμιστούν οι χρονοδιακόπτες στους σωστούς χρόνους. Τα δοκίμια καθαρίζονται σύμφωνα με τη προδιαγραφή ASTM G1-90, ζυγίζονται και τοποθετούνται στη δεξαμενή. Αφού ξεκινήσει το πείραμα, κάθε ημέρα πρέπει να γίνεται έλεγχος του pH και ρύθμιση του, αναπλήρωση του νερού, έλεγχος της θερμοκρασίας, παρατήρηση των δοκιμίων και σημείωση σχολίων, έλεγχος των χρόνων παραμονής του διαλύματος στις δεξαμενές. Κάθε εβδομάδα ανανεώνεται το διάλυμα. Για αυτό το πείραμα έχουμε χρησιμοποιήσει 6 δοκίμια από κάθε μία από τις τέσσερις επιφάνειες που κατεργάστηκαν στο τόρνο με διαφορετικές συνθήκες κοπής. Κάθε δοκίμιο όταν αφαιρεθεί από το πείραμα, καθαρίζεται σύμφωνα με τη προδιαγραφή ASTM G1-90, ζυγίζεται, τραχυμετρείται και αρχειοθετείται. Σημειώνεται η μέρα και ώρα που βγήκε από τη διαδικασία και γίνεται οπτική παρατήρηση των δοκιμίων στο στερεοσκόπιο του εργαστηρίου υλικών τύπου Leica WILD M3Z και οι στερεοσκοπικές πάθηκαν με τη φωτογραφική μηχανή τύπου Leica DC 300. Όταν αφαιρούνται δοκίμια αφαιρείται και η ανάλογη ποσότητα διαλύματος έτσι ώστε να έχουμε τις ίδιες συνθήκες σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η ζύγιση των δοκιμίων για αυτή τη δοκιμή έγινε στη ζυγαριά τύπου Precisa 120A (C3T Calibration Certified Cal. Due 7-10-04) ακρίβειας 0.0001 gr.

4.3 Περιγραφή πειράματος επιταχυνόμενης διάβρωσης με τη χρήση διαλύματος τριχλωριούχου σιδήρου ($FeCl_3$).

4.3.1 Σκοπός του πειράματος.

Αυτή η δοκιμή χρησιμοποιείται για το προσδιορισμό της αντοχής /αντίστασης των ανοξειδωτων χαλύβων και των συγγενών κραμάτων στην τρηματική διάβρωση σε χλωριούχα περιβάλλοντα [10] Η χρήση του διαλύματος τριχλωριούχου σιδήρου ($FeCl_3$) δικαιολογείται γιατί μοιάζει (χωρίς να είναι το ίδιο), με αυτό που υπάρχει μέσα στα διαβρωτικά τρήματα κραμάτων σιδήρου που βρέθηκαν σε χλωριούχα περιβάλλοντα. Η συμπεριφορά των κραμάτων στο διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου έχει συσχετιστεί με τη συμπεριφορά σε συγκεκριμένα πραγματικά περιβάλλοντα όπως σε περιβάλλοντα ισχυρά οξειδωτικά, σε χλωριούχα περιβάλλοντα και στο φυσικό θαλασσινό νερό. Στη περίπτωση μας το υλικό είναι ο ανοξειδωτος χάλυβας 18-8 AISI 304, και ο σκοπός ήταν να προσδιοριστεί η αντίσταση στη διάβρωση και η σχέση της με την επιφανειακή τοπογραφία των δοκιμίων, χρησιμοποιήθηκαν 4 δοκίμια που το καθένα είχε διαφορετική τραχύτητα επιφανείας . Το πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη προδιαγραφή ASTM G48-92, μέθοδος A [10].

4.3.2 Διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου ($FeCl_3$).

Το διάλυμα παρασκευάζεται χρησιμοποιώντας αποσταγμένο νερό στο οποίο αναμιγνύουμε $FeCl_3$ σε στερεά μορφή ώστε τελικά να έχουμε περιεκτικότητα 7% κ.β. Έπειτα το διάλυμα φιλτραρίστηκε ώστε να απομακρυνθούν τα στερεά κατάλοιπα. Η ποσότητα του διαλύματος εξαρτάται από την επιφάνεια των δοκιμίων , η σχέση μεταξύ των διαστάσεων των δοκιμίων και της ποσότητας διαλύματος είναι $25 \frac{ml}{cm^2}$. Ξέροντας τις διαστάσεις των τεσσάρων δοκιμίων η ποσότητα του διαλύματος είναι 2726 ml .

4.3.3 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας.

Για αυτό το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 4 δοκίμια , ένα από κάθε επιφάνεια .

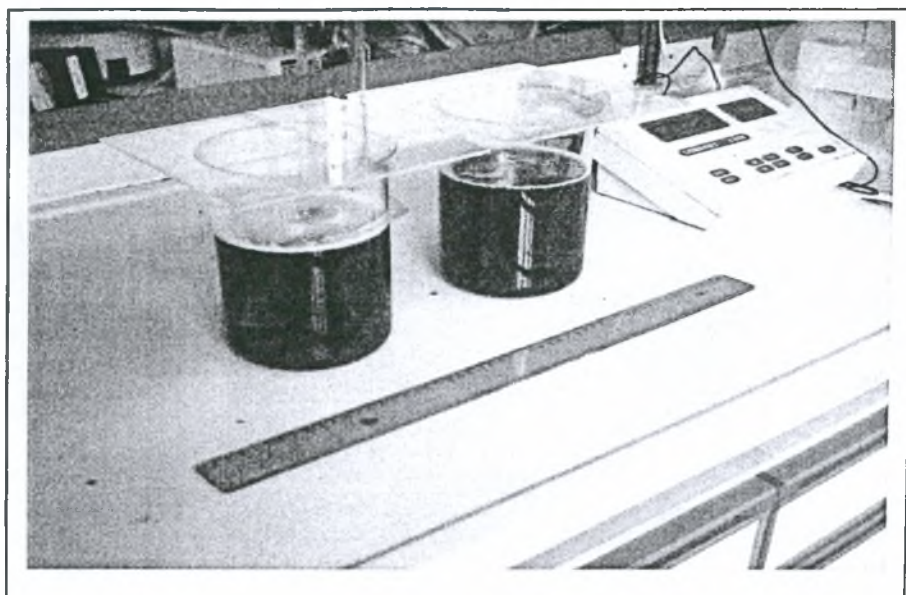
Αρχικά καθαρίστηκαν οι επιφάνειες των δοκιμίων, σύμφωνα με τη προδιαγραφή ASTM G48-92, με πάστα οξειδίου του μαγνησίου έπειτα καθαρίστηκαν με νερό και εμβαπτίστηκαν σε αιθανόλη.

Η θερμοκρασία ρυθμίστηκε στους $22^{\circ}\text{C} \pm 2$, με το κλιματιστικό του εργαστηρίου.

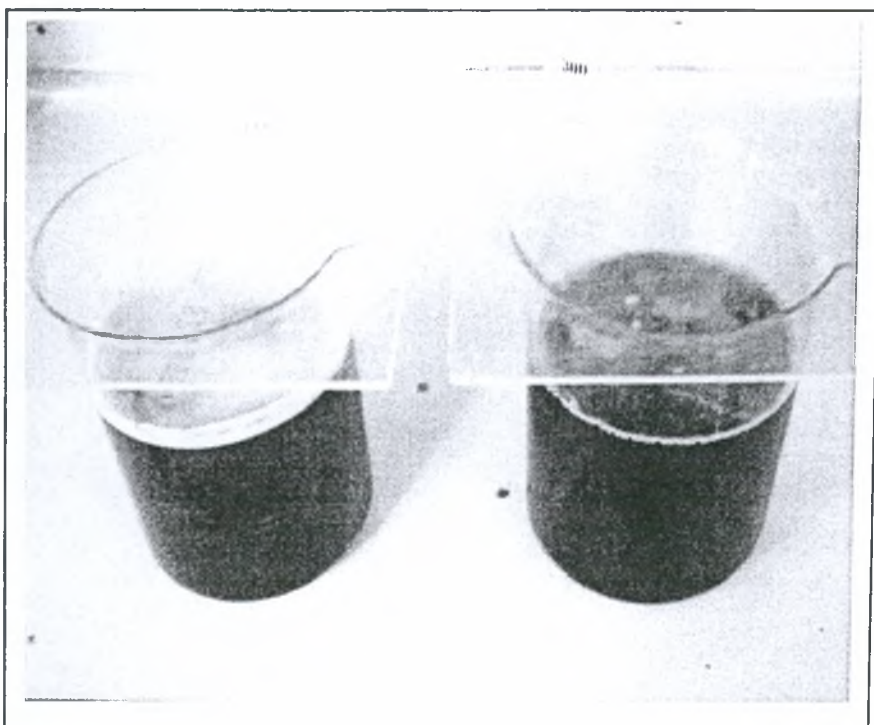
Το πείραμα άρχισε με την εμβάπτιση των δοκιμίων στο διάλυμα το οποίο βρισκόταν σε δύο γυάλινες δεξαμενές περιεκτικότητας 2 lt η κάθε μια. Η δεξαμενές καλύπτονταν με πλεξιγκλάς διαστάσεων 20x20 cm από τα οποία συγκρατιόνταν τα δοκίμια με μεσινέζα έτσι ώστε να μην εμποδίζουν την επαφή των δοκιμίων με το διάλυμα και να μην έρχονται τα δοκίμια σε επαφή με το δοχείο και μεταξύ τους. Σε κάθε δοχείο τοποθετήθηκαν δυο δοκίμια και είχαμε 1363 ml διαλύματος στο καθένα (Εικ. 4.8 και 4.9.)

Η διάρκεια του πειράματος ήταν 72 ώρες, ωστόσο τα δοκίμια αφαιρούνταν από το διάλυμα στις 24 και 48 ώρες για να ζυγιστούν και να και να υποστούν στερεοσκοπική ανάλυση ώστε να παρακολουθηθεί η εξέλιξη του φαινομένου τις διάβρωσης.

Μετά το πέρας των 72 ωρών τα δοκίμια καθαρίστηκαν, σύμφωνα με τη προδιαγραφή, πλύθηκαν με νερό και εμβαπτίστηκαν σε αιθανόλη. Έπειτα τραχυμετρήθηκαν για να διαπιστωθεί αν επηρεάστηκε η τραχύτητα της επιφανείας από τη διάβρωση. Τέλος για τον καλύτερο προσδιορισμό της διάβρωσης σε αυτό το πείραμα μετρήθηκε ο αριθμός των διαβρωτικών τρημάτων στις κατεργασμένες επιφάνειες των δοκιμίων με τον ακόλουθο τρόπο : κάθε επιφάνεια χωρίστηκε με ένα πλέγμα σε δέκα περιοχές, φωτογραφήθηκε κάθε περιοχή στο στερεοσκόπιο και μετρήθηκε ο αριθμός των τρημάτων σε κάθε περιοχή της επιφανείας. Από τις στερεοσκοπικές φωτογραφίες μετρήθηκαν και οι διαστάσεις των τρημάτων σε κάθε επιφάνεια με την βοήθεια ψηφιακής ανάλυσης της εικόνας.



Εικ. 4.8 Τα δοχεία που εξελίσσεται η δοκιμή επιταχυνόμενης διάβρωσης με εμφύπτιση σε διάλυμα FeCl_3



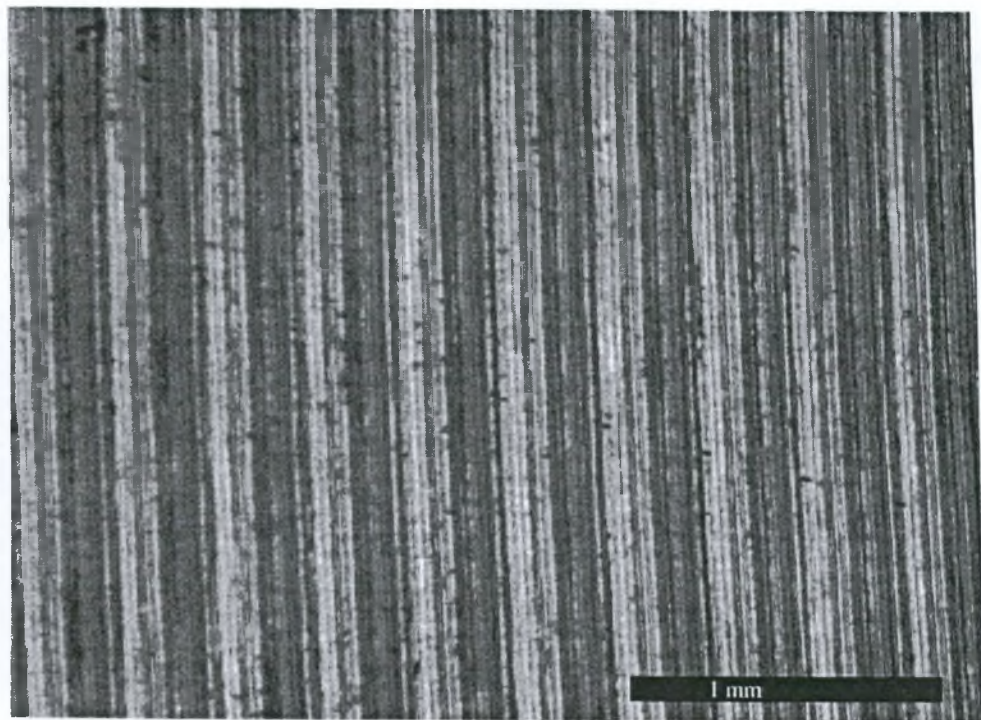
Εικ. 4.9 Τα δοχεία που εξελίσσεται η δοκιμή επιταχυνόμενης διάβρωσης με εμφύπτιση σε διάλυμα FeCl_3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

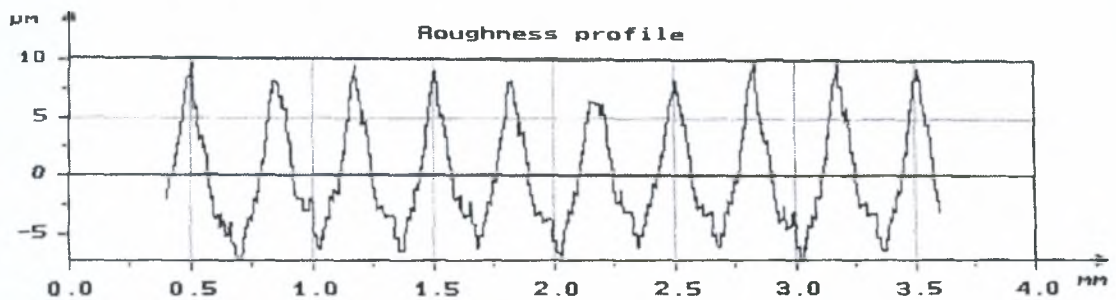
5.1 Αποτελέσματα της Δοκιμής Επιταχυνόμενης Διάβρωσης με Διαδοχικές Εμβαπτίσεις (Α.Ι.Τ)

Επιφάνεια δοκιμίων 1:



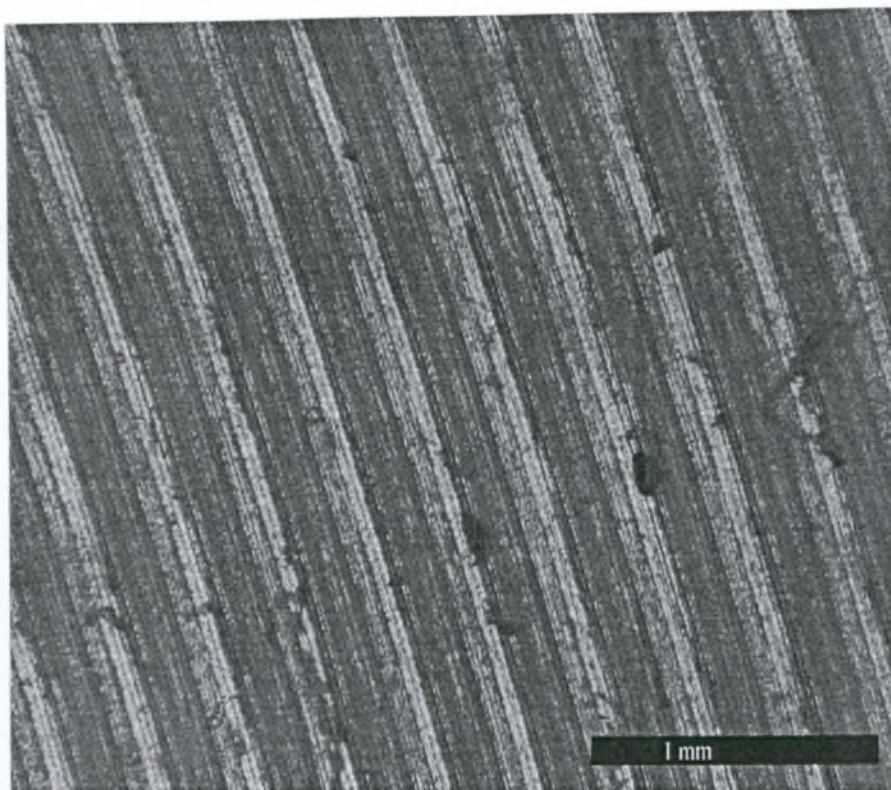
Εικ. 5. 1 Στερεοσκοπία της επιφάνειας των δοκιμίων της σειράς 1, πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας

Τραχυμέτρηση 1:



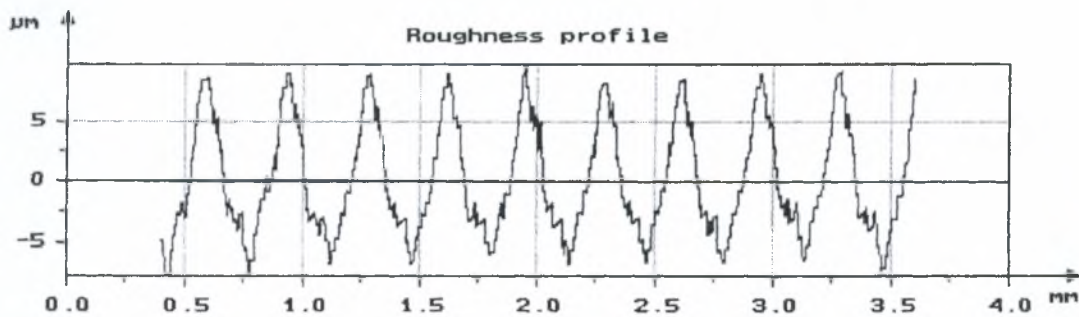
$R_a=3.93\mu\text{m}$	$R_p=10.2\mu\text{m}$	$R_t=17.4\mu\text{m}$	$R_q=4.51\mu\text{m}$	$R_{sk}=0.44$	$R_{ku}=1.98$
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------	---------------

Δοκίμιο 1.1 :



Εικ. 5. 2 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.1 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 35 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

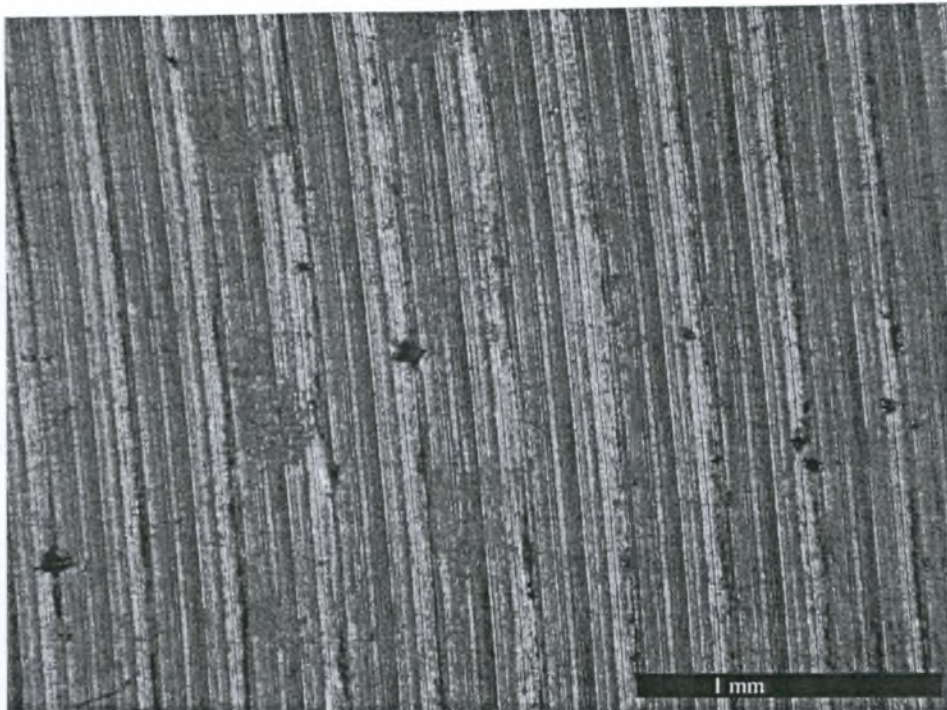
Τραχυμέτρηση 1.1 :



Ra=4.01μm	Rp=9.76μm	Rt=17.5μm	Rq=4.62μm	Rsk=0.46	Rku=1.99
-----------	-----------	-----------	-----------	----------	----------

Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
38,491	38,487	0,004	0,010392

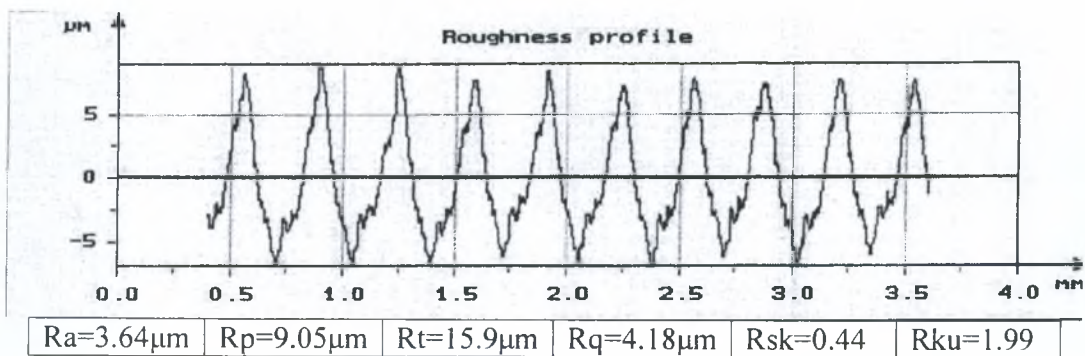
Δοκίμιο 1.2



Εικ. 53 Στερεοσκοπία του δοκίμιου 1.2 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 50 ημέρες, (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

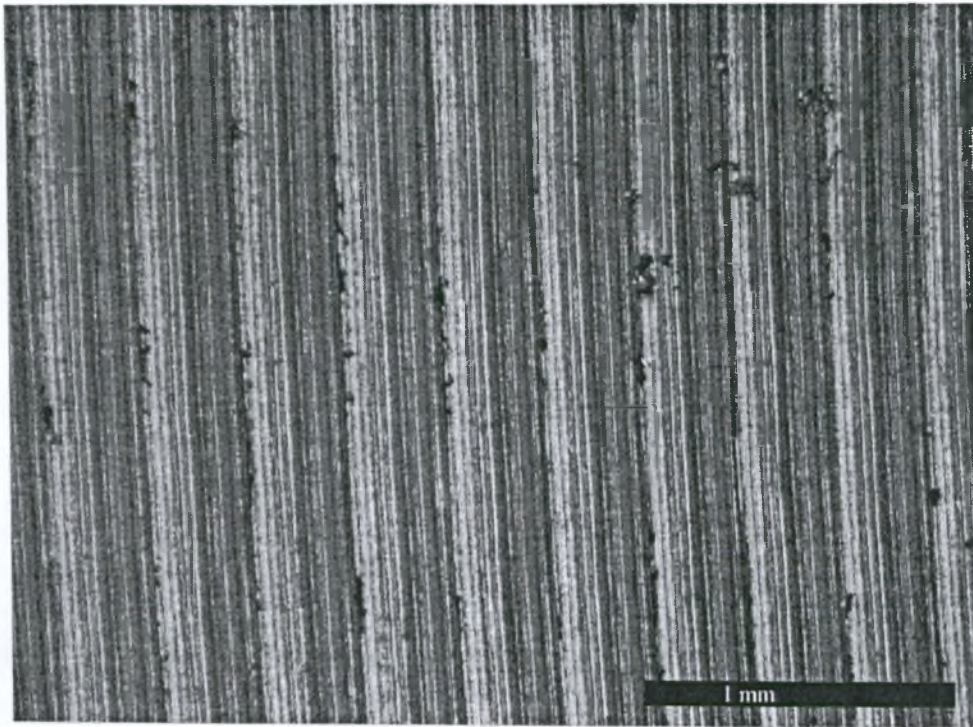


Τραχυμέτρηση 1.2 :



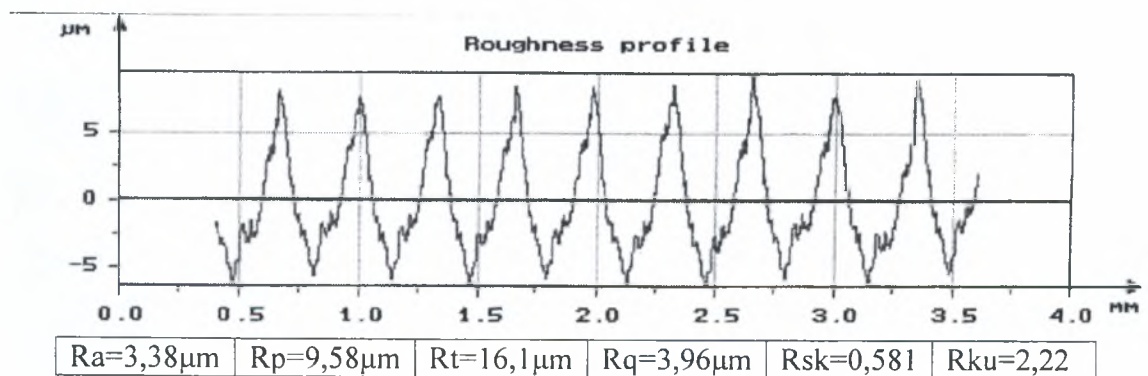
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
39,017	39,012	0,004	0,012815

Δοκίμιο 1,3



Εικ. 5. 4 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.3 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 65 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

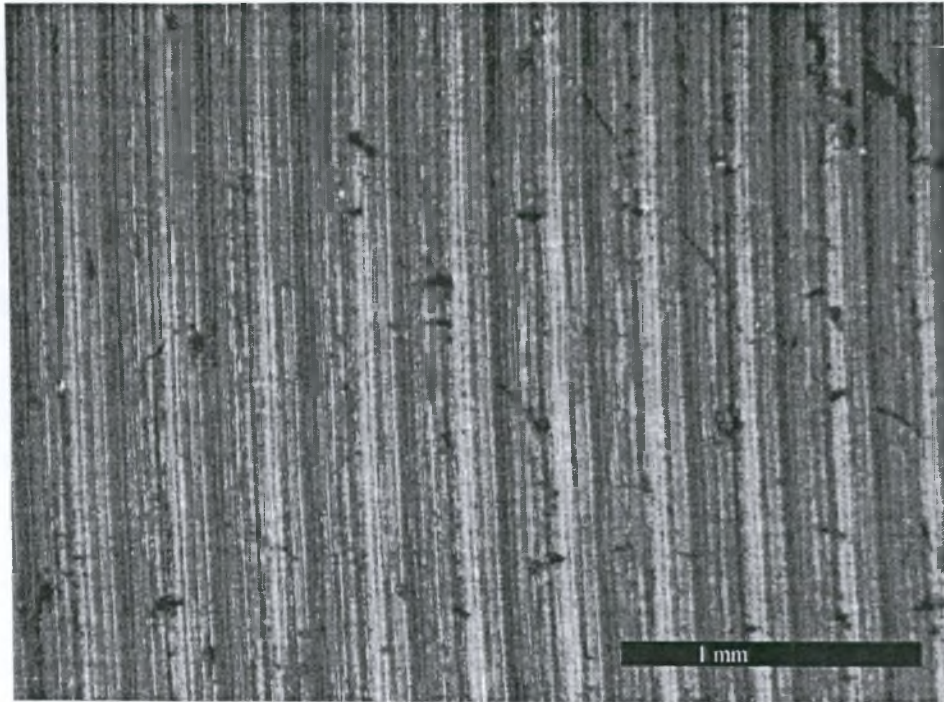
Τραχυμέτρηση 1.3 :



Απώλεια βάρους:

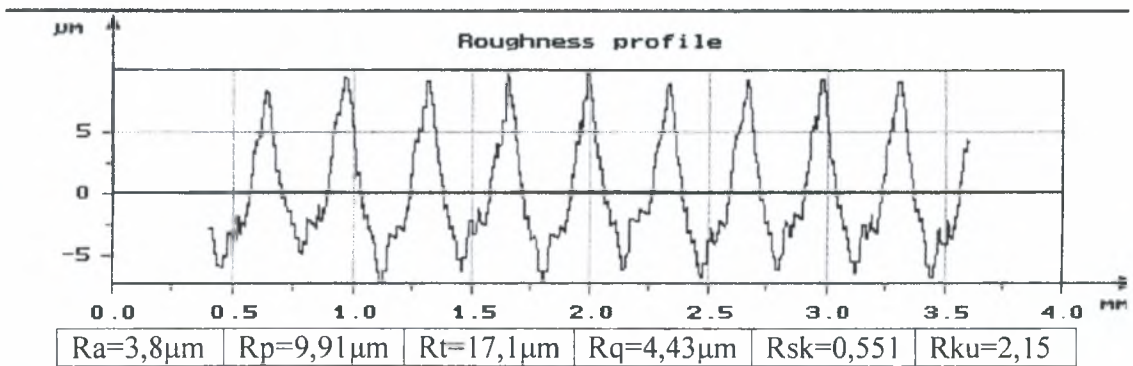
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
32,551	32,539	0,012	0,036865

Δοκίμιο 1,4



Εικ. 5. 5 Στερεοσκοπία του δοκίμιου 1.4 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 80 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

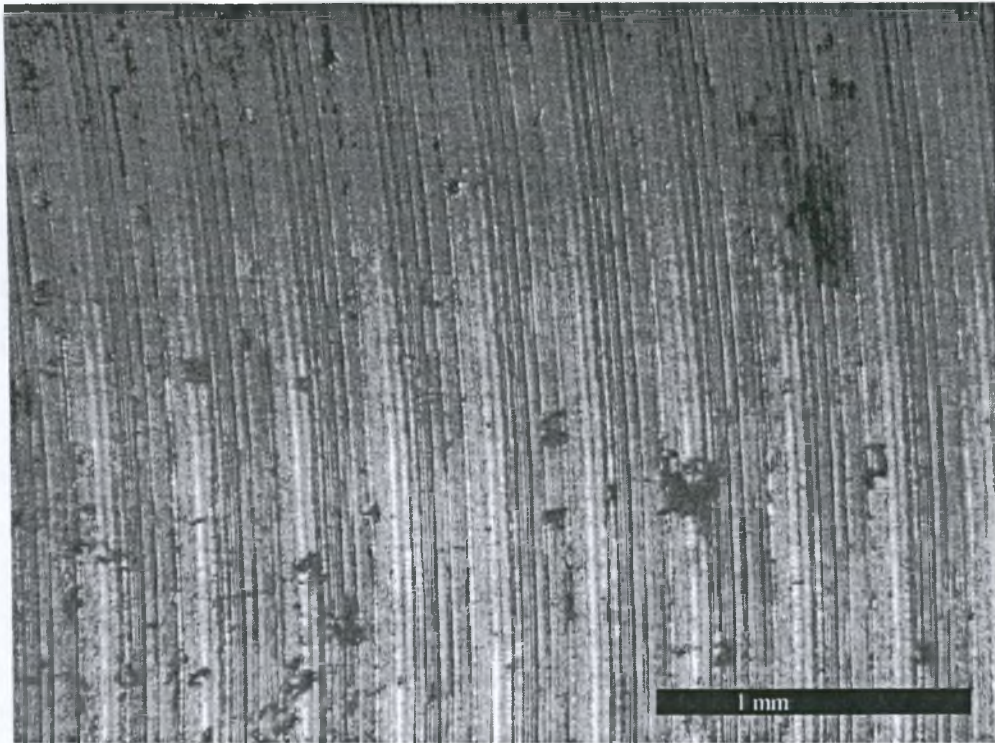
Τραχυμέτρηση 1.4 :



Απώλεια βάρους:

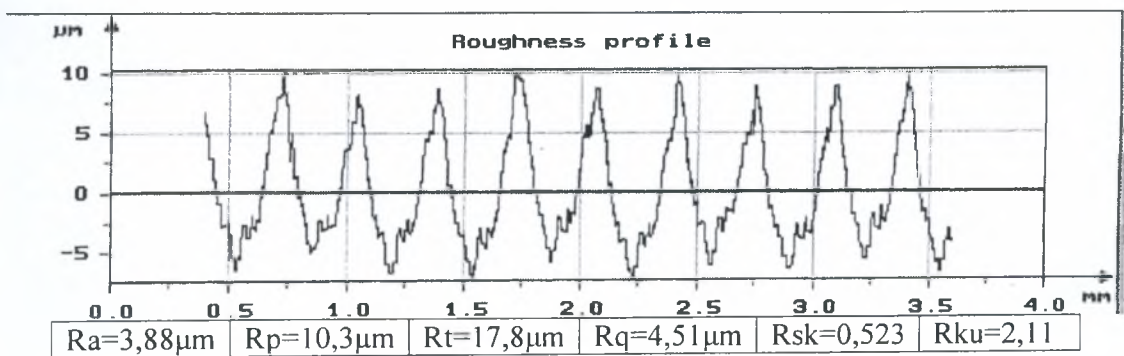
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
32,37	32,357	0,013	0,040161

Δοκίμιο 1,5



Εικ. 5. 6 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.5 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 95 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

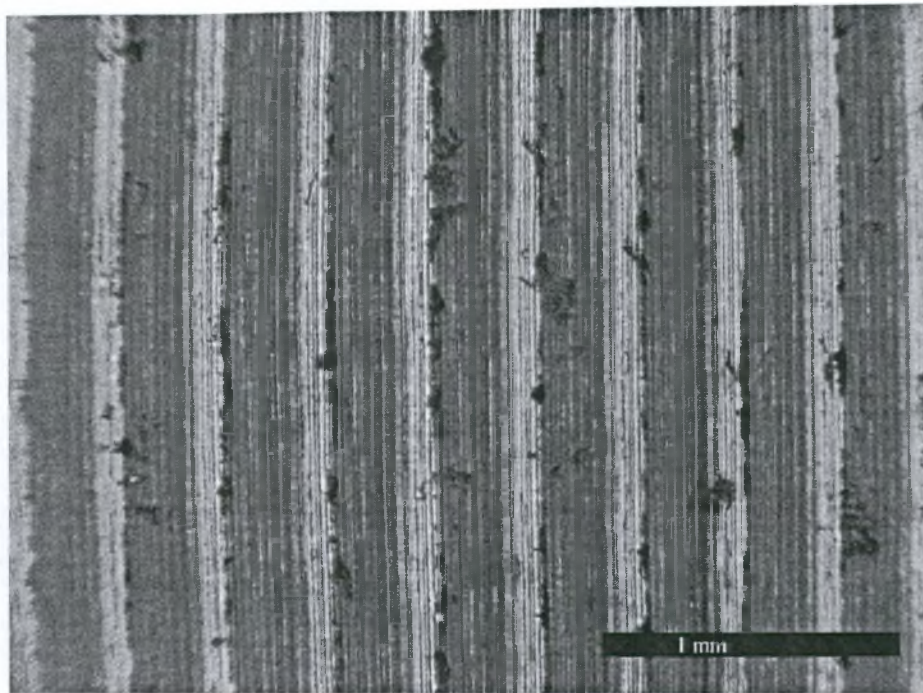
Τραχυμέτρηση 1.5:



Απώλεια βάρους:

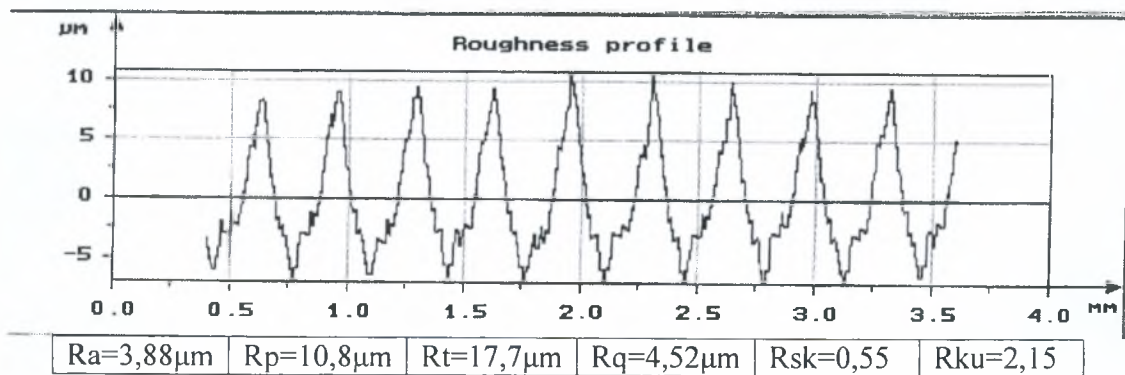
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
33,301	33,287	0,014	0,042041

Δοκίμιο 1,6



Εικ. 5. 7 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.6 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 110 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

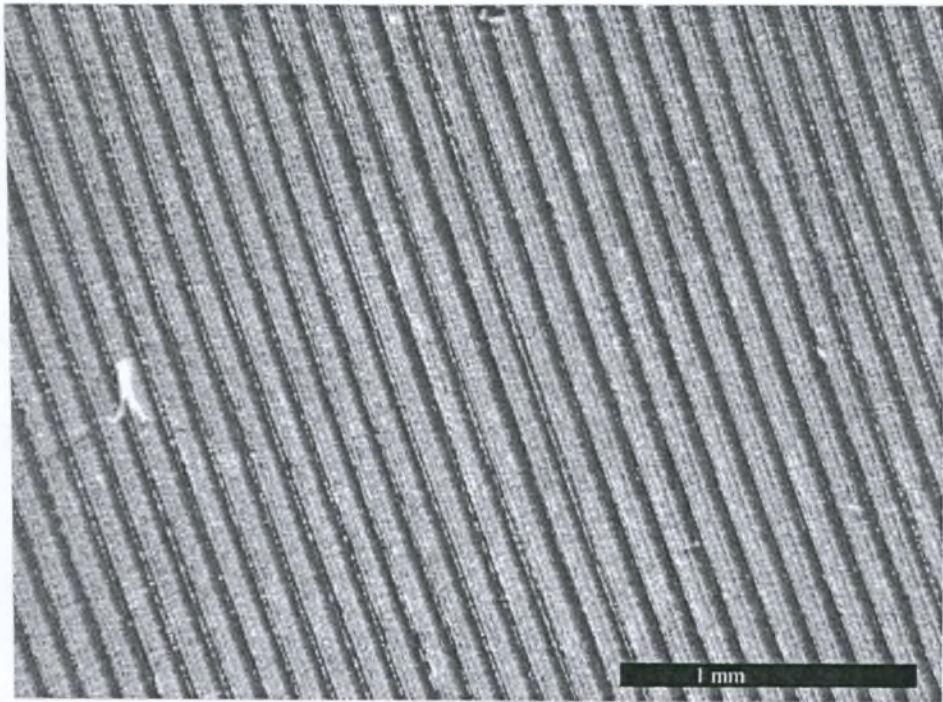
Τραχυμέτρηση 1.6:



Απώλεια βάρους:

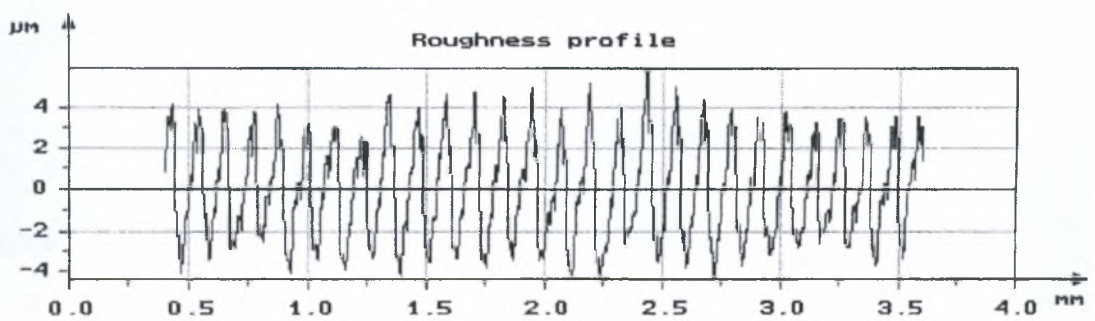
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
37,576	37,558	0,018	0,047903

Επιφάνεια δοκιμίων 2



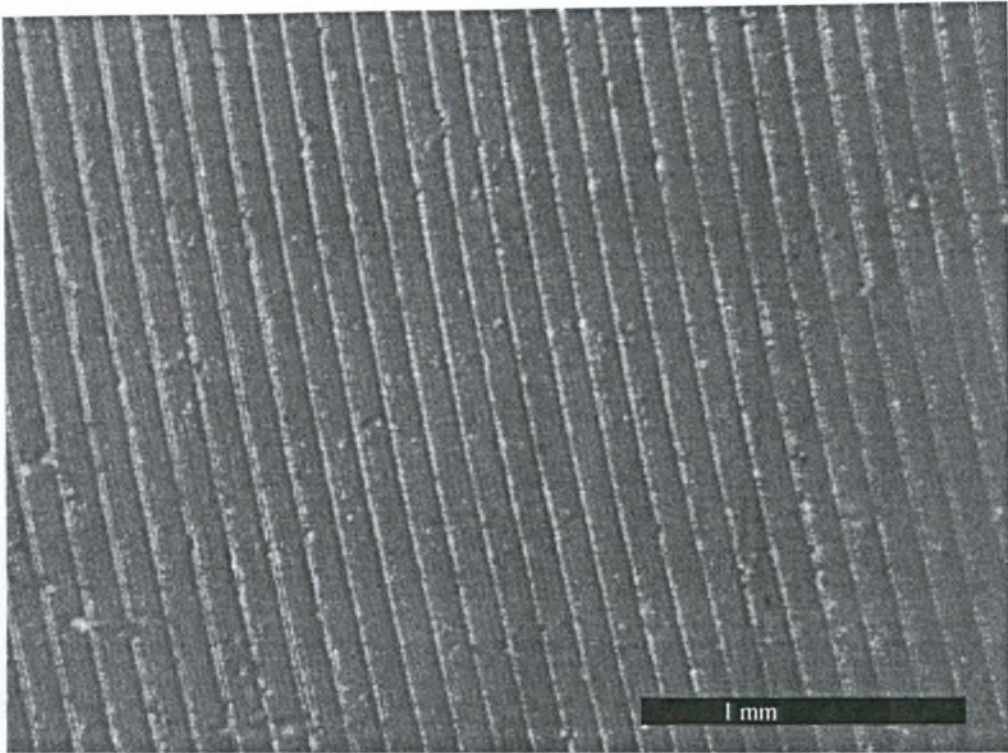
Εικ. 5. 8 Στερεοσκοπία της επιφάνειας των δοκιμίων της σειράς 1, πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας

Τραχυμέτρηση 2 :



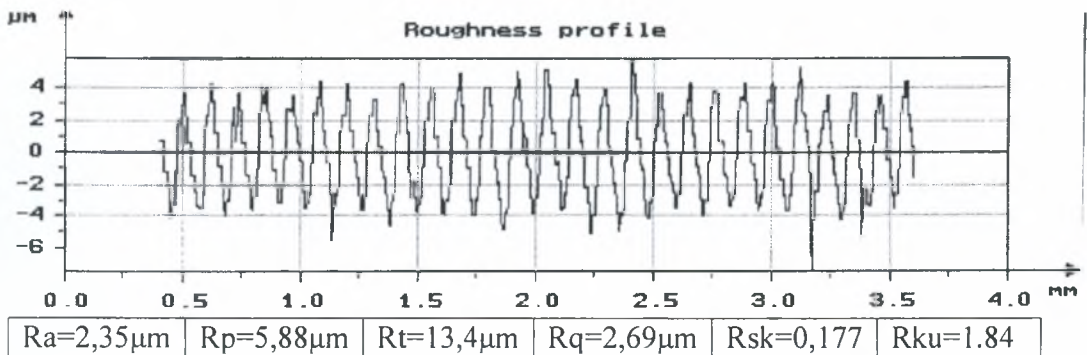
Ra=2.14μm	Rp=5.98μm	Rt=10.4μm	Rq=2.44μm	Rsk=0.135	Rku=1.79
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------

Δοκίμιο 2.1



Εικ. 5-9 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.1 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 35 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

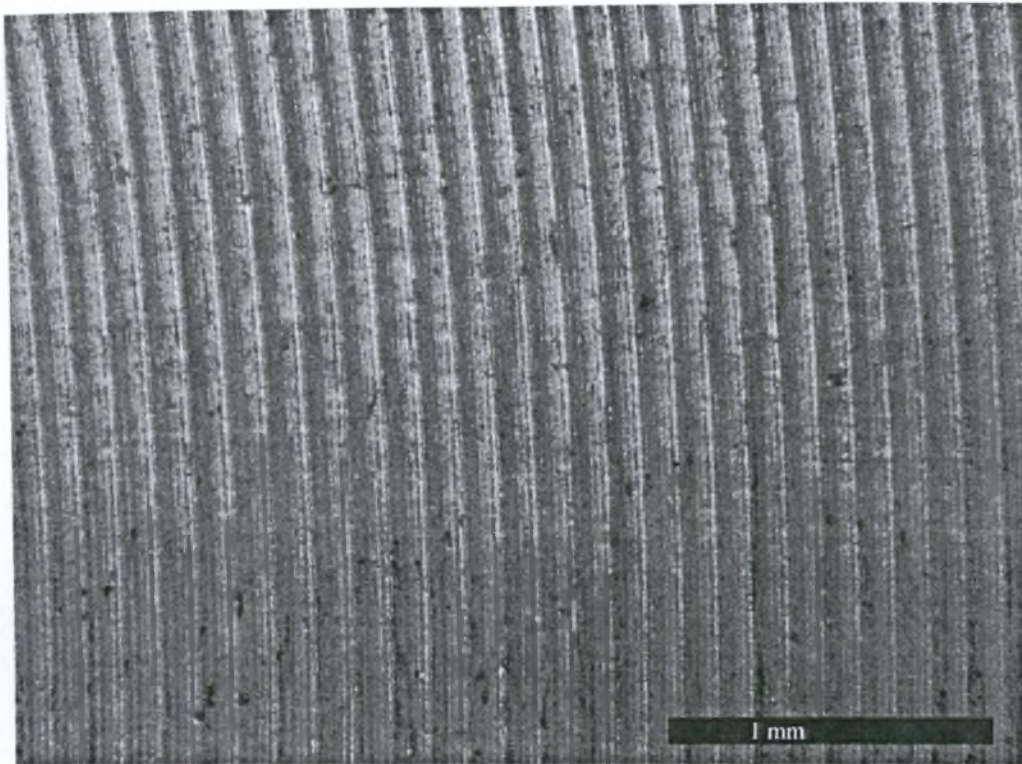
Τραχυμέτρηση 2.1:



Απώλεια βάρους:

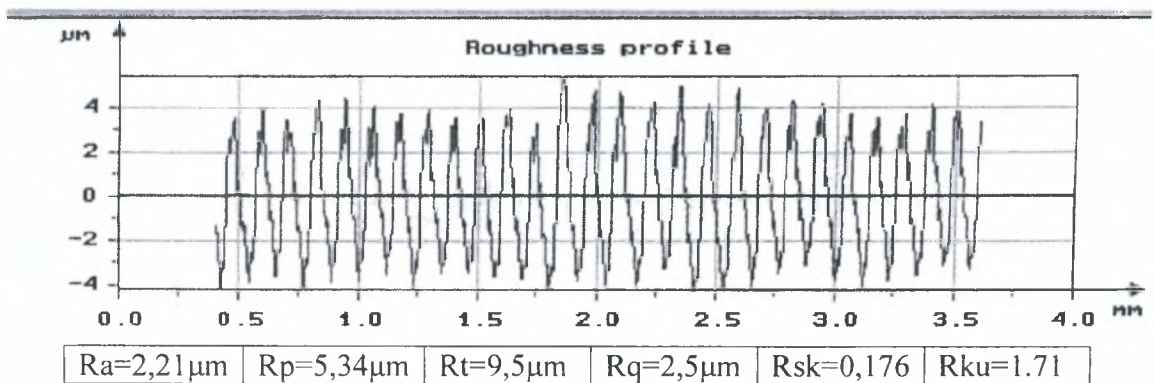
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
34,024	34,02	0,004	0,011756

Δοκίμιο 2.2



Εικ. 5-10 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.2 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 50 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση.

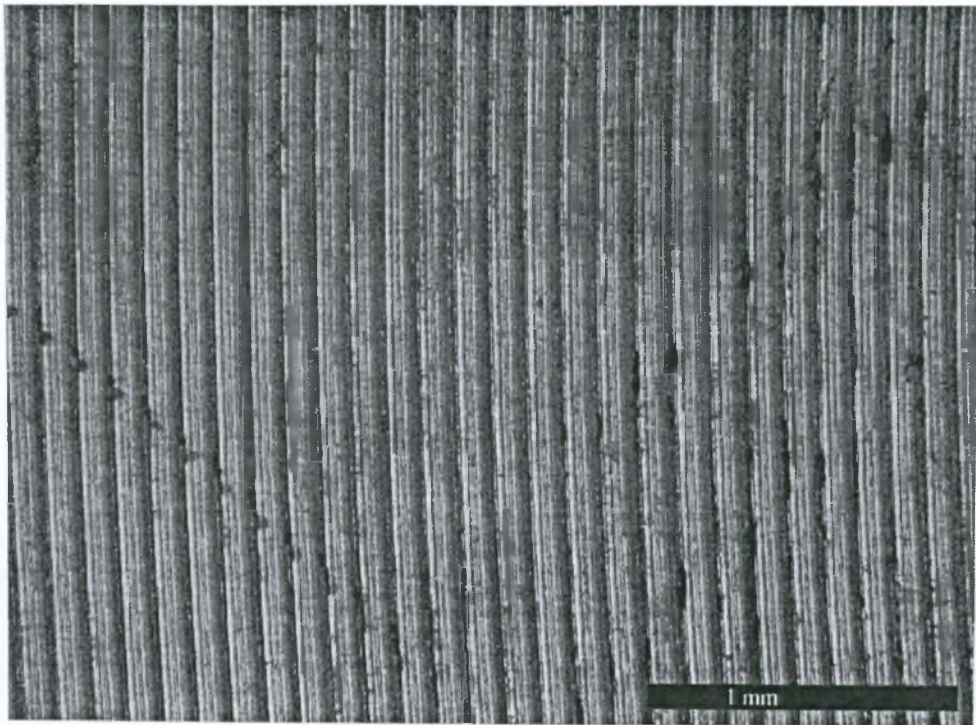
Τραχυμέτρηση 2.2:



Απώλεια βάρους:

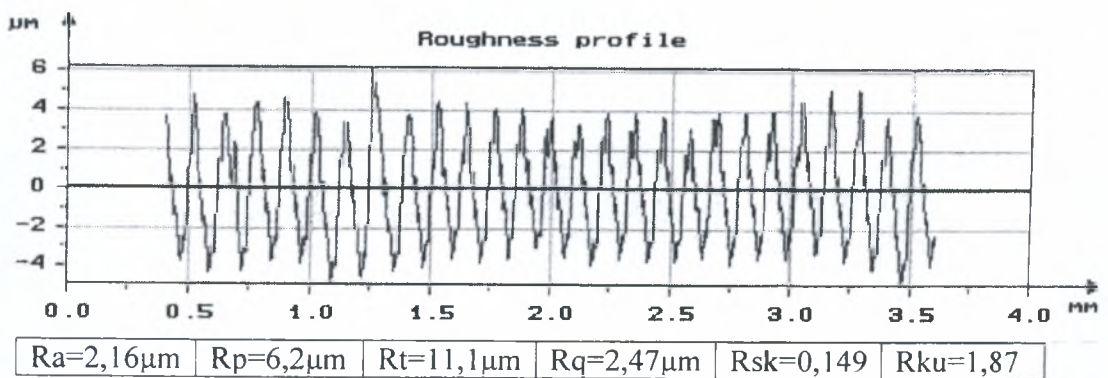
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
39,454	39,449	0,004	0,012166

Δοκίμιο 2,3



Εικ. 5-11 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.3 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 65 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

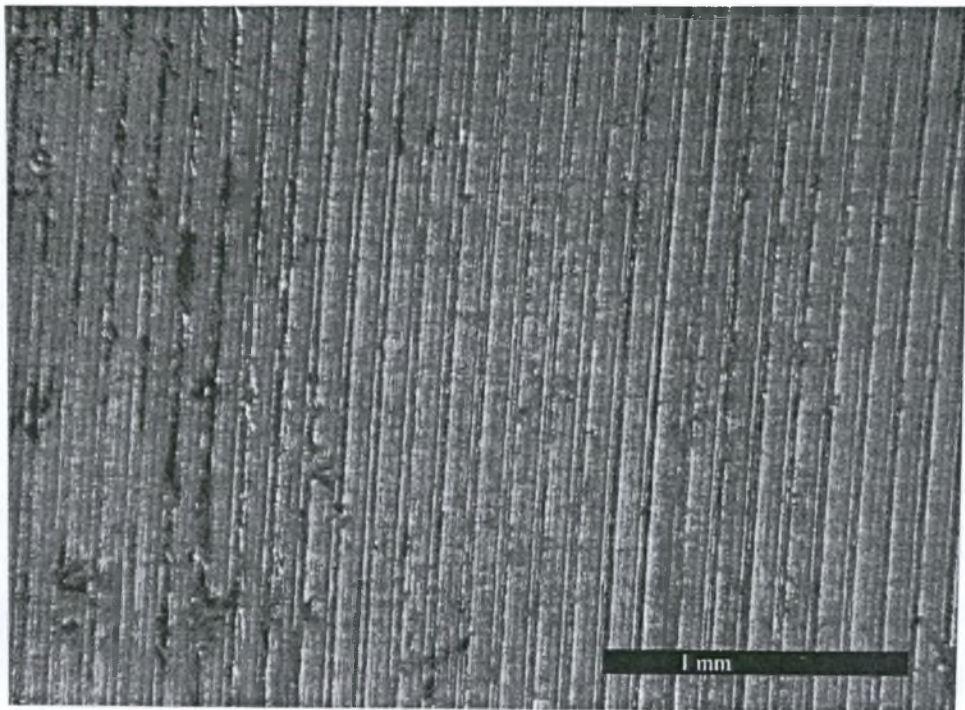
Τραχυμέτρηση 2.3 :



Απώλεια βάρους:

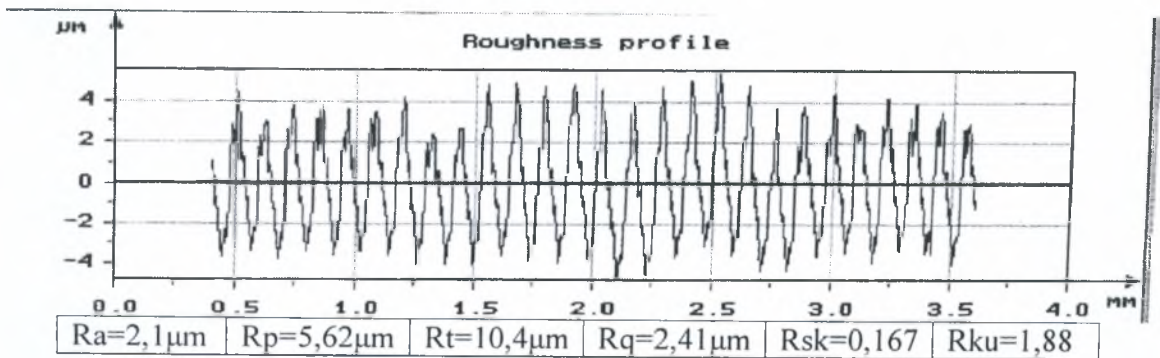
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
36,279	36,272	0,007	0,019295

Δοκίμιο 2,4



Εικ. 5-12 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.4. Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 80 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

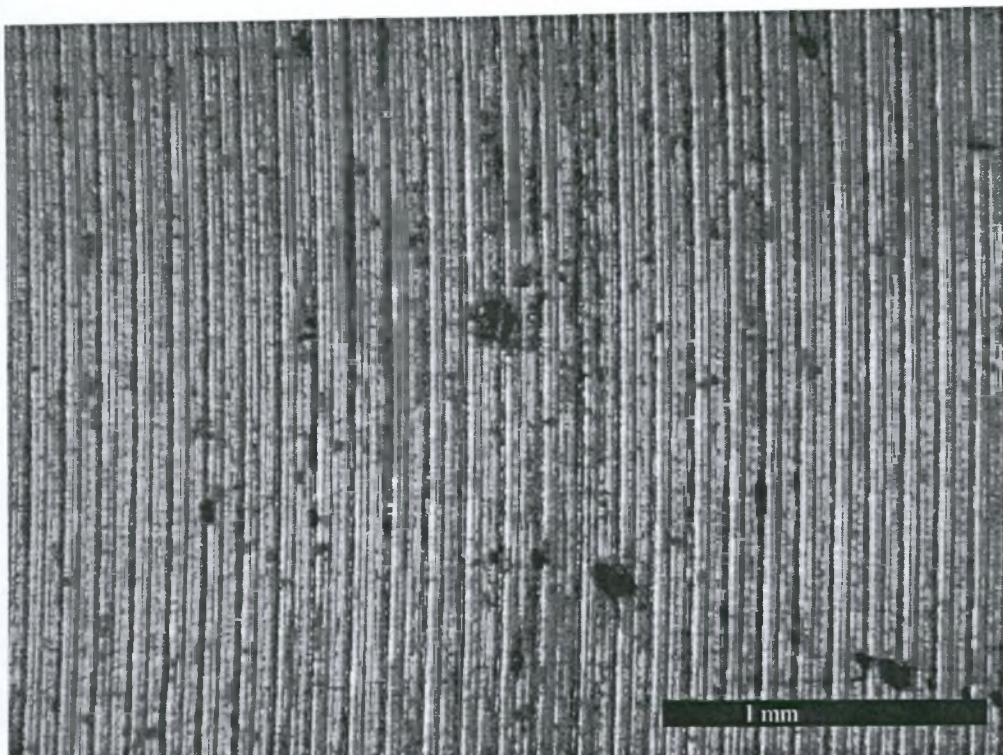
Τραχυμέτρηση 2.4 :



Απώλεια βάρους:

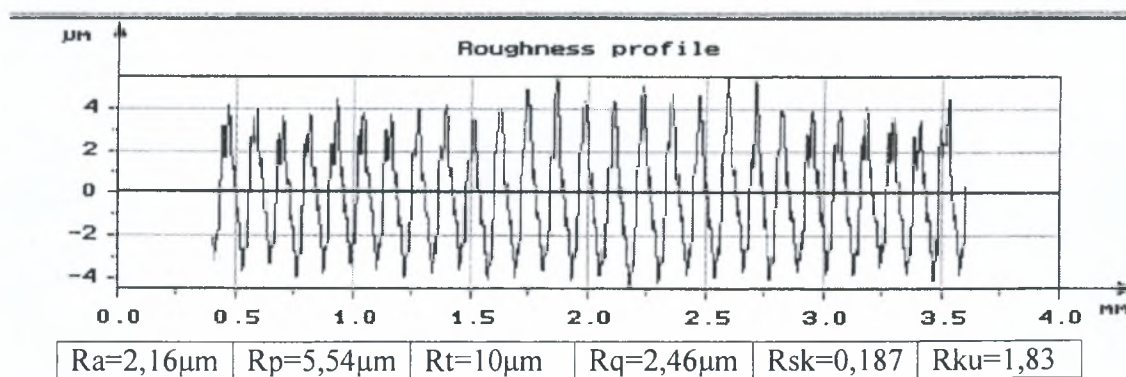
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος(gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
34,406	34,397	0,009	0,026158

Δοκίμιο 2,5



Εικ. 5-13 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.5 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 95 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

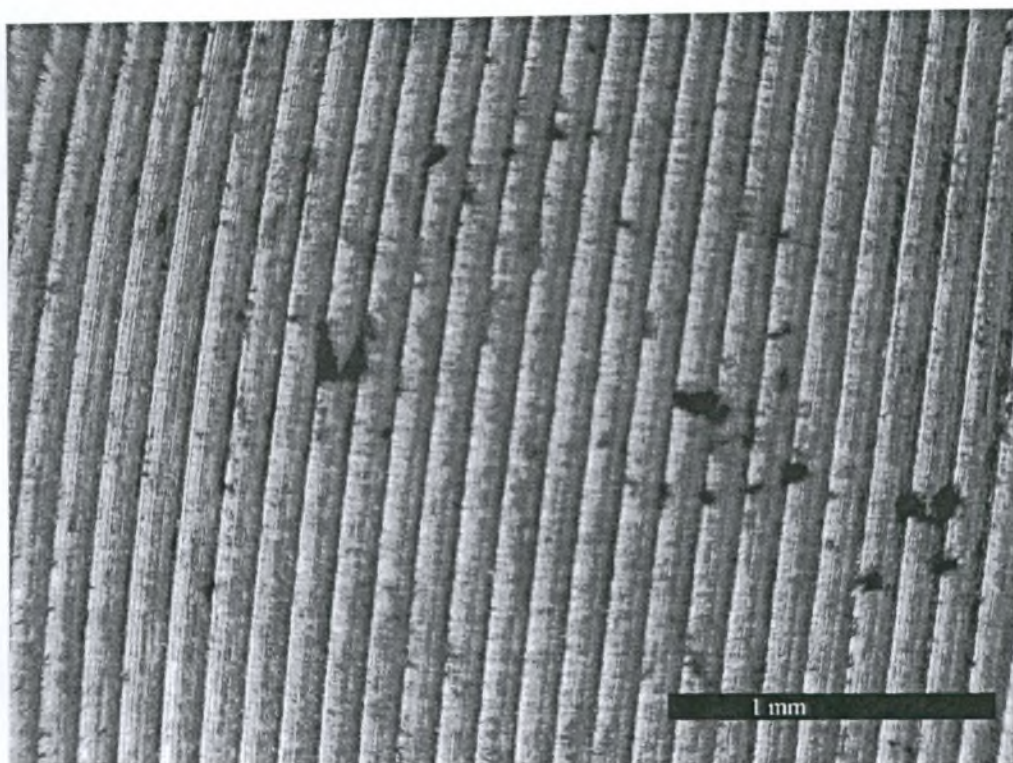
Τραχυμέτρηση 2.5 :



Απώλεια βάρους:

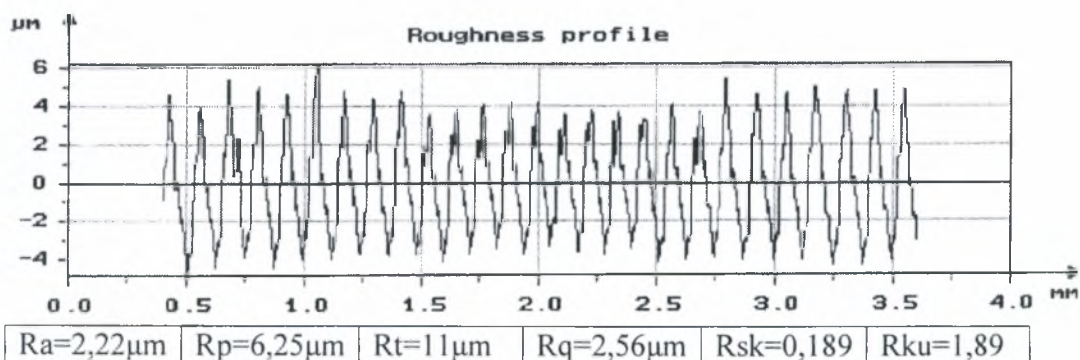
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
38,796	38,786	0,01	0,025776

Δοκίμιο 2,6



Εικ. 5-14 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.6 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 110 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

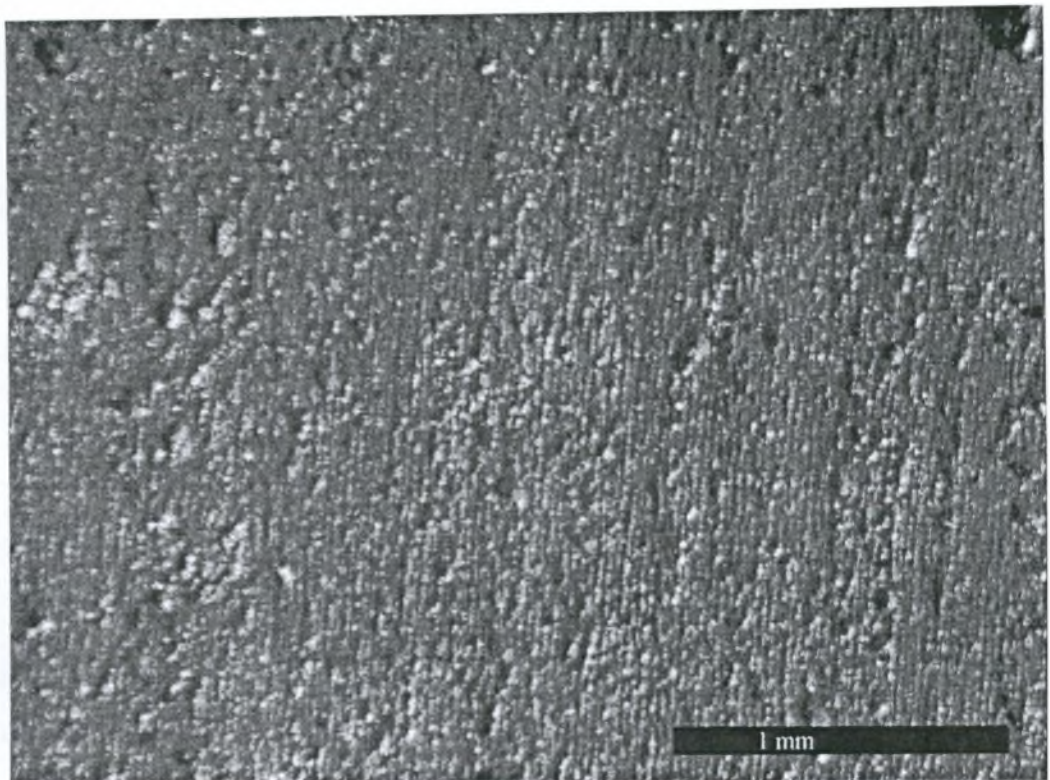
Τραχυμέτρηση 2.6 :



Απώλεια βάρους:

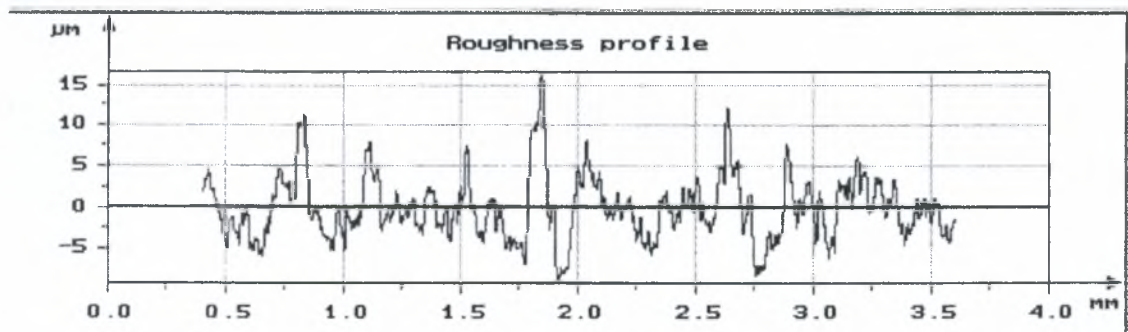
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
40,612	40,597	0,015	0,036935

Επιφάνεια δοκιμίων 3



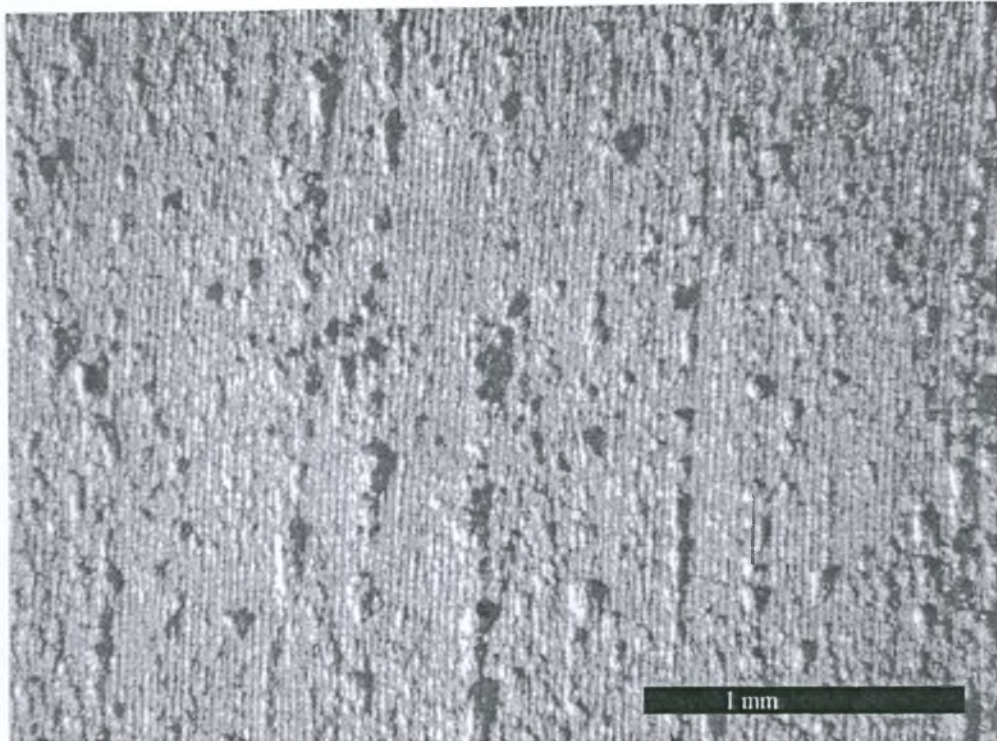
Εικ. 5. 15 Στερεοσκοπία της επιφάνειας των δοκιμίων της σειράς 3, πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας

Τραχυμέτρηση 3:



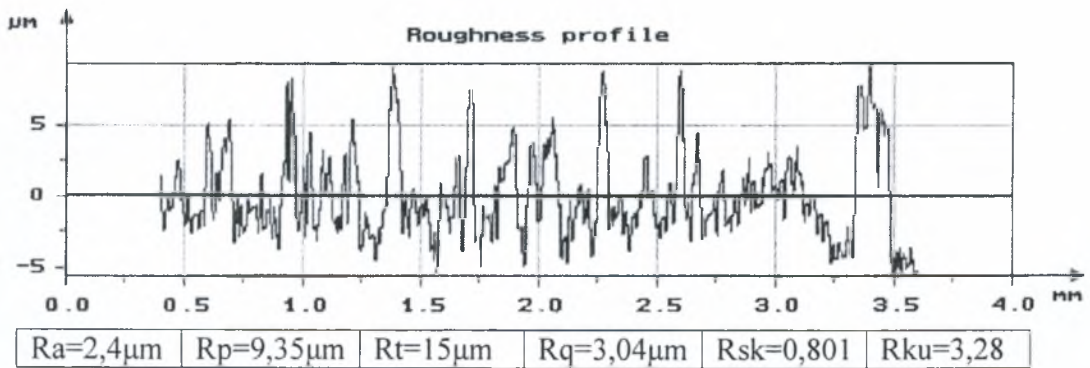
Ra=2.94μm	Rp=16.5μm	Rt=25.8μm	Rq=3.89μm	Rsk=0.802	Rku=4.46
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------

Δοκίμιο 3.1



Εικ. 5.16 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.1 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 35 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

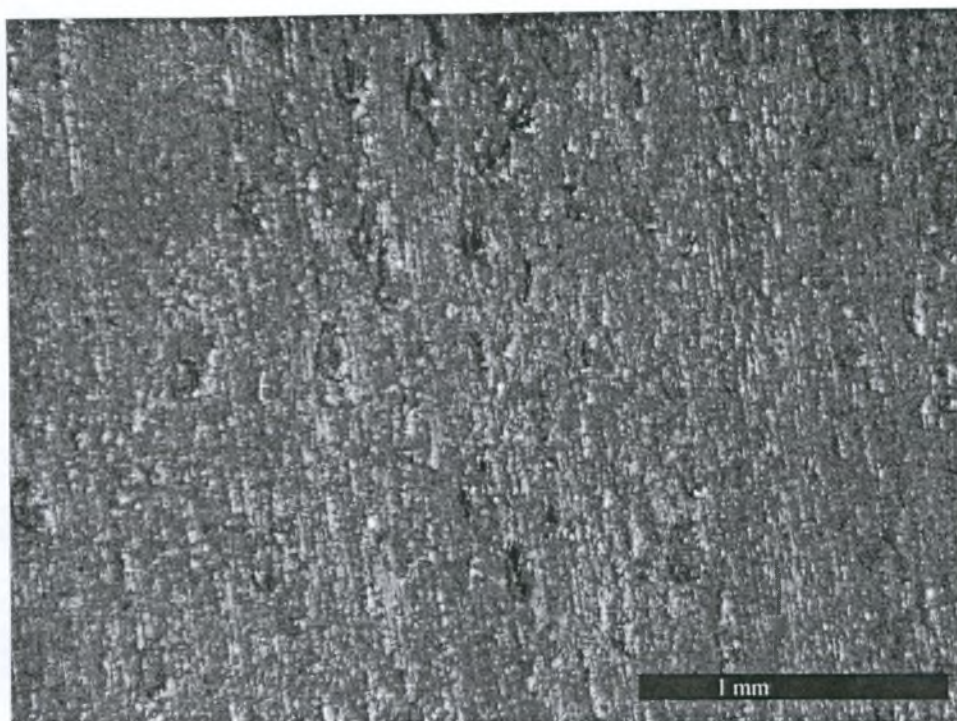
Τραχυμέτρηση 3.1:



Απώλεια βάρους:

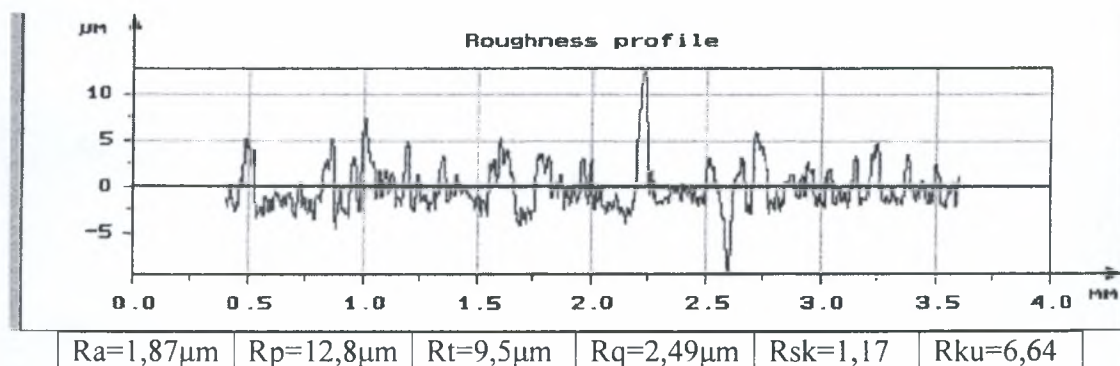
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
31,972	31,969	0,003	0,009383

Δοκίμιο 3.2



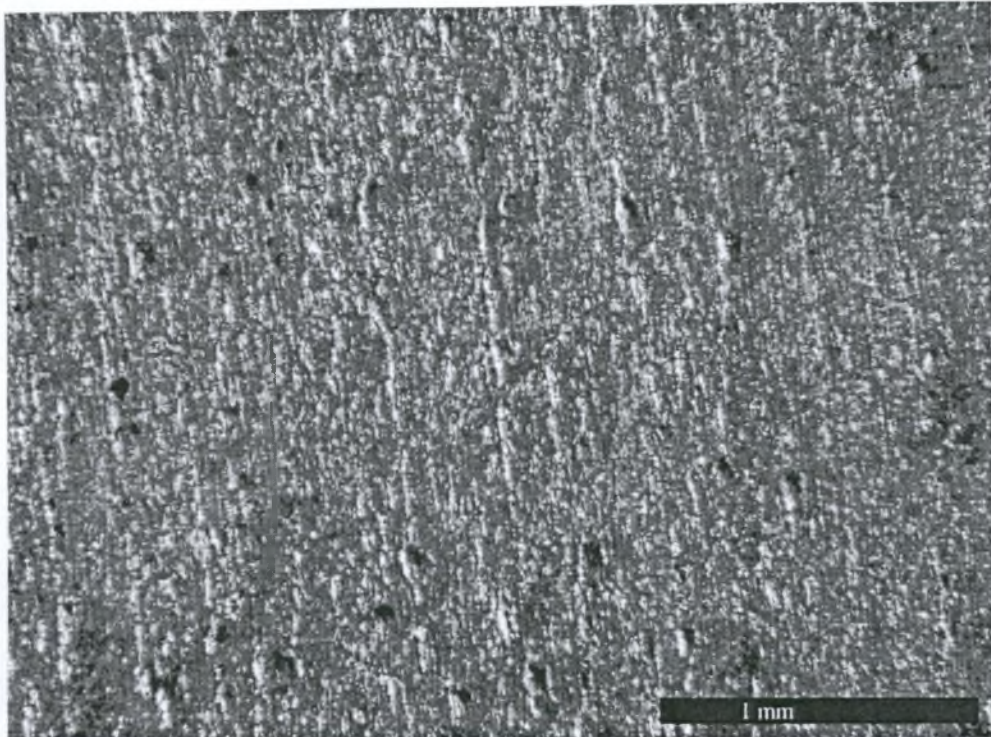
Εικ 5.17 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.2 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 50 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

Τραχυμέτρηση 3.2 :



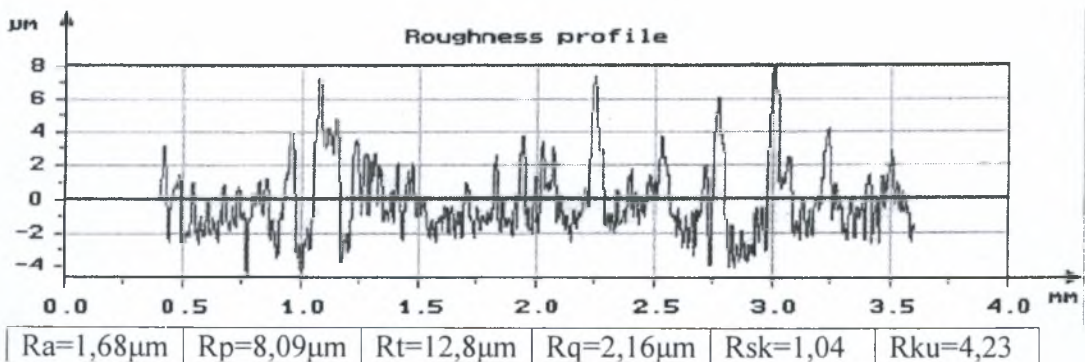
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
37,338	37,334	0,004	0,010713

Δοκίμιο 3.3



Εικ. 5.18 Στερεοσκοπία του δοκίμιου 3.3. Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 65 μέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

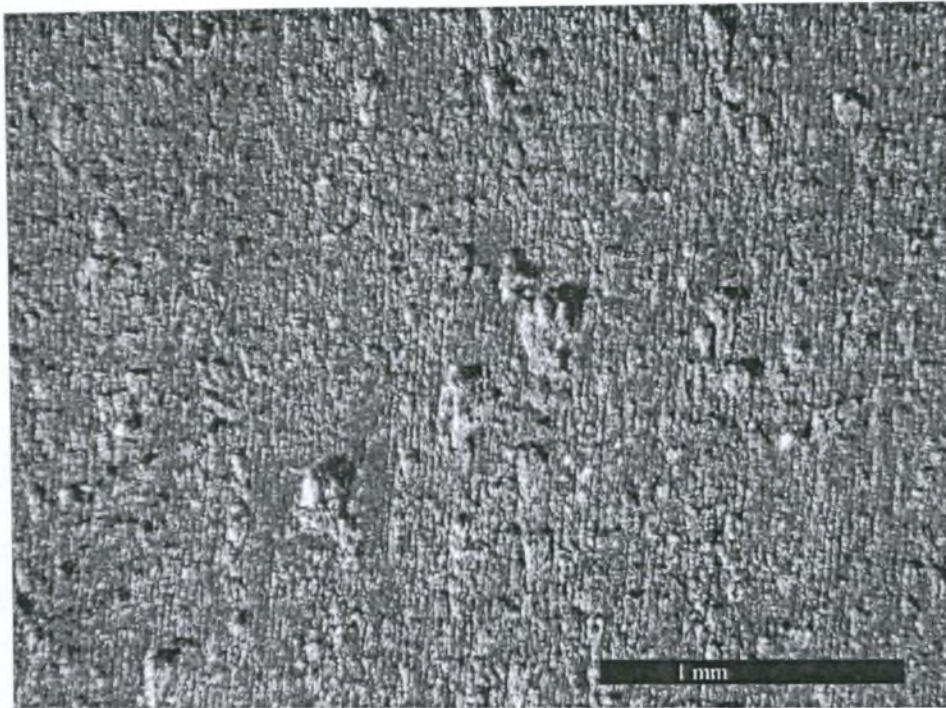
Τραχυμέτρηση 3.3:



Απώλεια βάρους:

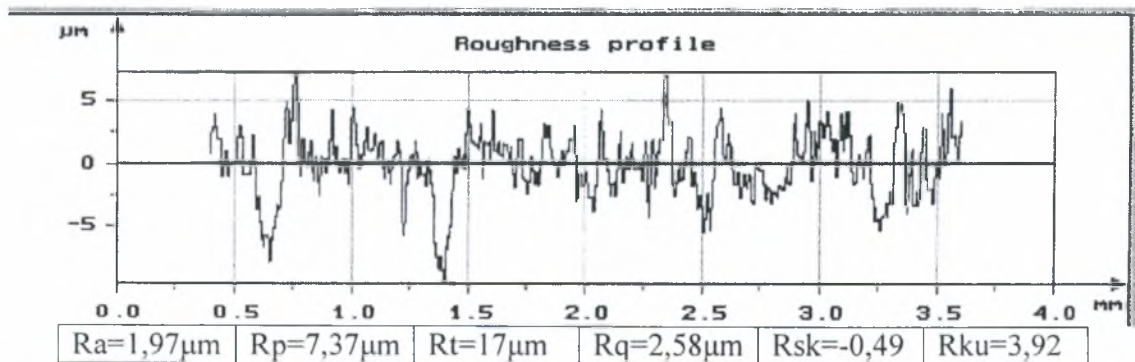
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος(gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
37,108	37,098	0,01	0,026948

Δοκίμιο 3.4



Εικ. 5.19 Στερεοσκοπία του δοκίμιου 3.4 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 80 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

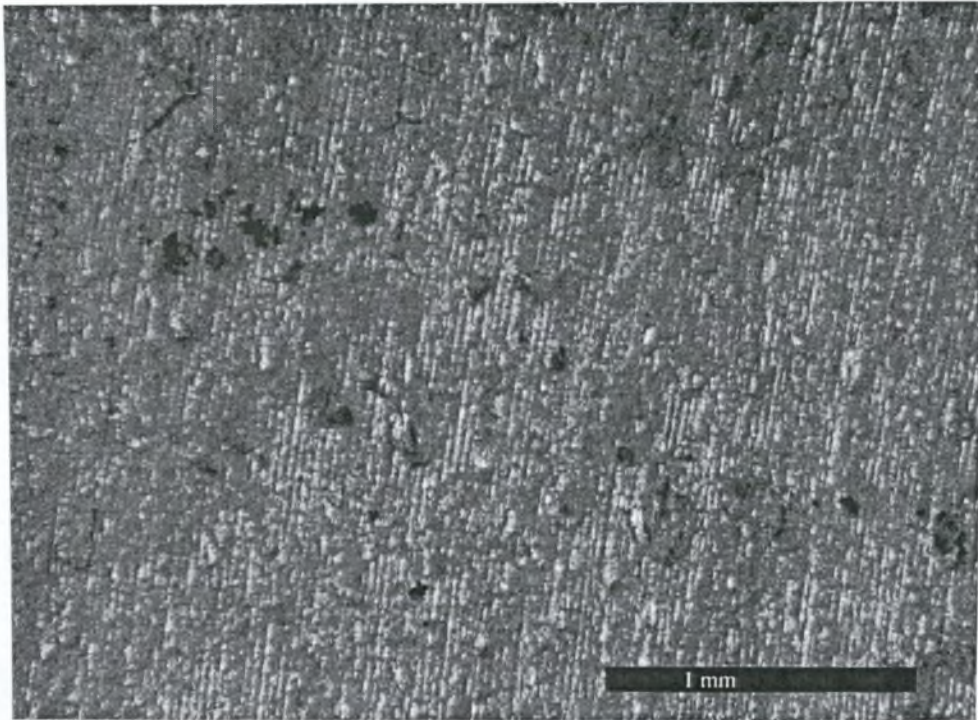
Τραχυμέτρηση 3.4 :



Απώλεια βάρους:

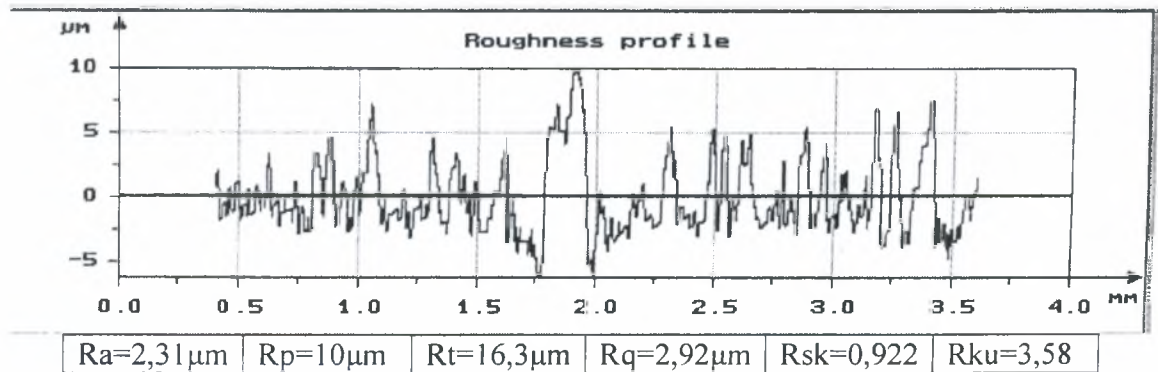
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική απώλεια Βάρους(%)
29,589	29,574	0,015	0,050695

Δοκίμιο 3.5



Εικ. 5.20 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.5 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 95 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

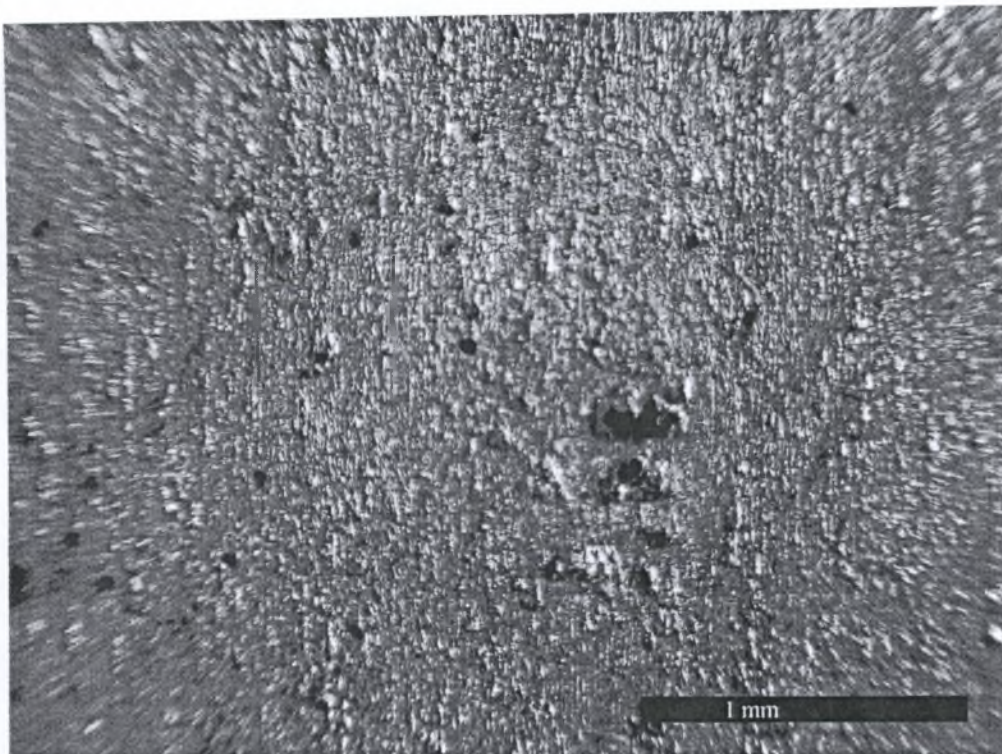
Τραχυμέτρηση 3.5 :



Απώλεια βάρους:

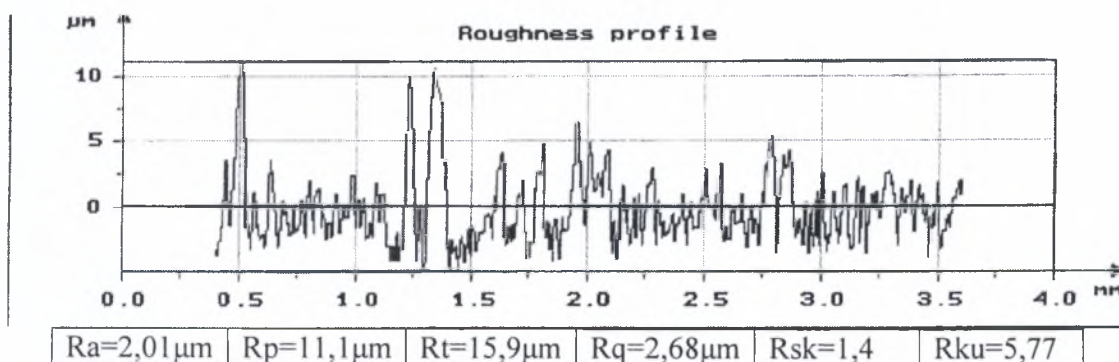
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
34,566	34,546	0,02	0,05786

Δοκίμιο 3,6



Εικ. 5.21 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.6 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 110 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

Τραχυμέτρηση 3.6 :



Απώλεια βάρους:

Αρχικό Βάρος (gr)

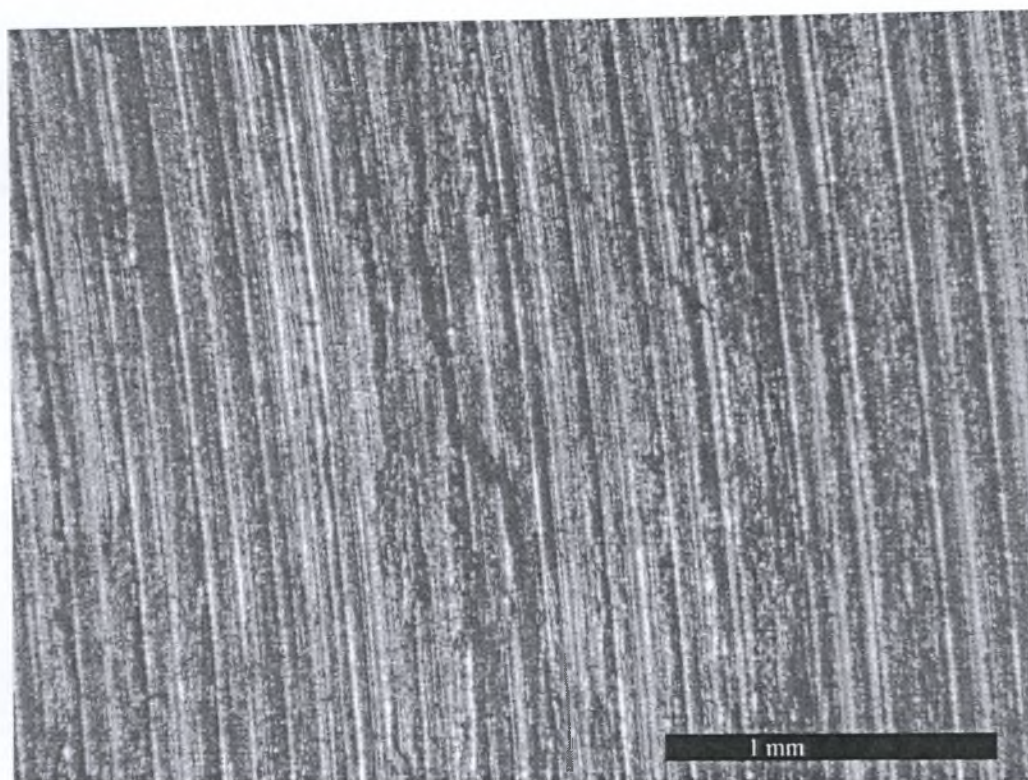
Τελικό Βάρος (gr)

Απώλεια
Βάρους(gr)

Σχετική Απώλεια
Βάρους(%)

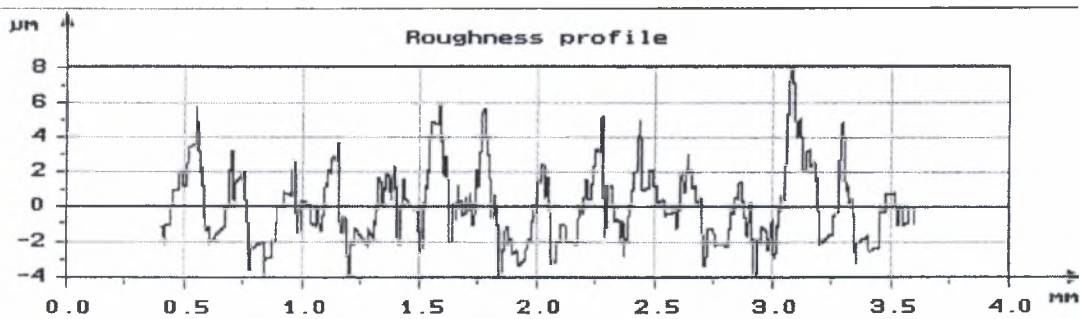
36,067	36,046	0,021	0,058225
--------	--------	-------	----------

Επιφάνεια δοκιμίων 4



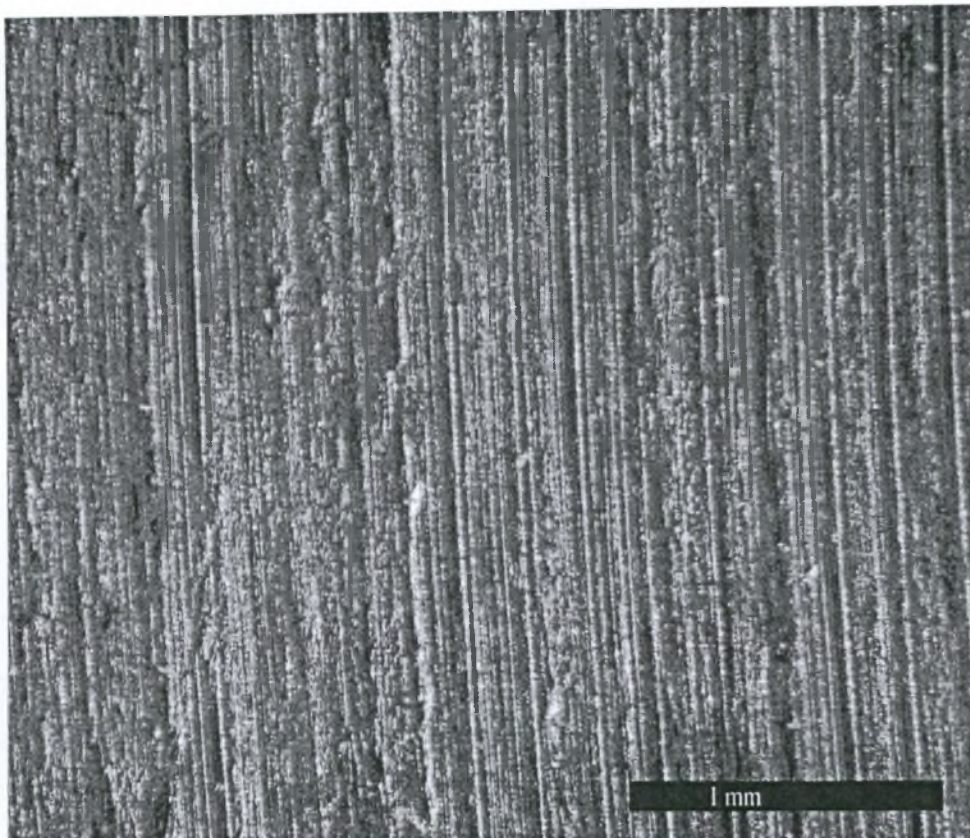
Εικ. 5. 22 Στερεοσκοπία της επιφάνειας των δοκιμίων της σειράς 4, πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας

Τραχυμέτρηση 4 :



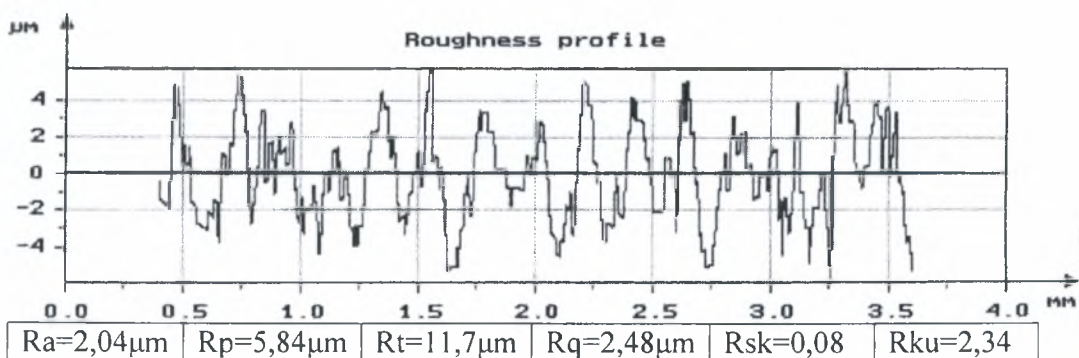
Ra=1.71μm	Rp=8.11μm	Rt=12.1μm	Rq=2.13μm	Rsk=0.731	Rku=3.41
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------

Δοκίμιο 4.1



Εικ. 5.23 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.1 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 35 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

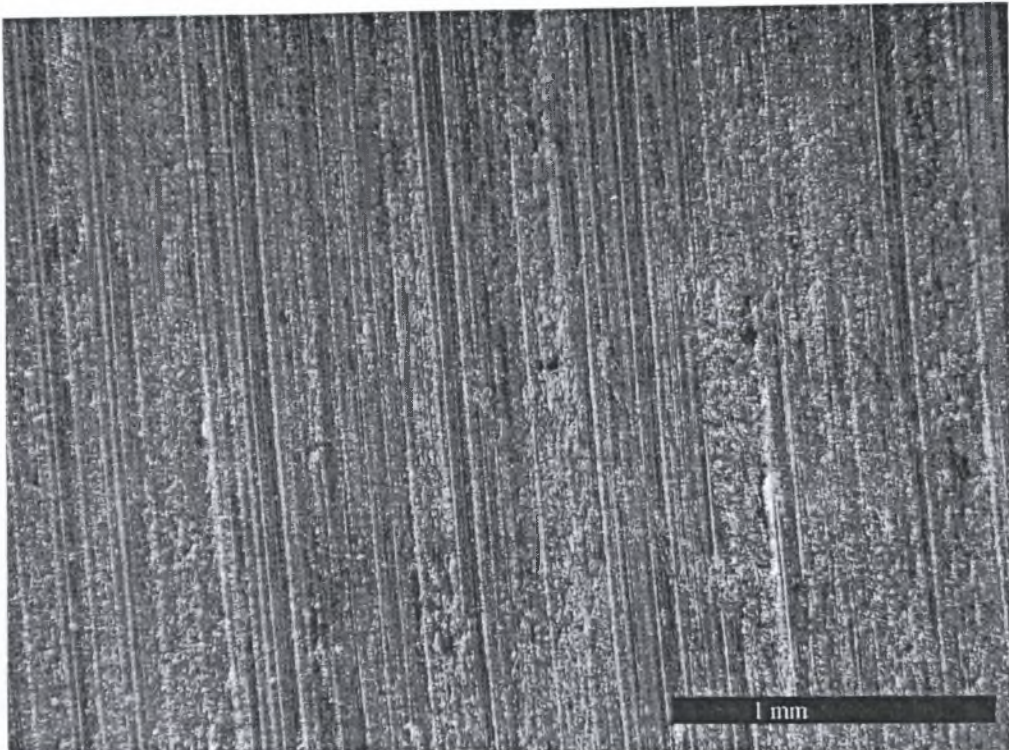
Τραχυμέτρηση 4.1:



Απώλεια βάρους:

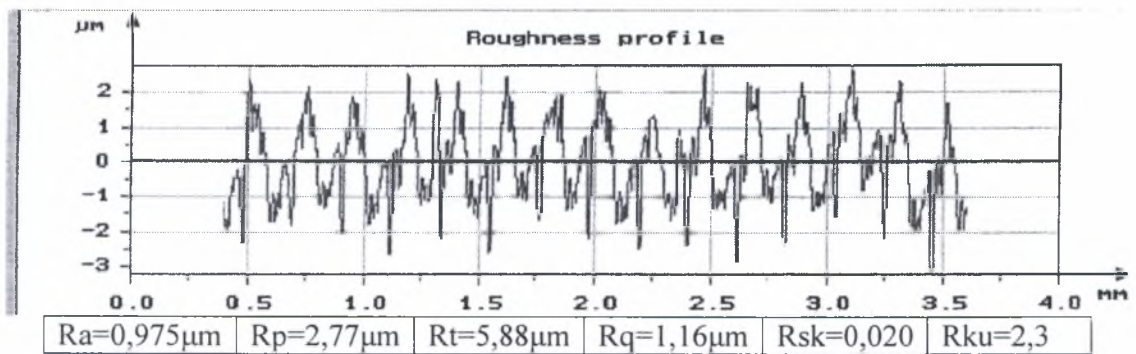
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
34,533	34,531	0,002	0,005792

Δοκίμιο 4.2



Εικ. 5.24 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.2. Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 50 μέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

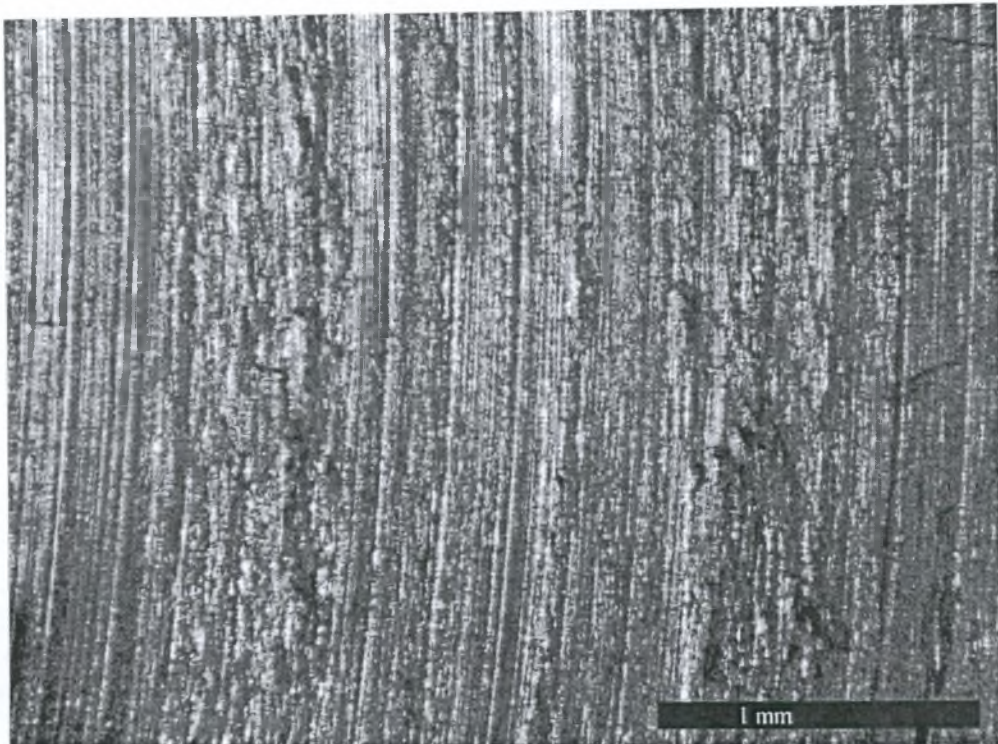
Τραχυμέτρηση 4.2 :



Απώλεια βάρους:

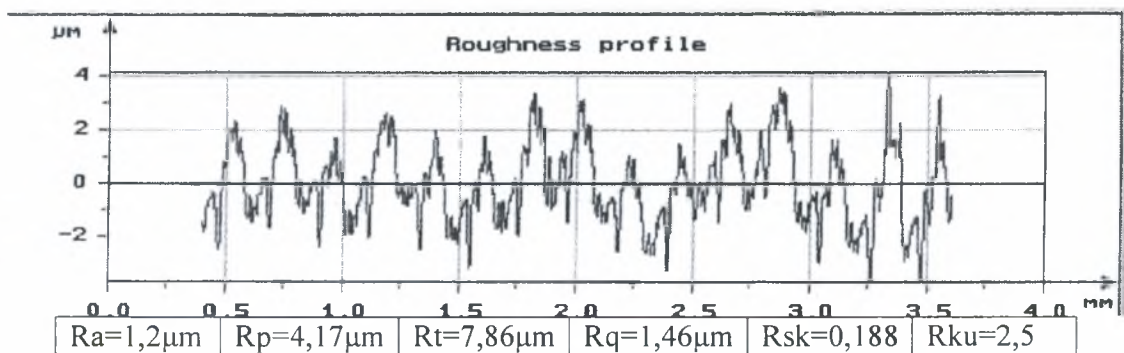
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
44,324	44,32	0,004	0,009024

Δοκίμιο 4,3



Εικόνα 5.25 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.3 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 65 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

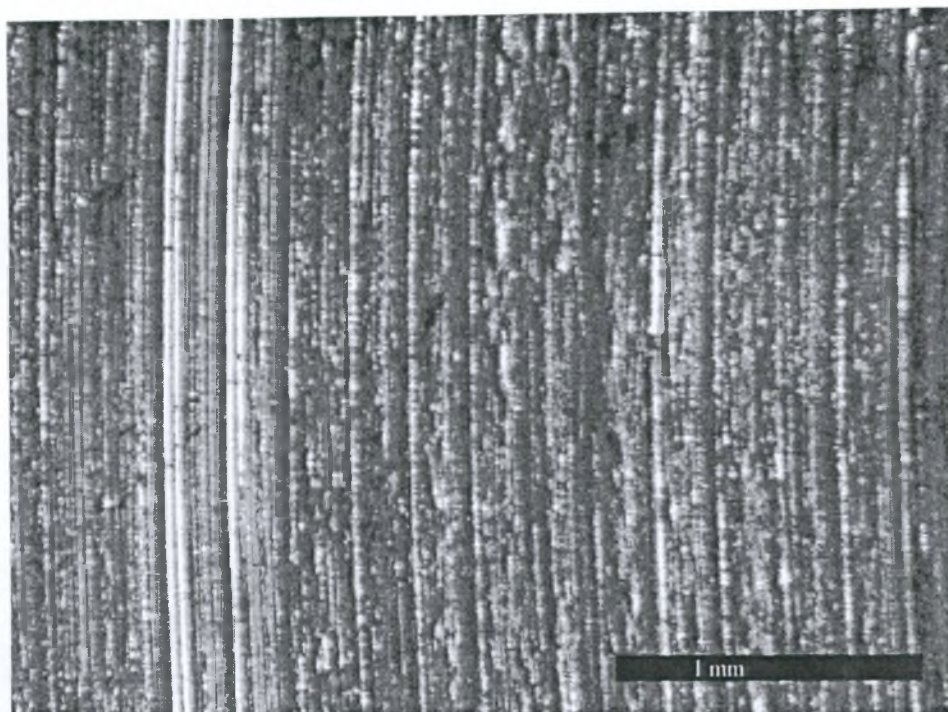
Τραχυμέτρηση 4.3:



Απώλεια βάρους:

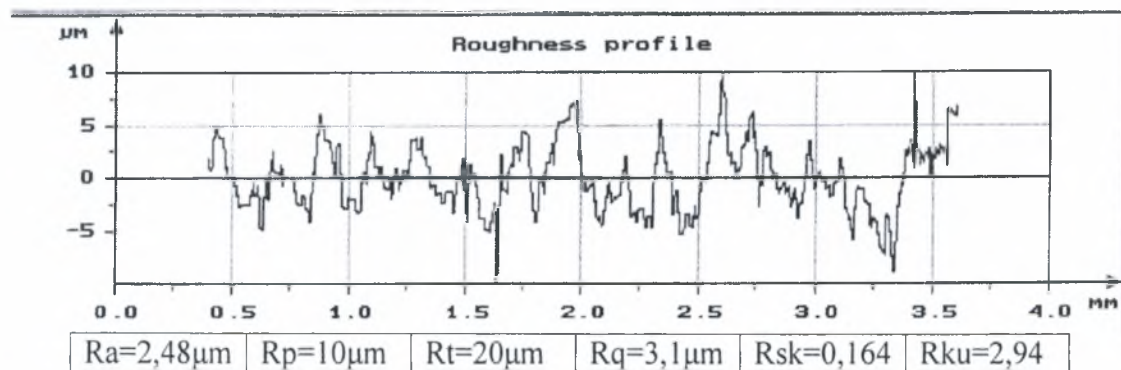
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
39,155	39,15	0,005	0,01277

Δοκίμιο 4,4



Εικ. 5.26 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.4 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 80 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

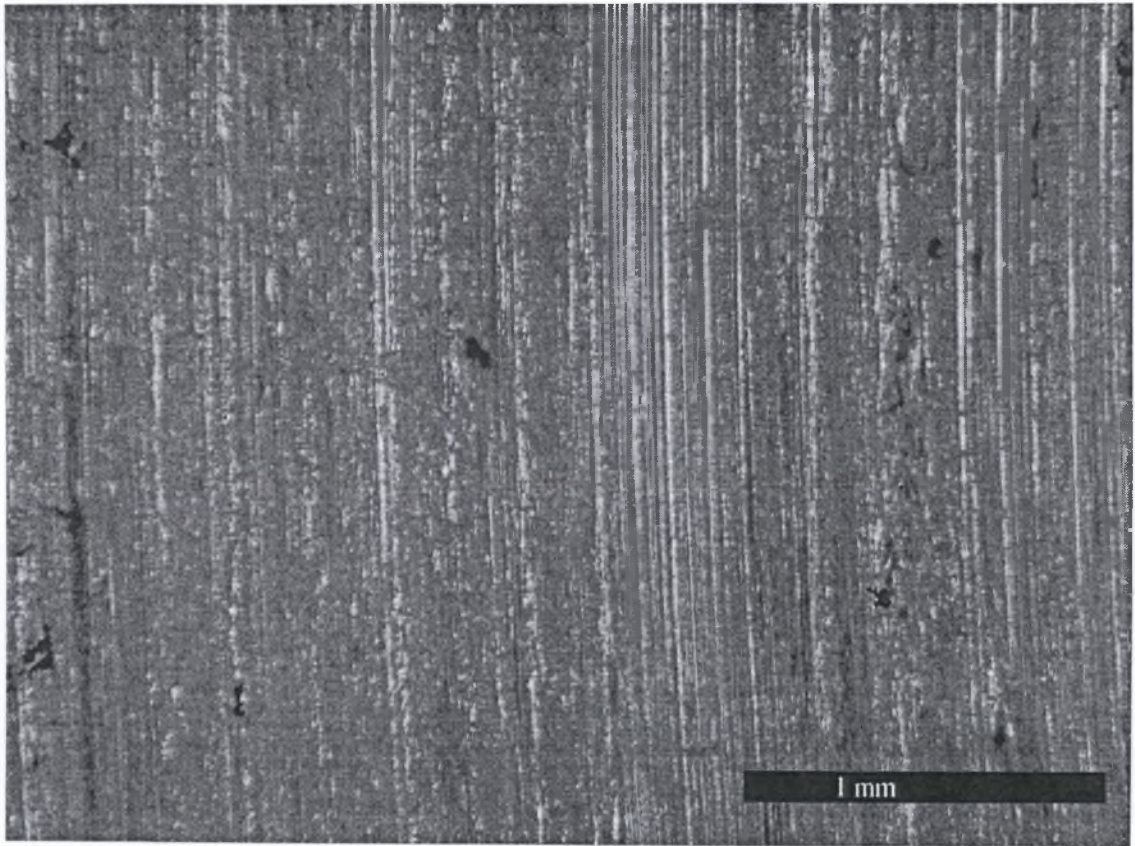
Τραχυμέτρηση 4.4 :



Απώλεια βάρους:

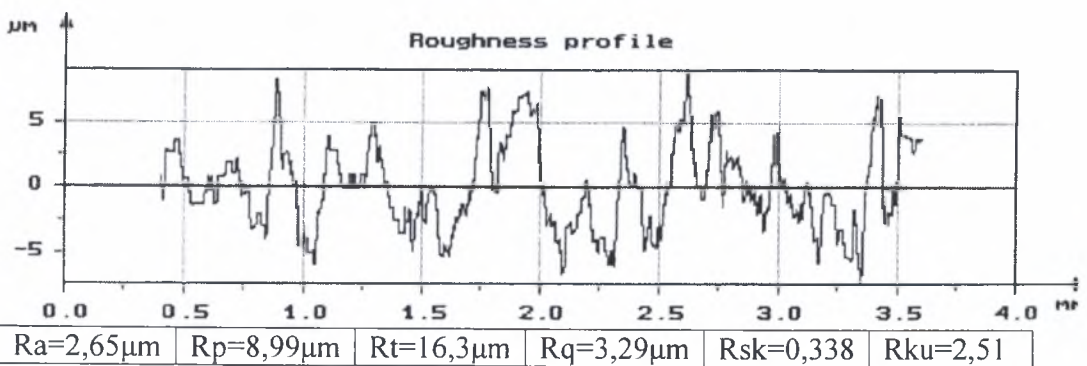
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
43,708	43,698	0,01	0,022879

Δοκίμιο 4,5



Εικ. 5.27 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.5 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 95 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση

Τραχυμέτρηση 4.5 :



Απώλεια βάρους:

Αρχικό Βάρος (gr)

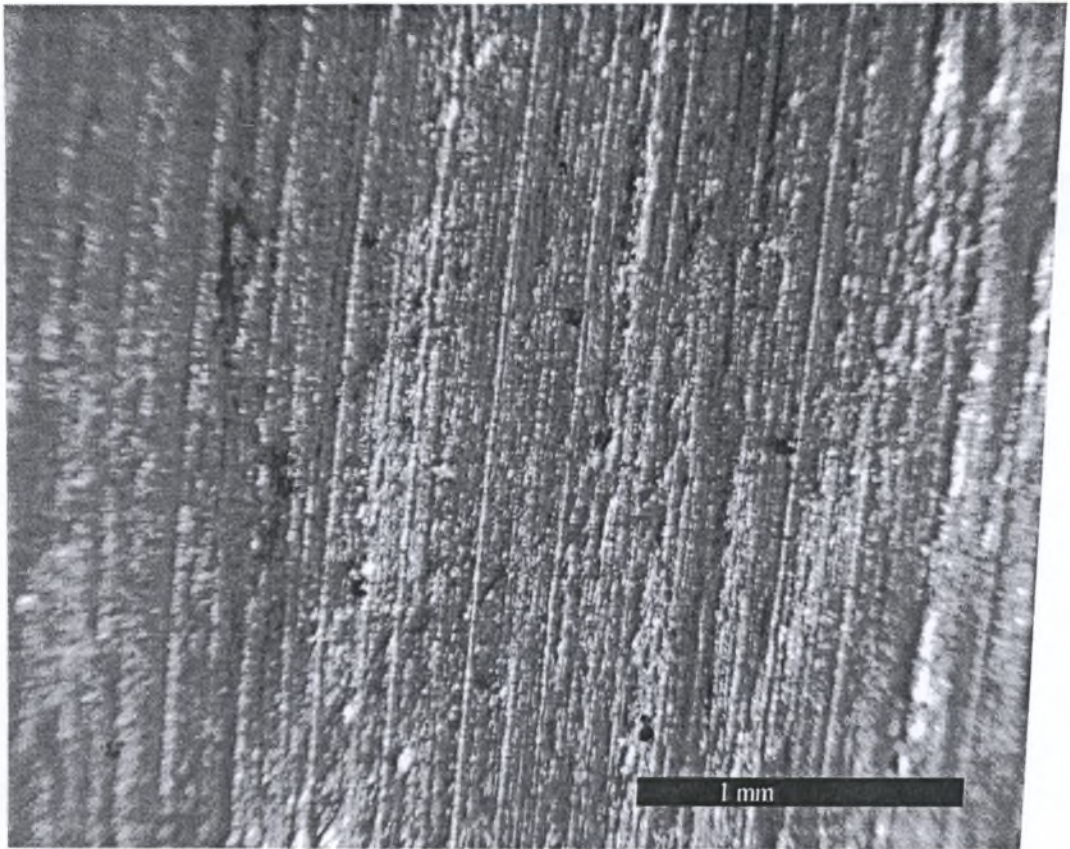
Τελικό Βάρος (gr)

Απώλεια
Βάρους(gr)

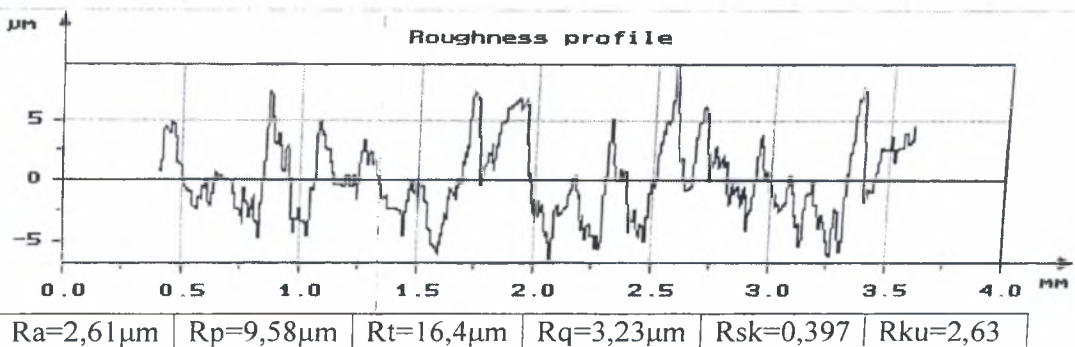
Σχετική Απώλεια
Βάρους(%)

33,523	33,511	0,012	0,035796
--------	--------	-------	----------

Δοκίμιο 4,6



Εικ. 5.28 Στερεοσκοπία του δοκίμιου 4,6 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 110 ημέρες. (Alternate Immersion Testing). Τρηματική διάβρωση
Τραχυμέτρηση 4.6 :

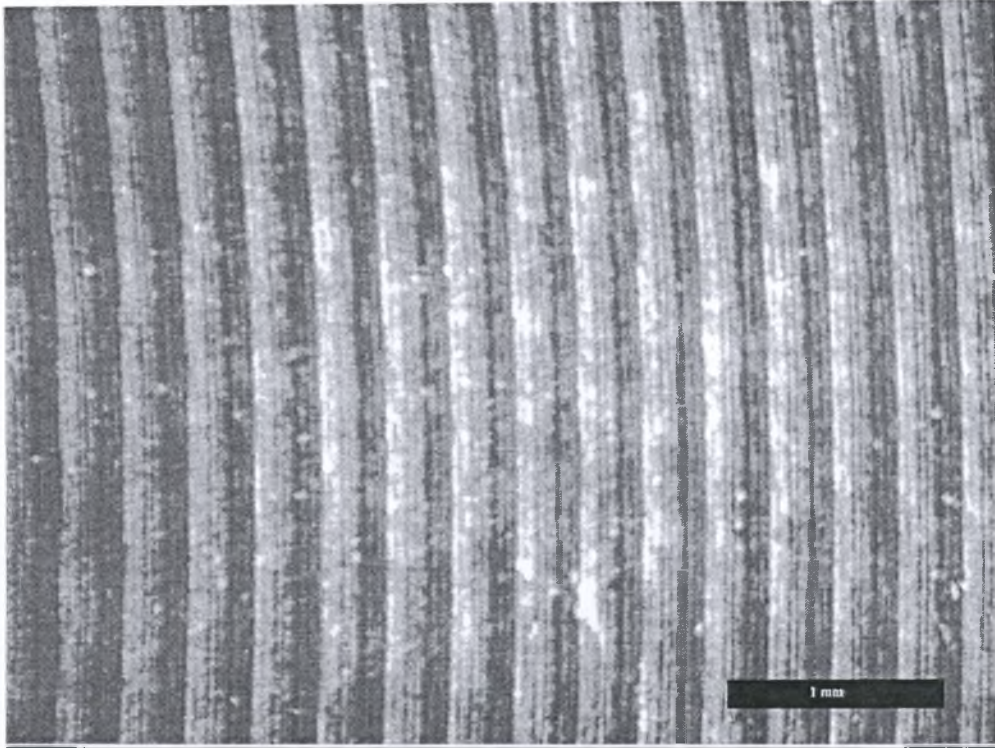


Απώλεια βάρους:

Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
38,966	38,952	0,014	0,035929

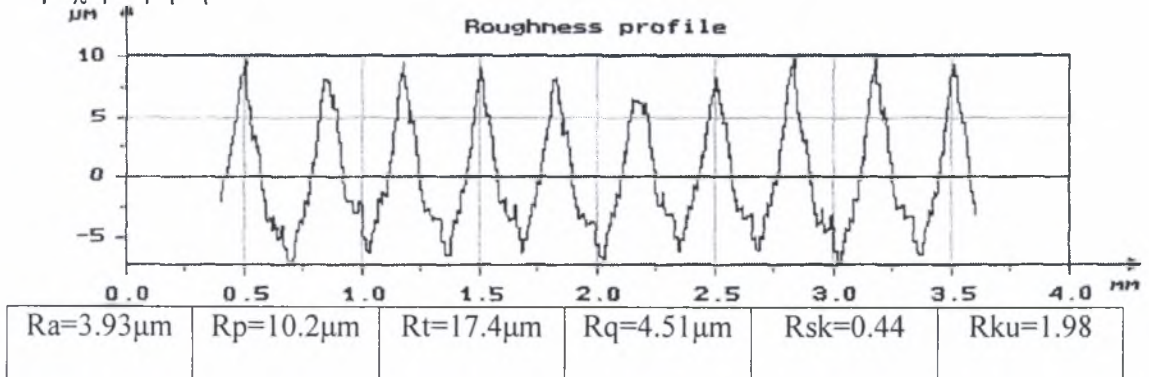
5.2 Αποτελέσματα της Δοκιμής Επιταχυνόμενης Διάβρωσης με Εμβάπτιση σε Διάλυμα Τριχλωριούχου Σιδήρου (FeCl_3)

Δοκίμιο 1.8

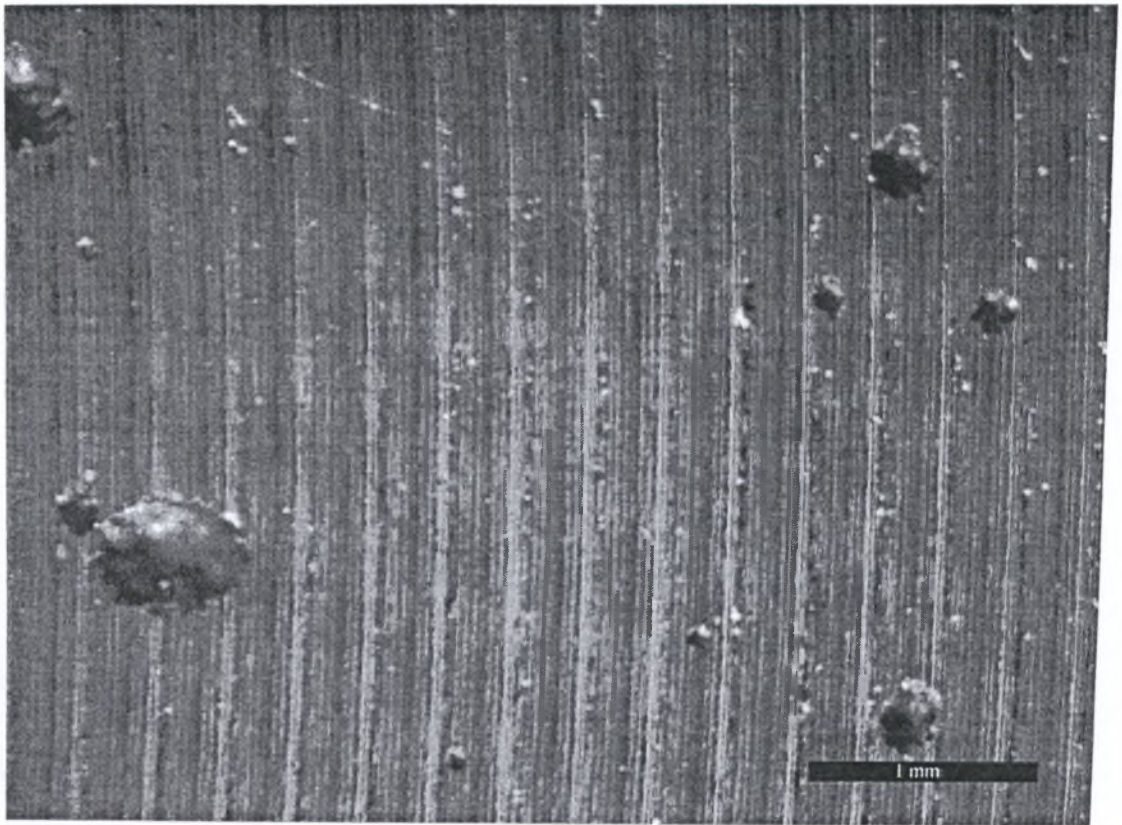


Εικ 5.28 Στερεοσκοπία της επιφάνειας του δοκιμίου 1.8, πριν την εμβάπτιση του στο διάλυμα του τριχλωριούχου σιδήρου .

Τραχυμέτρηση 1.8 α :



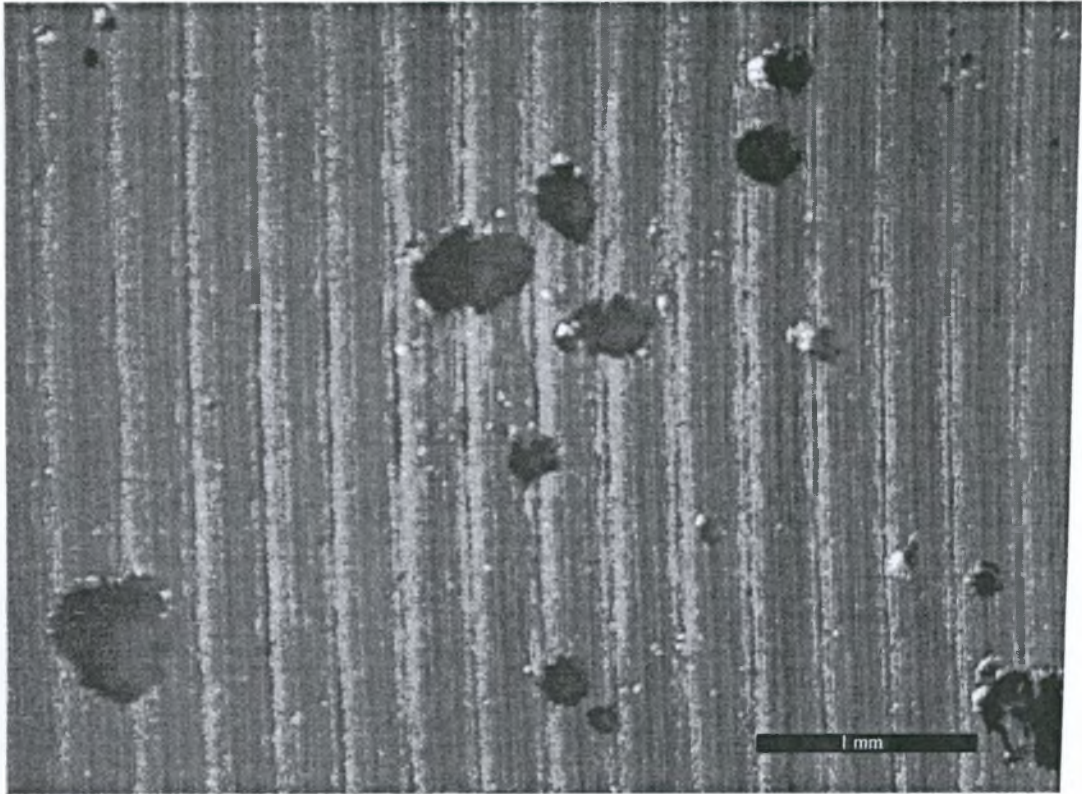
Δοκίμιο 1.8 (24 ώρες)



Εικ. 5.29 Στερεοσκοπία του δοκίμιου 1.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 24 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
40,214	39,77	0,444	1,1

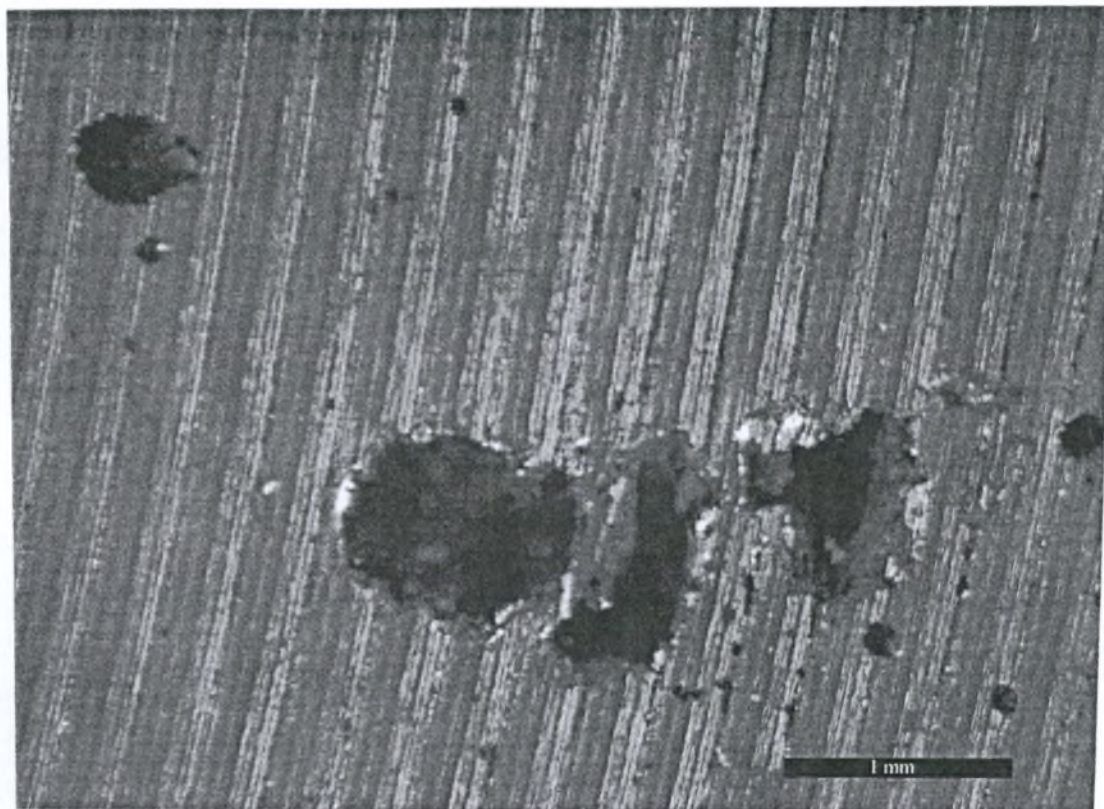
Δοκίμιο 1.8 (48 ώρες)



Εικόνα 5.30 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 1.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 48 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

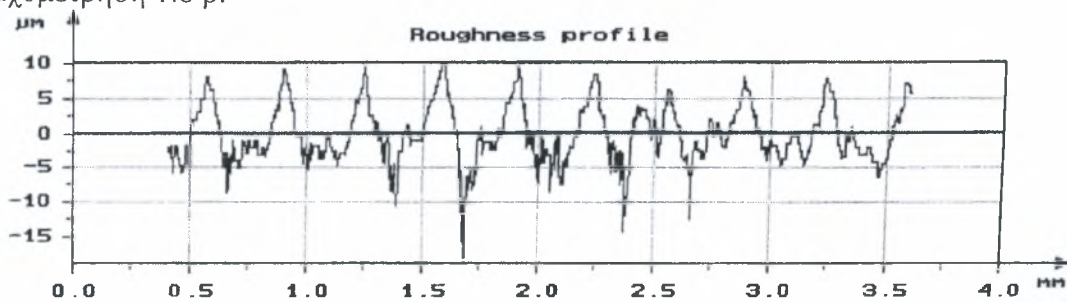
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
40,214	39,518	0,696	1,61

Δοκίμιο 1.8 (72 ώρες)



Εικόνα 5.31 Στερεοσκοπία του δοκίμιου 1.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 72 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

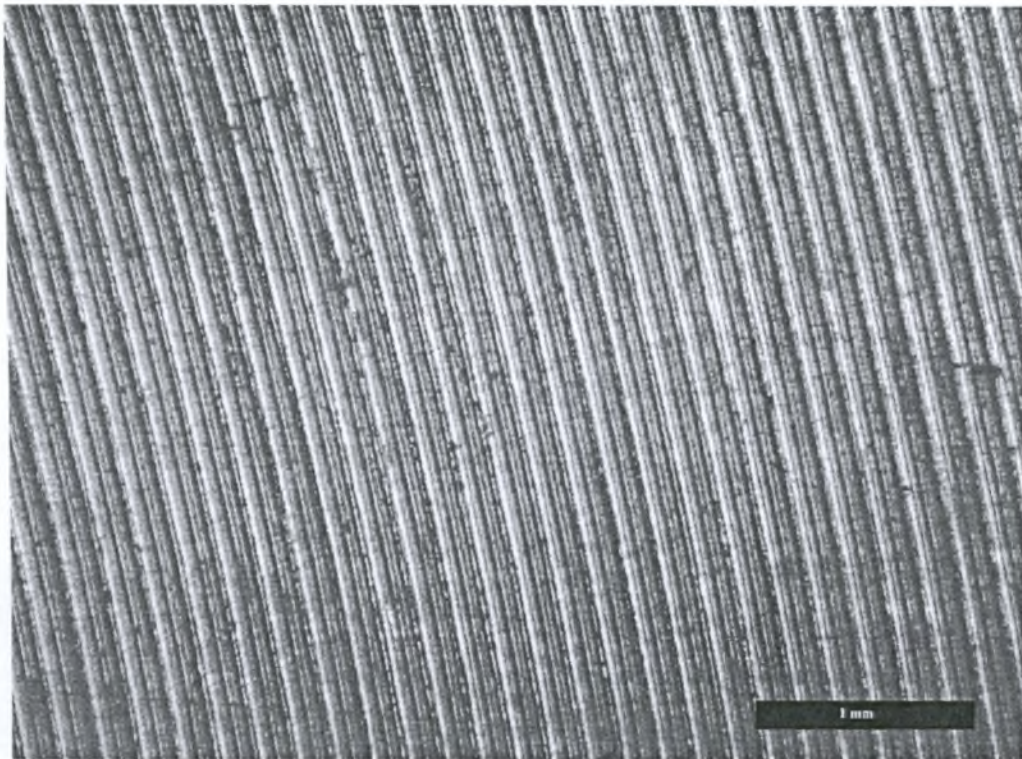
Τραχυμέτρηση 1.8 β:



Ra=3.32μm	Rp=10.3μm	Rt=29.5μm	Rq=4.17μm	Rsk=0.0996	Rku=3.37
-----------	-----------	-----------	-----------	------------	----------

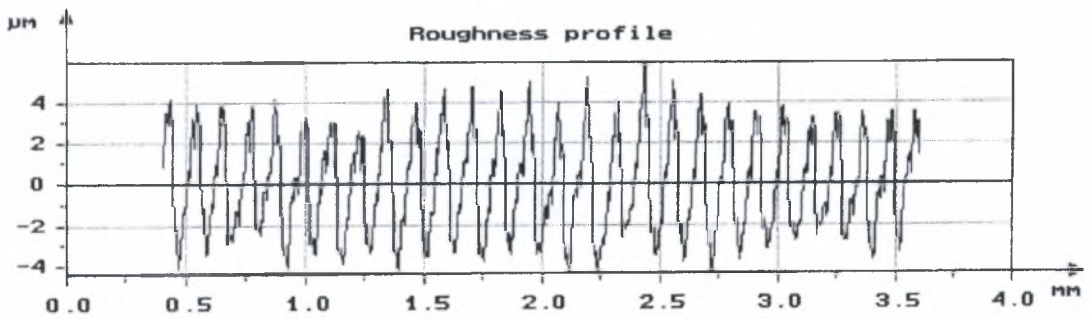
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
40,214	39,263	39,263	2,36

Δοκίμιο 2.8



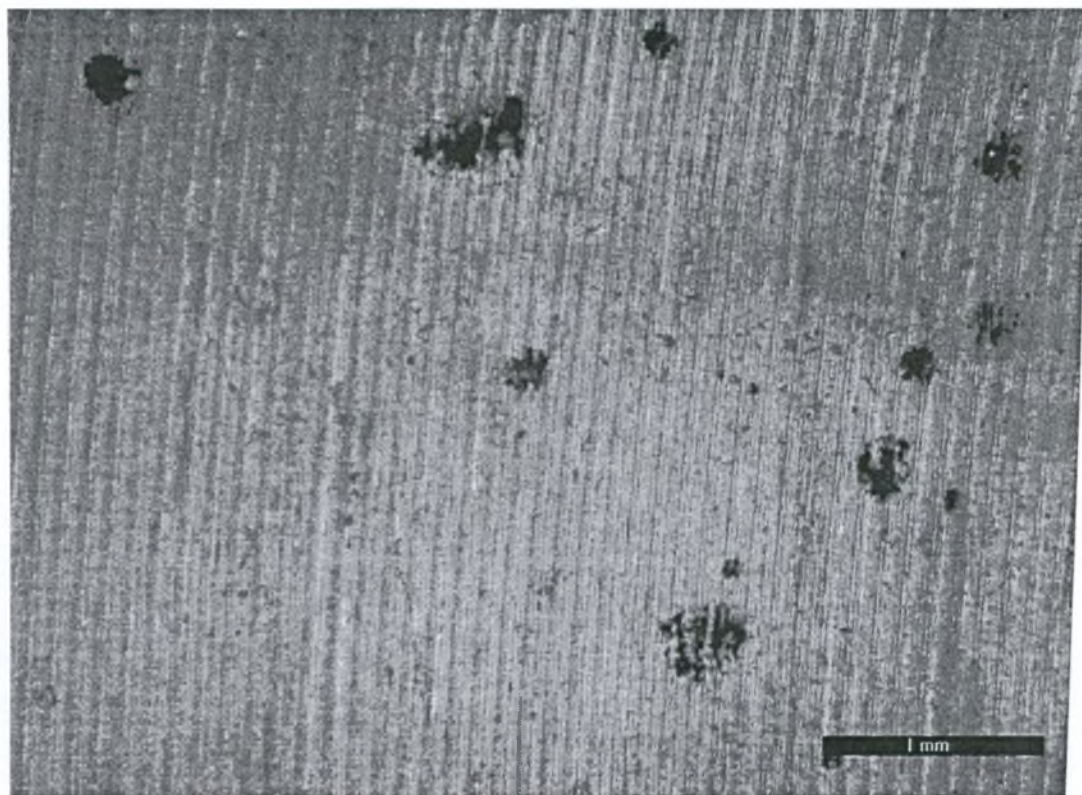
Εικ. 5.32 Στερεοσκοπία της επιφάνειας του δοκιμίου 2.8, πριν την εμβάπτιση του στο διάλυμα του τριχλωριούχου σιδήρου.

Τραχυμέτρηση 2.8 α:



Ra=2.14μm	Rp=5.98μm	Rt=10.4μm	Rq=2.44μm	Rsk=0.135	Rku=1.79
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------

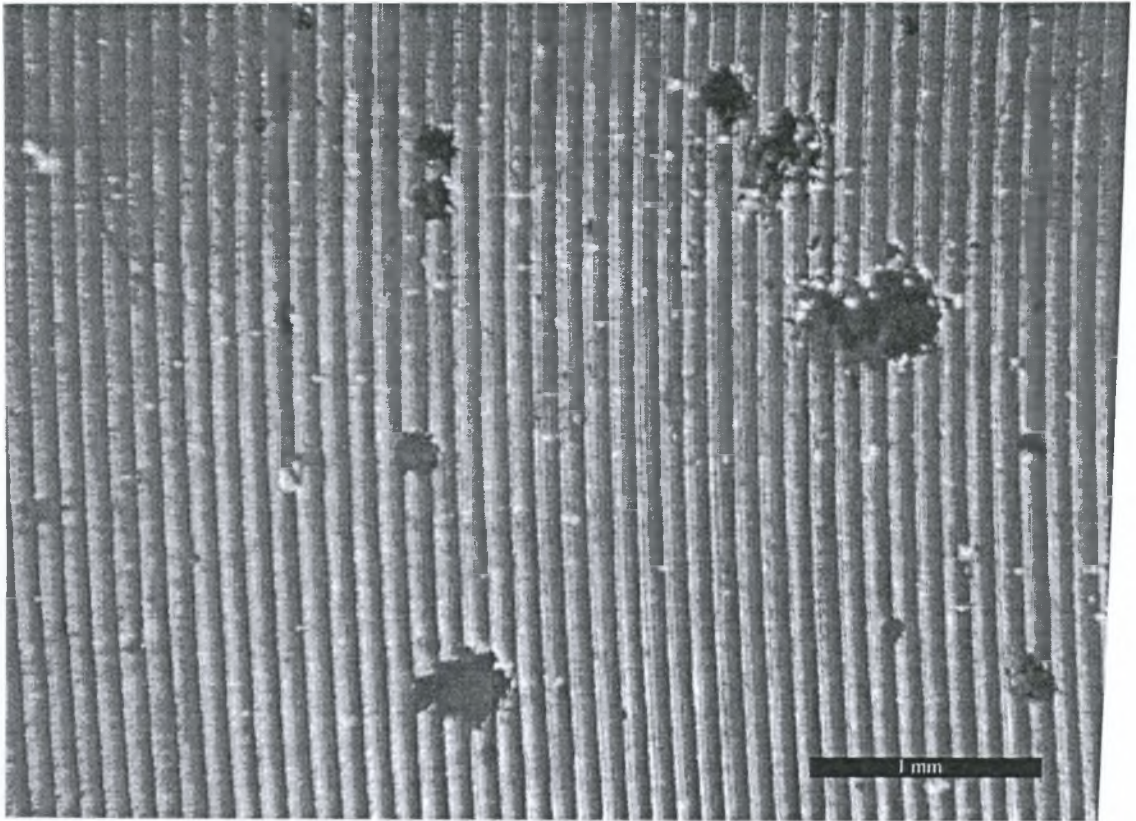
Δοκίμιο 2.8 (24 ώρες)



Εικ. 5.33 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 24 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
32,065	31,632	0,433	1,35

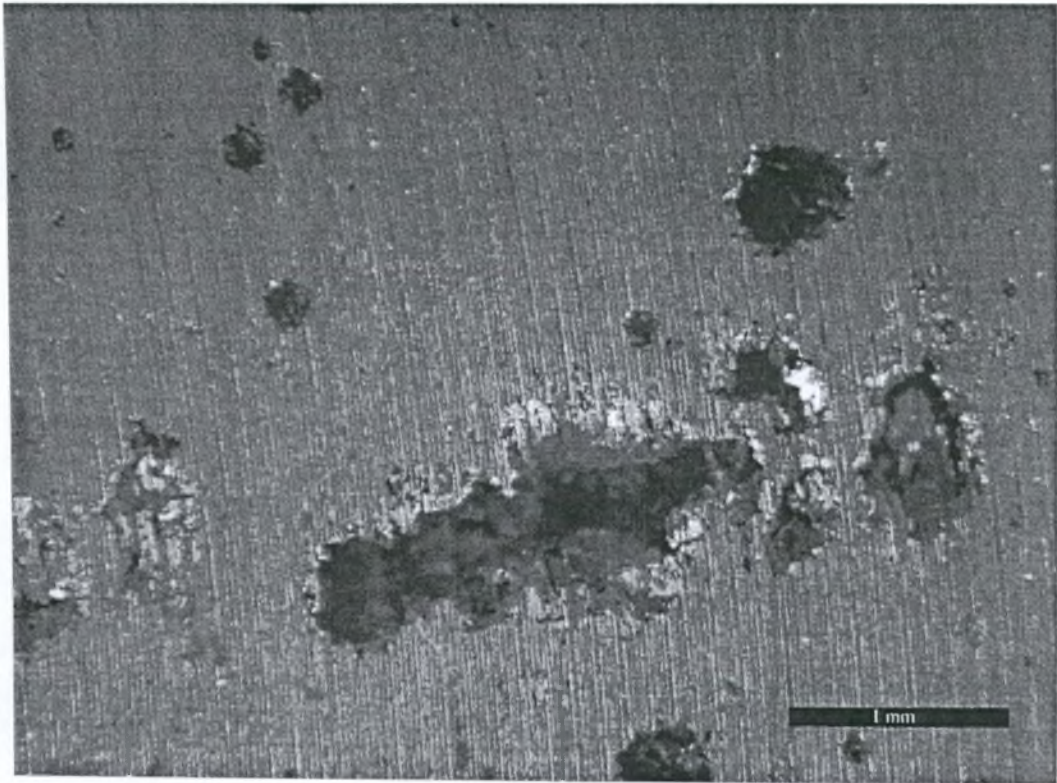
Δοκίμιο 2.8 (48 ώρες)



Εικ. 5.34 Στερεοσκοπία του δοκίμιου 2.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 48 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

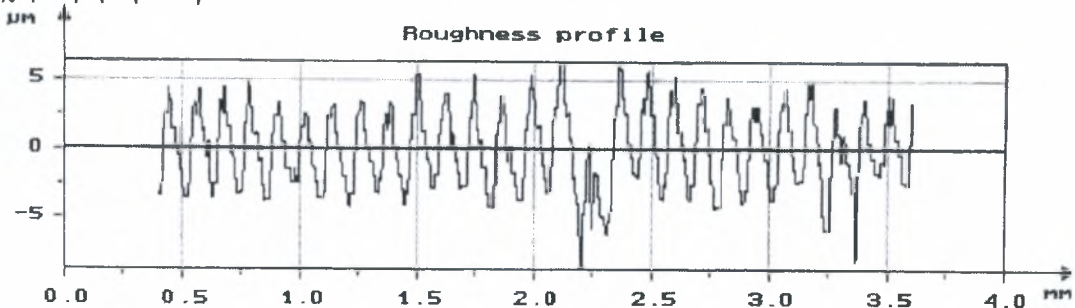
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
32,065	31,372	0,693	2,16

Δοκίμιο 2.8 (72 ώρες)



Εικ. 5.35 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 2.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 72 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

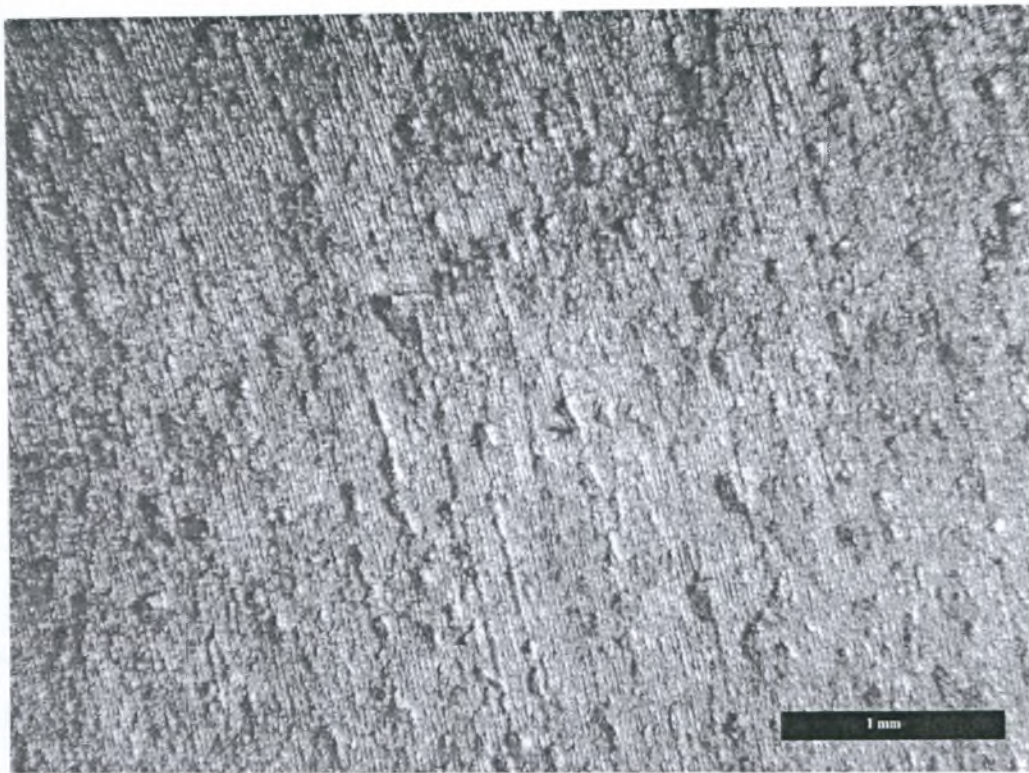
Τραχυμέτρηση 2.8 β:



Ra=2,38μm	Rp=6,38μm	Rt=15,1μm	Rq=2,79μm	Rsk=-0,039	Rku=2,28
-----------	-----------	-----------	-----------	------------	----------

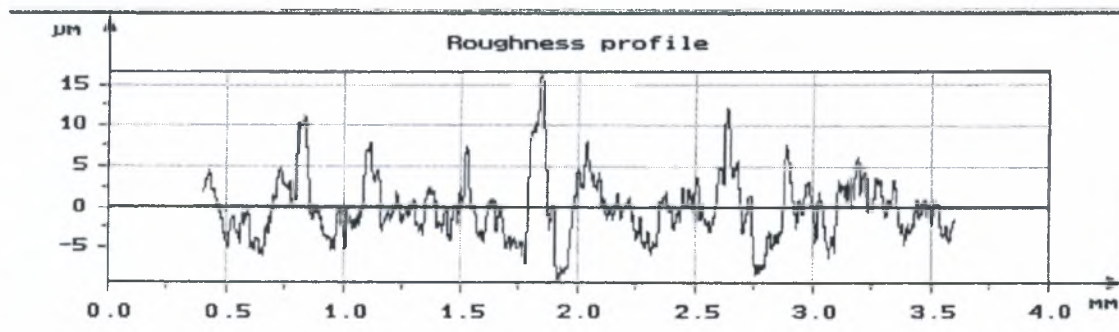
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
32,065	31,14	0,925	2,88

Δοκίμο 3.8



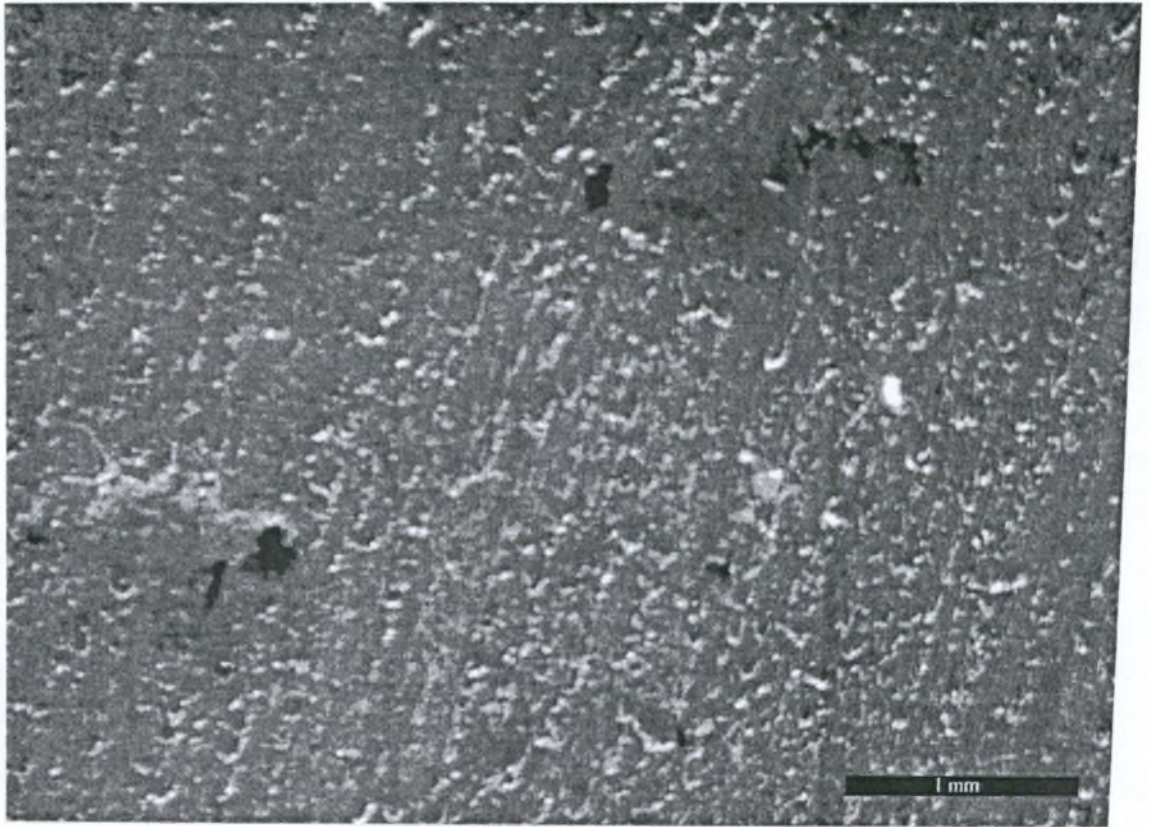
Εικ. 5.36 Στερεοσκοπία της επιφάνειας του δοκιμίου 3.8, πριν την εμβάπτιση του στο διάλυμα του τριχλωριούχου σιδήρου.

Τραχυμέτρηση 3.8 α:



Ra=2.94μm	Rp=16.5μm	Rt=25.8μm	Rq=3.89μm	Rsk=0.802	Rku=4.46
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------

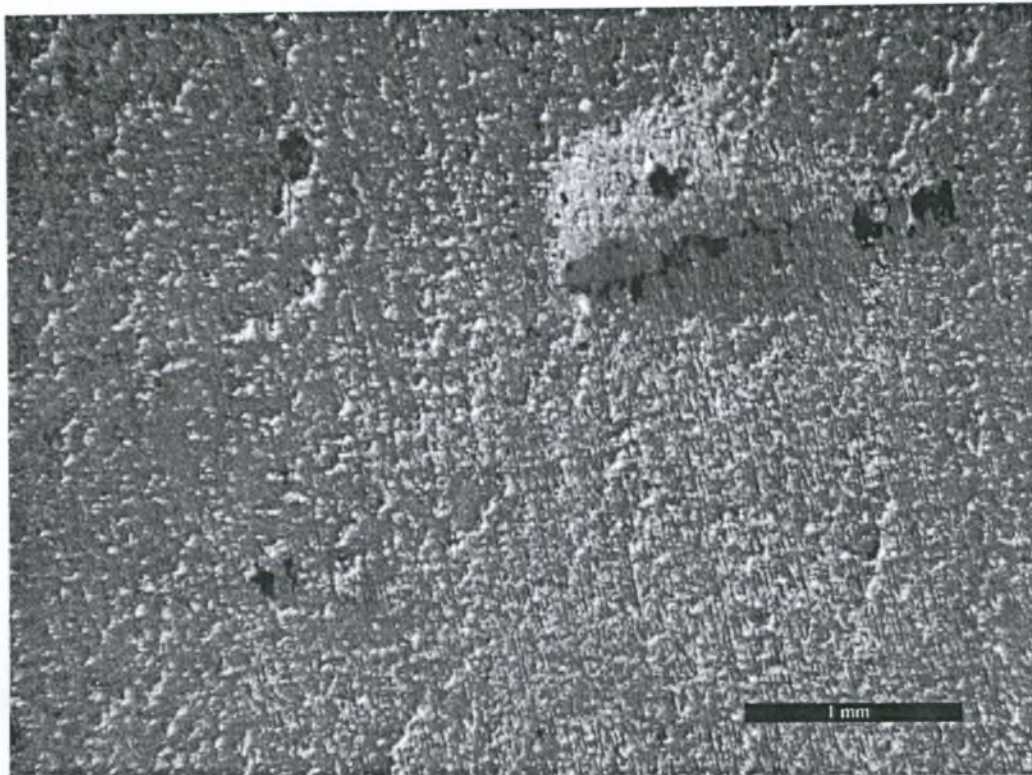
Δοκίμιο 3.8 (24 ώρες)



Εικ. 5.37 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.8. Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 24 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
37,699	37,099	0,6	1,56

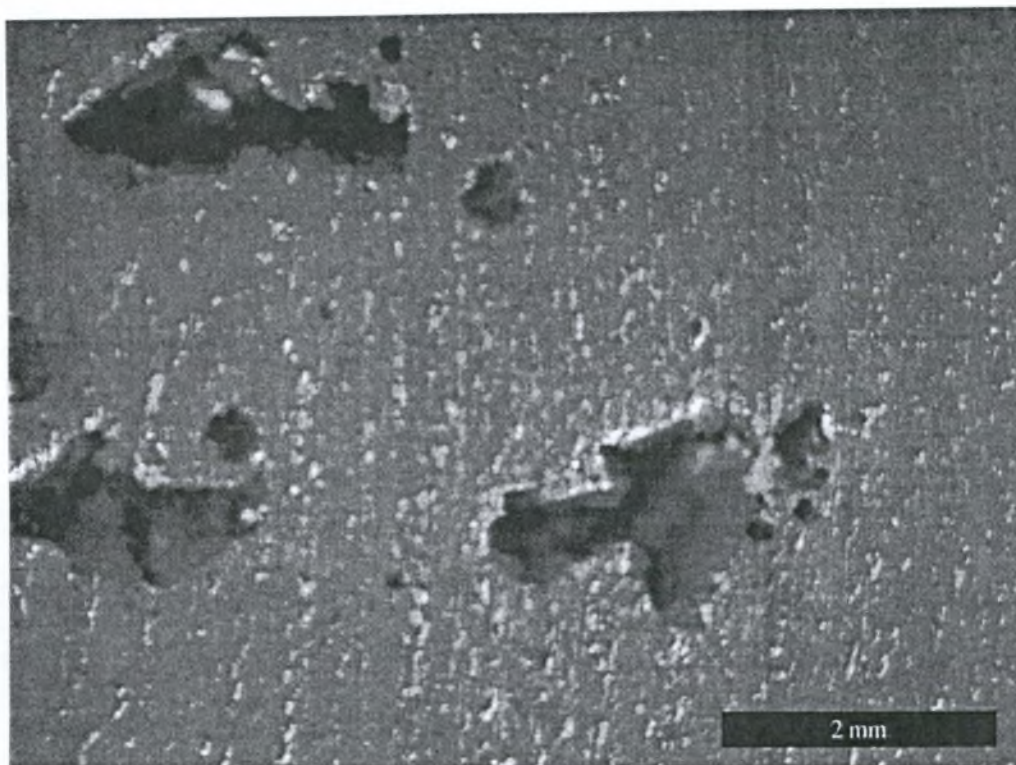
Δοκίμιο 3.8 (48 ώρες)



Εικ. 5.38 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 48 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

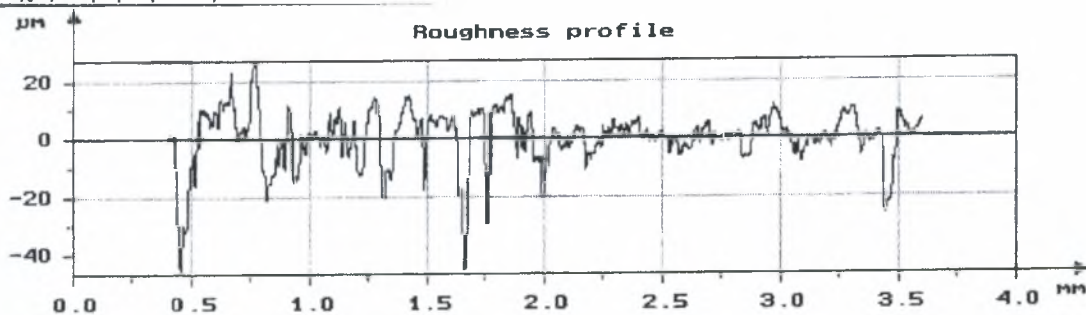
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	ΣχετικήΑπώλεια Βάρους(%)
37,699	36,843	0,856	2,27

Δοκίμιο 3.8 (72 ώρες)



Εικ. 5.39 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 72 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

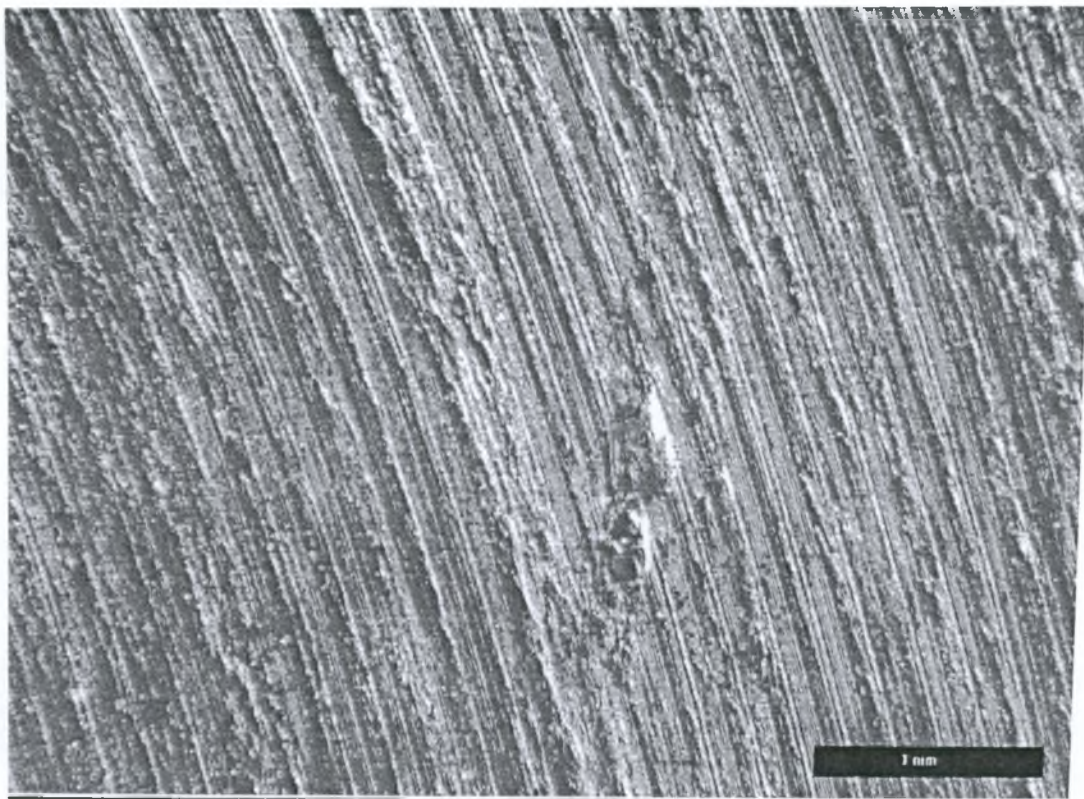
Τραχυμέτρηση 3.8 β:



Ra=6,47μm	Rp=27,1μm	Rt=73,8μm	Rq=9,33μm	Rsk=-1,42	Rku=7,24
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------

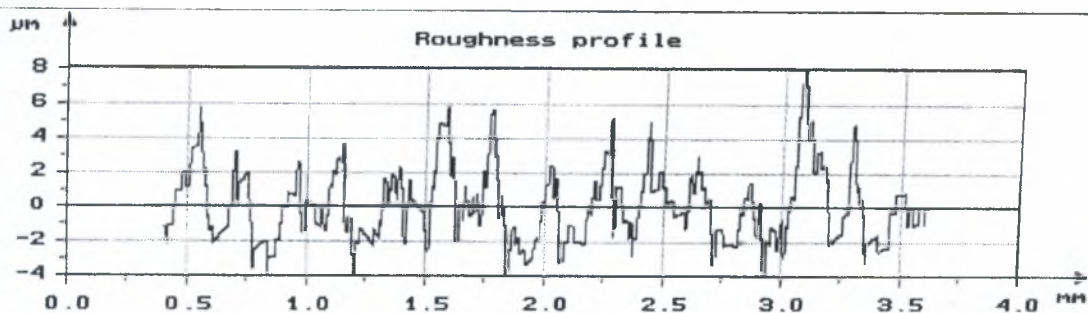
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
37,699	36,626	0,57	2,84

Δοκίμιο 4.8



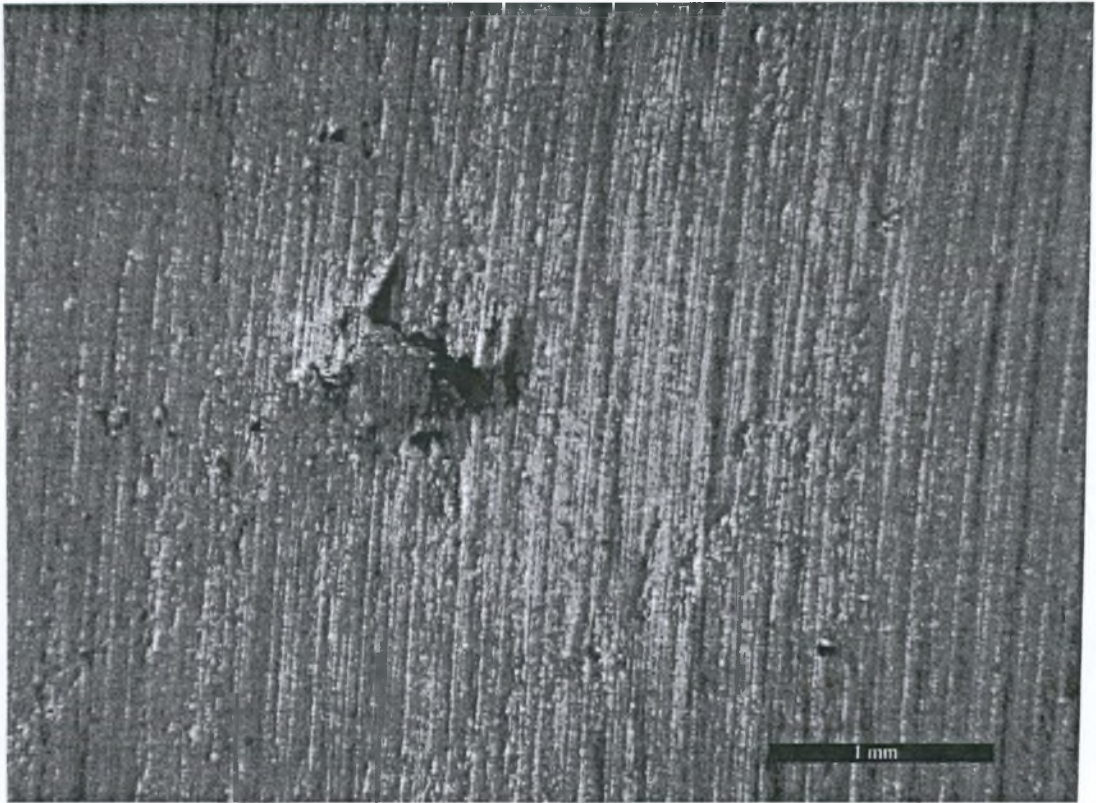
Εικ. 5.40 Στερεοσκοπία της επιφάνειας του δοκιμίου 4.8, πριν την εμβάπτιση του στο διάλυμα του τριχλωριούχου σιδήρου.

Τραχυμέτρηση 4.8 α:



Ra=1.71μm	Rp=8.11μm	Rt=12.1μm	Rq=2.13μm	Rsk=0.731	Rku=3.41
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	----------

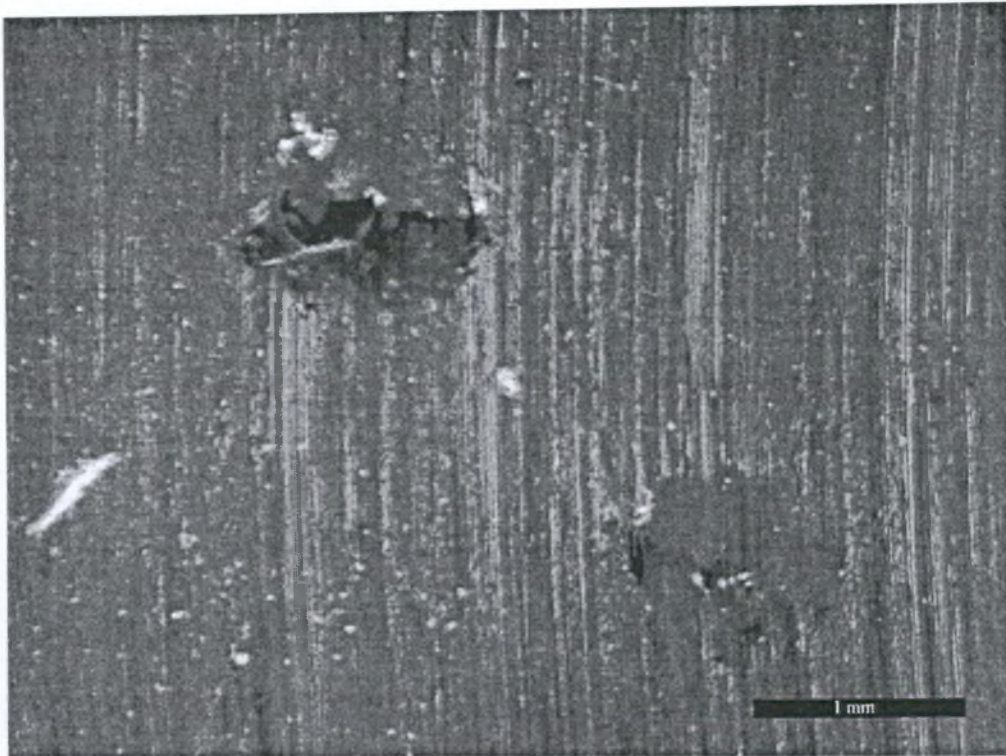
Δοκίμιο 4.8 (24 ώρες)



Εικ. 5.41 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 24 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
38,31	37,903	0,407	1,06

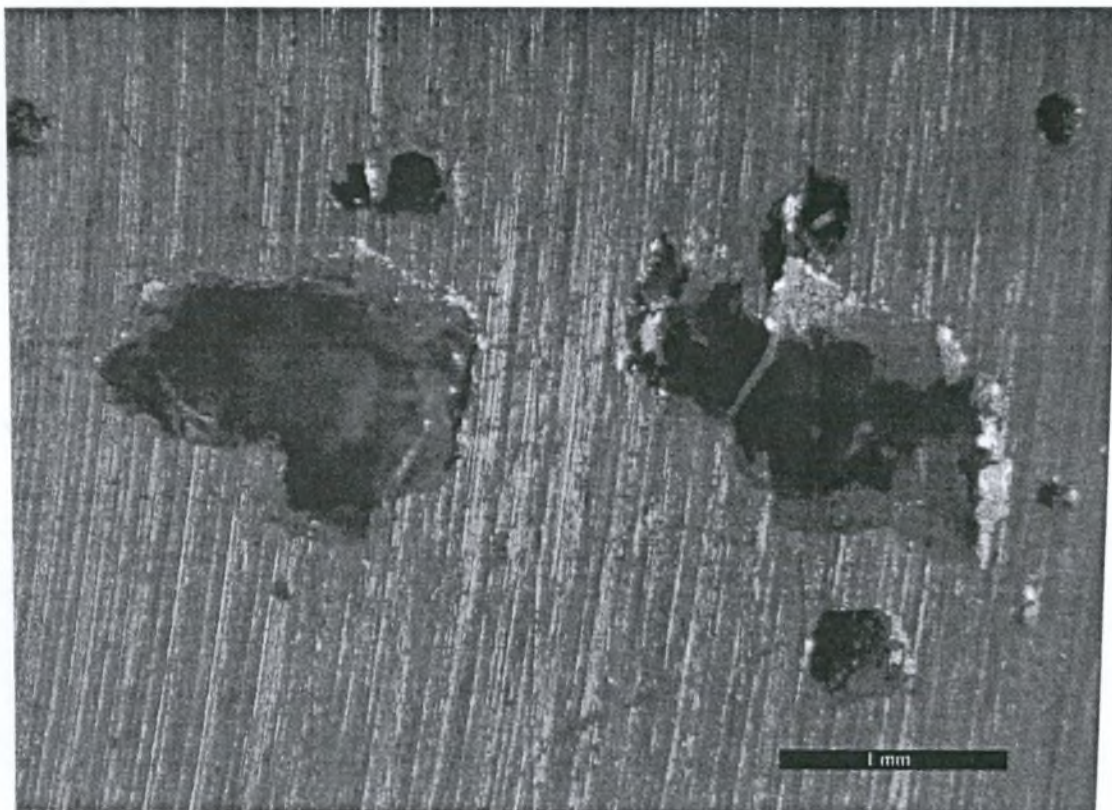
Δοκίμιο 4.8 (48 ώρες)



Εικ. 5.42 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 4.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 48 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

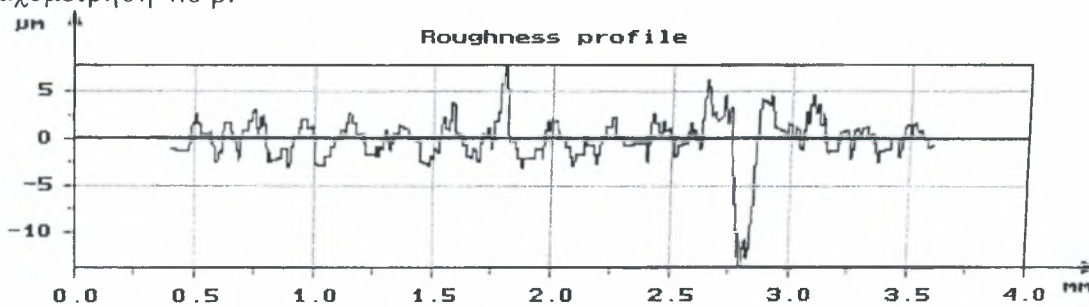
Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
38,31	37,74	0,57	1,48

Δοκίμιο 4.8 (72 ώρες)



Εικ. 5.43 Στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.8 . Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον: 72 ώρες. (διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου). Τρηματική διάβρωση

Τραχυμέτρηση 4.8 β:



Ra=1,65μm	Rp=7,77μm	Rt=21,6μm	Rq=2,5μm	Rsk=-1,87	Rku=1,2
-----------	-----------	-----------	----------	-----------	---------

Αρχικό Βάρος (gr)	Τελικό Βάρος (gr)	Απώλεια Βάρους(gr)	Σχετική Απώλεια Βάρους(%)
38,31	37,601	0,709	1,85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

6.1 Ανάλυση αποτελεσμάτων των δοκιμών των Διαδοχικών Εμβαπτίσεων

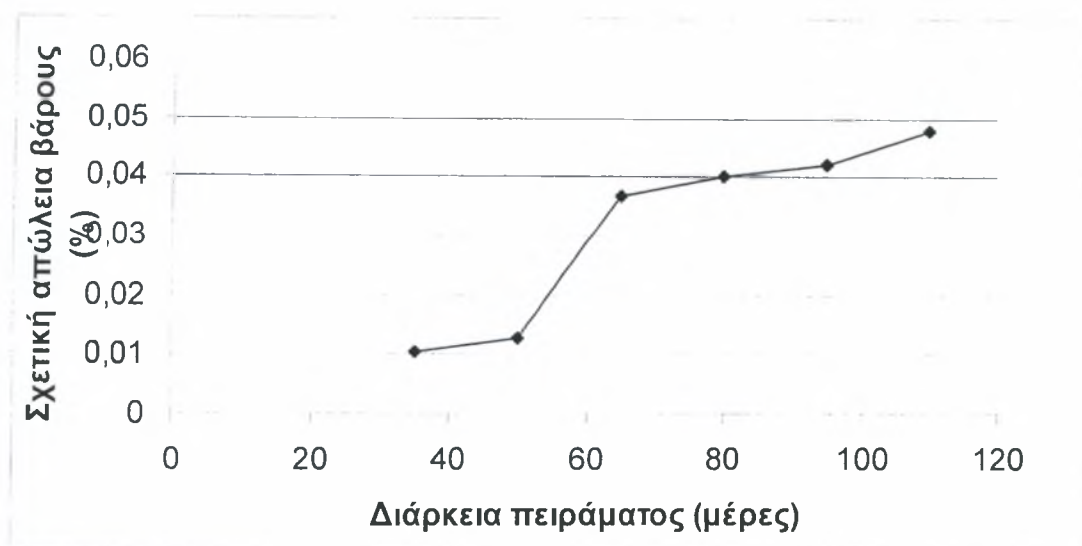
Η διάβρωση μπορεί να εκτιμηθεί μέσω της απώλειας βάρους των δοκιμίων μετά το τέλος των πειραμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σχετικής απώλειας βάρους ΔG (%) δοκιμίων στο Alternate Immersion Test

$$\Delta G = [G_0 - G_f] \times 100 / G_0 \quad (16)$$

- Κατηγορία επιφάνειας 1:

Πίνακας 6.1 Απώλεια βάρους και Σχετική απώλεια βάρους (%) στο Α.Ι.Τ

Αρ. Δοκιμίου	Διάρκεια διαδοχικών εμβαπτίσεων (Ημέρες)	Αρχικό Βάρος (gr) G_0	Τελικό Βάρος (gr) G_f	Απώλεια βάρους (gr) ΔG	Σχετική απώλεια βάρους $\Delta G(\%)$
δοκ 1,1	35	38,491	38,487	0,004	0,0103
δοκ 1,2	50	39,017	39,012	0,004	0,0128
δοκ 1,3	65	32,551	32,539	0,012	0,0368
δοκ 1,4	80	32,37	32,357	0,013	0,0401
δοκ 1,5	95	33,301	33,287	0,014	0,0420
δοκ 1,6	110	37,576	37,558	0,018	0,0479



Διάγραμμα 6.1 Μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους των δοκιμίων της επιφάνειας 1

Από τον πίνακα 6.1 παρατηρείται ότι οι σχετικές απώλειες βάρους κυμαίνονται από 0,010 % έως 0,048 %.

Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους κατά τη διάρκεια των διαδοχικών εμβαπτίσεων των 35, 50, 65, 80, 95, 110 ημερών είναι αντίστοιχα 24%, 252%, 289%, 307%, 380 % διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους μεταξύ του δοκιμίων 1.1 και 1.6 είναι 380%.

Ταυτόχρονα η στερεοσκοπική ανάλυση των ανώτερων διαβρωμένων δοκιμίων (Εικ 5.2 έως Εικ 5.7) δείχνει ότι η διαβρωτική διεργασία παρουσιάζει αυξητική επίδραση καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Από τις εικόνες 5.2, 5,3 η διαβρωτική επίδραση δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από τις τραχυμετρήσεις 1. και 1.2.

Η στερεοσκοπική ανάλυση όμως του δοκιμίου 1.3 (Εικ. 5.4) δείχνει την πρώτη αξιόλογη ανάπτυξη διαβρωτικών τρημάτων τα οποία αναπτύσσονται κυρίως στις κορυφές της κατεργασμένης επιφάνειας γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται από τη συγκριτική παρατήρηση μεταξύ των τραχυμετρήσεων 1.1, 1.2 και 1.3.

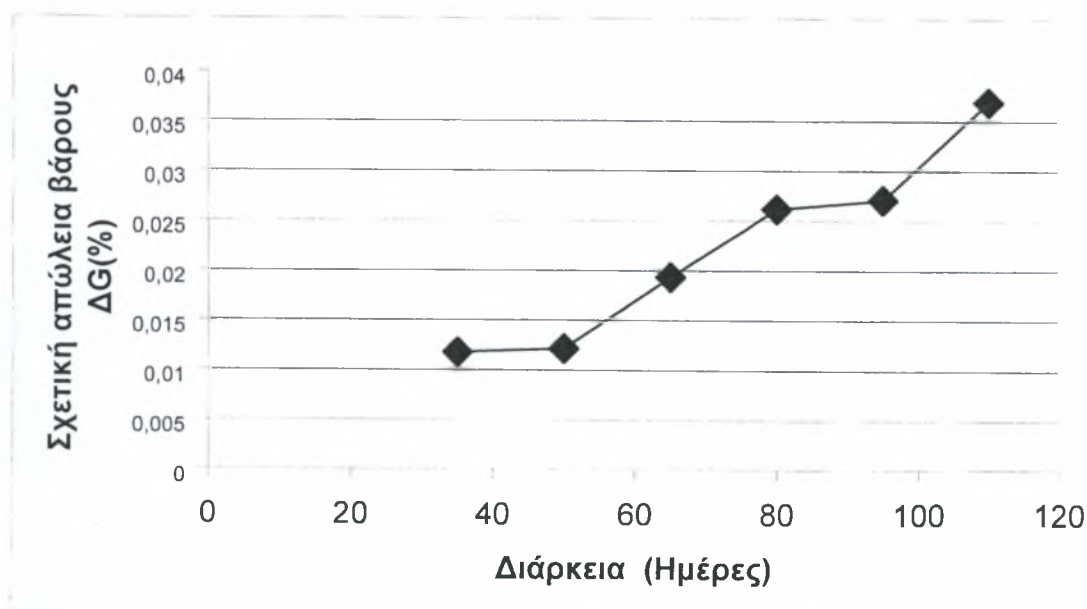
Τόσο η στερεοσκοπική ανάλυση των δοκιμίων 1.4, 1.5, 1.6 όσο και η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.1 δείχνουν ότι το διαβρωτικό φαινόμενο αναπτύσσεται με μεγαλύτερη ένταση κατά την διάρκεια των 80, 95 και 110 ημερών αντίστοιχα. Η συγκριτική όμως ανάλυση μεταξύ των τραχυμετρήσεων 1.4, 1.5, 1.6 και της 1.3 συνηγορεί σε μικρότερο βαθμό με την εντατικοποίηση του διαβρωτικού φαινομένου. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι εφόσον η τοπογραφία της επιφάνειας των δοκιμίων δε παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές, τα διαβρωτικά τρήματα αναπτύσσονται πιθανότατα κατά βάθος δηλαδή προς το εσωτερικό των δοκιμίων και όχι ως προς την επιφάνεια τους.

Αυτός ο μηχανισμός της ανάπτυξης των διαβρωτικών τρημάτων είναι δυνατόν να οδηγήσει στη δημιουργία ρηγματώσεων και εν συνεχεία, στη αιφνίδια αστοχία του υλικού η του μηχανολογικού εξοπλισμού.

• Κατηγορία επιφάνειας 2:

Πίνακας 6.2 Απώλεια βάρους και Σχετική απώλεια βάρους (%) στο Α.Ι.Τ

Αρ. Δοκιμίου	Διάρκεια διαδοχικών εμβαπτίσεων (Ημέρες)	Αρχικό Βάρος (gr) G_0	Τελικό Βάρος (gr) G_f	Απώλεια βάρους (gr) ΔG	Σχετική απώλεια βάρους $\Delta G(\%)$
δοκ 2,1	35	34,024	34,02	0,004	0,011
δοκ 2,2	50	39,453	39,449	0,0048	0,012
δοκ 2,3	65	36,279	36,272	0,007	0,019
δοκ 2,4	80	34,406	34,397	0,009	0,026
δοκ 2,5	95	38,796	38,786	0,01	0,027
δοκ 2,6	110	40,612	40,597	0,015	0,036



Διάγραμμα 6.2 Μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους των δοκιμίων της επιφάνειας 2

Από τον πίνακα 6.2 παρατηρείται ότι οι σχετικές απώλειες βάρους λαμβάνουν τιμές από 0,011 % έως 0,036 %.

Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους κατά τη διάρκεια των διαδοχικών εμβαπτίσεων των 35, 50, 65, 80, 95, 110 ημερών είναι αντίστοιχα 9%, 72%, 136%, 145%, 227 % διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους μεταξύ του δοκιμίων 2.1 και 2.6 είναι 227 %.

Από το διάγραμμα 6.2 και από τη στερεοσκοπία των δοκιμίων (Εικ 5.9 έως Εικ 5.14) φαίνεται ότι η διαβρωτική διαδικασία παρουσιάζει μία περιοχή με ελάχιστη ανάπτυξη των διαβρωτικών τρημάτων (χρόνος παραμονής 30 έως 50 ημέρες) και άλλη μία με αυξητική επίδραση της διαβρωτικής διεργασίας (χρόνος παραμονής 60 έως 110 ημέρες). τα δοκίμια 2.1 και 2.2 δεν παρουσιάζεται αξιόλογη μεταβολή του βάρους αλλά ούτε υπάρχει εμφανής ανάπτυξη διαβρωτικών τρημάτων όπως παρουσιάζεται στη στερεοσκοπική ανάλυση των αντίστοιχων δοκιμίων Εικ 5.9 και 5.10

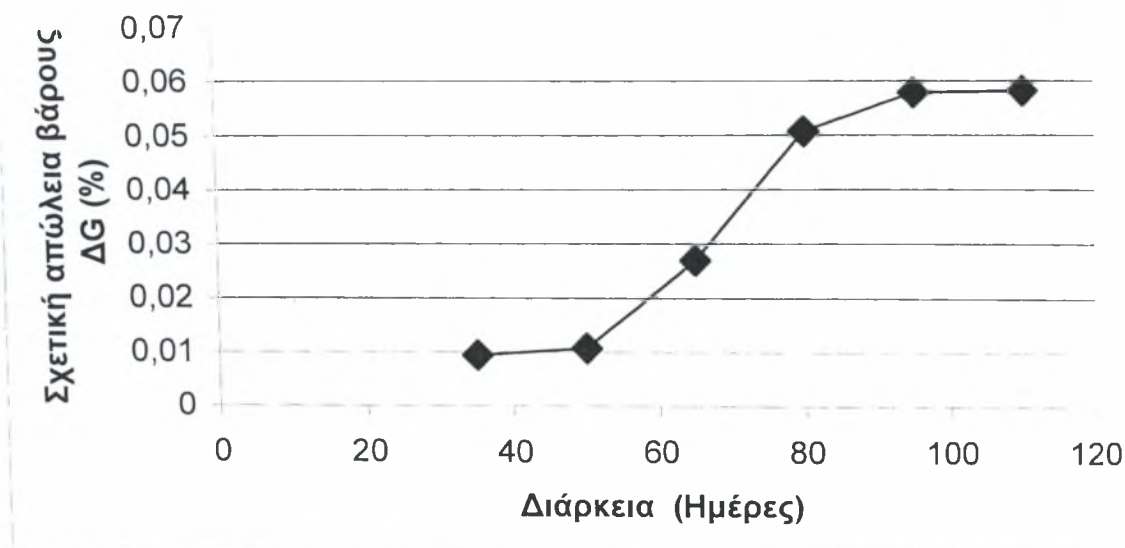
Η στερεοσκοπική ανάλυση του δοκιμίου 2.3 (Εικ. 5.11) δείχνει την πρώτη αξιόλογη ανάπτυξη διαβρωτικών τρημάτων τα οποία εντοπίζονται στις κορυφές της τραχύτητας της επιφανείας του δοκιμίου. Στο δοκίμιο 2.4 (Εικ 5.12) η διαβρωτική διαδικασία γίνεται σαφώς εντονότερη, τα δε διαβρωτικά τρήματα είναι περισσότερο εμφανή σε σχέση με τα δοκίμια 2.1 και 2.2 και ευρίσκονται επίσης στις κορυφές της τραχύτητας. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται τόσο από την αύξηση της σχετικής απώλειας βάρους (Πίνακας 6.2) όσο και από την συγκριτική παρατήρηση της στερεοσκοπικής ανάλυσης των αντίστοιχων δοκιμίων (Εικ. 5.9, 5.10, 5.11 και 5.12)

Στα δοκίμια 2.5 και 2.6 (Εικ. 5.13 και 5.14) ενώ η μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους είναι μεγαλύτερη το πλήθος των διαβρωτικών τρημάτων είναι μικρότερο αλλά μεγαλύτερου μεγέθους. Από τις μετρήσεις της επιφανειακής τραχύτητας των δοκιμίων (2.1 έως 2.6) δεν εντοπίζονται σημαντικές μεταβολές των παραμέτρων της τραχύτητας.

• *Κατηγορία επιφάνειας 3:*

Πίνακας 6.3 Απώλεια βάρους και Σχετική απώλεια βάρους (%) στο Α.Ι.Τ

Αρ. Δοκιμίου	Διάρκεια διαδοχικών εμβαπτίσεων (Ημέρες)	Αρχικό Βάρος (gr) G_0	Τελικό Βάρος (gr) G_f	Απώλεια βάρους (gr) ΔG	Σχετική απώλεια βάρους $\Delta G(\%)$
δοκ 3,1	35	31,972	31,969	0,003	0,0093
δοκ 3,2	50	37,338	37,334	0,004	0,0107
δοκ 3,3	65	37,108	37,098	0,01	0,0269
δοκ 3,4	80	29,589	29,574	0,015	0,0506
δοκ 3,5	95	34,566	34,546	0,02	0,0578
δοκ 3,6	110	36,067	36,046	0,021	0,0582



Διάγραμμα 6.3 Μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους των δοκιμίων της επιφάνειας 3

Από τον πίνακα 6.3 παρατηρείται ότι οι σχετικές απώλειες βάρους κυμαίνονται από 0,09 % έως 0,058 %.

Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους κατά τη διάρκεια των διαδοχικών εμφατίσεων 35, 50, 65, 80, 95, 110 ημέρες είναι αντίστοιχα 15% ,189 %, 444%, 521%,525%. Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους μεταξύ του δοκιμίων 3.1 και 3.6 είναι 525 %.

Από το διάγραμμα 6.3 και από τη στερεοσκοπία του δοκιμίου 3.1 (χρόνος παραμονής 35 ημέρες,) φαίνεται ότι η διαβρωτική διαδικασία δεν παρουσιάζει σημαντικά αποτελέσματα (Εικ 5.16).

Ενώ για τα δοκίμια 3.2 έως και 3.6 η διαβρωτική διαδικασία παρουσιάζει σημαντική αυξητική επίδραση. Τα πρώτα διαβρωτικά τρήματα μικρού μεγέθους εμφανίζονται στο δοκίμιο 3.2 (Εικόνα 5.17). Τα διαβρωτικά τρήματα εντοπίζονται κυρίως πάνω στις ατέλειες (ρωγμές ,σχισίματα) που υπάρχουν πάνω στην επιφάνεια των δοκιμίων αυτής της κατηγορίας.

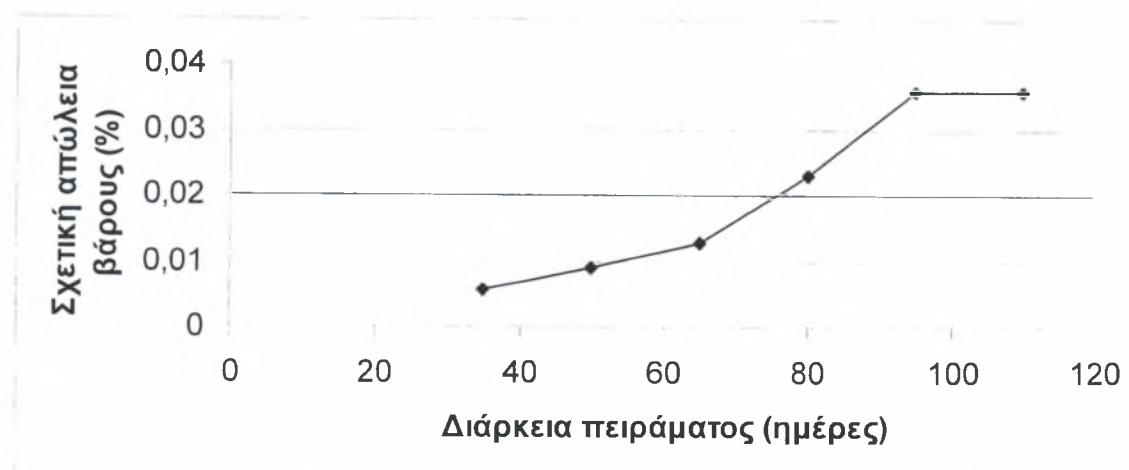
Η στερεοσκοπική ανάλυση των δοκιμίων 3.3, 3.4, 3.5 (Εικόνα 5.18 έως 5.20) και η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους όπως φαίνεται στο διάγραμμα 6.3 δείχνουν ότι το διαβρωτικό φαινόμενο αναπτύσσεται με μεγαλύτερη ένταση από τις 50 έως τις 80 ημέρες παραμονής των δοκιμίων στο διαβρωτικό περιβάλλον.

Από τη στερεοσκοπία των δοκιμών 3.5 και 3.6 παρατηρείται η αύξηση του αριθμού και των διαστάσεων των διαβρωτικών τρημάτων που εντοπίζονται πάλι πάνω στις ατέλειες της επιφάνειας. Όπως έχει προαναφερθεί η επιφάνεια αυτή έχει πολλές ατέλειες (ρωγμές ,σχίσματα) για αυτό το λόγο μερικές παράμετροι της τραχύτητας αλλάζουν από τραχυμέτρηση σε τραχυμέτρηση Σε γενικές γραμμές όμως τα προφίλ των επιφανειών των δοκιμών αλλάζουν ελάχιστα(Τραχυμετρήσεις 3.1 έως 3.6).

• Κατηγορία επιφάνειας 4:

Πίνακας 6.4 Απώλεια βάρους και Σχετική απώλεια βάρους (%) στο Α.Ι.Τ

Αρ. Δοκιμίου	Διάρκεια διαδοχικών εμβαπτίσεων (Ημέρες)	Αρχικό Βάρος (gr) G_0	Τελικό Βάρος (gr) G_f	Απώλεια βάρους (gr) ΔG	Σχετική απώλεια βάρους $\Delta G(\%)$
δοκ 4,1	35	34,533	34,531	0,002	0,0057
δοκ 4,2	50	44,324	44,32	0,004	0,0090
δοκ 4,3	65	39,155	39,15	0,005	0,0127
δοκ 4,4	80	43,708	43,698	0,01	0,0228
δοκ 4,5	95	33,523	33,511	0,012	0,0357
δοκ 4,6	110	38,966	38,952	0,014	0,0359



Διάγραμμα 6.1 Μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους των δοκιμών της επιφάνειας Ι

Από τον πίνακα 6.4 παρατηρείται ότι οι σχετικές απώλειες βάρους κυμαίνονται από 0,0057 % έως 0,036 %.

Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους κατά τη διάρκεια των διαδοχικών εμβαπτίσεων 35, 50, 65, 80, 95, 110 ημέρες είναι αντίστοιχα 58% ,122 %,300%, 526%,529% .Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους μεταξύ του δοκιμίων 3.1 και 3.6 είναι 529%.

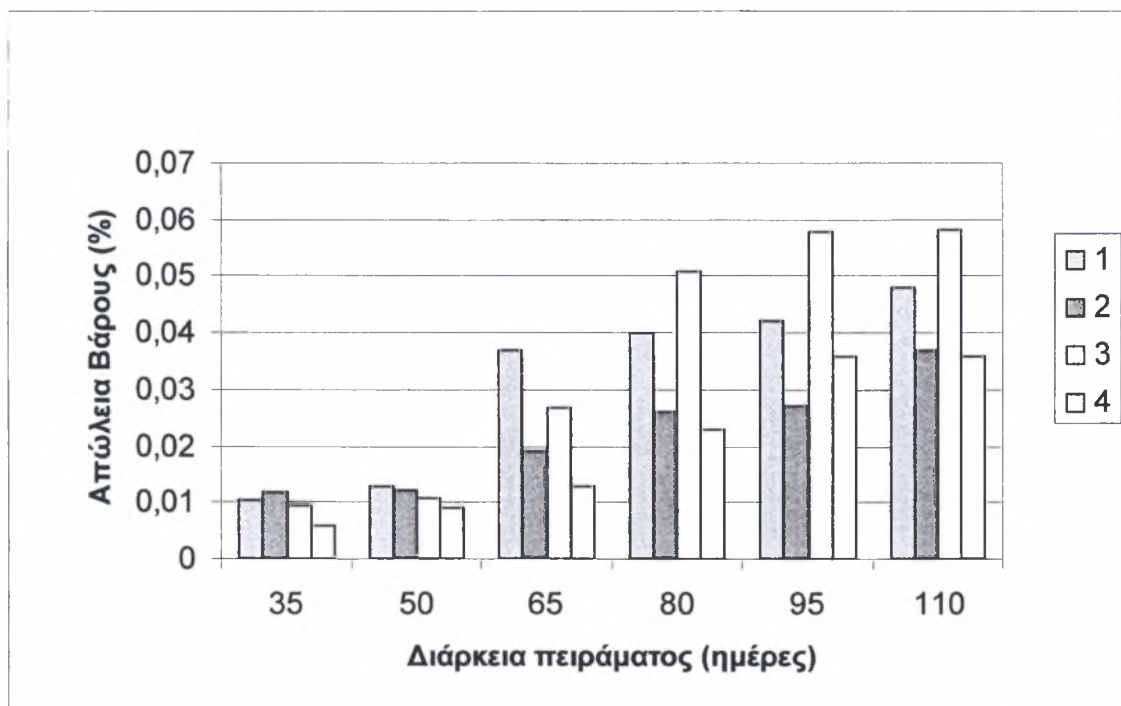
Από το διάγραμμα 6.4 και από τη στερεοσκοπία των δοκιμίων (Εικόνα 5.23 έως 5.27) φαίνεται ότι η διαβρωτική διαδικασία εντείνεται καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής της επιταχυνόμενης διάβρωσης με διαδοχικές εμβαπτίσεις. Στα δοκίμια 4.1 και 4.2 (Εικ 5.23 και 5.24) δε παρατηρείται κάποια αξιόλογη μεταβολή στο βάρος ή εμφάνιση διαβρωτικών τρημάτων (χρόνος παραμονής 35 και 50 ημέρες αντίστοιχα)

Η πρώτη αξιόλογη μεταβολή βάρους και εμφάνιση διαβρωτικών τρημάτων έχουμε στο δοκίμιο 4.3 (Εικ 5.25) το οποίο παρέμεινε στο διαβρωτικό περιβάλλον 65 ημέρες.

Από τη τραχυμέτρηση των επιφανειών των δοκιμίων 4.3 και 4.4 παρατηρούμε μεταβολή των παραμέτρων της τραχύτητας. Στην παρούσα περίπτωση η προς διάβρωση επιφάνεια έχει επιφανειακές ατέλειες και προσκολλημένα τεμαχίδια υλικού λόγω της φύσης της αντίστοιχης κατεργασίας .(Τραχυμετρήσεις 4.3, 4.4) .

Παρατηρούμε ακόμα ότι η διακύμανση των απωλειών βάρους των δοκιμίων 4.5 , 4.6 είναι ελάχιστη. Από τη στερεοσκοπική ανάλυση των δοκιμίων παρατηρούμε την ανάπτυξη των διαβρωτικών τρημάτων πάνω στις επιφανειακές ατέλειες των δοκιμίων, τα διαβρωτικά τρήματα είναι πιο εμφανή στα δοκίμια 4.5 και 4.6 (Εικόνα 5.26-5.27). Ακόμα φαίνεται ότι τα προσκολλημένα τεμαχίδια στην επιφάνεια των δοκιμίων μπορούν να λειτουργήσουν ως πυρήνες έναρξης της τρηματικής διάβρωσης.

6.1.1 Συγκριτική ανάλυση μεταξύ διαφορετικά κατεργασμένων επιφανειών (Με διαφορετικές συνθήκες τórνευσης)



Διάγραμμα 6.5 Σύγκριση σχετικών απωλειών βάρους των δοκιμίων των διαφορετικών κατηγοριών επιφανείας στον ίδιο χρόνο παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον.

• Δοκίμια για χρόνο παραμονής 35 ημερών

Πίνακας 6.5 Σχετική απώλεια βάρους για 35 ημέρες παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον (A.I.T)

	Αριθμός δοκιμίου			
	1,1	2,1	3,1	4,1
Σχετική απώλεια βάρους(%)	0,01	0,011	0,009	0,005

Τα δοκίμια που παρέμειναν στο διαβρωτικό περιβάλλον 35 ημέρες (Διάγραμμα 6.5) παρουσιάζουν μικρές μεταβολές στο βάρος τους. Παρατηρούμε διαφοροποιήσεις στη σχετική απώλεια βάρους των δοκιμίων 1.1, 2.1, 3.1, 4.1(Πίνακας 6.5)

Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από τη στερεοσκοπική ανάλυση των παραπάνω δοκιμίων (Εικ. 5.2, 5.9, 5.16, 5.23),όπου ακόμα δεν είναι εμφανή η δημιουργία διαβρωτικών τρημάτων στην επιφάνεια των δοκιμίων.

- Δοκίμια για χρόνο παραμονής 50 ημερών

Πίνακας 6.6 Σχετική απώλεια βάρους για 50 ημέρες παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον (A.I.T)

	Αριθμός δοκιμίου			
	1,2	2,2	3,2	4,2
Σχετική απώλεια βάρους(%)	0,012	0,012	0,01	0,009

Στις 50 ημέρες παραμονής των δοκιμίων 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 αυτά εξακολουθούν να έχουν μικρές μεταβολές στο βάρος τους (Διάγραμμα 6.5), αλλά παρατηρείτε κάποια διαφοροποίηση μεταξύ τους. Τα δοκίμια 1.2 και 2.2 φαίνεται να έχουν τη μεγαλύτερη σχετική απώλεια βάρους ενώ Στα 3.2 και 4.2 η απώλειες βάρους είναι μικρότερες 0,002 και 0,003 % αντίστοιχα (πίνακας 6.6). Αυτό επιβεβαιώνονται από τη στερεοσκοπική ανάλυση των δοκιμίων (Εικ. 5.3, 5.10, 5.17 και 5.24). παρατηρούμε ότι στις επιφάνειες των δοκιμίων 1.2 και 2.2, είναι εμφανή ορισμένα διαβρωτικά τρήματα. Στο δοκίμιο 3.2 υπάρχουν τρήματα μικρού μεγέθους ενώ στο 3.4 δεν είναι εμφανής η έναρξη της τρηματικής διάβρωσης.

- Δοκίμια για χρόνο παραμονής 65 ημερών

Πίνακας 6.7 Σχετική απώλεια βάρους για 65 ημέρες παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον (A.I.T)

	Αριθμός δοκιμίου			
	1,3	2,3	3,3	4,3
Σχετική απώλεια βάρους(%)	0,036	0,019	0,026	0,012

Η πρώτη αξιολόγηση μεταβολή του βάρους των δοκιμίων 1.3, 2.3, 3.3, 4.3 εμφανίζεται στις 65 μέρες παραμονής των δοκιμίων στο διαβρωτικό περιβάλλον (Πίνακας 6.7). Από το Διάγραμμα 6.5 βλέπουμε ότι τη μεγαλύτερη σχετική μεταβολή βάρους παρουσιάζεται στο δοκίμιο 1.3 με 0,036 %, ακολουθεί το δοκίμιο 3.3 το δοκίμιο 2.3 με 0,019% και τέλος το δοκίμιο 4.2 με 0.012 % . Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους μεταξύ των δοκιμίων 1.3 και των 3.3, 2.3 και 4.3 αντιστοίχως είναι: 38%, 89% και 200%.

Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τη στερεοσκοπία των δοκιμίων (Εικ. 5.4, 5.11, 5.18, 5.25). Στο δοκίμιο 1.3 είναι ευδιάκριτα τα διαβρωτικά τρήματα στις κορυφές της τραχύτητας. Στο δοκίμιο 3.3 τα διαβρωτικά τρήματα περιορίζονται στις επιφανειακές ατέλειες του δοκιμίου. Στο δοκίμιο 2.3 υπάρχουν τρήματα που διακρίνονται και αυτά στις κορυφές της τραχύτητας, αντιθέτως στο δοκίμιο 4.3 δεν υπάρχει εμφανής έναρξη της τρηματικής διάβρωσης.

- Δοκίμια για χρόνο παραμονής 80 ημερών

Πίνακας 6.8 Σχετική απώλεια βάρους για 80 ημέρες παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον (Α.Ι.Τ)

	Αριθμός δοκιμίου			
	1,4	2,4	3,4	4,4
Σχετική απώλεια βάρους(%)	0,04	0,026	0,05	0,022

Για 80 ημέρες παραμονής των δοκιμίων 1.4, 2.4, 3.4, 4.4 στη δοκιμή επιταχυνόμενης διάβρωσης, οι απώλειες βάρους παρουσιάζονται στο πίνακα 6.8. και στο Διάγραμμα 6.5. Η μεγαλύτερη σχετική απώλεια βάρους παρουσιάζεται στο δοκίμιο 3.4 με 0,05%, ακολουθεί το δοκίμιο 1.4 με 0,04 %, το δοκίμιο 2.4 με 0.026 % και το δοκίμιο 4.4 παρουσιάζει την μικρότερη σχετική απώλεια βάρους με 0.022%. Οι δε διακυμάνσεις της σχετικής απώλειας βάρους των παραπάνω δοκιμίων είναι αντίστοιχα: 25%, 92% και 127 %.

Από την στερεοσκοπική ανάλυση των παραπάνω δοκιμίων (Εικ. 5.5, 5.12, 5.19, 5.26) παρατηρούμε την αύξηση των διαβρωτικών τρημάτων στα παραπάνω δοκίμια που δικαιολογεί την αύξηση στις σχετικές απώλειες βάρους. Το δοκίμιο 1.4 παρουσιάζει

αύξηση της πυκνότητας των διαβρωτικών τρημάτων, όπως και το 2.4. Στο δοκίμιο 3.4 παρατηρείται αύξηση και των διαστάσεων των διαβρωτικών τρημάτων. Στο 4.4 υπάρχουν εμφανή διαβρωτικά τρήματα που εντοπίζονται πάνω στις επιφανειακές ατέλειες.

- Δοκίμια για χρόνο παραμονής 95 ημερών

Πίνακας 6.9 Σχετική απώλεια βάρους για 95 ημέρες παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον (A.I.T)

	Αριθμός δοκιμίου			
	1,5	2,5	3,5	4,5
Σχετική απώλεια βάρους(%)	0,042	0,027	0,057	0,035

Από τις σχετικές απώλειες βάρους των δοκιμίων 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 (Πίνακας 6.9) γίνεται εμφανής η παρουσία της διαβρωτικής επίδρασης, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από τις σχετικές απώλειες βάρους των δοκιμίων . (Σχήμα 6.5). Στις 95 ημέρες παραμονής τη μεγαλύτερη σχετική απώλεια έχει το δοκίμιο 3.5 με 0,057 % ακολουθούν το δοκίμιο 1.5 με μεταβολή βάρους 0,042 % το δοκίμιο 4.5 με 0.035 % και τέλος το δοκίμιο 2.5 με 0.027 %. Οι δε διακυμάνσεις της σχετικής απώλειας βάρους των παραπάνω δοκιμίων είναι αντίστοιχα: 35%, 63% και 111 %.

Από τη στερεοσκοπική ανάλυση των άνωθεν δοκιμίων (Εικ. 5.6, 5.13, 5.20 και 5.27) παρατηρούμε την αύξηση του αριθμού αλλά και των διαστάσεων των διαβρωτικών τρημάτων.

- Δοκίμια για χρόνο παραμονής 110 ημερών

Πίνακας 6.10 Σχετική απώλεια βάρους για 110 ημέρες παραμονής στο διαβρωτικό περιβάλλον (A.I.T)

	Αριθμός δοκιμίου			
	1,6	2,6	3,6	4,6
Σχετική απώλεια βάρους(%)	0,047	0,036	0,058	0,036

Η συνολική διάρκεια της δοκιμής επιταχυνόμενης διάβρωσης με διαδοχικές εμβαπτίσεις που έγινε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ανήλθε στις 110 ημέρες. Ο πίνακας 6.5 δείχνει τις σχετικές απώλειες βάρους των δοκιμίων 1.6, 2.6, 3.6, 4.6 στο τέλος της δοκιμής . Παρατηρείται ότι το δοκίμιο 3.6 έχει τη μεγαλύτερη απώλεια βάρους 0,058 % ακολουθούν το δοκίμιο 1.6 με μικρότερη σχετική μεταβολή βάρους 0.047 %. και τα δοκίμια 2.6 και 4.6 με 0.036 % το κάθε ένα. Οι δε διακυμάνσεις της σχετικής απώλειας βάρους των παραπάνω δοκιμίων είναι αντίστοιχα: 30%, 61% και 61 %.

Η στερεοσκοπική ανάλυση των παραπάνω δοκιμίων δικαιολογεί την μεταβολή του βάρους των δοκιμίων τα διαβρωτικά τρήματα έχουν πολλαπλασιαστεί στις επιφάνειες όλων των δοκιμίων. Στα δοκίμια 1.6, 2.6, 3.6 είναι εμφανή τρήματα μεγαλύτερων διαστάσεων.

6.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων των δοκιμών Εμβάπτισης σε διάλυμα FeCl₃

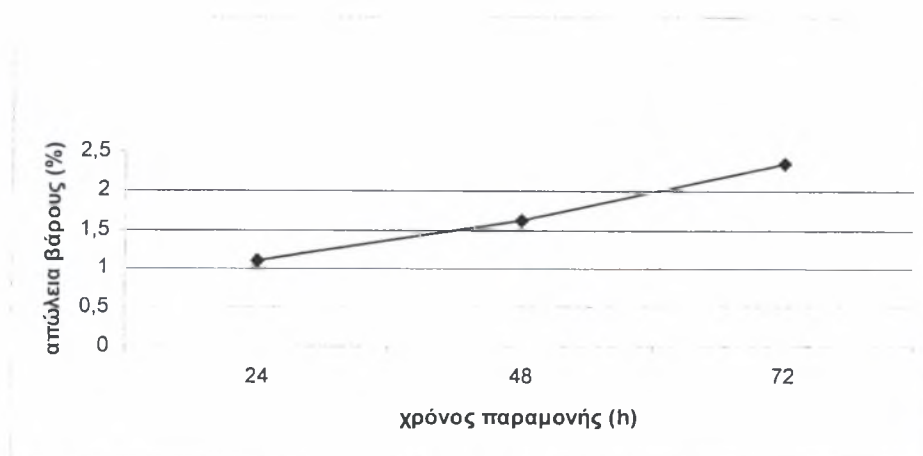
Εκτός από την απώλεια βάρους η τρηματική διάβρωση μπορεί να προσδιοριστεί από το μέγεθος και τη πυκνότητα των διαβρωτικών τρημάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες απωλειών βάρους των δοκιμίων, και η μέτρηση της πυκνότητας και των διαστάσεων των διαβρωτικών τρημάτων της δοκιμής επιταχυνόμενης διάβρωσης με εμβάπτιση σε διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου FeCl₃

- Δοκίμιο 1.8

Πίνακας 6.11. Απώλεια βάρους και Σχετική απώλεια βάρους (%) κατά την Εμβάπτιση του δοκιμίου 1.8 σε διάλυμα FeCl₃

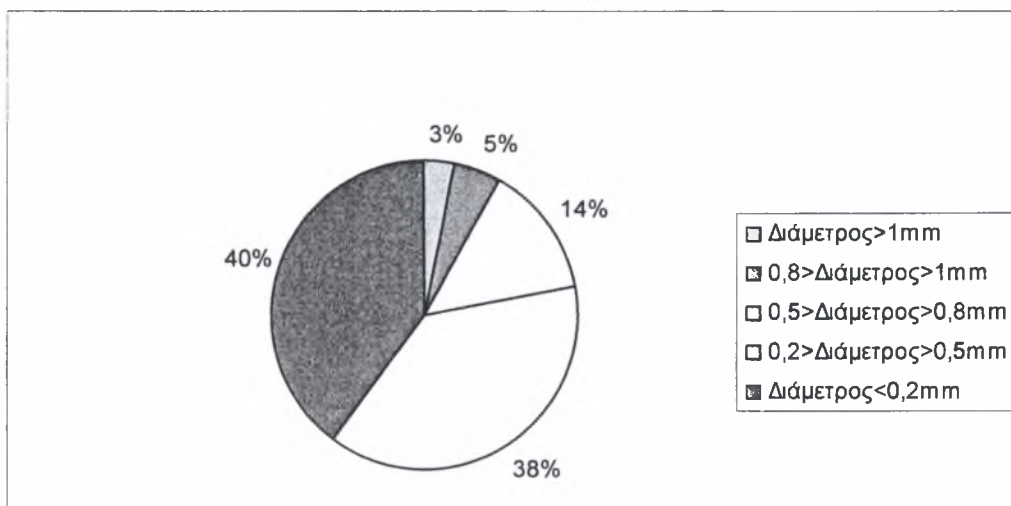
Διάρκεια εμβάπτισης στο διάλυμα (Ημέρες)	Αρχικό Βάρος (gr) G ₀	Τελικό Βάρος (gr) G _f	Απώλεια βάρους (gr) ΔG	Σχετική απώλεια βάρους ΔG(%)
24	40,214	39,77	0,444	1,1
48	40,214	39,518	0,696	1,61
72	40,214	39,263	0,951	2,36



Διάγραμμα 6.6 Μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους των δοκιμίων της επιφάνειας 1.8

- Μέτρηση Αριθμού και Διαστάσεων των Διαβρωτικών Τρημάτων στο Δοκίμιο 1.8:

Πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων : 40.02 pits/cm^2



Εικ 6.1 Κατανομή διαμέτρων διαβρωτικών τρημάτων στο δοκίμιο 1.8

Από το πίνακα 6.11 παρατηρείται ότι οι σχετική απώλεια βάρους του δοκιμίου 1.8 στις 24 ώρες ήταν 1.1 % , στις 48 1.61% και στις 72 2.36 % . Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους κατά αυτής της δοκιμής επιταχυνόμενης διάβρωσης των 24 και 48, 72 ωρών είναι αντίστοιχα 46 % και 114 % .

Οι παραπάνω σχετικές απώλειες βαρών δικαιολογούνται και από τη στερεοσκοπική ανάλυση του δοκιμίου 1.8 στις 24, 48 και 72 ωρών παραμονής στο διαβρωτικό διάλυμα (Εικ. 5.29 έως και 5.31). Στις 24 ώρες στο δοκίμιο έχουν ήδη αναπτυχθεί τα πρώτα διαβρωτικά τρήματα. Στις 48 ώρες παρατηρείτε πολλαπλασιασμός των διαβρωτικών τρημάτων ενώ στις 72 παρατηρούνται τρήματα μεγαλύτερων διαστάσεων.

Ταυτόχρονα τραχυμετρήσεις 1.8 α και 1.8 β (που έγιναν πριν την εμβάπτιση του δοκιμίου και μετά το πέρας των 72 ωρών αντίστοιχα μας δείχνουν ότι οι παράμετροι της τραχύτητας R_t (Μέγιστο ύψος της υψηλότερης κορυφής από την βαθύτερη κοιλάδα) και R_{sk} (Κυρτότητα) μεταβάλλονται από 17.4 σε 29.5 και 1.98 σε 3.37 αντίστοιχα εξαιτίας της ύπαρξης των διαβρωτικών τρημάτων στην επιφάνεια του δοκιμίου.

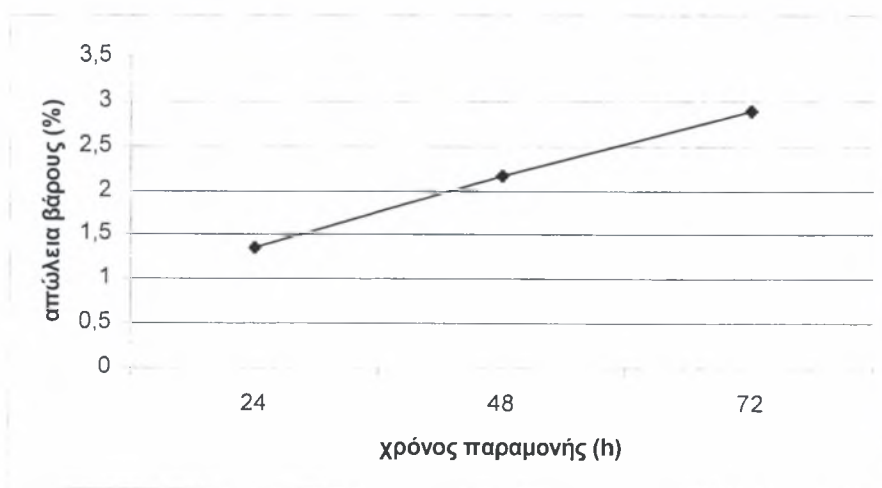
Στο τέλος της δοκιμής έγινε μέτρηση της πυκνότητας των διαβρωτικών τρημάτων $40.02 \text{ [pits/cm}^2\text{]}$ και της κατανομής των διαμέτρων των τρημάτων (Σχήμα

6.1). Το μεγαλύτερο ποσοστό τρημάτων έχουν διάμετρο μικρότερη των 2 mm. Ακολουθούν τα διαβρωτικά τρήματα με διάμετρο 0.2 με 0.5 mm μετά τρήματα με διάμετρο 0.5 με 0.8 mm έπειτα αυτά που έχουν διάμετρο 0.8 με 1 mm και τέλος αυτά που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη του 1 mm.

• Δοκίμιο 2.8

Πίνακας 6.12. Απώλεια βάρους και Σχετική απώλεια βάρους (%) κατά την Εμβάπτιση του δοκιμίου 2.8 σε διάλυμα $FeCl_3$

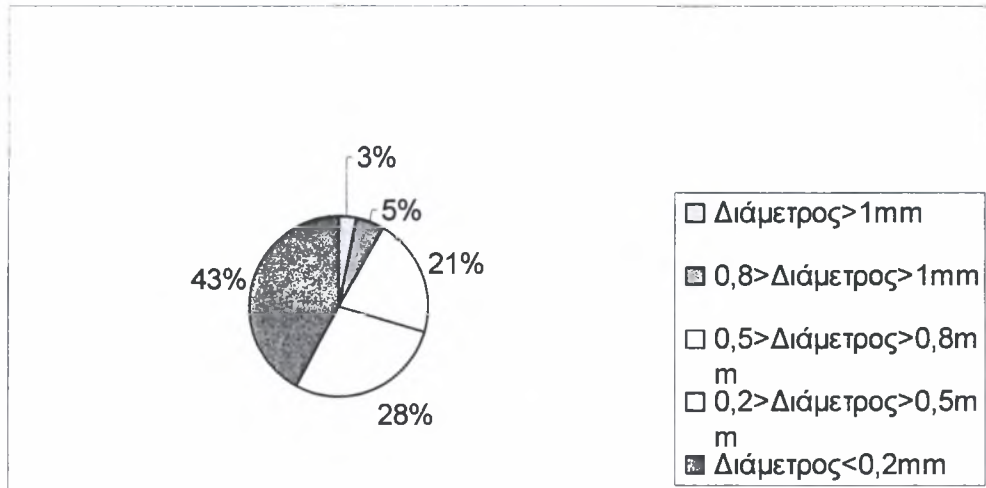
Διάρκεια εμβάπτισης στο διάλυμα (Ημέρες)	Αρχικό Βάρος (gr) G_0	Τελικό Βάρος (gr) G_f	Απώλεια βάρους (gr) ΔG	Σχετική απώλεια βάρους $\Delta G(\%)$
24	32,065	31,632	0,433	1,35
48	32,065	31,372	0,693	2,16
72	32,065	31,14	0,925	2,88



Διάγραμμα 6.7 Μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους των δοκιμίων της επιφάνειας 2.8

Μέτρηση Αριθμού και Διαστάσεων των Διαβρωτικών Τρημάτων στο Δοκίμιο 2.8:

Πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων : $38.03 \frac{pit}{cm^2}$



Εικ 6.2 Κατανομή διαμέτρων διαβρωτικών τρημάτων στο δοκίμιο 2.8

Από το πίνακα 6.12 παρατηρείται ότι οι σχετική απώλεια βάρους του δοκιμίου 2.8 στις 24 ώρες ήταν 1.35 % , στις 48 2.16% και στις 72 2.88 %. Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους κατά αυτής της δοκιμής επιταχυνόμενης διάβρωσης των 24 και 48, 72 ωρών είναι αντίστοιχα 60 % και 113 % .

Από τη στερεοσκοπική ανάλυση του δοκιμίου (Εικ. 5.33 ως 5.35) παρατηρείται ότι στις 24 ώρες παραμονής του δοκιμίου στο διαβρωτικό διάλυμα υπάρχει τρηματική διάβρωση. Στις 48 ώρες παρατηρείτε ότι το μέγεθος των τρημάτων έχει αυξηθεί. Στις 72 ώρες φαίνεται ότι έχει αποκολληθεί η επιφάνεια που βρίσκεται πάνω από τα διαβρωτικά τρήματα τα οποία έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα διαβρωτικά τρήματα αναπτύσσονται κυρίως κάτω από την επιφάνεια.

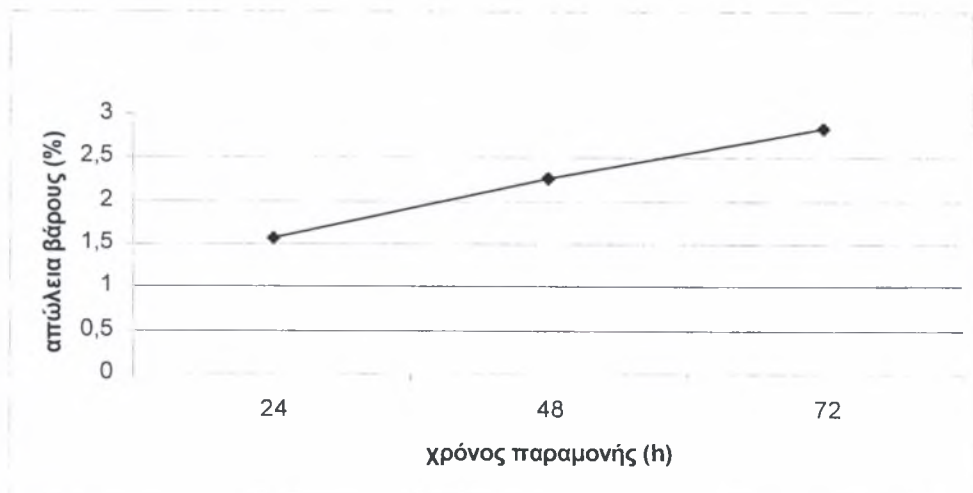
Ταυτόχρονα από το προφίλ των επιφανειών (Τραχυμέτρηση 2.8 α, 2.8 β) παρατηρούμε ότι η τρηματική διάβρωση επηρεάζει το προφίλ των επιφανειών και της παραμέτρους της τραχύτητας.

Στο τέλος της δοκιμής έγινε μέτρηση της πυκνότητας των διαβρωτικών τρημάτων 38.03 [pits/cm²] και της κατανομής των διαμέτρων των τρημάτων (Εικ 6.2). Το μεγαλύτερο ποσοστό τρημάτων έχουν διάμετρο μικρότερη των 2 mm. Ακολουθούν τα διαβρωτικά τρήματα με διάμετρο 0.2 με 0.5 mm μετά τρήματα με διάμετρο 0.5 με 0.8 mm έπειτα αυτά που έχουν διάμετρο 0.8 με 1 mm και τέλος αυτά που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη του 1 mm.

• Δοκίμιο 3.8

Πίνακας 6.13. Απώλεια βάρους και Σχετική απώλεια βάρους (%) κατά την Εμβάπτιση του δοκιμίου 3.8 σε διάλυμα $FeCl_3$

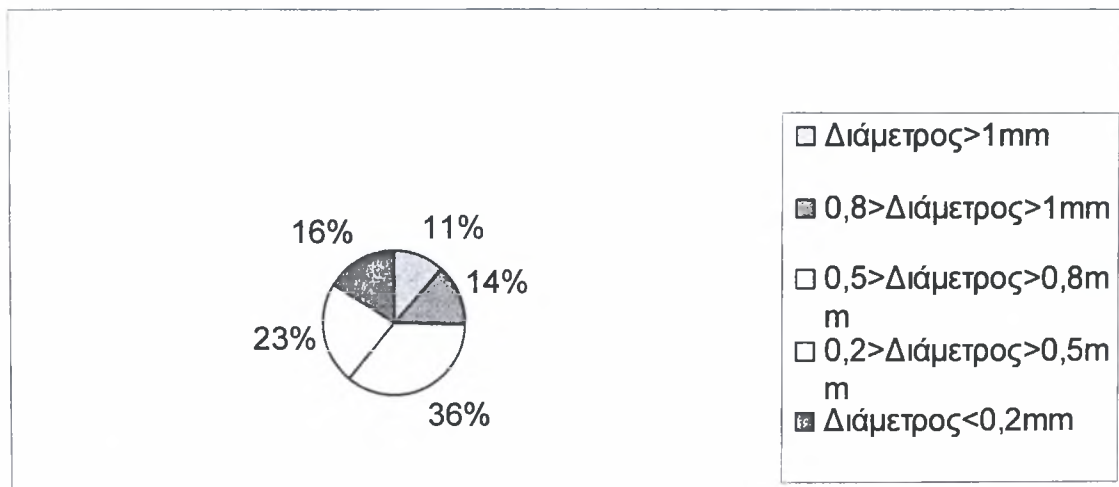
Διάρκεια εμβάπτισης στο διάλυμα (Ημέρες)	Αρχικό Βάρος (gr) G_0	Τελικό Βάρος (gr) G_f	Απώλεια βάρους (gr) ΔG	Σχετική απώλεια βάρους $\Delta G(\%)$
24	37,699	37,099	0,6	1,56
48	37,699	36,843	0,856	2,27
72	37,699	36,626	0,57	2,84



Διάγραμμα 6.8 Μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους των δοκιμίων της επιφάνειας 3.8

- Μέτρηση Αριθμού και Διαστάσεων των Διαβρωτικών Τρημάτων στο Δοκίμιο 3.8:

Πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων : $16.45 \frac{\text{pits}}{\text{cm}^2}$



Εικ 6.3 Κατανομή διαμέτρων διαβρωτικών τρημάτων στο δοκίμιο 3.8

Από το πίνακα 6.13 παρατηρείται ότι οι σχετική απώλεια βάρους του δοκιμίου 3.8 στις 24 ώρες ήταν 1.56 % , στις 48 2.27% και στις 72 2.84 %. Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους κατά αυτής της δοκιμής επιταχυνόμενης διάβρωσης των 24 και 48, 72 ωρών είναι αντίστοιχα 45 % και 82 % .

Οι παραπάνω σχετικές απώλειες βαρών δικαιολογούνται και από τη στερεοσκοπική ανάλυση του δοκιμίου στις 24, 48 και 72 ωρών παραμονής στο διαβρωτικό διάλυμα (Εικ.5.37 έως και 5.39). Στις 24 ώρες παρατηρείται δημιουργία διαβρωτικών τρημάτων στην επιφάνεια του δοκιμίου, η διάμετρός τους είναι μικρή αλλά από την απόχρωση φαίνεται πως εξελίσσονται προς το εσωτερικό του δοκιμίου. Στις 48 ώρες έχει υποχωρήσει ένα μέρος της επιφάνειας πάνω από τα διαβρωτικά τρήματα ακόμη φαίνεται πως υπάρχει συνένωση μερικών διαβρωτικών τρημάτων και δημιουργία με συνέπεια να δημιουργούνται μεγαλύτερα. Τελικά στις 72 ώρες φαίνεται καθαρά η ανάπτυξη μεγάλων σε διαστάσεις διαβρωτικών τρημάτων.

Ταυτόχρονα με την απώλεια βάρους και την στερεοσκοπική ανάλυση παρατηρείτε και η μεγάλη αλλαγή των παραμέτρων της τραχύτητας (Τραχυμέτρηση 3.8 α, 3.8 β). Η αλλαγή αυτή οφείλεται στο μεγάλο μέγεθος των διαβρωτικών τρημάτων.

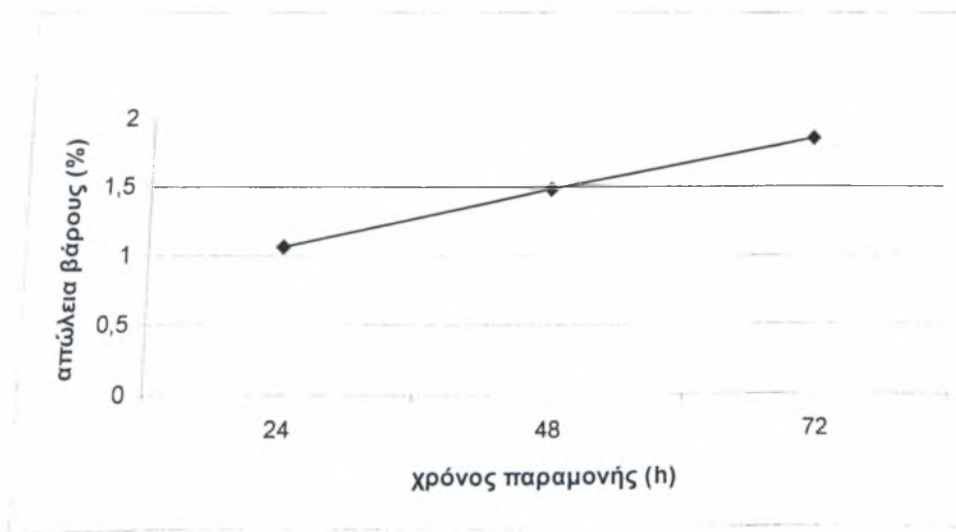
Στο τέλος της δοκιμής έγινε μέτρηση της πυκνότητας των διαβρωτικών τρημάτων 16.45 [pits/cm²] και της κατανομής των διαμέτρων των τρημάτων (Εικ 6.3). Το μεγαλύτερο ποσοστό τρημάτων έχουν διάμετρο 0.5 με 0.8 mm. Ακολουθούν τα

διαβρωτικά τρήματα με διάμετρο 0.2 με 0.5 mm μετά τρήματα με διάμετρο μικρότερη από 2mm έπειτα αυτά που έχουν διάμετρο 0.8 με 1 mm και τέλος αυτά που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη του 1 mm.

• Δοκίμιο 4.8

Πίνακας 6.14. Απώλεια βάρους και Σχετική απώλεια βάρους (%) κατά την Εμβάπτιση του δοκιμίου 4.8 σε διάλυμα $FeCl_3$

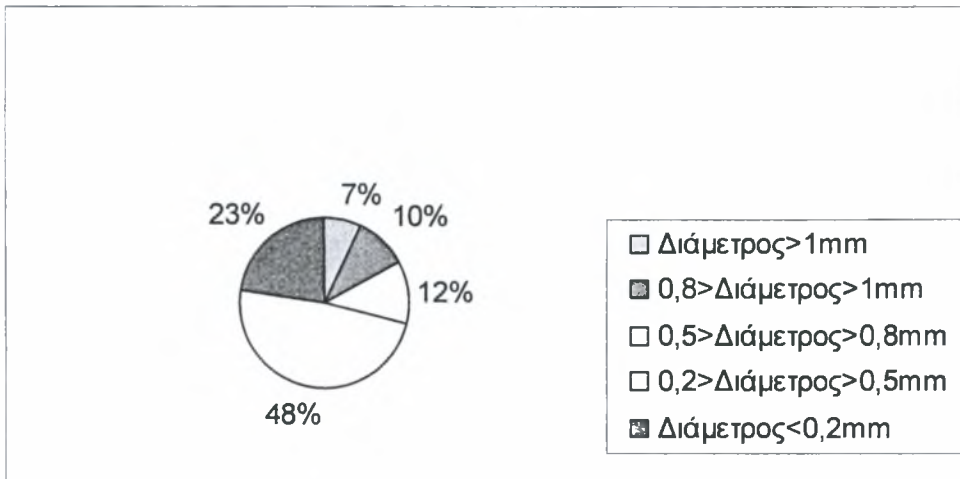
Διάρκεια εμβάπτισης στο διάλυμα (Ημέρες)	Αρχικό Βάρος (gr) G_0	Τελικό Βάρος (gr) G_f	Απώλεια βάρους (gr) ΔG	Σχετική απώλεια βάρους $\Delta G(\%)$
24	38,31	37,903	0,407	1,06
48	38,31	37,74	0,57	1,48
72	38,31	37,601	0,709	1,85



Διάγραμμα 6.8 Μεταβολή της σχετικής απώλειας βάρους των δοκιμίων της επιφάνειας 3.8

- Μέτρηση Αριθμού και Διαστάσεων των Διαβρωτικών Τρημάτων στο Δοκίμιο 4.8:

Πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων : $16.34 \frac{\text{pits}}{\text{cm}^2}$



Εικ 6.4 Κατανομή διαμέτρων διαβρωτικών τρημάτων στο δοκίμιο 4.8

Από το πίνακα 6.7 παρατηρείται ότι οι σχετική απώλεια βάρους του δοκιμίου 3.8 στις 24 ώρες ήταν 1.06 % , στις 48 1.48% και στις 72 1.85 % . Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους κατά αυτής της δοκιμής επιταχυνόμενης διάβρωσης των 24 και 48, 72 ωρών είναι αντίστοιχα 39 % και 75 % .

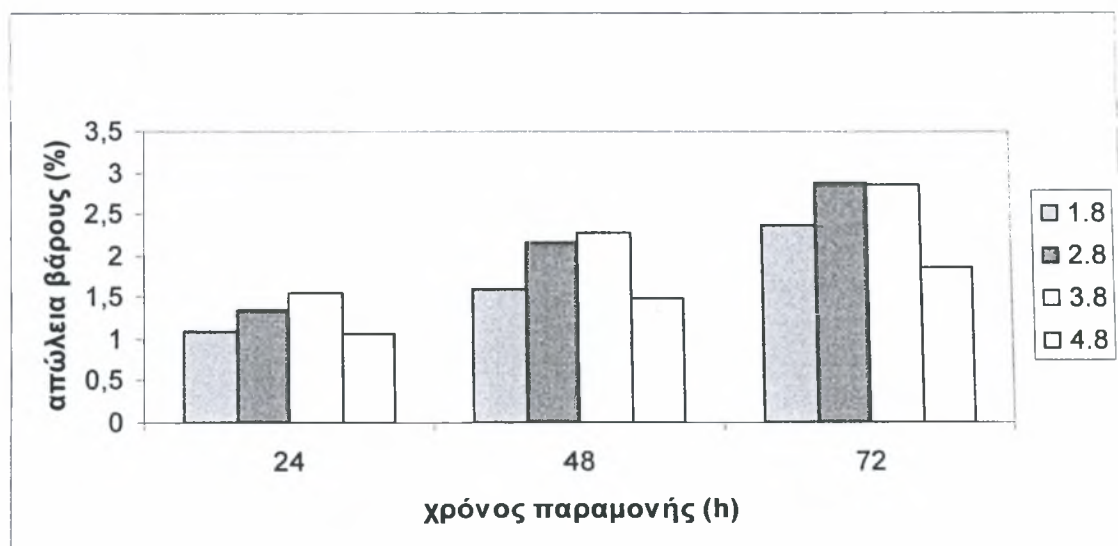
Από τη στερεοσκοπική ανάλυση του δοκιμίου (Εικ. 5.41 ως και 5.43) παρατηρείται ότι στις 24 ώρες παραμονής του δοκιμίου στο διαβρωτικό διάλυμα υπάρχει τρηματική διάβρωση. Τα δε τρήματα έχουν σχετικά μεγάλο μέγεθος. Στις 48 ώρες παρατηρείτε ότι ο αριθμός των διαβρωτικών τρημάτων έχει αυξηθεί , και ορισμένα τρήματα συνενώνονται μεταξύ τους. Στις 72 ώρες υπάρχουν διαβρωτικά τρήματα που οι διαστάσεις τους είναι αρκετά μεγάλες.

Από τις τραχυμετρήσεις 4.8 α και 4.8 β που έγιναν πριν την εμφάνιση του δοκιμίου και μετά το πέρας των 72 ωρών αντίστοιχα παρατηρούμε αξιόλογη της παραμέτρου της τραχύτητας R_t από 12.1μm σε 21,6μm που οφείλεται στην δημιουργία και ανάπτυξη των διαβρωτικών τρημάτων.

Στο τέλος της δοκιμής έγινε μέτρηση της πυκνότητας των διαβρωτικών τρημάτων $16.34 [\text{pits}/\text{cm}^2]$ και της κατανομής των διαμέτρων των τρημάτων (Εικ 6.3).

Το μεγαλύτερο ποσοστό τρημάτων έχουν διάμετρο 0.2 με 0.5 mm. Ακολουθούν τα διαβρωτικά τρήματα με διάμετρο μικρότερη από 2mm μετά τρήματα με διάμετρο 0.5 με 0.8 mm έπειτα αυτά που έχουν διάμετρο 0.8 με 1 mm και τέλος αυτά που έχουν διάμετρο μεγαλύτερη του 1 mm.

6.2.1 Συγκριτική ανάλυση μεταξύ διαφορετικά κατεργασμένων επιφανειών



Διάγραμμα 6.9 Σύγκριση σχετικών απωλειών βάρους των δοκιμίων 1.8 ,2.8, 3.8, 4.8 διαφορετικών κατηγοριών επιφανείας στον ίδιο χρόνο παραμονής στο διαβρωτικό διάλυμα FeCl₃

• Δοκίμια για χρόνο παραμονής 24 ώρες

	Αριθμός δοκιμίου			
	1.8	2.8	3.8	4.8
Σχετική απώλεια βάρους(%)	1,1	1,35	1,56	1,06

Πίνακας 6.15 Σχετική απώλεια βάρους για 24 ώρες παραμονής στο διαβρωτικό στο διαβρωτικό διάλυμα FeCl₃

Από τον πίνακα 6.15 φαίνονται οι σχετικές απώλειες βάρους των δοκιμίων 1.8, 2.8, 3.8, 4.8 στις 24 ώρες παραμονής στο διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου (FeCl_3).

Τη μεγαλύτερη σχετική απώλεια βάρους παρουσιάζει το δοκίμιο 3.8 με 1,56 % , ακολουθεί το δοκίμιο 2.8 με 1,35 %, το δοκίμιο 1.8 με 1.1 % και τέλος το δοκίμιο 4.8 με 1.06 %. Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους των αντίστοιχων δοκιμίων είναι 15 %, 42 % και 47 %.

Από τη στερεοσκοπική ανάλυση των δοκιμίων στις 24 ώρες παραμονής στο διάλυμα τα δοκίμια παρουσιάζουν τρηματική διάβρωση (Εικ.5.29, 5.33, 5.37, 5.41). Τα τρήματα είναι εμφανή σε όλη την επιφάνεια των δοκιμίων αλλά εντοπίζονται κυρίως κοντά στις ακμές της γεωμετρίας τους.

• Δοκίμια για χρόνο παραμονής 48 ώρες

	Αριθμός δοκιμίου			
	1.8	2.8	3.8	4.8
Σχετική απώλεια βάρους(%)	1,61	2,16	2,27	1,48

Πίνακας 6.16 Σχετική απώλεια βάρους για 48 ώρες παραμονής στο διαβρωτικό στο διαβρωτικό διάλυμα FeCl_3

Από τον πίνακα 6.16 βλέπουμε τις σχετικές απώλειες βάρους των δοκιμίων 1.8, 2.8, 3.8, 4.8 στις 48 ώρες παραμονής στο διαβρωτικό διάλυμα (FeCl_3).

Η μεγαλύτερη σχετική απώλεια βάρους παρουσιάζει το δοκίμιο 3.8 με 2.27 % ακολουθεί το δοκίμιο 2.8 με 2.16 %, το δοκίμιο 1.8 με 1.61 % και τέλος το δοκίμιο 4.8 με 1.48 %. Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους των αντίστοιχων δοκιμίων είναι 5 %, 42 % και 53 %.

Από τη στερεοσκοπία των δοκιμίων μετά από 48 ώρες εμβάπτισης στο διαβρωτικό διάλυμα παρατηρείται η αύξηση του αριθμού και των διαστάσεων των διαβρωτικών τρημάτων. Η μεγαλύτερη πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων παρουσιάζεται στις ακμές των δοκιμίων. Η μεγαλύτερη σχετική απώλεια βάρους του δοκιμίου 3.8 και μετά του 2.8 (Εικ. 5.34 έως και 5.38) φαίνεται και από το μέγεθος των διαβρωτικών τρημάτων. Στο δοκίμιο 1.8 τα τρήματα είναι συγκριτικά μικρότερα ενώ στο 4.8 η πυκνότητα τους είναι μικρότερη.

• Δοκίμια για χρόνο παραμονής 72 ώρες

	Αριθμός δοκιμίου			
	1.8	2.8	3.8	4.8
Σχετική απώλεια βάρους(%)	2,36	2,88	2,84	1,85

Πίνακας 6.17 Σχετική απώλεια βάρους για 72 ώρες παραμονής στο διαβρωτικό στο διαβρωτικό διάλυμα $FeCl_3$

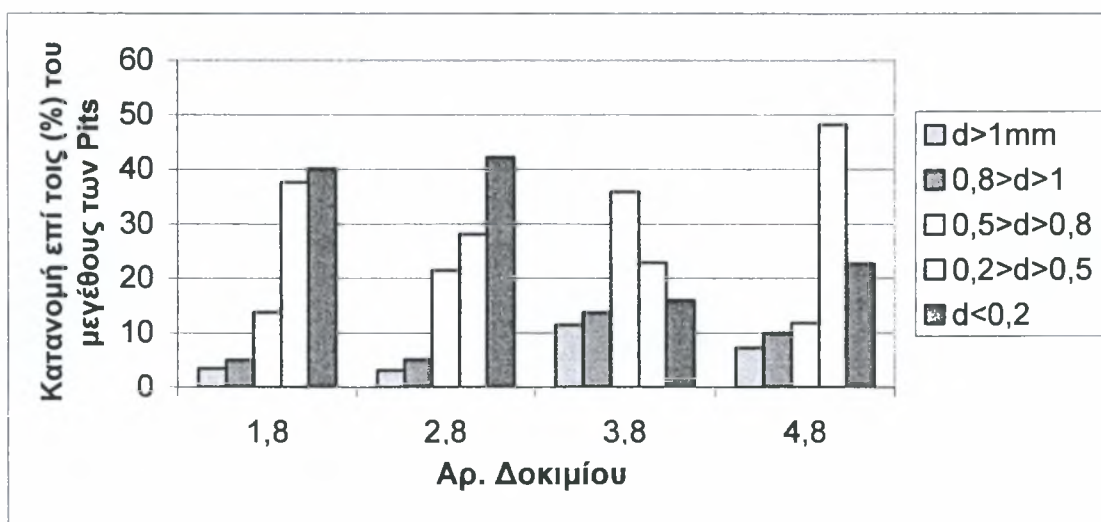
Από τον πίνακα 6.17 βλέπουμε τις σχετικές απώλειες βάρους των δοκιμίων 1.8, 2.8, 3.8, 4.8 στις 72 ώρες παραμονής στο διαβρωτικό διάλυμα.

Η μεγαλύτερη μεταβολή βάρους παρατηρείται στο δοκίμιο 2.8 με 2,88% ακολουθεί το δοκίμιο 3.8 με 2.84 %, το δοκίμιο 1.8 με 2.36 % και τέλος το δοκίμιο 4.8 με 1.85 %. Η διακύμανση της σχετικής απώλειας βάρους των αντίστοιχων δοκιμίων είναι 1.5 %, 22 % και 55 %.

Οι παραπάνω απώλειες βάρους δικαιολογούνται και από τη στερεοσκοπική ανάλυση των δοκιμίων(Εικ 5.31, 5.35, 5.39 και 5.43). Τα διαβρωτικά τρήματα έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα στις ακμές των δοκιμίων. Τα τρήματα μεγαλύτερου μεγέθους στα δοκίμια 2.8 και 3.8 (Εικ 5.35 και 5.39) προκύπτουν από συνένωση γειτονικών τρημάτων με τάση αποκόλλησης των επιφανειακών στρωμάτων της επιφάνειας των δοκιμίων,

δημιουργώντας φαινόμενο παρόμοιο με εκείνο του Exfoliation. Επίσης στα 1.8 και 4.8 παρατηρείται ανάλογο φαινόμενο. Ακόμα φαίνονται οι τελικές διαστάσεις των τρημάτων που δεν ήταν ορατές στις 24 και 48 ώρες λόγω της απομάκρυνσης των επιφανειακών στρωμάτων πάνω από τα αρχικά διαβρωτικά τρήματα, γεγονός που οφείλεται στην ανάπτυξη τους κάτω από την επιφάνεια των δοκιμίων.

• Πυκνότητας και μέγεθος των διαβρωτικών τρημάτων



Διάγραμμα 6.10 Κατανομής του μεγέθους των διαβρωτικών τρημάτων στα δοκίμια 1.8, 2.8, 3.8, 4.8 .Χρόνος παραμονής στο διαβρωτικό διάλυμα 72 ώρες.

	Αριθμός δοκιμίου			
	1.8	2.8	3.8	4.8
Πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων [pits/cm ²]	40,2	38,3	16,45	16,34

Πίνακας 6.18 Πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων στις 72 ώρες παραμονής στο διαβρωτικό διάλυμα.

Από το πίνακα 6.18 παρατηρείται ότι το δοκίμιο το 4.8 έχει τη μικρότερη πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων το οποίο δικαιολογείται και από την σχετική απώλεια

βάρους του δοκιμίου. Το δοκίμιο 3.8 έχει μικρή πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων αλλά από το διάγραμμα 6.10 όμως φαίνεται ότι το δοκίμιο αυτό έχει μεγάλα ποσοστά τρημάτων με μεγάλη διάμετρο το οποίο δικαιολογεί την απώλεια βάρους. Το δοκίμιο 2.8 έχει σχετικά μεγάλη πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων που φαίνεται και από τη στερεοσκοπία αλλά και από τις απώλειες βάρους. Το δοκίμιο 1.8 έχει τη δεύτερη μικρότερη σχετική απώλεια βάρους από τη κατανομή των διαμέτρων των τρημάτων φαίνεται ότι το με διαφορά το μεγαλύτερο ποσοστό διαβρωτικών τρημάτων είναι μικρής διαμέτρου.

Ταυτόχρονα από τις τραχυμετρήσεις των δοκιμίων μετά τη διάβρωση παρατηρείτε ότι τις μεγαλύτερες μεταβολές στα προφίλ των επιφανειών τους έχουν τα 2.8 και 3.8.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις συνθήκες τórνευσης των δοκιμίων του ανοξείδωτου χάλυβα A.I.S.I 304, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά των δοκιμίων όπως αυτά αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4, καθώς και την ανάλυση των αποτελεσμάτων του Κεφαλαίου 6 προκύπτει ότι, τα συμπεράσματα τα οποία εξάγονται από την παρούσα Διπλωματική Εργασία είναι τα εξής:

A. Ομάδα Συμπερασμάτων από τις Δοκιμές των Διαδοχικών Εμβαπτίσεων

- Η έναρξη δημιουργίας των διαβρωτικών τρημάτων εντοπίζεται στο χρονικό διάστημα μεταξύ των 35 και 50 ημερών παραμονής (των δοκιμίων του A.I.S.I 304) στο διαβρωτικό περιβάλλον και για τις τέσσερες διαφορετικές επιφανειακές τοπογραφίες που προέκυψαν από τις διαφορετικές συνθήκες τórνευσης
- Τοπογραφικά τα διαβρωτικά τρήματα εμφανίζονται αρχικά στις κορυφές των επιφανειών των δοκιμίων που προέκυψαν από την διαδικασία της τórνευσης (Επιφάνειες 1 και 2).
- Οι επιφάνειες με μικρό πλήθος κορυφών μεγάλου ύψους (Επιφάνειες τύπου 1) παρουσιάζουν σχετικά μεγάλο βαθμό διάβρωσης. Οι περιοχές των κορυφών είναι ενεργειακά αναβαθμισμένες λόγω της συσσώρευσης σε αυτές σχετικά υψηλών παραμενουσών τάσεων που οφείλονται στην αντίστοιχη κατεργασία τórνευσης.
- Οι επιφάνειες με σχετικά μεγάλο πλήθος κορυφών μεσαίου ύψους (Επιφάνειες τύπου 2) παρουσιάζουν σχετικά μικρό βαθμό διάβρωσης, προφανώς λόγω της σχετικά μικρότερης παρουσίας παραμενουσών τάσεων στην κατεργασμένη επιφάνεια
- Στις τórνεμένες επιφάνειες με μεγάλο πλήθος κορυφών μικρού ύψους (Επιφάνεια 3), οι οποίες ταυτόχρονα εμφανίζουν και ατέλειες όπως ρωγμές και σχισίματα, τα διαβρωτικά τρήματα εμφανίζονται στον χώρο των ατελειών οι οποίες λειτουργούν ως

πυρήνες έναρξης της διαβρωτικής διαδικασίας. Στην περίπτωση αυτή η επίδραση των ατελειών στη διάβρωση της επιφανείας είναι καθοριστική και υπερισχύει της επίδρασης των παραμενουσών τάσεων οι οποίες λόγω του μικρού ύψους των κορυφών (χαμηλή τραχύτητα) επιδρούν ασθενέστερα στην δημιουργία των διαβρωτικών τρημάτων

- Για επιφάνειες σχετικά μεγάλου πλήθους κορυφών μικρού ύψους και με ύπαρξη ατελειών παρουσιάζεται ο μικρότερος βαθμός διάβρωσης (Επιφάνεια 4), προφανώς λόγω της περισσότερο μειωμένης παρουσίας παραμενουσών τάσεων στην κατεργασμένη επιφάνεια
- Η αύξηση του αριθμού των κορυφών και του ύψους αυτών στην επιφάνεια των δοκιμίων (που προκύπτουν από την διαδικασία της τόνρευσης) οδηγεί σε μεγαλύτερες απώλειες βάρους και κατά συνέπεια σε μεγαλύτερους βαθμούς διάβρωσης άρα και σε μειωμένη διάρκεια ζωής του αντίστοιχου υλικού ή μηχανολογικού εξοπλισμού

B. Ομάδα Συμπερασμάτων από τις Δοκιμές των Εμβάπτισεων σε διάλυμα $FeCl_3$ (7%)

- Η ανάπτυξη των διαβρωτικών τρημάτων (των δοκιμίων του A.I.S.I 304) στις πρώτες 24 ώρες εμβάπτισης είναι αρκετά έντονη.
- Ο αριθμός των διαβρωτικών τρημάτων αυξάνεται με την αύξηση του χρόνου εμβάπτισης και για τις τέσσερες διαφορετικές επιφάνειες
- Οι επιφάνειες μεγάλου και μεσαίου ύψους κορυφών (Επιφάνειες τύπου 1 και 2) παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων μικρού μεγέθους
- Οι επιφάνειες με μεγάλο και σχετικά μεγάλο πλήθος κορυφών και με μικρό ύψος καθώς και με εκτεταμένη περιοχή ατελειών (Επιφάνεια 3 και 4), παρουσιάζουν μικρότερη πυκνότητα διαβρωτικών τρημάτων αλλά πολύ μεγάλου μεγέθους
- Οι επιφάνειες 3 και 4 παρουσιάζουν το φαινόμενο της αποφλοιώσεως

- Η ανάπτυξη των διαβρωτικών τρημάτων είναι εμφανώς περισσότερο έντονη στις ακμές των δοκιμίων

Γ. Ομάδα Συμπερασμάτων

- Δύο παράγοντες επηρεάζουν την συμπεριφορά των κατεργασμένων επιφανειών στο διαβρωτικό περιβάλλον: Οι παραμένουσες τάσεις και η έκταση των επιφανειακών ατελειών που προκύπτουν από την τόννευση . Ο συνδυασμός αυτών των δύο παραγόντων είναι δυνατόν να οδηγήσει σε διαφορετικούς βαθμούς αντίστασης του μεταλλικού υλικού στη διάβρωση.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για την περαιτέρω ερευνητική διερεύνηση του προβλήματος της συσχέτισης της επιφανειακής μηχανουργικής κατεργασίας και της αντίστασης στη διάβρωση του ανοξείδωτου χάλυβα A.I.S.I 304 προτείνονται τα εξής:

- Μελέτη των διαβρωμένων επιφανειών με ψηφιακή ανάλυση εικόνας
- Μελέτη των διαβρωμένων επιφανειών με χρήση μικροσκοπίου ατομικής δύναμης (Atomic Force Microscope)
- Μελέτη της φυσικής διάβρωσης των κατεργασμένων επιφανειών του ανοξείδωτου χάλυβα A.I.S.I 304
- Συγκριτική μελέτη και ανάλυση μεταξύ της φυσικής και επιταχυνόμενης διάβρωσης των κατεργασμένων επιφανειών του ανοξείδωτου χάλυβα A.I.S.I 304
- Δημιουργία μαθηματικών προτύπων για τον προσδιορισμό της διάρκειας ζωής σε διάφορα διαβρωτικά περιβάλλοντα των κατεργασμένων επιφανειών του ανοξείδωτου χάλυβα A.I.S.I 304

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. “Corrosion Engineering” Mars Fontana McGraw-Hill, Inc, U.S.A, 1986 p.p 1-6
2. “Stainless Steels” P. Lacombe, B. Baroux, G. Beranger Les Editions de Physique Les Ulis 1993. Historical Background to Stainless Steels R. Castro
3. “Stainless Steels” P. Lacombe, B. Baroux, G. Beranger Les Editions de Physique Les Ulis 1993. Structure and Equilibrium Diagrams of Various Stainless Steel Grades, P. Lacombe, G. Beranger. p.p 38
4. “Stainless Steels ” , Revised by R.A.Lula, Consultant, From An Introduction to Stainless Steels by J. Gordon Parr and Albert Hanson. American Society of Metals ,1993. p.p 60
5. “Προτυποποίηση , Μέτρηση, Έλεγχος και Οργανολογία της Τραχύτητας Τεχνολογικών Επιφανειών: Παρούσα Κατάσταση και Αξιολόγηση ” Γεώργιος Πετρόπουλος, Χαρίκλεια Καραχάλιου. Α.Π.Θ Τμήμα Μηχανολόγων , Εργαστήριο Εργαλειομηχανών και Δυναμικής Μηχανών.
6. “Stainless Steels” P. Lacombe, B. Baroux, G. Beranger Les Editions de Physique Les Ulis 1993. Pitting Corrosion and Grevice Corrosion B. Baroux P. Lacombe, F. Dabosi. p.p 315-318
7. “Corrosion Engineering” Mars Fontana McGraw-Hill, Inc, U.S.A, 1986 , Intergranular Corrosion p.p 77
8. ASTM Designation: G44-94 Standard Practice for Evaluating Stress Corrosion Cracking Resistance of Metals and Alloy By Alternate Immersion in 3.5% Sodium Chloride Solution.
9. ASTM Designation: G1-90 Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Test Specimens.
10. ASTM Designation: G48-92 Standard Test Method for Pitting and Grevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution.
11. “Φυσική Μεταλλουργία” Γ. Ν. Χαιδεμενόπουλος Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας , Βόλος 1999.

12. “Διάβρωση Μετάλλων και Κραμάτων ” Ν. Δ Χασιώτης, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις ,Βόλος 1999-2000.
13. “Θεωρία Μηχανικών Κατεργασιών ” 7^ο Εξάμηνο. Από το σύγγραμμα «Μαθήματα Μηχανουργικής Τεχνολογίας» Τεύχος ΙΙ του Καθ. Π Πετρόπουλου. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
14. “Τριβολογία ” Δρ Σ. Αντωνίου, Πειραιάς 1993
15. www.corrosiondoctors.com
16. “Η δομή και οι ιδιότητες των υλικών” τόμος ΙΙ. Η Θερμοδυναμική της δομής, by Jere H. Brophy, Robert M. Rose and John Wulff. Μετάφραση-επιμέλεια Α.Α Τζαβάρα.
17. “ASM Handbook volume 13 ” Corrosion ASM International 1992.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074521